

AVALIAÇÃO DOS IMPLEMENTOS DE DRONES USADOS NAS ATIVIDADES DOS SALVA-VIDAS

Bruno Cittadin dos Santos¹

Elvys Isaias Mercado Curi²

Resumo: Os *drones* estão sendo utilizados em diferentes atividades produtivas, uma das atividades mais novas é o resgate de pessoas em risco de afogamento nas praias. Nas aplicações atuais, os *drones* salva-vidas levam a boia para a vítima que está se afogando através de um mecanismo localizado a baixo do equipamento, o mesmo lança a boia, que infla em contato com a água, perto da pessoa, tornando impreciso o controle de entrega. Os Bombeiros Militares de Santa Catarina desenvolveram um método de entrega mais eficaz, em que a boia somente se desprende do *drone* no momento que for puxada. Para implementar o método de entrega mais eficaz, se teve que resolver diferentes problemas, desde a seleção apropriada de materiais, até mecanismos mais eficientes que não comprometam a segurança da pessoa em auxílio, nem ao equipamento utilizado. O objetivo desta pesquisa é avaliar as características mecânicas dos mecanismos utilizados no *drone* salva-vidas assim como materiais alternativos. A importância é para conhecer as capacidades e limitações de cada implemento utilizado, estabelecendo-se maior confiabilidade ao projeto. Foram comparados quatro materiais para utilizar no suporte que é fixo no trem de pouso e que funciona como fusível, para determinação de suas características mecânicas, foi realizado o ensaio de flexão, de acordo com a norma EN 310:1993. Relacionando as boias, foi executado o ensaio de empuxo, para determinar suas capacidades de flutuação, comparando-se dois tipos de matérias. Além do mais, determinou-se a capacidade de carga que o *drone* pode transportar, mostrando as limitações entre cada modelo. Foi determinado o acrílico branco como material mais indicado para usar como suporte, quebrando facilmente, e a boia de poliestireno teve um melhor desempenho de flutuação.

Palavras-chave: Caracterização mecânica. *Drone*. *Salva-vidas*.

1. INTRODUÇÃO

O projeto dos *drones* iniciou com objetivos militares, mas no transcorrer do tempo, seu uso se estendeu a diferentes áreas das atividades produtivas e de serviço da sociedade. Algumas áreas de aplicações são: captação de imagens aéreas, topografia, agricultura, produções cinematográficas entre outras. Sua rápida expansão, como instrumento em algumas atividades, exigiu o melhoramento do *drone* e/ou a incorporação de dispositivos que complementem ao veículo portátil.

¹ Bruno Cittadin dos Santos. E-mail: brunocittadin18@gmail.com

² Prof. Elvys Isaias Mecado Curi. E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

Dentre as incumbências realizadas com o *drone* há uma atividade que se destaca pelos resultados de rápida ajuda de socorro humanitário: o uso dos *drones* nos salvamentos de afogamento nas praias. O equipamento consiste basicamente no *drone*, pilotado a controle remoto pelos profissionais salva-vidas, uma câmera de vídeo, uma boia e o mecanismo que suporta a boia carregada pelo *drone*. A atividade consiste em levar uma boia circular inflável até a vítima, pilotado com o auxílio de uma câmera. O *drone* utiliza um mecanismo que mantém a boia presa o qual é liberado na proximidade da vítima. A boia salva-vidas é lançada para que a pessoa se segure e fique flutuando até a chegada do resgate. Para reduzir o peso e volume da boia salva-vidas, utilizam-se boias que contêm um pó químico, este reage ao entrar em contato com a água e infla à boia.

Esse processo acaba não sendo totalmente confiável na atividade, pois algumas vezes a boia se afasta durante o processo de expansão e acaba ficando longe da vítima. Isso também ocorre porque ela é jogada de uma certa altura, deixando a queda vulnerável para rajadas de vento ou outras influências da natureza. Outro ponto é que as boias que inflam com pó químico são descartáveis, sendo possíveis de usar apenas em um salvamento, elevando o custo da atividade.

Nas atividades de socorro o tempo de resposta é uma das maiores considerações quando se trata de uma emergência, principalmente em situação de afogamento. O uso de uma aeronave não tripulável possibilita o encontro de um objeto com a vítima que possa mantê-la boiando até os socorristas chegarem no local, executando em um menor tempo o primeiro socorro.

Para garantir uma ação de resgate eficaz, o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina desenvolveu implementos, com diretriz de precisão no momento que o objeto flutuador for entregue a vítima, evitando possíveis falhas no resgate.

Portanto, é necessário validar os implementos que complementam ao *drone* nas atividades dos salva-vidas. Ressaltando em caracterizar o desempenho mecânico dos materiais usados no suporte da boia, selecionar os mesmos, avaliar suas composições, vantagens e desvantagens. Também foram testados diferentes materiais usados nas boias, avaliando a relação peso, volume e capacidade de flutuação em relação ao suportar pessoas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Organização Mundial da Saúde OMS, no ano 2015, mostrou que o índice de mortes no Brasil por afogamento foi de 2,7 pessoas a cada 100.000 habitantes. Comparado com alguns países de América, este índice é maior que dos Estados Unidos de 1,5; México de 2,1 e Colômbia de 2,4. Na comparação por dia de óbitos por afogamento, enquanto que nos Estados Unidos são 10, no Brasil são 16 BEALE-TAWFEEQ (2019).

Segundo o boletim da Sociedade Brasileira de Salvamento Aquático – SOBRASA (2019), no Brasil 15% dos afogamentos ocorrem nas praias, estimando-se 853 vítimas por ano, dos quais 3% são turistas, mesmo com aproximadamente 13.000 guarda-vidas trabalhando nas praias durante o verão. Os custos econômicos destas atividades na praia são altos. Estimativas nos EUA e no Brasil mostram custos anuais de 273 e 228 milhões de dólares com prevenção em afogamentos somente em praias.

Barghamadi (2018) analisa diferentes dispositivos para evitar riscos de afogamento, tanto nas piscinas como nas praias e classifica-os em: sistema de entrega de salva-vidas por *drones*, pulseira salva-vidas com gerador de gás e dispositivo de flutuação pessoal integrado no vestuário. No caso das pulseiras e flutuadores, as pessoas teriam que portar estes antes de entrar em um ambiente aquático, desta maneira o *drone* é um dos dispositivos mais eficazes de resgate para vítimas em afogamento.

O *drone* (*Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment*) é um dos mais populares e conhecidos tipos de Veículo Aéreo Não tripulados (*VANT*). Sua versatilidade e facilidade de navegação, alinhados ao seu baixo custo de construção e manutenção, tem alavancado sua utilização que vão desde brinquedos até soluções profissionais: monitorar plantações, rastrear rebanhos, monitorar trânsito em grandes centros urbanos, realizar operações de salvamento e resgate de vítimas (Makarov *et al.*, 2015). Em sua história evolutiva, os *drones* atravessaram ciclos de intensas modificações seguido de sucesso e falhas. Acredita-se que esses ciclos tenham acabados e os *drones* chegaram para se estabelecer, tanto na aviação civil como na aviação militar (MONTEIRO, 2016).

Para Yeong (2015) a vantagem de usar *drones* nas atividades de resgate é a velocidade de resposta a um pedido de auxílio. Com um *drone* de 8 hélices,

operado remotamente, se consegue entregar um anel salva-vidas, a uma distância de 75 m, em apenas 22 s. Enquanto que, o salva-vidas levaria 90 segundos para alcançar à pessoa. Nos equipamentos é importante uma câmera para localizar a posição da vítima e liberar o dispositivo flutuante de emergência no lugar certo.

2.1 TIPOS DE DRONES

Existem basicamente dois tipos de *drones*, os de asas fixas e os de asas rotativas. Os de asas rotativas são mais apropriados para voos lentos e com manobras, já o de asas fixas para voos em velocidades (ADDATI, 2014).

Para definição do tipo *drone*, há características que devem ser avaliadas: autonomia, tamanho, peso e a fonte de energia (VERGOUW, 2016).

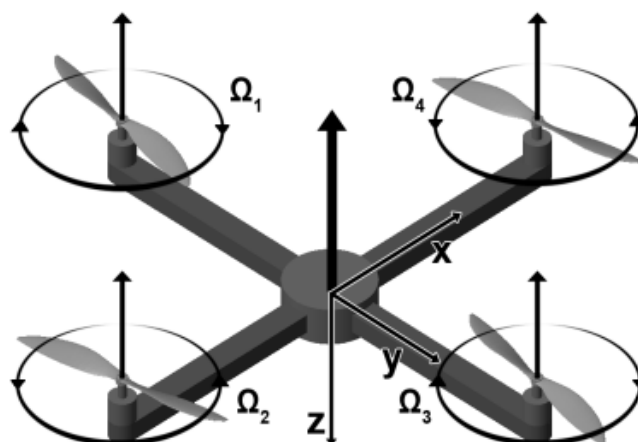
2.2 PESO DE CARGA DOS DRONES

Segundo Berté et al. (2015) a carga bruta de um *drone* é um ponto muito crítico em um projeto, pois é preciso pensar em todo o conjunto necessário para o voo e também na carga útil, que é aquela que sobra depois de calcular o peso total dos componentes indispensáveis.

Conforme Berté et al. (2015), para calcular o peso máximo bruto é levado em consideração as especificações do motor do *drone*, para ter o valor da força em Newton que cada motor entrega, tendo assim a massa que cada motor concedera. Após calcular a força de empuxo total é preciso somar o peso de todos os componentes para saber se estão de acordo com a força de conjunto.

O *drone* se movimenta verticalmente devido a força de empuxo aplicada em cada rotor, de forma que cada uma destas forças contribui para uma força resultante orientada verticalmente para cima e situada no centro de gravidade. Esta força de empuxo é gerada pela rotação das pás do motor e sua intensidade varia aumentando ou diminuindo a velocidade de rotação. Esse movimento é exemplificado pela Fig. 1 (DIAS, 2017).

Figura 1: Movimento dos multirotores.



Fonte: Dias (2017).

No modelo de coordenadas X , Y e Z , são descritas as manobras de rotação do veículo em torno desses eixos. De maneira geral, as manobras são geradas pela variação na rotação dos motores ou pelo controle da velocidade angular (Ω) das hélices. Com isso, criam-se forças resultantes que farão com que o *drone* entre em movimento (DIAS, 2017).

2.3 MÉTODOS DE ENSAIOS

Com o intuito de determinar as propriedades mecânicas dos materiais presente no projeto, foram realizados ensaios de flexão, flutuação e força de tração sobre o imã, seguindo a norma EN 310:1993 e referências revisadas.

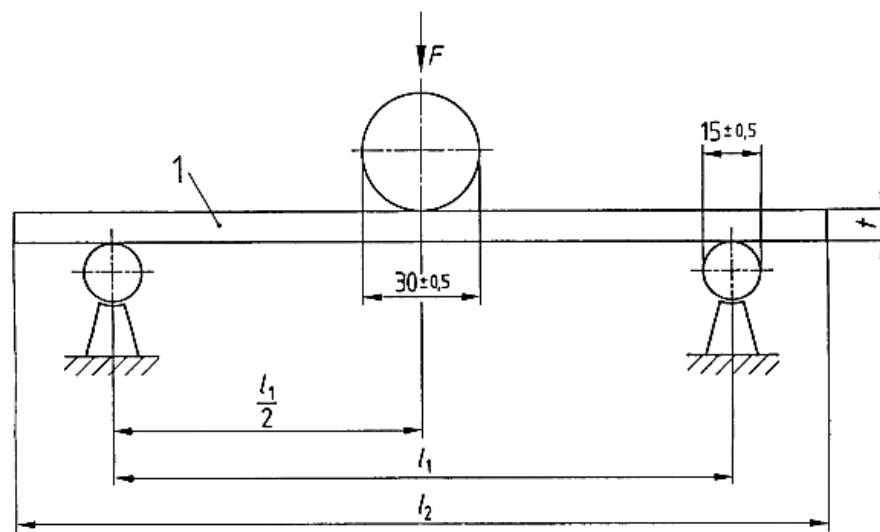
2.3.1 Ensaio de Flexão

A norma europeia EN 310:1993 especifica um método para determinar o aparente módulo de elasticidade em resistência à flexão de painéis à base de madeira de espessura nominal igual ou superior a 3 mm. Visto que essa norma seja aplicável também para peças de *MDF* e acrílico, pois o método é o mesmo.

De acordo com a norma EN 310:1993 o aparelho de teste deve seguir as disposições da peça conforme a Fig. 2. Em seguida medir a largura e a espessura de

cada corpo de prova, tendo os valores, ajustar a distância entre os centros do suporte, sendo 20 vezes o valor nominal da espessura do corpo de prova. A peça de teste tem que estar plana nos suportes, com o eixo longitudinal em ângulo reto com os do suporte. A carga deve ser aplicada a uma taxa constante de movimento da cabeça cruzada durante o teste. A taxa de carregamento deve ser ajustada de modo a que o máximo a carga é atingida dentro de (60 ± 30) s;

Figura 2: Disposição da peça para o ensaio de flexão.



Fonte: Adaptado de Norma EM-310 1993 (1993, p. 4)

De acordo com a norma EN 310:1993 o módulo de elasticidade E , de cada corpo de prova, é calculado a partir da Eq. 1, e a tensão a flexão σ_m , é calculada a partir da Eq. 2.

$$E = \frac{l_1^3 \alpha}{4bt^3} \quad (1)$$

$$\sigma_m = \frac{3F_{max} l_1}{2bt^2} \quad (2)$$

Onde:

l_1 = Distância entre os centros dos suportes [mm];

b = Largura do corpo de prova [mm];

t = Espessura do corpo de prova [mm];

α = Coeficiente angular da reta tangente à curva do gráfico força x deformação;

F_{max} = Carga máxima [N].

2.3.2 Princípio de Arquimedes e Flutuação

O princípio de Arquimedes diz que quando um corpo está imerso completamente ou parte dele num líquido em repouso, ele sofre um empuxo para cima, igual ao peso do líquido deslocado. Se o corpo imerso tiver densidade relativa menor do que 1,0 ele flutuará, ao contrário, se for maior que 1,0 ele afundará (CAROMANO, 2019).

No caso do corpo humano, considerando-se a densidade relativa em torno 0,95, ele flutuaria com 95 % submerso, e 5 % emerso. Se essa pequena porção exceder, a quantidade de água deslocada pelo restante do corpo será insuficiente para sustentar o peso, e a pelve e membros inferiores afundarão. Uma forma de evitar isso é o uso de boias na região da pelve ou cervical. O flutuador tem que ter a densidade bem menor que 1,0, para diminuir a densidade relativa do conjunto corpo-flutuador (CAROMANO, 2019).

Segundo Santos et al. (2007) as forças externas que atuam em um corpo são o peso do corpo P e as forças que o líquido e o ar exercem sobre a superfície do corpo, cuja resultante, E , denominada empuxo. Desta forma, obtém-se a condição de equilíbrio para a intensidade das forças Eq.3 e o cálculo de empuxo pela Eq.4.

$$P = E \quad (3)$$

$$E = \rho g V_s \quad (4)$$

Onde:

P = Peso do corpo [N];

E = Empuxo [N];

ρ = Massa específica do fluido [kg/m^3];

g = Gravidade [m/s^2];

V_s = Volume submerso no fluido [m^3].

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

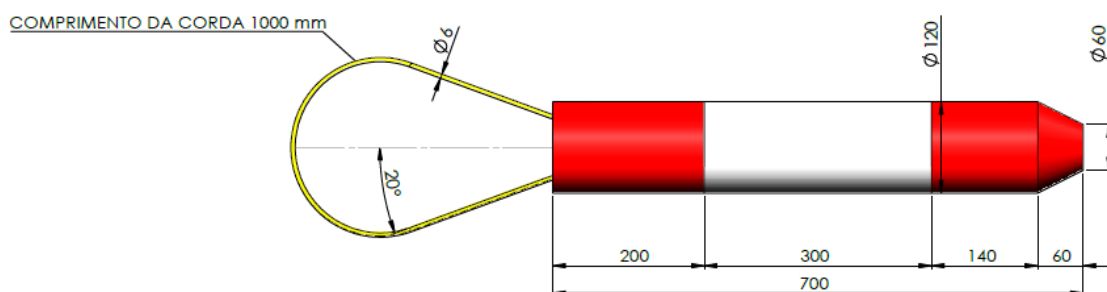
O Corpo de Bombeiros Militar de Criciúma utiliza um *drone*, modelo *Phantom 4*, com a finalidade principal de realizar transporte de cargas que sirvam de auxílio às equipes empregadas em missões de salvamento ou nos mais diversos tipos de ocorrências.

O salvamento de pessoas em risco de afogamento é realizado com o flutuador feito de poliestireno. Nas atividades de resgate o flutuador é fornecido a vítima, para aumentar a capacidade de flutuação e manter o nariz e boca fora d'água até a chegada de um socorrista (FERRO, 2019).

O flutuador possui em seu topo um reforço em acrílico, onde é realizado a fixação de um imã de neodímio em formato cilíndrico. Suas cores permitem um maior alcance visual de modo que se consegue aumentar a distância do voo (FERRO, 2019).

Na Fig.3 percebe-se os detalhes construtivos do flutuador em estudo.

Figura 3: Detalhes da boia e as dimensões do flutuador.



Fonte: FERRO (2019).

O sistema possui dispositivos de segurança para proteger o *drone* e liberar a boia. O sistema de liberação magnético, instalado em um dos extremos da boia, e o suporte que fica embaixo do *drone*, fixado no trem de pouso, esse se rompe somente nos casos onde o cabo venha a ficar preso (ex.: a vítima ao receber a boia se segurou no cabo de aço) (FERRO, 2019).

O cabo que une a boia ao *drone* possui fitas que em operação indicam a direção do vento ao piloto. Deste modo se facilita a condução e orientação ao piloto na entrega da carga. Também se utiliza um distorcedor de cabos no ponto de ancoragem junto a aeronave (FERRO, 2019).

3.1. CORPOS DE PROVA

No trem de pouso do *drone* é utilizado um suporte para fixar o cabo de aço, o qual funciona como fusível em caso de que o drone seja puxado pelo cabo. Após da entrega do flutuador pode ocorrer que o imã não solte ou que a pessoa puxe o cabo. Nestes casos, o suporte quebra, impossibilitando que o *drone* seja puxado para abaixo ou danificado. Foram escolhidos quatro tipos de materiais para testes de características mecânicas do suporte. A descrição destes corpos fusíveis são: os acrílicos branco e transparente, *MDF* (*Medium Density Fiberboard*) e o *PLA* (Poliácido Láctico), material comum utilizado nas impressoras 3D.

As peças em acrílicos e em *MDF*, foram desenhados no *software* AutoCAD® e cortados na máquina *CNC ROUTER*® corte a laser, no laboratório Pronto 3D (Faculdade SATC). A peça em *PLA* (Poliácido láctico) no *software* SolidWorks® e impresso na impressora 3D modelo *Ender 4 – Creality*®. Na Tab.1 são demonstradas e dimensões de cada suporte.

Tabela 1 – Dimensões dos corpos de provas.

Suporte	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Acrílico Branco	170	9,7	2,3
Acrílico Transparente	170	10	2,6
<i>MDF</i>	170	10	3
<i>PLA</i>	170	10	3,1

Fonte: Do autor (2020).

A boia foi fabricada a partir de um tubo fechado de poliestireno, com diâmetro de 120 mm e comprimento 700 mm, para ser mais leve que as opções que existem no mercado, facilitando assim o transporte pelo *drone*. A boia corpo de prova foi fabricada a partir das características do flutuador salva-vidas tipo Life-Belt (boia comum utilizada nas operações de afogamento pelos bombeiros militares), a qual tem uma capacidade de 120 kg.

O dispositivo magnético é formado por duas partes, uma que fica na parte superior da boia e a outra que é fixada no cabo. As duas possuem um imã de neodímio para manter a união magnética destes.

3.2. MASSA ESPECÍFICA

Para determinar a massa específica dos materiais utilizados no fusível e do material da boia, inicialmente aderiu-se a norma D 792-08, que sugere medir e registrar a temperatura da água, em seguida pesar a amostra em uma balança de precisão com 3 casas decimais, para se ter a massa do corpo de prova. As amostragens utilizadas para determinação devem ter tamanho e forma adequados para o aparelho de teste, o seu volume não pode ser inferior a 1 cm³ e a sua superfície e bordas devem ser lisas. A espessura da amostra deve ser de pelo menos 1 mm para cada 1 g de peso.

Posteriormente foram seguidas orientações da norma NBR 6474, a qual, após a determinação da massa, encontra-se o volume do corpo de prova pelo deslocamento de água destilada provocado pela imersão do corpo de prova em uma proveta graduada.

Após a determinação das variáveis, pode-se calcular a massa específica absoluta ρ utilizando a Eq. 5.

$$\rho = \frac{M}{V_f - V_i} \quad (5)$$

Sendo:

M = Massa do corpo de prova [g];

V_i = Volume inicial [cm³];

V_f = Volume final [cm³].

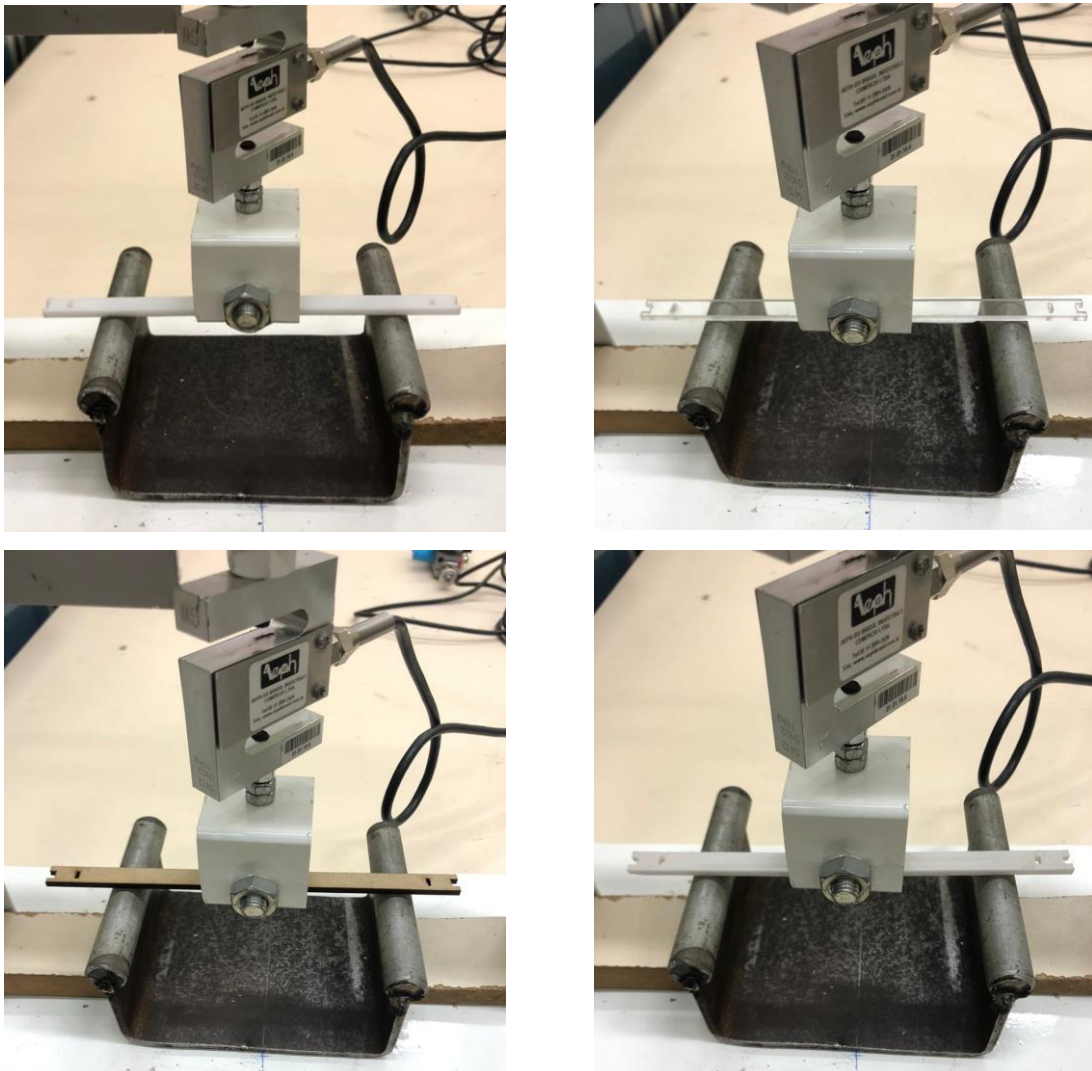
3.3. ENSAIOS DE FLEXÃO

Os ensaios de flexão foram realizados no Laboratório de Vibrações e Tribologia (LAVITRI - SATC). A máquina se enquadra na norma EM 310:1993, e mede a força de flexão em peças pequenas por ter uma alta sensibilidade. Para medida da força foi utilizada uma célula de carga com capacidade de 10 kg, marca *AEPH*®, modelo TSD e sensibilidade 2,000 mV/V. Os dados de deslocamento são coletados por uma régua potenciométrica, marca *GEFRAN*®, modelo LT-M-0200-S.

Conforme a norma EN 310:1993, os corpos de provas foram submetidos ao ensaio de flexão em três pontos diferentes da máquina, com um espaçamento entre os centros dos apoios de 20 vezes o valor nominal da espessura do corpo de prova, respeitado as medidas conforme a Fig.2.

Os ensaios foram realizados para obter as características de propriedade mecânicas de cada material, como o gráfico tensão x deformação e o módulos de elasticidade. Na Fig. 4 é apresentado o exemplo do ensaio de flexão para cada material estudado.

Figura 4: Ensaio de flexão nos corpos de provas (a) Acrílico branco, (b) Acrílico transparente, (c) *MDF*, (d) *PLA*.



Fonte: Do autor (2020)

Os dados extraídos do ensaio de flexão foram: o deslocamento sofrido pelo corpo de prova e a força que o corpo de prova em função do tempo até quebrar. O processamento de dados de carga e deslocamento para obter tensão deformação foi realizado no software de Excel®, relacionado suas medidas em função do tempo.

A norma ASTM D790 especifica que para se determinar a deformação ε_f do material deve-se aplicar a seguinte equação:

$$\varepsilon_f = \frac{6d \cdot t}{l_1^2} \quad (6)$$

Onde

d = deslocamento medido [mm];

l_1 = Distância entre os centros dos suportes [mm];

t = Espessura do corpo de prova [mm];

3.4. FLUTUAÇÃO DA BOIA

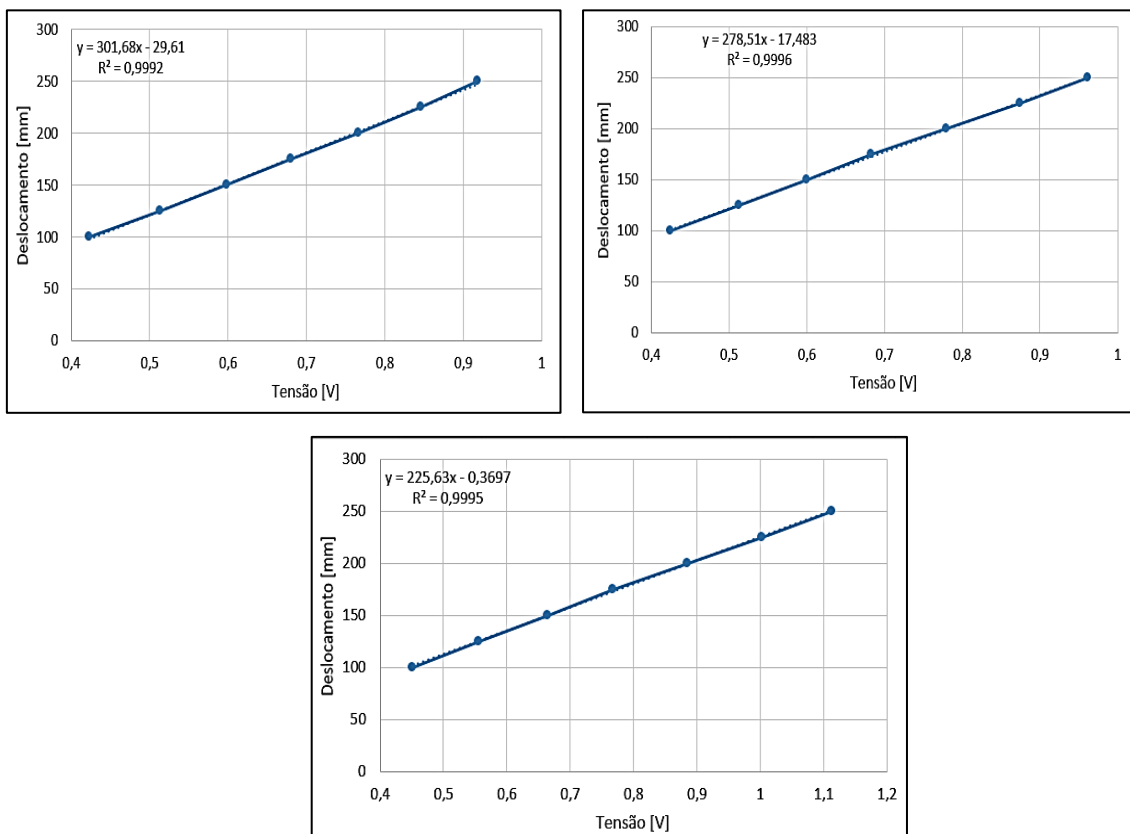
O estudo para determinar a carga de flutuação das boias, foram executados em uma bancada de ensaio, como se mostra na Fig. 6 (b). A bancada consistia basicamente em um recipiente de vidro com um volume inicial de água. O volume submerso foi determinando monitorando o nível de altura da água e do corpo de prova em submersão, por meio de sensores de distância, instalados na parte superior da bancada. Nos ensaios foram comparados o material do cilindro de poliestireno de 118 mm de diâmetro e 310 mm de comprimento, com o flutuador espaguete, que é fabricado em polietileno, de 60 mm de diâmetro e de 330 mm de comprimento.

Para medir o deslocamento, durante os ensaios de flutuação com diferentes pesos, foram utilizados três sensores infravermelhos analógicos, marca SHARP®, modelo GP2Y0A02YK0F, cuja tensão máxima é de 5,5 V.

Antes da execução do experimento foi realizado a calibração dos sensores, determinado o fator conversão de tensão para deslocamento, com o auxílio de um paquímetro analógico digital, de 0,1 mm de resolução, e uma peça de aço. Nos testes o sensor permaneceu fixo e a peça foi deslocada a cada 25 mm e suas tensões elétrica foram coletadas, dentro de uma faixa de medição de 100 mm até 250 mm.

Logo, registrou-se os dados de tensão x deslocamento, sendo possível ajustar a curva de tensão elétrica em volt x deslocamento em milímetro, fornecendo uma equação de 1º grau. As equações da reta dos três sensores são representadas na Fig.5, sendo que os mesmos Fig.5 (a), 2 Fig.5 (b) e 3 Fig.5 (c) apresentam respectivamente um fator de 301,68, 278,51 e 252,63, e uma correlação de 99,92, 99,96 e 99,95.

Figura 5: Curva tensão elétrica x deslocamento sensor (a) 1, (b) 2, (c) 3.



Fonte: Do autor (2020)

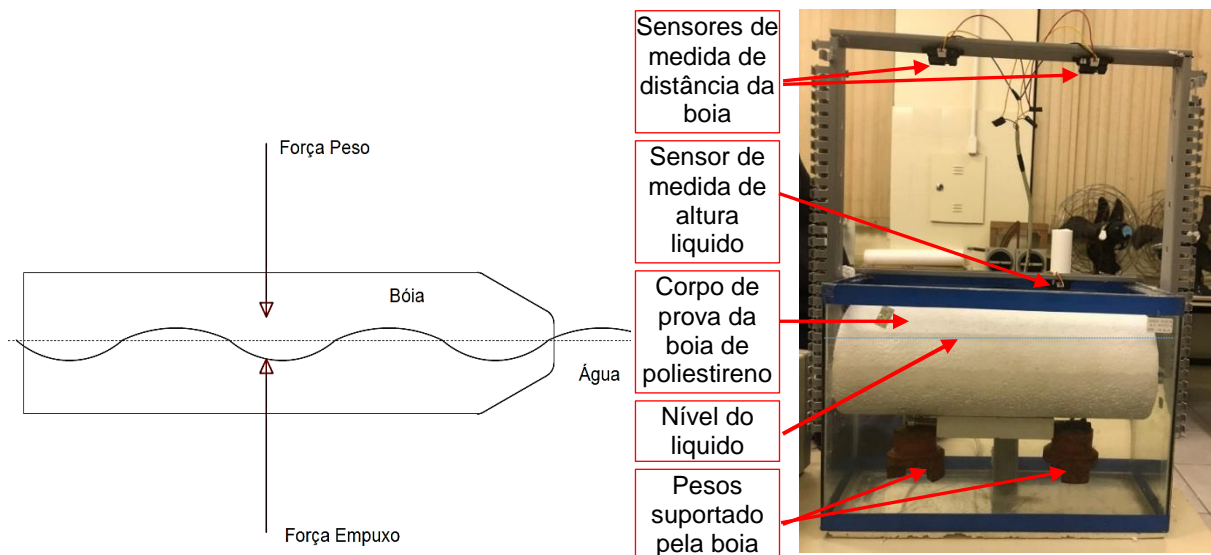
Segundo Albertazzi (2008) a calibração consiste com que um sistema de medição seja submetido a valores conhecidos do mensurando para avaliar a sua resposta. Assim sendo, os valores de deslocamento da boia (sensores 1 e 2) e do nível de água (sensor 3) puderam ser medidos.

Consequente, gradativamente foi aplicado uma massa conhecida em cada corpo de prova, até afundar. Mediante a isso, foi coletado a variação na altura da água e do flutuador, criando uma correlação entre massa e deslocamento. Consequentemente, tendo-se a altura de deslocamento e as dimensões do recipiente, foi possível obter o volume deslocado.

Segundo De Jesus et al. (2008), a densidade da água a 20 C° é de 998,2 kg/m³, com esse dado foi possível encontrar a massa deslocada a partir da Eq. 4, já tendo o volume deslocado. Portanto, com os resultados foi possível calcular o efeito do empuxo sobre os implementos, obtendo suas forças de flutuação.

A flutuação é a força experimentada pelo empuxo, atua em sentido oposta à força da gravidade, Fig. 6 (a). Desta forma, um corpo na água é submetido a duas forças que atuam em oposição, as forças de gravidade e de flutuação. Quando o peso do corpo flutuante se iguala ao peso do líquido deslocado, os centros de gravidade estão na mesma linha vertical, o corpo é mantido em equilíbrio (CAROMANO, 2019).

Figura 6: (a) forças atuantes na boia, (b) experimento.



Fonte: Do autor (2020)

3.5. CARGA DE VOO COM O *DRONE*

Foi comparado a capacidade do voo de dois tipos de *drones*, o modelo *PHANTON 4 DJI®* e o *SYMA® X5C*. Considerou-se todo o sistema de transporte da boia como a carga.

O princípio de voo de qualquer *drone* é baseado na diferença de pressão nas hélices, que com o aumento de sua velocidade angular gera uma força chamada de empuxo. O somatório dos empuxos oriundo de cada conjunto (motor e hélice) precisa ser maior que a força peso do *drone*, e assim realiza-se o voo (DIAS, 2017).

Sendo assim, se obtém a o peso P que o *drone* suporta utilizando a Eq. 7, considerando um *drone* de 4 motores.

$$E1 + E2 + E3 + E4 \geq P \tag{7}$$

Sendo:

E = Força empuxo [N];

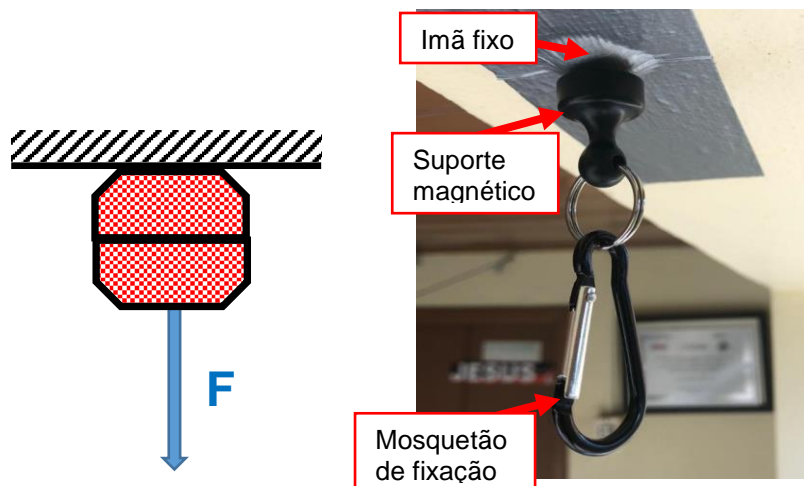
P = Peso máximo que o drone carga [N].

3.6. FORÇA PESO SOBRE DOIS IMÃS

Segundo Assis (2016) para realizar os ensaios da força que une a dois ímãs pelos lados opostos, é necessário que um lado fique fixo e o outro estaria submetido a cargas variáveis. Por tanto se deveria instalar um medidor de força para avaliar a força necessária para puxar o ímã de neodímio como se mostra no exemplo da Fig. 7 (a). Os valores são a média para as amostras de cada ímã de neodímio.

Para obter a força máxima dos imas se implementou um ensaio com base na referência citada. Para os ensaios foram preparados pequenos sacos de massa de areias. Foi controlado seu peso por meio de uma balança eletrônica de 3 casas decimais, conseguinte os sacos foram colocados de maneira gradativa em um cesto fixo no ímã até ocorrer a separação dos dois ímãs que estavam unidos. A Fig.7 (b) ilustra o processo de medida da força máxima dos ímãs em estudo.

Figura 7: Representação do ensaio (a) ilustrativo, (b) real.



Fonte: Do autor (2020)

Relacionando com a lei da gravidade, se um corpo de massa m , sofre a aceleração da gravidade, quando aplicada a ele o princípio fundamental da dinâmica, pode-se chamar de força peso P , e expresso pela Eq. 8 (VEIGA, 2015).

$$P = mg \quad (8)$$

Sendo:

m = Massa do corpo [kg];

g = Aceleração da gravidade [m/s²];

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados têm como finalidade determinar dados da massa específica, limite de resistência à flexão, módulo de elasticidade e forças de empuxo e força magnética.

4.1. MASSA ESPECÍFICA

Uma das principais características mecânicas do material a ser levada em consideração é a massa específica, a partir da mesma é possível entender alguns comportamentos dos materiais.

Os dados da massa específica dos materiais em estudos foram obtidos através da Eq. 5 e estão demonstrados nas Tab. 2 e Tab. 3. Para medir a densidade dos corpos de provas do suporte foi utilizado um objeto graduado, que mede o volume deslocado em ml. Já a densidade da boia foi medida em um recipiente maior, onde o deslocamento do volume foi coletado por sensores.

Tabela 2 – Massa específica dos materiais do suporte.

Corpo de prova	Massa (g)	V _i - V _f (cm ³)	ρ (g/cm ³)
Acrílico Branco	1,990	1,500	1,327
Acrílico Transparente	1,858	1,500	1,239
MDF	1,530	2,000	0,765
PLA	1,958	1,000	1,958

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 3 – Massa específica das boias.

Corpo de prova	Massa (g)	$V_i - V_f$ (cm ³)	ρ (g/cm ³)
Boia poliestireno	54,000	1686,650	0,032
Boia polietileno	17,880	683,768	0,026

Fonte: Do autor (2020).

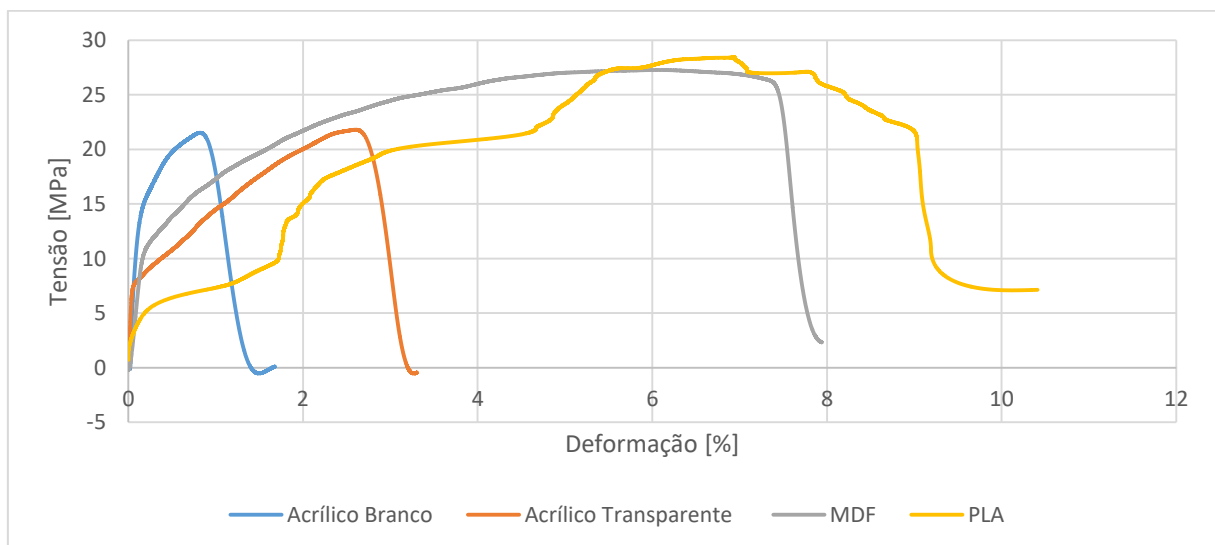
Com os dados de massa específica percebe-se que as duas boias não afundam, devido a seus valores serem inferiores a densidade da água. Segundo Caromano (2019), se o corpo imerso tiver massa específica relativa menor que 1,0 g/cm³, ele flutuará.

4.2. ENSAIO DE FLEXÃO

No sentido de confrontar as características mecânicas de diferentes materiais para utilizar no suporte, foi elaborado os ensaios de resistência a flexão.

A partir dos dados experimentados construiu-se o gráfico de força resistente a flexão x deformação, dos corpos de prova avaliados, os quais foram comparados conforme apresentado na Fig. 8. Aplicando a Eq. 1 calculou-se o módulo de elasticidade, considerando somente a curva da região elástica no material, e com a Eq. 2 e Eq. 6 se obteve a curva tensão x deformação.

Figura 8: Comparação dos ensaios de flexão.



Fonte: Do autor (2020).

Nos ensaios é evidente a diferença para cada tipo de material, já que foram comparados 3 materiais da família de polímeros e um de compósito da madeira.

Inicialmente, caracterizando os materiais polímeros, percebe-se que os dois tipos de acrílicos possuem semelhanças próximas em suas propriedades, porém com regime elástico diferentes, demonstrando que o acrílico branco possui uma resiliência boa e com uma deformação plástica menor. Os mesmos apresentaram uma deformação de aproximadamente 4 % a menos que o restante, e suas forças de resistência atingiram cerca de 20 a 25 MPa. Essa diferença ocorre devido algumas propriedades particulares de cada polímero, conforme abordado por Bassini et al. (2002), além disso conforme expresso em seu trabalho sobre polímeros, as tensões de ruptura estão acima 20 MPa.

Em relação ao *PLA*, sua deformação atingiu 7 % até romper, bem superior aos outros polímeros. Porém, uma característica que esse material teve em particular, foi que não rompeu completamente, algumas camadas do polímero ainda ficaram unidas. Sua tensão de resistência a flexão foi de 27,5 MPa, segundo De Freitas et al (2019), estão dentro do esperado pelo material.

O *MDF* apresentou uma deformação superior a 7 %, nota-se que é uma característica desses tipos de matérias, pois em todas as peças ensaiadas apresentaram os mesmos dados. Além disso, segundo Manezzi (2011) os *MDF* apresentaram uma resistência de flexão média de 37,2 MPa. Porém, as áreas do corpo de prova não são semelhantes por consequência, essa diferença, considerando que a área está relacionada totalmente com a força envolvida.

Os valores obtidos de limite de resistência à flexão, e o módulo de elasticidade de cada ensaio para cada material podem ser vistos conforme mostra a Tab. 4.

Tabela 4 – Limite de resistência a flexão e módulo de elasticidade.

CPs	Resistencia a Flexão (MPa)	Modulo Elasticidade (GPa)
Acrílico Branco	21,27	121,54
Acrílico Transparente	21,74	168,94
MDF	27,26	67,916
PLA	27,51	16,479

Fonte: Do autor (2020).

Ao analisar a comparação dos dados de resistência a flexão de cada material, nota-se as características específicas de cada uma e com isso é possível ter uma referência de aplicação. Em que no atual projeto se deseja obter um material com uma boa resiliência e ao mesmo tempo que não se deforme muito.

4.3. CÁLCULO DO EMPUXO DA BOIA

A força de empuxo foi calculada com a Eq. 3 e Eq. 4 do conceito de Arquimedes, que fundamenta o volume submerso é proporcional ao empuxo. Por meio dos dados fornecidos de distância dos sensores, foi possível fazer uma relação de deslocamento entre a média dos sensores 1 e 2, que monitoravam dois pontos da boia, com a do sensor 3, que monitorava o nível da água, para cada massa aplicada em sua submersão. Os resultados mostram o volume deslocado da água, possibilitando o cálculo da massa específica pela Eq. 5 e o valor do peso pela Eq. 8.

Na Tab.5 e Tab.6 mostra os valores coletados nos experimentos.

Tabela 5 – Dados de ensaio da boia de poliestireno.

Massa (Kg)	ΔV_s (m³)	ΔV_a (m³)	Ps (N)	Ea (N)	Emed (N)
0,05454	0	0	0	0	0
0,34125	0,00034	0,00032	3,34916	3,16759	3,25837
0,47726	0,00043	0,00042	4,24162	4,11737	4,17950
0,67934	0,00047	0,00064	4,60826	6,29762	5,45294
1,20141	0,00072	0,00109	7,07298	10,72256	8,89777
1,68314	0,00094	0,00151	9,17873	14,83026	12,00449
1,9121	0,00106	0,00169	10,41730	16,54604	13,48167

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 6 – Dados de ensaio da boia de polietileno.

Massa (Kg)	ΔV_s (m³)	ΔV_a (m³)	Ps (N)	Ea (N)	Emed (N)
0,01788	0	0	0	0	0
0,20360	0,00065	0,00002	6,40256	0,23971	3,32114
0,41324	0,00073	0,00015	7,18116	1,45114	4,31615
0,57757	0,00086	0,00019	8,42503	1,88043	5,15273
0,69514	0,00108	0,00040	10,56442	3,87873	7,22158
0,82229	0,00116	0,00059	11,35204	5,81877	8,58540
1,01633	0,00165	0,00068	16,23504	6,70776	11,47140

Fonte: Do autor (2020).

Os dados dos ensaios foram coletados até os corpos de provas afundarem totalmente. Foi mensurado somente o efeito de empuxo sobre os implementos, portanto, suas forças de flutuação.

O resultado médio, calculado na última coluna, é uma relação de equilíbrio entre a força peso e o empuxo, onde os dados obtidos na quarta coluna é o peso aplicado na boia e a quinta coluna é o empuxo do líquido. Ou seja, uma diferença entre o empuxo (força vertical para cima) e o peso aplicado (força vertical para baixo) Fig. 6 (a), baseando-se na Eq. 3 e Eq. 4 citada por Santos et al (2007).

O valor máximo do empuxo médio da boia de poliestireno foi superior à de polietileno, porém nesse ensaio não foram usados os tamanhos reais dos implementos, devido ao recipiente ser pequeno. Decorrente a situação, foi realizando uma relação de grandeza, atingindo as forças atuantes nos tamanhos reais, demonstrados da Tab. 7.

Tabela 7 – Dados do corpo de prova real.

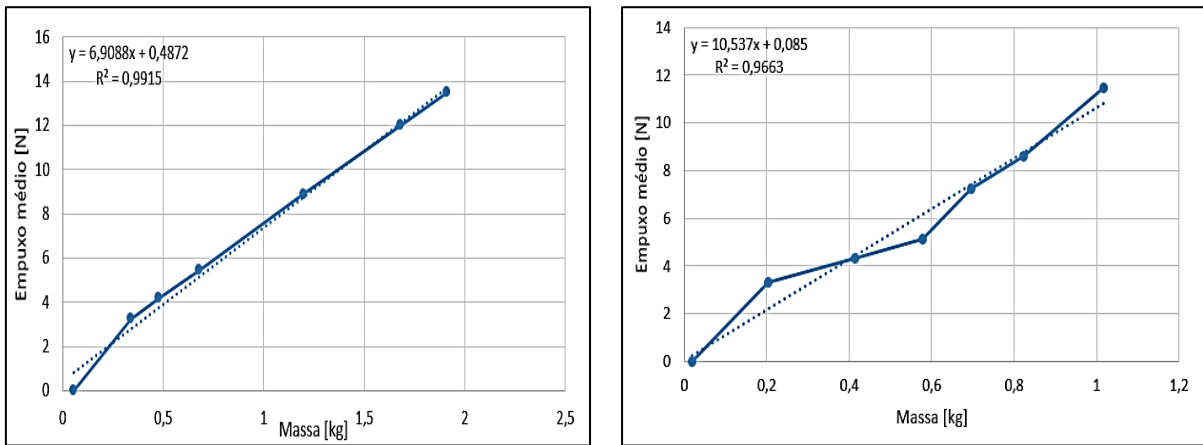
Item	Diâmetro (m)	Altura (m)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Empuxo (N)
Boia poliestireno	0,118	0,7	0,00766	4,318	30,317
Boia polietileno	0,06	1,8	0,00509	3,880	40,974

Fonte: Do autor (2020)

Trazendo para as proporções reais, compreende-se que as massas suportadas são parecidas, onde a boia de poliestireno suporta uma massa máxima de 4,318 kg e a boia de polietileno de 3,880 kg. Contudo, os valores de empuxo apresentam uma diferença significativa, de aproximadamente 10 N. Segundo Martinez (2011) isso é ocasionado devido a retenção de água no interior do material, aumentando a densidade e reduzindo a capacidade de flutuação.

Com as informações das Tab. 5 e Tab. 6 foi possível ajustar uma curva empuxo médio em newton x massa em quilograma, obtendo uma equação de 1º grau. A equação da reta é representada na Fig.9 (a) para a boia de poliestireno e na Fig.9 (b) para a boia de polietileno.

Figura 9: Curva empuxo médio x massa (a) boia de poliestireno, (b) boia de polietileno



Fonte: Do autor (2020)

O valor do desvio padrão da boia de poliestireno foi de 0,487 N, e o da boia de polietileno de 0,085 N. Essa variação é característica de cada material, de modo a afirmar a citação anterior, que varia conforme sua absorção de água.

4.4. CARGA UTIL PARA TRANSPORTE

O valor máximo da massa que um *drone* consegue carregar, foi obtido com o cálculo de empuxo através da Eq. 7. Em que conforme citado por DIAS (2017), cada motor possui um empuxo único. Esse valor multiplicado pela quantidade de motores, se obtém o valor total dessa grandeza.

Os valores demonstrados na Tab. 8, é consequência do cálculo de comparação realizado com dois tipos de *drones*. O PHANTON® 4 DJI usado pelo corpo de bombeiros e o SYMA® X5C usado por aficionados a *drones*.

Tabela 8 – Relação de empuxo entre dois *drones*.

Modelos	Empuxo do motor (kg)	Qtd. De Motores (-)	Empuxo Total (kg)	Massa do drone (kg)	Massa p/ Carga (kg)
PHANTON® 4 DJI	0,850	4	3,060	1,368	1,692
SYMA® X5C	0,032	4	0,115	0,106	0,009

Fonte: Do autor (2020).

Observa-se uma diferença da carga que pode ser carregada por cada aeronave, onde o modelo *PHANTON® 4 DJI* suporta uma massa de 1,692 kg, e o *SYMA® X5C* apenas uma carga de 0,009 kg, isso acontece principalmente por causa do conjunto motor e hélice, sendo que cada motor vem com uma especificação de hélice.

Segundo Berté et al. (2015) uma consideração a se enfatizar é que uma porcentagem de 10% do empuxo dos motores tem que estar reservada para as manobras de percurso. Desta maneira, o valor foi subtraído do empuxo total presente na Tab.3, concedendo maior segurança ao projeto. Caso não houvesse essa restrição, os valores de empuxo total dos respectivos *drones* seriam de 3,400 kg e 0,128 kg.

4.5. FORÇA PESO DO IMÃ

Os dados de força peso máxima, na união de dois ímãs de neodímio, foram obtidos com a Eq. 8, e representados na Tab.9.

Tabela 9 – Massa e força máxima.

Amostra	Massa (kg)	Força peso (N)
Ímã 1	1,222	11,988
Ímã 2	1,202	11,792
Ímã 3	1,152	11,301
Média	1,192	11,694

Fonte: Do autor (2020).

Conforme citado por Assis (2016), observa-se que os dados das amostras variam entre elas, então foram feitos o mesmo procedimento para três ímãs iguais para obter a média entre eles.

5. CONCLUSÃO

O trabalho exposto teve como escopo a determinação das características mecânicas dos implementos usados em *drone* salva-vidas, além das limitações que os aeromodelos têm ao transportar uma carga.

Os ensaios de flexão apresentaram algumas das características distintas para cada material, enfatizando o acrílico branco, que apresentou ser mais frágil, pois teve uma menor resistência a força e rompeu com uma menor deformação. O objetivo era achar um material com característica mecânica semelhante a esse resultado, pois como o suporte serve também como um fusível, ele irá quebrar mais fácil. Além disso, irá suportar a massa que o sistema da boia tem, de 250 g.

Os resultados obtidos com empuxo das boias, tiveram a diretriz de comparar o material que já é utilizada no sistema atual com uma boia comum utilizada no dia a dia nas piscinas. A repercussão foi que a boia de poliestireno teve um resultado superior a comparada, analisando que conforme o fabricante, as boias tipo espaguete são para suportar um peso de 80 kg. Desta forma, a boia utilizada no momento suporta massas superiores a relacionada. Com o ensaio de densidade, observou que a boia de poliestireno tem uma boa flutuação, sendo que seu valor de densidade é bem inferior ao da água.

A comparação feita com os dois modelos de *drone* assegurou as limitações que devem ser consideradas quando se quer carregar uma carga. Alvo do teste demonstrou que o modelo de *drone* utilizado pelos bombeiros militares é ideal para aplicação, também mostra de maneira simples como chegar a esse resultado, podendo ser aplicado para qualquer outro tipo de aeromodelo.

O sistema magnético revelou ser útil para a aplicação, sendo que suportou massa de até 1,2 kg, lembrando que a boia tem uma massa de 200 g. Além disso mostrou que se desconecta facilmente, sendo uma característica importante no momento em que o mesmo for puxado.

Logo, se deduz que a utilização dos implementos corretos no *drone* salva-vidas, irá trazer segurança na execução da atividade, e concede limitação para determinadas situações.

Para trabalhos futuros, é de importância calcular os comportamentos dinâmicos sobre cada implemento, assim como para o *drone*, fazendo uma relação para quais momentos requeridos podem atuar satisfatoriamente, devido a condições climáticas. Além disso, um possível estudo de flutuação comparando a boia de poliestireno com a *LifeBelt*, boia comumente utilizado nas atividades dos salva-vidas em praias.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, amigos, colegas de trabalho e a minha namorada, pelo apoio e incentivo recebido. Agradeço também aos colaboradores dos laboratórios LAVITRI e LASPHI e ao Manoel Ferro Ferreira pela dedicação e conhecimentos transmitidos.

REFERÊNCIAS

ADDATI, Gastón A.; PÉREZ LANCE, Gabriel. Introducción a los UAV's, Drones o VANT's de uso civil. Serie Documentos de Trabajo, 2014.

ALBERTAZZI JR, G.; DE SOUZA, A. R. Fundamentos de Metrología Científica e. 2008.

ASTM D 792-08. "Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement". United States, US, 2016.

ASTM D790. "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials." 2007.

ASSIS, Aline. Tração de Ímã Neodímio. Disponível em: <http://imaneodimio.com.br/tracao-ima-de-neodimio/>. Acesso em: 03 de outubro de 2019.

BARBOSA, Débora et al. Resistência à flexão de resina acrílica polimerizada pela energia de micro-ondas. Brazilian Dental Science, v. 6, n. 2, 2003.

BARGHAMADI, Mohsen; ANVARI, Maryam. Rescue devices in the water environments: a systematic review. *Journal of Advanced Sport Technology*, 2.1: 27-32, 2019.

BASSANI, Adriane; PESSAN, Luiz A.; HAGE JÚNIOR, Elias. Propriedades mecânicas de blendas de nylon-6/Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) compatibilizadas com copolímero acrílico reativo (MMA-MA). *Polímeros*, v. 12, n. 2, p. 102-108, 2002.

BEALE-TAWFEEQ, Angela K., et al. Triennial Scientific Review: Assisting Drowning Victims: Effective Water Rescue Equipment for Lay-responders. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 10.4: 8, 2019.

BERTÉ, Maurício; PUERARI, Rosicler Felippi; DE MORAES, Wilian Corrêa. DRONE PARA SALVAR VÍTIMAS DE AFOGAMENTO. Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão e Mostra Universitária, 2015.

BS EN 310:1993. Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. United Kingdom, UK, 1993.

CAROMANO, Fátima Aparecida. Princípios físicos que fundamentam a hidroterapia. *Fisioterapia Brasil*, v. 3, n. 6, p. 394-402, 2019.

DE FREITAS, BRUNO MELLO et al. ANÁLISE DO ENSAIO DE FLEXÃO NO POLIÁCIDO LÁCTICO (PLA). Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC Palmas/TO 17 a 19 de setembro de 2019

DE JESUS, V. L. B.; PALMA, Daniel A. Medição da densidade do óleo: uma discussão sobre sua otimização e diminuição dos custos via incerteza relativa da medição. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 3, p. 3302.1-3302.6, 2008.

FERRO, Manuel. Questionário ao inventor (*Drone salva vida*). 14 p. Disponível com Corpo de Bombeiro Militar de Criciúma, 2019.

MAKAROV, Maria et al. Octorotor UAVs for radar applications: modeling and analysis for control design. In: 2015 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS). IEEE, p. 288-297, 2015.

MARTINEZ, Flávia Gomes et al. Caracterização das cargas de flutuação de implementos de hidroginástica e hidroterapia. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, v. 10, n. 1, 2011.

MENEZZI, Cláudio Henrique Soares Del et al. Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão de painéis comerciais de MDF e MDP. *Cerne*, v. 17, n. 3, p. 403-409, 2011.

MONTEIRO, Lucas Romualdo. OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTES DE MEDICAMENTOS VIA UAV (DRONE) ENTRE HOSPITAIS DO RIO DE JANEIRO. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016.

SANTOS, Filadelfo Cardoso dos; SANTOS, Wilma Machado Soares; BERBAT, Soraia da Costa. Uma análise da flutuação dos corpos e o princípio de Arquimedes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 295-298, 2007.

SOBRASA, Boletim de Afogamento no Brasil. Disponível em: <https://www.sobrasa.org/afogamento-boletim-epidemiologico-no-brasil-ano-2019-ano-base-de-dados-2017-e-outros/>. Acesso em 22 de março de 2020.

VEIGA, Augusto José Brito. Proposta de currículo de nivelamento em física para cursos técnicos pós-médio noturnos da escola estadual Henrique Lage. 2015.

VERGOUW, Bas et al. Drone technology: Types, payloads, applications, frequency spectrum issues and future developments. In: *The Future of Drone Use*. TMC Asser Press, The Hague, p. 21-45, 2016.

YEONG, S. P.; KING, L. M.; DOL, S. S. A review on marine search and rescue operations using unmanned aerial vehicles. *Int. J. Mech. Aerosp. Ind. Mech. Manuf. Eng*, 9.2: 396-399, 2015.