

Norton Felipe Sanches de Lima

CARACTERIZAÇÃO DE MICROFONES NO
ESPAÇO TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO
O MÉTODO *TIME-STRETCHED PULSE*

Toledo

2021

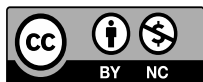
Norton Felipe Sanches de Lima

CARACTERIZAÇÃO DE MICROFONES NO
ESPAÇO TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO O
MÉTODO *TIME-STRETCHED PULSE*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Yoshihiro Nakano

Toledo
2021



4.0 Internacional

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, com crédito atribuído ao autor. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.

Norton Felipe Sanches de Lima

CARACTERIZAÇÃO DE MICROFONES NO
ESPAÇO TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO O
MÉTODO *TIME-STRETCHED PULSE*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Toledo, 11 de maio de 2021:

Prof. Dr. Alberto Yoshihiro Nakano
Orientador

Professor
Prof. Dr. Fábio Rizental Coutinho

Professor
Prof. Dr. Marcos Roberto Bombacini

Toledo
2021

RESUMO

Transmitir mensagens de forma clara, proporcionar conforto e trazer imersão ao ouvinte, são alguns dos desafios enfrentados por profissionais que dedicam sua vida ao áudio. Muitos aspectos subjetivos envolvem esse tema, contudo, a caracterização é amplamente utilizada quando se precisa quantificar esses aspectos, tornando possível mensurar a qualidade do som e dos equipamentos envolvidos. Com auxílio de uma plataforma automatizada e de um suporte modular, esse trabalho levanta características capitais sobre microfones, levando em consideração o ambiente tridimensional ao qual o mesmo é submetido, gerando diagramas de captação espaciais, resposta impulsiva e resposta em frequência dos mesmos. A utilização de uma plataforma controlada por um programa desenvolvido em Labview em conjunto com a plataforma de desenvolvimento Tiva, tornou possível a variação em 360° em azimute da incidência sonora sobre o microfone. Um suporte produzido em uma impressora 3D faz a variação em elevação da incidência sonora. A partir do método *Time-Stretched Pulse*, uma sequência é criada e transformada em um arquivo de áudio, capaz de percorrer toda frequência audível. Esse sinal quando reproduzido e posteriormente processado com seu filtro inverso, fornece os dados necessários para descrever e destacar o comportamento dos microfones Boya M1, BM800 e Behringer Xm1800s. Os diagramas polares gerados, mostram a contribuição de todas as frequências captadas pelos equipamentos, e os diagramas tridimensionais apontam as mudanças causadas pela variação em elevação. Com esses dados, questões sobre aspectos construtivos dos microfones são levantadas.

Palavras-chave: Caracterização acústica. Microfones. *Time-Stretched Pulse*. Resposta impulsiva. Resposta em frequência.

ABSTRACT

Transmitting messages, providing comfort, and producing immersive sensations to the listener, are some of the challenges faced by professionals who dedicate their lives to the audio field. This theme involves many subjective aspects, however, acoustic characterization is widely used when it is necessary to quantify these aspects, making it possible to measure the quality of the sound and equipment involved in a project. Using an automated platform and a modular support, this work aims to characterize microphones, taking into consideration the three-dimensional space, generating spatial 3D pickup patterns, measuring impulse responses, and determining frequency responses. Using a platform controlled by LabVIEW with a Texas Instruments development kit TIVA, it was possible to automatically measure in 360° azimuth the incidence sound on the microphone. A support, projected and manufactured in a 3D printer, was used to characterize the microphone elevation. The azimuth and elevation variations, when combined, cover the three-dimensional directions of the sound incidence around the microphone. With the Time-Stretched Pulse method, an audio signal capable of covering the desired frequency range was created. This signal, when reproduced and later processed with its inverse filter provides the necessary information to describe and highlight the behavior of the Boya M1, BM800 and Behringer Xm1800s microphones.

Keywords: Acoustic Characterization. Microphones. Time-Stretched Pulse. Impulse Response, Frequency Response.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Microfone Dinâmico	16
Figura 2 – Microfone Condensador	17
Figura 3 – Circuito equivalente microfone condensador	18
Figura 4 – Circuito equivalente microfone dinâmico	19
Figura 5 – Análise gráfica da convolução	20
Figura 6 – Gráfico sinal TSP. a) parte real e b) parte imaginária	22
Figura 7 – Base automatizada	24
Figura 8 – Base automatizada. Vista lateral à esquerda e vista superior à direita	25
Figura 9 – Monitor de áudio Edifier R1580MB	25
Figura 10 – Microfone Dinâmico Behringer XM1800S	26
Figura 11 – Padrão polar Behringer XM1800S	26
Figura 12 – Resposta em frequência Behringer XM1800S	26
Figura 13 – Microfone Boya M1	27
Figura 14 – Padrão polar Boya M1	27
Figura 15 – Resposta em frequência Boya M1	28
Figura 16 – Microfone BM800	28
Figura 17 – Padrão polar BM800	28
Figura 18 – Resposta em frequência BM800	29
Figura 19 – Suporte Modular	29
Figura 20 – Variação de 45° na posição do microfone	30
Figura 21 – Variação angular da plataforma	30
Figura 22 – Posição inicial emissor e microfone	31
Figura 23 – Posição do emissor e microfone deslocadas em 90°	31
Figura 24 – Suporte Modular	33
Figura 25 – Interface	34
Figura 26 – Ligação motor de passos	35
Figura 27 – Sequência de passos na etapa de gravação	36
Figura 28 – Esquemático da varredura tridimensional dos microfones. (a) primeira etapa em azimute, (b) segunda etapa (elevação em 5°), (c) decima etapa (elevação em 45°), (d) penúltima etapa (elevação de 175°)	36
Figura 29 – Posicionamento dos equipamentos concluída as medições do microfone BM800	37
Figura 30 – Posicionamento dos equipamentos durante as medições do microfone BOYA M1	37
Figura 31 – Resposta impulsiva BOYA M1	39
Figura 32 – Resposta em frequência BOYA M1	40

Figura 33 – Diagrama polar BOYA M1	40
Figura 34 – Diagrama de captação tridimensional BOYA M1	41
Figura 35 – Resposta em impulsiva BM800	42
Figura 36 – Resposta em frequência BM800	42
Figura 37 – Diagrama polar BM800	43
Figura 38 – Diagrama de captação tridimensional BM800	43
Figura 39 – Vistas microfone BM800	44
Figura 40 – Resposta impulsiva Behringer Xm1800s	45
Figura 41 – Resposta em frequência Behringer Xm1800s	45
Figura 42 – Diagrama polar Behringer Xm1800s	46
Figura 43 – Resposta em frequência Behringer Xm1800s	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
LIT	Linear e Invariante no Tempo
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
TSP	<i>time-stretched-pulse</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{x}[n]$	Sinal de entrada genérico
$\bar{y}[n]$	Sinal de saída genérico
$\delta[n]$	Impulso unitário
$h[n]$	Resposta ao impulso
$m[n]$	Variável auxiliar
$P[k]$	Função de transferência no domínio da frequência
$p[n]$	Sinal TSP no domínio do tempo
$p'[n]$	Filtro inverso TSP no domínio do tempo
$P^{-1}[k]$	Filtro inverso do sinal TSP no domínio da frequência
$X[k]$	Parte real do Sinal TSP no domínio da frequência
$Y[k]$	Parte imaginária do sinal TSP no domínio da frequência
*	Operador de convolução
C_g	Capacidade de deformação no entreferro
C_m	Capacidade de deformação do diafragma
L_b	Perda na bobina
M_{ar}	Massa de ar
R_{ar}	Resistência do ar
R_b	Perda na bobina
R_g	Perda no entreferro
R_h	Perda no entreferro
R_m	Massa mecânica do diafragma
V_a	Velocidade do ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	Objetivos	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	Microfones	16
4.1.1	Microfones dinâmicos	16
4.1.2	Microfone condensador	17
4.2	Modelagem	17
4.2.1	Modelo elétrico microfone condensador	18
4.2.2	Modelo elétrico microfone dinâmico	18
4.3	Sistemas lineares invariantes no tempo	19
4.3.1	Convolução	20
4.4	Método <i>Time-Stretched Pulse</i>	21
4.4.1	Geração do sinal	21
5	MATERIAIS E MÉTODOS	24
5.1	Materiais	24
5.1.1	Base giratória	24
5.1.2	Emissor acústico	25
5.1.3	Microfones	25
5.1.3.1	Behringer XM1800S	25
5.1.3.2	Boya M1	27
5.1.3.3	BM 800	27
5.1.4	Suporte modular	29
5.2	Procedimentos de medição	30
5.2.1	Disposição inicial do emissor e microfone	30
5.2.2	Análise e processamento dos dados	31
6	DESENVOLVIMENTO	33
6.1	Sinal TSP	33
6.2	Suporte modular	33
6.3	Interface	34
6.4	Controle	34
6.5	Procedimentos	34
6.6	Processamento	35
6.7	Considerações	37

7	RESULTADOS	39
7.1	Microfone Boya M1	39
7.2	Microfone BM800	41
7.3	Microfone Behringer Xm1800s	44
8	CONCLUSÃO	47
9	TRABALHOS FUTUROS	48
	Referências	49

1 INTRODUÇÃO

Transmitir uma mensagem com eficiência e fidelidade é algo indispensável para a sociedade. Quando se trata de mensagens acústicas, muitas vezes o objetivo vai além de transmitir apenas palavras, mas sim levar consigo toda gama de sensações, emoções e sentimentos, produzindo uma experiência sensorial e cognitiva completa ao ouvinte.

Todo esse processo tem início na captação do som, logo após a mensagem original ser emitida pela fonte, os melhores e mais modernos dispositivos de emissão acústica de nada servem se a mensagem original não for gravada com o cuidado e qualidade necessária. A escolha dos equipamentos e a disposição mais indicada para eles variam de acordo com as características da fonte sonora e do ambiente de gravação, de modo que em alguns casos, o resultado obtido por um microfone de qualidade e custo inferior quando bem posicionado, supera o de maior custo e qualidade em um posicionamento não tão bom (CUBAL, 2010), portanto, a eficiência nesse procedimento diminui os custos e acabam determinando o êxito ou fracasso de um projeto. Muitas vezes os equipamentos disponíveis no mercado não fornecem todas as informações e características necessárias para uma avaliação objetiva e eficiente, os fabricantes normalmente fornecem um diagrama azimutal em poucas frequências discretas para caracterizar a potência captada, já a resposta em frequência por sua vez, é indicada considerando apenas incidência frontal, em ambos os casos são desconsiderados os aspectos espaciais.

Existe uma enorme variedade de microfones no mercado, embora a maioria possa ser dividida em duas categorias: condensadores e dinâmicos. Esses microfones, objetos de estudo desse trabalho, tratam-se de transdutores que convertem ondas sonoras em impulsos elétricos, e podem ser modelados como um sistema linear invariante no tempo (MIT, 2011), conseqüentemente, através de sua resposta impulsiva é possível levantar as características mais relevantes a seu respeito. No método *Time Stretched Pulse* (TSP) (AOSHIMA, 1981) um sinal de teste de amplitude constante e frequência variável, no caso de 20 Hz a 20 kHz é gerado computacionalmente. A operação de convolução quando aplicada ao sinal TSP e ao seu filtro inverso permite obter como resposta um sinal impulsivo necessário ao desenvolvimento deste estudo.

Preso a um suporte, e próximo a um emissor acústico, o microfone faz a captação do sinal proposto. Uma base automatizada é utilizada para variar a posição do microfone, alterando com precisão o ângulo de incidência dos sinais sonoros. Após diversas medições, os sinais captados e armazenados são processados digitalmente, gerando um diagrama da potência captada pelo microfone em diferentes faixas de frequência no espaço tridimensional. O diagrama fornece de modo intuitivo informações mais detalhadas e objetivas sobre como a variação do posicionamento do microfone altera sua captação,

podendo ser utilizado por profissionais e entusiastas das áreas envolvidas com gravação de áudio, auxiliando na escolha do equipamento ideal.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é caracterizar microfones e gerar diagramas que possam ser utilizados como parâmetro para análise do seu comportamento no espaço tridimensional utilizando o método *Time Stretched Pulse* (TSP), criar um suporte modular que interligado a base automatizada criada por Mayconvorgel Ibrahim Ribeiro (RIBEIRO, 2015) cujo sistema de controle foi aperfeiçoado por Artur Adolfo Falkovski (FALKOVSKI, 2017) possa fornecer melhores condições na fase da aquisição dos dados.

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização acústica de microfones no espaço tridimensional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar diagramas tridimensionais de captação;
- Projetar e construir um suporte modular utilizando *software* CAD (*Computer-Aided Design*) em uma impressora 3D.

3 JUSTIFICATIVA

A qualidade do áudio tem ganhado importância em diferentes áreas da sociedade atual, ao se apresentar um produto ou fazer uma palestra é necessário todo o cuidado para que os espectadores possam receber a informação correta de maneira agradável. Casas de show, teatros, igrejas e auditórios são frequentemente modernizados a fim de promover o maior conforto acústico, investindo-se muito tempo e dinheiro na modificação de sua estrutura e na troca dos equipamentos de captação e reprodução de áudio. *Home* estúdios e estúdios profissionais prezam ainda mais pela excelência desses equipamentos, principalmente aos dedicados a etapa de gravação. Equipamentos profissionais de gravação de áudio são dispendiosos, chegando a custar dezenas de milhares de dólares e a escolha desses equipamentos por produtores, técnicos de som e demais profissionais da área são feitos com base na experiência adquirida durante anos de tentativa e erro. São necessários incontáveis testes e muita dedicação para adquirir o *feeling* e saber exatamente qual equipamento melhor se ajusta a cada tipo de som, respeitando as características idealizadas num projeto, como: intensidade, timbre e tonalidade. Apesar de parecerem subjetivas, essas qualidades podem ser avaliadas de maneira técnica através da caracterização dos equipamentos. Um profissional ao observar os diagramas propostos por esse trabalho poderá saber como um determinado microfone irá responder as características da fonte sonora e de seu ambiente de gravação, além de poder relacionar de maneira visual e intuitiva essas informações com sua experiência.

Recentemente, com a terrível chegada de uma pandemia global causada pelo vírus Sars-CoV-2, políticas de isolamento social foram adotadas em todo o mundo. Isso significa que milhões de pessoas tiveram que readequar sua forma de trabalhar e se comunicar. Os equipamentos audiovisuais estão no centro dessa readequação, presentes nos trabalhos remotos ou no lazer, esses equipamentos são essenciais para reuniões, apresentações e todo tipo de interações sociais virtuais.

Independente da finalidade, equipamentos de áudio se tornaram indispensáveis e a busca por melhorias será cada vez mais presente na sociedade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo aborda o funcionamento dos transdutores de áudio utilizados no estudo, além da teoria da modelagem desses equipamentos como sistemas lineares invariantes no tempo e a obtenção de sua caracterização através da análise da resposta impulsiva pelo método *Time-Stretched Pulse*.

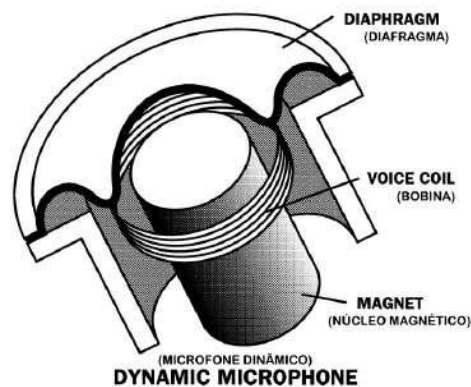
4.1 MICROFONES

O microfone é um transdutor eletroacústico que converte energia mecânica em elétrica e, apesar de existirem diversos tipos desses equipamentos, a enorme maioria se divide entre: condensadores e dinâmicos. Ondas acústicas são ondas mecânicas, no qual variações na pressão se propagam através de um meio material. Durante as medições desse trabalho esse meio será o ar.

4.1.1 MICROFONES DINÂMICOS

Microfones dinâmicos são constituídos de três partes fundamentais, são elas: diafragma, bobina e núcleo magnético, mostrado na Figura 1 .

Figura 1 – Microfone Dinâmico



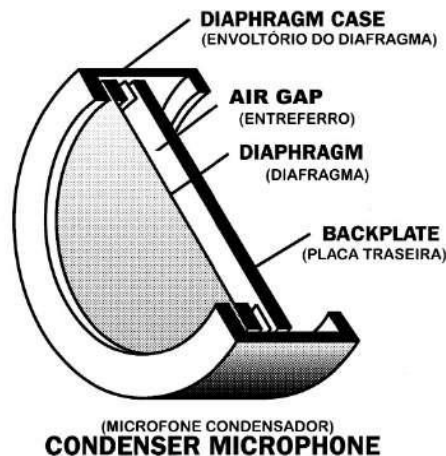
Fonte – Adaptado de (SHURE, 2017)

Esses componentes, atuando em conjunto, formam um gerador elétrico, onde a variação na pressão do ar faz vibrar o diafragma, deslocando a bobina que envolve o núcleo magnético. Observando a lei de Faraday, o movimento da bobina imersa em um campo magnético gera uma corrente elétrica induzida em seus terminais. Microfones desse grupo suportam altos níveis de pressão sonora e são pouco afetados por variações extremas de temperatura ou umidade. Esses fatores o tornam ideal para utilização em ambientes abertos ou em locais com alto nível de ruído.

4.1.2 MICROFONE CONDENSADOR

Microfones condensadores são constituídos por um diafragma condutivo e uma placa fixa eletricamente carregada chamada *Backplate*, essa configuração forma um capacitor conforme a Figura 2.

Figura 2 – Microfone Condensador



Fonte – Adaptado de (SHURE, 2017)

Alguns modelos utilizam eletreto previamente polarizado para gerar uma carga permanente entre o diafragma e o *backplate*, enquanto outros utilizam fontes externas de alimentação, em ambos os casos é criado um campo elétrico entre o diafragma e o *backplate* e a tensão gerada por esse sistema varia de acordo com a distância entre as peças, que por sua vez esta relacionada ao movimento do diafragma gerado pela incidência das ondas sonoras sobre ele. A amplitude dos sinais gerados nos terminais desse arranjo é baixa, tornando necessário o uso de um circuito pré-amplificador.

4.2 MODELAGEM

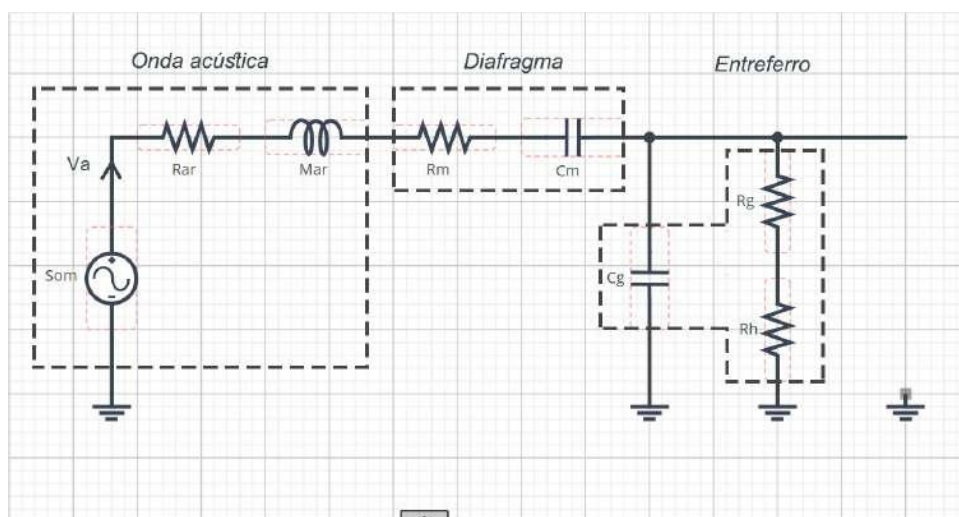
O método científico pode ser resumido em três etapas: observação, modelagem e previsão (DYM, 2004). Durante a primeira etapa observam-se fenômenos no mundo real, sendo eles naturais ou gerados por algum dispositivo tecnológico, dessa observação dados são adquiridos empiricamente de forma direta ou indireta. A modelagem é uma representação em termos matemáticos do comportamento de dispositivos e objetos reais. Durante essa fase é criado um modelo que se ajusta aos dados adquiridos na etapa anterior. Esse modelo deve ser eficiente em apontar os motivos pelos quais determinados comportamentos e resultados ocorrem da forma observada. Um modelo construído nas bases físicas e matemáticas corretas torna-se um guia durante estudos, sendo capaz de prever resultados e comportamentos futuros. Uma estratégia necessária e amplamente utilizada por engenheiros e cientistas consiste em dividir problemas complexos em várias

partes distintas, criando modelos mais simples, assim como o exemplo citado por Velten (2009). Quando um engenheiro, por exemplo, quer reduzir o consumo de combustível de um motor, ele não precisa considerá-lo em sua totalidade, em vez disso, ele usará descrições simplificadas desse mecanismo, concentrando-se apenas nas peças da máquina que afetam o consumo de combustível. Essa linha de raciocínio levou aos modelos elétricos dos microfones condensadores e dinâmicos apresentados nesse trabalho.

4.2.1 MODELO ELÉTRICO MICROFONE CONDENSADOR

O desempenho do microfone condensador depende do tamanho e capacidade de deformação do diafragma, além da distância entre diafragma e *backplate*, essa lacuna é comumente chamada de entreferro. O circuito da Figura 3 apresenta o modelo do circuito elétrico equivalente desse tipo de microfone proposto por (B.A.; MAJLIS, 2005). Nesse modelo a pressão acústica, som, e a velocidade do ar, V_a , incidente sobre o microfone são grandezas modeladas pela fonte de tensão e corrente respectivamente. A resistência a radiação do ar é definida como R_{ar} , e a massa de ar como M_{ar} . A massa mecânica do diafragma é R_m , e sua capacidade de deformação C_m . Perdas ocorridas no entreferro, são representadas por R_g e R_h , enquanto que a capacidade de deformação no entreferro é representada por C_g .

Figura 3 – Circuito equivalente microfone condensador



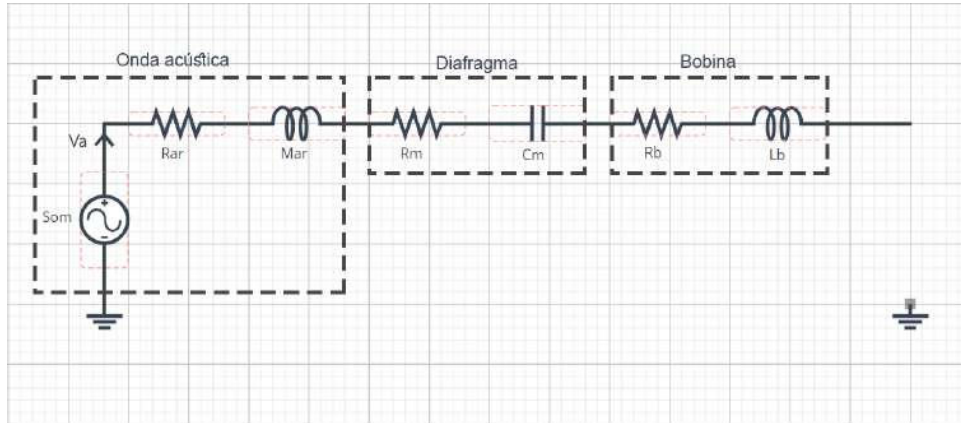
Fonte – Autoria própria

4.2.2 MODELO ELÉTRICO MICROFONE DINÂMICO

Por dispor de elementos em comum, microfones dinâmicos e condensadores apresentam um modelo de circuito equivalente semelhante em algumas partes e o comportamento do diafragma tem papel central em ambos os modelos. O que difere esse modelo do anterior é a substituição de um *backplate* carregado pelo núcleo magnético e a bobina móvel, no que

diz respeito ao modelo equivalente, as perdas do entreferro são substituídas pelas perdas eletromagnéticas da bobina, R_b e L_b , como visto na Figura 4 .

Figura 4 – Circuito equivalente microfone dinâmico



Fonte – Autoria própria

4.3 SISTEMAS LINEARES INVARIANTES NO TEMPO

É classificado como um sistema um conjunto de componentes físicos e reais ou algoritmos matemáticos que ao receber um sinal de entrada $\bar{x}[n]$ pode alterar suas características e produz uma sinal de saída $\bar{y}[n]$. São sistemas (LIT) lineares e invariantes no tempo aqueles que apresentam características de proporcionalidade, aditividade e homogeneidade entre os sinais de entrada e saída $ax_i[n] \rightarrow ay_i[n]$, sendo a uma constante genérica. Em outras palavras, se um sistema tem sua entrada composta pela soma ponderada de vários sinais genéricos

$$\bar{x}[n] = \sum_{k=1}^N a_k x_k[n] = a_1 x_1[n] + a_2 x_2[n] + \dots, \quad (4.1)$$

sendo que $k = 1, 2, 3, \dots, N$ representa a quantidade de sinais, sua saída pode ser encontrada utilizando o princípio da superposição, ou seja, pela soma da resposta do sistema a cada sinal de entrada individual

$$\bar{y}[n] = \sum_{k=1}^N a_k y_k[n] = a_1 y_1[n] + a_2 y_2[n] + \dots \quad (4.2)$$

Além disso, um sistema LIT não varia seu comportamento em função do tempo, desse modo, dois sinais de entrada idênticos se inseridos em um sistema em momentos distintos produziriam exatamente o mesmo sinal de saída. Em outras palavras, deslocar um sinal de entrada no tempo acarreta em um deslocamento equivalente no sinal de saída. Ou seja, se $\bar{y}[n]$ representa a saída de um sistema quando $\bar{x}[n]$ é a entrada, $\bar{y}[n - n_0]$ representa a saída quando a entrada é $\bar{x}[n - n_0]$, sendo n_0 o deslocamento temporal (OPPENHEIM;

WILLSKY; NAWAB, 2010).

Sendo um sistema algo que recebe um sinal de entrada e o altera produzindo um sinal de saída, se o mesmo tem propriedades que modificam esse sinal de maneira linear e invariante no tempo, a aplicação de um sinal conhecido a entrada pode fornecer as características e propriedades do sistema comparando o sinal de saída com a entrada conhecida. O sinal ideal para esse tipo de análise é conhecido como impulso unitário $\delta[n]$. Um impulso unitário é definido como um sinal em que sua duração efetiva (largura do pulso) tende a zero e sua área é unitária, de modo que o produto de um impulso com uma função qualquer resulta no valor da própria função no exato momento em que o impulso acontece e tem valor nulo para demais instantes, dessa forma qualquer sinal $\bar{x}[n]$ pode ser descrito pela somatória de impulsos unitários ponderados e deslocados no tempo.

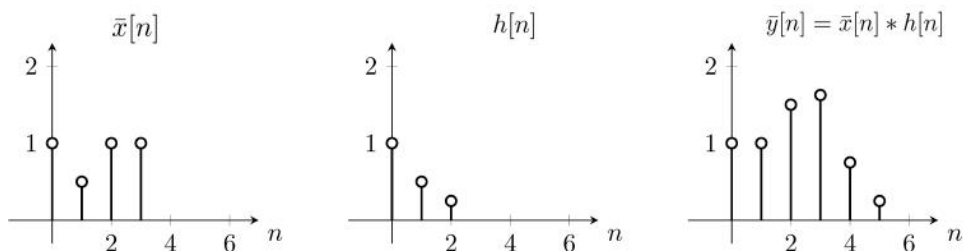
4.3.1 CONVOLUÇÃO

A convolução é um operador matemático amplamente utilizado na análise e processamento de sinais. Esse operador apresenta propriedades: comutativa, associativa, distributiva e de deslocamento (LATHI, 2007). Quando duas funções são operadas pela convolução, a soma do produto ponto a ponto de cada uma das funções ao longo de uma região tem como resultado uma terceira função, que por sua vez expressa como uma função é alterada pela outra. Se as funções forem respectivamente um sinal de entrada em um sistema $\bar{x}[n]$ e sua resposta ao impulso $h[n]$, a convolução desses dois sinais expressa a saída do sistema $\bar{y}[n] = \bar{x}[n] * h[n]$. Para sinais discretos, a convolução é expressa por

$$\bar{y}[n] = \sum_{n_0=0}^{N-1} \bar{x}[n_0]h[n - n_0]. \quad (4.3)$$

A Figura 5 demonstra graficamente o resultado da operação de convolução.

Figura 5 – Análise gráfica da convolução



Fonte – Autoria Própria

Nesse trabalho os microfones serão sistemas excitados por ondas mecânicas que se propagam e apresentam o sinal sonoro como sinal de entrada, ao tomar amostras do sinal de saída e aplicar a convolução com o sinal de entrada o resultado é a resposta do sistema, o que descreve seu comportamento e a forma com que altera os sinais de entrada.

4.4 MÉTODO TIME-STRETCHED PULSE

Como discutido em seções anteriores, um sistema pode ser caracterizado através da sua resposta a um sinal impulsivo. Idealmente, no domínio do tempo, esse sinal apresenta uma duração efetiva que tende a zero e sua área é unitária, enquanto que no domínio da frequência apresenta um espectro de potência plano e se estende por uma largura de banda de frequência infinita. Na prática esse sinal é impossível de ser implementado. Portanto, faz-se necessário criar um sinal que apresente características próximas o suficiente do ideal. Um sinal impulsivo gerado por um algoritmo computacional amplamente utilizado em estudos de áudio foi desenvolvido em (AOSHIMA, 1981), por meio desse algoritmo é gerado um sinal que aumenta a frequência simultaneamente com o tempo, mantendo sua amplitude constante. Por conveniência, durante esse trabalho esse sinal irá percorrer as frequências normalmente audíveis, entre 20 Hz e 20 kHz. Operando o sinal TSP com seu filtro inverso através da convolução, o impulso é obtido no domínio do tempo.

4.4.1 GERAÇÃO DO SINAL

Tal como o trabalho de Aoshima (1981), primeiramente as características no domínio da frequência são implementadas

$$X[k] = 999 \exp \left[- \left(\frac{k - 900}{800} \right)^{12} \right] \cos \left(\frac{12k^2}{10000} \right), 1 \leq k \leq 2048, \quad (4.4)$$

$$X[k] = X[4098 - k], 2050 \leq k \leq 4096, \quad (4.5)$$

$$X[2049] = 0, \quad (4.6)$$

onde o argumento k representa a frequência e determina o tamanho do sinal, $X[k]$ representa a parte real do sinal, $Y[k]$ a parte imaginária, que é expressa por

$$Y[k] = 999 \exp \left[- \left(\frac{k - 900}{800} \right)^{12} \right] \text{sen} \left(\frac{12k^2}{10000} \right), 1 \leq k \leq 2048, \quad (4.7)$$

$$-Y[k] = X[4098 - k], 2050 \leq k \leq 4096, \quad (4.8)$$

$$Y[2049] = 0, \quad (4.9)$$

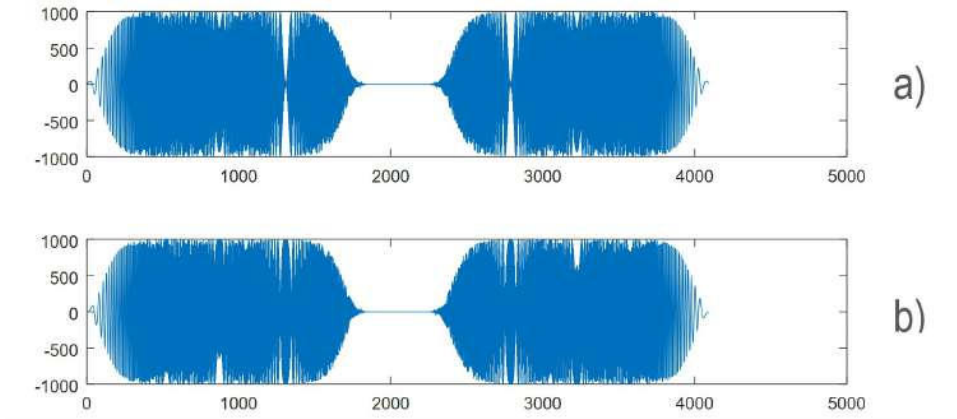
Implementando essas equações computacionalmente é obtido a representação gráfica de $X[k]$ e $Y[k]$, mostrada respectivamente na Figura 6 (a) e Figura 6 (b).

A função de transferência relacionada a função $X[k] + jY[k]$ pode então ser expressa por

$$P[k] = \exp \left[j \left(12k^2/10000 \right) \right], \quad (4.10)$$

dessa forma expande o pulso no domínio do tempo sem alterar seu espectro de potência. O filtro inverso, expresso por

$$P^{-1}[k] = \exp \left[-j \left(12k^2/10000 \right) \right], \quad (4.11)$$

Figura 6 – Gráfico sinal TSP. a) parte real e b) parte imaginária

Fonte – Autoria própria

, comprime o sinal temporal. No domínio da frequência a multiplicação de $P[k]$ com o filtro inverso $P^{-1}[k]$ é

$$P[k]P^{-1}[k] = 1. \quad (4.12)$$

No domínio do tempo a multiplicação se torna uma convolução cujo resultado é um impulso unitário

$$p[n] * p'[n] = \delta[n]. \quad (4.13)$$

Considerando as dimensões do local de gravação e a velocidade limitada com que o som se desloca, ao se aproximar o microfone do emissor acústico as alterações provocadas pelo ambiente tornam-se mínimas, sendo possível considerar o microfone como um sistema caracterizado por uma função $h[n]$ e o som gravado por ele como a saída $y[n]$. Quando esse sistema é excitado por um sinal de entrada TSP $p[n]$, o sinal gravado se torna

$$y[n] = h[n] * p[n], \quad (4.14)$$

Considerando uma variável auxiliar $m[n]$ como o resultado da operação do sinal gravado com o filtro inverso do sinal TSP através da convolução

$$m[n] = y[n] * p'[n], \quad (4.15)$$

substituindo $y[n]$ conforme a equação (4.14) chega-se a

$$m[n] = h[n] * p[n] * p'[n], \quad (4.16)$$

utilizando a equação (4.13) obtém-se

$$m[n] = h[n] * \delta[n], \quad (4.17)$$

isso implica que

$$m[n] = h[n], \quad (4.18)$$

e dessa forma é determinada a resposta impulsiva de um sistema utilizando o método TSP.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterizar microfones no espaço tridimensional é necessário que a incidência da onda sonora proveniente da reprodução do sinal TSP sobre o microfone varie sua angulação com precisão, além disso, a disposição dos instrumentos de medição é essencial para minimizar efeitos indesejados do ambiente como reverberação e demais ruídos.

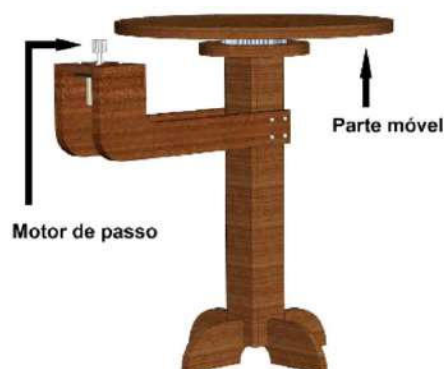
5.1 MATERIAIS

Uma base automatizada controlada por *software* e um suporte manual para o microfone são responsáveis por fazer a variação dos ângulos de incidência em dois eixos distintos, essa configuração é explicada com detalhes nas seções seguintes.

5.1.1 BASE GIRATÓRIA

Projetada por Ribeiro (2015) para utilização em trabalhos anteriores, a base mostrada nas Figuras 7 e 8, consiste em uma plataforma circular conectada a um apoio fixo por meio de uma polia. Essa configuração permite a movimentação angular da plataforma. Um sistema de correia conecta a polia da plataforma a uma polia menor presente no rotor de um motor de passo da Akiyama modelo AK57Y/5-1.8. A relação de transferência entre a polia da plataforma e do rotor é de 1,8°, o que permite a plataforma realizar movimentos de 1°.

Figura 7 – Base automatizada

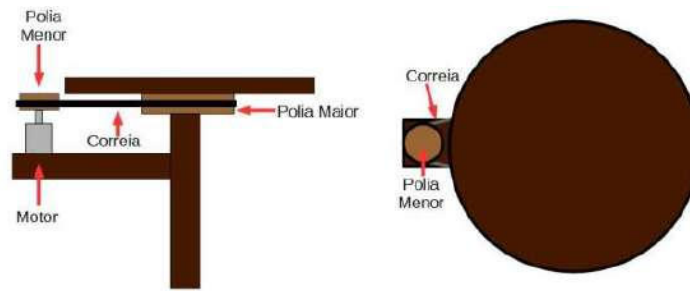


Fonte – Adaptado de (RIBEIRO, 2015)

O controle do motor de passo é feito através da Plataforma de Desenvolvimento da *Texas Instruments* modelo Tiva C Series TM4C123G.

O programa desenvolvido por Ribeiro (2015) e aperfeiçoado por Falkovski (2017), é

Figura 8 – Base automatizada. Vista lateral à esquerda e vista superior à direita



Fonte – Adaptado de (FALKOVSKI, 2017)

responsável por fazer a interação com usuário, permitindo que o mesmo faça alterações na reprodução do sinal de teste e varie a angulação do giro do motor.

5.1.2 EMISSOR ACÚSTICO

O monitor de áudio Edifier R1580mb, mostrado na Figura 9 é utilizado para reproduzir o sinal TSP. Esse monitor possui potência de 42 W RMS, sensibilidade de entrada 700 ± 50 mV, relação sinal-ruído ≥ 25 dBA, resposta em frequência 55 Hz - 20 kHz (± 3 dB).

Figura 9 – Monitor de áudio Edifier R1580MB



Fonte – (EDIFIER, 2016)

5.1.3 MICROFONES

Três modelos de microfones são caracterizados, dois deles pertencem ao grupo dos microfones condensadores e um ao grupo dos dinâmicos.

5.1.3.1 BEHRINGER XM1800S

O primeiro é o microfone dinâmico Behringer XM1800S Figura 10. Esse microfone possui uma impedância de 600Ω , sensibilidade -52 dBV ($0 \text{ dBV} = 1 \text{ V/Pa}$ a 1 kHz), 2,5

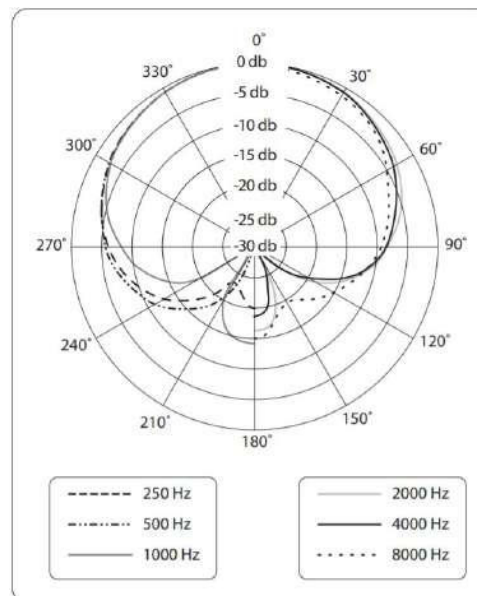
mV/Pa. O padrão polar e resposta em frequência podem ser vistos respectivamente nas Figuras 11 e 12.

Figura 10 – Microfone Dinâmico Behringer XM1800S



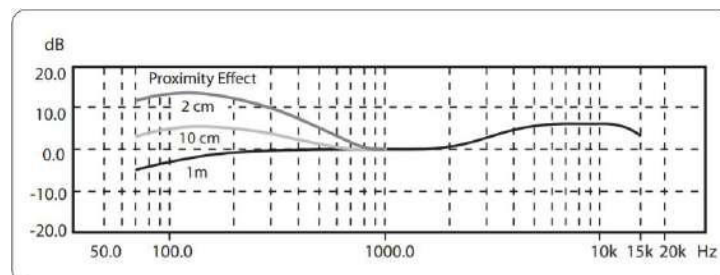
Fonte – (BEHRINGER, 2016)

Figura 11 – Padrão polar Behringer XM1800S



Fonte – (BEHRINGER, 2016)

Figura 12 – Resposta em frequência Behringer XM1800S



Fonte – (BEHRINGER, 2016)

5.1.3.2 BOYA M1

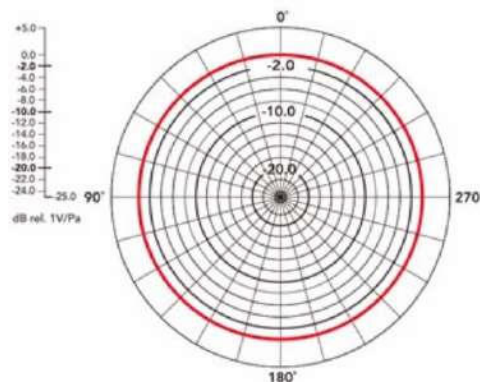
O segundo microfone apresentado é do tipo condensador de lapela. O microfone Boya M1 Figura 13, possui uma impedância de 1000Ω , sensibilidade -30 dBV ($0 \text{ dBV} = 1 \text{ V/Pa}$ a 1 kHz), $2,5 \text{ mV/Pa}$. O padrão polar e resposta em frequência podem ser vistos respectivamente nas Figuras 14 e 15. Por ser do tipo condensador, esse microfone precisa de uma fonte de alimentação externa, nesse caso uma bateria tipo LR44.

Figura 13 – Microfone Boya M1



Fonte – (BOYA, 2016)

Figura 14 – Padrão polar Boya M1

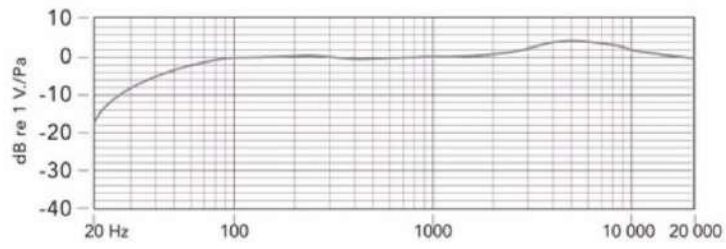


Fonte – (BOYA, 2016)

5.1.3.3 BM 800

O terceiro microfone é um *white label* conhecido como BM 800, Figura 16. Um microfone condensador que possui uma impedância de 1000Ω , sensibilidade $-34 \text{ dBV} \pm 2 \text{ dB}$ ($0 \text{ dB} = 1 \text{ V/Pa}$ a 1 kHz). O padrão polar e a resposta em frequência podem ser vistos respectivamente nas Figuras 17 e 18. Esse microfone utiliza alimentação *Phantom Power* de 48 V .

Figura 15 – Resposta em frequência Boya M1



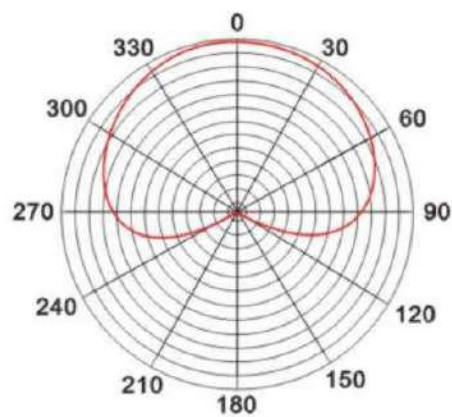
Fonte – (BOYA, 2016)

Figura 16 – Microfone BM800



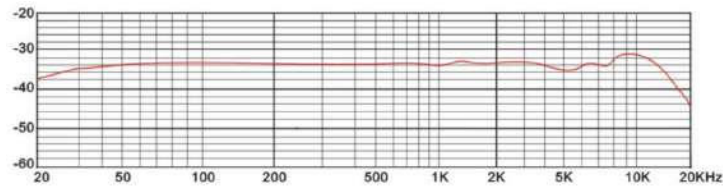
Fonte – Autoria própria

Figura 17 – Padrão polar BM800



Fonte – (ISK, 2014)

Figura 18 – Resposta em frequência BM800

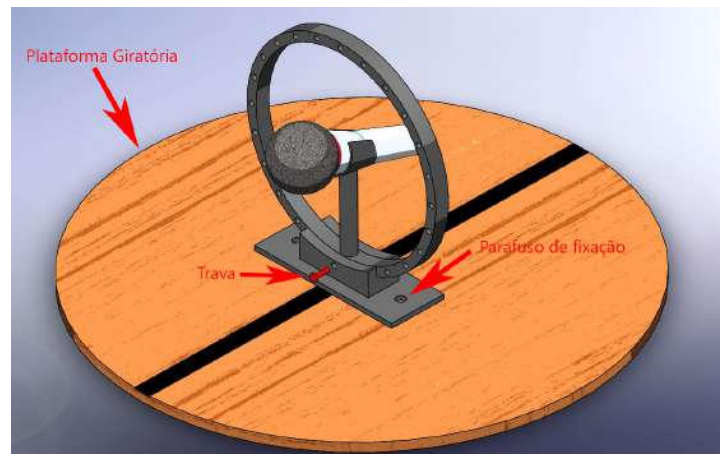


Fonte – (ISK, 2014)

5.1.4 SUPORTE MODULAR

Com auxílio de um *software* CAD, um suporte foi projetado e construído em uma impressora 3D. O suporte é mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Suporte Modular

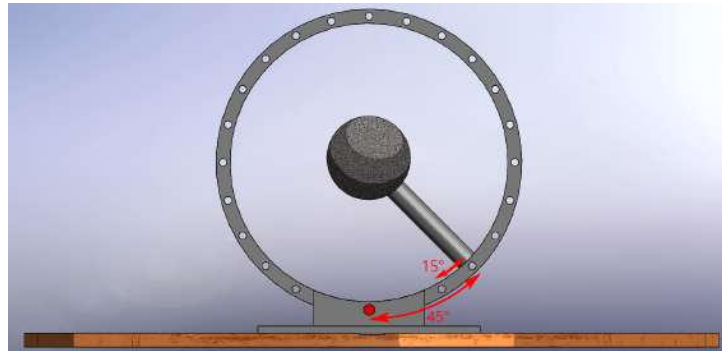


Fonte – Autoria própria

Através desse suporte fixo sobre a plataforma giratória é possível variar a incidência dos sinais sonoros sobre o microfone em dois eixos. O primeiro módulo do suporte consiste em um arco com furos espaçados em 15° uns dos outros. O segundo módulo será fixo na base giratória por parafusos. O acoplamento desses dois módulos é feito alinhando um dos furos do arco com a base e depois colocando uma trava. Girando o arco no sentido horário de modo que o próximo furo se alinhe com o da base, o suporte faz um movimento de 15° , como o microfone esta preso ao suporte, sua posição é variada na mesma angulação. A Figura 20 mostra o suporte com uma variação de 45° em relação a posição inicial.

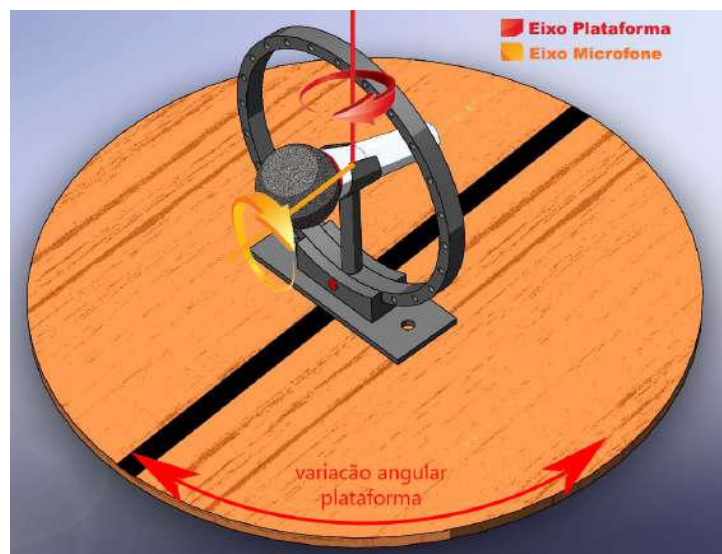
A plataforma giratória por sua vez, varia sua posição angular de acordo com os comandos recebidos pelo motor de passo provenientes do *software* de controle, essa variação ocorre em um plano perpendicular ao plano da face do suporte conforme Figura 21.

Figura 20 – Variação de 45° na posição do microfone



Fonte – Autoria própria

Figura 21 – Variação angular da plataforma



Fonte – Autoria própria

5.2 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

Os procedimentos empregados para a coleta dos dados necessários para caracterização de cada um dos microfones são os mesmos e são detalhados nessa seção.

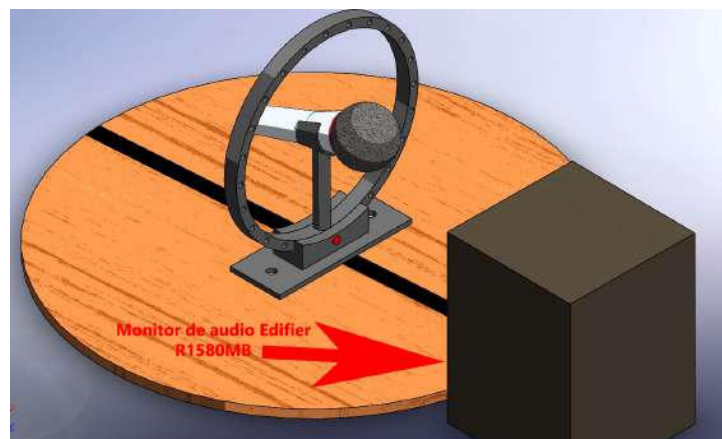
5.2.1 DISPOSIÇÃO INICIAL DO EMISSOR E MICROFONE

A disposição inicial do emissor e do microfone a ser caracterizado se dá conforme a Figura 22. Com os dois posicionados, o emissor reproduzirá o sinal TSP, o som produzido terá incidência frontal ao microfone. Excitado por essa onda sonora, o microfone responderá com um sinal elétrico que será gravado e armazenado em um banco de dados. Após um pequeno tempo de espera, um sinal enviado ao motor de passo faz movimentar seu rotor e conseqüentemente a plataforma giratória sobre a qual o microfone está posicionado. O ângulo de variação desse movimento é definido pelo usuário no início da medição

através da interface do programa citado na seção 5.1.1. Esse procedimento se repete até o microfone voltar a posição inicial, com a plataforma completando 360° de rotação ao redor de seu próprio eixo. Toda vez que isso ocorre, é retirada a trava do suporte e o mesmo é rotacionado em 5°, nessa nova configuração é reiniciado o processo anterior.

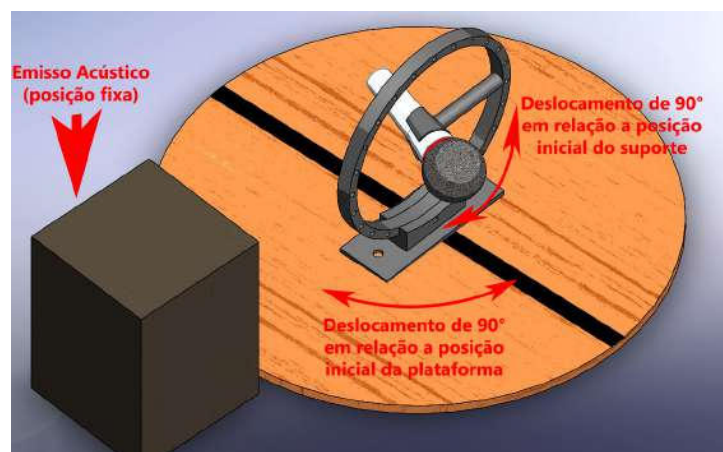
A fase de coleta de dados termina quando o suporte variar 180°. Para melhor demonstrar esse processo a Figura 23 mostra como ficará a disposição do emissor e microfone em uma medição intermediária, onde o microfone foi deslocado 90° em ambos os eixos.

Figura 22 – Posição inicial emissor e microfone



Fonte – Autoria própria

Figura 23 – Posição do emissor e microfone deslocadas em 90°



Fonte – Autoria própria

5.2.2 ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a etapa de medição, os dados obtidos são processados em um programa de análise numérica, esse processamento fornece informação em forma de gráficos. Para esse

trabalho, os gráficos levantados são os de resposta impulsiva, resposta em frequência, diagrama de captação polar e as figuras 3D que exemplificam o padrão de captação no espaço tridimensional.

Realizando a convolução entre sinal TSP gravado e o sinal do filtro inverso TSP discutidos na seção 4.4 cada sinal enviado pelo microfone é processado encontrando a resposta impulsiva do microfone. Utilizando dados obtidos durante a excursão de 360° da plataforma, com o suporte na posição inicial, é possível criar um diagrama polar de captação dos microfones e confrontar com os diagramas fornecidos pelos fabricantes de equipamentos acústicos, mostrados na seção 5.1.3.

Operando a resposta impulsiva utilizando a transformada de Fourier discreta, os gráficos de resposta em frequência mostrados na seção 5.1.3 são gerados.

Processando a resposta impulsiva do microfone, encontrada para cada variação angular do suporte e da plataforma foi possível criar um diagrama de captação do espaço tridimensional.

6 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo é descrito o desenvolvimento do sinal TSP e do suporte modular, as ligações e configurações utilizadas na plataforma giratória e na interface desenvolvida em Labview.

6.1 SINAL TSP

O Sinal TSP é gerado utilizando as funções e operações matemáticas citadas na seção 4.4. Essas variáveis foram escritas em um *software* matemático, seus valores se tornaram parâmetros de entrada juntamente com a taxa de amostragem de 22050 Hz e uma resolução por amostra de 16 bits. Essa configuração permite aferir a resposta dos microfones em frequências de até 11025 Hz sem que ocorra o fenômeno de *aliasing*. Com essas configurações foram gerados dois arquivos .wav, um contendo o sinal TSP e outro contendo o filtro inverso.

6.2 SUPORTE MODULAR

Responsável por auxiliar na variação de elevação do microfone, o suporte projetado em um *software* CAD, mostrado na Figura 19, foi impresso por uma impressora 3D. O resultado pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Suporte Modular

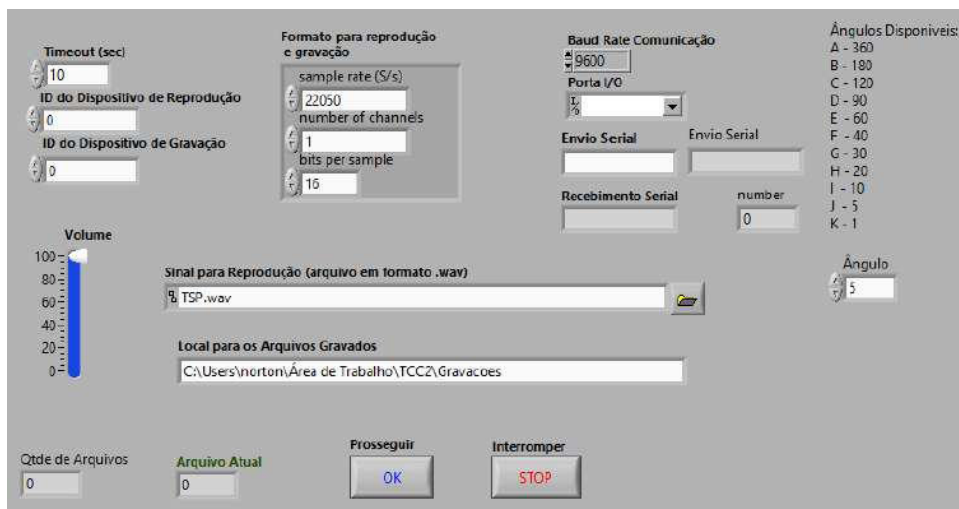


Fonte – Autoria própria

6.3 INTERFACE

A interface utilizada para controlar todo o processo de medição foi projetada por Ribeiro (2015) para utilização em trabalhos anteriores. Essa interface foi desenvolvida em Labview e permite que o utilizador defina a variação angular da base giratória, a frequência de amostragem, resolução por amostra e número de canais utilizados na reprodução do sinal, além de definir o diretório onde é salvo os arquivos gravados. As configurações de entrada e saída de dados estão ilustradas na Figura 25.

Figura 25 – Interface



Fonte – Autoria própria

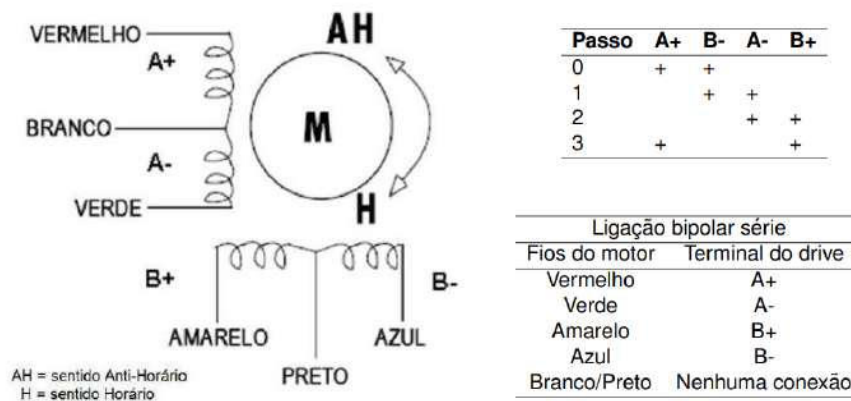
6.4 CONTROLE

O controle do motor de passo é feito através da plataforma de desenvolvimento da *Texas Instruments* modelo Tiva C Series TM4C123G. Após receber o sinal proveniente da interface, a plataforma Tiva encaminha sinais de controle acionando as bobinas do motor de passo através de uma ponte H. O motor possui duas bobinas e a ligação é do tipo série bipolar. Os terminais vermelho e verde estão ligados a primeira bobina, já os terminais amarelo e azul estão ligados a segunda bobina. Os terminais branco e preto são as derivações centrais de cada bobina, utilizados como referência. Um esquemático dessas ligações é mostrado na Figura 26.

6.5 PROCEDIMENTOS

Uma vez feita todas as ligações necessárias, a etapa de aquisição de dados tem início. Com o microfone selecionado na posição de zero grau em azimute e elevação, o programa desenvolvido em Labview é iniciado. Após selecionar todas as configurações necessárias na interface, o botão prosseguir da início a sequência de passos mostrado na Figura 27.

Figura 26 – Ligação motor de passos



Fonte – Adaptado de (FALKOVSKI, 2017)

O sinal TSP é enviado ao monitor de áudio, que por sua vez reproduz o som, a onda sonora é captada pelo microfone e enviado novamente para o computador, onde é armazenada na pasta informada na interface. Após o armazenamento da amostra, um sinal serial é enviado através do adaptador usb-serial e chega até a plataforma Tiva, que por sua vez envia comandos para o motor de passos. O giro do motor é transmitido a base giratória através de uma correia, esse giro tem a mesma variação angular indicada na interface. O microfone sofre o mesmo deslocamento angular, pois está preso ao suporte e conseqüentemente a base giratória. Após esse deslocamento, o sinal TSP é novamente enviado ao monitor de áudio e o processo se repete até que a variação angular complete 360°.

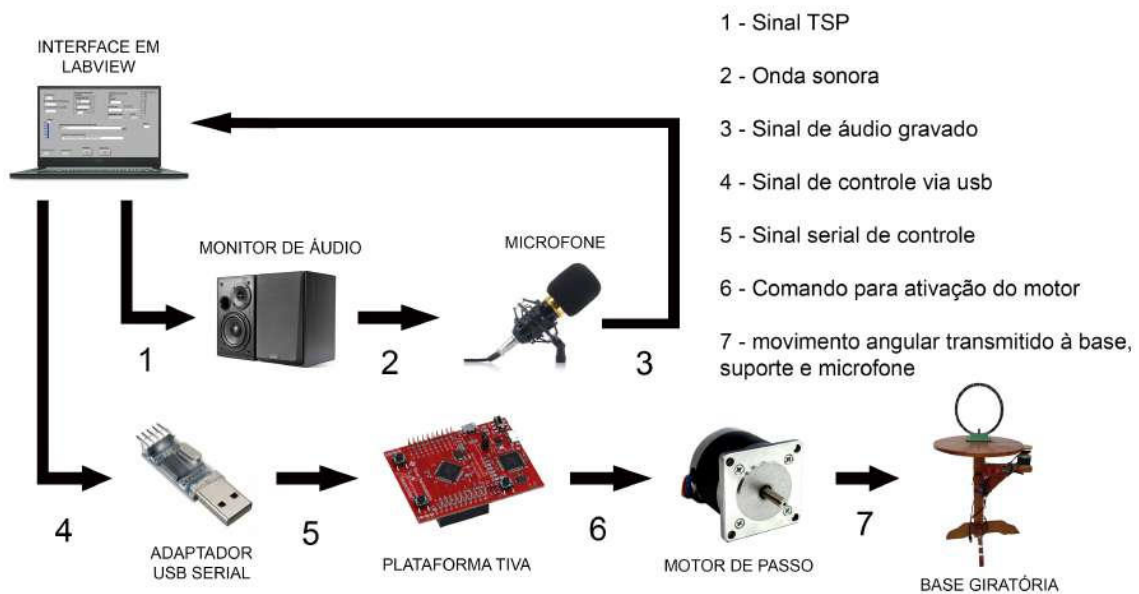
Todo esse processo é repetido a cada variação na elevação, evento esse que ocorre ao fim dos 360° em azimute excursionados pela base giratória. Vale ressaltar que o processo é o mesmo para os três microfones caracterizados.

6.6 PROCESSAMENTO

Devido ao posicionamento do emissor acústico e da variação de posicionamento dos microfones durante a etapa de gravação, citada anteriormente na seção 5.2, a varredura tridimensional dos microfones seguem uma sequência de inclinações de seu eixo central. A Figura 28 demonstra esse processo.

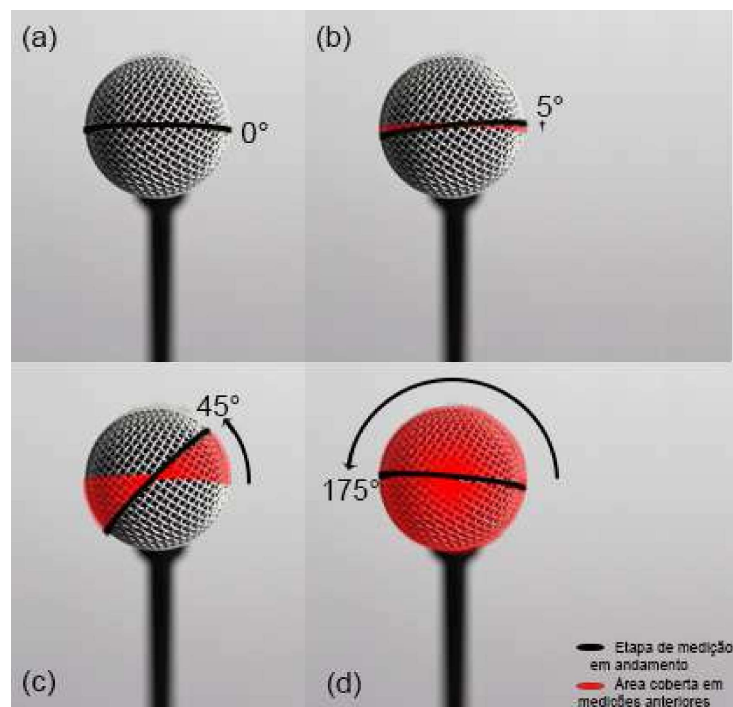
A Figura 29 mostra o posicionamento final dos equipamentos envolvidos durante a etapa de gravação do microfone BM800, o mesmo se encontra com variação de 180° em elevação e 360° em azimute. Já a Figura 30, mostra o posicionamento dos equipamentos durante a aferição da medida com variação de 15° em elevação e 170° em azimute.

Figura 27 – Sequência de passos na etapa de gravação



Fonte – Autoria própria

Figura 28 – Esquemático da varredura tridimensional dos microfones. (a) primeira etapa em azimute, (b) segunda etapa (elevação em 5°), (c) decima etapa (elevação em 45°), (d) penúltima etapa (elevação de 175°)



Fonte – Autoria própria

Figura 29 – Posicionamento dos equipamentos concluída as medições do microfone BM800



Fonte – A autoria própria

Figura 30 – Posicionamento dos equipamentos durante as medições do microfone BOYA M1



Fonte – A autoria própria

6.7 CONSIDERAÇÕES

Por não existir um equipamento perfeito, que trabalhe igualmente em todas as frequências. Foi necessário considerar que o monitor de áudio Edifier R1580MB contém uma

resposta plana para todas as frequências. Como esse equipamento é o mesmo utilizado em todas as medidas, seus efeitos podem ser desconsiderados quando comparamos os três microfones.

Durante as medições, os microfones BM800 e Boya M1 ficam 20 centímetros distantes do monitor de áudio. Já o microfone Behringer Xm1800s fica a uma distancia de apenas 2 centímetros do emissor acústico. Em todo esse processo, os três microfones ficam a uma distância de 2 metros das paredes do ambiente. Levando em consideração que a potência sonora é atenuada quando percorre uma determinada distância. Efeitos como o de reverberação não são relevantes no resultado, pois o sinal que reflete nas paredes do ambiente e retornam ao microfone chegam com uma potência muito inferior em comparação com a do sinal de teste, que incide diretamente nos microfones, percorrendo uma distância muito inferior.

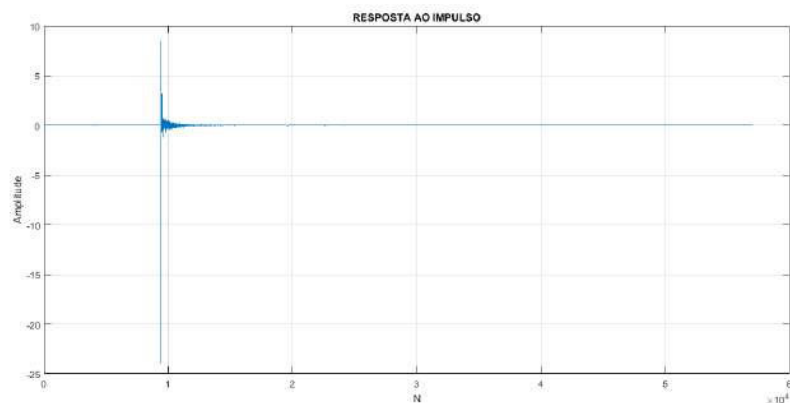
7 RESULTADOS

Esse capítulo apresenta análises completas dos três microfones caracterizados, demonstrando através de diagramas e gráficos o comportamento desses equipamentos em frequência e no ambiente tridimensional.

7.1 MICROFONE BOYA M1

O primeiro valor extraído dos dados medidos é referente a resposta impulsiva do microfone BOYA-M1. Essa dado foi gerado através da convolução do sinal gravado em uma angulação de zero grau em azimute e elevação, com o filtro inverso do sinal TSP, o resultado é mostrado na Figura31.

Figura 31 – Resposta impulsiva BOYA M1



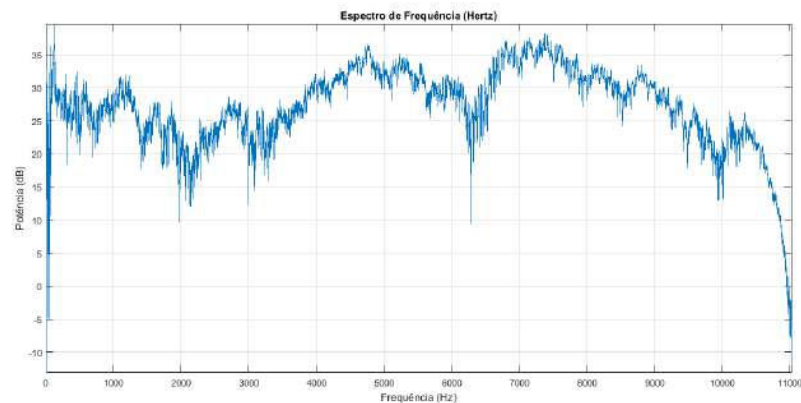
Fonte – Autoria própria

A partir da resposta impulsiva foi calculada a resposta em frequência utilizando a transformada de Fourier discreta. O resultado pode ser visto na Figura 32. O microfone BOYA M1 apresenta atenuação na captação de frequências próximas a 2 kHz e 10 kHz e apresenta ganho em frequências próximas 5 kHz e 7 kHz.

Através das respostas impulsivas dos dados coletados com elevação de 0° e, azimute variando de 0 a 360° , foi calculado a potência desses sinais e colocados em um diagrama polar mostrado na Figura 33.

Diferente do diagrama apresentado por fabricantes, que mostram o padrão polar em frequências específicas, o presente trabalho utiliza a soma das potências dos sinais captados em todas as frequências entre 20 Hz e 10 kHz. Nessa configuração, o microfone apresenta um padrão omnidirecional quase perfeito, apresentando uma pequena atenuação de 3 dB quando o som incide em angulações de 150° e 210° .

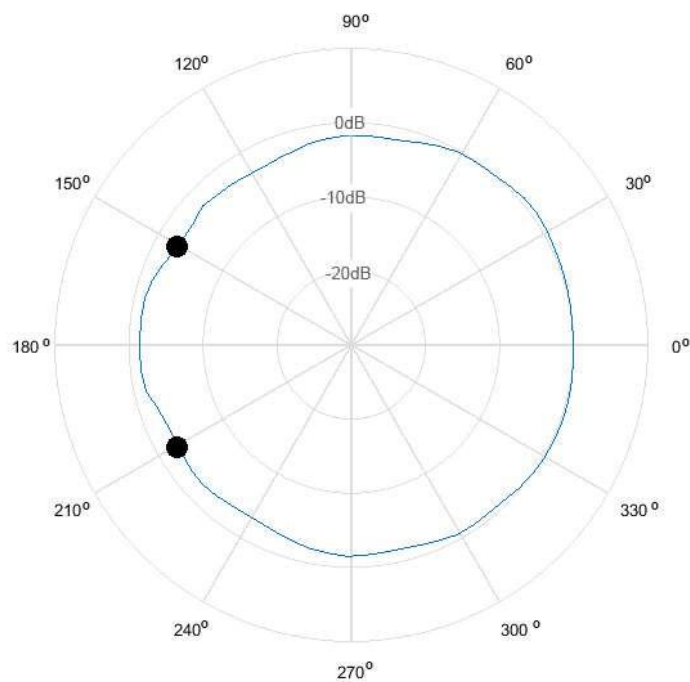
Figura 32 – Resposta em frequência BOYA M1



Fonte – Autoria própria

Figura 33 – Diagrama polar BOYA M1

● Pontos com atenuação de 3dB

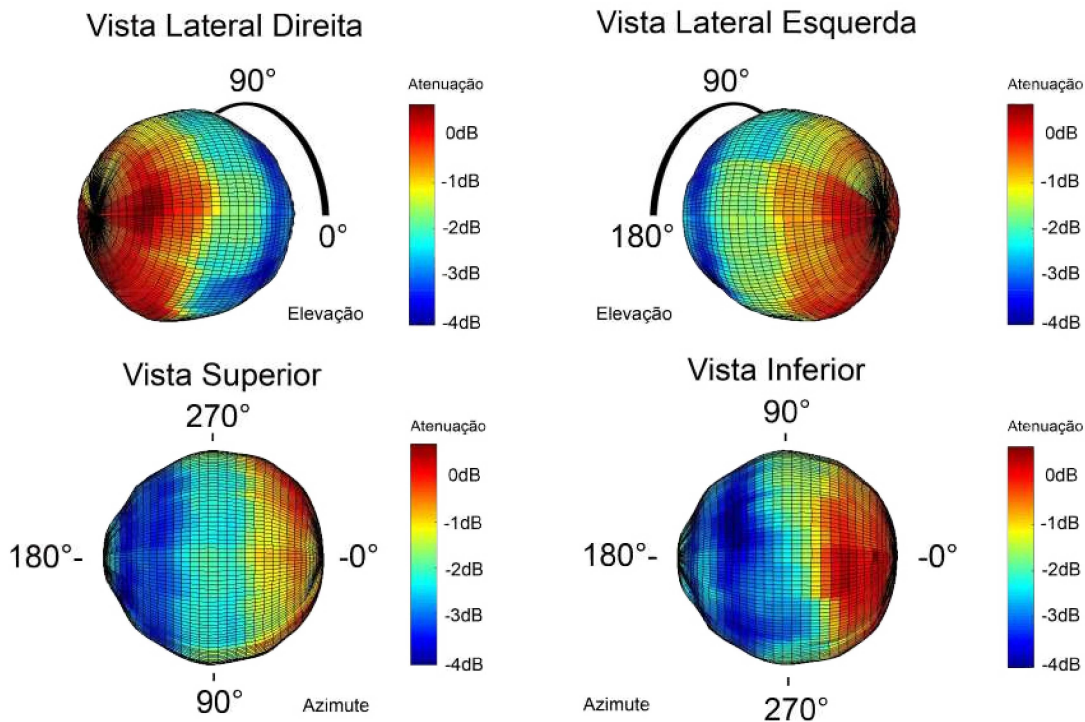


Fonte – Autoria própria

O mesmo procedimento foi feito variando a elevação de 0° a 180° . Assim, com a potência dos sinais amostrados foi levantado um diagrama 3D de captação do microfone BOYA-M1, mostrado na Figura 34.

O microfone apresenta uma captação uniforme para qualquer variação de sua posição no espaço tridimensional.

Figura 34 – Diagrama de captação tridimensional BOYA M1



Fonte – Autoria própria

7.2 MICROFONE BM800

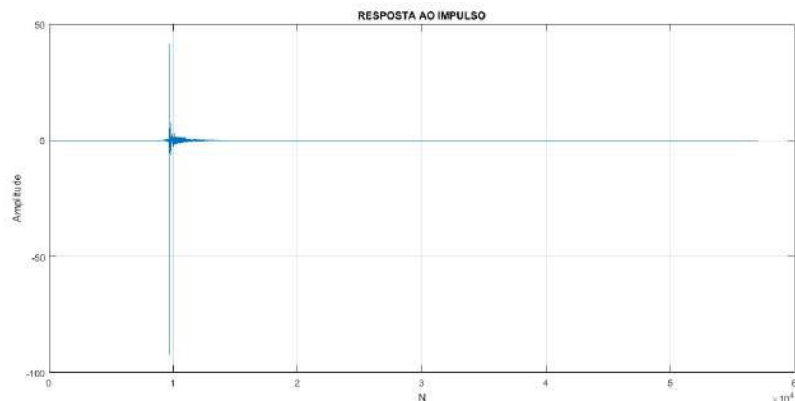
Seguindo a mesma sequência do microfone anterior, a primeira medida é referente a resposta impulsiva, dessa vez do microfone BM800. Esse dado foi gerado através da convolução do sinal gravado em uma angulação de zero grau em azimute e elevação, com o filtro inverso do sinal TSP, o resultado é mostrado na Figura 35.

A partir da resposta impulsiva foi calculada a resposta em frequência utilizando a transformada de Fourier discreta. O resultado pode ser visto na Figura 36.

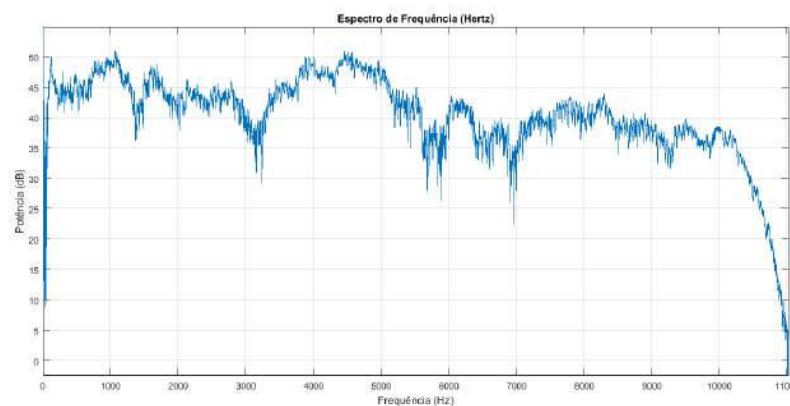
O microfone apresenta uma resposta relativamente plana até a frequência de 5 kHz, apresentando uma pequena atenuação próxima a 3 kHz, e pequenos ganhos em frequências próximas a 1 kHz, 4 kHz e 5 kHz. A partir de 6 kHz a resposta volta a ser relativamente plana até 10 kHz.

Através das respostas impulsivas dos dados coletados com elevação de 0° e azimute variando de 0 a 360°, foi calculado a potência desses sinais e colocados em um diagrama polar mostrado na Figura 37.

Apesar de ser apresentado como um microfone cardioide pelos fabricantes, quando o diagrama gerado leva em consideração a soma de todas as frequências captadas, o

Figura 35 – Resposta em impulsiva BM800

Fonte – Autoria própria

Figura 36 – Resposta em frequência BM800

Fonte – Autoria própria

microfone apresenta um padrão de captação entre supercardioid e omnidirecional, com atenuações significativas quando som incide com angulações de 110° e 250° .

O mesmo procedimento foi feito variando a elevação de 0° a 180° . Assim, com a potência dos sinais amostrados foi levantado um diagrama 3D de captação do microfone BM800, mostrado na Figura 38. Nota-se uma diferença no padrão de atenuação na parte superior, em relação aos padrões apresentados nas laterais e na parte inferior do microfone. Um dos motivos levantados levam em consideração aspectos construtivos do mesmo. Como pode ser observado pela Figura 39.

Diferente das laterais, a parte superior do microfone é livre de partes metálicas estruturais, assim como a frontal e posterior. Sem esses obstáculos a onda sonora atinge o diafragma do microfone com maior intensidade, causando a diferença na atenuação nessa região.

Figura 37 – Diagrama polar BM800

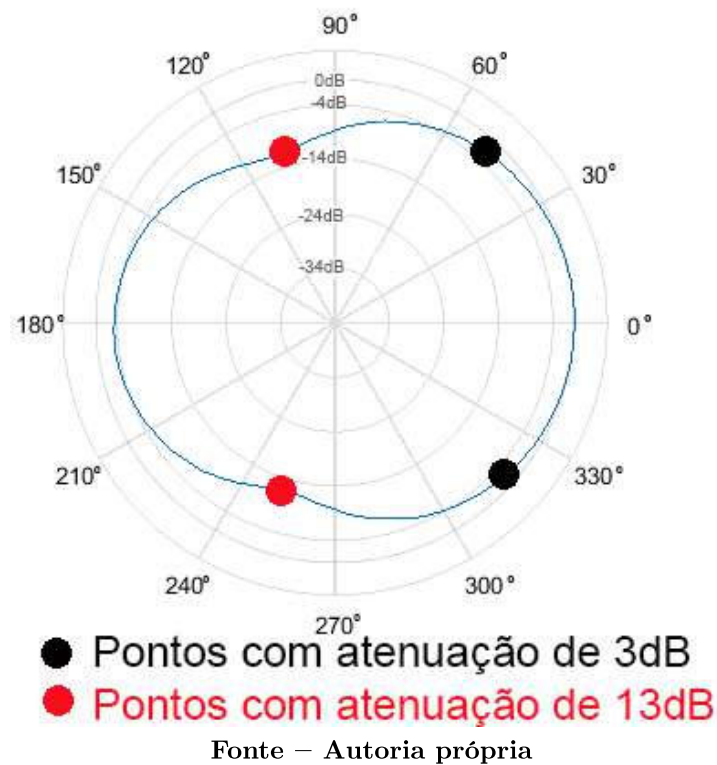


Figura 38 – Diagrama de captação tridimensional BM800

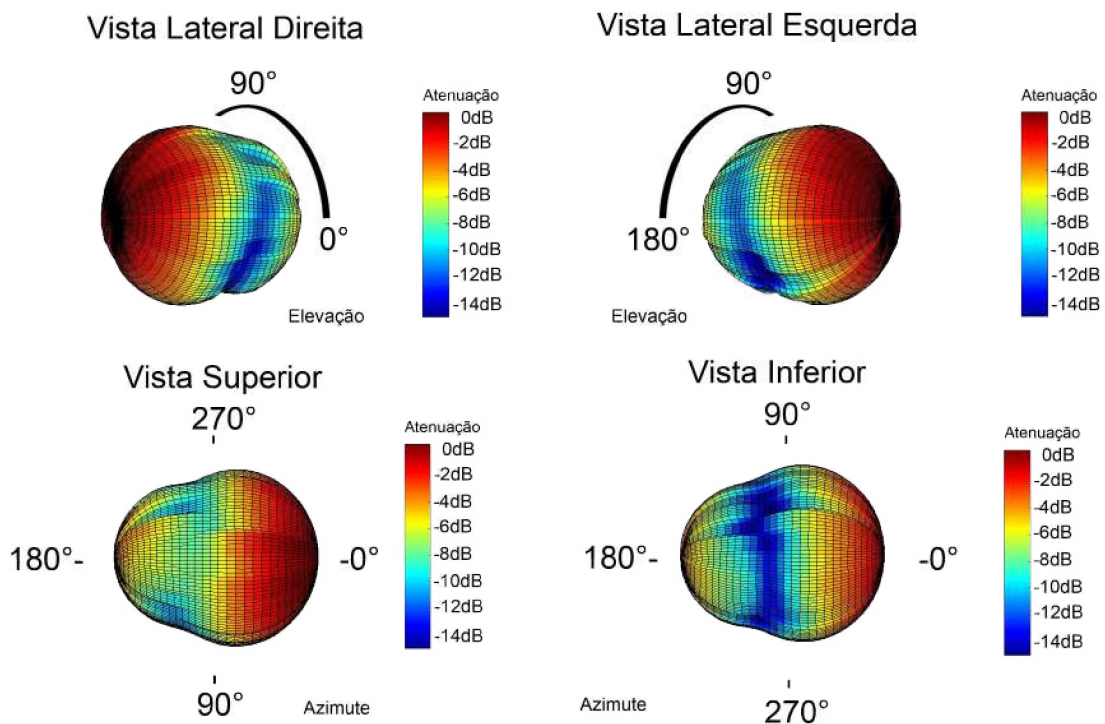


Figura 39 – Vistas microfone BM800



Fonte – Autoria própria

7.3 MICROFONE BEHRINGER XM1800S

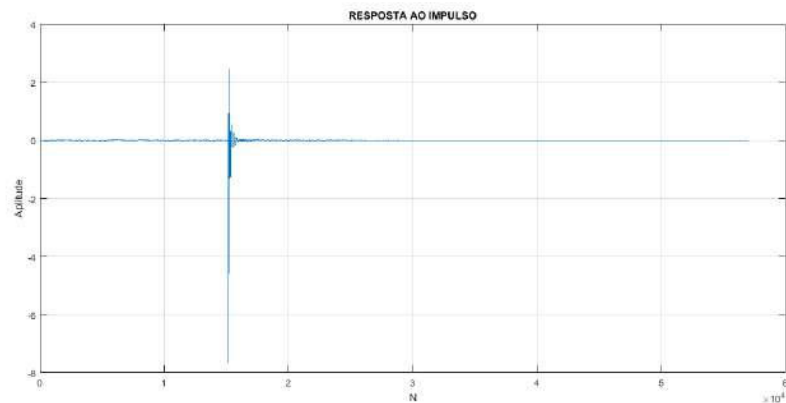
O último microfone a ser caracterizado foi o Behringer Xm1800s. Por se tratar de um microfone dinâmico, diferente dos demais microfones, a aquisição dos dados desse modelo foi feita aproximando o monitor de áudio, deixando os dois equipamentos a uma distância de 2 cm. O motivo dessa mudança foi a pouca sensibilidade do microfone para distâncias maiores que essa. A primeira medida é referente a sua resposta impulsiva. Esse dado foi gerado através da convolução do sinal gravado em uma angulação de zero grau em azimute e elevação, com o filtro inverso do sinal TSP, o resultado é mostrado na Figura 40.

A partir da resposta impulsiva foi calculada a resposta em frequência utilizando a transformada de Fourier discreta. O resultado pode ser visto na Figura 41.

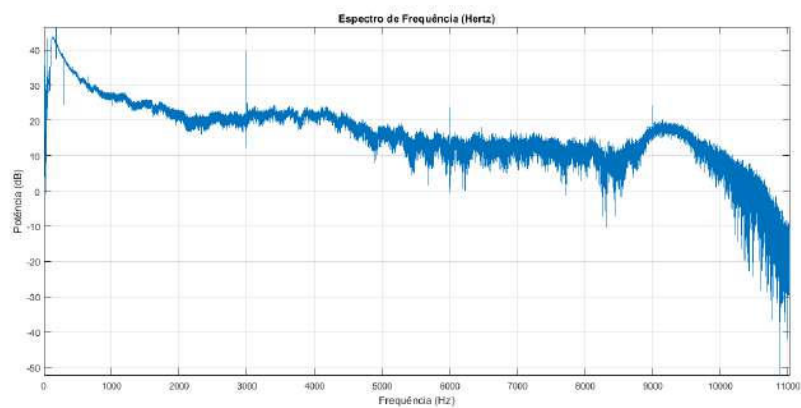
O microfone apresenta um ganho significativo entre as frequências de 250 Hz e 500 Hz, confirmando o diagrama apresentado pelo fabricante e mostrado na Figura 12. Uma resposta plana é verificada na faixa que cobre de 1 kHz a 4 kHz, e novamente entre 5 kHz e 9 kHz.

Através das respostas impulsivas dos dados coletados com elevação de 0° e azimute variando de 0° a 360° , foi calculado a potência desses sinais e colocados em um diagrama polar mostrado na Figura 42.

O microfone apresenta padrão polar condizente com o de um supercardioide, porém

Figura 40 – Resposta impulsiva Behringer Xm1800s

Fonte – Autoria própria

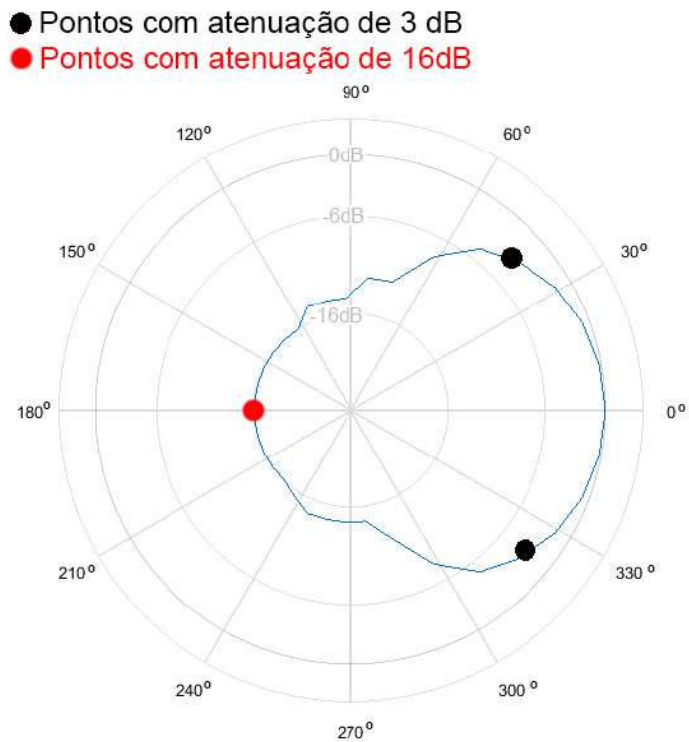
Figura 41 – Resposta em frequência Behringer Xm1800s

Fonte – Autoria própria

com atenuações inferiores às consideradas ideais nesse modelo, essas atenuações ocorrem entre 120° e 240° .

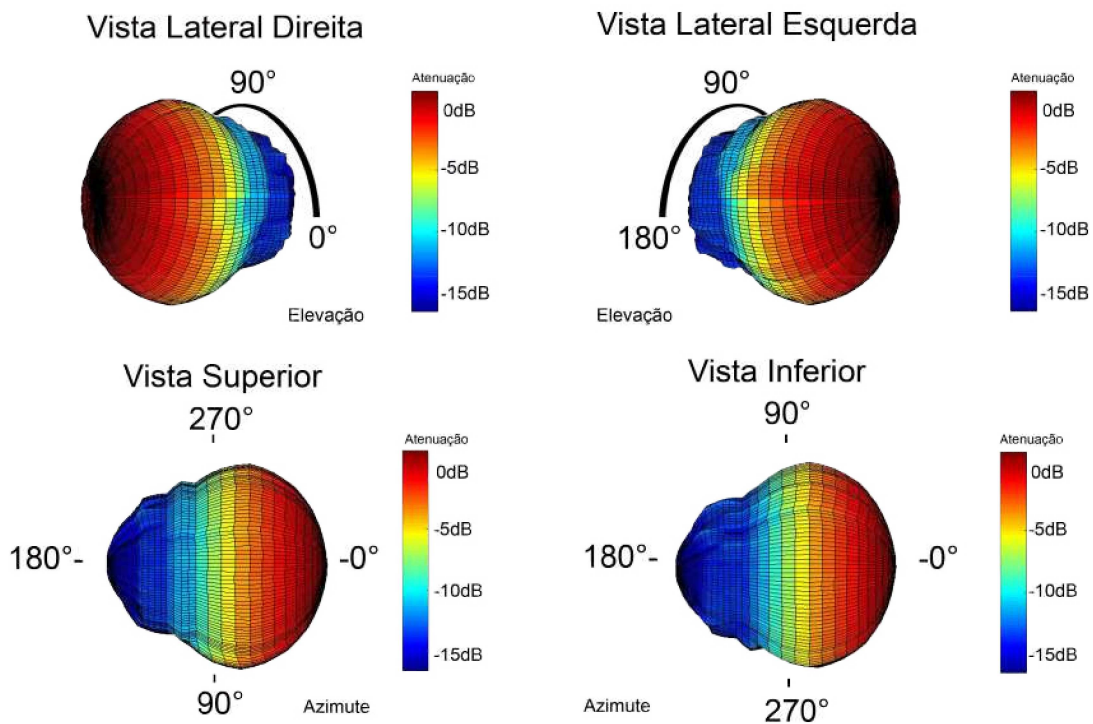
O mesmo procedimento foi feito variando a elevação de 0° a 180° . Assim, com a energia dos sinais amostrados foi levantado um diagrama 3D de captação do microfone Behringer Xm1800s, mostrado na Figura 43. O microfone apresenta padrões similares em todas as variações de elevação.

Figura 42 – Diagrama polar Behringer Xm1800s



Fonte – Autoria própria

Figura 43 – Resposta em frequência Behringer Xm1800s



Fonte – Autoria própria

8 CONCLUSÃO

O suporte modular cumpriu perfeitamente seu papel, possibilitando uma varredura dos microfones caracterizados em 360° em azimute e elevação, além de tornar o sistema mais compacto em comparação com o arco utilizado em trabalhos anteriores. Porém, a forma com que a varredura do microfone é feita utilizando esse suporte, faz com que o algoritmo de processamento seja um pouco mais complexo, por conta das variações do eixo mostrada na Figura 28.

Foi realizado com êxito a caracterização dos microfones, todas as principais características foram levantadas. O comportamento tridimensional desses equipamentos mostrou variações devidas a aspectos construtivos dos mesmo. Esses fatores podem ser levados em consideração por profissionais que trabalham com áudio para a instalação de isoladores acústicos e outros equipamentos passivos de arquitetura sonora em estúdios ou locais de apresentações.

O método desenvolvido torna viável a análise de uma grande variedade de equipamentos sonoros e ambientes. Com as opções de variações nos parâmetros de entrada, o sistema possibilita a análise em qualquer frequência desejada.

9 TRABALHOS FUTUROS

Para a otimização do sistema apresentado, segue como sugestão para trabalhos futuros as seguintes contribuições:

- Tendo como base o programa desenvolvido em Labview, criar um novo com um arquivo .exe que possa ser instalado e executado em qualquer computador;
- Substituir a plataforma giratória, acoplando o suporte diretamente ao eixo do motor de passos, afim de tornar todo o sistema portátil;
- Desenvolver modificações nos aspectos estruturais dos microfones e analisar efeitos;
- Análise de dispositivos destinados a captação de sinais com frequência acima da audível, tais como ultrassom.

REFERÊNCIAS

- AOSHIMA, N. Computer-generated pulse signal applied for sound measurement. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 69, n. 5, p. 1484–1488, 1981. Disponível em: <<https://doi.org/10.1121/1.385782>>.
- B.A., G.; MAJLIS, B. Condenser microphone performance simulation using equivalent circuit method. In: . [S.l.: s.n.], 2005. p. 8 pp. ISBN 0-7803-8658-2.
- BEHRINGER. **Behringer XM1800S**. 2016. Disponível em: <<https://www.behringer.com//Categories/Behringer/Microphones/Dynamic/XM1800S/p/P0199/Downloads>>. Acesso em: 11 de maio de 2019.
- BOYA. **BY-M1**. 2016. Disponível em: <<http://www.boyamicro.com/lavaliermicrophones/BY-M1.html>>. Acesso em: 11 de maio de 2019.
- CUBAL, J. M. da C. **Fortius IV: Posicionamento de microfones**. Novembro 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) — Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.
- DYM, C. **Principles of mathematical modeling**. [S.l.]: Elsevier, 2004.
- EDIFIER. **Edifier R1580MB**. 2016. Disponível em: <<http://www.edifier.com.br/r1580mb-edifier/>>. Acesso em: 11 de maio de 2019.
- FALKOVSKI, A. A. **Caracterização de Emissores Acústicos no Espaço Tridimensional**. Novembro 2017. 61 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Eletrônica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017.
- ISK. **BM 800**. 2014. Disponível em: <http://www.isk-audio.com/npro_detail/productId=98.html>. Acesso em: 11 de maio de 2019.
- LATHI, B. **Sinais e Sistemas Lineares - 2.ed.** Bookman, 2007. ISBN 9788560031139. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ySxoo2TVeeYC>>.
- MIT. **Linear Time-Invariant (LTI) Models for Communication Channels**. 2011. Disponível em: <<http://web.mit.edu/6.02/www/f2011/handouts/10.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2019.
- OPPENHEIM, A.; WILLSKY, A.; NAWAB, S. **Sinais e sistemas**. Prentice-Hall, 2010. ISBN 9788576055044. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ZOg9bwAACAAJ>>.
- RIBEIRO, M. I. **Caracterização Acústica Através do Levantamento de Respostas Impulsivas Utilizando os Métodos *MAXIMUM-LENGTH SEQUENCE* E *TIME-STRETCHED PULSE***. Novembro 2015. 69 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Eletrônica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2015.
- SHURE. **Dynamic vs Condenser Microphone - Operating Principle**. 2017. Disponível em: <<https://www.shure.com/americas/support/find-an-answer/dynamic-vs-condenser-microphone-operating-principle>>. Acesso em: 29 de março de 2019.

VELTEN, K. **Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers**. Wiley, 2009. ISBN 9783527627615. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=_B1fbVnM5uQC>.