



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
ESCOLA DE COMUNICAÇÃO, ARQUITETURA, ARTES E TECNOLOGIAS DA
INFORMAÇÃO
MESTRADO EM PRODUÇÃO E TECNOLOGIAS DO SOM

A COMPARAÇÃO ENTRE UMA MISTURA EM ESTÉREO VS BINAURAL PARA MÚSICA ELETRÓNICA DANÇANTE

Dissertação apresentada a provas públicas para a obtenção do grau de Mestre em
Produção e Tecnologias do Som, orientada pelo Professor Doutor João Manuel
Marques Carrilho

Vicente Dias Amadeo, nº 22100013

2025

www.ulusofona.pt

Centro Universitário De Lisboa

Escola De Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias Da Informação

Mestrado Em Produção e Tecnologias Do Som

**A COMPARAÇÃO ENTRE UMA MISTURA EM ESTÉREO VS BINAURAL
PARA MÚSICA ELETRÓNICA DANÇANTE**

VERSÃO FINAL

Tese defendida em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro
Universitário de Lisboa no dia 25/03/2025, perante o júri, nomeado pelo
Despacho de Nomeação n.º: 241/2025, de 24 de março, com a seguinte
composição:

Presidente:

Prof. Doutor José Manuel de Figueiredo Gomes Pinto

Arguentes:

Prof. Doutor Diogo d'Aguiar de Sousa Alvim, Investigador Integrado
do CESEM, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, da
Universidade Nova de Lisboa

Orientador:

Prof. Doutor João Manuel Marques Carrilho.

Vicente Dias Amadeo, nº 22100013

2025

www.ulusofona.pt

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, especialmente à minha mãe, Cristina Amadeo, ao meu pai, Roberto Amadeo, e às minhas queridas avós, Marly e Elly, que sempre me apoiaram na conquista dos meus objetivos, investindo na minha educação e nos meus estudos. Quero também expressar a minha gratidão a minha parceira, Amanda Simões, pela paciência e pelo apoio constante enquanto enfrentei os desafios deste trabalho. Por fim, agradeço imensamente a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória, especialmente ao professor Dr. João Carrilho e ao professor mestre Hedisson Mota, pela atenção e dedicação ao longo deste estudo.

Resumo

Nos últimos quatro anos tem-se discutido muito, dentro da produção musical, a mistura em Dolby Atmos e a tecnologia Binaural. Práticas que, embora já utilizadas há alguns anos em videogames e filmes, têm sido recentemente aprimoradas e aplicadas na música. Esse trabalho explora as possíveis potencialidades da tecnologia binaural na música eletrônica dançante, do ponto de vista criativo e técnico, mas também com a percepção do consumidor. Primeiro vamos entender o espaço acústico e a evolução dos sistemas de reprodução ao longo dos anos.

Desde a década de 1960, com a massificação dos aparelhos de reprodução estereofônicos, a espacialização do som nas misturas tem sido predominantemente aplicada entre os canais esquerdo e direito do ouvinte. Com o avanço tecnológico, novas formas de espacialização sonora têm sido desenvolvidas, proporcionando ao ouvinte uma experiência mais próxima de como o nosso sistema auditivo compreende a direção do som.

A mistura é um tema central neste trabalho. Cada engenheiro de mistura aborda o processo de maneira pessoal, fundamentando as suas escolhas em referências musicais e bibliográficas, no gênero musical em que está a trabalhar e, é claro, também na sua própria percepção. Apesar de extensas pesquisas, ainda persistem dúvidas entre profissionais da área sobre a utilização do som espacial essencialmente no contexto da música popular urbana e eletrônica de dança. Para alguns engenheiros de som, essa novidade chegou para ficar; para outros, o novo processo não se encaixa de maneira satisfatória na produção musical. Ainda há muitos debates sobre o tema.

Considerando que se trata de uma tecnologia ainda em desenvolvimento, destaca-se a relevância deste estudo diante da ausência de reflexões acadêmicas e bibliográficas sobre o tema. É fundamental compreender a opinião dos consumidores acerca das diferenças percebidas entre uma mesma música misturada em estéreo (formato padrão atual) e em Binaural. Para isso, será realizado um inquérito com o público e duas entrevistas com profissionais da área. Com a análise dos resultados vamos tentar compreender as principais diferenças, vantagens e desvantagens pela percepção do consumidor entre uma mistura e outra.

Palavras-Chave: *Mistura; Música; Tecnologia; Estéreo; Binaural.*

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

DJ Disc Jockey

CD Compact Disc

DVD Digital versatile Disc

VST Virtual studio technology

VSTI Virtual studio technology instrument

BPM Beats Per Minute - batidas por minuto

DAW Digital áudio workstation – softwares para produção musical

HRTFs Head-Related Transfer Functions – é um algorítmico matemático que descreve como um ouvido recebe um som de um ponto no espaço.

LFE Low Frequency Effects – Canal de efeitos de baixa frequência usada para reproduzir sons graves na faixa de frequência de 10 a 120Hz.

ITD Inter aural time difference – diferença de tempo interaural é a diferença no tempo de chegada de um som entre um ouvido e outro.

ILD Interaural level differences – diferença de volume que um ouvido escuta antes do outro.

DB Decibel – é uma unidade de medida utilizada para expressar a intensidade ou nível de um som.

VCA Voltage control amplifier – controle de amplitude por voltagem.

PAN Panning ou panorama é a distribuição de sinal de som em um campo de som estéreo ou multicanal.

HZ Hertz é a unidade de medida de frequência.

Índice

1. Introdução.....	11
1.2. Objetivos da pesquisa.....	12
1.3. Problema	14
1.4. Hipótese.....	16
1.5. Metodologia	17
1.6. Revisão da literatura.....	18
2. O espaço acústico.....	22
2.1. Eletroacústica	26
2.2. Mono & Estéreo	29
2.3. Surround: Sistemas de Multicanal.....	35
2.4. Imersividade e o som 3D.....	38
2.5. Dolby Atmos	40
2.6. Tecnologia Binaural	45
3. Psicoacústica	48
3.1. Efeito de Mascaramento	52
3.2. Ouvido Humano e audição binaural.....	53
3.3. Interaural level Difference (ILD)	56
3.4. Interaural Time Difference (ITD).....	57
3.5. Head Related Transfer Function (HRTF).....	59
3.6. A individualização do HRTF	62
4. Mistura musical.....	65
4.1. Conhecendo as Ferramentas.....	67
4.2. Entrevistas com engenheiros de mistura	75
4.3. Mistura da faixa Arado em estéreo (Processo).....	78
4.4. Mistura em Binaural – DAW set up.....	81
4.5. Mistura da música Arado em Binaural (processo)	84
4.6. Tabela de parâmetros.....	90
4.7. Análise das misturas.....	94
5. Trabalho prático.....	96

5.1. Participantes e grupo de controle	97
5.2. Perguntas/Questionário.....	98
5.3. Análise dos resultados	98
6. Conclusão	114
7. Referências	118
7.1 Videografia e Filmografia	120
7.2 Webgrafia	122

Índice de Figuras

Figura 1: Sessão de gravação nos estúdios de Edison.	27
Figura 2: Conversão de energia acústica em energia mecânica e final em um sinal elétrico	28
Figura 3: reprodução estereofônica.....	30
Figura 4: triangulação ideal e sweet spot (em estéreo) dentro do estúdio.	34
Figura 5: sistemas de reprodução de áudio	36
Figura 6: configuração de colunas para set up Dolby Atmos 7.1.4	42
Figura 7: instrumentos transformados em objetos e caminho do sinal	44
Figura 8: pressão sonora em relação a frequência	50
Figura 9: canal do ouvido	54
Figura 10: localização especial	56
Figura 11: azimuth para localização da fonte sonora.....	60
Figura 12: dummy head da empresa Neuman modelo, KU100.....	61
Figura 13: Tabela de frequências	68
Figura 14: Parâmetros do compressor.....	70
Figura 15: Distribuição de instrumentos e panorâmica para os buracos.....	74
Figura 16: projeto de mistura da música arado	80
Figura 17: Configuração de Bed & Object, e caminho do sinal	83
Figura 18: Renderer for Dolby Atmos in Cubase	85
Figura 19: Figura A - Multi panner in cubase	86
Figura 20: Figura B - Multi panner in Cubase.....	86
Figura 21: ADM authoring for dolby atmos	87
Figura 22: Figura A - multi panner das mandadas de reverb.....	88
Figura 23: Figura B - multi panner das mandadas de reverb.....	88
Figura 24: renderer, canal master e bounce final da mistura	89
Figura 25: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02, binaural em Vermelho	102
Figura 26: Mistura 01, binaural em azul vs mistura 02, estéreo em vermelho	102
Figura 27: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02 binaural em vermelho.	103
Figura 28: Mistura 01, binaural em azul, vs mistura 02, estéreo em vermelho.	103
Figura 29: Mistura 01 estéreo em azul versus mistura 02 binaural em vermelho.....	104

Figura 30: Mistura 01 em azul, binaural versus mistura 02 em vermelho, estéreo. Não sei em laranja	105
Figura 31: Mistura 01, estéreo em azul versus mistura 02, binaural em vermelho.....	105
Figura 32: Mistura 01, binaural em azul vs mistura 02, estéreo em vermelho.	106
Figura 33: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02, binaural em vermelho.	107
Figura 34: Mistura 01, binaural em azul versus mistura 02, estéreo em vermelho.....	108
Figura 35: vermelho = auscultador, azul = carro, verde = colunas de estúdio	109
Figura 36: vermelho = auscultador, azul = carro, verde = colunas de estúdio, laranja = colunas normais	110
Figura 37: Grupo A, mistura 01 em binaural versus mistura 02 em estéreo.....	111
Figura 38: Grupo B, mistura 01 em estéreo versus mistura 02 em binaural.....	111
Figura 39: Resultado inquérito.....	112

1. Introdução

O título deste trabalho, *A comparação entre uma mistura em estéreo versus binaural para música eletrônica dançante*, já nos indica de forma clara a proposta do estudo. O objetivo é realizar uma análise comparativa entre a mesma música misturada no formato estéreo e em binaural. O título contém palavras-chave de um tema atual e relevante no campo da produção musical contemporânea.

A tecnologia multicanal Dolby Atmos surge como ponto de partida para este projeto de investigação. Já consolidada no universo cinematográfico, no contexto da produção musical é relativamente recente. Nos últimos 4 anos a indústria da música tem se esforçado ao máximo para incentivar artistas, engenheiros de som e editoras a adotarem a tecnologia.

No capítulo 2, começaremos por esclarecer certos conceitos sobre o espaço acústico e os diferentes tipos de reprodução ao longo dos anos.

Rothermich resume “*Mono: nas primeiras tentativas de Alexander Graham Bell, em 1876, áudio/música/som era (re)produzido por apenas um único altifalante, um cone sem amplificação elétrica. reproduz uma única fonte de áudio, um único canal de áudio.*” (Rothermich, 2021, p. 02)

No capítulo 3 vamos aprofundar os conceitos da psicoacústica, ciência que estuda como percebemos o som e maneira com o ouvido e o cérebro humano os processa.

O capítulo seguinte, foi dedicado a mistura musical. A mistura é o processo que ocorre depois da gravação dos instrumentos, onde o engenheiro de mistura tenta equilibrar e processar os instrumentos uns em relação aos outros de uma forma coesa, profissional respeitando o estilo ou estética do artista ou da banda. Eu apresentei algumas ferramentas que são essências no processo da mistura e descrevi os diferentes processamentos entre a mistura em estéreo versus a binaural usadas para este trabalho. Duas entrevistas com dois engenheiros de mistura e masterização que são referência dentro da música eletrônica e certificados da Dolby foram realizadas para embasamento técnico e prático do trabalho.

Por último a realização do inquérito e análise dos dados para perceber através do consumidor se as diferenças entre uma mistura e outra são notórias e quão familiarizados com o tema estão.

1.2. Objetivos da pesquisa

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar e comparar, por meio de técnicas qualitativas e quantitativas, duas misturas de música eletrônica dançante nos formatos estéreo e Binaural, reproduzidas via auscultadores. Ao comparar uma mistura em estéreo com a outra em Binaural, busca-se examinar, sobretudo, as diferenças relacionadas à espacialização do som, técnicas criativas e aos tipos de processamento utilizados. Além disso, a pesquisa pretende compreender e analisar vantagens e desvantagens da escuta em Binaural, bem como explorar a percepção do consumidor em relação a esta tecnologia, que vem sendo introduzida no mercado musical. Embora amplamente utilizada em cinema e videogames, a tecnologia Binaural ainda está em processo de descoberta e adaptação por engenheiros de som, produtores musicais e pelo próprio público consumidor.

Dolby Atmos é um tema amplamente discutido e questionado atualmente entre os profissionais da área do som. Diversas questões e hipóteses têm surgido a respeito desse formato: Será que é realmente necessário produzir uma segunda mistura em um formato diferente? As pessoas estariam dispostas a pagar mais caro por um serviço (se fosse o caso) ou adquirir novamente uma música que já possuem, apenas para poder ouvi-las nesse novo formato? No caso da música eletrônica, como *House* e *Techno*, onde muitos instrumentos são mantidos em mono, faria sentido criar uma segunda mistura imersiva, ou essa abordagem estaria limitada apenas ao “*streaming*”? Além disso, como será a reprodução dessas obras ao vivo?

A par das questões acima levantadas, surgem algumas mais pertinentes: será a experiência notória e necessária para o mercado musical? Partindo do princípio de que a hipótese de que o Binaural proporciona uma experiência mais impactante e imersiva para o ouvinte, do que o estéreo, perguntamo-nos: será que o consumidor consegue perceber essas diferenças entre as duas misturas?

Estamos a viver uma era de desenvolvimento tecnológico extraordinário. A espacialização do som oferece novas formas de interação com os objetos sonoros, e a chegada

do Dolby Atmos à indústria da música é recente, mas essa tecnologia possui um grande potencial para evoluir e para se consolidar na produção musical.

Com o inquérito que será realizado para esta pesquisa, acredita-se ser possível medir a preferência do público entre os dois tipos de mistura. Um aspeto importante a ser considerado é o meio de reprodução. Dado que a maioria das pessoas não tem acesso a um estúdio equipado ou a um sistema Dolby Atmos com múltiplas colunas, a pesquisa procura medir e comparar a experiência por meio de auscultadores. Embora o impacto de ouvir uma música em um estúdio calibrado com o sistema Dolby Atmos seja, provavelmente, significativamente superior em comparação à experiência Binaural por meio de auscultadores, é através destes que a maioria das pessoas terá acesso inicial a essa tecnologia. Assim, compreender como o público percebe essa experiência torna-se essencial para avaliar a adoção do formato.

Por ser um tema atual e ainda pouco explorado na música eletrónica, além de estar pouco desenvolvida no meio académico, o assunto levanta diversas problemáticas que têm sido questionadas, testadas e descobertas.

Com isto, uma entrevista será direcionada a dois engenheiros de mistura internacionalmente reconhecidos na música eletrónica que já estão a misturar e masterizar em Dolby Atmos. O intuito é compreender algumas diferenças, dificuldades, desafios e métodos entre a mistura em estéreo versus o Binaural, e, levantar algumas hipóteses sobre o mercado. Para além, as entrevistas irão ajudar na aquisição de conhecimento para as misturas da minha autoria.

O misturador¹, é o profissional responsável pelo processo de mistura² e associado à engenharia de som. Deste modo, este projeto de pesquisa tem como objeto de estudo:

¹ O trabalho de um engenheiro de mistura é indiscutivelmente aprimorar a apresentação da música gravada para maximizar a eficácia do impacto desejado no ouvinte. As ferramentas usadas no processo de mistura terão um efeito significativo no resultado (Bourbon, 2020, p. 339) assim como o engenheiro que realiza.

² (...)A mistura é um processo no qual o material multipista – seja gravado, amostrado ou sintetizado – é balanceado, tratado e combinado em um formato multicanal, mais comumente de dois canais (...) (Inzhaki, 2008, p. 4-5)

- a) Analisar vantagens e desvantagens de uma mistura de música eletrônica em estéreo versus Binaural;
- b) Compreender a diferença entre uma mistura criativa que possibilita maior experimentação para uma mistura mais “conservadora” nestes dois formatos;
- c) Perceber a preferência do público entre um formato e outro;
- d) Analisar a expansão do mercado;
- e) Reprodução Binaural;
- f) Acrescentar valor ao estado da arte para melhor compreensão em misturas para música eletrônica em Dolby Atmos para escuta Binaural via auscultadores.

1.3. Problema

A reprodução do som em estéreo foi patenteada em 1930 por Alan Blumlein, mas não foi o suficiente para dominar o mercado, devido ao alto custo das colunas na época. Com o passar dos anos e o avanço da tecnologia, as técnicas de espacialização sonora ganharam relevância, não apenas nos estúdios, mas também, nas salas de cinema e nas casas das pessoas. Atualmente, a maior parte do som mediado eletronicamente chega até nossos ouvidos em estéreo, seja por meio de auscultadores, sistemas de reprodução *hi-fi*, rádio, televisores, computadores e até mesmo dentro de nossos carros.

“O estéreo também determina como os engenheiros de som configuram os microfones e misturam os álbuns nos estúdios de gravação.” (Théberge, 2015, p.10)

Há quase 80 anos, muito estudo tem sido direcionado para a espacialização sonora e para o desenvolvimento de novas formas de reprodução que vão além do formato estéreo. Com a evolução de sistemas de som *surround* e, mais recentemente, do Dolby Atmos, atualmente já é possível alcançar uma total imersão sonora. A experiência num estúdio com colunas distribuídas em 360 graus - à frente, atrás, dos lados no teto, cercando a posição do ouvinte ao centro - agora já é uma realidade. No entanto, para trabalhar com um sistema Dolby Atmos, é necessário ter um estúdio equipado com diversas colunas de som, o que nem todos os estúdios têm disponível (espaço x custo). A principal vantagem do Dolby Atmos em comparação com sistemas de reprodução anteriores é que, após a mistura, é possível adaptar o áudio para diferentes formatos, incluindo o áudio binaural, em

que a escuta é feita por meio de auscultadores. Mas será que essa experiência é realmente notória?

A mistura de álbuns para sistemas de som avançados, como o Dolby Atmos, é relativamente nova e apresenta novos desafios para os engenheiros de som. Novos *plug ins* e marcas de áudio ainda estão desenvolvendo ferramentas que permitem uma melhor manipulação dessa tecnologia. Mas ainda falta a familiaridade do público com a música espacializada e o tema, assim, este acaba por poder representar um obstáculo. A indústria da música deve encontrar maneiras de superar as expectativas de um público acostumado à escuta estereofônica. Quanto mais produções comercializadas em Dolby Atmos estiverem disponíveis no mercado a nível do consumidor mais fácil será essa cristalização de escuta. Outro desafio importante, além da parte técnica e criativa, é a necessidade de um sistema de reprodução avançado equipado com múltiplas colunas de som e devidamente calibrado. Nem todos terão acesso a esses sistemas e quando escutamos músicas em nossos carros, casa, festas ou concertos...ainda estamos limitados a reprodução em estéreo, o que acaba por tornar a avaliação dessa experiência um desafio complexo e difícil de determinar. Será que a conversão do Dolby Atmos para o binaural realmente retrata todo potencial de uma música misturada e masterizada em Dolby?

Além disso, sendo a pesquisa direcionada para a música eletrônica dançante, é importante lembrar que muitos clubes de dança ainda possuem sistemas mono ou estéreo, e a instalação de sistemas de reprodução Dolby Atmos além de complexas possuem um custo elevado. Faz sentido termos uma segunda mistura (em Dolby Atmos) somente para o “*streaming*”?

O Atmos oferece a capacidade de ser mais criativo durante a mistura. Ser movido emocionalmente, fisicamente através da escuta imersiva. O consumidor ainda ouvirá em estéreo depois de experimentar o Atmos? Será que o público já está a consumir a tecnologia?

Após essa visão geral dos avanços tecnológicos na reprodução do som, bem como as possíveis implicações e desafios futuros na indústria da música deixo aqui algumas questões que iremos analisar ao longo deste estudo.

Estéreo versus binaural: quais as vantagens? É possível medir/avaliar/validar preferências junto do público? Há vantagens estético-musicais com a imersividade? A problemática da mistura em Dolby/binaural no seio dos produtores: como vencer as

expectativas de um público alvo que tem os seus hábitos de escuta cristalizados na experiência estereofónica?

Será que a tradução de um sistema com várias colunas (monitores de áudio) para os auscultadores causa-nos a mesma sensação de imersão? Será que dentro de alguns anos essas tecnologias (Dolby e Binaural) irão virar o “novo estéreo”, isto é, o novo padrão de escuta? Muitas músicas antigas e novas já estão a ser disponibilizadas em Dolby/Binaural será que os consumidores recomprariam uma música ou álbum, ou até pagariam mais caro por um serviço de *streaming* só pela música estar em Dolby/Binaural?

Uma vez que não foram identificadas, no âmbito desta investigação, pesquisas previamente publicadas que mensurassem o grau de familiarização e os padrões de consumo do público em relação ao tema em questão, conseguimos ter uma noção em que ponto do caminho da evolução tecnológica nos encontramos.

1.4. Hipótese

Nos últimos quatro anos a indústria tem se esforçado ao máximo para incentivar engenheiros, artistas e gravadoras para adotarem a nova tecnologia. No entanto, ainda é possível observar uma divisão entre os engenheiros de mistura em relação ao futuro dessa tecnologia na produção musical. Do ponto de vista técnico, a hipótese predominante é de que não precisamos de instrumentos musicais a circular em torno da nossa cabeça, pois essa não é maneira como estamos habituados a ouvir um concerto, por exemplo. Outro ponto de discussão é se, ao invés da tecnologia contribuir para a espacialização sonora, esta poder causar confusão ou perturbação na mensagem da música. É claro que essas questões podem ser subjetivas; para alguns, a tecnologia pode ajudar, enquanto para outros, pode ser uma distração. Do meu ponto de vista, a qualidade do áudio pode ser superior, mas o excesso de espacialização sonora pode, de facto, desviar a atenção do ouvinte ou até mesmo perturbar.

A preferência do público é difícil de medir, mas, com a realização de um inquérito, será possível obter uma base de dados que reflita as preferências, e analisar as diferentes perspetivas para avaliar se essa tecnologia tem potencial na música eletrónica.

Outro desafio a ser considerado é a questão financeira. No entanto, ao contrário do som *surround* com Dolby Atmos, o consumidor não precisa de múltiplos altifalantes em casa ou no

estúdio para vivenciar uma experiência de espacialização sonora, pois existe a opção de utilizar a tecnologia em formato Binaural por meio de auscultadores. De acordo com a empresa Apple, os auscultadores são o meio mais comum de se ouvir música atualmente. Contudo, na minha percepção, a experiência com auscultadores não é tão impactante quanto a de ouvir uma mistura em Dolby Atmos em um estúdio profissional com várias colunas.

“Acho que as pessoas dirão: ‘OK, o auscultador realmente não faz nada, não tenho dinheiro para colocar um sistema Atmos em minha casa e o aparelho de som estéreo está bom” (Bob Clearmountain, 2022)

Diversas aplicações informáticas (*softwares*) estão a ser desenvolvidos e aprimorados para expandir o uso dessa tecnologia, mas ainda é cedo para fazer afirmações definitivas, uma vez que a tecnologia continua em fase de desenvolvimento e exploração.

1.5. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo caracteriza-se como híbrida e exploratória, envolvendo inquéritos e questionários experimentais, com a participação de dois grupos de controlo. Além disso, é relevante destacar que se trata de uma pesquisa de natureza artística, uma vez que o primeiro passo da investigação consistiu na criação da música e na elaboração das duas versões de mistura. Para além das análises técnicas comparativas entre as misturas em estéreo e Binaural, o objetivo central do trabalho é também avaliar a percepção e a preferência do público em relação a essas duas abordagens.

Como parte do trabalho de campo, além da produção da música e das misturas, foi criado um questionário online utilizando o *google forms*, no qual foram disponibilizadas duas versões da mesma música para a escuta pelos participantes. O estudo foi dividido em dois grupos, A e B, com o mesmo número de participantes, totalizando vinte e uma pessoas em cada grupo. O grupo A acendeu ao link primeiro da mistura em Binaural e depois a mistura em estéreo, enquanto o grupo B fez o inverso, começando com a mistura em estéreo e, em seguida, ouvindo a versão Binaural. Ambos os grupos ouviram as misturas por meio de auscultadores e responderam a um questionário aberto. O grupo A foi utilizado para validar as respostas do grupo B, permitindo que a ordem na escuta das músicas não influenciasse no resultado. Ao final do inquérito, foi adicionada uma versão da faixa *"What's Going On"*, de Marvin Gaye, misturada pela própria Dolby e disponibilizada em seu site, como referência para comparação.

Dado que o tema se concentra na música, a seleção dos participantes foi direcionada para indivíduos que gostam de escutar música. Metade dos participantes são profissionais que trabalham ou estudam na indústria da música, enquanto a outra metade é composta por pessoas comuns, isto é, sem relação profissional com a música. Após ouvir as músicas nas duas versões de mistura, utilizando auscultadores, cada participante responderá a um questionário aberto sobre sua experiência ao ouvir os dois formatos mencionados anteriormente.

Consoante o questionário será possível ter uma análise de conteúdo e estatística dos resultados.

Pretende-se entender e identificar não só as vantagens e desvantagens de se ter uma mistura em binaural, mas também se o público percebe alguma diferença entre elas e se existe alguma preferência na escolha entre uma mistura e outra. Todos estes elementos contribuem para a investigação sobre a disposição do público em adquirir uma música já previamente comprada, ou pagar um valor adicional por um serviço de *streaming*, exclusivamente pela experiência de ouvir em formato Binaural através de auscultadores.

Na componente qualitativa do método, foi realizada uma entrevista com dois engenheiros de mistura e masterização de renome na música eletrónica, ambos profissionais certificados pela Dolby. A entrevista foi estruturada através de um conjunto de questões abertas, com o objetivo de gerar novos conhecimentos e registar observações de campo sobre diferentes experiências percebidas auditivamente e suas respostas.

Além disso, a entrevista incluiu questões relacionadas com o mercado, visando proporcionar uma compreensão mais aprofundada sobre aspetos subjetivos deste estudo.

1.6. Revisão da literatura

Para fundamentar algumas dessas questões, iremos analisar a história do estéreo, da espacialização sonora, a tecnologia Binaural e Dolby Atmos, falar sobre mistura para produção musical, percepção da psicologia do espaço e tipos de sistemas de reprodução.

Com isto, usarei como base para o trabalho alguns dos principais livros sobre estas temáticas, artigos, teses e vídeo aulas que foram bastante úteis para este trabalho de pesquisa.

Mixing in Dolby Atmos – How it works de Edgar Rothermich (2021). Este é o primeiro livro publicado e direcionado para a tecnologia. Conhecido por escrever manuais para diversos programas de música, Rothermich, no início do livro, descreve um pouco sobre a história do som imersivo, alguns conceitos e técnicas chave para o início da utilização, técnicas de mistura, o funcionamento operacional, o hardware e Software, calibração de sistemas e escuta em auscultadores (Binaural). Além de ser um livro recente ele funciona como um manual operacional cobrindo muitas partes técnicas do Dolby Atmos/Binaural, mas não entra diretamente nas questões do mercado, a opinião do público e o futuro da tecnologia.

Outra obra a destacar é o livro, *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Áudio* de Agnieszka Roginska & Paul Geluso (2018), fornece um guia abrangente para teoria e aplicações de som multicanal e Binaural. Com contribuições dos principais engenheiros de gravação, pesquisadores e especialistas do setor. Inclui uma descrição detalhada da física e psicoacústica do áudio espacial, bem como aplicações práticas. Os capítulos incluem a história do som 3D, reprodução Binaural por meio de auscultadores, estéreo, som *surround*, canais de altura, áudio baseado em objeto, campo sonoro (ambisonics), síntese de campo de onda e técnicas de mistura multicanal. O conhecimento do desenvolvimento, teoria e prática do som espacial e multicanal é essencial para aqueles que avançam na pesquisa e aplicações nos campos em rápida evolução de gravação de som 3D, realidade aumentada e virtual, jogos, som de filme, produção musical, e pós-produção.

A tese de mestrado, *4D Sound: A new technology: on the ontology of techno in space* de Sidney Arvid Michel Schelvis (2020) é importante para o trabalho pois além de detalhar uma pesquisa artística de espacialização para música techno em sistema de som 3D, o trabalho detalha como o nosso ouvido percebe diferenças num espaço imersivo. Descreve uma Breve História do techno e das Técnicas de Espacialização e do sistema de som 3D. Ainda na introdução ele relembra que em 2016 o famoso clube de dança londrino *Ministry of Sound*, instalou um sistema Dolby Atmos com 60 altifalantes espalhados pela pista principal da discoteca. A inauguração do novo sistema de som da casa acabou por ser adiada para 2018, mas não renderam muitas apresentações, talvez pela dificuldade de se trabalhar com o sistema na época. Nesta pesquisa ele levanta perguntas interessantes e relevantes para o nosso estudo, como:

“O som já saiu de moda três anos após sua instalação? A interface do usuário era muito complexa para lidar com o DJ comum contratado lá? Ou o sistema simplesmente não

impressionou a clientela do clube? O verdadeiro motivo permanece desconhecido. De qualquer forma, os programadores do Ministry of Sound parecem favorecer nomes consagrados e temas extravagantes, que, presumivelmente, atraem um público comercialmente mais lucrativo. Minha busca por uma resposta para as questões colocadas acima não termina aqui.”

Outra obra importante para este trabalho é o livro, *Living Stereo* de Paul Theberge, Kyle Devine, Tom Everett (2015) que descreve a história e importância do estéreo na sociedade, as culturas de escuta, o desenvolvimento de sistemas de som e fundamentos do som multipistas. E também traz uma problemática muito pertinente ao tema da tese. Produtores e engenheiros de mistura de música eletrônica que atualmente já trabalham nos formatos Dolby Atmos para música tem respeitado uma certa estética das misturas em stereo quando aplicam para Dolby. O livro cita:

“Os sistemas multicanais de áudio e som surround também podem situar o público numa relação singular e estática com um "palco sonoro" virtual e isso tem sido muitas vezes um problema até para compositores de música eletrônica vanguardista que, apesar dos seus esforços para explorar a projeção sonora multicanal como um ambiente tridimensional, tiveram tipicamente de lidar com as configurações convencionais da sala de concertos que assumem um assento, público imóvel.”

Mixing music in Dolby Atmos é uma tese de mestrado da autoria de Roberto Carbanillas (2020) onde sua proposta era produzir um EP de três faixas de música eletrônica para serem misturadas em Dolby Atmos. Ele explica o processo de mistura, o motivo pelo qual escolheu trabalhar com a música eletrônica, descrevendo o seu “work flow” e como se usa as novas ferramentas, levanta algumas problemáticas e desafios interessantes, tornando-se assim importante, principalmente, para o trabalho prático das misturas.

“Lembre-se de que Dolby Atmos é uma tecnologia de áudio baseada em objetos. Posso pegar linhas de baixo e melodias de sintetizador e colocá-las em locais específicos. Posso ter instrumentos de bateria tocando em todos os tipos de direções diferentes. Também posso colocar vocais ou vocais de apoio direções diferentes. De certa forma, aquele espaço 3D que o Dolby Atmos cria para eu misturar se tornará um território desconhecido para eu explorar: uma tela aberta para eu pintar.” (Carbanillas, 2020, p.13)

The technology of binaural listening de Jens Blauert (2013), é um livro que possui uma série de monografias e livros de referência sobre a tecnologia Binaural. Com pesquisas, testes, ilustrações, cálculos e conclusões bem completas sobre os diferentes modelos binaurais. O livro aborda diversos estudos científicos relevantes sobre o Binaural, como: medições de sinais, a fisiologia da audição binaural, o desenvolvimento de algoritmos para a melhoria de resolução, posicionamento do indivíduo, HRTF (e vai além com uma investigação sobre a influência dos sinais binaurais na percepção para revelar se o som espacial gerado sinteticamente pode até melhorar o desempenho da localização humana. Um dos capítulos dá-nos uma perspectiva para o futuro desses modelos sendo um livro fundamental para este trabalho.

Com o artigo *Spatial Sound – History, principle, progress and challenge* de Xie Bosun (2020) foram reunidos diversos estudos na China sobre espacialização sonora ao longo dos anos. Com ele, vamos explorar certos conceitos em torno do estéreo, e entender sobre a história e as técnicas que ajudaram no desenvolvimento da espacialização sonora, o desenvolvimento de sistemas de som 5.1, 7.1, 9.1, problemáticas e desafios relevantes no contexto do som espacial.

“Na verdade, o som espacial é uma interdisciplina que lida com a acústica (física), no processamento de sinais, psicologia, fisiologia da audição e até mesmo com a arte da música. A análise física e auditiva do campo sonoro é a base do som espacial. Processamento de sinal, tecnologia eletrônica, dispositivos, e instrumentos eletroacústicos são meios técnicos para o som espacial. Devido as amplas aplicações, o som espacial sempre foi um tópico importante no campo do processamento de áudio e sinal.” (Bosun, 2020, p. 01).

2. O Espaço Acústico

De forma simplificada, como destacou Jonh Calder, proprietário da empresa *Acoustic Geometric*, “A acústica basicamente é como o som interage com o espaço” (Calder, 2013).

No entanto, além disso, a acústica é a ciência que estuda a natureza física do som.

Podemos dizer que qualquer evento acústico consiste sempre em três estágios; uma fonte sonora (por exemplo, uma coluna), a propagação do som por um meio (por exemplo, o ar) e um recetor (por exemplo, um microfone ou nosso ouvido). Neste capítulo, analisaremos esses estágios em detalhe e sua relevância para o presente estudo.

“Na acústica musical estudam-se todos os aspetos relacionados como a propagação do som (meio propagador), o espaço que ouvimos, a produção do som para compreender o funcionamento dos instrumentos musicais e aparelhos, e a receção do som, o estudo do aparelho auditivo, da psico acústica e da psicologia da música”. (Henrique, 2002, p.6)

Curiosamente, tal como citado no livro *Acústica musical* (2002) de Luís Henrique, a palavra acústica tem sua origem na palavra grega, Akouein, que significa ouvir. Porém com a evolução do tempo podemos dizer que o significado moderno vai muito além dos sons que ouvimos. A utilização da palavra como ciência que estuda o som, surgiu no século XVIII.

Para falar da relação entre som e espaço, precisamos de entender sobre a evolução de como percebemos o som em um contexto espacial.

“Desde a pré-história com as cavernas e mais a frente teatros romanos e igrejas podem ser vistas como um precursor da moderna sala de concertos, que minimiza a correlação dos sinais de pressão em ambos os ouvidos, resultando num campo sonoro envolvente, mantendo ainda clareza acústica suficiente para compreender o conteúdo da música que está sendo tocada. “(Kendall, 1995b, apud Bore, p. 41)

Podemos assim confirmar que o espaço acústico, refere-se às características sonoras de um espaço físico específico, como por exemplo uma sala, um teatro, uma igreja ou qualquer outro ambiente. Essas características incluem a forma como o som se propaga, reflete, absorve e difrata dentro desse espaço. Vamos analisar todos esses elementos e como eles contribuem para o espaço acústico de um ambiente.

A **reflexão sonora**, são as ondas sonoras refletidas nas superfícies do ambiente, como paredes, teto e chão. Essas reflexões podem alterar a qualidade do som ou até mesmo criar efeitos indesejados ou desejados, dependendo do contexto musical ou do estilo da performance.

A **Difusão ou reflexão difusa** acontece quando das ondas sonoras se espalham em diferentes direções quando encontram superfícies irregulares (difusoras). Numa sala, a difusão ajuda a evitar o acúmulo excessivo de energia sonora em certas áreas do ambiente, criando uma distribuição mais uniforme do som. Um conceito que circula muito entre os especialistas da área é o de que a difusão ajuda a manter a sala a soar mais ‘natural e viva’.

“Se a superfície onde incide a onda não for plana, mas sim irregular origina dispersão da onda na reflexão, o que constitui a difusão. Também se dá difusão quando há reflexão numa parede convexa.” (Henrique, 2002, p. 800).

Esse fenômeno de difusão é fundamental para a compreensão de como o som se comporta em ambientes acústicos não totalmente homogêneos. Superfícies irregulares ou curvas não refletem as ondas sonoras de maneira uniforme, o que resulta na dispersão das ondas em diferentes direções. Isso pode alterar a qualidade do som percebido, uma vez que a onda acústica não se propaga de forma direta, mas sofre variações em seu percurso, afetando sua intensidade e clareza.

“A onda de pressão acústica se expande radialmente para fora, atingindo paredes e outras superfícies onde a energia é refletida, difratada e absorvida. Tecnicamente falando, toda essa energia refletida é reverberação e nos dá uma impressão espacial.” (Lessing, 2004, p. 2)

Dentro de um espaço, o ouvinte (recetor) não apenas recebe o som direto da fonte, mas também é influenciado pelos sons refletidos. A primeira reflexão ocorre quando o som é refletido de maneira rápida e direta nas superfícies próximas. Já a segunda reflexão surge quando o som reflete em superfícies mais distantes. Essas reflexões contribuem para o fenômeno conhecido como **reverberação**.

A **reverberação** dentro de um espaço, é o prolongamento do som após a fonte sonora ter parado de emitir. Ela é influenciada pela reflexão do som nas superfícies do ambiente. Diferentes materiais também influenciam o processo. Por exemplo, ambientes com muitas superfícies reflexivas, como paredes de cimento, tendem a ter uma reverberação mais longa, enquanto ambientes com materiais absorventes, como cortinas ou carpetes, tendem a ter uma

reverberação mais curta. Para calcular o tempo de reverberação pode-se recorrer à fórmula matemática de Sabine:

$$TR = 0,16 \times VOLUME (M3) / A (coeficiente de abs) \times S.$$

O tempo de reverberação é uma medida que descreve a duração desse prolongamento do som no ambiente e é influenciado por vários parâmetros, incluindo:

Volumetria do espaço (m3) / Coeficiente de absorção dos materiais X Área e distribuição das superfícies absorventes.

Dentro de um espaço, a **absorção sonora** refere-se à capacidade dos materiais que constituem o espaço de absorver parte do som que incide sobre suas superfícies. Diversos tipos de materiais porosos, como tecidos, lã de vidro, espumas acústicas ou painéis de madeira perfurados, podem ajudar a absorver o som, assim reduzindo a reverberação e melhorando a definição e clareza acústica do ambiente. Quando o som se propaga no ar a energia das ondas sonoras sofre atenuações provocadas pelo próprio meio que a onda está a atravessar. (Henrique, 2002, p. 229) Essas atenuações acontecem devida á absorção do meio.

A **Ressonância** refere-se à resposta natural de um ambiente físico a determinadas frequências sonoras, caracterizada pelo reforço ou atenuação dessas frequências em função das propriedades acústicas do espaço. Essa interação pode resultar na amplificação de frequências específicas, conhecidas como frequências naturais, ou na geração de ressonâncias indesejadas, dependendo do contexto e das condições do ambiente.

Por último, outro fenómeno que deve ser citado é o famoso eco, ele ocorre quando uma ou mais reflexões sonoras chegam aos ouvidos do ouvinte após um intervalo de tempo perceptível, geralmente devido a uma superfície refletora localizada a uma distância considerável da fonte sonora e do ouvinte. Um exemplo comum é quando alguém fala num espaço aberto ou numa sala com paredes distantes, e o som é refletido de volta após um pequeno intervalo de tempo, criando uma repetição do som original. O eco pode ser controlado e minimizado usando técnicas de absorção sonora, difusão e posicionamento adequado da fonte sonora em relação às superfícies refletoras.

O entendimento e a manipulação do espaço acústico são fundamentais para diversos campos, incluindo design de salas de concerto, engenharia de áudio, acústica arquitetónica e design de estúdios de gravação. Ao compreender e otimizar as características acústicas de um

ambiente, é possível criar experiências sonoras mais coerentes, imersivas e agradáveis para ouvintes e artistas.

“Dentro do estúdio, ou sistemas de altifalantes estéreo e multicanal com os quais todos nós estamos familiarizados, respondemos a um campo sonoro muito diferente daquele quanto experimentamos uma apresentação musical ao vivo. A maneira como fomos educados ao se ouvir um concerto e depois ouvir uma reprodução satisfatória da mesma música em nossas casas faz parecer uma ilusão, o engano acústico é possível, mas não é um engano.” (Toole, 2008, p. 34)

A diferença entre ouvir música ao vivo e sua reprodução em um ambiente fechado como uma casa ou estúdio é uma experiência complexa. Embora o áudio reproduzido possa ser satisfatório e até impressionante, a sensação de espaço que acompanha uma performance ao vivo — onde as ondas sonoras interagem com o ambiente de forma orgânica — dificilmente pode ser replicada com total fidelidade. No entanto, como Floyd sugere, este "engano" acústico não é, de facto, um erro, mas sim uma ilusão criada pela tecnologia, que tenta aproximar-se da experiência real, mas sempre com algumas limitações perceptuais.

Com o avanço da tecnologia, atualmente, por meio de *hardwares* ou *softwares*, é possível reproduzir ou emular tanto espaços acústicos, com diversos tipos de processamento de efeitos como, eco ou reverberação. Estes efeitos estão diretamente associados à maneira como o som reflete em um determinado ambiente

Quando estamos em uma sala de grandes dimensões (em largura e altura) temos a impressão que o som ao tocar na sala soa mais alto do que quando tocado numa sala pequena. A esse fenómeno podemos dar o nome de impressão espacial. *“Pode-se imaginar que mais reflexos vindo de diferentes direções intensificariam os efeitos” (Toole, 2008, p. 95).* Um exemplo prático, ainda amplamente utilizado nos dias de hoje para medir a reverberação ou o eco de um espaço, seja para uma performance ao vivo em uma sala pequena ou mesmo em um estúdio, consiste no ato de entrar na sala e bater as mãos ou gritar. Esse procedimento permite perceber a reverberação do ambiente, como os sons se refletem nas superfícies e como o som decai suavemente ao longo do tempo.

Como o foco do trabalho é o áudio Binaural, dentro da binauralidade, entender o espaço acústico é importante pois assim é possível compreender a representação tridimensional do som num ambiente virtual, que é criada usando técnicas de gravação Binaural e ou em uma

própria mistura. Para a gravação do áudio Binaural, uma técnica muito comum utiliza dois microfones para simular a audição humana, capturando as diferenças de tempo e intensidade do som que chega aos ouvidos esquerdo e direito. Permitindo criar uma experiência mais realista e imersiva do som, reproduzindo a localização espacial dos objetos sonoros num ambiente específico.

Somente por meio de auscultadores conseguimos reproduzir uma gravação ou mistura em Binaural, possibilitando o ouvinte a experimentar uma sensação de imersão sonora, pois os sons são percebidos como se estivessem vindos de diferentes direções e distâncias, criando uma sensação de espaço tridimensional ao redor do ouvinte.

Assim, fica claro o papel do espaço acústico dentro da binauralidade onde refere-se à capacidade de criar uma representação sonora realista e envolvente de um ambiente específico, levando em consideração não apenas o som em si, mas também as características espaciais do ambiente em que o som foi gravado. Essas características ajudam a intensificar a experiência e tornam-se muito úteis em aplicações como realidade virtual e jogos, na música e no cinema, onde a imersão sonora agrega e intensifica a experiência do usuário.

2.1. Eletroacústica

É incrível, que nós humanos conseguimos gravar, editar e reproduzir sons. A evolução da tecnologia teve um papel importante na produção musical.

O **fonógrafo**³ de Thomas Edison é considerado o primeiro sistema de gravação e reprodução sonora. O aparelho funcionava de forma mecânica e com muitas limitações; *“A voz ou instrumento a gravar tinham de estar muito perto do diafragma que captava as vibrações e a duração dos rolos era de apenas 2 minutos ou 4 minutos.”* (Henrique, 2002, p. 888)

³ A palavra fonógrafo deriva do grego e significa “escrita do som”

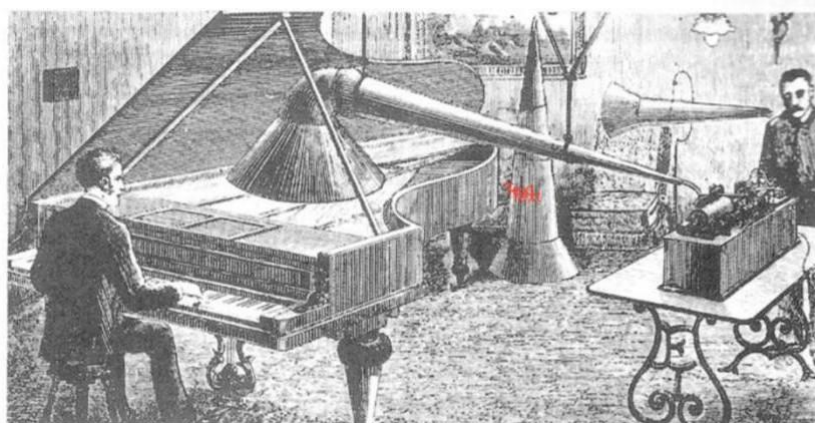


Figura 1: Sessão de gravação nos estúdios de Edison.

(Fonte: Acústica Musical, L. Henrique, 2002, p. 889)

A evolução na reprodução do som é marcada por uma longa linha de tempo, que se inicia fonógrafo de Edison, passando pelo gramofone, os discos de vinil, as fitas cassete, os CDs e os diversos dispositivos digitais.

Para uma compreensão mais técnica, é necessário abordar o campo da eletroacústica, que trata da conversão entre sinais acústicos e elétricos, fundamental para o desenvolvimento das tecnologias de reprodução sonora.

Os dispositivos eletroacústicos compreendem uma ampla variedade de equipamentos e tecnologias projetados para captar, reproduzir ou processar som. Isso inclui uma ampla gama de tecnologias e equipamentos usados em sistemas de áudio, desde microfones e colunas até sistemas de gravação e processamento de áudio. Para falar de energia precisamos perceber que um transdutor é um dispositivo que converte diferentes tipos de energia. Esses dispositivos desempenham um papel essencial na conversão de sinais acústicos em elétricos e vice-versa, viabilizando a transmissão e o processamento do som em variados contextos.

“Em um transdutor eletroacústico associam-se as grandezas elétricas tensão e corrente elétrica as grandezas acústicas pressão e velocidade volúmica. A conversão eletroacústica passa quase sempre por uma etapa intermedia de tipo mecânica, e por essa razão, em qualquer transdutor existe um elemento movel chamado diafragma ao qual se podem associar as grandezas mecânicas força e velocidade.” (Henrique, 2002 p. 896)

Na reprodução ou monitoramento de áudio temos dois tipos comuns de transdutores: Os sistemas de transdução dinâmica e eletrostática.

Os **transdutores dinâmicos**, também conhecidos como colunas dinâmicas ou de bobina móvel, são os tipos mais comuns de colunas encontrados em sistemas de áudio. Funcionam convertendo sinais elétricos em movimento mecânico, criando assim ondas sonoras no ar. Uma coluna dinâmica típica consiste em uma bobina móvel suspensa em um campo magnético dentro de uma estrutura fixa (o gap magnético). Quando a corrente elétrica passa pela bobina móvel, ela se move para frente e para trás dentro do “gap magnético”, fazendo com que um diafragma conectado à bobina se mova, gerando som. Os alto-falantes dinâmicos são amplamente utilizados devido à sua eficiência, durabilidade e custo relativamente baixo.

“Os de bobina de móvel são os mais usados em microfones e colunas designados dinâmicos e consistem num diafragma preso a uma bobina que se move entre os polos de um íman.” (Henrique, 2002, p. 896) Como na figura abaixo:

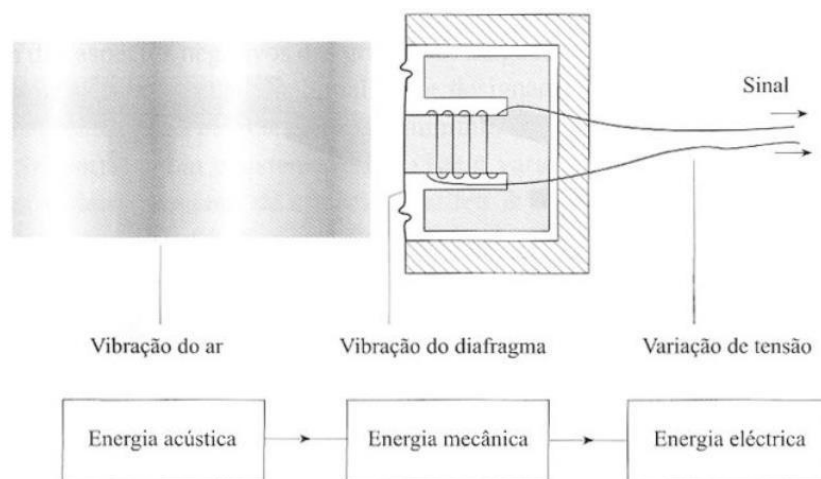


Figura 2: Conversão de energia acústica em energia mecânica e final em um sinal elétrico

(Fonte: Acústica musical, L. Henrique, 2002, p. 896)

Os **transdutores eletrostáticos**, por outro lado, usam um princípio diferente de operação. Eles funcionam com base no princípio da atração e repulsão elétrica entre placas carregadas eletricamente. Um transdutor eletrostático típico é composto por um filme fino esticado entre duas grades condutoras carregadas eletricamente, chamadas como placas estáticas. Quando um sinal de áudio é aplicado à essas placas, elas alternam entre atração e repulsão, fazendo com que o filme se mova para frente e para trás. Esse movimento gera as

ondas sonoras. Os altifalantes e microfones eletrostáticos são amplamente reconhecidos por sua alta-fidelidade e resposta precisa nas frequências, especialmente em frequências mais altas. Contudo, esses dispositivos são menos comuns e, geralmente, apresentam um custo mais elevado em comparação aos modelos dinâmicos.

Podemos dizer que ambos os tipos de transdutores têm aplicações em sistemas de reprodução, gravação e monitoramento de áudio, sendo escolhidos com base em considerações como fidelidade sonora desejada, resposta de frequência, eficiência, tamanho e orçamento disponível.

2.2. Mono & Estéreo

Antes dos sistemas de reprodução em estéreo aparecerem no mercado o áudio era gravado e reproduzido usando apenas um único canal de áudio o que significa que o som era emitido através de uma única coluna. Isso é o que atualmente chamamos de sistema de reprodução Monaural ou simplesmente mono.

Quando apareceu no mercado ao início do século XX, esses sistemas eram frequentemente encontrados em cinemas, rádios, sistemas de som de alta-fidelidade e fonógrafos.

“Monaural, monofônico ou Mono, é um sistema de gravação e reprodução de áudio onde todo o som é transmitido por meio de um único canal. Mesmo no caso de ter mais de um altifalante, ainda é considerado monaural se todas as colunas estão a produzir exatamente o mesmo sinal de áudio.” (Corey, 2010, p.17).

Os sistemas de reprodução monaural desempenharam um papel fundamental no avanço da tecnologia e no início da reprodução do som. Continuaram a ser utilizados até a década de 1960, quando a popularização da reprodução estereofônica começou a ganhar força. Até os dias de hoje, é possível encontrar sistemas de reprodução em mono, incluindo em algumas casas de dança e até mesmo festivais. No entanto, desde o surgimento da tecnologia estereofônica no mercado, esta se consolidou como o principal meio de reprodução musical.

A estereofonia acaba por oferecer ao consumidor uma experiência sonora mais ampla e realista em comparação ao mono, ao permitir a reprodução de som em dois canais separados.

Assim, criando uma sensação de espaço e maior separação entre os instrumentos, além de ser amplamente compatível com dispositivos e *players* de música disponíveis no mercado.

De acordo com Corey “Evoluindo a partir de sistemas mono, sistemas de reprodução de dois canais, ou estéreo, oferecem aos engenheiros de som maior liberdade em termos de localização da fonte sonora, panorâmica, largura e espaço. Estéreo é a configuração primária para reprodução de som, seja usando altifalantes ou auscultadores. Na figura abaixo ilustra a localização ideal do ouvinte e do altifalante para um sistema estéreo de dois canais.” (Corey, 2010, p. 18)

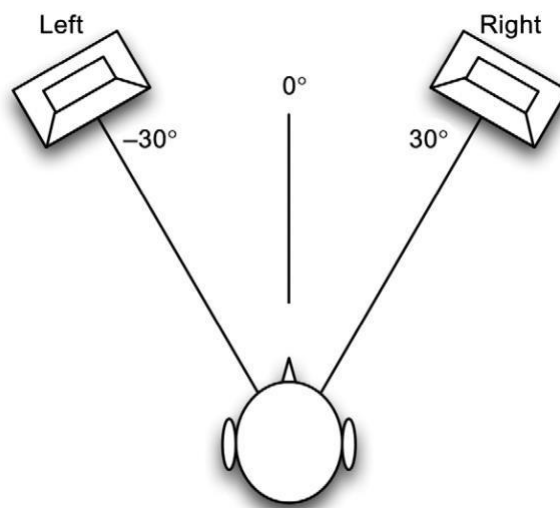


Figura 3: reprodução estereofônica.

(Fonte:Audio production and critical listening, Corey, 2010, p. 18)

Um artigo publicado pela VICE em 2020, Turk relata que, quando o estéreo foi inicialmente introduzido no mercado, não foi bem aceito. Segundo a autora de “O homem que inventou o estéreo”, a invenção de Blumlein só seria totalmente apreciada décadas depois da sua invenção.

“As primeiras gravações dos Beatles na década de 1960, por exemplo ainda estavam em mono. Perguntamos ao engenheiro de som Robert Alexander, que escreveu uma biografia de Blumlein, qual foi o impacto de sua invenção. “Na época foi muito pequeno” disse ele. Porque a maioria das pessoas em 1930 não podiam pagar por um altifalante, muito menos dois. Então

a EMI, que tinha sido responsável pela tecnologia deixo-a de lado. Esta voltou a ser descoberta em 1956.” (Turk, V. O homem que inventou o estéreo, VICE, 2020)

A introdução da estereofonia no mercado, embora atualmente muito bem-sucedida, como podemos ver enfrentou inicialmente diversas barreiras de aceitação. Como o preço, por se precisar de duas colunas, o estéreo era mais caro e bem menos acessível do que os sistemas monaurais.

Outro fator a considerar é que nos estágios iniciais ainda havia pouca disponibilidade de gravações em estéreo, e muitos sistemas de reprodução de áudio existentes eram monaurais. Isso significava que os consumidores tinham de investir em novos equipamentos estéreo para aproveitar plenamente as gravações estéreo disponíveis.

Inicialmente, alguns consumidores podem ter sido céticos quanto aos benefícios da reprodução estéreo, especialmente se estivessem satisfeitos com a qualidade de áudio dos sistemas monaurais existentes.

Com o tempo, no entanto, o hábito de escutar em estéreo foi se cristalizando por várias razões:

- a) Os sistemas estéreos oferecem uma experiência sonora mais envolvente, e com uma maior sensação de espaço e separação entre os instrumentos do que o mono.
- b) Com o passar dos anos à medida que a tecnologia estéreo se tornou mais amplamente adotada, houve um aumento na disponibilidade de gravações estéreo em vários formatos, incluindo vinil, fita cassete e posteriormente CD e o *streaming* no digital. Isso incentivou os consumidores a investir em sistemas estéreo para aproveitar plenamente essas gravações.
- c) Com o tempo, os fabricantes aprimoraram as tecnologias de reprodução estéreo, tornando-as mais acessíveis, confiáveis e de melhor qualidade. Isso ajudou a popularizar a reprodução estéreo entre um público mais amplo.
- d) Fabricantes de equipamentos de áudio e as gravadoras fizeram esforços para educar o público sobre os benefícios da reprodução estéreo e promover a adoção de sistemas estéreo. Isso incluiu campanhas publicitárias, demonstrações em lojas e eventos de áudio.

Concordamos que não foi da noite para o dia, mas com o tempo, o hábito de consumir música em estéreo se tornou amplamente aceite e difundido, tornando-se o padrão para a reprodução de música e áudio em casa, nos cinemas, concertos e em outros ambientes de entretenimento.

Mas afinal como definir o estéreo? No livro “*Living Stereo*” (2015) é citado uma referência de uma enciclopédia que define o estéreo como:

“Um sistema de gravação ou transmissão de som no qual os sinais são capturados, misturados ou sintetizados usando dois ou mais canais de áudio de forma a fornecer uma impressão auditiva espacial a um ouvinte quando esses canais de áudio são conectados a alto-falantes em uma sala de escuta.” (Brook e Ramsay apud Theberge, 2006, p. 3)

Após analisar algumas definições do estéreo em alguns dicionários optei por fazer um resumo do mesmo.

Em acústica e áudio profissional, estereofonia ou simplesmente estéreo (do grego, *steréos*: “sólido”, tridimensional”), é um sistema de reprodução do áudio para enriquecer a sensação sonora nos ouvintes e criar um ambiente mais realista de áudio, utilizando dois canais de som monaurais independentes (o direito e esquerdo) sincronizados no tempo. É o padrão de reprodução encontrado em vários formatos de mediatização, aparelhos de som de música de alta-fidelidade e, com uso recomendado nas misturas; porém vem sendo substituído nos cinemas e em algumas gravações musicais pelo áudio multicanal (surround e Dolby Atmos) que melhora a sensação sonora em salas de grandes dimensões.

Se olharmos para uma linha do tempo conseguimos perceber que a história do estéreo possui diferentes pontos de partidas a final estamos a falar de um fenómeno tecnológico e estético. Em 1881 Clement Ader apresentou um sistema stereo transmitindo uma Opera de Paris através de aparelhos telefónicos. Alguns anos depois na Inglaterra, o engenheiro da EMI Alan Blumlein além de ter patenteado a palavra, desenvolveu diversos conceitos inovadores para estereofonia moderna. Em paralelo nos anos 30, nos laboratórios da Bell já realizavam experimentos com sistemas em multi-pistas. Em meados de 1940 o som estéreo chegava ao cinema com o filme da Disney Fantasia. (Theberge, P. pag. 3) Com a redução dos preços dos dispositivos eletrônicos e o avanço da tecnologia de reprodução sonora nas décadas de 1950 e 1960, uma parcela significativa da população passou a ter acesso a aparelhos reprodutores de

som, permitindo que a música fosse incorporada ao cotidiano doméstico. Esse movimento resultou num expressivo "boom" na indústria fonográfica.

O continuo avanço da tecnologia entre 1960 e 1970, permitiram que novas técnicas de espacialização sonora fossem criadas, novos microfones e dispositivos sonoros mais sofisticados foram introduzidos no mercado, transformando os sistemas de som e influenciando a evolução de equipamentos de estúdio. Essa evolução proporcionou maior controle sobre o áudio estéreo. O desenvolvimento de mesas de som (consoles de mistura) foi um marco importante, permitindo a gravação individualizada de cada instrumento em canais separados, o que facilitou a criação de uma espacialização sonora detalhada dentro da imagem estéreo. Um fato curioso também mencionado no livro *Living the Stereo*, foi a importância de Edison realizar eventos promocionais para promover os seus fonogramas: “seus famosos “testes de tom” encenavam elaboradamente artistas ao vivo contra suas próprias gravações em uma tentativa de convencer o público da “fidelidade” da reprodução fonográfica (Thompson 1995 apud Theberge)”. O mesmo aconteceu com marcas de som Hi-Fi e discos de demonstração como um veículo fundamental para convencer os ouvintes de os efeitos espaciais superiores possíveis através do estéreo. As demonstrações também foram significativas na forma como “treinaram” o consumidor a adotar um novo modo de ouvir.

O autor recorda que, não há muito tempo, lemos anúncios de equipamentos de alta-fidelidade prometendo: "Ouça som ao vivo", "Transforme sua sala de estar em uma sala de concertos", "Reprodução de som realista", entre outras promessas de qualidade excepcional. De repente, somos informados de que a reprodução de música monofônica é antiquado, inferior e irreal, que a música estereofônica por si só é uma reprodução musical realista. No entanto, com o passar dos anos, a experiência de escutar som evoluiu ficando cada vez mais detalhada e imersiva para os ouvintes. A popularidade dos sistemas de surround, como o Dolby Atmos, é um exemplo dessa evolução. Os antigos *MP3 players*, a tecnologia de *streaming* e a popularidade dos auscultadores de ouvido sem fio também contribuíram para a evolução da forma como consumimos música. A música agora está acessível para qualquer lugar e a qualquer hora, graças a essas inovações tecnológicas.

Quando escutamos um sistema de reprodução em estéreo é preciso perceber a posição ideal para escuta. Principalmente em um ambiente de estúdio e para realização de misturas e masterização. A essa triangulação entre sistemas de reprodução estéreo e o ouvinte damos o nome de “sweet spot”.

O "sweet spot" na estereofonia refere-se a uma posição ideal em relação aos altifalantes onde a qualidade da reprodução de áudio é otimizada. É o ponto no espaço onde a separação estéreo, a resposta de frequência e a imagem sonora são mais equilibradas e envolventes.

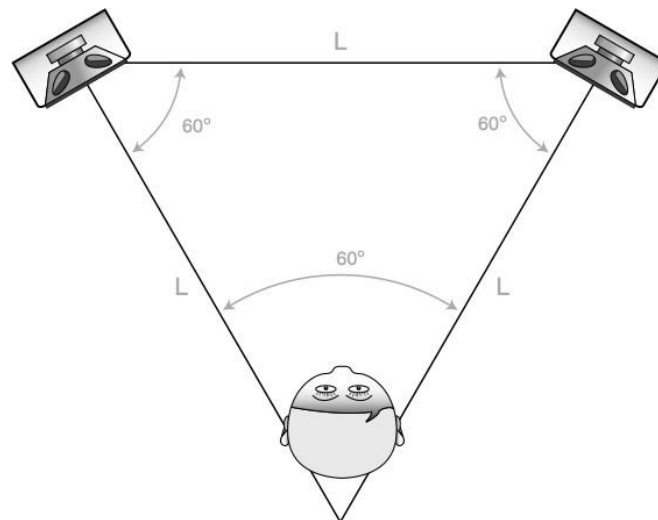


Figura 4: triangulação ideal e sweet spot (em estéreo) dentro do estúdio.

(Fonte: Mixing audio, Roey Izhaki, 2008, p. 89)

Quando você está no centro da sala (sweet spot), o som dos altifalantes esquerdo e direito se conjugam de forma coesa, criando uma sensação de palco sonoro tridimensional, onde você pode discernir claramente a localização dos diferentes instrumentos e vocais na mistura em estéreo.

Recentemente calibrei o posicionamento das minhas colunas dentro do meu estúdio utilizando o programa digital da Sonarworks. É essencial que as colunas estejam em distâncias simétricas em relação as paredes da sala. O sweet spot geralmente está localizado centralmente entre as colunas, formando uma triangulação entre colunas e o ouvinte (sweet spot). No entanto, a localização exata do sweet spot pode variar dependendo do layout da sala, da posição dos altifalantes e das características acústicas do ambiente.

Encontrar o sweet spot é importante para obter a melhor experiência de audição estéreo possível, garantindo que você esteja aproveitando ao máximo a qualidade do áudio e a imersão proporcionadas por uma mistura em estéreo.

Como podemos perceber, foram necessários anos de desenvolvimento para aprimorar a arte da mistura em estéreo, aperfeiçoar colunas, equipamentos e estúdios. Cristalizando os nossos hábitos de escuta. Assim, uma mudança repentina nesse processo não ocorre de um dia para o outro.

“O nosso sistema é de monitor estéreo. De repente, temos de expandir este sistema de monitorização para doze ou mais colunas” (Kagan, A. Sonarworks 2022)

Em resumo, pelas palavras de Buson (2020), conseguimos compreender que:

“O som estereofônico (de dois canais) foi desenvolvido desde a década de 1930. Com base na localização de soma, o som estereofônico recria a informação espacial dentro de um setor delimitado por dois altifalantes frontais, mas basicamente omite a informação espacial em outras direções.... O som estereofônico é simples, mas retém a informação mais significativa para a percepção auditiva frontal. Desde o final dos anos 1950 e início dos anos 1960, tem sido usado para reprodução de som doméstico, e até agora (2020), ainda é a técnica de som espacial mais popular. (Xie buson, 2020, p.402)

Se o estéreo é o ponto de encontro de vários canais de som, a reprodução estéreo também não se limita mais a apenas dois canais. Isto tem sido especialmente explorado já a alguns anos no setor de som para filmes onde os sistemas estereofônicos e *surround* proliferaram, empregando várias colunas em uma variedade de configurações e formatos.

2.3. Surround: Sistemas de Multicanal

O conceito de som surround, se desenvolve com a evolução da tecnologia que possibilita uma experiência sonora mais imersiva do que os sistemas anteriores como mono e o estéreo. Onde os sons podem vir de várias direções e não somente da frente do ouvinte. Tem suas raízes em diferentes campos, incluindo tecnologia de áudio, cinema e a psicoacústica.

Moylan (2002) descreve que a sensação de ouvir uma boa gravação em estéreo, pode nos transportar para o mesmo lugar de quando observamos uma performance ao vivo, permitindo que sejamos totalmente consumidos ou imersos na música. Já com o *“som surround”* podemos nos ver envolvidos pela música de uma maneira ainda mais intensa. Podemos estar rodeados pelo som, como se estivéssemos contidos no espaço da gravação.

Como Moylan (2002) afirma: “Agora o ouvinte pode ser envolvido pelo som (e torna-se parte do espaço da gravação) ou pode ser orientado pelas técnicas de produção para observar uma peça musical como um panorama sonoro de 360 graus.” (Moylan, 2002, p. 55).

A experiência de assistir a concertos ou performances ao vivo ao longo de nossas vidas, combinada com o hábito de escutar música em estéreo, consolidou a nossa percepção e apreciação por esse formato. Durante um concerto ou mesmo ao ouvir música em sistemas estéreo, a espacialidade é definida pela distância entre o ouvinte e os instrumentos, assim como pela disposição física dos próprios instrumentos no espaço. O som estéreo, por sua vez, baseia-se em um palco sonoro bidimensional criado entre duas colunas, fornecendo uma sensação de espacialização limitada ao eixo horizontal.

Com a introdução do som surround, a experiência auditiva é transformada: o ouvinte não apenas observa o som, mas sente-se imerso nele como se estivesse dentro da própria gravação. O surround cria um ambiente auditivo de 360 graus, envolvendo completamente o ouvinte em um campo sonoro tridimensional.

“Com um sistema de som multi-canal, podemos perceber uma maior liberdade para se direcionar um som dentro de um plano horizontal de 360 graus do que é possível com o estéreo.” (Corey, 2010, p. 22)

Na figura abaixo, é possível perceber a diferença na disposição e quantidade de colunas entre os formatos estéreo e surround, bem como a forma como cada configuração reproduz o som.



Figura 5: sistemas de reprodução de áudio

(Fonte: Audiodescrição, Percepção e simulação binaural, Felipe Borges, 2023, p. 17)

Quando o som é reproduzido por mais de duas colunas chamamos o sistema de reprodução de multi-canal, surround, ou mais especificamente indicando o número de canais como 5.1, 7.1 e 9.1. Os formatos de som surround variam nos métodos de reprodução e gravação, juntamente com o número e posicionamento de canais adicionais. O sistema surround 5.1 ficou famoso devido ao surgimento do DVD de década de 90, tornando-se o formato padrão para som surround. Ele consiste em três canais frontais (esquerda, direita e central), dois canais traseiros (surround) e um canal opcional para as frequências baixas, geralmente abaixo de 120hz.

“Em 1994, o 5.1 foi recomendado pela ITU (International telecommunication Union) como o standart para sistemas multi-canais. Desde 1990’s tem havido muitos trabalhos em som surround de 5.1 canais. Agora é amplamente utilizado em discos de vídeo digital (DVDs), cinemas domésticos e televisões digitais (TVs).” (Bosun,2020, p. 403)

Com o avanço da tecnologia especialmente na área de processamento de sinal digital e *hardware* de áudio, tornou-se possível criar sistemas de som surround cada vez mais sofisticados e acessíveis. Permitindo que o som surround fosse integrado não apenas em cinemas, mas também em sistemas de entretenimento doméstico, jogos de vídeo e outras aplicações.

Respeitando a mesma filosofia do estéreo com o som *surround* também é necessária uma posição ideal do ouvinte (*sweet spot*) onde os efeitos de áudio funcionam melhor e apresentam uma perspectiva fixa ou frontal do campo sonoro para o ouvinte neste local.

Hoje, o som *surround* é uma parte essencial de muitas experiências de entretenimento, oferecendo uma imersão auditiva que complementa a experiência visual e contribui para uma sensação mais realista e envolvente. Porém na música a tecnologia não teve muito sucesso, Corey (2010) confirma:

“Na música o áudio surround não ganhou muita popularidade e está longe de ser tão popular quanto ao estéreo. Por outro lado, para filmes, jogos, televisão e é claro nos cinemas são mais comuns.” (Corey, 2010, p. 20).

O desenvolvimento do som surround pode não ter ganhado popularidade como mencionado acima, porém foi crucial para estabelecer as fundações tecnológicas e criativas

que permitiram o avanço para sistemas de áudio mais sofisticados como o Dolby Atmos e a produção de som binaural, ambos fundamentais para a criação de experiências sonoras altamente imersivas e envolventes.

2.4. Imersividade e o som 3D

“O advento da gravação de áudio no século XIX levou ao desenvolvimento do som de dimensão zero (mono) e, mais tarde, de técnicas de reprodução unidimensional (estéreo) e bidimensional (quad e outros formatos surround). Devido à maior sensibilidade do sistema auditivo humano ao longo do plano horizontal, a tecnologia inicial focou-se compreensivelmente neste domínio. Nossa capacidade de sintetizar mecanicamente ambientes auditivos 3D completos é relativamente recente, em comparação com nossa longa história de modelagem de conteúdo sonoro e espaços de performance.” (Boren, B. 2018, p. 40).

Embora a expressão de Boren dimensão zero seja uma metáfora concordamos que o som mono representa um único ponto de origem sonora. O termo unidimensional pode ser explicado de forma mais clara como uma técnica que reproduz o som em um eixo horizontal. Já o termo bidimensional podemos simplificar e dizer que se refere à percepção de sons vindos de diferentes direções no plano horizontal. De fato apenas recentemente, em termos comparativos, conseguimos desenvolver técnicas que permitem a síntese completa de ambientes auditivos tridimensionais, refletindo o avanço na modelagem de espaços acústicos e no design sonoro.

A expressão *“Immersive audio”* ou em português, áudio imersivo, normalmente se refere a sistemas de som que vão além do plano horizontal incluindo um plano vertical com colunas ao teto ou até mesmo no chão. Rothermich (2021) resume:

“Áudio imersivo: outro termo genérico como áudio 3D que descreve um formato de áudio que produz uma experiência sonora tridimensional.” (Rothermich, 2021, p. 31)

O termo "áudio imersivo" tem se tornado um tema central, abrangendo diferentes formatos. A Apple utiliza o termo "áudio espacial" para descrever seu sistema imersivo, enquanto a Sony adota o "Sony 360" para referir-se ao seu formato. Por sua vez, a Dolby Labs emprega o termo "Dolby Atmos" para caracterizar seu formato de áudio imersivo.

“Em um sistema imersivo, temos colunas ao meu redor, então estou realmente recebendo vários pontos de fonte apontando o áudio para mim, então tenho instrumentação diferente e/ou conteúdo diferente vindo de ângulos diferentes, isso é mais imersivo. Todas as empresas estão apenas conseguindo uma maneira diferente de definir isso.” (Dave Raley, Adam Audio, 2023).

O áudio imersivo tem evoluído ao longo de décadas e a cada ano os avanços tecnológicos permitem a criação de experiências sonoras cada vez mais sofisticadas e envolventes. Diante das minhas pesquisas retiradas de diversos livros usados aqui para o estudo, mostrarei aqui uma reflexão geral da história da evolução do áudio imersivo ao longo do tempo:

A idéia de som surround começou a ser explorada no cinema durante as décadas de 1940 e 1950, mas em paralelo, pioneiros da música eletrônica já experimentavam o áudio imersivo como: Stockhausen, Pierre Schaeffer, Daphne Oram entre outros...O objetivo era criar uma experiência mais envolvente para os espectadores, levando a sistemas de altifalantes colocados ao redor da sala de cinema.

De acordo com a linha tempo do livro *Mixing in Dolby Atmos* (Rothermitch, 2021), na década de 1970, os sistemas de som quadrafônico foram introduzidos, utilizando quatro canais de áudio para proporcionar uma experiência mais espacial. No entanto, a falta de padronização e de conteúdo específico limitou a adoção generalizada dessa tecnologia.

Na década de 1980, a *Dolby Laboratories* lançou o sistema Dolby Surround, que rapidamente se tornou um padrão na indústria cinematográfica. Esse sistema permitiu a codificação de canais de áudio adicionais, aprimorando a imersão sonora e estabelecendo uma nova abordagem para reprodução de áudio multi-canal.

Com o surgimento de sistemas de home theater, os consumidores começaram a ter acesso a experiências de áudio mais imersivas em casa. O Dolby Digital e o DTS (Digital Theater Systems) se tornaram padrões para áudio surround em DVDs e, posteriormente, em formatos de transmissão.

A *Dolby Laboratories* lançou o *Dolby Atmos* em 2012, introduzindo uma abordagem mais objetiva ao áudio. Em vez de canais fixos, o Atmos permite que os engenheiros de som movam objetos sonoros em um espaço tridimensional, proporcionando uma experiência de áudio mais realista e envolvente.

Com o crescimento da realidade virtual (VR) e aumentada (AR), o áudio 3D tornou-se uma parte crucial da experiência. Empresas começaram a desenvolver tecnologias para criar trilhas sonoras que se adaptam aos movimentos do usuário, proporcionando uma sensação de presença mais realista.

Algumas plataformas de *streaming* de música, como *Apple Music*, *Amazon Music* e *TIDAL*, adotaram formatos de áudio tridimensionais, incluindo suporte ao Dolby Atmos. Isso permite que os ouvintes desfrutem de uma experiência mais envolvente ao ouvir músicas por meio de sistemas compatíveis. (fonte: Dolby, <https://www.dolby.com/es/experiencia/home-entertainment/articles/how-to-listen-to-music-in-dolby-atmos/>)

“Quando chegamos ao século XIX, a história do som 3D começa a estar cada vez mais ligada ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia modernas. Embora a pesquisa em acústica remonte à antiguidade (Lindsay, 1966), uma teoria rigorosa de localização sonora em 2D não seria apresentada até o final do século XIX e gradualmente refinada durante um século depois para dar conta da localização 3D (Strutt, 1875; Blauert, 1997; Kendall, 1995a). No entanto, como é frequentemente o caso, a tecnologia necessária para obter efeitos auditivos espaciais muitas vezes avançou muito antes de a ciência por trás do processo ser bem compreendida.” (Boren, 2012, p.49)

2.5. Dolby Atmos

O Dolby Atmos é uma tecnologia recente, resultado de um longo processo de evolução na reprodução do som. Antes de explorar detalhadamente os diversos conceitos técnicos relacionados com o Dolby Atmos, é essencial perceber que esta tecnologia não surgiu de forma repentina no mercado. Ela representa uma inovação que vem sendo desenvolvida ao longo de várias décadas e continua a ser aprimorada constantemente.

A relação entre o áudio imersivo e Dolby Atmos é profundamente interligada, pois este é uma tecnologia de áudio projetada especificamente para aumentar a imersão em ambientes de entretenimento como cinemas, lares e, mais recentemente, estúdios, dispositivos móveis e auscultadores. O Dolby Atmos vai além dos sistemas tradicionais de som surround ao adicionar uma dimensão vertical ao som, o que permite uma experiência auditiva mais rica e envolvente. Agora a reprodução do som não está mais sendo reproduzida em direção de uma coluna

específica, mas sim dentro de um espaço tridimensional (horizontal x vertical) na área de audição. Rothermich (2021) explica:

“Dolby Atmos é um formato de som imersivo. Isto é um dos mais importantes aspectos. Ao invés de estarmos posicionados cercados de colunas somente em um plano 2D em um sistema típico 5.1 ou 7.1, agora também temos o som emitido de cima. Isto significa que os ouvintes não estão apenas rodeados pelo som, eles estão imersos nele.” (Rothermich, 2021, p. 18).

Com a introdução do Dolby Atmos multicanal em 2012, o som Surround finalmente torna-se verdadeiramente imersivo. Desenvolvida pela Dolby Laboratories, a tecnologia de áudio foi projetada para oferecer uma experiência de áudio mais imersiva e tridimensional para os ouvintes, especialmente no contexto de filmes, música e jogos. Como afirma Owzinski (2022), *“Graças a um novo conjunto de ferramentas de produção digital e canais de altifalantes vindo de cima, as misturas são finalmente capazes de fornecer a experiência de áudio que as gerações anteriores não proporcionavam capaz de se aproximar”* (Owzinski, 2022, p. 87)

Os sistemas anteriores ao Dolby Atmos como surround ou estéreo são baseados em canais de áudio discretos, onde o som é distribuído entre colunas e canais específicos (por exemplo, canais frontais, traseiros, laterais, etc.).

O Dolby Atmos introduz o conceito de objetos de áudio. Em vez de atribuir sons a canais fixos, o áudio é tratado como objetos individuais que podem ser posicionados em qualquer lugar no espaço tridimensional. Isso permite uma experiência mais precisa e imersiva, onde os sons podem se mover livremente ao redor do ouvinte, criando uma sensação de ambiente mais realista.

Os sistemas anteriores geralmente não incluem canais de altura (verticais) ao teto por exemplo. Já no Dolby Atmos, uma das características mais distintivas é a adição de canais de altura. Além dos canais tradicionais (como frontal, traseiro, lateral), o Dolby Atmos inclui canais de teto ou altura, que permitem a reprodução de sons que parecem vir de cima, consequentemente criando uma experiência sonora mais envolvente e imersiva.

Sistemas anteriores, como o Dolby Surround e o Dolby Digital usam formatos de áudio comprimidos para armazenar e transmitir o áudio, como o Dolby Digital (também conhecido como AC-3). Já Dolby Atmos suporta uma variedade de formatos de áudio, incluindo formatos

de alta resolução e sem perdas, o que proporciona uma qualidade de som superior aos sistemas anteriores.

Em relação a flexibilidade de configurações o Dolby Atmos oferece maior flexibilidade na configuração do sistema de som. Ele pode ser implementado em uma ampla gama de configurações, desde sistemas de colunas convencionais até sistemas mais avançados com colunas dedicados para canais de altura e auscultadores.

Embora ofereçam alguma flexibilidade, os sistemas mais antigos podem ter limitações em termos de configuração e posicionamento de colunas.

A configuração mínima recomendada pela Dolby é o layout 7.1.4. (figura 6, abaixo) onde temos sete colunas em plano horizontal a volta do ouvinte, quatro colunas no teto e o LFE também conhecido como subwoofer. É claro que, quanto mais colunas melhor a experiência, porém é necessário um maior investimento e mais espaço dentro do estúdio. O máximo da configuração dentro dos estúdios de música pode chegar em 11.1.10 onde temos um total de 22 colunas. Para cinema o Dolby Atmos pode chegar até 64 colunas. (Rothermich, 2021, p. 103).

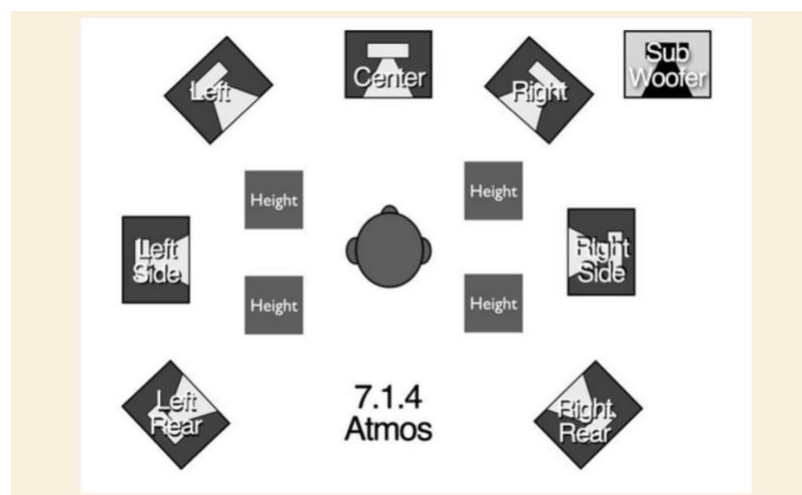


Figura 6: configuração de colunas para set up Dolby Atmos 7.1.4

(Fonte: *The mixing engineer's handbook 5th ed.*, B. Owzinski, 2022, p. 88)

O Dolby Atmos é amplamente reconhecido por sua capacidade de trabalhar com áudio baseado em objetos (*object-based audio*), permitindo uma espacialização mais precisa e

dinâmica. Além disso, a tecnologia também suporta áudio baseado em canais, conhecido como 'beds', oferecendo flexibilidade para diferentes abordagens de misturas.

Os canais de áudio dentro do software direcionados para aplicação Dolby Atmos Renderer são chamados de objetos porque eles não estão associados a nenhuma coluna em particular. (Rothermich, 2020).

Por exemplo, em uma mistura imersiva, uma chuva pode ser percebida como se estivesse caindo de cima, enquanto o som de um helicóptero pode simular o movimento de sobrevoar a cabeça do ouvinte.

Em configurações em estéreo ou surround, os sons são atribuídos a canais de saída fixos como L (esquerda), R (direita), C (centro), Ls (surround esquerda), Rs (surround direita), entre outros. No entanto, no formato da Dolby Atmos, baseado em objetos, cada canal pode ser tratado como um objeto individual, sendo posicionado de forma precisa dentro da DAW. A força do áudio baseado em objetos reside justamente nessa flexibilidade e personalização. Caso a mistura utilize apenas 'beds', a sessão de Atmos corre o risco de ser reduzida a um formato de multipistas tradicional, perdendo boa parte do potencial imersivo proporcionado pela tecnologia.

A mistura baseada em objetos no Dolby Atmos, permite que, em vez de utilizar o pan tradicional (movimento de panorama do áudio) para direcionar o áudio a colunas específicas, os objetos sonoros sejam posicionados dentro de um espaço tridimensional e não apenas em um espaço estéreo ou surround.

Agora com as ferramentas da Dolby, opções avançadas de controle de panorama estão disponíveis e é possível posicionar cada canal de áudio dentro de um plano tridimensional (XYZ). Esse posicionamento espacial, também conhecido como 'panorâmica do objeto', gera uma metadata que contém informações detalhadas sobre a localização do objeto no espaço tridimensional. Essa metadata, juntamente com o sinal de áudio correspondente, é enviada para o Dolby Atmos Renderer, que se encarrega de reproduzir o áudio de forma precisa e imersiva, respeitando a posição especificada. (Rothermich, 2020)

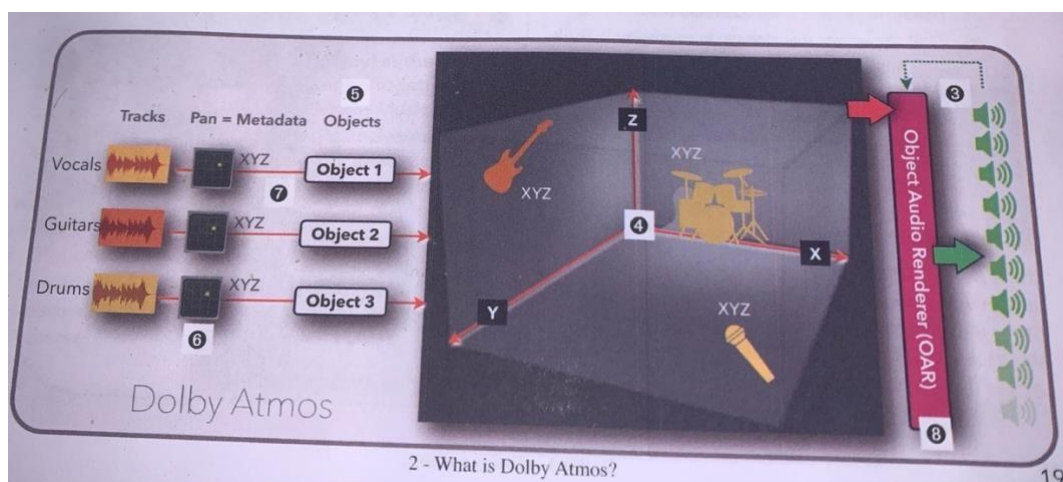


Figura 7: instrumentos transformados em objetos e caminho do sinal

(Fonte: *Mixing in Dolby Atmos #1 How it works*, Rothermich, 2020 p. 19)

Os softwares para produção musical Nuendo e Cubase da empresa alemã Steinberg foram as primeiras DAWs, a integrar o Dolby Atmos Renderer sem precisar de uma aplicação externa. Mas atualmente no mercado os principais programas de gravação e edição de música como Protools, Logic Pro, Ableton Live também possuem suporte.

Atualmente o Dolby Atmos é comumente usado em sistemas de estúdio, *home theater*, *soundbars* e sistemas de som em cinemas. Mas também pode ser encontrado em alguns dispositivos móveis, auscultadores e consoles de jogos. Para experimentar o Dolby Atmos, é essencial dispor de equipamentos de áudio compatíveis com esta tecnologia, bem como de conteúdo sonoro especificamente produzido, misturado ou codificado no formato Dolby Atmos.

De acordo com as minhas pesquisas os principais serviços de *streaming* no momento a oferecer suporte a reprodução de faixas em Dolby Atmos são: **Apple music** (que começou a oferecer faixas com suporte para Dolby Atmos em 2021), **Tidal** e o **Amazon music**.

Depois desta análise entre estéreo, surround e o Dolby podemos dizer que as duas principais razões para o fracasso de todos os formatos de música além da configuração em estéreo são: custo e espaço. Quanto mais colunas você precisar, mais caro ele ficará e mais espaço você precisará em sua sala para configurá-los (corretamente).

Então por que o Dolby Atmos não está condenado e morto na chegada quando requer ainda mais colunas do que áudio Quadra fônico e áudio DVD (5.1)? A resposta é o Binaural e a virtualização de colunas.

“No Dolby Atmos, ao ouvir com auscultadores você não está apenas entrando em um território mais complexo, esta pode até ser a chave para o sucesso da música Dolby Atmos e o molho mágico é o “Áudio Binaural”. Esta não é uma tecnologia nova e existe desde 1930. Mas agora, com pesquisa e tecnologia avançadas, o 3D envolvente do Dolby Atmos pode ser experimentado apenas com um par de fones de ouvido ou com seus próprios auscultadores.” (Rothermich, 2021, p. 57)

2.6. Tecnologia Binaural

No processo de gravação de áudio, a experiência Binaural é obtida por meio de uma técnica que utiliza dois microfones posicionados com a mesma distância de separação de uma cabeça humana, simulando a localização natural dos nossos ouvidos. Essa configuração permite capturar com precisão as diferenças de tempo (ITD - *Interaural Time Difference*) e de intensidade (ILD - *Interaural Level Difference*) do som que chega aos ouvidos esquerdo e direito, proporcionando uma reprodução auditiva tridimensional mais fiel à percepção humana.

Quando criamos uma gravação binaural, o objetivo é capturar não apenas o som em si, mas também as informações de localização espacial que ocorrem naturalmente quando ouvimos sons no mundo real. Isso inclui a localização dos objetos sonoros em relação ao ouvinte, a distância dos objetos e as características do ambiente, como reverberação e reflexões sonoras. Por isso começamos o capítulo a falar sobre reflexão sonora.

“O áudio binaural é uma tecnologia baseada na psicoacústica e na matemática que tenta simular a habilidade de se escutar o som 3D. A escuta 3D tem haver como nós humanos recebemos o som no ouvido esquerdo e direito e como nosso cérebro reage para localizar da onde o som vem analisando as diferenças sônicas da chegada do som no ouvido esquerdo ou direito.” (Rothermich, 2021, p. 22).

Ao reproduzir uma gravação Binaural, como por meio de auscultadores, o ouvinte experimenta uma sensação de imersão sonora, pois os sons são percebidos como se estivessem

vindos de diferentes direções e distâncias, criando uma sensação de espaço tridimensional ao redor do ouvinte. Exatamente como nós humanos percebemos o som.

Nas palavras de Nuno Fonseca (2020) a reprodução do som 3D usando auscultadores é chamada áudio Binaural e você simplesmente só precisa de auscultadores normais.

“Posso estar em um cinema Dolby Atmos totalmente instalado, cercado por 64 altifalantes, ouvindo uma experiência sonora fantástica, mas no final, meu cérebro está ouvindo apenas dois sinais de áudio: meus ouvidos esquerdo e direito. Como tal, deveria ser possível reproduzir uma experiência de som totalmente 3D usando auscultadores, desde que meus ouvidos continuassem a ouvir exatamente os mesmos sinais como se eu estivesse em uma sala cheia de altifalantes.” (Fonseca, 2020, p. 28)

Uma das grandes vantagens da reprodução em Dolby Atmos comparado a sistemas anteriores é o seu poder de se adaptar as massas, sendo possível a reprodução do som imersivo por meio de auscultadores. Isto é chamada de áudio Binaural e inicialmente não requer nenhum tipo especial de auscultador, sendo uma ferramenta viável e fundamental para quem trabalha ou tem curiosidade com som imersivo.

Há quem diga que o áudio Binaural é uma das principais chaves de sucesso para o Dolby Atmos se tornar um padrão em estúdios de misturas caseiros (*home studios*). Mas porquê?

Vamos analisar o porquê pelas palavras de Rothermich, *“A reviravolta interessante é que os estúdios caseiros sempre tiveram uma desvantagem em relação aos estúdios comerciais porque não tinham monitoração e acústica de sala adequados. Com o Dolby Atmos, eles não precisam competir com um sistema profissional 7.1.4 (que tem um alto custo financeiro) e, em vez disso, podem misturar com os mesmos auscultadores em áudio binaural que o consumidor final está ouvindo.”* (Rothermich, 2021, p. 243)

Pesquisas na internet afirmam que a maior parte das pessoas atualmente consomem música via auscultadores. Por isso a idéia do áudio binaural ser uma vantagem em relação a tecnologias anteriores. Vamos rever e comparar algumas das principais diferenças entre a estereofonia versus a binauralidade

Na música estereofônica, o áudio é reproduzido usando dois canais de áudio distintos (esquerdo e direito).

A reprodução estereofônica envolve a utilização de colunas (ou auscultadores), com cada coluna reproduzindo o áudio de um dos canais. Isso cria uma sensação de separação entre os canais esquerdo e direito, proporcionando uma experiência espacial, onde instrumentos e sons podem ser posicionados entre esses dois canais, esquerdo e direito e no centro.

Até os dias de hoje a música estereofônica ainda é a mais comum no mercado e amplamente utilizada em gravações musicais e sistemas de reprodução de áudio.

A música Binaural pode ter sido gravada usando técnicas especiais de micagem que tentam simular a audição humana. Isso geralmente envolve a colocação de microfones nos ouvidos de um manequim ou em uma pessoa usando um par de auscultadores especiais. Mas também já é possível transformar uma mistura em estéreo agora em Binaural, assim como foi feito aqui para o trabalho, diretamente dentro da DAW ou até mesmo utilizando *plug ins* que convertem sinais sonoros em estéreo para Binaural como o DearVR. Estes simuladores também conhecidos como “binaural panning” convertem qualquer sinal sonoro em estéreo Binaural com a opção de adicionar reverb. (Borges, 2023)

A gravação e mistura são feitas de forma que os sons reproduzidos correspondam à forma como o ouvido humano percebe os sons na vida real, criando uma experiência sonora mais realista e imersiva (360 graus). A música Binaural pode fornecer uma sensação de localização mais precisa dos sons, apresentar maior espaço, ter uma mais definição entre os instrumentos e é claro proporcionar uma experiência mais envolvente.

Resumindo, enquanto a música em estereofonia oferece uma separação espacial entre os canais esquerdo e direito, a música Binaural busca simular a experiência de escuta natural, capturando a forma como o som é percebido pelos ouvidos humanos. A música Binaural, portanto, tende a fornecer uma experiência mais imersiva e realista quando ouvida com auscultadores, mas sua eficácia pode variar dependendo da qualidade da gravação e da capacidade dos ouvintes de discernir os detalhes espaciais do áudio.

Mas porque será que apenas conseguimos escutar a música binaural via auscultadores?

O auscultador garante que cada orelha receba apenas o som destinado a ela, sem interferência de outro canal. Com colunas, o som de um falante sempre chega a ambos os ouvidos com pequenos atrasos e mudança de frequência. Esse “crossfeed” destrói a precisão das pistas binaurais (ILD, ITD), reduzindo o efeito espacial. Também temos a cabeça como uma barreira natural e as orelhas que filtram o som de diferentes direções (efeito HRTF). O

áudio binaural já contém essas informações espacializadas. Com alto falantes, o som pode ser refletido pelas paredes e misturado, alterando essas pistas naturais.

Para entendermos a experiência Binaural precisamos entender como funciona a relação entre anatomia do ouvido, localização espacial do som e a percepção do som (o nosso cérebro). A fisiologia humana desempenha um papel fundamental na percepção da localização espacial do som. Os ouvidos humanos estão posicionados em lados opostos da cabeça, o que cria diferenças sutis na forma como o som chega a cada ouvido. Essas diferenças incluem a diferença de tempo (intensidade) e a diferença de intensidade (volume) entre os sons que chegam a cada ouvido. Essas discrepâncias são usadas pelo cérebro para determinar a localização espacial dos sons.

3. Psicoacústica

O som está por toda a parte na natureza, na cidade, na arte... e é através dele que nos comunicamos, percebemos o perigo, notamos ruídos ou até mesmo relaxamos ao ouvir uma boa música.

Além dos princípios básicos que analisamos no capítulo anterior sobre a acústica, agora, é necessário entender alguns princípios da psicoacústica, a ciência que estuda como percebemos o som e a maneira como o ouvido e o cérebro humano o processa. Ela combina princípios da psicologia e da acústica para entender como as pessoas percebem e recebem estímulos sonoros. Abrange uma variedade de tópicos incluindo a teoria da audição, percepção de *pitch* e timbre, localização espacial, duração dos sons, intensidade, mascaramento auditivo, entre outros. Ela explora não só fatores psicológicos como também fisionômicos do indivíduo. Pode ser aplicada na engenharia de som, design de som, música, medicina, na área da comunicação e tecnologia.

Antes de analisarmos como o ouvido e o cérebro percebem o som é necessário explorar mais algumas características do som. O som é uma forma de energia que se propaga através de meios materiais, como ar, água ou sólidos, na forma de ondas sonoras. Essas ondas são produzidas por vibrações de fontes sonoras, como instrumentos musicais, vozes humanas, veículos em movimento, entre outros.

Podemos afirmar que as ondas sonoras consistem em variações de pressão que se propagam pelo ar e outros meios, e são percebidas pelo sistema auditivo humano. Quando uma fonte sonora vibra, ela cria flutuações na pressão do ar ao seu redor. Essas flutuações de pressão propagam-se como uma onda sonora através do ar, alcançando os nossos ouvidos e sendo interpretadas pelo cérebro como som.

“O som é transmitido pelo ar por moléculas que vibram em determinadas frequências, as quais bombardeiam o tímpano, fazendo-o oscilar de acordo que é atingido (relacionado ao volume ou amplitude do som) e com a rapidez de sua vibração (relacionado ao que chamamos de altura). Mas nada nessa molécula informa ao tímpano de onde procedem ou a quais objetos estão associadas.” (Levitin, 2010, p. 117)

Vamos explorar quatro características e conceitos fundamentais do som, que servirão como base para a compreensão do capítulo seguinte:

O *pitch* de um instrumento ou frequência que ele é tocado pode traduzir-se o número de vezes que uma onda sonora completa um ciclo de compressão e rarefação por segundo, medida em Hertz (Hz). A frequência está relacionada à percepção do tom, onde sons de frequências mais altas são percebidos como mais agudos e sons de frequências mais baixas são percebidos como mais graves. Os intervalos entre determinados tons (*pitches*) permite-nos montar escalas e harmonizar a música.

Moylan simplifica, *“Pitch é a percepção da frequência da forma de onda”* (Moylan, 2002, p. 16)

Altura (*Loudness*, em inglês) ou amplitude refere-se à magnitude das oscilações de pressão de uma onda sonora. A amplitude está relacionada com a percepção de volume, onde sons com maior amplitude são percebidos como mais altos e sons com menor amplitude são percebidos como mais suaves. Com uma escala chamada *Db's* conseguimos perceber e medir o quão alto um som está.

“Loudness é a percepção da excursão geral da forma de onda (amplitude). A amplitude pode ser medida fisicamente como um nível de pressão sonora. Na percepção, o nível de intensidade não pode ser percebido com precisão em níveis discretos.” (Moylan, 2002, p. 17)

Já sabemos que o ouvido humano percebe o som entre 20HZ a 20.000HZ, mas nem todas as frequências são percebidas por nós com a mesma intensidade. Certas frequências como

as baixas precisam de mais intensidade (ou amplitude) para serem percebidas em relação a outras como mostrado na figura abaixo.

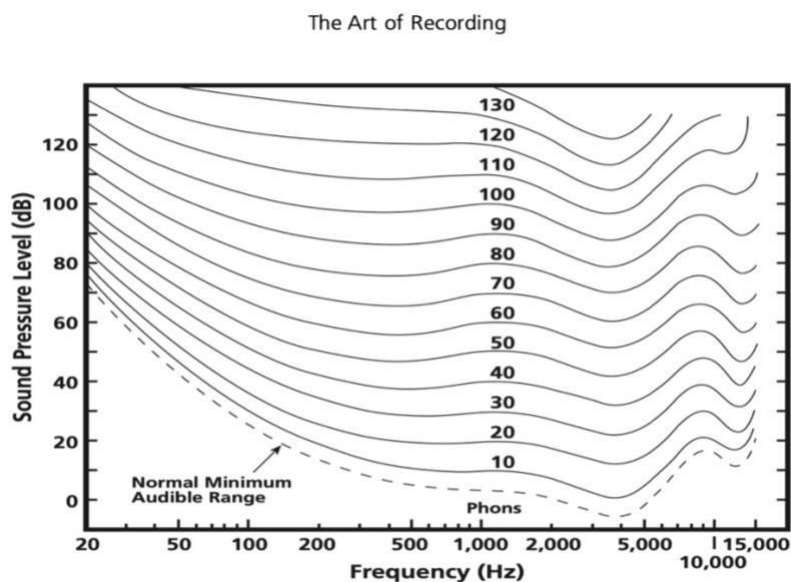


Figura 8: pressão sonora em relação a frequência

(Fonte: *The Art of recording*, Moylan, 2002, p. 18)

“Somos sensíveis apenas a uma parte do espectro do sinal sonoro chamada faixa auditiva. Para um ouvinte jovem e saudável, essa faixa é de aproximadamente 20 Hz a 20 kHz. Podemos ouvir o som vindo literalmente de todos os lugares ao nosso redor, desde que chegue até nós com intensidade suficiente.” (André, 2013, p. 13)

O tempo da música também chamado de **BPM**, está relacionado a duração e a métrica da faixa. Mas também temos a duração de cada som e as suas repetições dentro de um determinado tempo. Essas pausas e repetições criam ritmo.

“Na música, o ouvinte lembra-se dos valores relativos de duração de sons sucessivos, num processo semelhante ao de perceber intervalos de altura melódica. Essas durações sucessivas criam um ritmo musical. O ouvinte calcula o intervalo de tempo entre o início e o término de um som, em relação ao que o precede, ao que o segue, ao que ocorre simultaneamente com ele e ao que é conhecido (o que foi lembrado). Em vez de calcular um intervalo de altura (pitch), o ouvinte passa a calcular um intervalo de tempo, como um valor de duração.” (Moylan, 2002, p.20)

Em um contexto musical, o BPM determina o tempo da música, ajudando o ouvinte a perceber os intervalos de tempo entre os sons, algo que é descrito no trecho de Moylan (2002). O ouvinte, ao calcular os intervalos de tempo entre sons sucessivos, está, em certo sentido, processando os BPMs da música, ou a velocidade do ritmo.

O conceito de **Timbre**, é de grande importância para qualquer um que trabalhe com áudio, principalmente, um engenheiro de mistura. Através dele é possível distinguir diferentes instrumentos ou vozes, a qualidade tonal ou coloração única de um som, que permite distinguir as diferentes fontes sonoras, mesmo quando estas produzem sons da mesma frequência fundamental e amplitude. Compreender o timbre ajuda o engenheiro a equilibrar os diferentes elementos da mistura, isso inclui ajustar volumes, equalização (EQ) e outros parâmetros para garantir que os timbres dos instrumentos e vozes se complementam, criando uma mistura coesa e agradável. É possível identificar e corrigir problemas ao manipular o timbre de um instrumento ou voz. Um bom exemplo para ajudar a compreender esta definição, é manipular o som da guitarra de uma banda de punk rock para o som de uma guitarra para música blues. Na música eletrônica, existem as famosas baterias eletrônicas da Roland, a TR 808, que ajudou a moldar a música *House* e a TR 909, a música *Techno*. Na música não existem regras, no entanto, certos timbres ajudam a fortificar certos gêneros. Diferentes gêneros e estilos musicais têm características de timbre distintas. Um engenheiro de mistura deve entender essas nuances para criar misturas que sejam autênticas e fiéis ao estilo musical desejado. Além disso, a manipulação criativa do timbre pode levar a sons inovadores e únicos.

“Um som musical é um sinal que contém um grande número de informação, da qual o nosso ouvido tem a capacidade de extrair seletivamente a que lhe interessa. Além da frequência, sensação de intensidade e timbre, detetamos também (Meyer, 1978): se o som é liso ou com vibrato, alterações de intensidade ou timbre (a sua evolução no tempo) tipo de ataque, apreciação do som como um todo musical e reconhecimento do instrumento, o tamanho e as características da sala onde o som é produzido.” (Henrique, 2002, p. 175)

O som desempenha um papel crucial em diversas áreas da vida humana, incluindo comunicação, música, entretenimento, medicina (como ultrassonografia), engenharia (sonar e ultrassom), entre muitos outros campos.

A relação entre a psicoacústica e a propagação do som reside no facto de que a maneira como o som se propaga influencia diretamente a forma como ele é percebido pelos ouvintes. Por exemplo, a maneira como as ondas sonoras se refletem nas superfícies de uma sala pode afetar a qualidade do som que chega aos ouvidos das pessoas dentro dela. Compreender os princípios da propagação do som é essencial para projetar ambientes onde a psicoacústica seja favorável, proporcionando uma experiência auditiva agradável e eficaz.

A psicoacústica também explora fenómenos como o mascaramento auditivo, que é a capacidade que um som tem de ofuscar a percepção de um som mais fraco.

Exemplo: Estamos na rua e notamos um alarme a uma certa distancia a soar forte, mas de repente um carro passa muito rápido ao nosso lado, gerando um barulho enorme que consequentemente ofusca o sinal do alarme.

Este é um exemplo do dia a dia, mas que dentro do processo da mistura é muito usado quando a intenção é ter mais clareza ou limpar uma certa área do espectro que pode estar mascarada, permitindo maior espaço entre os instrumentos ou voz.

3.1. Efeito de Mascaramento

Na década de 40, o cientista dos laboratórios da Bell, Harvey Fletcher, estudou um efeito conhecido por “*masking tones*”, realizando uma serie de testes envolvendo gerados de sinais e ruídos.

Ele percebeu que sons mais altos poderiam impedir a deteção (ou mascarar) sons mais fracos quando estimulassem as mesmas bandas críticas. Fletcher tentou medir larguras de bandas críticas em várias frequências centrais usando ruído para mascarar sinais tonais. (Warren, 2008, p. 72)

O efeito de mascaramento (ou "masking effect") é um fenómeno da psicoacústica no qual ocorre devido à maneira como o sistema auditivo humano processa diferentes frequências sonoras e como ele lida com a competição entre sons.

Pode-se dizer que existem dois tipos principais de mascaramento:

Mascaramento temporal: Este tipo de mascaramento ocorre quando um som é mascarado por um som mais intenso que ocorre em um intervalo de tempo próximo. Por exemplo, se um som mais fraco é apresentado imediatamente antes ou depois de um som mais

alto, é provável que o som mais fraco não seja percebido tão claramente ou mesmo completamente mascarado pelo som mais alto. Isso ocorre porque as células ciliadas do ouvido interno podem levar algum tempo para se recuperar da excitação causada pelo som mais intenso.

Mascaramento espectral: Este tipo de mascaramento envolve a competição entre sons em diferentes frequências. Um som em uma determinada faixa de frequência pode mascarar ou obscurecer a percepção de um som em uma frequência próxima. Por exemplo, um som de alta frequência pode mascarar um som de baixa frequência se ambos estiverem presentes ao mesmo tempo.

O efeito de mascaramento é frequentemente levado em consideração em aplicações práticas, como na compressão de áudio digital, onde os sons menos perceptíveis são eliminados para reduzir o tamanho do arquivo sem uma perda significativa na qualidade percebida. Além disso, entender o efeito de mascaramento é importante em design de salas acusticamente, no processo da mistura e masterização musical, na gravação de áudio para minimizar a sobreposição de sons que podem prejudicar a clareza e a inteligibilidade da escuta, na comunicação.

Dentro da mistura musical, o mascaramento pode ser visto como um “efeito subjetivo que o ouvido humano apresenta no qual a presença de um som nos impede de ouvir um outro. Quando uma certa componente de frequências tem volume alto, o ouvido é incapaz de ouvir as frequências próximas a ela que estejam com volume menor. O fenômeno é tão mais intenso quanto maior a diferença de volume e menor a distância entre as frequências. Um efeito típico é a frase “quando aumento a guitarra o piano some” ou vice-versa. Embora seja um problema comum em misturas, pode ser usado em nosso benefício. Nos tempos da fita analógica podemos usar o mascaramento gravando um chocalho em trechos mais vazios da música para encobrir o chiado da fita.” (Henriques, 2007, p. 33)

3.2. Ouvido Humano e audição Binaural

A audição espacial é predominante horizontal, pois as nossas orelhas estão localizadas no mesmo nível lateral. A verticalidade na audição espacial é percebida principalmente de (uma mudança na) cor do som, timbre ou volume. Além dos fatores externos de como percebemos o som também contamos com fatores fisiológicos. (Blauert, 1997)

“O órgão de corti da cóclea converte ondas sonoras em impulsos nervosos eletroquímicos. Isto implica que o que parecemos ouvir é na verdade o resultado de uma transdução que ocorre no ouvido interno, e que existe um limiar fisiológico notável entre a nossa ecologia auditiva e a nossa percepção dela”. (Schelvis,2020, p. 35)

Na figura abaixo podemos perceber como funciona as diferentes partes do nosso canal auditivo: o exterior, central e interior

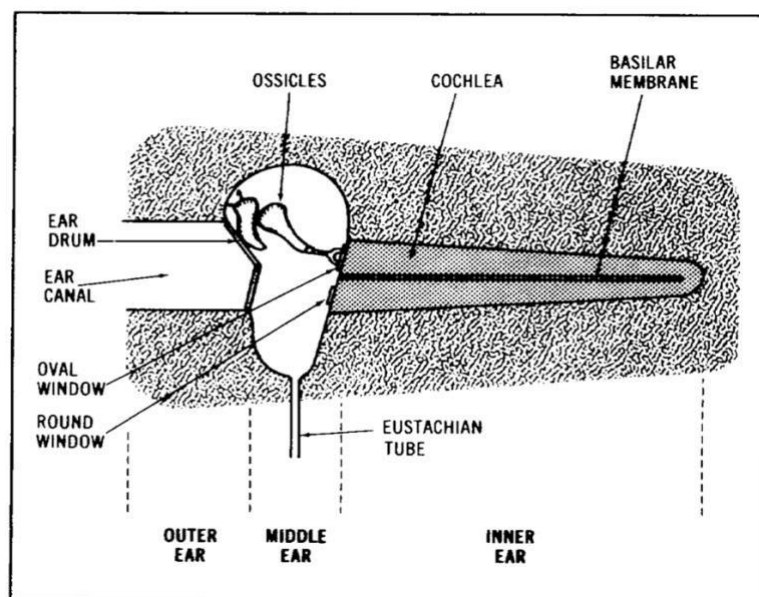


Figura 9: canal do ouvido

(Fonte: Handbook for sound engineers, Ballou, 2005, p. 25)

De acordo com o livro de Ballou (2005) o som é captado pelo ouvido externo chamado de Pina e dirigido ao canal auditório, até a membrana timpânica (*eardrum*). Todas essas partes são consideradas o ouvido externo. Como na figura acima. No ouvido médio, encontramos três ossículos, popularmente chamados de martelo, bigorna e estribo que nos ajudam a ajustar a amplitude das vibrações do ar, permitindo uma transmissão eficiente para o ouvido interno. Essa região é preenchida de ar, cuja regulação e saída ocorrem através da tuba auditiva também chamada de tromba de Eustáquio. No ouvido interno, essas vibrações mecânicas são convertidas em sinais eletroquímicos, os quais são transmitidos ao cérebro, permitindo a percepção auditiva.

No livro “A música no seu cérebro” (Levitin, 2010), o autor explora como diferentes áreas do cérebro, como córtex auditivo, córtex pré-frontal, cerebelo, hipocampo, estão envolvidas em distintas percepções musicais, mas também a diversos fatores psicológicos, fisiológicos, neurológicos.

Podemos ver quantos diferentes campos estudam a psicoacústica e perceber que o som é influenciado primeiro pelo contexto ambiental (de um espaço) e depois pelo sistema auditivo.

O campo da psicoacústica Binaural, explora como nós humanos percebemos a direção, distância, elevação e largura dos sons por meio de subtis disparidades de intensidade, tempo de chegada e frequência entre os ouvidos. Essas diferenças, comumente referidas com termo "indícios binaurais", desempenham um papel fundamental na percepção da espacialidade do som.

Quando ouvimos uma buzina de um carro, por exemplo, as moléculas de ar que atingem o tímpano fazem com que sinais elétricos sejam enviados ao córtex auditivo, desencadeando uma série de fenômenos que ativam um conjunto de neurônios completamente distintos daqueles envolvidos quando tropeçamos. Como já vimos, os neurônios do córtex auditivo processam a altura do som. Outro grupo de neurônios é ativado para determinar a localização. (Levitin, 2010 p. 105).

“Há 100 anos que se sabe que as principais pistas para a localização sonora, particularmente a localização esquerda-direita, são diferenças de tempo e nível nos ouvidos do ouvinte (a “teoria duplex” de Rayleigh, 1907). Esta teoria afirma que as frequências baixas são localizadas usando sinais de tempo (fase), e as altas frequências são localizadas usando sinais de nível interaural (intensidade), conforme apontado em Gardner W. G [4].” (Lessing, 2004, P. 8)

Ao longo de décadas de pesquisa, cientistas identificaram três fatores principais que o cérebro utiliza para localizar a origem dos sons ao nosso redor: a Diferença de Tempo Interaural (ITD), a Diferença de Nível Interaural (ILD) e a Função de Transferência Relacionada à Cabeça (HRTF). A seguir, vamos explorar a relevância de cada um desses componentes no processo de percepção espacial do som. (Adaptado de Rottermich, *Mixing with Dolby Atmos*).



Figura 10: localização especial

(Fonte: *All you need to know about 3d audio*, Fonseca, 2020 p. 28)

Já explorámos alguns conceitos técnicos de como o som Binaural funciona, agora precisamos entender como nós humanos percebemos a direção do som. Vamos usar a imagem acima como exemplo. Imagine um som vindo do seu lado direito, como na figura.

O som será mais alto no ouvido direito do que no esquerdo, sendo uma pista para o nosso cérebro perceber que o som vem do lado direito. Tecnicamente chamamos esse fenómeno de *Interaural level difference* (ILD).

3.3. Interaural level Difference (ILD)

ILD também pode ser chamado de *Interaural intensity Differences* (IID). São definidos como diferenças de níveis sonoros gerados entre o ouvido esquerdo e o direito. Lembre-se, o som está perdendo energia enquanto viaja por uma distância e mesmo viajando ao redor da sua cabeça é uma diferença de nível suficiente para o cérebro fazer suas contas. Claro, perder energia com a distância é mais um problema para as frequências mais altas. Por isso essa é a principal razão pela qual uma fonte de baixa frequência é mais difícil de se localizar.

Esse método de derivar ILD's foi constado por "Rayleigh" que observou que as ondas sonoras incidentes são difratadas pela cabeça. Como falamos, os ILD's são altamente dependentes das frequências altas. Em baixas frequências (abaixo de aproximadamente 1 kHz),

onde o comprimento de onda é longo em relação ao diâmetro da cabeça, quase não há diferença na pressão sonora nos dois ouvidos. Contudo, para frequências mais altas, onde o comprimento de onda é curto em relação ao diâmetro da cabeça (frequências superiores a cerca de 1,5 kHz), a cabeça funciona como um obstáculo, criando um efeito de “sombra” no lado contralateral. Este efeito de “sombra” aumenta com o aumento da frequência (ou seja, diminuindo o tamanho do comprimento de onda).” (Lessing, 2004, p. 8)

Em resumo, a intensidade do som pode variar entre os ouvidos. No caso de sons vindos de trás, a intensidade pode ser similar nos dois ouvidos, mas pequenas diferenças podem ocorrer devido à forma da cabeça e das orelhas. O cérebro também usa essas diferenças de intensidade para ajudar na localização do som.

Assim conseguimos identificar que o som chegará primeiro no ouvido direito e um pouco depois do ouvido esquerdo, dependendo da direção do som e tamanho da nossa cabeça. Essa diferença de tempo entre os dois ouvidos é chamado de *Interaural time difference* (ITD). O ILD e o ITD funcionam como pistas Binaurais e são formalmente conhecidos como teoria duplex de localização sonora. (Rayleigh, 1097).

“Quando expostos a um som e o diâmetro da onda sonora é menor que o diâmetro da cabeça a cabeça se transforma em um obstáculo para a propagação da onda e o nível de pressão na orelha contralateral é menor do que na orelha ipsilateral [Stewart, 1920b]. A diferença de nível interaural (ILD) resultante é uma dica importante para sinais contendo frequências acima de 1,5 kHz.” (André, 2013, p. 15)

3.4. Interaural Time Difference (ITD)

Se uma fonte de som não estiver posicionada exatamente a nossa frente, haverá uma pequena diferença de tempo ($4t$) quando o som chegar a orelha direita e a orelha esquerda porque o som tem que “viajar” em torno da nossa cabeça de um lado a outro.

Podemos dizer, que o ITD é o resultado dessa diferença entre o tempo que o som chega entre os nossos ouvidos. Esse pequeno intervalo de tempo é o suficiente para o cérebro interpretar isso como uma informação sobre a localização da fonte sonora.

Além da nossa cabeça as nossas orelhas também possuem pistas interaurais relevantes entre as orelhas ipsilaterais e contralaterais. O ouvido ipsilateral é o mais próximo da fonte

sonora; o som, portanto, chega primeiro e é maior em intensidade no ouvido ipsilateral. A orelha contralateral é a que está mais distante da fonte sonora, portanto o som chega mais tarde e com menor intensidade na orelha contralateral.

A localização de uma fonte sonora na dimensão horizontal (azimute) resulta da detecção de diferenças interaurais esquerda-direita no tempo de chegada e diferenças interaurais de intensidade nas duas orelhas (Middlebrooks & Green, 1991).” (Roginska and Geluso, pag 11)

“Na prática, o ITD é uma dica importante quando o sinal contém frequências abaixo de 1,5 kHz [Blauert, 1997]. Na verdade, em frequências acima de 1,5 kHz, não é possível extrair o azimute θ da diferença de fase entre os sinais sinusoidais nas orelhas esquerda e direita” (André, 2013, p. 14)

Hoje podemos encontrar diversos métodos para calcular as posições da fonte sonora e das pistas extraídas. Um método que tem sido bastante utilizado é criando um banco de dados de sinais binaurais medidos, ITDs e ILDs, e converter para coordenadas esféricas.

Porém isso não é tudo. Como conseguimos identificar essas diferenças se o som vem exatamente da nossa frente, de cima ou de trás? Nessas três situações, o som chega aos nossos ouvidos com o mesmo volume e ao mesmo tempo.

Conforme explicado por Lessing (2004) *“Essa filtragem espectral de uma fonte sonora antes que ela chegue ao tímpano é chamada de função de transferência relacionada à cabeça (HRTF). No domínio do tempo, esta função é denominada resposta ao impulso relacionada à cabeça (HRIR). O HRTF Binaural (terminologia para se referir aos HRTF’s da orelha esquerda e direita) pode ser pensado como uma amplitude dependente da frequência e diferença de atraso de tempo que resulta principalmente da formação complexa do pavilhão auricular.”* (Lessing, 2004, p. 11)

O nosso sistema auditivo também utiliza o movimento da cabeça para melhorar a precisão na localização do som. Ao mover a cabeça, mudamos a posição dos ouvidos em relação à fonte sonora, o que altera as diferenças de tempo e intensidade, ajudando a refinar nossa percepção direcional.

3.5. Head Related Transfer Function (HRTF)

Como já percebemos, a anatomia da cabeça e das orelhas desempenham um papel crucial na alteração das características acústicas do som gerando sombras acústicas que variam de acordo com a direção e a distância da fonte sonora. A forma única e cheia de dobras da nossa orelha externa modifica o som que entra no ouvido, dependendo da **direção vertical** e da **profundidade (frente/atrás)** de onde ele vem. Esse efeito é chamado de: Pistas espectrais (ou modulado pela pina). Por exemplo, quando um som vem de trás, a estrutura externa (da orelha) e a cabeça filtram as frequências de maneiras específicas. Essas alterações, chamadas de pistas espectrais, ajudam o cérebro a identificar a direção do som. Ou, quando um som vem de cima, ele é refletido e difratado pelas curvas da orelha de um jeito específico, alterando o espectro de frequências.

Esse conjunto de pistas é conhecido como: Função de transferência relacionada à cabeça (HRTF). O cérebro aprende seu próprio HRTF ao longo da vida, e é por isso que auscultadores com simulação espacial soam diferentes para cada pessoa — são baseados em um HRTF genérico.

As funções de transferência relacionadas a cabeça (HRTF) são definidas como um par de funções de transferência acústica normalizadas, que descrevem o comportamento do som de uma fonte pontual ao atingir as duas orelhas no campo livre, ou seja, sem a interferência de reflexões ambientais. Essas funções representam as respostas dos filtros acústicos da cabeça e das orelhas.

Geralmente um HRTF varia de função e frequência (F) e da posição da fonte sonora com relação ao centro da cabeça em termos de distância (RS), Azimute (θ), e elevação (QS). Com todas essas informações percebemos que, o HRTF é dependente do indivíduo devido as estruturas e dimensões anatômicas únicas de cada ser humano, que são denotadas por um conjunto de variáveis. (Bosun, 2020, p. 398).

Um desafio ainda comum é o de descobrir como o sistema auditivo combina as pistas individuais para determinar a localização do som. Em particular para responder como sistema auditivo executa algumas tarefas como: Combinar diferentes tipos de dicas, como ILDs e ITDs, a integração de informações ao longo do tempo, a integração de informações em relação à frequência, discriminar entre fontes simultâneas e lidar com os reflexos da sala.

A percepção de sons binaurais constitui um processo altamente complexo que integra diversas pistas auditivas para interpretação e localização espacial de fontes sonoras. O sistema nervoso central utiliza diferenças interaurais de tempo (ITD), diferenças interaurais de intensidade (ILD), características espectrais resultantes da filtragem pelo formato da orelha externa (pavilhão auricular), bem como pela interação com a cabeça e o torso para perceber e localizar a direção dos sons. Este processo exemplifica de forma notável como o sistema auditivo humano está adaptado para navegar e compreender o ambiente sonoro tridimensional.

É incrível pensar como o cérebro e a nossa percepção auditiva conseguem localizar e ainda assim distinguir sons dentro de um espaço. A localização da fonte sonora é frequentemente especificada em termos de azimuth, elevação e distância usando um sistema de coordenadas no qual um ouvinte voltado diretamente para a frente é definido como 0° azimuth e 0° elevação.

“Azimute é definido pelo ângulo (θ) entre a localização da fonte e o plano médio a 0° azimuth (projetado no plano horizontal) e elevação é o ângulo (δ) entre a localização da fonte e o plano horizontal a 0° de elevação (projetado no plano mediano).”

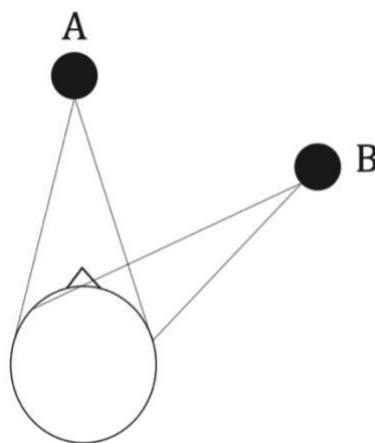


Figura 11: azimuth para localização da fonte sonora

(Fonte: Immersive Sound Production, Baxter, 2022 p. 13)

“Para localizar um som na dimensão vertical (elevação) e para resolver confusões frente-trás, o sistema auditivo depende da geometria detalhada das orelhas, fazendo com que

as ondas acústicas difratam e sofrem reflexões dependentes da direção.” (Blauert, 1997; Hofman & Van Opstal, 2003).

O conceito de azimuth vertical é um aspecto fundamental da audição espacial, desempenhando um papel crucial na percepção de sons provenientes de trás da cabeça. Ele permite ao cérebro humano determinar com precisão a localização de uma fonte sonora em um espaço tridimensional.

Azimuth: Tradicionalmente, refere-se ao ângulo horizontal em torno do observador, medido a partir de uma direção de referência (geralmente o Norte).

Azimuth Vertical (ou elevação): Refere-se ao ângulo vertical em relação ao plano horizontal. Mede a elevação ou depressão de uma fonte sonora em relação à altura dos ouvidos do observador. O azimuth vertical permite identificar se um som está vindo de cima, de baixo ou de uma posição intermédia.

Uma próxima pergunta seria, como conseguimos capturar todas essas medidas de um som direto que chega a uma cabeça humana.

De acordo com o livro “All you need to know about 3d audio” (Nuno Fonseca, 2020) podemos utilizar dois pequenos microfones colocados nos ouvidos de pessoas reais, uma cápsula em cada ouvido ou com microfones que emulam cabeças falsas (*Dummy Head*, como a figura abaixo), com ou sem tronco, com representações precisas das orelhas, e cápsulas de microfone localizadas na posição interna da orelha.



Figura 12: dummy head da empresa Neuman modelo, KU100

(fonte: <https://www.neumann.com/pt-br/products/microphones/ku-100>)

“Usando essas abordagens, os cientistas irão então capturar a resposta ao impulso esquerdo e direito de uma série de posições diferentes ao redor da cabeça. Com base nesses conjuntos de dados, os criadores de software podem criar plug-ins binaurais e software semelhante (mecanismos de áudio de jogos, etc.) para criar a ilusão de um som vindo de uma posição específica.” (Fonseca, 2020, p. 30)

O livro *Mixing in Dolby Atmos* aborda o assunto de forma acessível e direta, destacando pontos importantes sem complicar o entendimento.

Obstáculos: Temos diversos “objetos” no nosso corpo que estão no caminho do som até chegar aos nossos canais auditivos. Especificamente o tamanho e formato da nossa cabeça e o tamanho e formato da nossa orelha.

Frequência: todos aqueles objetos criam um diferente tipo de obstáculo para diferentes frequências gerando uma linha de frequência bastante desigual.

ângulo: se um som se move em volta da gente, irá bater em nossos ouvidos de diferentes ângulos, resultando em mudanças nas frequências.

Personalização: todas essas complexas diferenças de frequências é o que o cérebro treina durante anos para interpretá-las como informação de localização. O problema é que essa interpretação é otimizada para cada pessoa.

Após anos de estudos sobre os mecanismos de audição humana, engenheiros e cientistas aplicaram esse conhecimento para desenvolver a tecnologia de áudio Binaural.

3.6. A individualização do HRTF

O termo HRTF é frequentemente associado ao "HRIR" (Head-Related Impulse Response). Ambos descrevem as respostas de impulso específicas captadas por cada ouvido (esquerdo e direito), geralmente representadas em função de ângulos de azimute e elevação. O HRIR é uma medida que caracteriza a função de transferência completa e encapsula informações tanto de magnitude quanto de fase, sendo amplamente utilizado para simular propriedades espaciais e direcionais do som em aplicações de áudio tridimensional. Em síntese, enquanto o HRTF descreve a resposta em frequência da função de transferência, o HRIR

detalha a resposta no domínio do tempo, integrando informações sobre magnitude e fase. (Borges, 2023)

É importante lembrar que o som Binaural só resulta quando reproduzido com auscultadores. Podemos assim assumir que todos que possuem auscultadores conseguem reproduzir de forma realística um som 3D. Mas infelizmente não é assim.

Cada pessoa tem uma anatomia única – formato da cabeça, tamanho das orelhas e até a forma do canal auditivo (que afeta como o som é modificado antes de alcançar os tímpanos. Além dessas pequenas variações de pessoa a pessoa, cada cérebro gastou muitos anos escutando sons e interpretando diferenças que são de cada indivíduo.

Fonseca (2020) confirma: *“Se eu ouvir algum áudio binaural, que foi criado com um conjunto de dados HRTF capturado de outra pessoa, posso ter uma experiência excelente com um som 3D perfeito ou, por outro lado, o meu cérebro poderá enfrentar uma tarefa difícil, tentando interpretar informações conflitantes devido as diferenças fisiológicas entre mim e a pessoa original da HRTF.”* (Fonseca, 2020, p. 31)

Hoje temos algumas apps como o “Embodify” que permite a pessoa personalizar o HRTF de acordo com as suas próprias medidas. Com uma câmara fotográfica ele tira fotos da sua cabeça e faz medições personalizadas para uma melhor experiência na escuta do áudio Binaural. Recentemente a própria Dolby também lançou uma app onde é possível fazer essa personalização.

Um exemplo, também utilizado neste estudo, ocorre quando misturamos uma música em nosso software de escolha e ao fazer a codificação para reprodução Binaural, acabamos por usar um HRTF genérico desenvolvido pela Dolby.

Atualmente, há um movimento significativo na indústria que tenta criar maneiras não só de melhorar a experiência do ouvinte, mas também ampliar o seu consumo. Baseado em diversos testes e pesquisas, já existem grandes conjuntos de dados de HRTF (*data sets*) capazes de atender à maioria dos ouvintes. Esses HRTFs são pré-configuradas e padronizadas para proporcionar uma experiência de som imersivo média, otimizada para a maioria dos ouvintes, mas não ajustada a características fisiológicas individuais. (Blauert, 2013)

Isso significa que precisamos de uma certa forma personalizar o HRTF. Ou permitindo que o ouvinte escolha o melhor HRTF data set de alguém com uma fisionomia parecida com a

sua ou tendo acesso a um HRTF pessoal. Obviamente nem todo mundo tem acesso para capturar precisamente o seu próprio HRTF, mas como citamos acima, algumas empresas já estão oferecendo formas de personalizar o HRTF através de fotos, vídeos, e até 3D scans da cabeça do indivíduo.

O processo de gravação da individualização do HRTF envolve a captura das características acústicas únicas de um indivíduo para modelar como o som é filtrado pela cabeça, orelhas e torso antes de chegar aos tímpanos normalmente essa data é coletada em uma câmara anecoica. Onde pequenos microfones são inseridos no canal auditivo para capturar o som exatamente como ele chega aos ouvidos. A pessoa é posicionada em uma cadeira giratória e através de colunas posicionadas em diferentes ângulos são emitidos sons de teste (como impulsos e ruídos). Os microfones captam como os sons são modificados pela anatomia do indivíduo. Um conjunto de **HRTFs personalizadas** é gerado, representando como o som é alterado para diferentes direções. O HRTF individualizado pode ser implementado em sistemas de áudio 3D, fones de ouvido e motores de áudio para jogos e VR. O usuário pode testar a percepção espacial e comparar com modelos genéricos para verificar a melhora na precisão da localização sonora.

Em conclusão, é evidente que a individualização da HRTF melhora significativamente a percepção espacial, uma vez que modelos genéricos de HRTF, como aqueles baseados em médias populacionais, não conseguem captar as nuances anatômicas de cada indivíduo. Essa individualização do HRTF demonstra-se especialmente crucial em aplicações como; Realidade virtual (VR) e aumentada (AR), auscultadores para jogos imersivos, simuladores de aviação, tecnologias de audição assistida e experiências de audição Binaural.

Alguns fatores como custo e complexidade, algoritmos ainda limitados e compatibilidade com dispositivos de consumo ainda são um desafio para a individualização da HRTF. A pesquisa continua evoluindo a cada dia para tornar o processo de individualização da HRTF mais acessível, preciso e aplicável em tempo real. De acordo com as minhas pesquisas agora com a chegada da **inteligência artificial** e **machine learning** novas técnicas têm sido exploradas para prever HRTF's individualizados com base em dados físicos limitados, aumentando a viabilidade dessa tecnologia em um contexto comercial.

A personalização da HRTF é um campo promissor para o futuro do som 3D e pode se tornar um fator (agregador) importante no consumo de áudio Binaural na produção musical,

permitindo potencializar a experiência sonora. Com o rápido avanço da tecnologia, é desafiador prever exatamente onde estaremos em 10 ou 20 anos, mas é certo que essas inovações continuarão a transformar a forma como interagimos com o som.

4. Mistura Musical

A mistura é um dos temas centrais nesta tese. Em 2012 participei do meu primeiro curso dedicado ao tópico e nunca mais parei de estudar. Há cinco anos trabalho profissionalmente como engenheiro de mistura em músicas de outros artistas.

Já que vamos comparar a mesma música misturada em dois formatos diferentes precisamos entender como funciona o processo da mistura, algumas técnicas e ferramentas essenciais para se obter uma boa mistura. Já analisamos conceitos estéticos do som como timbre, ritmo, *pitch*, amplitude e espaço, agora vamos conhecer as ferramentas para manipulação desses parâmetros. Mas afinal o que é a mistura musical?

Na definição breve feita pelo engenheiro de mistura, Roey Izhaki;

“o processo no qual o material multipista – seja gravado, amostrado ou sintetizado – é balanceado, tratado e combinado em um formato multicanal, mais comumente de dois canais em estéreo. Mas uma definição menos técnica – que faz justiça à música – é que uma mistura é uma apresentação sonora de emoções, ideias criativas e performance.” (Izhaki, 2008, p. 23)

Resumindo de algumas referências podemos dizer que a mistura musical é o processo onde combinamos diversos instrumentos ou faixas de áudio em uma única faixa de áudio final. Esse processo nos permite criar uma versão final da música que soe mais equilibrada, coesa e agradável aos ouvidos. Durante a mistura, o engenheiro de som ajusta vários elementos, como volume, panorama, equalização, compressão, adiciona efeitos...O objetivo é criar uma gravação que tenha uma qualidade de som profissional e que transmita a intenção artística do artista ou produtor musical. A mistura desempenha um papel crucial na qualidade final de uma música e pode fazer a diferença entre uma faixa soar incrível e outra que soe desagradável

“Uma mistura pode e deve melhorar a música, seu humor, as emoções que ela acarreta e a resposta que deve provocar.” (Izhaki, 2008, p.4)

A capacidade de obter uma boa mistura é aprimorada ao longo de anos de prática, criatividade e domínio técnico, sendo um processo contínuo de desenvolvimento e refinamento. Considerando que cursos, faculdades especializadas em áudio e recursos educacionais disponíveis online são relativamente recentes, observa-se que, independentemente do conhecimento prévio, muitos dos grandes misturadores empregam consistentemente métodos particulares na execução da mistura musical.

Para ilustrar, consideremos o exemplo de um pintor. Para pintar uma tela em nível profissional, ele deve dominar certas técnicas, compreender o manuseio adequado das ferramentas e saber escolher quais delas são mais apropriadas para cada tipo de obra. Analogamente, na produção musical, é fundamental dispor de um conjunto básico de equipamentos, conhecer as ferramentas utilizadas, possuir um sólido conhecimento técnico e, evidentemente, ter criatividade.

Para criar uma mistura musical vamos precisar de algumas ferramentas básicas, primeiro para reprodução do áudio, como colunas ou auscultadores, programas de edição de áudio, placas de som externa, os arquivos da música que iremos trabalhar e é claro um conhecimento mínimo sobre o que estamos fazendo.

“A mistura depende diretamente da música que está a ser trabalhada, no estilo musical, músicos e instrumentos envolvidos, na qualidade da gravação, sons e arranjo.

As vezes quando uma música foi bem executada, isto é, tocada, gravada e arranjada isto ajuda para uma mistura mais rápida e é claro com o resultado melhor. Mas também vamos ter situações onde os áudios não estão bons, foram mal gravados e isto irá exigir mais do engenheiro. As duas situações e tudo mais entre estas possibilidades, são valiosas. É assim que aprendemos a misturar por experiência. “(Owsinski, 2020, p. 18)

Uma prática comum que costumo adotar ao finalizar uma mistura é ouvir a música em diferentes sistemas de monitoração, auscultador ou até mesmo no carro. É frequente encontramos dois ou três pares de colunas de marcas distintas dentro de um estúdio, a fim de fornecer ao engenheiro de som referências variadas, o que contribui para uma avaliação mais precisa da mistura.

O livro de Edgar Rothermich, *Mixing in Dolby Atmos*, menciona essa prática e levanta a questão de que, no futuro próximo talvez seja possível ouvir uma mistura em Dolby Atmos dentro de veículos. O que de fato já é possível (considerando que o livro foi lançado em 2020)

“Com as misturas em estéreo, a velha prática ainda existe quando acabamos a mistura e vamos ao carro ouvi-la para fins de referência. Esta prática pode continuar com o impulso para o Dolby Atmos no carro. Ainda não tão comum, mas quem sabe em breve” (Rothermich, 2020, p. 270)

Para se tornar um bom engenheiro de mistura é necessário praticar. Existem diversas técnicas e “tricks” que você pode encontrar na internet, em livros e cursos, mas de fato é preciso tempo e prática para treinar os ouvidos. Mas como conseguimos distinguir uma boa mistura de uma má mistura? Diferentes fatores moldam uma boa mistura, a nova edição do livro *The mixing engineers handbook*, cita cinco dos principais componentes de uma mistura.

Primeiro, equilíbrio: A relação de volume entre os elementos musicais. Em segundo, Frequência: A importância em ter frequências audíveis bem representadas. Em terceiro, Panorama: Colocar um elemento musical no espaço do som. Quarto, Dinâmica: Controlar o envelope do volume de uma faixa individual ou de uma mistura inteira. E por último, o seu próprio interesse em fazer uma boa mistura.

De acordo com outros livros que li eu ainda adicionaria mais um ponto que seria a impressão espacial, reverberação (echo) e efeitos. Vamos analisar brevemente cada ponto abaixo.

4.1. Conhecendo as Ferramentas

Durante o processo de mistura nos deparamos com algumas ferramentas que são essenciais no trabalho de um engenheiro de mistura.

Uma das ferramentas mais utilizadas no processo de manipulação sonora são os **equalizadores** (EQ). Podemos utilizá-los para determinadas funções e em quase todos os instrumentos. Como já visto a audição humana abrange uma faixa de frequências compreendida entre 20 Hz a 20 KHz, e este espectro pode ser segmentado em cinco regiões principais de atuação para os equalizadores, cada uma com características sonoras próprias que permitem ajustes precisos e direcionados.

20 a 60 hz	Sub-Graves
60 a 250 hz	Graves
250 a 2000 hz	Médias baixas
2000 a 6000 hz	Médias Altas
6000 a 20000hz	Agudos

Figura 13: Tabela de frequências

(fonte: criada pelo autor)

“Equalizar significa igualar, tornar igual, sem variações. O nome completo dos equalizadores na verdade é equalizadores de frequência, pois a função sugerida por seu nome é igualar a resposta em frequência de um dispositivo ou sistema. De fato um dos usos deste equipamento é justamente este, quando é utilizado na correção da acústica de salas, por exemplo.” (Henriques, 2007, p. 67)

A **equalização** permite ajustar os níveis de frequência de um áudio, destacando ou atenuando certas faixas de frequência para obter um equilíbrio sonoro ideal. Os equalizadores permitem ajustar as frequências individuais em cada faixa de áudio, cortando ou aumentando certas frequências para melhorar o equilíbrio tonal e a clareza. Em outras palavras o equalizador nos ajuda a limpar certas frequências (atenuar) ou intensificar certas regiões no devido instrumento ou canal que estamos trabalhando.

“Esses equipamentos nos possibilitam alterar a resposta em frequência dos diversos canais, manipulando a sua sonoridade” (Henriques, 2007, p. 26).

Há muitos tipos de equalizadores no mercado como Gráfico, paramétrico, semi-paramétrico, dinâmicos, filtro passa-alta e passa baixa... Todos eles nos permitem e ajudam a alcançar diferentes tipos de manipulação e efeito espectral. Porque se usar um equalizador:

- a) Amplificar determinada característica (ou frequência) de um som por exemplo exagerar os sons consoantes nas frequências altas (t, k, p, s, etc.) em uma voz.
- b) Para remover determinadas frequências como ruídos, ressonâncias ou frequências indesejadas.

- c) Para melhorar a clareza e prevenir que determinadas frequências estejam a mascarar-se na mesma região.
- d) Os ajustes em um equalizador podem trazer vida, presença, definição para um som, mas também podem causar características contrárias se usado de forma errada.

O volume dos instrumentos é controlado por um **Fader** (potenciômetros que fornecem atenuação ou amplificação de nível através da resistência) onde podemos controlar o volume um instrumento (ou grupo) em relação a outros instrumentos.

Embora que existam diferenças no design dos diversos tipos de faders disponíveis no mercado, tanto faders analógicos VCA (Amplificação controlada por voltagem) quanto fader digitais (que determinaram a multiplicação da amostra), na prática todos eles permitem o equilíbrio de níveis para elementos individuais (ou grupos) em uma mistura. Saber equilibrar os instrumentos é um dom e uma técnica muito importante para o processo de mistura chamada, **Gain staging**. Dentro da DAW, os faders de cada faixa são ajustados para garantir que o sinal esteja dentro de uma faixa apropriada, que proporcione *headroom*⁴ suficiente para a mistura e não cause distorção. Monitorando o canal master podemos garantir que não haja picos indesejados e que os níveis RMS estejam dentro de uma faixa saudável. Quando acabamos uma mistura é sempre bom exportá-la com níveis de sinal adequados geralmente deixando entre -6db e -3db de *headroom* para o processo de masterização.

Outra ferramenta vital é o **Compressor**, que controla a faixa de dinâmica do áudio ao reduzir a diferença entre os sons mais altos e mais baixos.

Mas o que seria, faixa de dinâmica? Henriques (2007) define:

“É a diferença entre o menor e o maior nível (amplitude) possíveis para um sinal de áudio em um sistema. O menor nível é limitado pelo ruído de fundo do sistema, e o maior nível é dado ponto de saturação” (Henriques, 2007, p. 91).

⁴ Termo usado na engenharia de som. É a diferença entre o sinal mais alto e o ponto que a música ou sinal começa a distorcer (ou saturar) ao atingir o limite máximo de intensidade que um sistema de áudio pode processar.

Vamos usar a voz como exemplo, ao gravar um vocal para uma música o vocalista pode sussurrar em uma parte e cantar com mais intensidade e volume em outra. Para equilibrar o pico mais alto com a parte mais baixa usamos o compressor para controlar essa dinâmica e a diferença de volume não ficar desproporcional.

Com o compressor conseguimos reduzir ou aumentar a percepção de volume. Os compressores ajudam a manter os níveis de volume consistentes, reduzindo picos excessivos e elevando partes mais suaves do áudio. Isso resulta em uma mistura mais equilibrada. Ao controlar os picos de volume, os compressores ajudam a evitar distorções indesejadas que podem ocorrer quando o sinal excede a capacidade do sistema de áudio. Na prática os compressores ajudam a estabilizar o volume dos instrumentos e vocais tornando a performance geral mais uniforme e profissional. Na música eletrônica também usamos muito como uma ferramenta criativa para distorcer o sinal. Alguns compressores adicionam uma certa coloração ou caráter ao som, especialmente os equipamentos analógicos ou emuladores digitais. Isso pode enriquecer a textura e o timbre do áudio. Por exemplo compressores de válvula, fita ou tubos, podem adicionar harmônicos agradáveis ao sinal de áudio. Também podemos trabalhar o envelope da onda acrescentando ou retirando attack ou release do instrumento.



Figura 14: Parâmetros do compressor

(Fonte: *The mixing engineer's handbook 5th ed.*, B. Owsinsk, 2020, p. 97)

O “Threshold” ou controle de limite determina o ponto no nível do sinal onde começamos a comprimir o som. O ratio tem a ver com a proporção do sinal que será

comprimido e está interligado ao threshold, um influencia o outro. alguns compressores possuem um ratio fixo e outros permitem a manipulação do parâmetro. A maioria dos compressores possui controles de parâmetros de ataque (attack) e liberação (release) que determinam o quão rápido ou lento o compressor reage ao início do envelope do sinal (o ataque) e ao final do envelope do sinal (release). É possível encontramos compressores com o ataque e o release fixos e outros ajustáveis. Outro parâmetro é o de ganho do sinal (ou *make-up gain*) que permite aumentar de volta o volume ao seu nível original depois que ele foi comprimido. (Owsinki, 2020, p. 97 e 98).

Usar o meter também é uma vantagem pois podemos ver em DB's o quanto do sinal está sendo reduzido (*gain reduction*) ou medir o nível de entrada ou saída do sinal que esta a ser comprimido.

Como escolher o seu compressor varia de profissional a profissional. O gênero musical ou instrumento que está a trabalhar pode influenciar na decisão. No mercado há diferentes tipos de compressores (VCA, FET, ópticos, Vari-mu) com características sonoras distintas. Escolher o tipo certo pode fazer uma diferença na qualidade final da mistura.

Outra ferramenta que também atua na dinâmica são **os limitadores**. Que trabalham de uma forma parecida com os compressores, porém mais agressiva ao cortar os picos do som.

São usados para evitar que o áudio ultrapasse um determinado limite de volume, preservando o áudio contra distorções (e clips) e garantindo que a mistura tenha um nível de volume consistente e adequado.

Reverb e delay, também desempenham papéis cruciais na criação de profundidade e espacialidade na mistura. O reverb simula o efeito de diferentes espaços acústicos, enquanto o delay adiciona ecos e repetições, ambos contribuindo para um som mais rico e tridimensional.

“Existem sons diretos e indiretos ou refletidos. O som direto é definido como a frente de onda que chega primeiro ao ouvido por um caminho linear, sem quaisquer reflexões e o som refletido (reverberação). Que se refere à energia de uma fonte sonora que atinge o ouvinte indiretamente, refletindo em superfícies dentro do espaço circundante ocupado por a fonte sonora e o ouvinte.” (Lessing, 2004, p. 18)

O reverb simula a reflexão do som em diferentes tipos de espaços (salas, halls, igrejas, etc.), ajudando a posicionar os instrumentos e vozes em um ambiente tridimensional. Isso cria

uma sensação de espaço e profundidade na mistura. Ao adicionar reverb, os sons que originalmente podem parecer secos ou artificiais ganham uma sensação mais natural e orgânica. Este dispositivo pode nos ajudar a preencher espaços, separar os elementos ou colocá-los em um mesmo espaço acústico, envolver o ouvinte, criando uma experiência auditiva mais imersiva.

Usando a voz ou um discurso como exemplo podemos dizer “*se a reverberação for quase totalmente eliminada, o mesmo discurso é compreensível, mas soa um tanto “seco” e desinteressante: Pouca ou muita reverberação é desagradável e não é natural*” (Everest, 2007, p. 63)

Warren (2008) usa um exemplo semelhante, “*As versões atrasadas de um som produzido por ecos não apenas dão origem a uma perspectiva acústica, mas também podem conferir um caráter “vivo” agradável à voz e à música (em oposição a um caráter indesejável chamado “morto” quando os ecos são muito reduzidos).*” (Warren, 2008, p. 61)

Como vimos há diversos adjetivos para descrever o uso do reverberador, mas diretamente na mistura, o reverb nos ajuda a definir o determinado elemento dentro de um espaço pretendendo dar a intenção de aproximar ou distanciar um instrumento em relação a outros instrumentos

O efeito de eco ou delay, repete o som original após um certo tempo, criando um efeito de eco que pode adicionar profundidade e dimensão a mistura. O delay pode ser sincronizado com o tempo da música para reforçar o ritmo, adicionando repetições que complementam o *groove* da faixa ou ser usado para destacar partes específicas de instrumentos ou vocais que capturam a atenção do ouvinte.

Em estilos musicos como o dub reggae, dub techno e até mesmo no techno clássico o delay da marca Roland, RE-201 é considerado como um instrumento que influenciou o nascimento e desenvolvimento destes géneros musicais, não só pelo seu belíssimo delay de fita magnética como pela sua saturação e coloração únicas do seu amplificador de sinal.

Atualmente na produção musical há diversas máquinas (analógicas ou digitais) que simulam estes efeitos. Reverb e delay são as minhas ferramentas favoritas principalmente para usar com os sintetizadores. Para dar brilho, colocá-los em um espaço, dar movimento e profundidade a um instrumento. Tanto um quanto o outro devem ser usados com moderação para evitar que a mistura soe embaçada ou confusa. É importante encontrar um equilíbrio que

adicione espaço e dimensão sem sacrificar a clareza. É essencial ouvir a mistura em diferentes sistemas de som, para garantir que o reverb e o delay sejam percebidos de maneira adequada e muitas vezes também confiro em auscultadores de ouvido.

Cada instrumento pode requerer ajustes personalizados nas ferramentas para se encaixar melhor no contexto geral da mistura.

Existem muitas técnicas para uso destes efeitos, inclusive que ajudam a envolver o ouvinte. Utilizando diferentes tempos de delay em cada canal estéreo (esquerdo e direito) é possível criar um efeito de panning, aumentando a sensação de espacialidade.

A técnica de posicionar o som ou instrumentos dentro de um campo estéreo é chamado de **Pan** ou **Panorama**. Permite posicionar cada faixa de áudio em um campo estéreo, movendo-a para esquerda ou direita criando uma imagem sonora espacial que melhora a clareza, a definição e a profundidade da mistura. Se tratando de uma tese sobre espacialização sonora é extremamente importante entendermos bem este conceito.

Panning é o posicionamento do som dentro de um campo estéreo são técnicas que podem ser vistas como estéticas e criativas, mas também podem ajudar ao ouvinte a identificar sons individuais em uma mistura. O pan permite distribuir os elementos sonoros no campo estéreo, evitando que todos os instrumentos e vozes estejam centralizados. Isso cria um espaço sonoro mais aberto e menos congestionado. Por exemplo quando posicionamos uma guitarra para tocar mais intensamente na direita e a voz proporcionalmente para esquerda. Ao posicionar diferentes elementos em diferentes locais do campo estéreo, cada som tem seu próprio espaço para ser ouvido de forma clara, evitando sobreposição e mascaramento de frequências.

Do ponto de vista do engenheiro da mistura, uma boa mistura e equilíbrio musical ajudam também na mensagem que a música carrega e uso apropriado de técnicas como panning podem dar ao engenheiro mais flexibilidade para certos ajustes. Também existem ferramentas para aumentar a largura (*width*) de um som ou até mesmo automatizar o movimento de um lado ao outro, direito e esquerdo, dentro da panorâmica.

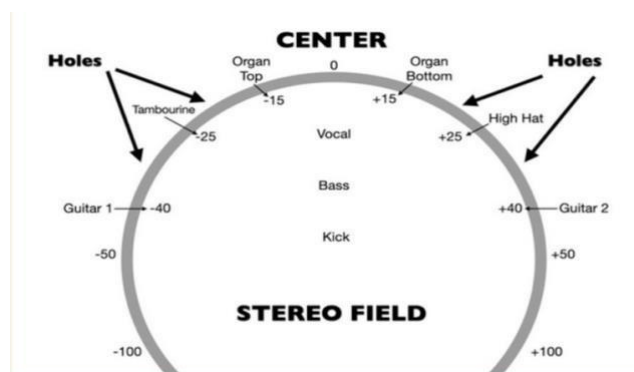


Figura 15: Distribuição de instrumentos e panorâmica para os buracos

(Fonte: *The mixing engineer's handbook* 5th ed. Owsinski, 2020, p. 77)

“Uma imagem auditiva, como Woszczyk (1993) a definiu, “é um modelo mental do mundo externo que é construído pelos ouvidos partir da informação auditiva (p.198)”. Os ouvintes podem localizar imagens sonoras que ocorrem a partir de combinações de sinais de áudio emanados de pares ou conjuntos de altifalantes. A impressão auditiva de sons localizados em vários locais entre dois altifalantes é chamada imagem estéreo. Apesar de ter apenas duas fontes físicas de som no caso do estéreo, é possível criar imagens fantasmas de fontes em locais entre os locais reais dos altifalantes, onde não existe nenhuma fonte física.” (Corey, 2010, p.138)

Além dos já mencionados, há uma vasta gama de efeitos (*plug ins*, pedais, *hardwares*) disponíveis que oferecem inúmeras possibilidades criativas, como chorus, flanger, phaser, vibrato, entre outros. Esses plugins expandem consideravelmente o leque de opções para manipulação e enriquecimento do som, permitindo a criação de texturas e dinâmicas únicas.

Essas são apenas algumas das principais ferramentas utilizadas em um processo de mistura musical. A combinação e o uso dessas ferramentas variam de acordo com o estilo musical (diferentes gêneros musicais demandam abordagens específicas na aplicação de efeitos e processamento), as preferências do engenheiro de áudio (cada engenheiro tem suas próprias técnicas e preferências, influenciando a escolha e o ajuste dos Plug-ins e ferramentas), e as características específicas de cada música (A natureza de cada faixa, incluindo instrumentação e a performance, determina a necessidade de processamento e os efeitos mais adequados).

Em resumo, a diversidade de plugins de efeitos disponíveis hoje permite uma enorme flexibilidade e criatividade na produção musical. A escolha e a combinação dessas ferramentas

são fundamentais para alcançar uma mixagem profissional e artisticamente satisfatória, adaptando-se às necessidades específicas de cada projeto e faixa musical.

4.2. Entrevistas com engenheiros de mistura

Para o enquadramento teórico e prático neste trabalho foram realizadas duas entrevistas com profissionais certificados da Dolby que já estão trabalhando com artistas e gravadoras de grande importância na música eletrônica realizando misturas e masterizações em Estéreo e Dolby Atmos há mais de três anos.

A primeira entrevista foi com o engenheiro de mistura e masterização de Berlin: Eric Horstmann do estúdio, Immersive-Lab Berlin.

1) Now that you are mixing Dolby\Binaural for a while, do you have a preference to mix in stereo or Dolby/binaural nowadays? And to listen to music?

I am doing 99% in Dolby Atmos, I only do Stereo, if we do Atmos first. And I absolutely prefer listening in Immersive, with the added dynamic range and the space, it's something I don't want to miss.

2) When mixing electronic music, we normally keep a lot of elements in mono, especially the low end and drums. Would you keep more or less the same "rule" in a binaural mix (keeping some elements on center)

Mono for electronic music is mainly done to be compatible in the clubs, where people are not in the sweet spot. In Atmos, I keep a couple of important elements, such as Drums and Bass in the front L-R speakers and the only drum-elements I spread out are percussions and cymbals. So Mono is not important for me, it's more the location where I need the fundamentals of the song. All instruments, such as synth, strings, vocals are placed all around (if it makes sense).

3) What's the main difference when using reverbs and delays to occupy spaces on the Dolby mix?

I'm using mainly multichannel reverb that give me responses in relation to the triggered position. So if an element is mixed into the side left, it'll trigger the reverb also from that spot and the reverb will be generated in that way, it's important to create the spatial image.

Delays can be done in stereo and then be placed or moved, or I used multichannel Delays, such as Slapper.

4) How you choose which tracks to be beds or objects in a Dolby Atmos mixdown for a techno/house track?

All my mixes are objects only, I'm never using the bed. The localization on headphones, when objects are used compared to the bed, is much more stable. And my routing template is much simpler with just objects. Also, my Atmos mastering chain is relying on objects and not on the bed.

5) Thinking that most people will listen to music via headphones. How different is the experience of listening the final mix down in the studio vs headphones (Binaural) in Dolby format in your opinion?

Of course I usually recommend listening to a song in a room with proper speakers as the room influences the experience a lot. This is not the case with headphones, but still it works quite good. Also, the quality of binaural reproduction will evolve in the future to hopefully make the experience closer to an in-room monitoring system. But I'm very happy that the headphone use case exists, otherwise nobody would talk about Dolby Atmos for Music.

6) Do you think Dolby/Binaural listening will become the new listening standard in headphones in a few years?

Binaural yes, not sure if it's the Dolby binaural codec, as there are so many other companies doing really good binaural reproduction of immersive content.

A segunda entrevista foi realizada com o engenheiro Matthew Styles, dono do Horizontal estúdios em Barcelona na Espanha.

1) Now that you are mixing Dolby/Binaural for a while, do you have a preference to mix in stereo or Dolby/binaural nowadays? And to listen to music?

I like to listen in Spatial audio when the mixes are good, however there are quite a few out there that are not very well done, in that case stereo is better!

2) When mixing electronic music, we normally keep a lot of elements in mono, especially the low end and drums. Would you keep more or less the same “rule” in a binaural mix (keeping some elements on center)?

Yes absolutely, I think spatialising for the sake of it not the way forward, each time I look at an element of the mix I ask the question what is the right thing to do? Does it fit the music and our expectation, quite often the answer it's to leave it alone.

3) What's the main difference when using reverbs and delays to occupy spaces on the Dolby mix?

This is where I am using most of the extra space from spatial audio, in electronic music... the expectation is that the drums/bass /vocal comes from the front, I try to keep that but add space around the listening with the time-based effects.

4) How you choose which tracks to be beds or objects in a Dolby Atmos mixdown for a techno/house track?

I create an object bed for a song... eg. Front / Front High/Front Sides/ Mid Sides/ Mid High/ Rear/ High rear.

I might start by sending certain element around the room and once have a shape that I am happy with I might assign certain elements to their own objects.

5) Thinking that most people will listen to music via headphones. How different is the experience of listening the final mix down in the studio vs headphones (Binaural) in Dolby format in your opinion?

I compare the two constantly so it's somewhat familiar in either situation... the same like preparing a song for vinyl and digital mastering, that they should sound like the same song and not radically different.

6) Do you think Dolby/Binaural listening will become the new listening standard in headphones in a few years?

Difficult to say, the biggest challenge is budgets in the business, at the moment many labels don't want to spend extra on production costs, without getting additional returns. Also, the implementation of Atmos in software needs to be more straightforward and accessible for producers.

Durante as conferencias da NAMM de 2024, assisti a uma palestra transmitida ao vivo pelo no canal exclusivo da *Mix with the Masters*, com o engenheiro de masterização, Chris Gehringer (Dualipa, Drake). Na palestra, Gehringer compartilhou uma reflexão sobre o uso Dolby Atmos e a escuta binaural, que considero fundamental e relevante para o estudo.

“Todo mundo está a escutar em auscultadores, é como comprar uma Ferrari e botar rodinhas de bicicleta para ela não correr, existe toda essa capacidade de ter todo esse som, movimento, movimentação e arte e você está ouvindo através de fones de ouvido. Eu realmente não entendo. Estou certo de que todo mundo aqui na palestra tem bons fones de ouvido ou perderam bastante tempo para escolher um bom set up de colunas, mas reduzi-lo a este binaural é meio insultuoso. Qualquer coisa que Apple quiser fazer eles vão fazer, pagar mais aos artistas.... eu honestamente acho que é uma maneira de ter alguma competição com o spotify ou deezer.... Eu acho que atmos tem um futuro, tem alguma coisa sobre ele que é incrível, mas até os artistas começarem a usar o Atmos na primeira estância do processo e não depois de misturar em estéreo, eu não vejo muita arte nesse processo, eu realmente quero ver artistas fazendo gravações em Atmos ou tentar desafiar um pouco mais a tecnologia. Eu sou uma cara do estéreo”. (Gehringer, C. NAMM, 2024)

4.3. Mistura da faixa Arado em estéreo (Processo)

A música “Arado”, foi produzida e gravada dentro da mesma DAW, o Cubase. Para as duas misturas do trabalho eu utilizei o mesmo auscultador, LCD X da Audeze.

Para os meus trabalhos de mistura, eu possuo um *template* já salvo anteriormente no Cubase, onde possuo alguns dos meus efeitos preferidos, alguns grupos e endereçamentos das minhas máquinas externas todos já assignados. Abri o *template*, importei todos os instrumentos

para o projeto novo, organizei cada canal colorindo e agrupando por cor e ordem elementos como percussão, sintetizadores, vozes e etc...

Na música eletrônica dançante, 4/4, assim como em outros estilos é muito comum se começar a mistura pela base da música, com bumbo, baixo e bateria. Como citado no livro guia de mixagem de Fábio Henriques “...se vamos construir uma casa, que comecemos pela fundação.... Na maioria dos casos, tipicamente em música pop e rock, se este binómio estiver funcionando já é um grande caminho andado. Mas esse ponto de partida pode variar conforme o estilo da música.” (Henriques, 2007, p. 47)

Sempre antes de começar uma mistura eu anoto algumas observações em um caderno sobre a música. Como qual o feeling da faixa, qual o meu objetivo com a mistura, se tem algum erro na gravação ou no arranjo e algumas ideias de como melhorar os timbres e instrumentos em favor da música e estilo.

Após ajustar os volumes entre os elementos da base, normalmente eu levanto o canal do elemento principal da faixa podendo ser um vocal ou o sintetizador. A primeira etapa do processo é concluída após ajustar todos os volumes de cada instrumento. Técnica chamada de “Gain staging” como vimos anteriormente.

No próximo passo identifico quais elementos irei manter em mono normalmente o baixo e o bombo e quais instrumentos serão abertos nas panorâmicas. Tento também identificar se temos algum conflito de frequências nos principais instrumentos da música.

Costumo iniciar o processo de mistura organizando os instrumentos no meu projeto de cima para baixo começando pelo bumbo, baixo, bateria e percussões, sons de ambiência e pads e os instrumentos principais. Agrupo os elementos por similaridade na região de frequências usando cores como no exemplo da foto a baixo.

Bombo, baixo e toms, em vermelho, bateria e percussão em amarelo, pads e sintetizadores principais em verde e efeitos em azul.



Figura 16: projeto de mistura da música arado

(Fonte: criada pelo autor, projeto no Cubase 12)

O bumbo foi processado com um pré-amplificador da marca, *Kush audio* para coloração e dois equalizadores, um para limpar frequências e outro para intensificar certas regiões como os graves em torno de 90hz e a região do attack em torno de 2Hz. O baixo foi gravado em um sistema modular analógico e como estava bastante processado optei por usar uma técnica interessante já pensando também na mistura em Binaural. Eu dupliquei o canal de baixo e em um canal trabalhei somente as frequências abaixo de 145hz e no outro cortei tudo abaixo de 145hz e trabalhei as frequências medio agudas. Isso me dá maior controle para processar esses canais de forma única. No baixo grave temos um saturador da *Soundtoys*, um equalizador cortando tudo acima de 145hz, um transiente shaper adicionando attack e tirando o decay, um compressor clássico, 1176 e Plug in para efeito de sidechain com o bumbo. O segundo baixo também possui um saturador e alguns equalizadores. O tom foi tratado utilizando um rack de efeitos da UAD, o CS-1, que combina EQ, reverb, delay e compressor. Costumo recorrer a esse processamento quando gravo sons de bateria eletrônica muito secos, pois ele adiciona uma coloração extra, coloca o som em um espaço mais interessante no panorama estéreo e ajuda a melhorar na definição do instrumento. Nos canais da bateria, cada um possui um equalizador, e alguns também são enriquecidos com saturação para agregar textura ao som... Cada canal possui um pan diferente como: O clap 10% para a esquerda, o

snare rítmico 40% na direita, e os diversos pratos abertos em diferentes lados do nosso panorama. Todos esses canais são direcionados a um “Bus” e agrupados em um subgrupo da bateria.

Os canais de ambiência, já processados inicialmente, foram apenas ajustados com equalização, e um dos pads recebeu um efeito para aumentar a imagem em stereo (*stereo width*). O sintetizador principal, que já possuía alguns efeitos como drive, chorus e delay, recebeu mais reverb, equalização e compressão para controlar os picos. Todos os sons foram tratados separadamente e depois agrupados e processados novamente com equalização, compressão e saturação nos subgrupos.

Analisando as panorâmicas, os instrumentos foram posicionados de forma simples e equilibrada. Efeitos como reverb e delay ajudaram a distribuir o som no espaço, diretamente a espacialização em cada canal foi mais usada nos instrumentos da bateria, com as ambiência e dois sintetizadores, um com a energia um pouco na esquerda e outro na direita, de forma balanceada no campo estéreo.

Com os instrumentos controlados e equilibrados, exportei cada canal (instrumento) com seus devidos processamentos individuais para uma nova pasta.

Após assistir tutoriais, analisar referencias e ler as entrevistas realizadas, percebi que a maioria dos engenheiros de som realiza primeiro a mistura em estéreo, pois esta versão também será distribuída ou comercializada. Após a mistura em estéreo, com a maioria dos canais já tratados, e o projeto organizado, os canais são abertos em uma sessão para Atmos. Realizar esse processo me permitiu focar na criatividade para espacialização e efeitos.

Esse foi o meu método para começar a mistura *em Dolby Atmos*, não se prender a aspetos técnicos e manter liberdade criativa na espacialização do áudio.

O primeiro passo é identificar os instrumentos principais da música e decidir onde colocá-los no espectro (pan). Outra decisão inicial é determinar quais instrumentos serão *Beds* e quais serão objetos.

4.4. Mistura em Binaural – DAW set up

O programa Pro Tools da Avid, foi o primeiro DAW a incorporar suporte para Dolby Atmos, embora esta funcionalidade esteja disponível apenas na versão Pro Tools Ultimate.

Atualmente, o Dolby Atmos também pode ser utilizado na produção musical com Ableton Live, Apple Logic, Steinberg Nuendo & Cubase. Apesar de não dispor de um ambiente físico com a quantidade de colunas que me permita trabalhar formato Dolby Atmos, é possível realizar o processo de mistura utilizando auscultadores e experimentar a mistura em Binaural.

O programa que utilizo, Cubase da Steinberg já possui a integração com a aplicação da Dolby que foi empregado neste trabalho. Além de realizar o processo de mistura, as músicas também foram gravadas e produzidas no Cubase 12.

Existem duas ferramentas integradas no Cubase que são essenciais para a mistura em Dolby Atmos: o Dolby Atmos Renderer, e o plug-in Dolby Atmos music Panner.

a) Dolby Atmos Renderer

O Cubase envia as informações sobre os objetos de áudio para o Dolby Atmos Renderer, que processa e renderiza esses objetos para o formato Dolby Atmos. Este processo permite ‘renderizar’ até 128 objetos de áudio, oferecendo flexibilidade para criar uma mistura espacial. Este recurso possibilita a codificação do áudio para diferentes formatos (como o binaural), garantindo maior precisão e liberdade criativa na construção da paisagem sonora.

b) Dolby Atmos Music Panner

O Dolby Atmos Music Panner, anteriormente conhecido como Dolby Atmos Panner, permite o posicionamento de faixas de áudio dentro de um espaço 3D. Este plugin é fundamental para a criação de uma experiência auditiva imersiva, permitindo que cada canal do projeto seja panado tridimensionalmente, proporcionando uma sensação de profundidade e movimentação no espaço sonoro.

No Cubase o processo de mistura se começa preparando a sessão que iremos trabalhar. O primeiro passo para a sessão em Atmos é configurar o sample rate do projeto para 48hz, no estúdio set up, mudamos o *buffer size* para 512 samples. O próximo passo, abrir o Project _ ADM Authoring for Dolby Atmos _ e configurar os canais no “*set up assistant*”. Assim já conseguimos configurar os instrumentos que serão as nossas “Beds” ou “Objects”. Nesse ponto você configura o core do do Dolby Atmos mix, onde temos 128 canais de entrada disponíveis em sua DAW. Pronto, a nossa sessão já está convertida para uma sessão de Dolby Atmos.

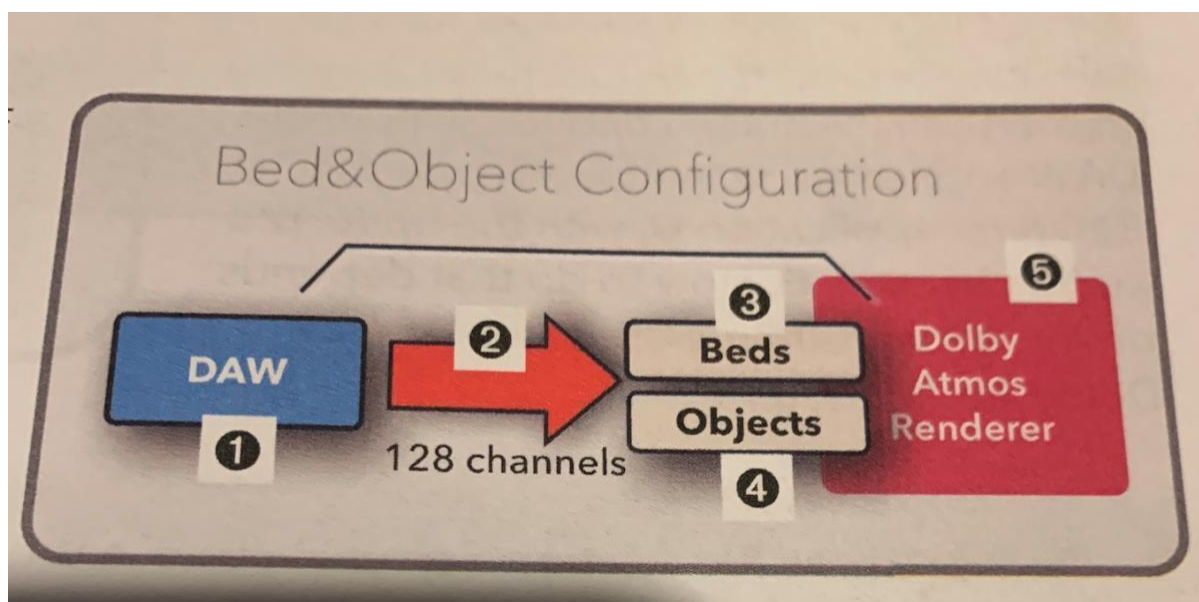


Figura 17: Configuração de Bed & Object, e caminho do sinal

(Fonte: *Mixing in Dolby Atmos How it works 1*, Rothermitch 2021, p.57)

A próxima parte é configurar a nossa monitorização. Importante lembrar que como vamos trabalhar com auscultadores e em Binaural precisamos mudar no canal master, o Plug in “Renderer for Dolby Atmos” o downmix para Binaural. Assim o renderer codifica e decodifica o sinal para Binaural através de algoritmos HRTF ou para outras configurações.

Agora que já conseguimos escutar em um espaço imersivo via auscultadores, vamos a mistura. vamos analisar quais canais eu escolhi para ser beds ou objects, como eu processei os instrumentos diferentes da mistura em estéreo, as diferenças no panorama e o processo de finalização.

Vamos recapitular algumas diferenças entre beds e objects antes de entrar na mistura e saber porque escolhi cada instrumento para tal propósito.

Beds, usam até 10 canais (7.1.2) enquanto o sistema pode suportar até 118 objetos simultâneos. Um dos engenheiros que entrevistei para o trabalho assim como outros em vídeos na internet misturam só utilizando objetos. Pois os objetos são dinâmicos e podem se mover livremente no espaço tridimensional enquanto Beds, são estáticos, com sons fixos em canais específicos. Objetos são mais precisos e flexíveis e podem ser reproduzidas em qualquer formato. Enquanto em beds estamos limitados a uma configuração máxima de 7.1.2. Não existem regras em quantos beds você precisa ter em uma mistura.

4.5. Mistura da música Arado em Binaural (processo)

Na mistura em estéreo nos limitados a dois canais, esquerda e direita. Mesmo abrindo diversos elementos da faixa no panorama ou intensificando instrumentos para tocar mais alto em algum dos lados não conseguimos perceber tanto movimento nas laterais muito menos em cima ou atrás de nós. A ideia da mistura em Binaural foi provocar essas percepções para ver se os participantes do inquérito também conseguem perceber esses pontos citados que na minha opinião deixam a música a soar com mais profundidade, pressão, brilho e perceber uma maior separação entre os instrumentos.

Dentro do nosso projeto, selecionamos todos os canais de áudio (ou instrumentos) e enviamos para um grupo (7.1.2), onde eu o nomeei de Bed. É necessário criar outro grupo em 7.1.4 para inserir o Plug in renderer for Dolby Atmos, e o nomeei de Atmos out. Os canais que forem escolhidos como objetos serão criados e endereçados automaticamente usando a opção “ADM Authoring for Dolby Atmos” assim os enviados através de um bus para o grupo atmos out.

No canal atmos out temos o Plug in renderer for Atmos inserido. Ao habilitar a codificação (down mix) para binaural conseguimos monitorar via auscultadores e depois ao acabar a mistura conseguimos exportar a nossa música neste mesmo formato.

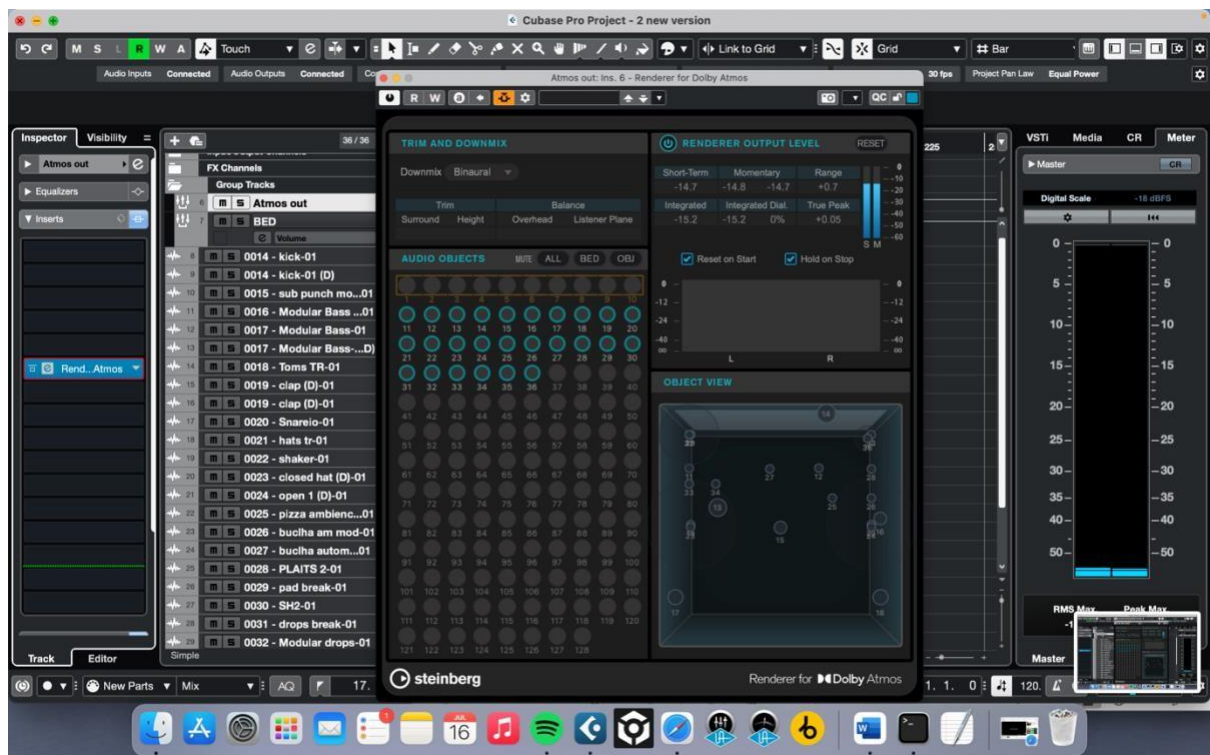


Figura 18: Renderer for Dolby Atmos in Cubase

(Fonte: Criada pelo autor, Renderer for Dolby Atmos, Steinberg Cubase)

Começando pela estrutura da faixa bombo, baixo e bateria. Já podemos reparar numa diferença de como posicionamos o bumbo no panorama de uma outra maneira de como fizemos na música em estéreo. Como vi em outros tutoriais muitos engenheiros posicionam o bumbo e outros instrumentos da bateria como beds, O bombo faz sentido pois temos acesso ao canal LFE quando estamos em beds. Porém após experimentar algumas possibilidades e maneiras de deixar o meu bumbo forte e fixo ao centro eu optei por duplicar o canal e abrir um em cada lado da frente e em baixo. O tamanho do objeto foi ampliado em 30% em cada lado deixando o bumbo bem forte e aberto na frente. No processamento somente dois equalizadores um para tirar frequências e outro para adicionar.

Nesta faixa temos 3 linhas baixos diferentes e acabei especializando de diferentes maneiras. O primeiro “punch modular bass” foi escolhido para ser objeto, eu decidi distribuir ele em zonas da frente e no meio do campo panorâmico com o *width* em 60% como mostra a figura (a) abaixo. O segundo baixo “Sub meio” funciona como uma cama na faixa e como

queremos ele parado ao centro, optei por ele ser um canal de “bed” e enviamos 2db para o LFE. (figura b).



Figura 19: Figura A - Multi panner in Cubase

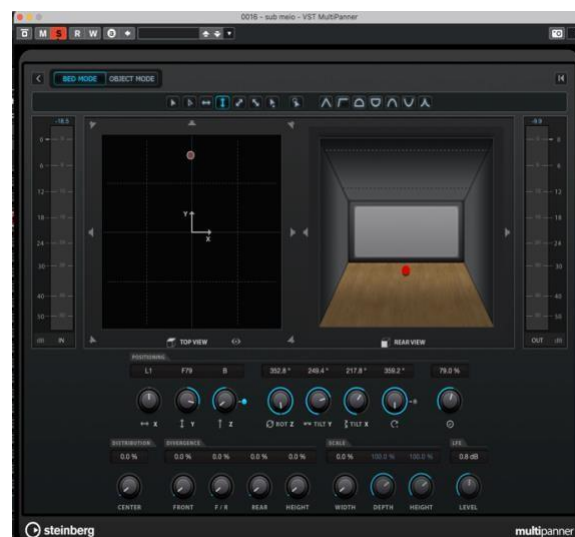


Figura 20: Figura B - Multi panner in Cubase

(fonte: criada pelo autor, VST multipanner)

O terceiro e último baixo, criado com um sintetizador modular possui bastante movimento por si só. Ele ocupa frequências médio graves então optei por novamente duplicar o canal e experimentar.... Em modo objeto, no primeiro canal eu abri-o ao centro e nas laterais o segundo ficou com um leve reverb, um filtro na parte traseira da panorâmica.

Vale lembrar que toda vez que criamos um objeto no Cubase através do “ADM Authoring for Dolby Atmos” ele cria um bus automático para o renderer. Em cada objeto conseguimos colocar a opção Binaural para 4 distintas opções que resultam em quão de perto ou longe do ouvinte o som deve estar. No caso deste baixo deixamos em *near*. Pois quanto mais longe reparei que ele adiciona um leve reverb para distanciar os instrumentos e não queremos isso com um dos nossos baixos.

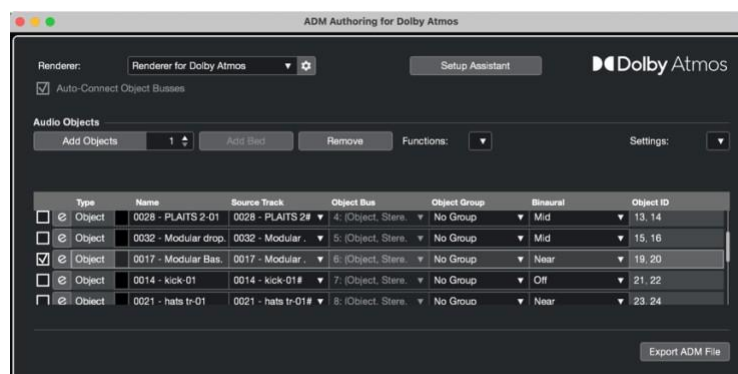


Figura 21: ADM authoring for Dolby Atmos

(Fonte: criada pelo autor, ADM authoring for Dolby Atmos in Cubase)

A maioria dos instrumentos da bateria e percussão foram escolhidos para ser beds, cama. Exceto um prato e um shaker que foram posicionados vindo de trás e com um leve movimento. Cada canal foi posicionado em lugar do panorama e alguns possuem equalizadores para um melhor equilíbrio.

A maioria dos sintetizadores foram tratados como objetos. O próximo som também foi criado no sintetizador modular, com o oscilador “pizza” ambiência e como posicionei ele como se tocasse das laterais e atrás do ouvinte com o Binaural ativado para *far*. Através de um *send* enviei esse canal para um reverberador léxicon do universal áudio. Com o reverb eu posicionei o som ainda mais ao fundo criando um espaço extra entre o som tocado um pouco na frente (figura b).

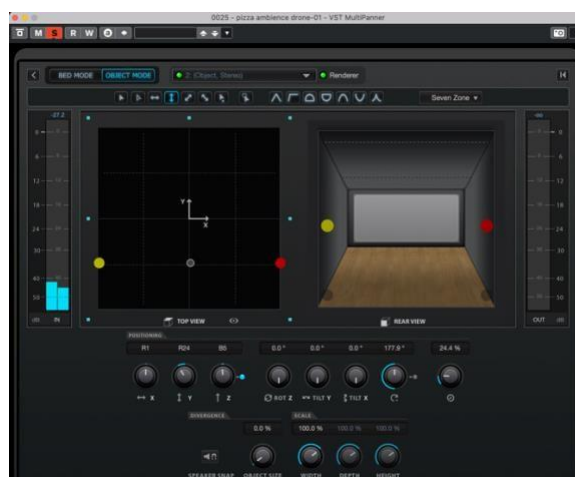


Figura 22: Figura A - multi panner das mandadas de reverb
(Fonte: criada pelo autor, VST multipanner Cubase 12)

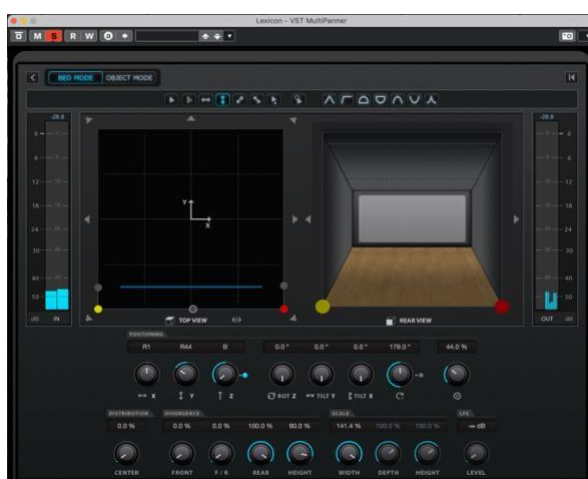


Figura 23: Figura B - multi panner das mandadas de reverb
(fonte: criada pelo autor, VST multipanner Cubase 12)

O segundo sintetizador buchla am mod, após um equalizar a limpar os graves teve o seu canal duplicado e foram posicionados como objeto ao meio nas laterais do ouvinte com pequenas automações de movimento. O terceiro, plaits, foi equalizado e posicionado da direita e na frente e na esquerda para atrás. O quarto que se move pelo lado esquerdo, sh2 faz o contraste e equilíbrio com o sintetizador anterior no panorama. Foi processado com um equalizador e um compressor. O pad está como cama e toca nas colunas da frente. Dois dos

principais sons, modular drops e plaits 01 possuem equalização e compressor, foram escolhidos para dar movimento na panorâmica. Com automações exageradas para provocar o ouvinte com a espacialização dos objetos. Os 2 canais de efeito estavam como objeto a tocar da parte de trás do ouvinte.

No canal master somente adicionei dois Plug ins: Gulfoss que é um equalizar dinâmico multibanda que usa inteligência artificial para balancear as bandas de acordo com o input do sinal. Usei de uma forma de natural. E por último limiter, L2, da Waves.

Para exportar a faixa no nosso grupo Atmos out, que a saída está para 7.1.4, e se encontra o nosso Plug in renderer com o *down mix* para Binaural, criamos um canal *sends* para o master out e exportamos normalmente no Cubase esse canal master out.

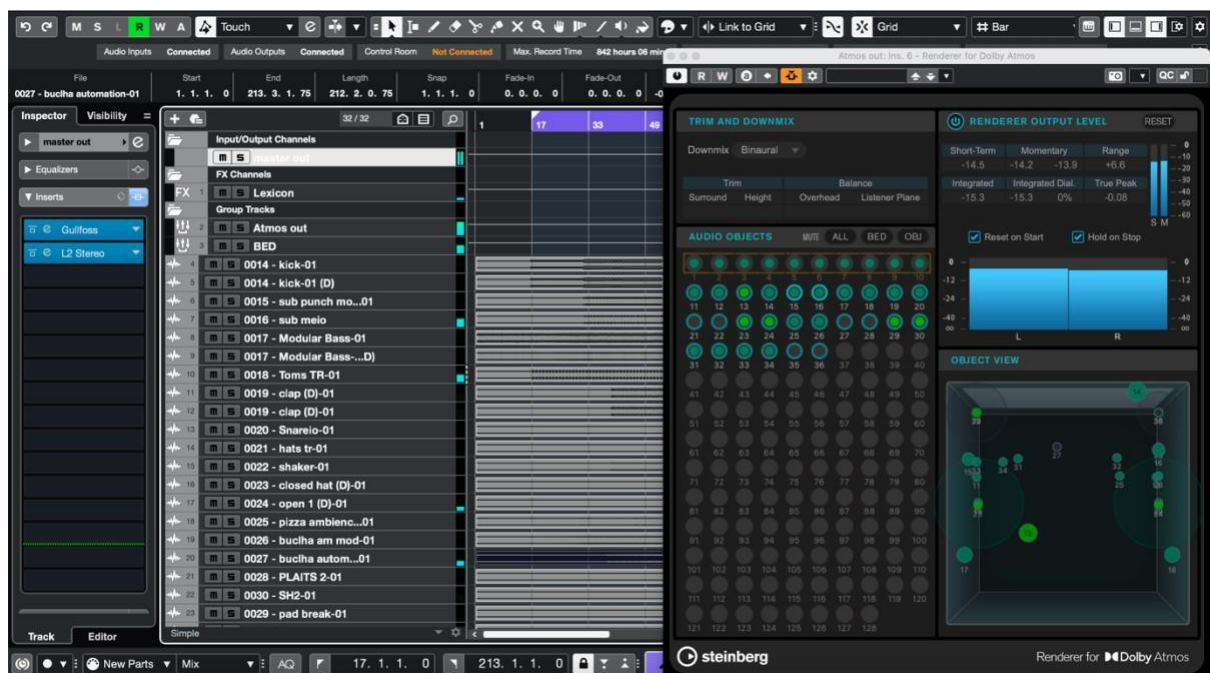
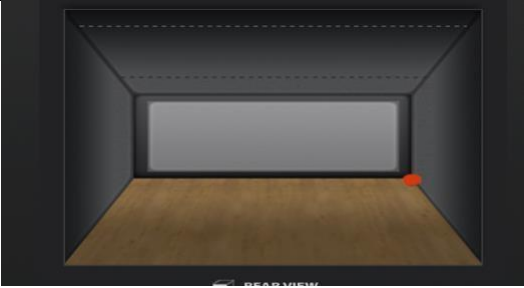
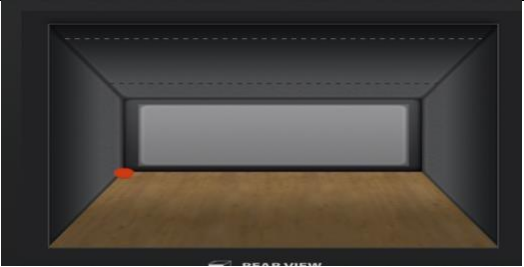
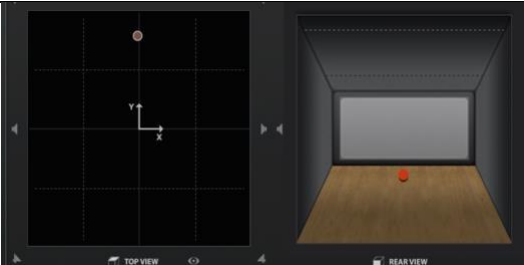
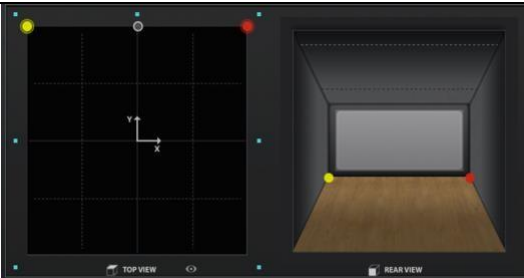
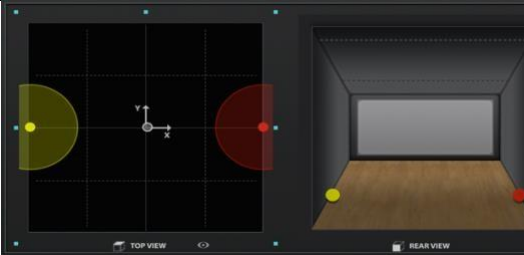
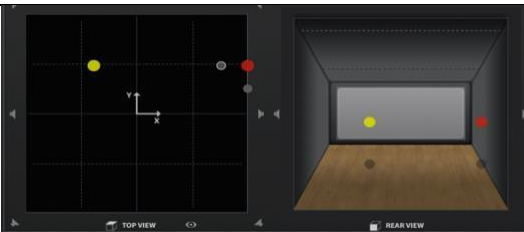
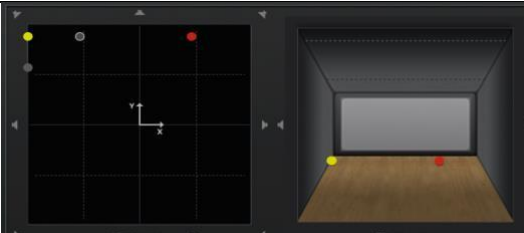
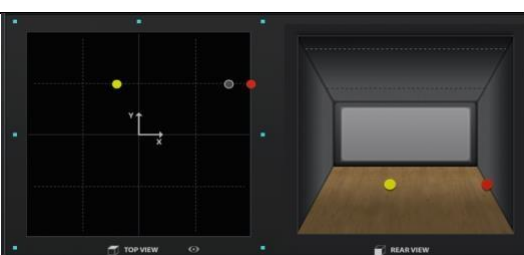


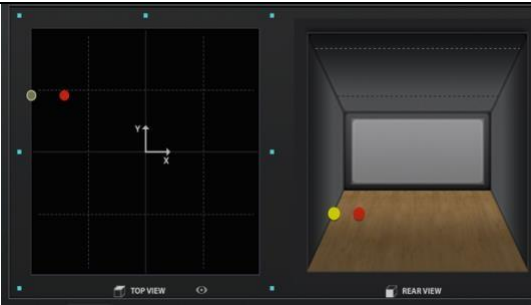
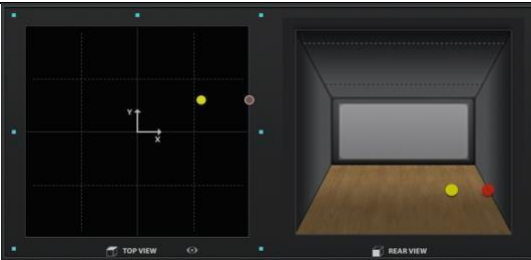
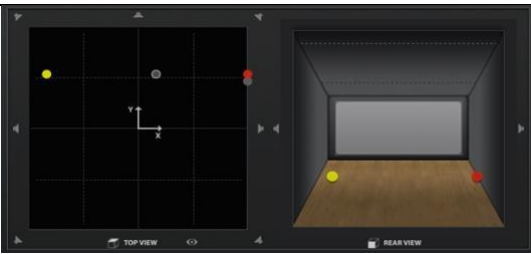
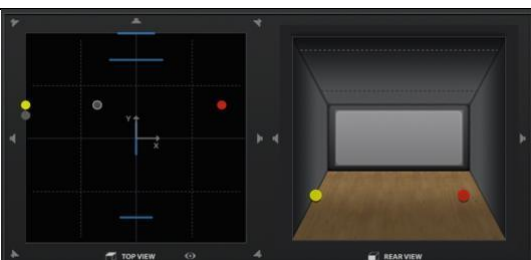
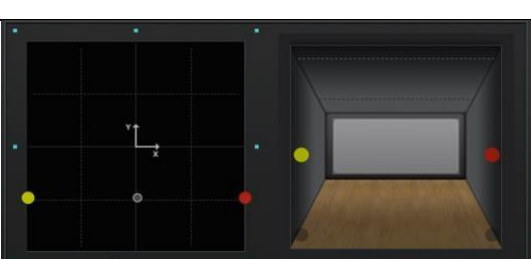
Figura 24: renderer, canal master e bounce final da mistura

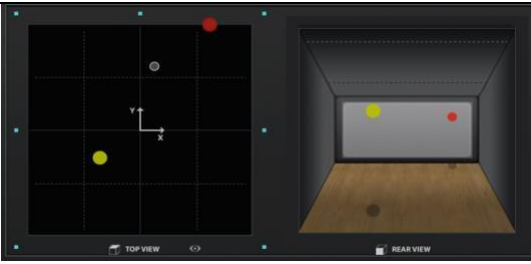
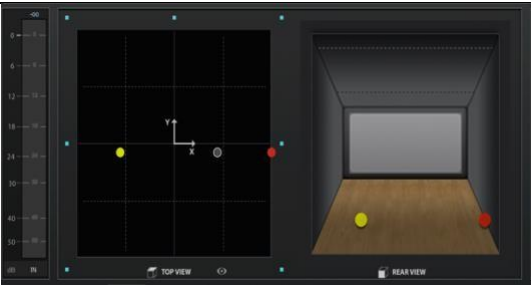
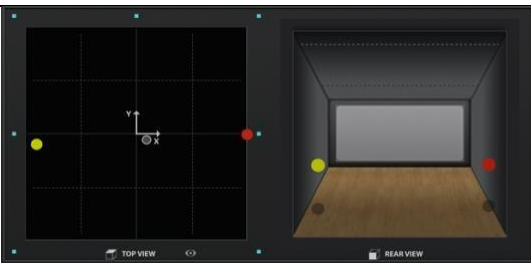
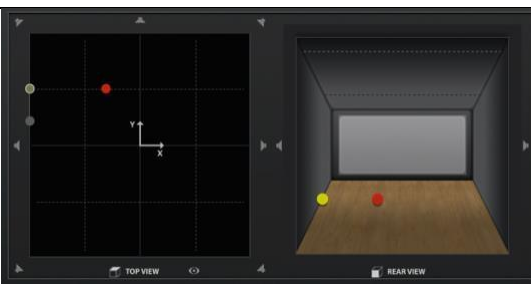
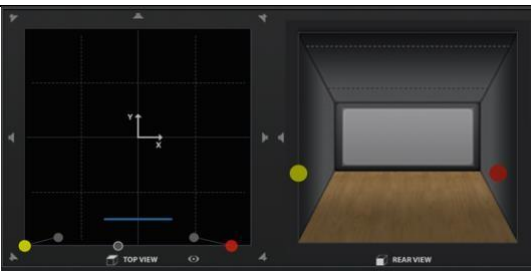
(Fonte: criada pelo autor, Cubase 12)

4.6. Tabela de parâmetros

Instrumento	Panoram a mistura estéreo	Panorama mistura binaural
<i>Bombo</i>	Mono	
<i>Bombo duplicado</i>	Não utilizado	
<i>Sub</i>	Mono	
<i>Sub (dobrado)</i>	Não utilizado	

<i>Modular bass</i>	Mono	
<i>Modular bass 2 (dobra)</i>	Mono	
<i>Toms</i>	Mono	
<i>Clap</i>	L11%	
<i>Clap (dobra)</i>	Não utilizado	
<i>Estéreo hats</i>	R5%	

<i>Shakers</i>	R30%	
<i>Closed hat</i>	L15%	
<i>Open hat</i>	Pan no centro, mono som em	
<i>Ambiência 1</i>	Pan no centro, Som estéreo com efeitos em estéreo	
<i>Buchla am mod</i>	Pan no centro, som estereofónico	
<i>Buchla reverb automation</i>	Pan no centro, som estereofónico	

<i>Plaits 2 arp</i>	Pan no centro, som estéreo	
<i>Sintetizado r roland sh2</i>	Pan no centro instrumento com pouco movimento estéreo	
<i>Modular drops fxs</i>	Automação s de panorama entre esquerda e direita	
<i>Plaits 1</i>	L11%	
<i>Efeito reverb</i>	Pan no centro	

4.7. Análise das misturas

Na tabela acima conseguimos perceber a diferença do posicionamento do panorama dos instrumentos entre a primeira mistura e a segunda. Dois dos principais sintetizadores utilizados na mistura em Binaural foram automatizados propositalmente ao redor do ouvinte para intensificar o efeito da espacialização sonora. Os principais canais de ambiência e efeitos foram posicionados atrás do ouvinte. Podemos notar que na primeira mistura em estéreo somente um instrumento (modular drop fxs) está em movimento entre esquerda e direita, diversos instrumentos não foram alterados pelo panorama e alguns mantidos ao centro e em mono. Na mistura em estéreo alguns instrumentos da bateria foram posicionados em diferentes lados, mas tentando manter um equilíbrio para não soar demasiado de balanceado em algum dos lados. Técnica similar usada na segunda mistura porém agora com alguns instrumentos dobrados e mais espalhados entre zonas ao redor da cabeça (uma das vantagens do áudio binaural). Está claro que na mistura em binaural temos mais espaço para posicionar os instrumentos ou sons ao redor do ouvinte. No entanto, instrumentos com automações exageradas obviamente não soam natural e nos leva para a pergunta inicial, será que precisamos ou faz sentido a tecnologia binaural e o Dolby Atmos na música?

Antes de misturar a música Arado eu misturei algumas outras músicas para me familiarizar, aprender e experimentar com as diversas possibilidades e funções oferecidas pelo Dolby Atmos Renderer, panner e a escuta em Binaural. Acabei escolhendo a faixa arado por ter várias camadas de sintetizadores e boas texturas para “brincar” com a ambiência. Também optei por não usar uma música com vocal para perceber se os participantes do inquérito conseguem perceber a espacialização sonora sem ter um elemento principal em evidencia e sim três instrumentos para provocar o efeito.

A principal diferença entre a mistura em estéreo e a mistura em Binaural reside na capacidade de posicionar os instrumentos em um ambiente muito mais expansivo. Enquanto a mistura estérea se limita ao eixo horizontal (de esquerda e direita). O áudio 3d do Dolby Atmos expande essa dimensão para incluir o eixo vertical quanto o horizontal, criando um campo sonoro tridimensional. Ao utilizar canais dobrados e objetos de áudio, a música soa significativamente mais rica, com mais impacto, mais brilho e uma reverberação extra. Além da vantagem criativa de poder direcionar os instrumentos ao redor do ouvinte obtendo uma separação maior e mais natural entre os instrumentos, em consequência acabei por não utilizar

tanto EQ e compressão na mistura em Binaural pois os elementos já haviam sido processados anteriormente e já estavam a soar mais definidos e com espaço naturalmente na mistura. Assim como a maioria dos engenheiros que tenho pesquisado eu misturei a música primeiro em estéreo até porque esta foi a versão lançada comercialmente. Com os instrumentos timbrados e dinâmica controlada ao importar os instrumentos para a nova sessão pude focar na espacialização sonora, automações no panorama 3d e nas possibilidades entre beds e objects. Na sessão em Dolby não agrupei nenhum canal como fiz na sessão em estéreo. Também percebi que processei bem menos os canais até porque eu já havia feito inicialmente. Por último utilizei menos plugins no meu canal master na sessão de mistura em Binaural. As faixas não foram masterizadas para o trabalho.

Analisando tutoriais e as entrevistas que realizei é interessante observar como os engenheiros de som utilizam suas faixas em beds e objects. Não há regra definida. Alguns profissionais preferem trabalhar exclusivamente com objetos, o que faz sentido dentro do contexto do Dolby Atmos, pois permite uma flexibilidade superior na movimentação e posicionamento dos sons.

Durante este trabalho de pesquisa, utilizei o Cubase 12 para gravar, produzir e misturar as músicas. A integração com a aplicação da Dolby foi fundamental para explorar as capacidades do Dolby Atmos na DAW que costumo a trabalhar há mais de quinze anos. Apesar da limitação física de não ter um sistema de colunas completo, o uso de auscultadores com suporte Binaural permitiu uma experiência satisfatória na mistura e pré-visualização do ambiente sonoro em Dolby Atmos.

O uso dessas ferramentas avançadas no Cubase reflete a evolução da tecnologia no contexto do áudio digital, proporcionando novas possibilidades espaciais para produtores musicais e engenheiros de som. A capacidade de misturar em Dolby Atmos dentro de um ambiente de trabalho já familiar, como o Cubase ou outras DAW's facilita a adaptação a este formato inovador e aprimora a qualidade e a imersão das produções musicais.

Desde o início deste trabalho, novos *softwares* têm sido desenvolvidos e aprimorados no mercado, com o objetivo de facilitar tanto a monitoração e o controle do áudio, como o *Ginger Áudio*, quanto para processamento de efeitos digitais, como reverbs, delays, compressores entre outros. Além disso, algumas DAWs, como o Logic da Apple, bem como

novas interfaces de áudio, têm sido aprimorados, permitindo uma experiência de mistura e audição significativamente levemente mais acessível porém de fato mais rica e precisa.

Um erro cometido foi a omissão da equalização do canal de LFE, o que, provavelmente, causaria problemas em uma sala de monitoração adequada. Se a mistura tivesse sido realizada em uma sala equipada com um sistema de monitoramento Dolby Atmos 7.1.4 ou 9.1.2, em vez de converter a escuta para o formato Binaural, o resultado poderia ter sido significativamente diferente. No entanto, é importante observar que a maioria dos consumidores de música atualmente escuta via auscultadores, sendo esse o método que utilizaremos para realizar a pesquisa deste trabalho.

Para a próxima etapa, que consiste na pesquisa, foi necessário equilibrar o volume final de cada versão — tanto a estéreo quanto a mistura final em Binaural — a fim de garantir uma avaliação precisa da percepção do público, sem que uma versão fosse favorecida por estar mais alta do que a outra.

Agora, passaremos a analisar algumas das principais respostas obtidas neste trabalho, no próximo capítulo. Será que os participantes conseguem identificar essas diferenças? Estarão eles já consumindo música em formato espacial?

5. Trabalho Prático

A ideia de realizar a pesquisa surgiu com o objetivo de medir e analisar a capacidade do público (consumidor) em perceber diferenças entre as duas misturas. É importante ressaltar que medir preferências não é uma tarefa fácil. Por isso, formulei perguntas que provocassem os participantes a identificar grandes diferenças, sejam elas técnicas ou criativas, sensações, vantagens ou desvantagens, além de avaliar o quanto o público está familiarizado com o tema.

Na internet, é possível encontrar diversos vídeos sobre o tema da pesquisa, geralmente produzidos por engenheiros ou especialistas em som. No entanto, ainda existem poucos estudos que refletem a opinião do consumidor em relação a esta tecnologia. Podemos afirmar que será o consumidor o principal responsável por determinar se a tecnologia ganhará força, evoluirá e se estabelecerá como um padrão, ou se permanecerá apenas como mais uma ferramenta disponível para o consumo de música.

É importante reforçar que o foco deste estudo foi a análise da minha própria mistura, com ênfase na música eletrônica dançante. Mesmo já misturando profissionalmente há algum tempo a minha experiência em misturar em Binaural é recente, por isso optei por incluir uma segunda faixa ao final do inquérito, previamente misturada por profissionais da Dolby. Essa decisão visou mitigar possíveis interferências que uma mistura amadora poderia causar na análise dos resultados, garantindo maior rigor técnico à pesquisa. Então, ao final do inquérito disponibilizei a música “Got to Give it up” de Marvin Gaye, para que os participantes pudessem vivenciar a experiência mais uma vez, analisar as diferenças e responder a três questões finais.

5.1. Participantes e grupo de controle

Quarenta e dois participantes com diferentes formações realizaram o inquérito, com o objetivo de medir a percepção de indivíduos provenientes de três grupos distintos: profissionais da área de áudio, estudantes de áudio e cinema da Universidade Lusófona e leigos, aqueles que não estão inseridos no universo da produção musical.

Antes de realizar o inquérito oficial, realizei um teste preliminar enviando-o para cinco amigos próximos, todos produtores musicais com mais de 15 anos de experiência na música. Esse teste foi essencial para identificar e corrigir algumas questões, na mistura em Binaural, onde busquei tornar a experiência mais natural, pelo fato de excesso de reverb em alguns instrumentos e assim ajustando e reposicionando certos objetos sonoros para a posição “near” dentro do software da Dolby.

Dividi os 42 participantes em 2 grupos de controle, cada um composto por 21 pessoas. O primeiro grupo escutou a versão em estéreo primeiro, seguida da versão em Binaural, enquanto o segundo grupo teve a sequência invertida, ouvindo primeiro a mistura em Binaural e depois a versão em estéreo. Como o inquérito envolveu participantes de diferentes nacionalidades, um questionário foi elaborado em inglês e outro em português, ambos contendo as mesmas perguntas. Recomendei o uso de auscultadores profissionais (fechados) para garantir uma experiência auditiva mais precisa, evitando o uso de modelos como os *Airpods*, que poderiam comprometer o efeito e a imersão da experiência.

5.2. Perguntas/Questionário

Perguntas realizadas através do Google forms. Algumas descritivas e outras em múltipla escolha.

- Notou alguma diferenças entre as misturas? Se sim descreva.
- Notou alguma diferença em relação a percepção de movimento? Se sim, descreva.
- Qual mistura representa ou exhibe os instrumentos de forma mais clara.
- Qual das duas versões contribuem mais para definir a energia ou, caracter, qualidade sonora ou a expressão da peça. (múltipla escolha)
- Qual versão acha que possui uma melhor qualidade?
- Alguma delas soa mais natural?
- Você acabou de ouvir a mesma faixa misturada de forma diferente por mim. Você tem alguma preferência sobre como está soando? Porquê?
- Em qual dispositivo você ouve música com mais frequência? (múltipla escolha)
- Você já tinha escutado música de áudio espacial antes?
- Você pagaria a mais por um serviço de *streaming* apenas pela experiência de ouvir a música em áudio espacial?

5.3. Análise dos resultados

A primeira pergunta do inquérito já é extremamente valiosa e através dela conseguimos perceber algumas dos principais problemas apresentados pela não familiarização da tecnologia pelo público. No inquérito A, quase todos os participantes deste grupo perceberam corretamente qual era a mistura em Binaural e também tentaram descrever sobre sentir a espacialização, como nos exemplos abaixo.

Consegues notar alguma principal diferença entre as 2 versões? se sim por favor descreva.

- a) *“Sim. Na primeira versão os elementos estão mais juntos, na segunda já tem muito mais espaço entre eles, profundidade e dinâmica, é mais aberta.”*

- b) *“Sim. A segunda versão é mais imersiva que a primeira. Parece que nos leva mesmo até ao interior da música.”*
- c) *“As panorâmicas ligeiramente diferentes, e na versão 2 parece-me que há o acrescento de algum Stereo Imaging no Master Channel.”*
- d) *“Eu achei a mix 02 mais clara e com mais punch.”*
- e) *“a mix 1 é mais presente no low-end. a mix 2 tem o high-end mais claro”*
- f) *“de alguma maneira o mix 2 parecer ter os sons mais nitidos, mix 1 soa mais dark ou fechado de alguma maneira”*
- g) *“Mais claridade e maior percepção das panorâmicas na mistura 2”*
- h) *“O Pan”*

Para nós engenheiros de mistura conseguir ler e avaliar esses adjetivos são de suma importância. De fato a primeira mistura (em estéreo) parece soar mais compacta na região dos graves e mistura em Binaural parece estar mais clara devido a maior separação dos instrumentos, melhor definição e o reverb acrescentado com o efeito da binauralidade. Das 21 pessoas que responderam no grupo de controlo A, oito não conseguiram perceber diferenças entre as misturas e uma delas até trocou a ordem, ao afirmar que a primeira música era a mistura Binaural e a segunda em estéreo.

- a) *“Sim, a primeira o som está mais amplo e “passeia” pelos dois lados do fone. A segunda versão está estérea também, mas não com os movimentos da primeira versão, está mais no centro.”*
- b) *“A segunda versão tem notas mais graves”*

No inquérito B das 21 pessoas, 20 responderam a primeira pergunta. Nove pessoas não conseguiram notar diferenças entre as misturas.. E de novo algumas pessoas trocaram qual mistura era qual. Eu vou citar algumas repostas e analisá-las.

- a) *“a primeira mistura está mais tridimensional, e a segunda mais abstrata e soando mais analógico.”*
- b) *“Yes, slightly different, especially on the high frequencies. The First mix sounds stronger while the second is more compact but less brightness.”*

- c) *“Yes, the second mix is better balanced, the drums are working better, the stereo image is more suitable for dance music use. The first mix feels overly aggressive for my taste.”*
- d) *“Sim, notei uma diferença. Em alguns momentos, parte específica no som se destaca em um dos lados do fone.”*
- e) *“The first mix the sound was further away. The second mix the sound was closer and I could hear the music with more detail to the different notes.”*
- f) *“Não vejo uma diferença muito grande entre as duas.”*
- g) *“I did not notice any major differences”*
- h) *“No, I did not notice the difference between two mixes.”*

Podemos interpretar o “análogo” da primeira resposta acima como algo que a pessoa já esteja mais acostumada a ouvir e que a ela seja mais natural.

A segunda resposta também traz uma observação muito parecida com uma resposta do grupo de controlo A. Ao dizer que a primeira mistura soa com mais brilho e mais forte, de fato isso é uma característica que a mistura em Binaural se difere da mistura tradicional em estéreo. Os instrumentos realmente parecem ter mais brilho, espaço e definição dando essa sensação de soar mais forte. Porém para a mistura 2B o participante define sendo mais compacto e com menos brilho. O que de fato é verdade. Achei a terceira resposta muito interessante, aonde o participante diz que a mistura 2A (em Binaural) é muito agressiva para música eletrônica dançante e que a primeira mistura soa com a bateria, a imagem estérea, e a faixa si mais equilibrada. As próximas três pessoas não notaram diferença. É curioso perceber as diferentes percepções, o sétimo participante descreve a primeira mistura 2A mais imersiva e diz que lhe toca mais. O oitavo participante descreve a 2B sendo mais monótona mais ao final acaba por dizer que o instrumento de baixo está com menos notas, o que não é verdade. Cinco respostas foram diretas ao responder que não perceberam grandes diferenças.

Na segunda pergunta do inquérito do grupo de controlo A, onze pessoas apontaram e notaram diferenças no movimento. Como:

Você notou alguma diferença entre as duas misturas na percepção de movimento? você pode descrever o que ouve?

- a) *“Sim. Na segunda versão consegue perceber-se melhor de onde vem o som, onde ele se localiza.”*
- b) *“Me senti mais envolvido pela segunda versão”*
- c) *“Menos percepção do movimento na mistura 1.”*
- d) *“Sim, existem automações de panorama na versão 02 bem perceptíveis.”*
- e) *“o ritmo do mix 2 é mais marcado e talvez até mais lento, enquanto o mix 1 é mais rápido.”*

No Inquérito B, seis pessoas afirmaram perceber diferenças, fazendo observações como "o ritmo da música, especialmente o baixo, estava diferente de uma versão para a outra", o que, na realidade, não é verdade. As respostas, em geral, variam consideravelmente: alguns participantes notaram claramente o movimento, enquanto outros fizeram observações que, para mim, parecem contrárias, como, por exemplo, "A mistura 2B tem mais movimento no panorama".

Ao analisar essas respostas, percebo que um terço do grupo forneceu respostas coerentes e precisas, enquanto outro terço fez observações que, em minha avaliação, são inconsistentes. O restante do grupo não soube responder com clareza. Para aprofundar nossa análise, selecionei três respostas específicas para examinar em detalhes.

- a) *“Sim. Existe um momento no fim da música em que parece que o instrumento está me rodeando. Embora tenha tido essa percepção nas duas mixagens, a primeira (Teste C mix 1) é mais acentuada.”*
- b) *“A mistura 1 tem mais fluidez no movimento. Tudo parece ter mais movimento e espaço de maneira coesiva. A mistura dois é mais abafada e menos rica em relação a movimentação dos sons”*
- c) *“Mix 02 has more stereo movement, which can be distracting sometimes. Mix 01 sounds clearer, stable with still good amount of stereo movement. Mix 01 has a better overall balance.”*
- d) *“O mix 2 parece mais acelerado e mexido do que o mix 1.”*
- e) *“I think the Mix 01 has clearer depth and layers”*

De 19 pessoas que responderam do grupo B, eu diria que três responderam de forma mais coesa com a minha própria percepção.

As próximas perguntas do inquérito foram de múltipla escolha. Vamos analisar as respostas e os gráficos dos resultados em cada grupo de controlo.

Grupo A:

Qual mix representa ou exhibe os instrumentos/elementos musicais de forma mais clara?

21 respostas

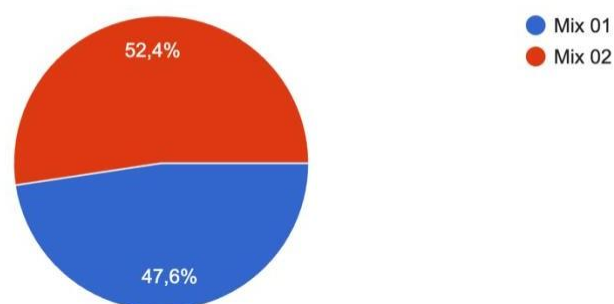


Figura 25: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02, binaural em Vermelho

Grupo B:

Which mix represents or displays the musical instruments/ elements more clearly? What do you hear?

21 respostas

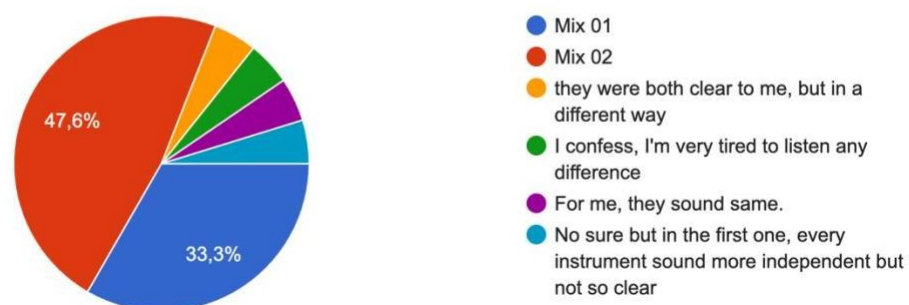


Figura 26: Mistura 01, binaural em azul vs mistura 02, estéreo em vermelho

A maioria dos participantes votaram que a mistura em estéreo representa melhor e os elementos estão mais claro. Será que por estarem mais acostumados ao estéreo acabaram por optar por o que soam mais natural aos seus ouvidos? Ao mesmo tempo com as duas próximas perguntas geram-se respostas controversas.

Grupo A:

Qual das versões contribuem mais para definir a energia ou o carácter ou a mensagem ou a qualidade sonora ou a expressão da peça?

21 respostas

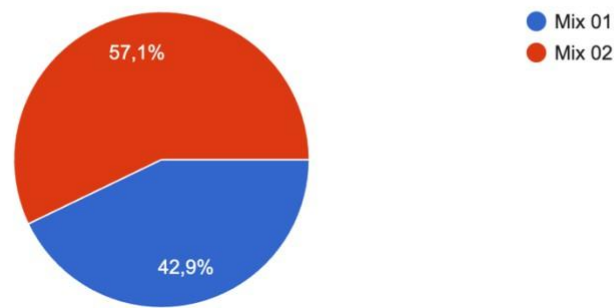


Figura 27: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02 binaural em vermelho.

Grupo B:

What musical materials/instruments contribute most to defining the energy or the character or the message or the sound quality or the expression of the piece?

21 respostas

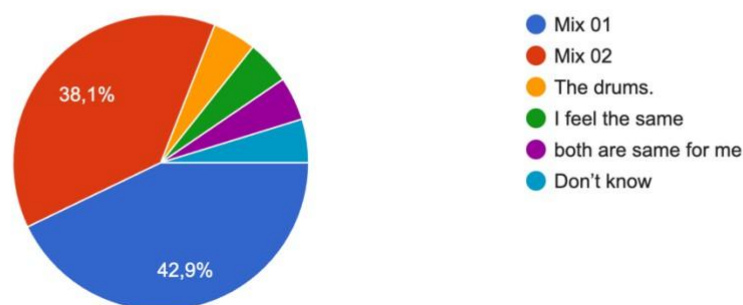


Figura 28: Mistura 01, binaural em azul, vs mistura 02, estéreo em vermelho.

A quarta pergunta foi bem dividida. No inquérito A, 12 pessoas acham que a mistura em Binaural contribui mais para a expressão da peça. E 9 preferem a mistura em estéreo. No grupo de controlo B, 42,9% das pessoas, acham que a mistura 2 em Binaural favorece para mensagem e energia da música. 38,1% escolheram a versão em estéreo e 19% não conseguiram responder ou acham elas iguais.

No geral somando os dois grupos de controlo podemos notar que a preferência nessa questão é levemente pela versão em Binaural.

Na quinta pergunta, o grupo A:

qual versão possui uma melhor qualidade?

21 respostas

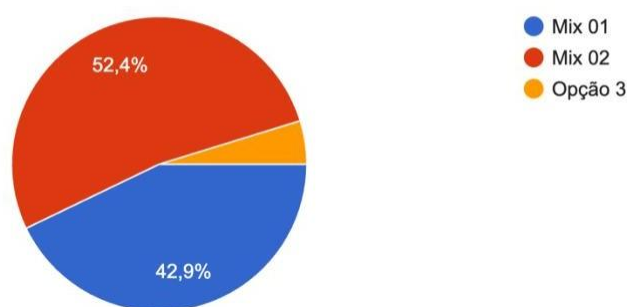


Figura 29: Mistura 01 estéreo em azul versus mistura 02 binaural em vermelho.

Muito coerente com as respostas anteriores o grupo A, mantém com onze pessoas preferindo a mistura em Binaural e optando ao dizer que soa com mais qualidade.

No grupo B, nove pessoas escolheram a 2 A, mistura em Binaural. Sete participantes escolheram a 2 B, mistura em estéreo e cinco não souberam responder.

Which mix holds the best sound quality?

19 respostas

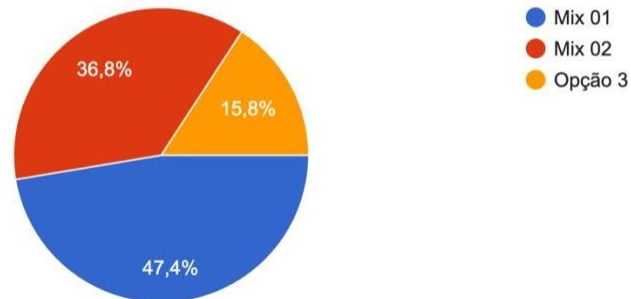


Figura 30: Mistura 01 em azul, binaural versus mistura 02 em vermelho, estéreo. Não sei em laranja.

A sexta pergunta temos um empate, mas com diferentes observações que vamos analisar abaixo ao gráfico.

Grupo A:

Alguma delas soa mais natural ?

21 respostas

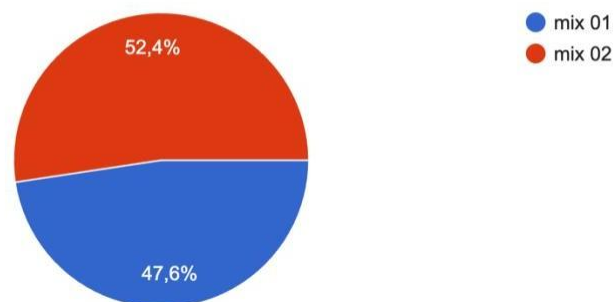


Figura 31: Mistura 01, estéreo em azul versus mistura 02, binaural em vermelho

a) “A 01 soa mais natural pois não há tantas diferenças de panorama como na faixa 02”

- b) *“Na verdade, eu tenho dúvida do que seria natural. a mix 2 deixa os elementos mais claros, mas cria uma profundidade e espaços que não sei se é natural, mas de fato me faz ouvir melhor a música.”*
- c) *“Os sons na mix 1, têm uma maior naturalidade, foco e melhor definição dos graves, enquanto na mix 2, os sons têm uma qualidade mais "watery" e não tão focada geralmente, e para este género de música mais eletrónica, a mix 1 para mim seria a preferível.”*
- d) *“A mix 2 parece que tem mais espaço entre os instrumentos. na mix 1 não parece ter tanto espaço, mas parecem complementarem-se melhor”*
- e) *“Devido à claridade da mistura 2 em comparação com a 1.”*

Grupo B:

Is there a track you think sounds more natural?

20 respostas

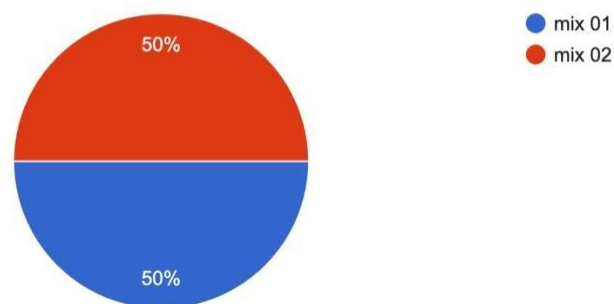


Figura 32: Mistura 01, binaural em azul vs mistura 02, estéreo em vermelho.

- a) *“I can notice the different levels of each instrument more so it’s more enjoyable sonically speaking.”*
- b) *“Mix 02 sound more flat and less attracting”*
- c) *“O destaque de alguns instrumentos é melhor percebido no Teste 1. Isso faz com que a dinâmica da música seja mais interessante.”*
- d) *“I’m not sure what natural means, but I would say I prefer the 2nd one”*

- e) *“Porque sinto mais natural, ou seja, um som menos “processado” e sem que alguns instrumentos (graves e agudos), interfiram ou se sobreponham a outros.”*

Na sétima pergunta, perguntamos qual mistura eles preferem. No grupo A, onze pessoas preferem a mistura em estéreo e dez preferem a mistura em Binaural. No grupo B tivemos exatamente o mesmo resultado. Porém com algumas respostas trocadas, vamos analisar abaixo o que isso significa.

Grupo A

Você acabou de ouvir a mesma faixa mixada de forma diferente por mim. Você tem alguma preferência sobre como está soando?

21 respostas

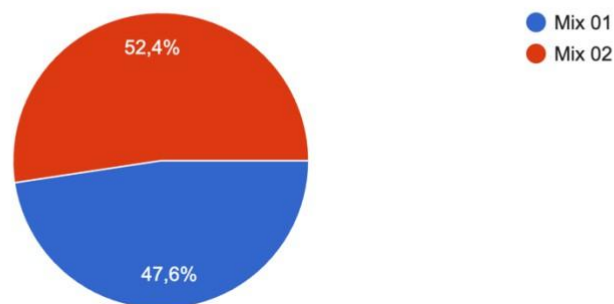


Figura 33: Mistura 01, estéreo em azul vs mistura 02, binaural em vermelho.

- a) *“Estéreo - Mix 01, a mix 1 parece ser mais coerente e os instrumentos encaixam-se melhor. Mas prefiro a percussão da mix 2(toms).”*
- b) *“Estéreo - Mix 01, parece mais aberto, mais espaço para cada instrumento respirar”*
- c) *“Estéreo - Mix 01, A mix soa melhor”*
- d) *“Binaural - Mix 02, pessoalmente, gostei mais do som da Mix 02 mais uma vez devido à colagem e a harmonia entre sons existentes.”*
- e) *“Binaural - Mix 02, acredito que a segunda opção condiz mais com a intenção e estética do gênero.”*

- f) *“Estéreo – Mix 01 Os sons na mix 1, têm uma maior naturalidade, foco e melhor definição dos graves, enquanto na mix 2, os sons têm uma qualidade mais "watery" e não tão focada geralmente, e para este género de música mais eletrónica, a mix 1 para mim seria a preferível.*

Grupo B

You just listened the same track mixed differently by me. Do you have a preference on how is it sounding ?

21 respostas

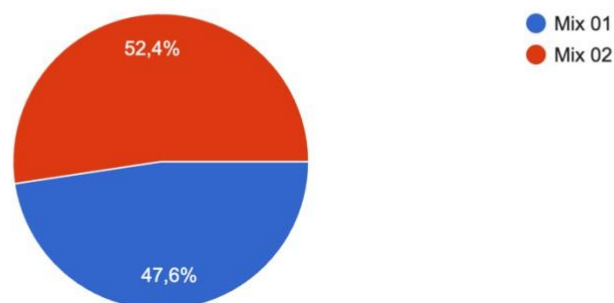


Figura 34: Mistura 01, binaural em azul versus mistura 02, estéreo em vermelho.

- a) *“Stereo - Mix 02, 2nd seems less 'artificial' (?)”*
- b) *“Stereo - Mix 02, as mix 01 feels a little bit brighter”*
- c) *“Stereo - Mix 02, It's not that complex as mix 1. As dance music shouldn't be.”*
- d) *“Binaural - I feel mix 1 is more immersive”*
- e) *“Binaural, Mix 01 Gosto da experiência do movimento espacial que a música oferece.”*
- f) *Stereo, mix 02 Appears more alive and natural.”*
- g) *“Stereo - Mix 01, Yes, I like to surround myself with music and I experienced that with mix 2.”*
- h) *“Binaural, Mix 01 Gosto da experiência do movimento espacial que a música oferece.”*
- i) *“Stereo - Mix 02, prefiro a distinção maior entre os instrumentos e não que alguns se sobreponham a outros.”*

Para a nossa análise aqui no trabalho eu adicionei algumas respostas a mais do que no grupo A somente para exemplificar como ficou confuso para algumas pessoas a diferença entre as misturas. Nestas últimas 3 respostas do grupo de controlo B, os participantes descrevem como se a mistura em estéreo fosse a espacializada.

Como já mencionado algumas vezes realmente é muito difícil se medir preferência. Algumas pessoas acham mais natural e limpa uma versão, outras preferem a imersão

Grupo A

Em qual dispositivo você ouve música com mais frequência? ex: alto-falantes, fones de ouvido, carro, TV...?

21 respostas

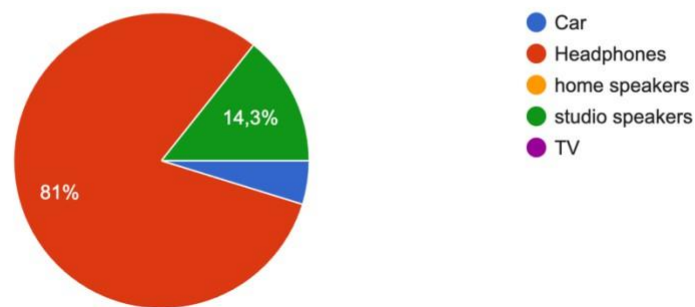


Figura 35: vermelho = auscultador, azul = carro, verde = colunas de estúdio

Grupo B

Which device do you listen to music more often? ex: speakers, headphones, Car, Tv...?

20 respostas

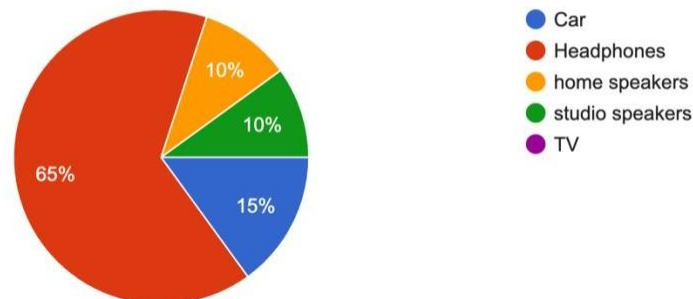


Figura 36: vermelho = auscultador, azul = carro, verde = colunas de estúdio, laranja = colunas normais

Nos dois grupos de controlo a maioria das pessoas escutam música via auscultadores. O que é um ponto positivo para a tecnologia Binaural e o Dolby Atmos.

Nas duas últimas perguntas do inquérito eu perguntei se já ouvido música espacial antes e se pagariam um pouco a mais para um serviço de *streaming* para se ter a opção de se escutar música espacial

No grupo A dos 21 participantes, treze pessoas disseram que sim, mas ao perguntar se pagariam a mais para um serviço de *streaming* para ouvir música espacial doze participantes falaram que não pagariam e nove responderam que sim.

No grupo B dos 20 participantes apenas 6 responderam que já haviam escutado música em Binaural. Treze pessoas não pagariam a mais para um serviço de *streaming* e 7 disseram que sim.

Por último eu disponibilizei uma mistura feita pela própria Dolby Atmos para uma música do Marvin Gaye. Perguntei aos participantes se notavam diferenças, como a música possui várias camadas de vocais e instrumentos o efeito Binaural fica bastante em evidencia.

Entre 14 participantes que responderam somente 1 não notou diferença no grupo A.

Das 18 pessoas que ouviram somente 3 não conseguiram perceber diferenças no grupo B.

Ao perguntar qual versão eles preferem temos outro empate ao somar os 2 grupos.

qual soa melhor? Tens preferência entre a mix 1 ou 2?

17 respostas

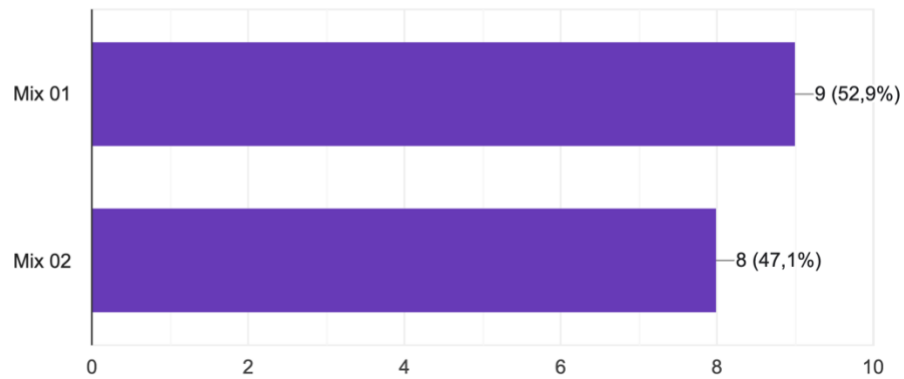


Figura 37: Grupo A, mistura 01 em binaural versus mistura 02 em estéreo

Do you prefer mix 1 or 2 ?

18 respostas

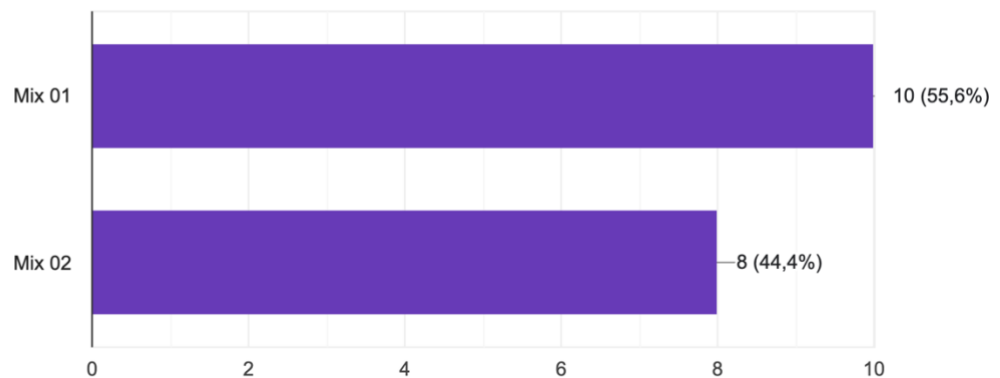


Figura 38: Grupo B, mistura 01 em estéreo versus mistura 02 em binaural.

Curiosamente, o grupo A preferiu a versão em Binaural na mistura da Dolby Atmos e o grupo B preferiu as versões em estéreo, porém as diferenças são muito próximas, confira a tabela abaixo.

	Arado - estéreo	Arado - binaural	Marvin Gaye Estéreo	Marvin Gaye Binaural
GRUPO A	52,4%	47,6%	47,1%	52, 9%
GRUPO B	49,6%	52,4%	55,6%	44,4%

Figura 39: Resultado inquérito

De 42 dos participantes, 16 não conseguiram notar diferenças entre as misturas e muitas pessoas trocaram qual versão era qual.

Os profissionais do áudio demonstraram maior clareza e coerência nas repostas, no entanto, houve alguns casos em que confundiram as versões, afirmando que a mistura Binaural era a versão estéreo e vice-versa. Quando perguntados sobre qual mistura representa melhor os elementos da música, os resultados foram mistos; o primeiro grupo de participantes preferiu a versão em estéreo, enquanto o segundo grupo foi bem dividido, mas com uma leve tendência para o Binaural. Somando os dois grupos, a conclusão foi que a versão em estéreo foi considerada mais apropriada. Na questão seguinte, o resultado se manteve consistente, com a maior parte dos participantes demonstrando uma preferência pela versão em estéreo, que parece fazer mais sentido para essa peça específica, em comparação com a versão espacializada. Na pergunta sobre qual versão soa mais natural, esperava-se uma maior tendência pela versão em estéreo, mas muitos participantes não souberam responder, resultando em um empate. Na pergunta sobre qual possui a melhor qualidade os dois grupos escolheram a mistura em binaural. Mas quando perguntados sobre qual versão eles preferiam, tivemos outro empate. A maioria dos participantes confirmou que escutam música predominantemente através de auscultadores, mas a maioria também indicou que não pagariam um valor adicional para usufruir dessa tecnologia em um serviço de *streaming*. Comentários como "a mistura Binaural soa mais artificial" ou "a mistura em estéreo se adapta melhor à música eletrônica dançante" foram observações valiosas para o estudo.

Mesmo a versão misturada pela Dolby gerou dúvidas nos participantes e acabamos por ter outro empate entre os grupos de controlo.

Fiquei impressionado ao perceber que, mesmo entre amigos e profissionais da área de áudio que participaram do inquérito, poucos já tinham o hábito de escutar música espacializada, e um número reduzido havia experienciado o áudio Binaural. Isso sugere que o tema ainda não atingiu um público amplo.

6. Conclusão

De certo modo, é possível traçar paralelos similares entre o surgimento do som estereofônico e a atual possibilidade de se ouvir música espacial, considerando que ambos fazem parte do avanço natural da tecnologia e da evolução da experiência auditiva. Como percebemos ao início do trabalho, quando o som estereofônico apareceu no mercado, também enfrentou barreiras e, inicialmente teve uma fraca aceitação no mercado. Fatores como custo e disponibilidade, compatibilidade e percepção inicial contribuíram para tal. Algo semelhante aos argumentos que estão a circular agora com o Dolby Atmos e o áudio binaural.

Este estudo sistematiza um conjunto de conceitos teórico-conceituais e práticas de produção quando associadas ao processo de mistura no contexto da tecnologia Dolby Atmos, no sentido de favorecer a percepção binaural. Como referido no capítulo dois, e através da análise de resultados do inquérito do capítulo cinco, podemos facilmente constatar que os hábitos de escuta musical, atualmente, passam essencialmente pelo uso de auscultadores. Deste modo, procurou-se reunir um conjunto de referências teórico-práticas que permitisse, não só, enquadrar a dimensão física, psicoacústica e artístico musical (mistura) do som na sua multidimensionalidade, mas também analisar e observar a sua receção.

Para isso, foi necessário aprofundar conceitos em torno dos fenómenos psicoacústicos e tecnologias de som no contexto dos variados sistemas multicanal. Compreendemos que, a percepção binaural resulta de uma conjunção de fatores psicofísicos que gravitam em torno das funções de filtragem HRTF associadas aos fenómenos de difração que ocorrem ao nível da cabeça e do pavilhão auditivo. A fase psíquica da percepção binaural é complexa, pelo que, a sua tradução em algoritmos matemáticos avançados é necessária, de modo a emular essa mesma percepção aquando da escuta com auscultadores.

A tecnologia multicanal Dolby Atmos surge como ponto de partida para este projeto de investigação. Consolidada no universo cinematográfico, a sua produção e difusão comercial no contexto da produção musical é relativamente recente. Ao longo das últimas décadas e em conjunção com a cristalização de hábitos de escuta no domínio da estereofonia, parece pertinente avaliar se a experiência de escuta em binaural surge como válida alternativa ao estéreo. Ao longo deste estudo, parece claro que a mistura binaural aumenta as potencialidades expressivas da estereofonia. Urgia verificar e validar se estas evidências se confirmavam ao nível da receção pública.

Com base nos resultados observados e à interpretação dos dados do inquérito, podemos concluir que; A mistura em binaural apresenta um conjunto de respostas favoráveis junto das primeiras questões em torno da clareza, carácter e qualidade do som. No entanto, notou-se que a diferença é muito ligeira, no ponto de vista do consumidor. Argumenta-se que muitos engenheiros misturam primeiro a versão em estéreo e depois tentam seguir mais ou menos o estéreo como referência ou mesmo ao contrário, ao acabar a mistura em Atmos (ou binaural), usamos a mesma versão e convertemos para estéreo mantendo características parecidas entre as misturas, o que pode gerar ainda mais dúvida na perceção, o que torna difícil conjecturar se existe uma objetiva e clara identificação das vantagens ou qualidades sonoras do binaural em relação ao estéreo;

Um terço dos participantes não conseguiram notar diferenças entre as misturas. Em relação à "preferência", apenas uma ligeira vantagem para o binaural, contudo, é difícil objetivar uma preferência nítida. As diferenças variam entre 54/ 46. Deste modo, pode-se concluir que não existe uma diferença significativa quer na perceção, quer na preferência;

Consequentemente, futuros estudos poderão determinar se de fato a tecnologia binaural irá se estandardizar do ponto de vista da receção; no entanto, independentemente da sua receção, aceitação ou sucesso comercial, podemos especular em torno do seu futuro: Com efeito, a espacialização sonora configura-se como um campo de elevado potencial no contexto da música eletrónica dançante, apontando para novas possibilidades estéticas e tecnológicas. É expectável que esta tecnologia continue a desenvolver-se, independentemente da sua recepção inicial por parte do grande público. A tendência aponta para um refinamento de dispositivos eletrónicos, dos algoritmos e dos processos criativos associados à mistura, o que poderá tornar mais evidentes as suas particularidades e, consequentemente, suscitar um interesse acrescido em torno do áudio binaural.

O resultado do inquérito mostra-nos que o tema ainda não chegou realmente nos ouvidos do público. Mesmo amigos, DJs ou profissionais de áudio, que participaram do inquérito, verificou-se que ainda não há um hábito consolidado de ouvir música espacializada, sendo poucas os participantes que já haviam experimentado o áudio em formato binaural. Embora o uso dessa tecnologia seja mais comum em realidades virtuais, videojogos, instalações artísticas e até mesmo em práticas meditativas, conforme apontado por um dos participantes, o áudio binaural permanece um campo em evolução. Há um potencial

significativo para que essa tecnologia se consolide no futuro, à medida que se desenvolvem novos usos e experiências auditivas.

Apesar da sugestão de realizar o inquérito utilizando auscultadores (fechados) de boa qualidade, não foi possível controlar o tipo de auscultador utilizado por cada participante. Essa limitação, juntamente com o número reduzido de participantes, comprometeu, até certo ponto, a obtenção de dados mais precisos e claros. Portanto, a realização de novos inquéritos, com um maior número de participantes e outros testes com diferentes estilos musicais permitiria explorar mais profundamente as vantagens do áudio binaural na produção musical, gerando dados mais significativos para a continuidade deste estudo.

Acredito que, por enquanto, o uso de misturas binaurais na música eletrônica mais popular, como *House* e *Techno*, ainda não seja necessária. Isso ocorre principalmente porque os DJs, em sua maioria, dependem da aquisição constante de músicas para suas apresentações semanais. Essa realidade é reforçada pela limitada disponibilidade de conteúdos musicais em formato binaural e, sobretudo, pela predominância de sistemas de som em estéreo ou até mesmo em mono na maioria dos grandes festivais e discotecas ao redor do mundo. É plausível que, num futuro próximo, surjam mais salas de espetáculos como o *Sphere* em Las Vegas, ou ao *Polygon*, em Londres que já investem e acolhem apresentações baseadas em sistemas imersivos. Mas por enquanto, tais restrições técnicas e de mercado mantêm o formato estéreo como o padrão amplamente utilizado nesse contexto. Embora algumas editoras já estejam a investir nesse formato visando especificamente o *streaming*, a maioria dos lançamentos de música eletrônica dançante ainda tem o foco no estéreo. Um ponto relevante mencionado na entrevista com o engenheiro Matthew Styles é que o investimento necessário para a produção de uma mistura em Dolby Atmos envolve altos custos, e as gravadoras não recebem remuneração adicional dos serviços de *streaming* pela disponibilização de uma segunda mistura em Dolby. No entanto, no início deste ano a Apple anunciou que começaria a pagar mais 10% em royalties as músicas disponibilizadas em áudio espacial.

Estudos futuros podem igualmente contribuir para avaliar se estas tecnologias continuaram em seu caminho comercial, mesmo por algum desconhecimento do público ou até aparente desinteresse. Desde modo, podemos antever dois cenários; a tecnologia existe e a indústria vai continuar a apostar nela, e ela continuará no processo de evolução na esperança de que, um dia, se torne um padrão. Ou então a tecnologia implode porque o mercado não a

consome, o que poderia levar a um cenário semelhante ao que se observa com o declínio do cinema 3D. Fica em aberto para futuros estudos.

7. Referências

1. **André, C.** (2013) *Audiovisiaul spatial congruence, and applications to 3d sound and stereoscopic video*. Liege, PDH thesis, Universite de liege.
2. **Anushiravani, R.** (2014). *3D audio playback through two loudspeakers*. Illinois: Tese de bacharelado, Universidade de Illinois.
3. **Arons, B.** (1992). *A review of the cocktail party effect*. Cambridge: MIT Media Lab.
4. **Ballou, G.** (2005). *Handbook for sound engineers* (3rd ed.). Indiana: Focal press
5. **Baxter, D.** (2022). *Immersive sound production*. Oxon and NY: Routledge.
6. **Blauert, J.** (1997). *Spatial hearing: The psychophysics of human sound localization* (Rev. ed.). London, The MIT Press.
7. **Blauert, J.** (2013). *The technology of binaural listening*. Bochum, Springer.
8. **Bosum, X.** (2020). *Spatial sound: History, principles, progress, and challenges*. Guangzhou, Chinese Journal of electronics.
9. **Borges, Felipe** (2023) *Audiodescrição, percepção e simulação binaural*. Lisboa: Tese de mestrado, Universidade Lusófona
10. **Bull, M., & Cobussen, M.** (2021). *The Bloomsbury handbook of sonic methodologies*. NY, Bloomsbury Academic.
11. **Burgess, B.** (2014). *The history of music production*. Oxford, Oxford University Press.
12. **Carbanillas, R.** (2020). *Mixing music with Dolby Atmos* (Tese de mestrado, Universidade do Estado da Califórnia Monterey Bay). Orientador: Prof. Sammons, Monterey Bay.
13. **Chen, Z.** (2005). *Cocktail party problem*. Article in *Neural computation*. Ontario. Massachusetts Institute of Technology.
14. **Clark, R.** (2011). *Mixing, recording and production techniques of the pros* (2nd ed.), Massachusetts, Course Technology.
15. **Corey, J.** (2010). *Audio production and critical listening*. Focal press
16. **Egizii, A.** (n.d.). *The Waves guide to arrangement, production, and mixing*. Waves Team. [E-book].
17. **Firtha, G.** (2019). *A generalized wave field synthesis theory with application for moving virtual sources*. Budapest: Budapest University.

18. **Fonseca, N.** (2020). *All you need to know about 3D audio*. Sound Particle.
19. **Henrique, L.** (2002). *Acústica musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
20. **Henriques, F.** (2007). *Guia de mixagem*. Rio de Janeiro: Editora Música e Tecnologia.
21. **Hepworth-Sawyer, R., & Hodgson, J.** (2016). *Mixing music*. NY: Routledge.
22. **Horning, S.** (2013). *Chasing sound*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
23. **Izhaki, R.** (2008). *Mixing audio: Concepts, practices, and tools*. NY: Elsevier.
24. **Katz, M.** (1970). *Capturing sound: How technology has changed music*. Berkeley and LA: University of California Press.
25. **Kent, J.** (2014). *A comparative study of analogue and digital mixing techniques*. Grahamstown: Rhodes University
26. **Lessing, P.** (2004). *A binaural 3D sound system applied to moving sources*. Master thesis, University of Music and Dramatic Arts of Graz. Las Palmas, IEM
27. **Levitin, D.** (2010). *A música no seu cérebro*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.
28. **Lindberg, M.** (2022). *Mixing Atmos: SOS Magazine*.
29. **Lingold, M., Mueller, D., & Trettien, W. (Eds.).** (2018). *Digital sound studies*. Durham and London: Duke University Press.
30. **Matsakis, M.** (2021). *Mastering object-based music with an emphasis on philosophy and proper techniques for streaming platforms*. Tese de mestrado, NY: New York University
31. **Merimaa, J.** (2006). *Analysis, synthesis, and perception of spatial audio: Binaural localization modeling and multichannel loudspeaker reproduction*. Tese de doutorado, Helsinki: Universidade de Tecnologia de Helsinki
32. **Moylan, W.** (2007). *The art of recording: Understanding and crafting the mix*. Burlington: Focal Press.
33. **Moylan, W.** (2020). *How the record shapes the song*. NY: Focal Press.
34. **Owsinski, B.** (2014). *The mixing engineer's handbook (3rd ed.)*. Boston: Course technology.
35. **Owsinski, B.** (2022). *The mixing engineer's handbook (5th ed.)*. Burbank: Bobby Owsinski.
36. **Boren B., Roginska, A., & Geluso, P.** (2018). *Immersive sound: The art and science of binaural and multi-channel audio*. NY/London: Routledge.
37. **Rothermitch, E.** (2021). *Mixing in Dolby Atmos – How it works*. S.L: Gem Series.

38. **Schelvis, S. A.** (2020). *4D sound: A new technology? On the ontology of techno in space* (Dissertação de mestrado), Amsterdam: Universiteit van Amsterdam,.
39. **Sun, X.** (2021). *Immersive audio: Capture, transport, and rendering: A review*. Published online by Cambridge: University Press.
40. **Théberge, P., Devine, K., & Everett, T.** (2015). *Living the stereo: Histories and cultures of multichannel sound*. NY/London: Bloomsbury Academic.
41. **Toole, F.** (2008). *Sound reproduction: Loudspeakers and rooms*. Oxford: Focal Press.
42. **Warren, R.** (2008). *Auditory perception: An analysis and synthesis* (3rd ed.) Cambridge: University Press.

7.1 Videografia e Filmografia

- **Audio University.** (2022). *Surround sound with headphones? HRTF & binaural audio explained* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=S1SyadbRqec&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=31>
- **Balladeer Studio.** (2022). *Affordable Atmos mixing room* [Vídeo]. YouTube. Acedido em novembro de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=hSSQ4zXouZQ&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=16>
- **Calder, J.** (2013). *How sound works (in rooms)* [Vídeo]. YouTube. Acedido em janeiro de 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=JPYt10zrc1Q>
- **Calder, J.** (2014). *Your brain on sound* [Vídeo]. YouTube. Acedido em janeiro de 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=aI098eNsmuY>
- **Cubase.** (2022). *Dolby Atmos music creation: New features in Cubase 12* [Vídeo]. YouTube. Acedido em abril de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=ixY6IPGzOxY&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=9>

- **Dolby.** (2022). *Dolby Atmos music creation 101: Mixing for headphones* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qs1tffnAjPE&t=23s>
- **Fonseca, N.** (2023). *Sound particles: Dynamic panning live* [Vídeo]. YouTube. Acedido em 09 de setembro de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=cQCoEJ8hxGI&t=2700s>
- **Jaycen & Timbaland & Pensado.** (2021). *Production e mixing seminar 2* [Vídeo]. Mixwiththemasters. <https://mixwiththemasters.com/videos/jaycen-joshua-jaycen-timbaland-pensado>
- **Lanewood Studios.** (2022). *Dolby Atmos for home studios in Cubase* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=wS2RAAgvfBk&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=5>
- **Raley, D.** (2023). *Defining immersive audio, Adam Audio* [Vídeo]. YouTube. Acedido em dezembro de 2023, de https://www.youtube.com/watch?v=TsGOXH6sp_8&list=PLGSZx_3dmWXpkLaQbsG5uKG48sAEbCkK3
- **Scheps, A.** (2022). *Mixing with Dolby Atmos* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=PCS3_vxtBUE&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=19
- **Selim, C.** (2022). *Dolby Atmos mixing setup in a home studio with Matt Boudreau* [Vídeo]. YouTube. Acedido em março de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=ZPKAqU1mjUI&list=PLaXgHv1yqt5YfoKgJXOMP83BKpaoR1O4Z&index=12>
- **Sweetwater.** (2022). *Getting started with Atmos mixing* [Vídeo]. YouTube. Acedido em setembro de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=aI098eNsmuY>
- **Tobin, M.** (2021). *Dolby Atmos music creation mixing for headphones* [Vídeo]. YouTube. Acedido em 10 de novembro de 2022, de <https://www.youtube.com/watch?v=qs1tffnAjPE&t=638s>
- **Tobin, M.** (2021). *Intro to Dolby Atmos music mixing at home* [Vídeo]. YouTube. Acedido em 13 de dezembro de 2022, de <https://www.youtube.com/watch?v=mMwdnWi62EE>

□ **Vessa, B.** (2024). *What is immersive audio and why is it so cool* [Vídeo]. YouTube. Webcast series. <https://www.youtube.com/watch?v=nsoDChjHNtY>

7.2 Webgrafia

□ **Clearmountain, B.** (2022). *Dolby Atmos go away*. Publicado em Music Radar. Acedido em abril de 2024, de <https://www.musicradar.com/news/bob-clearmountain-dolby-atmos-go-away>

□ **Dolby.** (2018). *Dolby Atmos for mobile*. Acedido em dezembro de 2022, de <https://www.dolby.com/us/en/technologies/mobile/dolby-atmos.html>

□ **Dolby.** (2021, 5 de dezembro). *Dolby Atmos music studio best practices* [PDF]. Acedido em novembro de 2023, de <https://dolby.my.salesforce.com/sfc/p/#700000009YuG/a/4u000000IFIV/YHgXgrJVKAcclcXkD.DnIRUBZU1CqEMGDKweLRpuu98>

□ **Dolby.** (2024). *How to listen to music in Dolby Atmos*. Acedido em outubro de 2024, de <https://www.dolby.com/es/experiencia/home-entertainment/articles/how-to-listen-to-music-in-dolby-atmos/>

□ **Graupera, J.** (2010, 10 de junho). *Is mixing an art?* Acedido em 9 de fevereiro de 2024, de <https://jordigraupera.cat/is-mixing-an-art/>

□ **Kagan, A.** (2022, 20 de setembro). *Everything about multichannel audio setup*. Acedido em novembro de 2023, de <https://www.sonarworks.com/blog/learn/multichannel-audio-setup-1-0>

□ **Kagan, A.** (2023, 6 de dezembro). *Atmos on a budget*. Sonarworks. Acedido em abril de 2024, de <https://www.sonarworks.com/blog/learn/atmos-on-a-budget>

□ **Moller, H.** (1992). *Fundamentals of binaural technology*. Publicado em Applied Acoustics. Acedido em março de 2024, de https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/54564101/Moller_1992.pdf

□ **Neumann.** (s.d.). *The dummy head - Theory and practice*. Acedido em outubro de 2023, de <https://lesonbinaural.fr/EDIT/DOCS/Neumann%20KU%20100.PDF>

□ **Practical Mixing.** (2002). *SOS Magazine*. Acedido em janeiro de 2002, de <http://www.sospubs.co.uk/sos/jan02/articles/practicalmixing.asp>

□ **Solano, A.** (2023, 7 de outubro). *Dolby Atmos – Understanding binaural mixing*. Acedido em dezembro de 2023, de <https://www.production-expert.com/production-expert-1/dolby-atmos-understanding-binaural-mixing>

□ **Turk, V.** (2020). *O homem que inventou o estéreo*. Acedido em 18 de dezembro de 2022, de <https://www.vice.com/pt/article/4xdvpb/o-homem-que-inventou-o-estereo>

