



Vinicius de Moraes Schmorantz

**Desenvolvimento de uma Bancada Didática para Estudo de
um Propulsor Magnetohidrodinâmico**

Horizontina

2014

Vinicius de Moraes Schmorantz

**Desenvolvimento de uma Bancada Didática para Estudo de
um Propulsor Magnetohidrodinâmico**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Doutor.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Desenvolvimento de uma Bancada Didática para o Estudo de um Propulsor
Magnetohidrodinâmico”**

Elaborada por:

Vinicius de Moraes Schmorantz

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 03/12/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Fabiano Cassol
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista a todos os meus amigos, familiares, especialmente meus pais, minha filha, meus tios(as), minha namorada, pessoas que amo e que me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho sem medir esforços.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades.

Ao meu orientador Richard Thomas Lermen pelo esforço, paciência e sabedoria nos ensinamentos durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colegas, amigos, professores e colaboradores da FAHOR que me incentivaram e apoiaram para a realização do presente trabalho.

“Nunca considere o estudo como uma obrigação, mas sim como uma oportunidade para entrar no belo e maravilhoso mundo do saber.” (Albert Einstein)

RESUMO

O estudo e desenvolvimento das tecnologias envolvidas nos propulsores magnetohidrodinâmicos, os quais são utilizados na propulsão de navios e submarinos, são recentes e complexos. O presente trabalho tem como objetivo, construir uma bancada didática do tipo propulsor magnetohidrodinâmico. Bancada essa que será formada por uma caixa de vidro de formato retangular do tipo “canaleta”, duas chapas de alumínio para fazer o campo elétrico do sistema e também, um sistema de ímãs composto de quatro ímãs para formar o campo magnético do propulsor. Nesta canaleta será utilizado como fluido água com NaCl (sal). Na presença de um campo elétrico e de um campo magnético encontra-se a atuação da Força de Lorentz, que é a soma da força devido às interações da carga com o campo elétrico e com o campo magnético. A construção da bancada foi concretizada com a idéia de demonstrar o funcionamento da interação dos elementos da força de Lorentz e diagnosticar de que maneira a variação destes elementos podem influenciar na força resultante. Nesta bancada, adotou-se a variação de dois parâmetros para poder encontrar o comportamento do propulsor, variação na quantidade de NaCl na água e variação na corrente elétrica aplicada no propulsor. Os resultados foram alcançados pois com a construção do propulsor foi possível visualizar o fenômeno MHD e fazer ensaios de funcionamento variando parâmetros como a quantidade de NaCl e corrente elétrica que demonstrou que, quanto mais NaCl na água, mais rápido o fluido se movimenta, e da mesma forma, quanto mais alta for a corrente elétrica, mais rápido será o movimento do fluido.

Palavras-chave: Magnetohidrodinâmica. Propulsor. Força de Lorentz.

ABSTRACT

The study and development of the technologies involved in magnetohydrodynamic thrusters, which are used in the propulsion of ships and submarines, are recent and complex. This study aims to build a didactic bench of magnetohydrodynamic propeller type. Bench that will be formed by a rectangular glass box-type "channel," two aluminum plates to the electric field of the system and also a system of magnets comprises four magnets to form a magnetic field of the propellant. This channel is used as fluid water with NaCl (salt). In the presence of an electric field and a magnetic field is the action of Lorentz force, which is the sum of the force due to charge interactions with the electric field and the magnetic field. The construction of the bench was implemented with the idea of demonstrating the operation of the interaction of the Lorentz force elements and diagnose how the variation of these elements can influence the resultant force. On this bench, we adopted the variation of two parameters in order to find the driver of behavior, variation in the amount of NaCl in water and change in electric current applied to the propellant. The results were achieved as with the construction of the propellant could be visualized MHD phenomenon and do performance tests by varying parameters such as the amount of electric current NaCl and which demonstrated that the more NaCl in water, the faster moving fluid, and Similarly, the higher the electric current, the faster the movement of the fluid.

Keywords: Magnetohydrodynamics. Propellant. Lorentz Force.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da Força de Lorentz.....	15
Figura 2: Representação de um turbogerador.....	16
Figura 3: Representação do sistema de propulsão MHD.....	16
Figura 4: Desenho da caixa de vidro.....	19
Figura 5: Desenho da chama de alumínio.....	20
Figura 6: (a) Disposição do sistema de ímãs. (b) Sistema de ímãs com o suporte de fixação.	20
Figura 7: Desenho do dispositivo montado.	21
Figura 8: (a) Foto do dispositivo. (b) Foto do dispositivo com as indicações de materiais....	22
Figura 9: (a) Início do experimento. (b) Corpo de prova no início do percurso de medição. (c) corpo de prova na metade do percurso de medição. (d) corpo de prova no final do percurso de medição.....	24
Figura 10: Gráfico do tempo de percurso do corpo de prova.	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. JUSTIFICATIVA.....	10
1.2. OBJETIVOS	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. TIPOS DE SISTEMAS MAGNETOHIDRODINÂMICOS.....	15
2.1.1. GERADOR MAGNÉTOHIDRODINÂMICO.....	15
2.1.2. PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÂMICO.....	16
2.2. VANTAGENS DO PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÂMICO.....	17
2.3. DESVANTAGENS DO PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÂMICO.....	17
2.4. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS.....	18
2.4.1. ÁGUA.....	18
2.4.2. CORRENTE ELÉTRICA.....	18
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. PROJETO E CONTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	19
3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	21
3.3. TESTES COM O DISPOSITIVO.....	23
3.4. PROCEDIMENTOS E ENSAIOS COM O PROPULSOR.....	23
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

A Magnetohidrodinâmica, também conhecida como MHD, estuda interações entre o eletromagnetismo e a hidrodinâmica. Estas interações ocorrem com fluido condutor de eletricidade que, submetido a forças de campo elétrico e de um campo magnético, acabam gerando uma força que movimenta o fluido. A força que movimenta o fluido é a chamada Força de Lorentz, definida como: A superposição da força elétrica, proveniente de um campo elétrico, com a força magnética devida a um campo magnético, que atua sobre uma partícula carregada eletricamente ou fluido condutor de eletricidade, e a força resultante dessa interação.

Utilizando o sistema MHD como propulsor de embarcações, por exemplo pequenos barcos ou submarinos, pode-se obter algumas vantagens sobre os sistemas de propulsores com hélice. A velocidade pode ser mais elevada pois não existem peças móveis no sistema, com isso reduz-se o tempo e valor da manutenção e também não é provocada turbulência. Existem também desvantagens utilizando esse sistema, tais como a limitação dos ímãs que precisam ser mais leves e eficientes e embarcações que não podem operar em áreas com água doce pois o fluido não conduz eletricidade de forma adequada.

A realização desse trabalho está na proposta de apresentar o fenômeno MHD, seus conceitos e funcionamento. Com esse estudo, será feito o projeto de um propulsor MHD e a construção de uma bancada de testes e ensaios que poderá servir como material de auxílio para outros estudos no futuro.

1.1. JUSTIFICATIVA

Entre os meios que justificam a elaboração desse projeto, está a ideia de projetar e construir um propulsor MHD, fazer toda a construção do propulsor, selecionar os materiais necessários e colocar em prática os conhecimentos adquiridos durante o curso na elaboração e consolidação do propulsor.

Efetuar ensaios com o propulsor fazendo a variação de parâmetros como concentração de cloreto de sódio (NaCl) e corrente elétrica no sistema para demonstrar como ocorre o funcionamento e como se comporta o fluxo do propulsor.

A construção dessa bancada didática será importante para o curso, para os laboratórios de engenharia, pois se somará a outros diversos trabalhos enriquecendo o aprendizado prático dos ensinamentos apresentados em aula.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho está na proposta de construir um propulsor magnetohidrodinâmico, seguindo as leis da MHD, para efetuar ensaios de funcionamento com a alteração de parâmetros como densidade de soluto na água alterando a condução elétrica do fluido, e alterando a intensidade de corrente elétrica, assim alterando o campo elétrico do sistema. Fazer uma coleta de dados referentes a esses ensaios e analisar a maneira que se comporta o propulsor nas diferentes situações. Proporcionar que essa bancada possa servir como material de auxílio a outros estudos vindo a facilitar a compreensão do sistema MHD. Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram definidos alguns objetivos específicos:

- Apresentar conceitos e sistemática do fenômeno MHD;
- Definir os materiais a serem utilizados para montar a bancada;
- Construir o propulsor MHD;
- Efetuar ensaios com variação de parâmetros tais como: intensidade de corrente elétrica e concentração de NaCl na água.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Desde os primeiros estudos sobre eletricidade e magnetismo, sabe-se que os campos magnéticos interagem com muitos líquidos naturais e artificiais. Esse fenômeno de interação dos campos magnéticos com os fluídos dá-se o nome de magnetohidrodinâmica ou simplesmente MHD. Formalmente, a MHD é concebida como a interação mútua entre o fluido em movimento e os campos magnéticos e elétrico.

Um condutor (fluído ou sólido), na presença de um campo magnético variável, por meio do movimento de um ímã permanente ou de um solenoide alimentado por uma fonte de corrente externamente aplicada e que varia com o tempo, cria uma densidade de corrente elétrica induzida nesse condutor que interage mutuamente com o campo magnético original. Resultam desse processo forças eletromagnéticas que alteram o gradiente de pressão do fluído ou o estado de movimento do sólido, as quais são fruto do produto vetorial entre o vetor densidade de corrente elétrica e o vetor densidade de campo magnético aplicado. (AOKI, 2011)

Existem duas formas básicas de criação de um campo magnético. A primeira forma é usar partículas eletricamente carregadas em movimento, como os elétrons responsáveis pela corrente elétrica em um fio, para fabricar um eletroímã. A corrente produz um campo magnético. A outra forma de produzir um campo magnético é usar partículas elementares, como os elétrons, que possuem um campo magnético intrínseco. O campo magnético é uma propriedade básica de muitas partículas elementares, do mesmo modo como a massa e a carga elétrica (quando existe) são propriedades básicas. Do ponto de vista formal, deve-se ter em mente que é impossível tratar cargas elétricas em movimento sem levar em consideração a existência do campo magnético. (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

Os primeiros fenômenos magnéticos observados foram aqueles associados aos chamados “ímãs naturais” (magnetos), que eram fragmentos grosseiros de ferro encontrados perto da antiga cidade de Magnésia (daí o termo “magneto”). Esses ímãs tinham a propriedade de atrair ferro desmagnetizado, sendo que esta propriedade era

mais acentuada em certas regiões desse material denominada, depois, de pólos. (MATERIAIS MAGNÉTICOS, 2014)

O Campo elétrico, segundo experiências do professor e pesquisador Hans Christian Öersted (1777-1851), que representou um marco no estudo da eletricidade e do magnetismo, está associada a corrente elétrica que passa em um fio condutor. Então, campo elétrico é o campo de força provocado pela ação de cargas elétricas, ou por sistemas delas. Cargas elétricas colocadas num campo elétrico estão sujeitas à ação de forças elétricas, de atração e repulsão. Define-se o campo elétrico produzido através da equação 1: (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|} \quad (1)$$

Onde: \vec{E} = Campo Elétrico

\vec{F} = Força Eletrostática

$|q|$ = Carga de prova

Unidade do \vec{E} no SI é newton por coulomb $[\frac{N}{C}]$

Em partículas que possuem carga elétrica líquida, atuam as forças de atração ou de repulsão, quando colocadas na presença de um campo elétrico. A intensidade da força é proporcional à intensidade da carga elétrica (\vec{q}) e do campo elétrico (\vec{E}). Desta forma, na eletrostática, a força sobre a respectiva carga elétrica em um campo elétrico é dada pela equação 2: (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

$$\vec{F}_e = \vec{q} \cdot \vec{E} \quad (2)$$

Quando uma carga elétrica se movimenta em um campo magnético, sofre a ação da força magnética. Esta força é perpendicular à direção do deslocamento e também perpendicular à direção do campo magnético no qual ela está inserida. A intensidade desta força depende do módulo, da direção e do sentido da velocidade da carga e, é claro, da intensidade da carga. (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

A expressão matemática para a intensidade da força magnética sobre uma carga em movimento é:

$$F_b = |q|.v.B.\sin\theta \quad (3)$$

Onde: F = Força magnética

$|q|$ = Módulo da carga elétrica

v = Velocidade da carga

B = Campo Magnético

$\sin\theta$ = seno do ângulo entre a direção da velocidade da carga e a direção do campo magnético

(KÍTOR,2014)

Considerando uma situação onde a carga elétrica está sujeita à força magnética e a força eletrostática. Ou seja, na presença de um campo elétrico e de um campo magnético. Neste caso, tem-se então a atuação da chamada Força de Lorentz, que é a soma da força devido às interações da carga com o campo elétrico e com o campo magnético. Assim, obtêm-se a equação 4:

$$F = q.(E + v.B) \quad (4)$$

Onde as unidades de medida são:

F = Newton [N]

q = Coulomb [C]

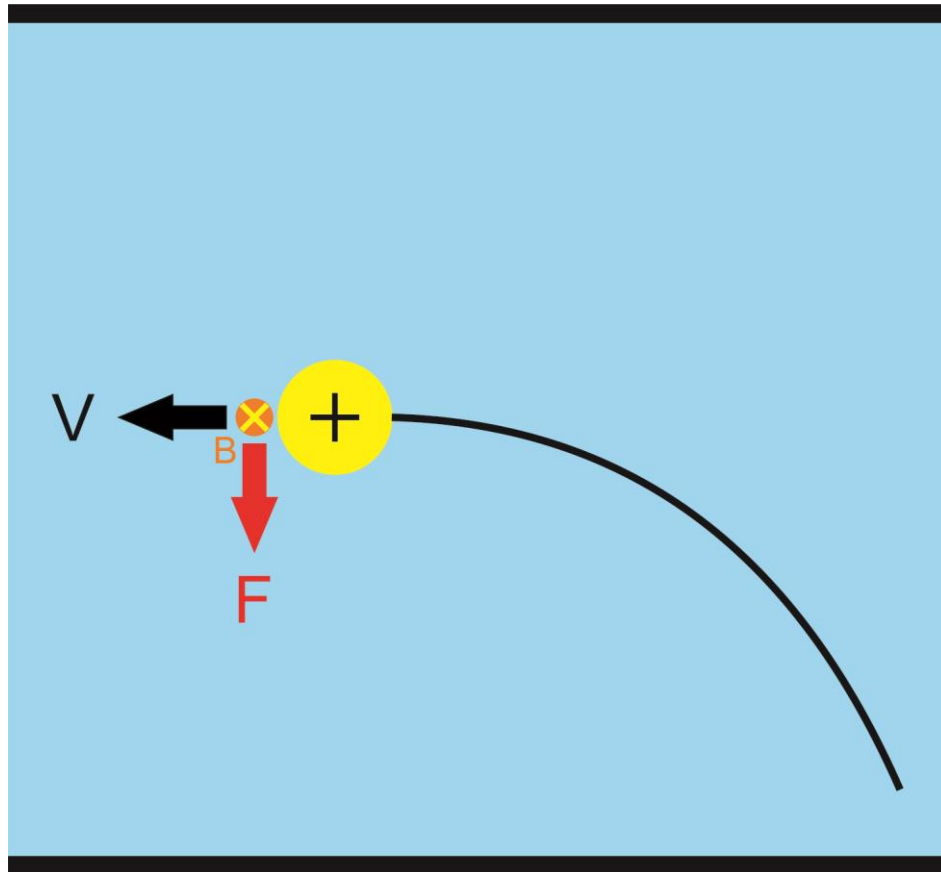
v = metros por segundo [m/s]

B = Tesla [T]

(KÍTOR,2014)

Para melhor demonstrar a ação da força de Lorentz, a figura 1 faz a representação de uma carga positiva se movimentando em um plano. O campo magnético está orientado “entrando” neste plano. A força magnética é perpendicular a v e a B .

Figura 1 – Representação da Força de Lorentz



Fonte: Kitor, 2014

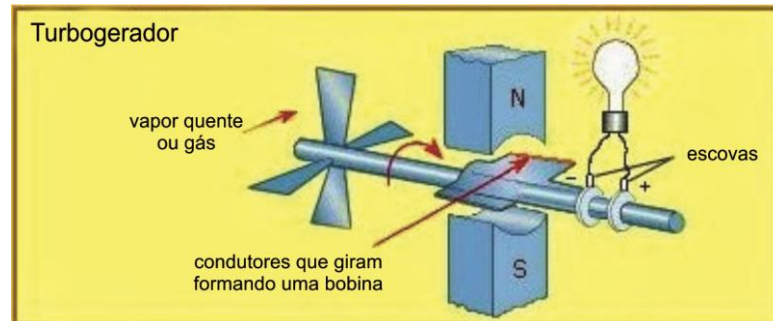
2.1 TIPOS DE SISTEMAS MAGNETOHIDRODINÂMICO

Existem dois tipos de sistemas magnetohidrodinâmico: Gerador Magnetohidrodinâmico e Propulsor Magnetohidrodinâmico

2.1.1 Gerador Magnetohidrodinâmico

A maioria dos geradores elétricos atuais se baseiam na transformação de energia mecânica em elétrica. Na figura 2, temos um eixo com uma pá giratória e nele preso uma espira com anéis de captação de energia elétrica nas extremidades. A espira ao se movimentar dentro do campo magnético gera um campo elétrico o que permite o funcionamento da lâmpada. (ONOHARA, 2011)

Figura 2 – Representação de um turbogerador



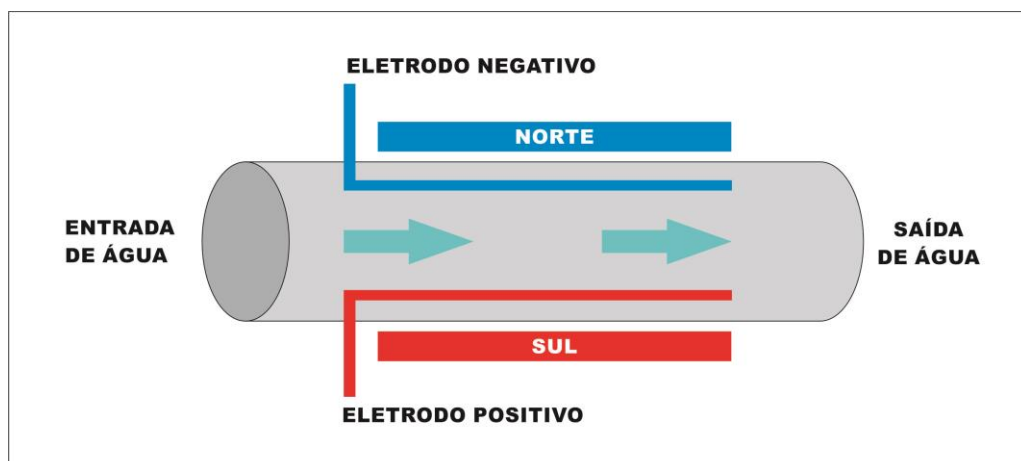
Fonte: Onohara, 2011.

2.1.2. Propulsor Magnetohidrodinâmico

Desde os primeiros estudos sobre a eletricidade e magnetismo, sabe-se que os campos magnéticos interagem com muitos líquidos naturais e artificiais. A esse fenômeno de interação dos campos magnéticos com os fluídos dá-se o nome de magnetohidrodinâmica ou simplesmente MHD. (AOKI, 2011)

Formalmente, a MHD é concebida como a interação mútua entre o fluído em movimento, os campos magnéticos e um fluído eletricamente condutor. Em outras palavras, tendo um campo magnético, que neste caso, formado por ímãs naturais, e um fluído eletricamente condutor, como água com NaCl, aplicando-se a eletricidade formando um campo elétrico, o fluído será forçado a deslocar-se culminando no movimento do fluído como aparece na figura 3.

Figura 3 – Representação do Sistema de propulsão MHD



Atualmente, o sistema de propulsores MHD vem sendo testado por diversas empresas para a propulsão de embarcações. Em teoria, a velocidade que se poderia alcançar com este sistema seria muito maior do que com os sistemas convencionais. (WIKIPÉDIA, 2014)

2.2. VANTAGENS DO PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÂMICO

Os Propulsores MHD têm várias vantagens sobre os sistemas de propulsão convencionais. Entre os mais importantes, vai proporcionar a pequenas embarcações, navios e submarinos viajarem em altas velocidades. A velocidade média de navios cargueiros no mar é entorno de 25 nós (46 km/h) e muitos visionários antecipam que esta velocidade pode chegar acima de 100 nós (185 km/h) utilizando um propulsor MHD, mas é um objetivo extremamente otimista. Espera-se que no futuro, essa tecnologia permita que navios mercantes viajem a velocidades entre 50 e 60 nós (93 km/h e 111 km/h), dependendo dos materiais utilizados para o casco e design (estabilidade). (HIDALGO, 2014)

Com um propulsor MHD, não existe o problema que limita a utilização de hélice como a cavitação, e também leva para a segunda maior vantagem desse sistema, que é um sistema silencioso comparado ao sistema de hélices. Tendo em conta que os propulsores MHD não possuem partes móveis, eles não são barulhentos, não vibram e, portanto, requerem um baixo nível de manutenção perante propulsores convencionais. E não existe a necessidade de uma ligação entre a unidade de acionamento e a hélice (eixo).(HIDALGO, 2014)

2.3. DESVANTAGENS DO PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÂMICO

Uma das limitações do uso de propulsão MHD, é a construção de ímãs muito mais eficientes e mais leves. Embora os modelos até o momento construídos, possuem um elevado índice de desempenho, o magneto consome cerca de 60% da força eletromotriz gerada. Outra limitação se deve por navios movidos a esse sistema, não poderem operar em áreas com água doce pois não conduzem eletricidade de

forma adequada. Além disso, a água salgada tem um elevado nível de corrosão nas partes elétricas do sistema (eletrodos). (HIDALGO, 2014)

2.4. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS

2.4.1. Água

A água pura apresenta baixa condutividade elétrica, mas essa propriedade aumenta significativamente com a adição de uma pequena quantidade de um eletrólito. Assim, o risco de choque elétrico é muito maior em água com impurezas não encontradas na água pura. Por exemplo, o risco de choque elétrico na água do mar é maior que em água doce, porque a água do mar tem uma concentração muito maior de impurezas, particularmente o sal sendo que a corrente principal flui pelo melhor condutor. Todas as propriedades elétricas observáveis na água provêm dos íons de sais minerais e do dióxido de carbono misturados nela. De fato, a água se auto-ioniza, processo em que as moléculas de água se tornam um ânion hidróxido e um cátion hidrônio, mas não o bastante para carregar corrente elétrica suficiente para exercer qualquer trabalho ou dano na maioria dos casos. (WIKIPEDIA, 2014)

2.4.2. Corrente Elétrica

A corrente elétrica é todo movimento ordenado de partículas eletrizadas. Para que esses movimentos ocorram é necessário haver tais partículas – íons ou elétrons – livres no interior dos corpos.

Corpos que possuem partículas eletrizadas livres em quantidades razoáveis são denominadas condutores, pois essa característica permite estabelecer corrente elétrica em seu interior.

Nas soluções eletrolíticas existe grande quantidade de cátions e ânions livres, e em movimento desordenado. Quando se cria, de alguma maneira, um campo elétrico no interior de uma solução eletrolítica, esses movimentos passam a ser ordenados: o movimento dos cátions, no sentido do vetor campo elétrico, e o dos ânions, no sentido oposto. Essa ordenação constitui a corrente elétrica como mostra a figura 5. (WIKIPÉDIA, 2014)

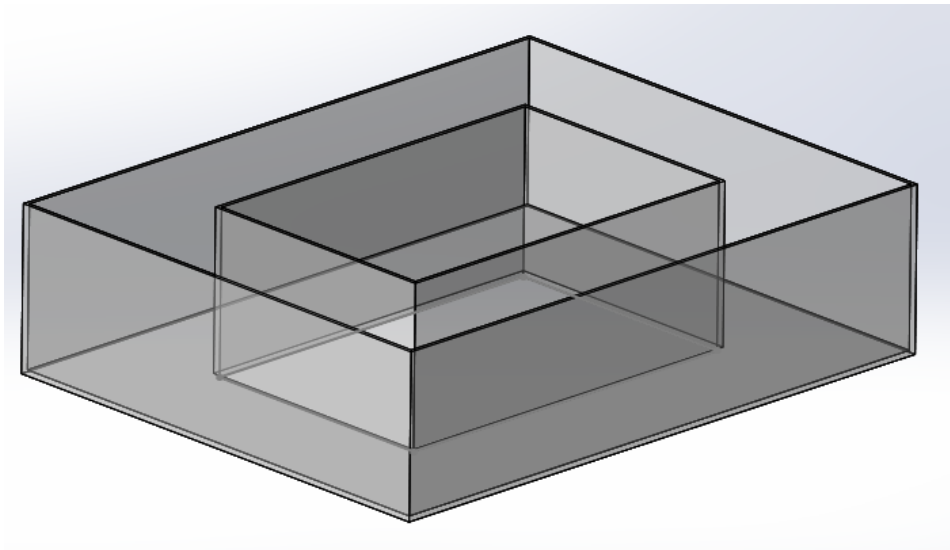
3. METODOLOGIA

Na elaboração deste projeto, foi realizado um planejamento da metodologia que deveria ser empregada para atingir os resultados satisfatórios. Foi então que a ideia de reunir os estudos dos fenômenos envolvidos na magnetohidrodinâmica e após isso, partir para o projeto e construção do propulsor.

3.1. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

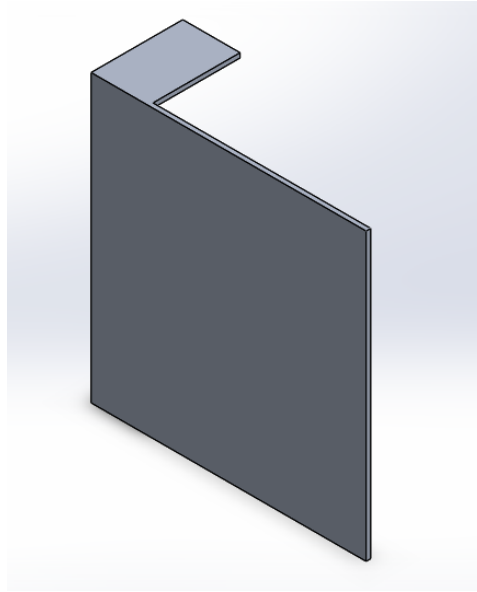
Para proceder com o processo de construção do propulsor magnetohidrodinâmico, foi construído uma caixa de vidro em um formato retangular do tipo “canaleta”. A figura 4 mostra o desenho esquemático da caixa de vidro onde será montado o propulsor

Figura 4 – Desenho da caixa de vidro



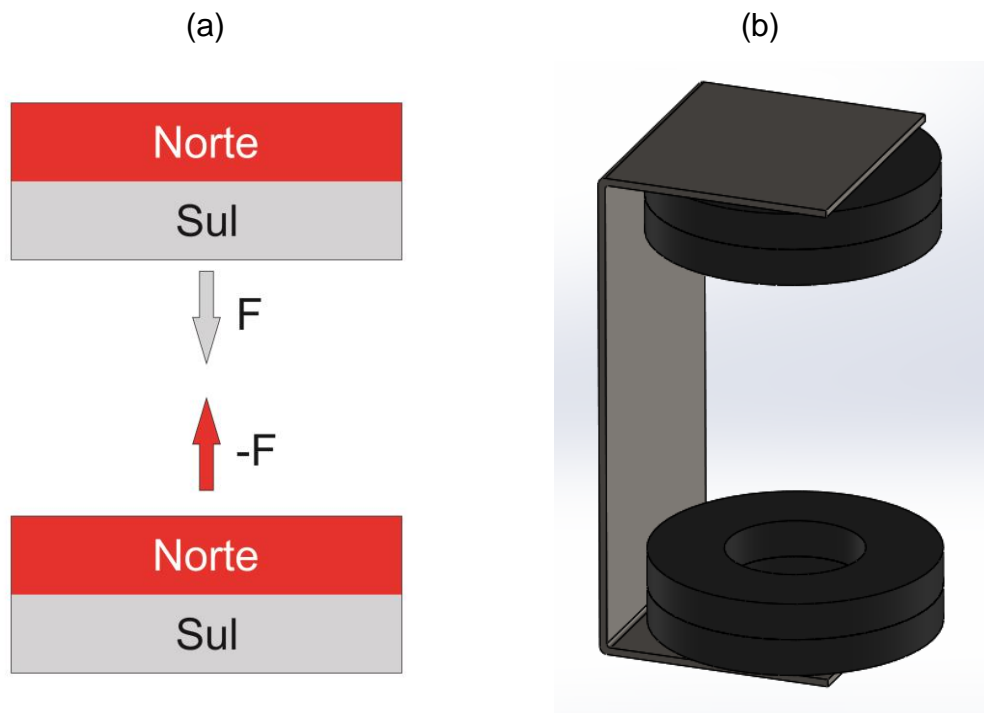
Na canaleta da figura 4, foi recortada e montada duas chapas de alumínio para servir como tomada de energia elétrica para o sistema formando o campo elétrico. A figura 5 ilustra a chapa de alumínio.

Figura 5 – Desenho da chapa de alumínio



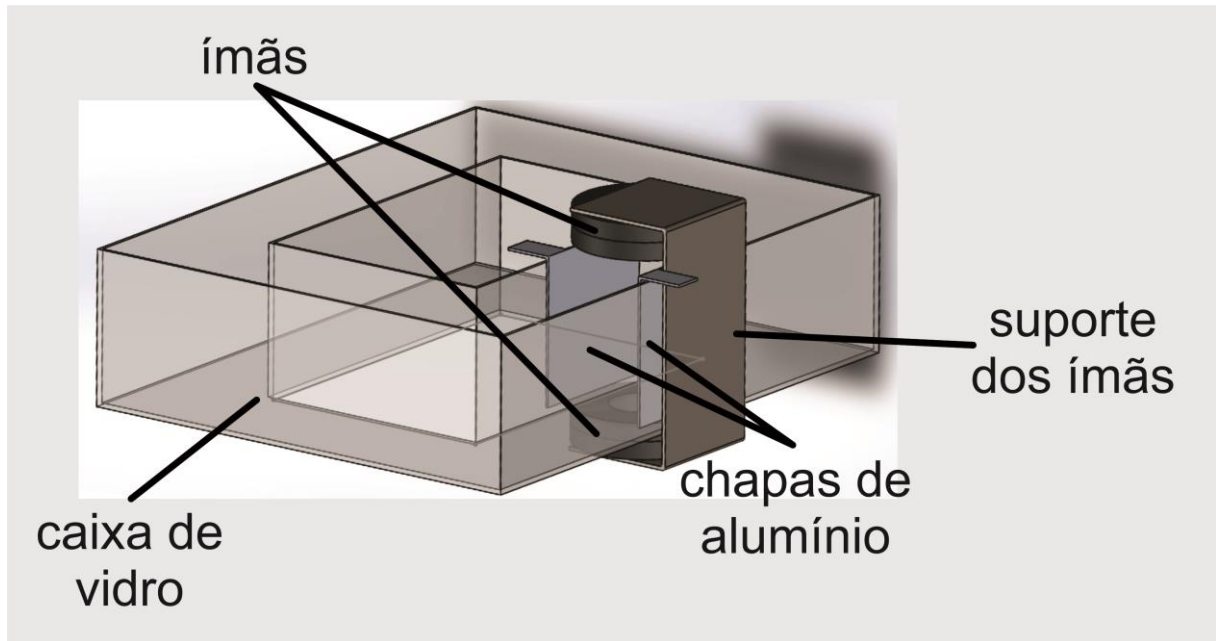
No sentido perpendicular a estas chapas, foi montado um sistema composto de quatro ímãs, na disposição de dois ímãs na parte superior e dois ímãs na parte inferior, devendo serem montados de maneira em que se atraem conforme a figura 6.

Figura 6 – (a) Disposição do sistema de ímãs. (b) Sistema de ímãs com o suporte de fixação.



Após elaborado as peças que fazem parte do propulsor, foi feita a montagem do dispositivo conforme ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Desenho do Dispositivo Montado

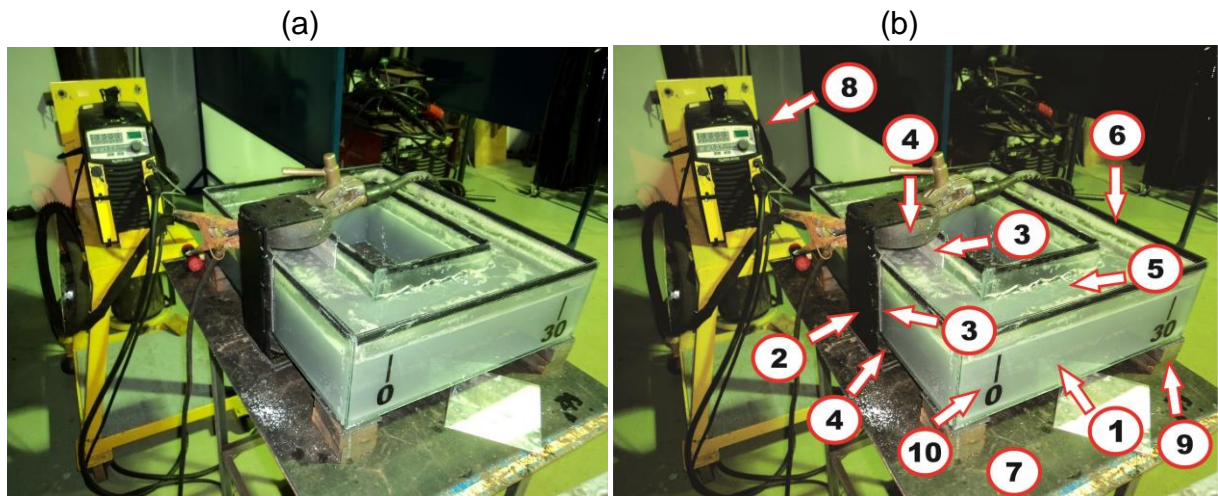


Como fluido, foi utilizado água com NaCl, em três diferentes graus de concentração, 20%, 30% e 40% variando a condutividade elétrica do fluido. Para completar o material necessário para a elaboração do experimento, foi utilizado como fonte de energia, um aparelho de solda TIG que para os testes, foi utilizado em 5 diferentes níveis de corrente elétrica, 20A, 40A, 60A, 80A e 100A.

3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Na construção deste dispositivo foram utilizados diversos materiais, além da caixa de vidro, dos ímãs e das placas de alumínio. A figura 8 mostra o dispositivo montado com as suas indicações de materiais que foram necessários para a montagem.

Figura 8 – (a) Foto do dispositivo. (b) Foto do dispositivo com as indicações dos materiais.



Materiais que foram utilizados na montagem:

1. 01 caixa de vidro com dimensões de 500mm de largura x 400mm de comprimento x 130mm de altura e canaleta interna com 100mm, utilizando vidro de 4mm de espessura.
2. 01 Perfil em “U”, confeccionado para a fixação dos ímãs nas dimensões 225mm x 95mm x 90mm espessura 10mm.
3. 02 pedaços de chapa de alumínio nas dimensões 125mm x 120mm e 2mm de espessura.
4. 04 anéis de ímãs de ferrite, utilizados em alto-falantes com dimensões \varnothing 115mm x 30mm espessura 15mm.
5. 10 Litros de água com níveis de NaCl em 20%, 30% e 40% na sua composição.
6. Borrachas em perfil “U” para fins de acabamento
7. 01 mesa de metal com rodízios para a fixação e montagem do dispositivo.
8. 01 Aparelho de solda tipo TIG modelo ESAB 2200i ACDC
9. 08 calços de metal para suspensão do dispositivo
10. Adesivo para medições
11. Bolinhas de isopor \varnothing 25mm
12. Cronômetro

3.3. TESTES COM O DISPOSITIVO

Dos primeiros testes que foram feitos com o dispositivo, o primeiro foi a verificação de vazamento que talvez poderia haver na caixa de vidro após adicionado o fluido e que acabou não apresentando. O fluido utilizado para este teste foi água com NaCl, mas em uma proporção de 4%, uma medida menor do que foi traçado na metodologia para efetuar os testes de medições. Após isso então, o primeiro teste de funcionamento foi feito, adicionado uma fonte geradora de energia e aplicando a corrente de 20 A e posteriormente aumentando essa corrente para 40A, 60A, 80A e 100A.

Neste primeiro teste, o dispositivo operou de forma satisfatória, fez o fluido percorrer toda a canaleta da caixa de vidro de maneira em que pudesse ver o fluxo do fluido sem problemas e sem comprometer qualquer componente do sistema, não apresentando também, grande risco na segurança das pessoas envolvidas com os testes.

3.4. PROCEDIMENTOS E ENSAIOS COM O PROPULSOR

Para a análise do experimento foi aplicada uma variação de duas propriedades envolvidas diretamente no funcionamento do dispositivo, que seriam, a variação na concentração de sal do fluido e a variação na intensidade da corrente aplicada.

Ao se tratar da variação na concentração de sal do fluido (água + NaCl), foi utilizado como base a medida de 30% de sal por litro de água. Então neste quesito, as medições estipuladas para os testes foram em três (03) diferentes níveis: 20%, 30% e 40%.

Na variação da intensidade de corrente elétrica, utilizando a voltagem de 220V, foi então estipulado cinco (05) diferentes níveis de intensidade para a medição. 20A, 40A, 60A, 80A e 100A.

Os testes seguiram da seguinte forma:

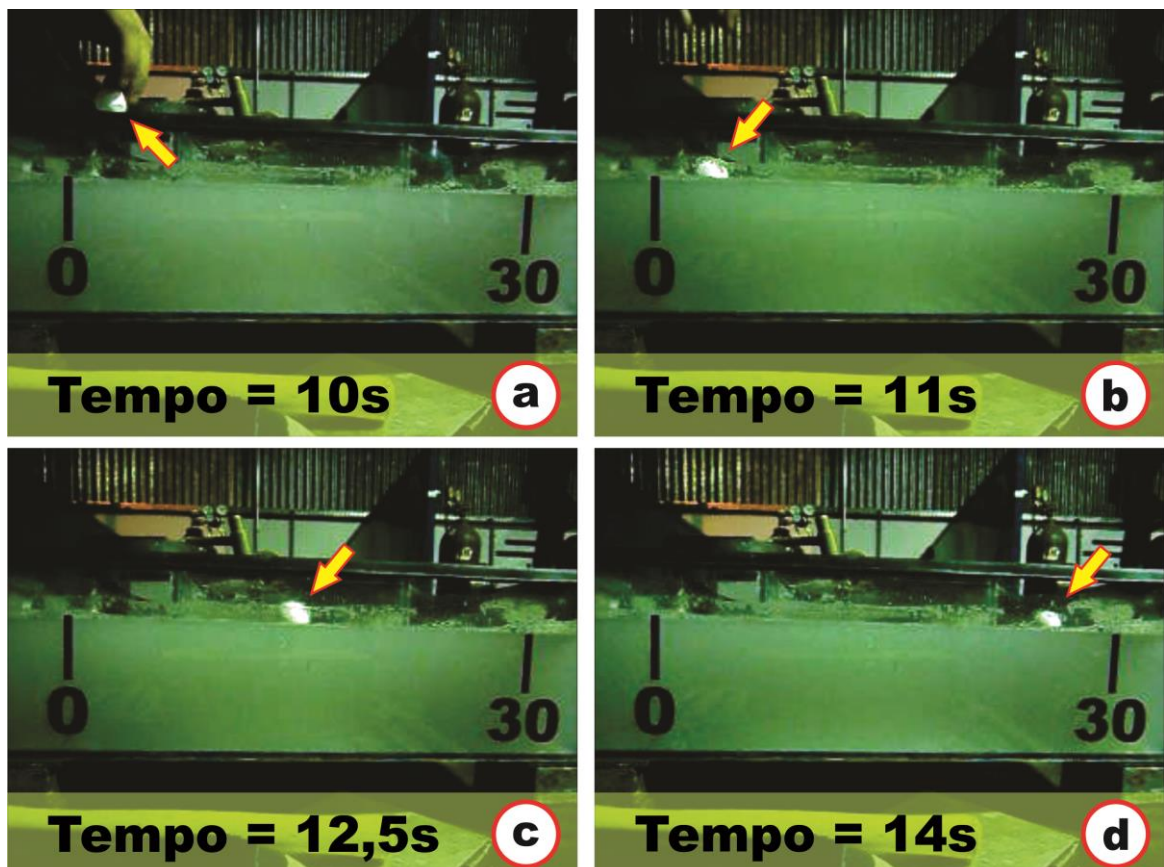
Após ter sido instalado o sistema gerador de energia para colocar em funcionamento o propulsor, aparelho de solda TIG, nos terminais da placa de alumínio e configurado para corrente contínua para servir como fonte de energia os testes de medição foram iniciados. Foi estipulado para servir como padrão, um tempo de

iniciação de medições de 10 segundos, desde o início do fluxo até uma certa estabilização desse fluxo, pois com essa metodologia, seria possível encontrar a velocidade do fluido nos diferentes parâmetros testados.

Para efetuar os testes, foi necessário adicionar um material junto a água para ser possível uma melhor visualização do fluxo, e foi escolhido bolinhas de isopor pois é um material bem leve e pode acompanhar o fluxo com o mínimo de resistência possível.

Com o auxílio de um cronômetro, os testes de medição foram iniciados, uma bolinha de isopor foi largada na água, na altura do ponto zero, indicada na marcação do dispositivo e junto foi acionado a cronometragem do tempo. Quando a bolinha de isopor passava pelo ponto 30 (30cm), o cronômetro era desligado assim com este resultado, foi coletado o tempo em que a bolinha percorria do ponto inicial até o ponto final de medição. A Figura 9 mostra em fotos um dos testes para mostrar a maneira como prosseguiu os ensaios.

Figura 9 – (a) Início do experimento. (b) Corpo de prova no início do percurso de medição. (c) Corpo de prova na metade do percurso de medição. (d) Corpo de prova no final do percurso de medição.



4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios com o dispositivo funcionaram de forma satisfatória, o fluido percorreu toda a canaleta da caixa de vidro demonstrando o fluxo do fluido sem apresentar problemas de funcionamento ou de comprometer algum dos componentes do sistema.

Nos ensaios realizados com o propulsor e feito a coleta de dados para análise do experimento, foi possível então fazer a análise destes dados para descrever em números como seguiu os testes.

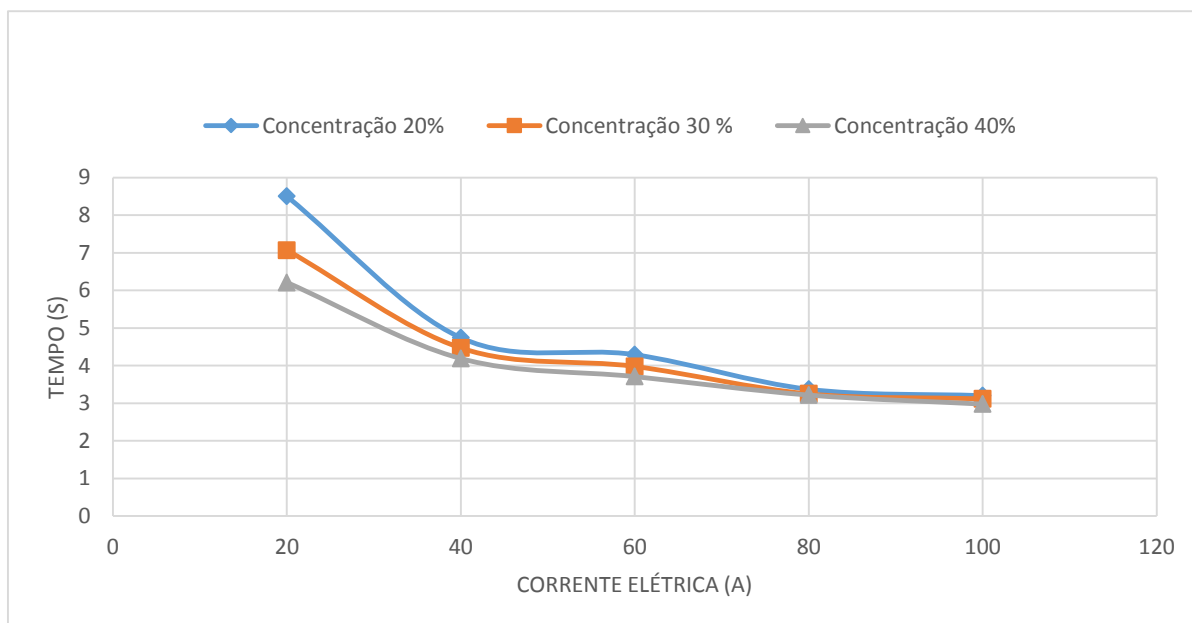
A tabela 1 apresenta os resultados das medições. Observa-se que aumentando a corrente, diminui-se o tempo em que o corpo de prova percorre o percurso de medição e aumentando também a concentração de NaCl na água, ocorre outra diminuição no tempo que o corpo de prova leva para percorrer o mesmo percurso.

Tabela 1 – Resultado das Medições

Intensidade de Corrente Elétrica (A)	Concentração NaCl (%)	Tempo (s)
20	20	8,50
20	30	7,07
20	40	6,21
40	20	4,74
40	30	4,47
40	40	4,19
60	20	4,29
60	30	3,98
60	40	3,71
80	20	3,37
80	30	3,25
80	40	3,22
100	20	3,20
100	30	3,12
100	40	2,98

A Figura 10 mostra em forma de gráfico, os resultados obtidos e registrados na Tabela 1, fazendo uma relação entre as variáveis, concentração de NaCl e corrente elétrica em função do tempo que o corpo de prova utilizou para percorrer o percurso de medição.

Figura 10 – Gráfico do tempo de percurso do corpo de prova



Analisando a Tabela 1 e a Figura 12, foi possível chegar as seguintes conclusões.

- Ao aumentar a concentração de NaCl na água, o fluido tende a ficar mais denso e também torna-se um fluido com maior condutividade elétrica. Nos resultados obtidos, o fluido com uma quantidade menor de NaCl, 20%, teve um desempenho menor na condutividade elétrica do sistema se comparado as concentrações de 30% e 40% de NaCl no fluido.
- A corrente elétrica, quando aumentada, resultou em um maior desempenho para o fluxo do fluido, pois como aparece nos resultados obtidos, com corrente de 20A, o tempo em que o corpo de prova precisa para percorrer o local de medição é muito maior se comparando quando for utilizado a corrente de 40A, 60A, 80A e 100A.
- Foi constatado que acima de 80A, a concentração de soluto já não é significativa no sistema, pois houve apenas pequenas variações de tempo acima disso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propulsor magnetohidrodinâmico foi projetado e construído de acordo com os princípios da magnetohidrodinâmica, tais como, corrente elétrica, campo elétrico, campo magnético, fluídos com grandes propriedades de condutividade elétrica e Força de Lorentz. O estudo deste sistema foi um desafio bem interessante pois a interação dos campos elétricos com os campos magnéticos, utilizando um fluido condutor é um assunto muito interessante e que ainda não foram feitos grandes estudos sobre a empregabilidade desse tipo de sistema propulsor. Atualmente existe pouco material específico na área de magnetohidrodinâmica, e o material mais encontrado nesse estudo são os artigos.

Um sistema propulsor magnetohidrodinâmico traz vantagens por não possuir peças móveis em seu sistema reduzindo o tempo e custo de manutenção, mas também possui desvantagens como as limitações de uso de baterias que ainda não possuem um desempenho satisfatório em questão de tempo e quantidade de cargas armazenadas.

A elaboração desse propulsor magnetohidrodinâmico serve para mostrar que realmente o sistema funciona e que a medida em que estudos forem bem mais aprofundados, pode-se conseguir cada vez mais resultados melhores com esse sistema.

Os resultados alcançados e registrados nesse trabalho são de grande importância pois houve a constatação do funcionamento do sistema MHD e o comportamento do sistema alterando parâmetros como campo elétrico e concentração de NaCl no fluido.

Outro objetivo também alcançado, foi a construção do dispositivo, assim podendo fazer os testes e ensaios de funcionamento e acompanhar o comportamento do sistema, além de fazer um dispositivo que pode ser utilizado como uma bancada didática, onde futuros estudos podem serem feitos, como o estudo do que pode ocorrer com o sistema quando é feita a troca da água + NaCl como fluido por outro tipo de solução, ou o que ocorre quando varia o campo magnético trocando o sistema de ímãs por outro tipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, L. P. **Estudo do efeito magnetohidrodinâmico em um eletrólito a partir do uso de um dispositivo ejetor eletromagnético**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 (NB 66): **Informação e documentação**: referências de elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

CEPA. **Mecanismo da condução pelos eletrólitos**. Disponível em: <http://cepa.if.usp.br/e-fisica/eletricidade/basico/cap10/cap10_04.php>. Acesso em: 11 Out. 2014.

HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER J. **Fundamentos de física. Eletromagnetismo Vol.3**. Rio de Janeiro, LTC, 2012.

HIDALGO, C. R. **El Propulsor Magnetohidrodinámico, La superconductividad va hacia el mar**. Artigo. Escuela Superior Politecnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad Y Computación, Guayaquil. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/244802469/El-Propulsor-Magnetohidrodinamico1>>. Acesso em: 11 Out. 2014.

KÍTOR G. L. **Força de Lorentz**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/forca-de-lorentz/>>. Acesso em: 11 Out. 2014.

MATERIAIS MAGNÉTICOS. Documento. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABKdwAF/materiais-magneticos>>. Acesso em: 10 Out. 2014.

ONOHARA A. **Gerador Elétrico Magnetohidrodinamico**. Disponível em: <<http://fisicoandersononohara.blogspot.com.br/2011/11/gerador-eletrico-magnetohydrodynamic.html>>. Acesso em: 11 Out. 2014.

RAMOS, R. **Corrente Elétrica**. Disponível em: <<http://fisicaprofronaldoramos.blogspot.com.br/2012/08/corrente-eletrica.html>>. Acesso em: 11 Out. 2014.

SILVA, Edna L. MENEZES, Ester M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. 3. ed. 2001. 118 p. Disponível em <[http://WWW.ppgep.ufsc.br/legislação e estrutura anterior/metodologia](http://WWW.ppgep.ufsc.br/legisla%C3%A7%C3%A3o_e_estrutura_anterior/metodologia)>. Acesso em: 10 mar. 2004.

SILVA J. F. **Eletromagnetismo: Öersted, Faraday e o motor elétrico – 1**. Disponível em: < <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/eletromagnetismo-2-oersted-faraday-e-o-motor-eletrico---1.htm>> Acesso em: 10 Out. 2014.

WIKIPÉDIA. **PROPULSÃO MAGNETOIDRODINÂMICA**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Propuls%C3%A3o_magnetoidrodin%C3%A2mica>. Acesso em 11 Out. 2014.

WIKIPÉDIA. **Propriedades físico-químicas da água**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Propriedades_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmicas_da_%C3%A1gua>. Acesso em 11 Out. 2014.