

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

RUDIMAR DE SÁ DUARTE

**PROJETO DE ESTRUTURA PARA FLUTUAÇÃO DE PESSOAS COM PARALISIA
CEREBRAL EM ATIVIDADES AQUÁTICAS**

CAXIAS DO SUL

2024

RUDIMAR DE SÁ DUARTE

**PROJETO DE ESTRUTURA PARA FLUTUAÇÃO DE PESSOAS COM PARALISIA
CEREBRAL EM ATIVIDADES AQUÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Me. Vagner Grison

CAXIAS DO SUL

2024

RUDIMAR DE SÁ DUARTE

**PROJETO DE ESTRUTURA PARA SUSTENTAÇÃO DE PESSOAS COM
PARALISIA CEREBRAL EM ATIVIDADES AQUÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 11/12/2024

Banca Examinadora

Prof. Me. Vagner Grison
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

RESUMO

A prática de atividades físicas e esportivas é de suma importância para uma boa qualidade de vida para qualquer pessoa, e isso não é diferente para as pessoas que possuem algum tipo de deficiência, sejam essas deficiências físicas ou de qualquer outra natureza. Com base nisso, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma estrutura flutuante para o auxílio nas atividades de natação das pessoas com paralisia cerebral (PC). Na etapa inicial, foram realizadas consultas com profissionais que atuam na área com o objetivo de identificar os desafios vivenciados na condução dos alunos com PC em atividades aquáticas. Trabalhos acadêmicos e produtos comerciais foram pesquisados em fontes especializadas. A partir disso, foram extraídas ideias e conceitos construtivos usados como base para a elaboração do projeto proposto. Três propostas conceituais para o produto foram elaboradas, juntamente com uma lista de requisitos organizados em dois grupos principais: aspectos funcionais e aspectos de fabricação. A seleção do material utilizou critérios como disponibilidade no mercado, custo, peso e facilidade de montagem, resultando na escolha do PVC rígido na forma de tubulações para água. As propriedades mecânicas das amostras de tubos de PVC foram avaliadas por meio de ensaios de tração e flexão, sob ação de envelhecimento por um período de até 2 meses. Foram realizados cálculos analíticos para o dimensionamento dos componentes da estrutura, considerando as forças de peso e empuxo que atuam sobre o conjunto. Por fim, o trabalho foi concluído com a construção do protótipo e avaliação de sua funcionalidade em uma piscina. A estrutura flutuante atendeu adequadamente os requisitos funcionais.

Palavras-chave: Natação adaptada. Paralisia cerebral. Estrutura Flutuante

ABSTRACT

Practicing physical and sporting activities is extremely important for a good quality of life for any person, and this is no different for people who have some type of disability, whether physical or of any other nature. Based on this, this work proposes the development of a floating structure to aid swimming activities for people with cerebral palsy (CP). In the initial stage, consultations were held with professionals working in the area with the aim of identifying the challenges experienced when leading students with CP in aquatic activities. Academic works and commercial products were researched in specialized sources. From this, ideas and constructive concepts were extracted and used as a basis for developing the proposed project. Three conceptual proposals for the product were developed, along with a list of requirements organized into two main groups: functional aspects and manufacturing aspects. The selection of the material used criteria such as market availability, cost, weight and ease of assembly, resulting in the choice of rigid PVC in the form of water pipes. The mechanical properties of PVC pipe samples were evaluated through tensile and flexion tests, under aging action for a period of up to 2 months. Analytical calculations were carried out to dimension the structure's components, considering the weight and buoyancy forces that act on the assembly. Finally, the work was completed with the construction of the prototype and evaluation of its functionality in a swimming pool. The floating structure adequately met the functional requirements.

Key words: Adapted swimming. Cerebral palsy. Floating Structure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais medidas do corpo humano.	7
Figura 2 - Força de empuxo atuando em objetos com diferentes densidades.	8
Figura 3 - Corpo flutuando (a) em equilíbrio e (b) em desequilíbrio.	9
Figura 4 - Representação gráfica do critério de falha de von Mises	12
Figura 5 - Baliza de goalball.	13
Figura 6 - Aparelho para natação de pessoas com deficiência nos membros inferiores.	14
Figura 7 - Estrutura flutuante aplicada para atividades aquáticas de pessoas em reabilitação.	15
Figura 8 - Cadeira de roda anfíbia	16
Figura 9 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.	17
Figura 10 - Atividade de natação de uma pessoa com paralisia cerebral.	18
Figura 11 - Proposta conceitual 1 elaborada em software CAD	21
Figura 12 - Proposta conceitual 2 elaborada em software CAD	22
Figura 13 - Componentes do <i>Kit</i> Estrutural Mola	23
Figura 14 - Proposta conceitual 3 com pórtico (a) trapezoidal e (b) quadrado	23
Figura 15 - Deflexão causada pelo peso nos pórticos (a) sem ligação e (b) com ligação	24
Figura 16 - Amostras de tubos de PVC (a) inteiriças (b) unidas por conexão colada.	27
Figura 17 - Ensaio de tração de amostra de tubo de PVC 20 mm (a) ATI e (b) ATC	28
Figura 18 - Modelo CAD detalhado da proposta conceitual selecionada.	30
Figura 19 - Diagrama de corpo livre das forças atuantes na estrutura flutuante.	31
Figura 20 - Diagrama de corpo livre da força peso de uma pessoa sobre um único pórtico.	33
Figura 21 - Curvas de força e alongamento de amostras de tubo inteiriças de PVC.	34
Figura 22 - Curvas de força e alongamento de amostras de tubo bipartido/colado de PVC.	35
Figura 23 - Tensões máximas obtidas em ensaio de tração de amostras de tubos de PVC.	36
Figura 24 - Flecha medida em ensaio de flexão de 3 pontos de amostras de tubo de PVC	37
Figura 25 - Imagem do protótipo construído no laboratório mecânico da UCS	39
Figura 26 - Testes práticos com o protótipo construído (a) colocando e retirando da piscina, (b) verificando a estabilidade/flutuabilidade, (c) ligando o cinturão de segurança à estrutura, (d) praticando o nado, (e) demonstrando espaço na largura e (f) a resistência mecânica.	40
Figura 27 – Ensaio de tração dos corpos de prova de tubo de PVC inteiriças 20 mm.	45
Figura 28 - Ensaio de tração dos corpos de prova de tubo de PVC bipartidos 20 mm.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação simplificada do grau de paralisia cerebral.	6
Quadro 2 - Propriedades de alguns plásticos de engenharia.	11
Quadro 3 - Itens avaliativos para a escolha do melhor conceito	24
Quadro 4 - Notas atribuídas para a escolha do melhor conceito	29
Quadro 5 - Lista de componentes e valores.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre atletas com e sem paralisia cerebral.	6
Tabela 2 - Dados antropométricos e de massa do indivíduo utilizado no projeto.....	20
Tabela 3 - Resultados de tensão máxima e alongamento na ruptura das amostras sob tração.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer aided design</i>
CF	Centro de flutuação
CG	Centro de gravidade
IMC	Índice de massa corporal
MEF	Método dos elementos finitos
ONG	Organização não governamental
PC	Paralisia cerebral
PCD	Pessoa com deficiência
UCS	Universidade de Caxias do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	JUSTIFICATIVA	4
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo geral.....	4
1.2.2	Objetivos específicos.....	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	ASPECTOS FÍSICOS DAS PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL	5
2.1.1	A paralisia cerebral	5
2.1.2	Antropometria e peso	6
2.2	ANÁLISE DE ESFORÇOS.....	7
2.2.1	Efeitos da flutuação	7
2.2.2	Flutuação do corpo humano	9
2.3	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	10
2.3.1	Corrosão	10
2.3.2	Características dos materiais.....	11
2.4	PROJETO ESTRUTURAL	11
2.5	TRABALHOS CORRELATOS	13
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	17
3.1	O OBJETO DE ESTUDO	17
3.1.1	Determinação dos carregamentos	18
3.1.2	Propostas conceituais.....	20
3.1.3	Método para a seleção do melhor conceito.....	24
3.1.4	Definição dos materiais de construção mecânica.....	25
3.1.5	Ensaio mecânicos e testes de exposição	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	SELEÇÃO DO MELHOR CONCEITO	29
4.2	Dimensionamento da estrutura	31
4.2.1	Dimensionamento dos flutuadores	31
4.2.2	Dimensionamento do pórtico	32

4.3	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	33
4.4	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	38
5	CONCLUSÃO	41
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
8	APÊNDICE A	45

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo em que está cada vez mais latente e em pauta o debate acerca da igualdade de direitos para as pessoas com deficiência, torna-se mais frequente e comum a referência à acessibilidade, que engloba todas as ações e esforços que visam garantir o principal desses direitos, o acesso universal a todos os locais e atividades presentes na vida cotidiana de qualquer pessoa. Quando se pensa em acessibilidade, busca-se possibilitar e facilitar o acesso de todas as pessoas aos locais onde realizam suas atividades essenciais e rotineiras, como trabalhar e estudar, por exemplo. Com o objetivo de proporcionar à essas pessoas a oportunidade de levar uma vida totalmente normal, também faz-se necessário desenvolver e aplicar soluções para que os PCD's possam ter acesso a locais de lazer, como shoppings, parques e estádios de futebol, além de locais em que possam realizar atividades físicas, como academias e piscinas.

Nesse contexto, uma questão que vem tomando corpo nos últimos tempos, é a preocupação com a qualidade de vida dos PCD's, que geralmente levam uma vida sedentária e com poucas atividades de lazer, fazendo com que venham a desenvolver outros problemas de saúde devido à falta de atividades físicas. Por isso vem surgindo ONG's e institutos voltados a possibilitar a prática de atividades esportivas e de lazer pelos deficientes. Os equipamentos mais comumente utilizados nessas atividades adaptadas são cadeiras de rodas especialmente construídas para a prática de atletismo e também basquete por parte dos cadeirantes. Também existem próteses poliméricas, utilizadas por paratletas com as pernas amputadas, em modalidades do atletismo. Na área do lazer, pode-se citar a utilização, por parte de algumas dessas instituições, de cadeiras de rodas construídas totalmente de plástico, e que flutuam na água, utilizadas para levar pessoas paraplégicas dentro das águas do mar.

Enfim, é nesse cenário que se enquadra o objeto de estudo desse trabalho. Será proposto o desenvolvimento de uma estrutura flutuante para auxiliar e facilitar as atividades aquáticas das pessoas com paralisia cerebral (PC). Essa deficiência acarreta na restrição parcial ou total dos movimentos dos membros, tanto superiores como inferiores. Portanto, cada aluno precisa ser acompanhado e sustentado por um professor durante todo o tempo de atividades realizadas dentro da piscina. A estrutura flutuante proposta viria a reduzir essa necessidade, podendo melhorar e tornar mais independentes os movimentos do aluno, garantindo a segurança, mesmo sem o apoio do professor.

1.1 JUSTIFICATIVA

A realização frequente de esporte ou atividade física é um dos principais fatores que fazem com que o indivíduo tenha uma vida saudável, e para as pessoas com deficiência isso não é diferente, por isso precisam ser desenvolvidos métodos e equipamentos que propiciem e facilitem a realização dessas atividades. Atualmente as atividades aquáticas das pessoas com PC, realizadas na piscina da UCS, são totalmente conduzidas e sustentadas pelos professores. A existência de um equipamento de apoio possibilita maior independência dos alunos.

Devido ao fato de o equipamento proposto ser utilizado para sustentar PCD's flutuando em uma piscina, deverá ter uma estrutura resistente e confiável. Por isso, a avaliação dos carregamentos, a definição dos materiais e o dimensionamento dos componentes devem ser conduzidos com base em critérios técnicos, segundo a metodologia de análise e de projeto de engenharia mecânica, além de atender às normativas, sempre que disponíveis. Durante a condução do projeto foram realizados cálculos analíticos e ensaios mecânicos dos materiais para garantir o enquadramento das especificações dentro dos requisitos de operação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e projetar uma estrutura flutuante para sustentar pessoas com paralisia cerebral durante as atividades aquáticas.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) realizar estudo para propor alternativas conceituais para o produto;
- b) definir o melhor conceito com base em critérios funcionais e de fabricação;
- c) determinar e quantificar as cargas atuantes e os esforços resultantes no equipamento;
- d) avaliar e definir os materiais de construção a serem utilizados no projeto;
- e) analisar tensões e deflexões com base nos resultados obtidos em ensaio mecânico;
- f) avaliar a funcionalidade do equipamento protótipo em uma piscina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo desse capítulo é fazer uma revisão bibliográfica, nos mais diversos formatos de literaturas disponíveis atualmente, dos diversos enfoques necessários ao desenvolvimento desse trabalho. Inicialmente, são apresentados alguns conceitos e definições acerca das características físicas e também antropométricas das pessoas com PC, necessárias no dimensionamento dos componentes do produto. Em seguida, são apresentados conteúdos relativos aos aspectos técnicos envolvidos no projeto. E, por fim, são citados alguns trabalhos acadêmicos e artigos científicos que possuem alguma correlação com este tema.

2.1 ASPECTOS FÍSICOS DAS PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL

Pessoas com paralisia cerebral (PC) possuem limitação total ou parcial dos movimentos dos membros superiores e inferiores devido a uma lesão cerebral geralmente causada na infância. Esse é um aspecto que limita a independência de pessoas com PC em atividades físicas, especialmente em ambiente aquático devido aos riscos associados ao afogamento.

2.1.1 A paralisia cerebral

Existe na literatura especializada uma série de conceitos e definições de paralisia cerebral. Para o enfoque desse trabalho a mais adequada é a de Bobath (1959) que diz que a paralisia cerebral é o resultado de uma lesão ou má formação do cérebro, de caráter não progressivo e presente desde a infância. A deficiência motora se manifesta em padrões anormais de postura e movimentos, associado com tônus muscular anormal. Essa lesão que atinge o cérebro ainda imaturo, interfere no desenvolvimento motor da criança. As deficiências motoras, que se manifestam desde a infância, permanecem durante toda a vida adulta do indivíduo.

As limitações motoras decorrentes da PC podem variar de paciente para paciente, e segundo Paisano et al (1997), não existe um sistema de classificação que englobe todos os aspectos qualitativos das limitações dos movimentos das pessoas com PC. Palisano et al. (1997) sugere uma classificação simplificada para os níveis de PC, muito utilizada, e que está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação simplificada do grau de paralisia cerebral.

Tipo de Paralisia	Membros Afetados
Plegia	Apenas 1 dos membros, superiores ou inferiores
Diplegia	2 membros, podendo ser ambos os braços ou ambas as pernas, bem como ambos do lado direito ou do lado esquerdo.
Triplegia	3 membros, podendo ser ambos os braços e uma perna, bem como ambas as pernas e um braço
Tetraplegia	Paralisia nos 4 membros

Fonte: Adaptado de Palisano et al. (1997).

2.1.2 Antropometria e peso

Além de se determinar a extensão das limitações dos movimentos dos pacientes com PC, também é importante para a realização desse trabalho se determinar o padrão de algumas características físicas, como estatura, envergadura e peso. Essas informações são de suma importância no momento de se projetar a estrutura do equipamento, tanto na determinação da melhor geometria, onde se levarão em conta as medidas de estaturas e envergadura, como no dimensionamento dos elementos de máquina, onde se considerará o peso dos usuários.

Em busca de algum referencial acerca das medidas antropométricas dos indivíduos com PC, encontrou-se na literatura especializada um artigo que apresenta os resultados de um estudo de Fernandes e Fernandes Filho (2004), que fez a comparação de algumas características físicas entre os atletas da seleção brasileira de futebol de campo masculina de portadores de PC e atletas profissionais de futebol, não portadores de PC. Estabeleceu-se uma média das alturas e dos pesos dentre os componentes de ambos os grupos. Na Tabela 1 são apresentados alguns dados retirados dessa pesquisa.

Tabela 1 - Comparativo entre atletas com e sem paralisia cerebral.

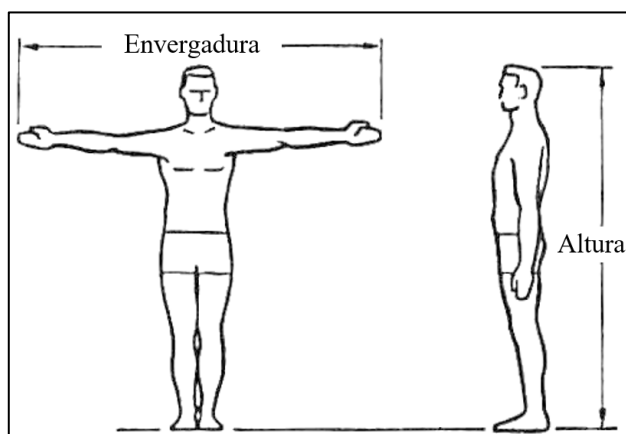
	Nº de atletas	Idade média (anos)	Peso médio (kg)	Estatura média (cm)
Atletas com PC	18	26,22	65,58	171,2
Atletas sem PC	18	22,94	73,98	176,0

Fonte: Adaptado de Fernandes e Fernandes Filho (2004).

Ainda, para a realização do presente trabalho, faz-se necessária a determinação de um padrão da medida da envergadura dos usuários do equipamento. A envergadura nada mais é do

que a maior distância entre as extremidades das mãos de uma pessoa com ambos os braços estendidos para os lados e paralelos ao solo. Em uma pesquisa, que por sua vez deu origem a um artigo publicado em um periódico especializado, Ruffino et al. (1996) realizaram um levantamento tendo como base um grupo de cerca de 700 pessoas, de ambos os sexos, em que foram determinados valores para a relação envergadura/altura, tanto para os homens como para as mulheres. Para os indivíduos do sexo masculino o valor da relação envergadura/altura equivale a 1,06 enquanto para as pessoas do sexo feminino equivale a 1,03. A Figura 1 serve para ilustrar e facilitar o entendimento do conceito de envergadura, demonstrando como é feita a medição no corpo humano.

Figura 1 - Principais medidas do corpo humano.



Fonte: Adaptado de Fernandes e Fernandes Filho (2004).

2.2 ANÁLISE DE ESFORÇOS

Para se determinar os esforços resultantes sobre a estrutura do equipamento em estudo, é necessário avaliar e entender quais forças agem sobre o sistema. Nessa situação em especial, além de se avaliar força peso gerada pela ação da gravidade, também existe a ação de forças hidrostáticas, principalmente o empuxo, devido ao fato de o equipamento operar em contato com as águas de uma piscina, seja submerso ou em flutuação. O empuxo atuará de forma a atenuar a ação da força peso, contribuindo para diminuir as tensões causadas na estrutura.

2.2.1 Efeitos da flutuação

Os efeitos causados pela água em corpos submersos ou flutuantes são estudados desde a idade antiga quando Arquimedes proferiu o famoso Princípio de Arquimedes, com base em

seus estudos. Hewitt (2002) transcreve o enunciado do Princípio de Arquimedes dizendo que quando um corpo está imerso em um fluido, parcial ou totalmente, ele sofre a ação de uma força chamada empuxo, que é a resultante da soma da força peso do corpo com as forças geradas pela pressão do fluido nas partes superior e inferior do corpo. O sentido do empuxo aponta para cima e sua intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. Hewitt (2002), no seu enunciado acerca do princípio de Arquimedes, também salienta que essa lei é válida para fluidos líquidos e gasosos. O módulo da força de empuxo é obtido através da relação da Equação 1.

$$E = d \cdot V \cdot g \quad (1)$$

Sendo:

E – Força de empuxo (N);

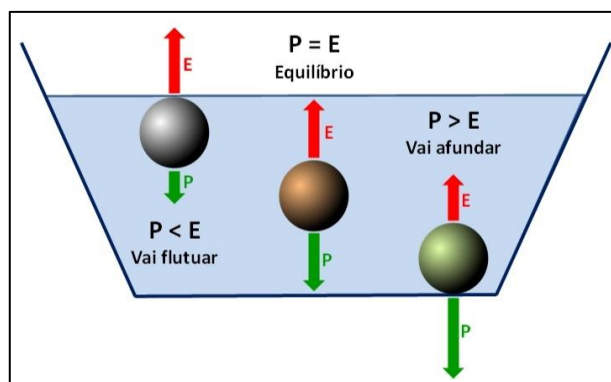
d – Densidade (kg/m^3);

V – Volume de fluido deslocado (m^3);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2).

Conforme Hewitt (2002), é possível afirmar que ocorrem três possíveis situações acerca da força de empuxo: se a densidade do corpo imerso e do fluido forem iguais, os dois entram em equilíbrio e o corpo permanecerá flutuando na altura em que for posicionado; se a densidade do corpo for maior que a do fluido, o mesmo afundará com aceleração constante até atingir o fundo do espaço em que está contido o fluido; se a densidade do objeto for menor que a densidade do fluido, ele submergirá até a superfície do fluido ficando parcialmente submerso. A fração que ficará submersa dependerá da razão entre as densidades do corpo e do fluido. A Figura 2 apresenta uma ilustração dessas três possíveis situações.

Figura 2 - Força de empuxo atuando em objetos com diferentes densidades.



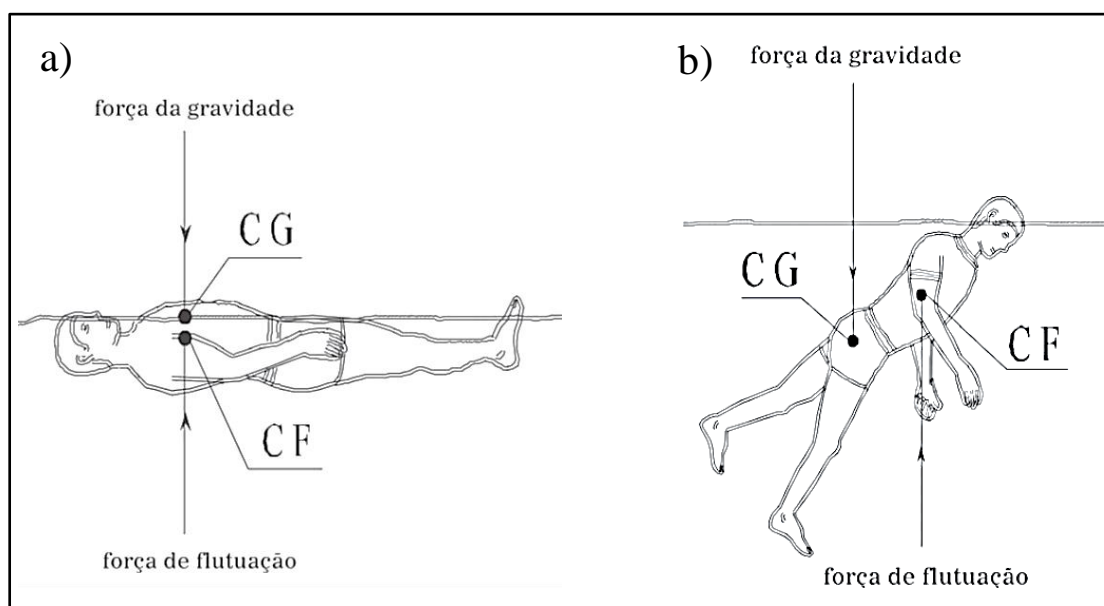
Fonte: Adaptado de Hewitt (2002).

2.2.2 Flutuação do corpo humano

Em relação à flutuação do corpo humano, é necessário apresentar alguns aspectos adicionais, Skinner e Thomson (1985) tratam da densidade do corpo humano, dizendo que esse valor fica em aproximadamente $0,95 \text{ g/cm}^3$ para adultos. Mas esse valor varia de acordo com o percentual de gordura corporal do indivíduo, podendo variar de $0,9 \text{ g/cm}^3$ para pessoas obesas até $1,1 \text{ g/cm}^3$ para pessoas extremamente magras. A densidade do corpo determina com que facilidade a pessoa permanece flutuando e quanto do seu peso será anulado pelo empuxo.

Também sobre a flutuação do corpo humano, Skinner e Thomson (1985) trazem um outro conceito importante, que relaciona a posição do centro de flutuação com a do centro de gravidade do corpo. Quando os pesos do corpo flutuante e do volume de líquido deslocado se igualam, e o CF e o CG ficam alinhados verticalmente, fazendo com que a força do peso e a força de flutuação se anulem, o sistema entra em equilíbrio e o corpo flutua. A Figura 3a ilustra essa situação.

Figura 3 - Corpo flutuando (a) em equilíbrio e (b) em desequilíbrio.



Fonte: Adaptado de Skinner e Thomson (1985).

Quando o CG e o CF não estão alinhados verticalmente, a força peso e a força de flutuação, mesmo atuando em sentidos opostos, não garantem o equilíbrio do sistema. Nessa situação é gerado um momento, que é proporcional à intensidade das forças peso e de flutuação, e também à distância horizontal entre o CG e o CF. A ação desse momento faz com que o corpo gire até que o CG e o CF se alinhem verticalmente e o corpo flutue em equilíbrio. A posição do

CG pode variar de pessoa para pessoa, influenciado principalmente pelo percentual de gordura e de sua localização no corpo. A Figura 3b apresenta essa situação.

2.3 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Um dos pontos críticos desse projeto é a seleção dos materiais de construção a serem utilizados no desenvolvimento do produto, devido ao fato de o equipamento operar em parte submerso em água com alto teor de cloro. Este item do trabalho visa apresentar características do ambiente a que o equipamento estará exposto, além de apresentar e caracterizar possíveis materiais a serem utilizados.

2.3.1 Corrosão

Uma definição mundialmente aceita e difundida para o termo corrosão foi dada por Gentil (1996), onde o autor diz tratar-se de uma deterioração de materiais, que geralmente metálicos, através de ações químicas ou eletroquímicas do meio ambiente ao qual estão expostos. A corrosão geralmente tem como consequência efeitos prejudiciais aos materiais, como perda de massa, alterações químicas e até mesmo alterações estruturais, que podem levar à inutilização do componente. Outros tipos de materiais não-metálicos, como concreto e polímeros por exemplo, também podem ser afetados pela corrosão, fazendo com que percam características e propriedades importantes na sua utilização.

Um elemento químico muito utilizado no processo de tornar a água potável é o cloro, e essa adição ocorre em quantidades ainda maiores do elemento em águas de piscinas, na manutenção da limpeza. Como explicado por Gentil (1996), a presença de cloro diluído torna o pH da água ácido, devido à formação de traços de ácido clorídrico (HCl). Com o pH ácido, o potencial de corrosão de materiais metálicos pela água, bem como a capacidade de degradação causada em materiais não-metálicos, é amplificado.

Conforme descrito por Bravim (2009), em materiais poliméricos em contato com água a principal forma de corrosão, ou degradação, é um processo denominado hidrólise, que consiste na quebra das ligações químicas que formam o material devido à ação do hidrogênio presente livre na água, cujo processo é acelerado em águas com pH ácido. Essa quebra de ligações acarreta na perda gradativa das principais características desses tipos de materiais, como flexibilidade, resiliência, e também na resistência mecânica.

2.3.2 Características dos materiais

Devido ao fato do equipamento operar em contato com água, uma boa alternativa em relação aos materiais é a utilização de aços inoxidáveis, ligas de alumínio e polímeros. Tendo em vista a aplicação, cuja função requer a flutuação, materiais de menor densidade são preferíveis. Neste aspecto, os polímeros se destacam.

Os polímeros são uma categoria de materiais que podem ser empregados no projeto em questão, pois podem perfeitamente ser utilizados em contato com a água, sem sofrerem os mesmos efeitos corrosivos inerentes aos metais. Wiebeck e Harada (2005) apresentam uma classe muito importante desse tipo de material, os chamados plásticos de engenharia, aos quais descrevem como materiais poliméricos com propriedades mecânicas altíssimas quando comparadas com as dos plásticos comuns.

Segundo Wiebeck e Harada (2005), apresentam uma série de características especiais, dentre as quais se destacam: módulo de elasticidade elevado, mesmo a temperaturas relativamente elevadas; boa resistência ao impacto; boa resistência à tração; estabilidade dimensional a alta temperatura; resistência à degradação térmica e à oxidação; resistência a reagentes e a solventes; transparência à radiação eletromagnética. O Quadro 3 mostra propriedades mecânicas de alguns plásticos de engenharia.

Quadro 2 - Propriedades de alguns plásticos de engenharia.

Material	Condição	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
PA 6	Não reforçado	75	50
PA 6.0		80	50
PBT		50	195
POM		57	50
LCP		157	0
PEK		68	40
PET		-	-
PPS		81	0

Fonte: Adaptado de Wiebeck e Harada (2005).

2.4 PROJETO ESTRUTURAL

Uma das etapas de um projeto de sistema mecânico é o dimensionamento dos componentes estruturais. Faz-se necessário a determinação dos carregamentos críticos, tanto

estáticos como dinâmicos, para na sequência se aplicarem os cálculos analíticos e critério de falha apropriados a cada projeto.

Segundo Hibbeler (2009), a teoria da energia de distorção máxima é aplicável para avaliar a integridade de estruturas sob carregamento estático. A teoria, também conhecida como a teoria de falha de von Mises, estabelece que a energia de deformação a que um corpo é submetido fica armazenada até que se atinja o limite suportável pelo material e o mesmo escoar. Para a aplicação desse método faz-se necessária a obtenção de uma tensão equivalente calculada a partir dos valores das tensões normais principais, com a utilização da Equação 2.

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2}{2}} = \frac{S_y}{CS} \quad (2)$$

Sendo:

σ_1, σ_2 e σ_3 – tensões normais principais (MPa);

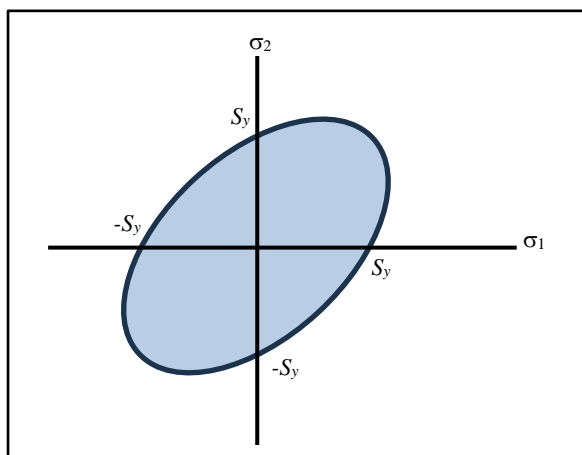
σ_e – tensão equivalente (MPa);

S_y – resistência ao escoamento (MPa);

CS – coeficiente de segurança (-).

A Equação 3 representa um elipsoide no espaço, e a elipse da Figura 4 é sua projeção no plano, cuja aresta cruza os eixos nos pontos correspondentes à resistência ao escoamento do material. Se um ponto no gráfico da Figura 4, com coordenadas das tensões normais principais, estiver no contorno ou fora da elipse, o material escoará (HIBBERLER, 2009)

Figura 4 - Representação gráfica do critério de falha de von Mises



Fonte: adaptado de Hibbeler (2009 p.416).

Conforme Budynas e Nisbett (2010), vigas carregadas transversalmente sofrem a ação de tensões internas de cisalhamento e de flexão. As máximas tensões de cisalhamento (τ) ocorrem junto à linha neutra da viga. Já as tensões máximas de flexão (σ_f) ocorrem na fibra mais afastadas da linha neutra (c). Vigas longas costumam apresentar níveis de tensões de cisalhamento desprezíveis em relação aos das tensões normais causadas pela flexão. Nestes casos, o projeto costuma se basear na máxima tensão normal, obtida a partir da Equação 3.

$$\sigma_f = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3)$$

Sendo:

σ_f – tensão normal de flexão (MPa);

M – momento fletor (N.mm);

c – distância da fibra mais afastada da linha neutra (mm);

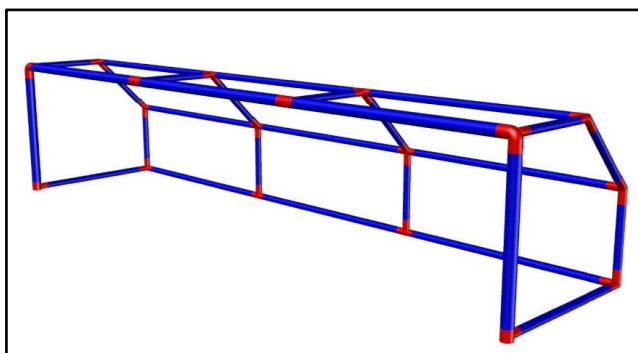
I – momento de inércia de área da seção transversal (mm⁴).

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

Neste item serão apresentados alguns artigos, nacionais e também de escritores estrangeiros, que trazem algum assunto que se relacione em algum aspecto com os assuntos pertinentes à realização desse trabalho.

Segundo Dos Santos e Oliveira (2015), esportes adaptados são modalidades que sofreram modificações ou foram especialmente criadas de modo a permitir a sua prática por pessoas com deficiência. Um desses esportes é o goalball, espécie de futebol jogado com as mãos, e praticado por deficientes visuais.

Figura 5 - Baliza de goalball.

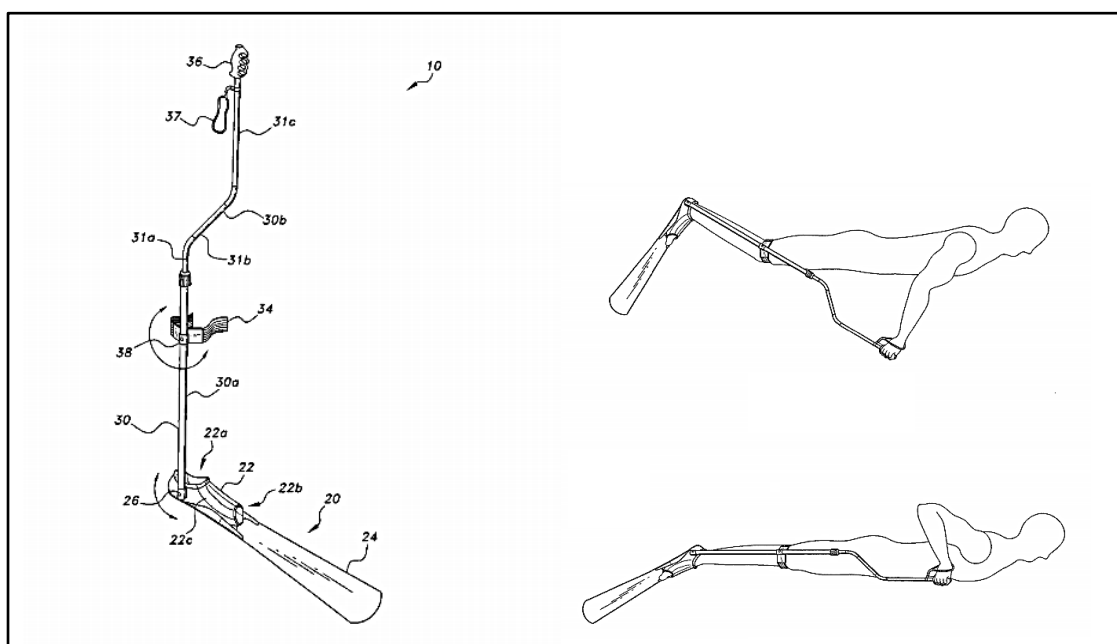


Fonte: Dos Santos e Oliveira (2015).

A baliza mostrada na Figura 5 é totalmente construída em tubos de PVC disponíveis no mercado e suas conexões são peças produzidas através de impressão 3D. Foi proposta por Dos Santos e Oliveira (2015) com a justificativa de ser prática, pois além de ser mais leve do que uma produzida em tubos de aço soldados, também pode ser facilmente desmontada e transportada, permitindo assim ser utilizada em vários locais.

No campo dos equipamentos para auxílio nas atividades aquáticas de pessoas que possuem algum tipo de deficiência física, Al-Otaibi e Alnaser (2018) desenvolveram um dispositivo para facilitar a natação de pessoas que tenha os movimentos das pernas comprometidos (Figura 6), e chamaram-no de *swimming fin*. O equipamento consiste em uma haste que fica presa a perna do usuário, na extremidade dessa haste fica preso um pé-de-pato para facilitar o deslocamento da água pelos pés.

Figura 6 - Aparelho para natação de pessoas com deficiência nos membros inferiores.



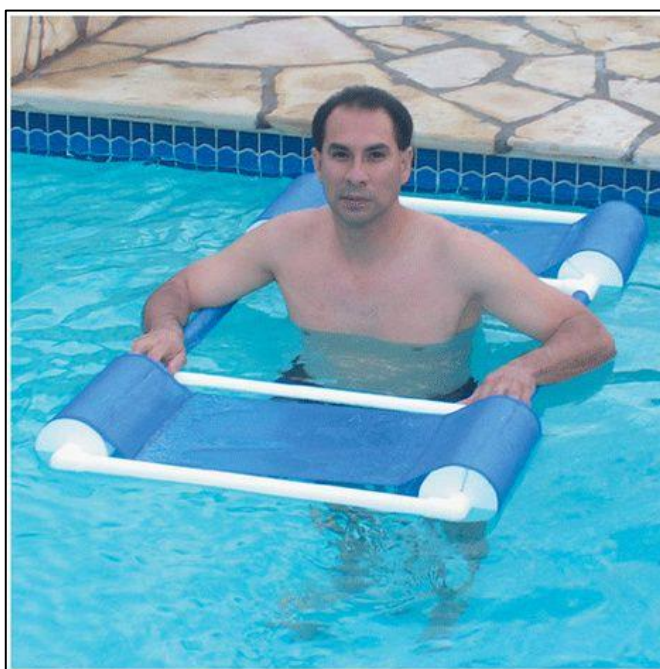
Fonte: Al-Otaibi e Alnaser (2018).

Conforme ilustra a Figura 6, a extremidade superior da haste do equipamento estende-se acima do ponto de fixação na perna e o usuário utiliza essa extremidade como alavanca para impulsionar o movimento das pernas através do movimento dos braços.

Produtos comerciais com a finalidade de auxiliar na reabilitação ortopédica de pessoas por meio de atividades aquáticas são encontrados em lojas especializadas físicas e virtuais. Este é o caso da estrutura flutuante denominada MJM *International Aqua Float* (Figura 7), a qual é comercializada pela loja virtual Rehab Store. Dentre as características do produto, destaca-se a

utilização de tubos de PVC como material aplicado na fabricação, conferindo alta resistência mecânica aliada a um peso reduzido. A capacidade de flutuação da estrutura é obtida com a utilização de segmentos de maior diâmetro nas extremidades, enquanto a região de apoio para as mãos tem diâmetro reduzido para facilitar a pega do usuário. A versão destinada para adultos mede 1,47 m x 0,79 m e tem capacidade para sustentar pessoas de até 110 kg.

Figura 7 - Estrutura flutuante aplicada para atividades aquáticas de pessoas em reabilitação



Fonte: Rehab Store (2024)

O *Aqua Float* é um flutuador auxiliar para atividades aquáticas que requer total controle e consciência do usuário que deve sustentar-se por conta própria na estrutura para permanecer em posição adequada e segura. O fato de ser um produto específico, voltado para a reabilitação ortopédica pode justificar o valor de venda, da ordem de R\$ 1.200,00.

Seguindo a perspectiva de promover a acessibilidade para pessoas com deficiências motoras em atividades aquáticas, instituições como o Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis, se apresentam como pontos focais para divulgação de bens e serviços, projetos e produtos dos mais diversos segmentos. Um desses produtos é denominado cadeira de rodas anfíbia ou cadeira flutuante, a qual conta com rodas do tipo balão feitas de polipropileno e estrutura de materiais leves e inoxidáveis, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Cadeira de roda anfíbia



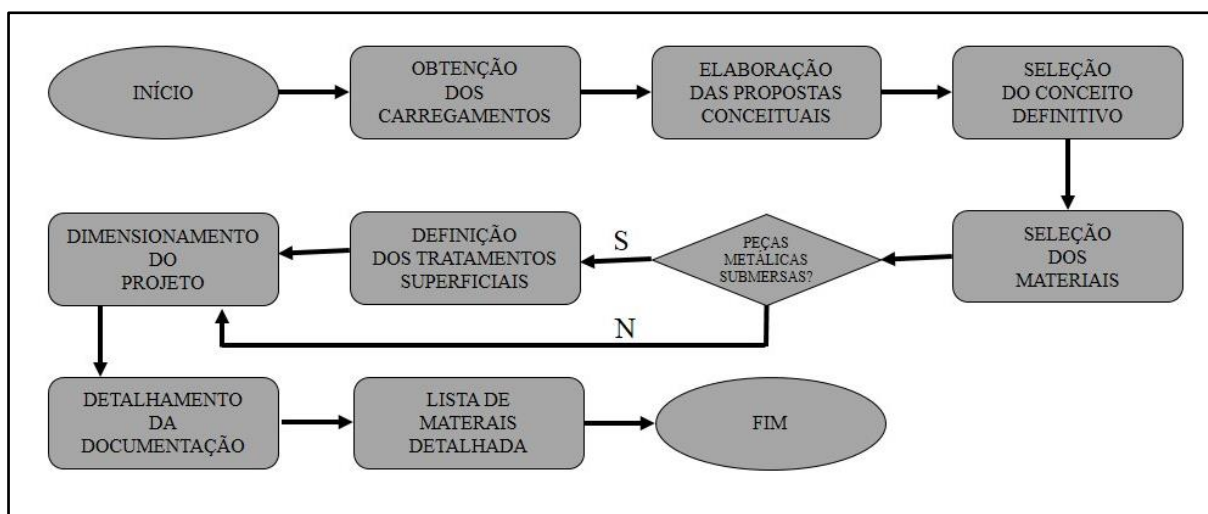
Fonte: OICS (2024)

As cadeiras flutuantes são desenvolvidas para permitir o acesso a terrenos arenosos e o banho seguro de pessoas com deficiência física ou algum nível de mobilidade reduzida. Para isso, contam com cinto de segurança ajustável, assento, encosto e apoio para as pernas reguláveis, além de utilizar tecidos emborrachados para aumentar o conforto (OICS, 2024). Embora este seja um produto relativamente simples e difundido nas regiões litorâneas, seu valor de venda é da ordem de R\$ 4.000,00.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo apresenta o processo de realização das atividades práticas que foram necessárias para que se cumprissem os objetivos específicos, e conseqüentemente, para o atingimento do objetivo geral desse trabalho. A Figura 9 conta com um fluxograma da seqüência de cada uma das etapas deste trabalho em ordem cronológica.

Figura 9 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor (2024).

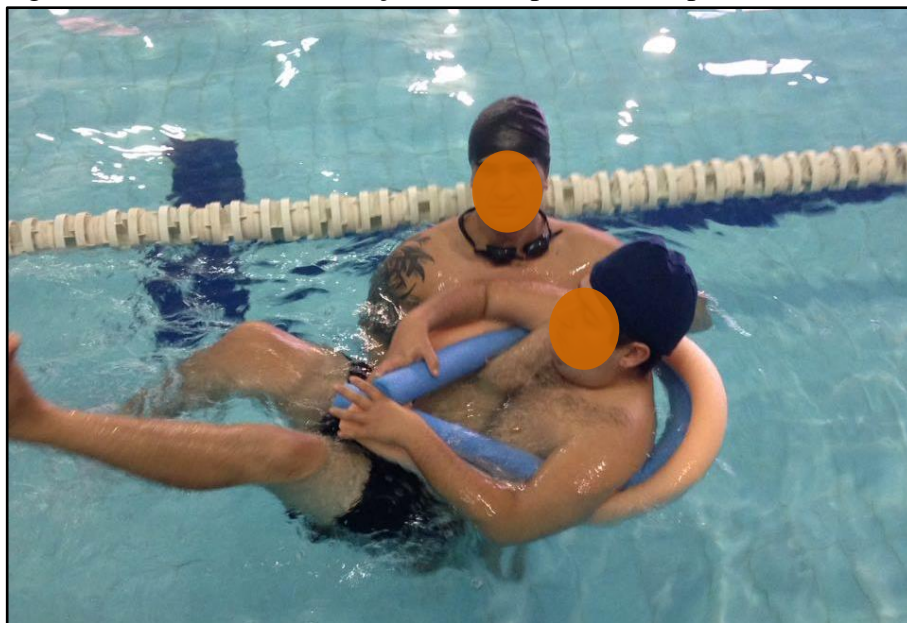
3.1 O OBJETO DE ESTUDO

Atualmente, a realização de atividades aquáticas por parte de pessoas com PC na piscina da vila olímpica da UCS é totalmente auxiliada e conduzida pelos professores, que também fazem uso de alguns elementos flutuantes que servem como boias para impedir que o aluno afunde. Dessa maneira, os alunos acabam não tendo uma liberdade total de movimentos em seus membros, pois, além das limitações provocadas pela própria paralisia, também a ação de sustentação por parte dos professores e a presença dos elementos flutuantes interferem na realização das atividades. A Figura 10 ilustra como as atividades são realizadas atualmente.

O objeto de estudo deste trabalho é uma estrutura para o auxílio na prática de atividades aquáticas por pessoas com PC. Com a utilização desse equipamento, o aluno poderá desenvolver as suas atividades de maneira autônoma e segura. Sendo assim, o conjunto deverá contar com uma estrutura composta por materiais leves e resistentes à corrosão, com geometria

tal que permita a flutuação de pessoas adultas. A rigidez estrutural deve ser priorizada para que o usuário tenha uma percepção de segurança.

Figura 10 - Atividade de natação de uma pessoa com paralisia cerebral.



Fonte: Acervo L'Aqua (2020).

As dimensões externas do equipamento devem ser amplas o suficiente para que os movimentos de nado e demais atividades aquáticas possam ser desenvolvidas sem restrições. Por outro lado, a largura do produto não pode ultrapassar 2,0 m que é a distância mínima recomendada entre as raias de piscinas olímpicas. Além disso, o peso total não deve ser maior que 10 kg, visando o fácil manuseio, retirada e colocação do equipamento na água por parte do pessoal responsável. Do ponto de vista da aplicação, entende-se que o produto deve permitir de forma segura que não será necessário o apoio dos professores para que os alunos desenvolvam as atividades na piscina. Dessa forma, entende-se que uma solução ideal é obtida se o aluno permanecer suspenso por um colete torácico preso à parte superior da estrutura, deixando seus braços e pernas totalmente livres para que possa desenvolver suas atividades. Por fim, o custo de material utilizado para compor o produto não deve superar R\$ 400,00 para que seu preço de venda ao consumidor não ultrapasse R\$ 1.000,00.

3.1.1 Determinação dos carregamentos

Tendo em vista que os alunos que praticam natação de forma recreativa ou por recomendação médica podem ter as mais variadas características, não foi definido um biotipo

em específico para servir como base para a obtenção dos dados antropométricos (altura, envergadura e peso) necessários para os cálculos dos carregamentos aos quais a estrutura estará sujeita. Portanto, os dados foram estabelecidos com base em literaturas que trazem informações sobre os biotipos da população brasileira.

Para a definição da altura a ser considerada nos cálculos, decidiu-se utilizar o valor que engloba o percentil 95 de toda a população brasileira de homens adultos. Não foi encontrada nenhuma pesquisa ou estudo que trouxesse uma tabela em que fosse encontrada essa informação diretamente. Porém, Rangel (2024) traz a informação de que a altura média dos brasileiros adultos é de 1,70 m e que o desvio padrão da média é de 0,05 m. Com essas informações, e considerando que a dispersão das alturas é uma distribuição normal, é possível estabelecer o valor da altura que engloba o percentil 95 da população, através da aplicação da Equação 4.

$$X = \mu + z \cdot DP \quad (4)$$

Sendo:

X = valor calculado para o percentil desejado

μ = média

z = fator crítico, que para percentil 95 é igual a 1,65

DP = desvio padrão

Substituindo os valores na Equação 4, obtém-se a altura de 1,78 m para o percentil 95%, conforme Vieira (2016).

Com o dado da altura, foi determinada a envergadura, com base na informação de que para homens a envergadura fica em torno de 1,07 vezes o valor da estatura (VIEIRA, 2016). Assim, a envergadura de uma pessoa de 1,78 m de altura deve ser cerca de 1,90 m.

O peso corporal a ser considerado nos cálculos para dimensionamento da estrutura foi definido a partir do percentil 95 dos homens brasileiros. A Sociedade Brasileira de Pediatria traz a informação de que o valor do índice de massa corporal (IMC) que engloba 95% dos homens no Brasil é 32,4 (SBP, 2024). Com essa informação, e estabelecida a altura de referência, foi calculado o peso corporal com a Equação 5.

$$IMC = \frac{m}{h^2} \quad (5)$$

Onde:

IMC = índice de massa corporal (kg/m^2);

m = massa (kg);

h = altura (m).

Substituindo o IMC de 32,4 e a altura de 1,78 m, correspondente ao percentil 95, é possível chegar ao valor de 102,7 kg.

Por fim, definiu-se o valor da densidade de massa corporal a ser utilizado nos cálculos. Segundo a literatura esse valor pode variar de $0,9 \text{ g}/\text{cm}^3$ até $1,1 \text{ g}/\text{cm}^3$, então foi estabelecido usar como referência o maior valor, por ser mais conservador ao ser aplicado no cálculo da força de empuxo resultante sobre o corpo do indivíduo.

A Tabela 2 conta com as medidas antropométricas que foram consideradas, e que tiveram sua determinação justificada nos parágrafos anteriores.

Tabela 2 - Dados antropométricos e de massa do indivíduo utilizado no projeto

Altura (m)	Envergadura (m)	Massa corporal (kg)	Densidade (kg/m^3)
1,78	1,90	102,7	1100

Fonte: o autor (2024)

3.1.2 Propostas conceituais

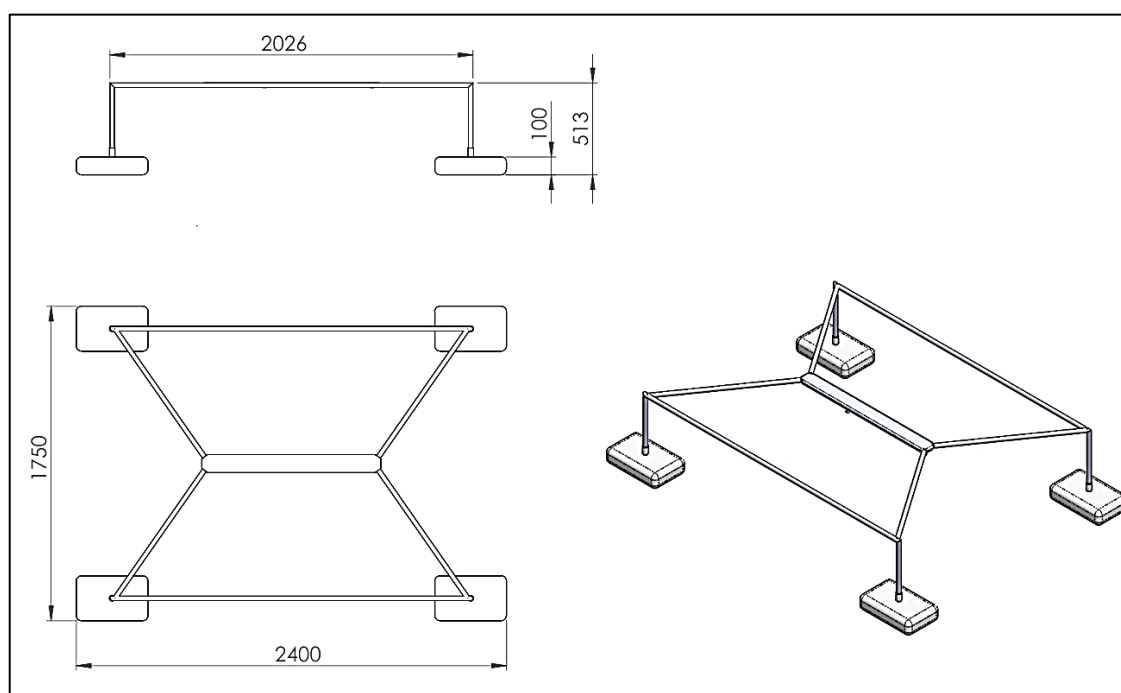
A elaboração de conceitos para o desenvolvimento do equipamento proposto neste trabalho teve início a partir das pesquisas de mercado apresentadas na seção 2.5. A pesquisa foi feita em *sites* especializados em equipamentos de auxílio a pessoas com deficiência física e/ou mobilidade reduzida, e também em *sites* de venda de produtos utilizados na reabilitação clínica ortopédica e fisioterápica, em busca de ideias que pudessem auxiliar na elaboração do projeto.

A pesquisa desenvolvida em *sites* comerciais permitiu algumas tomadas de decisão em termos conceituais. As rodas das cadeiras anfíbias construídas de modo a servirem como os flutuadores para a sustentação sobre o nível da água serviram de base para as propostas de flutuadores neste projeto. Os tubos e conexões adotados na construção do flutuador MJM *International Aqua Float* e da baliza de *goalball* direcionaram duas das propostas conceituais para a aplicação de tubos de PVC comerciais, visando a redução de custos de material e de

processo, a facilidade de aquisição de componentes, padronização e, conseqüentemente intercambialidade entre itens de diferentes fabricantes.

Com base na finalidade do produto, foram elaboradas algumas propostas de alternativas conceituais para o desenvolvimento do produto. A Figura 11 apresenta a proposta conceitual 1, que conta com sapatas flutuantes que sustentam uma estrutura tubular com dimensões máximas de 513 x 1750 x 2400 mm. O equipamento nesta configuração é flutuante e construído em material plástico ou polimérico. As sapatas flutuantes ocupam pouco espaço e dão ampla liberdade de movimentos ao usuário, além de facilidade de acesso por parte do instrutor, durante as práticas. Todas as propostas conceituais foram desenvolvidas para que o usuário fique sustentado por um cinto torácico ligado à parte superior das estruturas.

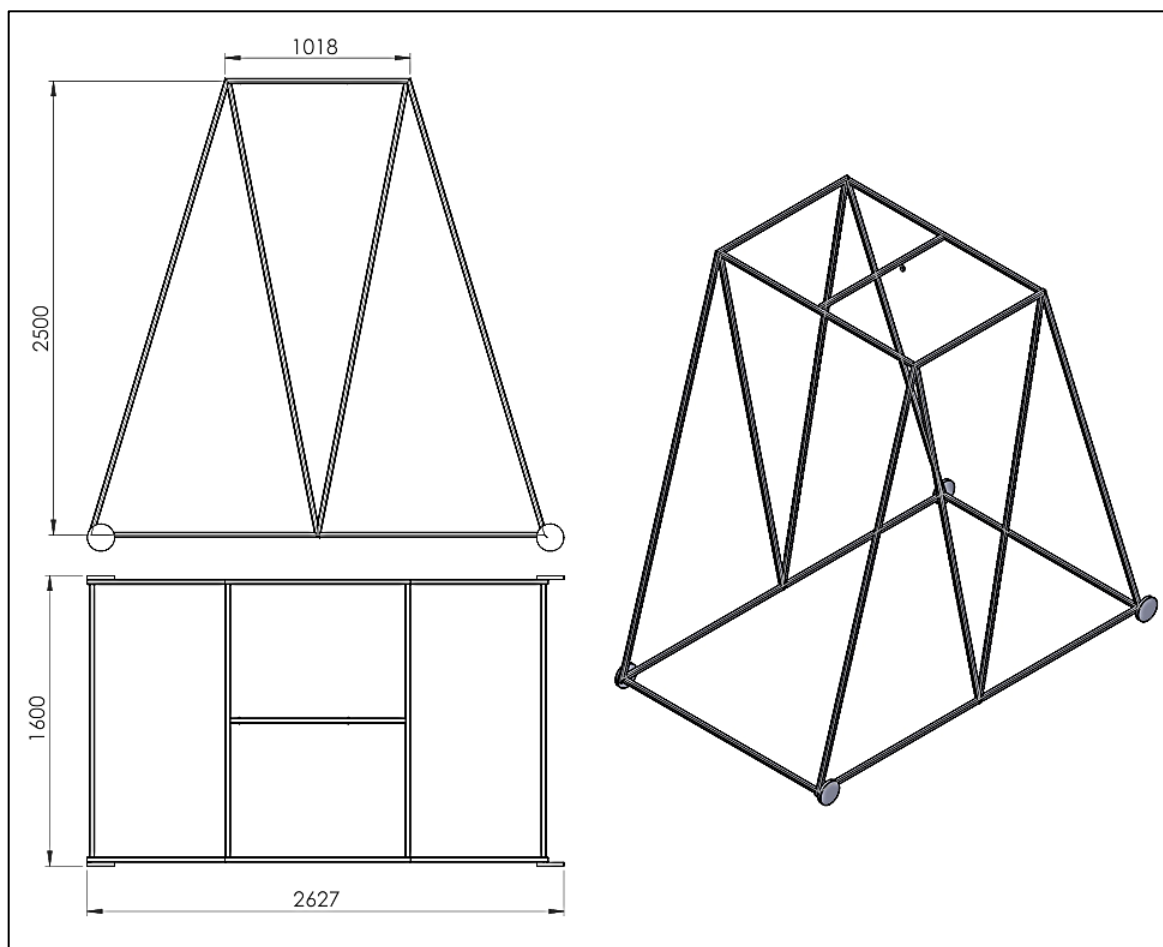
Figura 11 - Proposta conceitual 1 elaborada em software CAD



Fonte: Autor (2024).

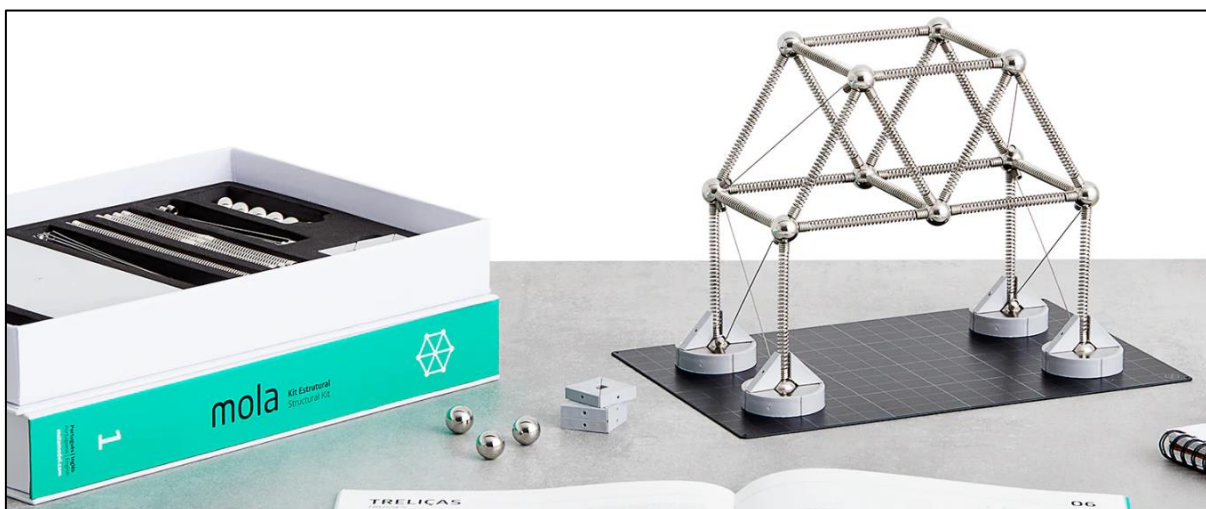
A Figura 12 mostra a proposta 2 para o conceito estrutural do produto, consistindo em uma estrutura metálica (alumínio ou aço inoxidável) treliçada unida por meio de soldagem, com formato de cavalete triangular e com rodas para locomover-se no fundo da piscina. O conceito proposto, neste caso, teve o objetivo de oferecer maior sensação de segurança, maior rigidez com a utilização de partes estruturais metálicas e total estabilidade devido ao apoio da estrutura no fundo da piscina.

Figura 12 - Proposta conceitual 2 elaborada em software CAD



Fonte: Autor (2020).

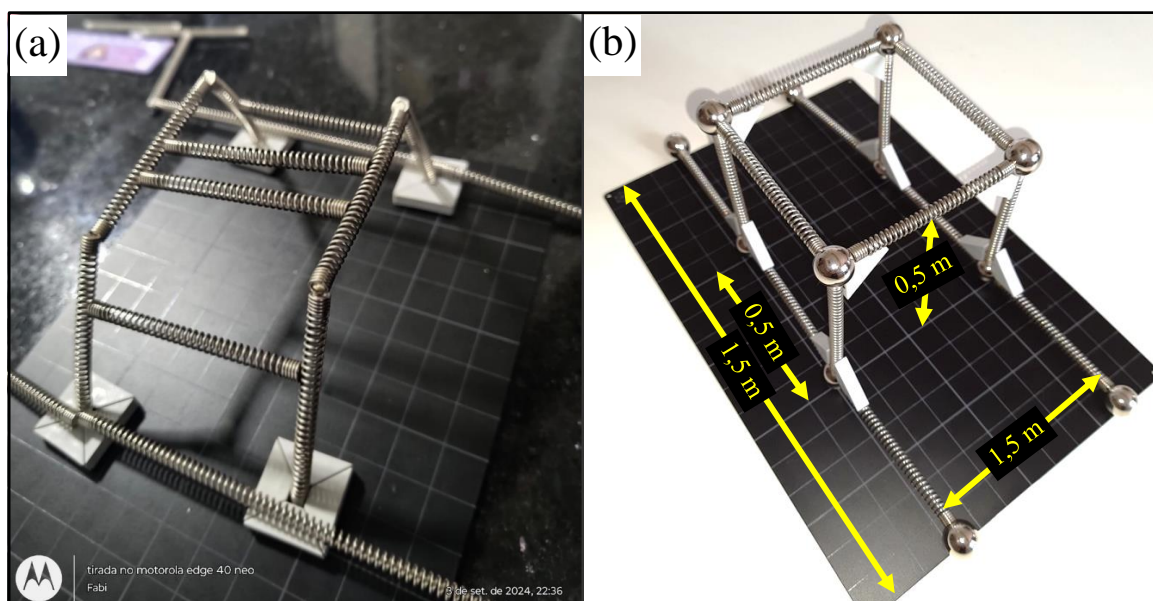
A proposta conceitual 3 foi elaborada utilizando um recurso importante para esboçar e analisar a estrutura e a montagem dos componentes. Trata-se de um recurso chamado *Kit Estrutural Mola*, que consiste em um conjunto de elementos formados por molas, arames, esferas e pastilhas imantadas que permitem fazer pequenas montagens e Mocapes, no espaço tridimensional. Com isso, é possível esboçar fisicamente as estruturas a fim de deixar mais visíveis e palpáveis as ideias durante as discussões do melhor conceito final do objeto em estudo. Como todos os componentes desse *kit* são imantados, inclusive as molas e arames, a montagem e desmontagem dos mocapes é de fácil execução, dando um efeito de praticidade e dinamismo no modelamento das propostas. A Figura 13 mostra o *Kit Estrutural Mola*.

Figura 13 - Componentes do *Kit Estrutural Mola*

Fonte: <https://br.molamodel.com/products/mola-structural-kit-1>

A proposta conceitual 3 consiste em uma geometria com dois flutuadores tubulares longitudinais e paralelos entre si. Os flutuadores são conectados por dois pórticos no plano transversal com formato quadrado ou trapezoidal, também formados por tubos. Os pórticos são os elementos responsáveis por sustentar o peso do usuário. A proposta conceitual 3 considera a possibilidade de fabricação da estrutura com tubos de PVC e conexões comerciais. O comprimento e a largura deste conceito ficaram estabelecidos em 1,5 m. A altura e a distância entre os pórticos devem ser de 0,5 m, conforme pode ser visto na Figura 14.

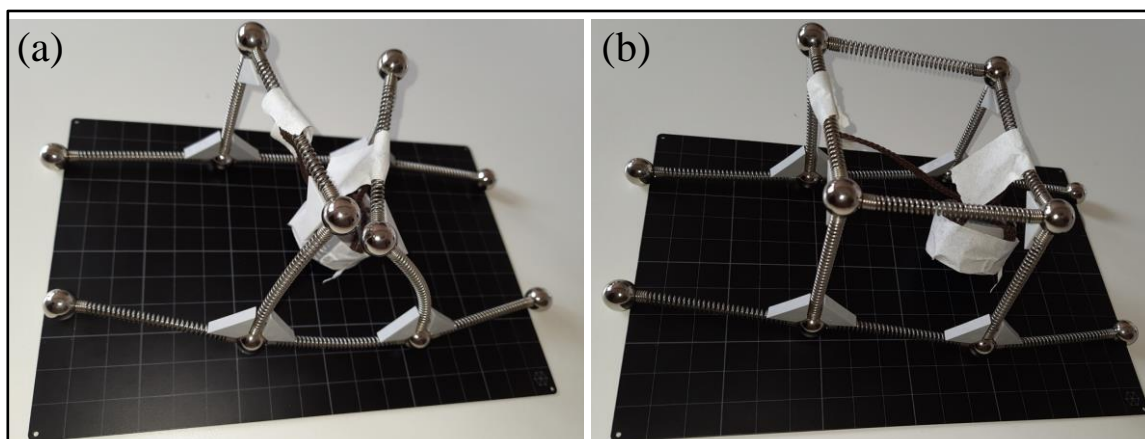
Figura 14 - Proposta conceitual 3 com pórtico (a) trapezoidal e (b) quadrado



Fonte: o autor (2024)

Utilizando o *kit* Mola Estrutural foi possível entender a importância das barras que fazem a conexão dos dois pórticos propostos, conforme mostra a Figura 15. A ligação mecânica entre os pórticos é indispensável para reduzir as deflexões e as tensões nas partes da estrutura e na conexão dos pórticos com os flutuadores longitudinais.

Figura 15 - Deflexão causada pelo peso nos pórticos (a) sem ligação e (b) com ligação



Fonte: o autor (2024)

3.1.3 Método para a seleção do melhor conceito

A escolha do conceito mais adequado, dentre os apresentados na seção anterior, foi baseada em critérios divididos em dois grupos principais: funcionalidade do produto e fabricação. Esses grupos foram desdobrados em diferentes itens avaliativos e organizados em uma matriz de decisão, utilizando uma escala de pontuação de 0 (pior desempenho) a 5 (melhor desempenho). Além disso, foram aplicados pesos aos critérios, definidos com base na relevância de cada aspecto para o projeto. O Quadro 3 descreve os itens avaliativos.

Quadro 3 - Itens avaliativos para a escolha do melhor conceito

(continua)

Item Avaliativo	Critério	Peso	Observações
Funcionalidade do Produto			
Peso Próprio	Menor é melhor	15%	Impacta na facilidade de manuseio para colocação e retirada do equipamento na piscina; impacta na mobilidade do usuário dentro da piscina

Estabilidade	Maior é melhor	25%	Maior estabilidade do equipamento promove maior sensação de segurança por parte do usuário e instrutor
Segurança	Maior é melhor	25%	Relacionado diretamente com a capacidade de evitar acidentes de toda natureza
Ergonomia Usabilidade	Maior é melhor	20%	Conforto do usuário durante a prática, facilidade de uso, manuseio e armazenagem do equipamento
Facilidade de Acesso	Mais fácil é melhor	10%	Especialmente relevante para a interação do instrutor com o usuário durante as práticas na piscina
Estética	Maior é melhor	5%	O aspecto visual pode influenciar a aceitação do produto por parte dos usuários e dos instrutores
Fabricação			
Processo de Fabricação	Mais simples é melhor	20%	Viabilidade técnica e simplicidade dos processos de fabricação favorecem a produção
Custo	Menor é melhor	30%	Consiste no custo de materiais, dos processos de fabricação adotados e da mão de obra
Durabilidade	Maior é melhor	25%	Vida útil esperada do produto sob condições normais de uso
Facilidade de Manutenção	Maior é melhor	15%	Facilidade e custo de manutenção ao longo da vida; acesso a peças de reposição; facilidade de desmontagem e montagem de componentes
Impacto Ambiental	Menor é melhor	10%	Uso de materiais sustentáveis, perdas no processo de fabricação e descarte

Fonte: o autor (2024)

3.1.4 Definição dos materiais de construção mecânica

A definição dos materiais a serem utilizados na construção do equipamento foi feita em duas etapas: a escolha dos materiais propriamente dita e ensaios para a obtenção de propriedades mecânicas dos materiais escolhidos. A fundamentação teórica desse trabalho apresentou duas categorias de materiais como principais alternativas para a construção do equipamento: os materiais metálicos inoxidáveis e os materiais poliméricos.

A definição da proposta conceitual flutuante, da geometria do equipamento, e também do ambiente onde é aplicado, definiu-se pelo uso de materiais poliméricos. As justificativas por essa escolha foram relacionadas nos itens a seguir.

- a) para uma estrutura flutuante, os polímeros levam vantagem em relação aos metais, pois possuem densidade inferior;
- b) a aplicação em piscinas com água tratada com alto teor de cloro configura um ambiente altamente corrosivo, no qual os polímeros demonstram maior resistência em comparação a outros materiais;
- c) facilidade para obtenção do material, pois a geometria da estrutura prevê a montagem com tubos, e existe uma infinidade de materiais poliméricos com este formato disponível no mercado.

Após a definição de que o material a ser utilizado seria composto por tubos poliméricos, foram identificadas quatro opções disponíveis no mercado: PVC, CPVC, PPR e PEX. A seguir, são apresentadas informações sobre cada um desses materiais, que serviram de base para a escolha final do mais adequado para a aplicação.

- a) os tubos de PEX são flexíveis, assemelhando-se às mangueiras utilizadas para instalação de gás de cozinha em fogões residenciais, por isso foram de imediato descartados para a utilização no projeto;
- b) os tubos de PPR exigem um processo de soldagem à quente, inclusive na união com as conexões. Esse processo exige um equipamento próprio para esse fim, que atinge temperaturas próximas à 300 °C, além de necessitar de profissional especializado para realizar o processo, por isso esse material também foi descartado nesse processo de escolha;
- c) Para decidir entre o PVC e sua variante CPVC, foi considerada a principal diferença entre eles: a capacidade de suportar diferentes temperaturas em operação. Enquanto o PVC comum suporta água com temperaturas de até 45 °C, o CPVC é adequado para temperaturas da ordem de 80 °C. Como a água da piscina atinge um pico de temperatura em torno de 30 °C quando aquecida no inverno, optou-se pelo uso do PVC comum, devido ao menor custo e à maior disponibilidade em diferentes bitolas no mercado.

Definiu-se então que a estrutura deve ser construída com tubos de PVC, comercializados nas cores marrom e branca, usados respectivamente para o transporte de água fria e esgoto. As uniões feitas com conexões comuns também encontradas no mercado

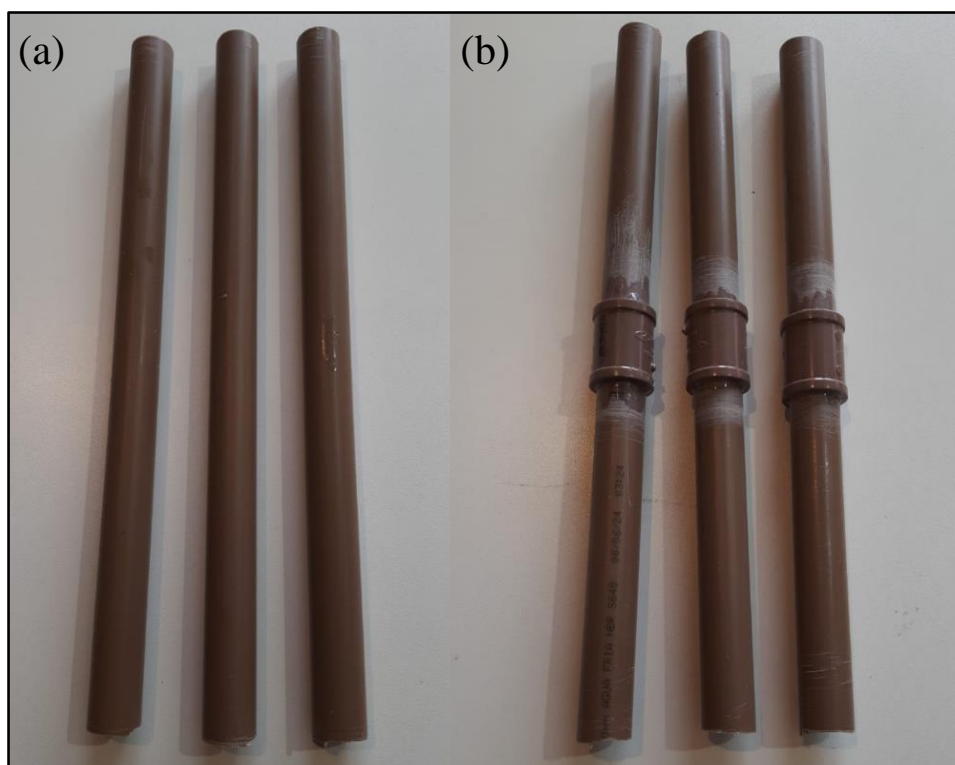
especializado, e a forma de união das juntas por colagem com adesivo plástico, destinado especificamente para esse fim.

3.1.5 Ensaios mecânicos e testes de exposição

Para validar a escolha do PVC ao uso na construção do equipamento, decidiu-se por fazer ensaios mecânicos de amostras do material. Para os ensaios foram usados corpos de prova confeccionados a partir de uma barra de 20 mm de diâmetro externo, e com parede de 1,5 mm de espessura de tubo de PVC marrom com 300 mm de comprimento.

Foram preparados dois tipos de corpos de prova: tubo inteiriço de 300 mm de comprimento e tubo seccionado em duas partes de 150 mm e unido por luva e adesivo plástico, conforme mostra a Figura 16. Ao todo, 9 amostras inteiriças passaram por ensaio de flexão não destrutivo (AFI) e por ensaio de tração destrutivo (ATI). Outras 9 amostras unidas por uma luva passaram por ensaio de tração destrutivo (ATC) para avaliar a resistência das uniões coladas.

Figura 16 - Amostras de tubos de PVC (a) inteiriças (b) unidas por conexão colada.

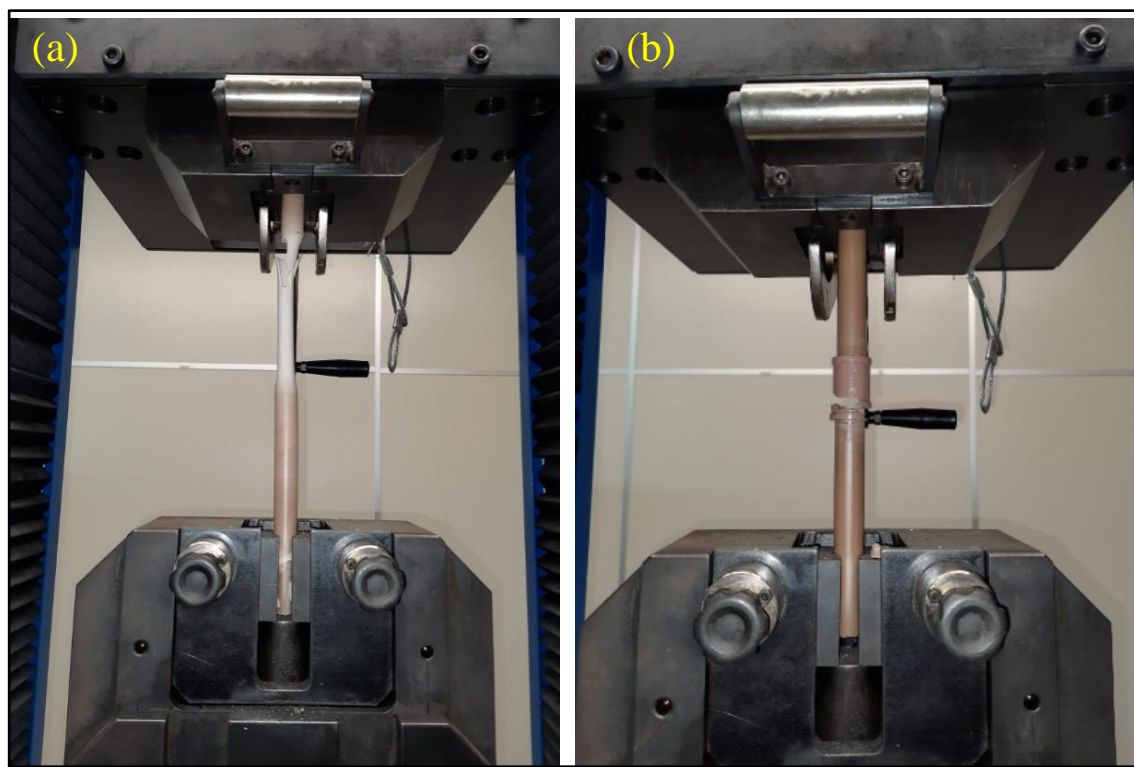


Fonte: o autor (2024)

Um plano de ensaios foi desenvolvido para avaliar a eventual perda de propriedades mecânicas do PVC ao longo do tempo. Para tanto, as amostras foram divididas em 3 grupos para simular as condições ambientais ao qual o produto estará exposto. O primeiro grupo passou pelos ensaios mecânicos logo após a aquisição e preparação nas dimensões e condições para a execução dos testes. As amostras do segundo e do terceiro grupo foram mantidas submersas em um recipiente com 15 l de água pelo período de 30 dias e 60 dias respectivamente. A água do recipiente foi mantida na temperatura de 27 ± 2 °C com a utilização de um aquecedor comandado por termostato. A água recebeu diariamente a quantidade de 2 ml de água sanitária (2% cloro p/p), o que corresponde a dosagem de 4 g de cloro para cada m³ de água recomendada para águas de piscinas (<https://piscinas.hidroall.com.br/blog/qual-a-dosagem-de-cloro-devo-aplicar-na-piscina>). Além disso, as amostras do segundo grupo foram expostas ao sol por 4 períodos de 8 h e as amostras do terceiro grupo foram expostas ao sol por 8 períodos de 8 h.

Todos os ensaios mecânicos, foram realizados na máquina universal de ensaios localizada no laboratório do Campus Universitário da Região dos Vinhedos da Universidade de Caxias do Sul, localizado na cidade de Bento Gonçalves. A Figura 17 mostra uma das amostras no equipamento após o ensaio de tração.

Figura 17 - Ensaio de tração de amostra de tubo de PVC 20 mm (a) ATI e (b) ATC



Fonte: o autor (2024)

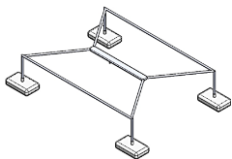

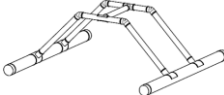
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos metodológicos estabelecidos no Capítulo anterior foram obtidos os resultados para a finalização deste trabalho de conclusão de curso.

4.1 SELEÇÃO DO MELHOR CONCEITO

O Quadro 4 mostra as notas atribuídas pelo autor para os conceitos propostos.

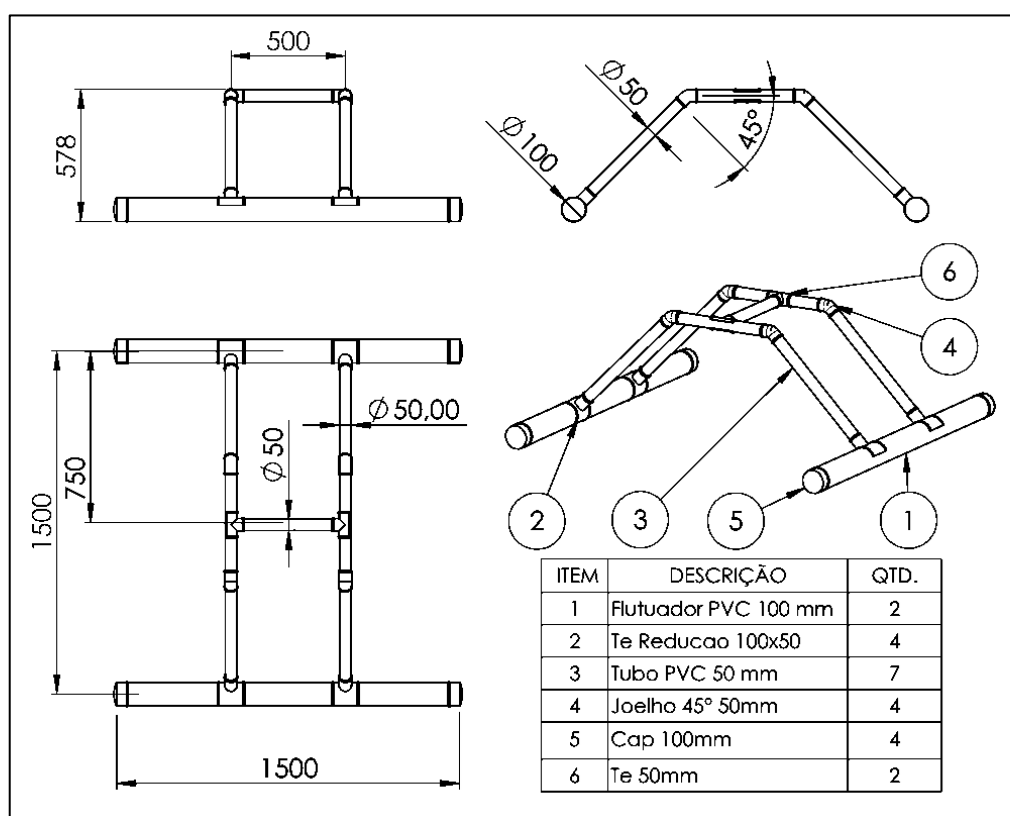
Quadro 4 - Notas atribuídas para a escolha do melhor conceito

Item Avaliativo	Critério	Peso	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3
					
Funcionalidade do Produto - pontuar com valores entre 0 (pior) até 5 (melhor)					
Peso Próprio	Menor é melhor	15%	4	1	5
Estabilidade	Maior é melhor	25%	3	5	3,5
Segurança	Maior é melhor	25%	3,5	4	4
Ergonomia/Usabilidade	Maior é melhor	20%	4,5	1	5
Facilidade de Acesso	Maior é melhor	10%	4,5	2,5	3,5
Estética	Maior é melhor	5%	2,5	1	4
Subtotal Funcionalidade		100%	3,7	2,9	4,2
Fabricação					
Processo de Fabricação	Simple é melhor	20%	3	1,5	5
Custo	Menor é melhor	30%	2,5	1,5	4,5
Durabilidade	Maior é melhor	25%	3	4,5	3
Facilidade de Manutenção	Maior é melhor	15%	2,5	1,5	3,5
Impacto Ambiental	Menor é melhor	10%	3	3,5	4
Subtotal Fabricação		100%	2,8	2,5	4,0
Total Geral			3,2	2,7	4,1

Fonte: o autor (2024)

Os resultados numéricos obtidos com a pontuação atribuída aos três modelos colocaram na última posição a proposta conceitual com estrutura metálica. Embora este conceito tenha obtido as maiores notas em termos de estabilidade e durabilidade, fatores relacionados à usabilidade e ergonomia, processo de fabricação e manutenção, rebaixaram sua nota final. A proposta conceitual 1, que ficou na segunda posição, apresenta um destaque positivo no quesito relativo à facilidade de acesso para a intervenção dos professores com o aluno nas atividades aquáticas. Ainda assim, a proposta conceitual 3, ilustrada na Figura 18, obteve o maior conjunto de avaliações positivas, tornando-a a melhor proposta para avançar para as etapas de detalhamento e construção.

Figura 18 - Modelo CAD detalhado da proposta conceitual selecionada.



Fonte: o autor (2024)

O conjunto é formado por seis grupos de componentes estruturais, totalizando 23 itens, além de um cinto que conecta o usuário à barra central responsável por unir os pórticos trapezoidais do equipamento. O conjunto conta com conexões do tipo meia-cana que permitem sua desmontagem em cinco partes, reduzindo o volume ocupado quando não está sendo utilizado.

4.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

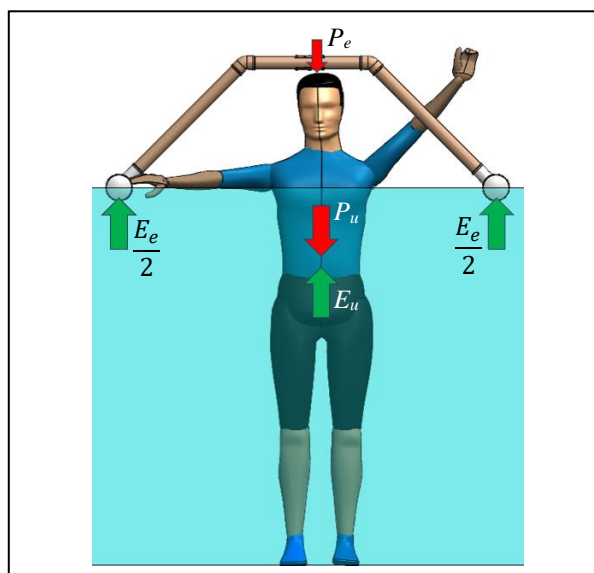
O dimensionamento da estrutura foi dividido em duas partes principais, sendo que para cada uma delas foram levados em conta diferentes aspectos no momento dos cálculos.

- a) flutuadores: denominação dada às duas partes laterais, que ficam em contato com a água, que servem para manter o conjunto flutuando;
- b) pórtico: denominação dada à estrutura que fica acima do nível da água, e que consiste em dois arcos com forma trapezoidal, que além de unir os flutuadores, também servem para prender o cinto que sustenta o usuário.

4.2.1 Dimensionamento dos flutuadores

Os flutuadores são os elementos responsáveis por sustentar o peso próprio do equipamento (P_e) e do usuário (P_u), os quais também estarão sob ação das respectivas forças de empuxo (E_e ; E_u) conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de corpo livre das forças atuantes na estrutura flutuante.



Fonte: o autor (2024)

A condição primária para a flutuação é que as forças de empuxo sejam superiores ao peso próprio dos objetos imersos. A massa e a densidade do indivíduo referência deste trabalho valem 102,7 kg e 1100 kg/m³ respectivamente (Tabela 1). Com isso, é possível calcular o volume corporal correspondente igual a 0,09336 m³. Quanto maior for o volume imerso da

pessoa, maior será a força de empuxo gerada (Equação 1) e menor será a força de empuxo requerida dos flutuadores. Considerando a estrutura flutuante com massa igual a 7 kg, a água com densidade de 1000 kg/m^3 e tomando por base a aceleração da gravidade que vale $9,81 \text{ m/s}^2$, pode-se elaborar a seguinte equação com o equilíbrio de forças.

$$P_e + P_u = E_e + E_u$$

$$9,81 \cdot (7 + 102,7) = 1000 \cdot (V_e + V_u) \cdot 9,81$$

$$V_e + V_u = 0,1097$$

$$V_e = 0,01634 \text{ m}^3$$

Considerando que o equipamento vai contar com dois flutuadores tubulares cilíndricos de 1,5 m de comprimento, é possível determinar o diâmetro mínimo necessário para obter o volume calculado anteriormente, resultando em 83,3 mm. Comercialmente, os tubos de PVC com diâmetro imediatamente superior ao calculado têm cota nominal de 100 mm. Essa dimensão é considerada adequada pois oferece uma margem de segurança de 44% em relação ao volume requisitado.

4.2.2 Dimensionamento do pórtico

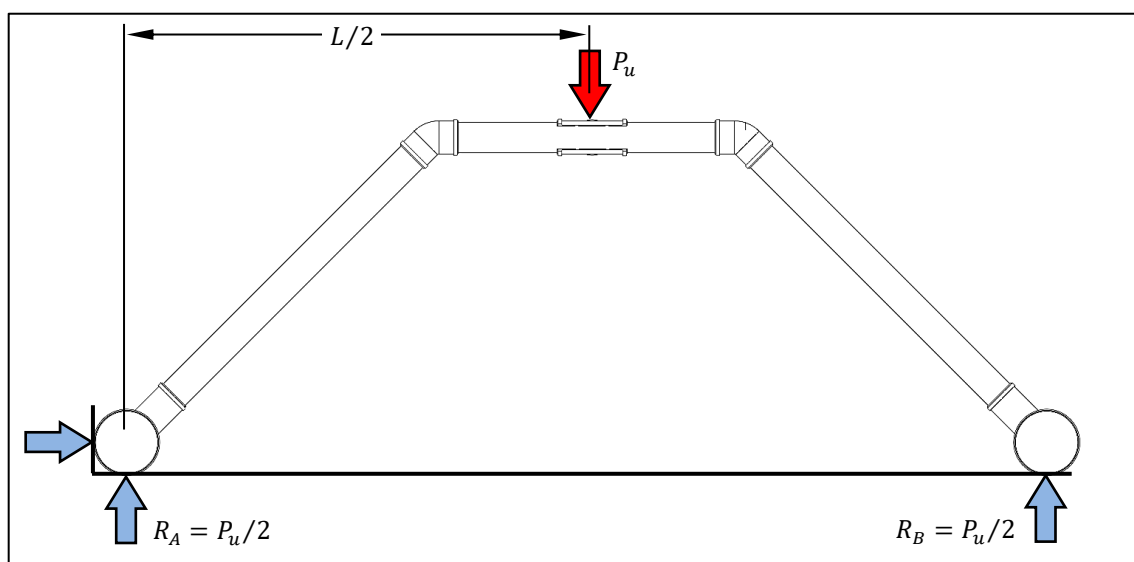
Para a construção do pórtico, foi preestabelecido o uso do tubo de PVC marrom de 50 mm de diâmetro externo e 44 mm de diâmetro interno. Foi escolhida essa bitola devido ao fato das conexões em forma de “T” necessárias para a união do pórtico com os flutuadores estarem disponíveis comercialmente somente na configuração de 100 mm com derivação para 50 mm. Na configuração conceitual adotada, os pórticos estão submetidos ao efeito do momento fletor causado por uma força central concentrada, com as extremidades simplesmente apoiadas nos flutuadores, formando um vão de 1,5 m. Dessa forma, a tensão de flexão máxima ocorre no centro do vão, considerando uma condição extrema em que o peso total da pessoa é sustentado por um único pórtico. O valor resultante é obtido a partir da Equação 3, com base nas forças mostradas no diagrama de corpo livre da Figura 20.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{P_u}{2} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{D}{2}}{\pi \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{64}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{1007}{2} \cdot \frac{1500}{2} \cdot \frac{50}{2}}{\pi \cdot \frac{(50^4 - 44^4)}{64}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 76,9 \text{ MPa}$$

Figura 20 - Diagrama de corpo livre da força peso de uma pessoa sobre um único pórtico



Fonte: o autor (2024).

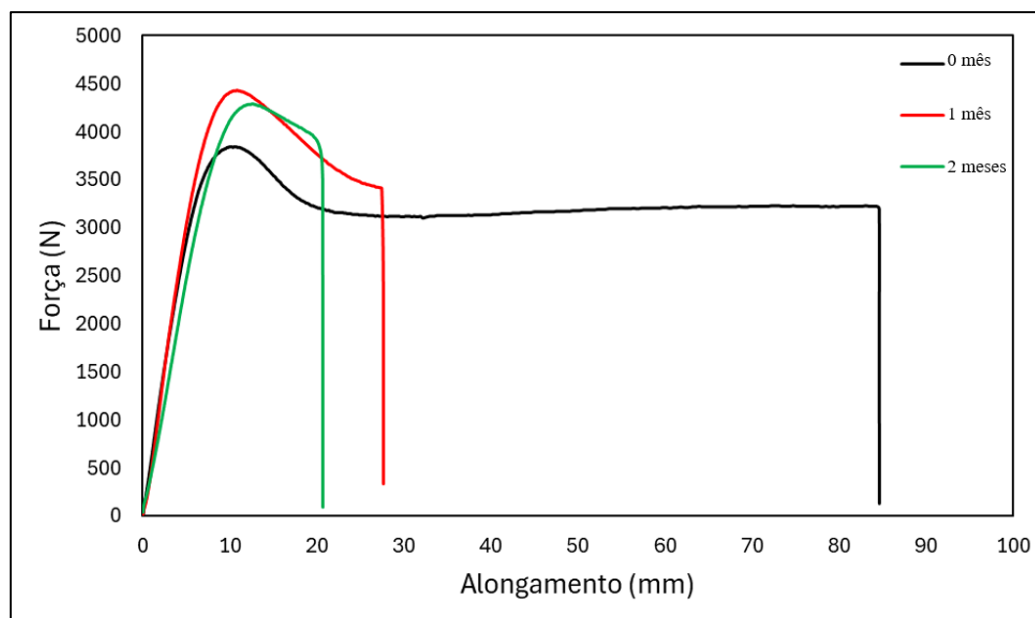
Embora a estrutura proposta não tenha a função de sustentar o peso total de uma pessoa fora da piscina, essa é uma possibilidade que precisa ser considerada pois pode ocorrer. Com base nos valores de resistência à tração mostrados no Quadro 1, observa-se uma condição que poderia causar a ruptura do produto. Portanto, os ensaios mecânicos para a obtenção dos valores de resistência do material são necessários para avaliar o nível de segurança da estrutura.

4.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas dos tubos de PVC foram analisadas para três grupos de amostras, separados de acordo com o tempo que ficaram expostos a ambiente semelhante aos

de piscinas utilizadas para a prática de atividades aquáticas: 0 mês, 1 mês e 2 meses. O gráfico da Figura 21 mostra as curvas de força e alongamento de três corpos de prova inteiriços selecionados de cada grupo.

Figura 21 - Curvas de força e alongamento de amostras de tubo inteiriços de PVC.



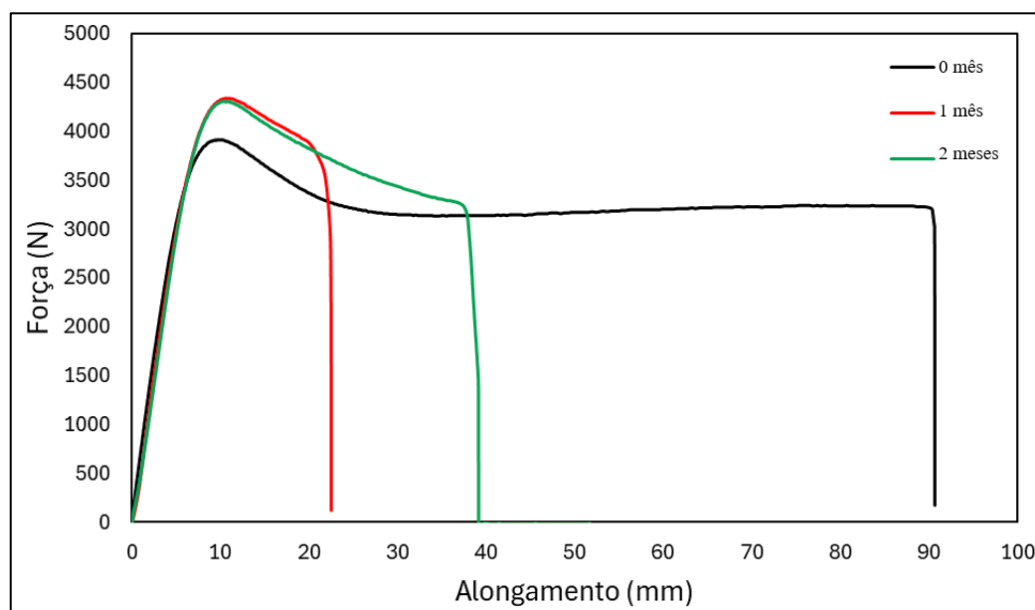
Fonte: o autor (2024)

Todas as amostras apresentam um pico de resistência máximo que se segue para um patamar de força inferior. Um efeito observado entre os grupos de amostra está no aumento de resistência mecânica da ordem de 12% entre o primeiro grupo de amostras e os que ficaram expostos. Da mesma forma, houve um efeito de fragilização do material ainda mais notável. As amostras expostas por 1 mês e 2 meses apresentaram alongamento correspondente a um terço do valor medido nas amostras não expostas. Do ponto de vista da segurança para projetos estruturais, entende-se que não houve prejuízo devido a maior fragilidade, já que a resistência do material não foi comprometida.

O gráfico da Figura 22 mostra as curvas de força e alongamento de três corpos de prova bipartidos e colados com luva, selecionados de cada grupo.

Os ensaios de tração foram aplicados em amostras bipartidas com uma união feita por meio de luva colada com adesivo plástico. O objetivo deste ensaio foi avaliar uma possível redução da resistência mecânica promovida pela união colada. Tal efeito não ocorreu, como pode ser observado nos valores máximos de resistência atingidos estarem da mesma ordem dos valores obtidos para os tubos inteiriços.

Figura 22 - Curvas de força e alongamento de amostras de tubo bipartido/colado de PVC.



Fonte: o autor (2024)

A Tabela 3 conta com os resultados médios e os desvios padrão das tensões máximas e alongamentos máximos medidos nas amostras submetidas a ensaio de tração.

Tabela 3 - Resultados de tensão máxima e alongamento na ruptura das amostras sob tração.

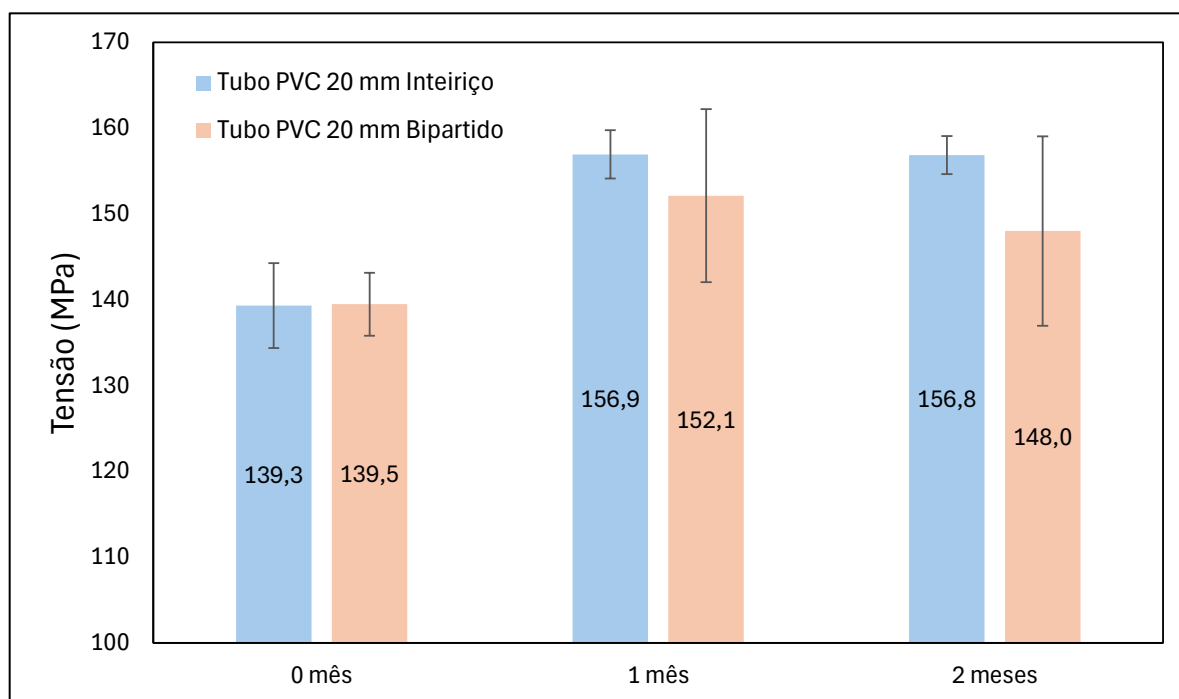
Tempo de Exposição	Corpos de Prova Inteiriços (ATI)		Corpos de Prova Colados (ATC)	
	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (mm)
0 mês	139,3 ± 4,9	105,4 ± 18,1	139,5 ± 3,66	72,5 ± 32,5
1 mês	156,9 ± 2,8	46,7 ± 40,8	152,1 ± 10,1	15,0 ± 7,54
2 meses	156,8 ± 2,2	39,7 ± 16,7	148,0 ± 11,0	46,1 ± 35,7

Fonte: o autor (2024)

Em geral os resultados de tensão apresentam desvios menores do que os observados nos resultados de alongamento. No mesmo grupo de amostras, observou-se uma variabilidade significativa, com alguns corpos de prova falhando de forma frágil, enquanto outros exibiram grandes valores de alongamento, conforme ilustrado nos gráficos do Apêndice A.

A Figura 23 mostra na forma de um gráfico de colunas as tensões máximas obtidas para as amostras ensaiadas sob tração. O gráfico mostra a semelhança de resultados na comparação entre amostras inteiriças e coladas, além de ilustrar o aumento nos valores médios de resistência das amostras que ficaram expostas pelo período de 1 e 2 meses.

Figura 23 - Tensões máximas obtidas em ensaio de tração de amostras de tubos de PVC



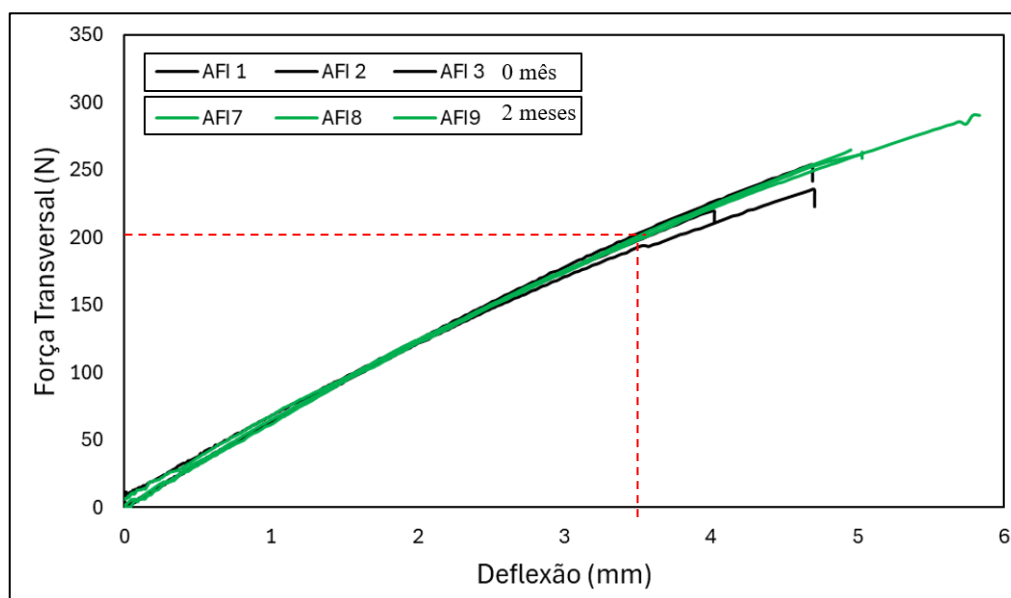
Fonte: o autor (2024).

De acordo com Mazitova et al. (2020), os produtos de PVC recebem o aditivo plastificante dioctil-ftalato (DOP), com finalidade de ajuste de propriedades tanto para a fabricação quanto para a aplicação. A degradação dos polímeros e, conseqüentemente de seus aditivos, é um processo complexo. O contato durante longos períodos de tempo com solo, água, radiação solar, calor, promovem reações químicas na matriz polimérica, causando a quebra das longas cadeias poliméricas. No caso do PVC, a degradação pode reduzir sua ductilidade.

Juntamente com os ensaios de tração, foram realizados ensaios não destrutivos de flexão das amostras de tubos de PVC inteiros de 20 mm de diâmetro. A Figura 24 mostra um gráfico com resultados de deflexão das amostras em ensaio de flexão de 3 pontos com distância entre apoios igual a 200 mm. Neste caso, foram ensaiadas as amostras do primeiro grupo (sem exposição) e do terceiro grupo (60 dias de exposição), sendo que não foram observadas mudanças sensíveis nas curvas obtidas.

Por fim, a comparação das tensões máximas suportadas pelos tubos de PVC, indicam que mesmo sob ação da condição de carregamento adotada no item 4.2.2, a estrutura contaria com um coeficiente de segurança mínimo da ordem de 1,8.

Figura 24 - Flecha medida em ensaio de flexão de 3 pontos de amostras de tubo de PVC



Fonte: o autor (2024)

O ensaio de flexão permite calcular a flecha máxima ($\delta_{máx}$) para vigas biapoiadas, possibilitando a estimativa do módulo de elasticidade do material, conforme descrito na Equação 6.

$$\delta_{máx} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (6)$$

$$3,5 = \frac{200 \cdot 200^3}{48 \cdot E \cdot \frac{\pi}{64} \cdot (20^4 - 17^4)}$$

$$E = 2537 \text{ MPa}$$

Da mesma forma, é possível calcular a deflexão máxima resultante da ação do peso de uma pessoa sobre a estrutura de um único pórtico do conjunto, o que resultaria no valor teórico de 227 mm. Essa é considerada uma deflexão excessiva para um vão de 1,5 m podendo causar o colapso da estrutura, especialmente nas uniões entre o pórtico e os tubos de flutuação.

4.4 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Após finalizada a etapa dos cálculos para a validação do dimensionamento proposto para a estrutura, foi feita a aquisição, em lojas especializadas, dos itens necessários para a construção do protótipo. O Quadro 5 apresenta uma lista dos itens utilizados, com os respectivos preços, e também o custo total para construção da estrutura.

Quadro 5 - Lista de componentes e valores.

Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Tubo branco 100 mm	3 m	R\$ 13,45	R\$ 40,35
Tubo marrom 50 mm	5 m	R\$ 15,86	R\$ 79,25
Tampão 100 mm	4 un	R\$ 5,82	R\$ 23,28
T de redução liga fácil 100x50 mm	4 un	R\$ 42,00	R\$ 168,00
T marrom 50 mm	2 un	R\$ 8,70	R\$ 17,40
Curva 45° marrom 50 mm	4 un	R\$ 7,80	R\$ 31,20
Adesivo plástico (50 g)	1 un	R\$ 6,30	R\$ 6,30
Lixa água grana 60	1 un	R\$ 0,45	R\$ 0,45
Cinto segurança fixação	1 un	R\$ 144,00	R\$ 144,00
TOTAL			R\$ 510,23

Fonte: o autor (2024)

Dentre os itens que compõem o conjunto observa-se que o maior valor agregado é composto pelas conexões T do flutuador com o pórtico, correspondendo a 33% do custo total. Em seguida, o cinto de segurança representa 28% do custo total do produto, o que se justifica por ser um item de segurança para operações em altura. Dessa forma, conexões T convencionais podem ser adotadas, assim como um cinto de menor custo pode ser desenvolvido para compor o equipamento proposto na sua versão comercial, visando a redução de custo.

A Figura 25 mostra uma imagem do protótipo construído e montado a partir dos itens que foram discriminados. Com exceção do processo de colagem que requer um tempo de secagem e cura de 24 h, o restante do processo de preparação e montagem dos componentes levou cerca de 2 h.

Figura 25 - Imagem do protótipo construído no laboratório mecânico da UCS



Fonte: o autor (2024)

O protótipo construído foi testado em uma piscina da Universidade de Caxias do Sul (Figura 26). Os testes consistiram na avaliação da capacidade de flutuar do produto sob ação do próprio peso e sob a ação do peso de uma pessoa sustentada por um cinto torácico preso à barra de ligação dos pórticos. Neste aspecto, o produto se mostrou seguro, impedindo que a pessoa afunde. Entretanto, um sistema de regulagem de altura do cinto é necessário para ajustes finos de posicionamento. Os testes demonstraram que o usuário possui ampla liberdade de movimentos sob a estrutura.

Testes funcionais de movimentação ao longo da piscina foram realizados e mostraram que quando as extremidades dos flutuadores tocam as raia, o conjunto tende a girar. Esse efeito precisa ser levado em conta para o aprimoramento do produto. A massa total de 7 kg tornou fácil o manuseio da estrutura, não impondo grande esforço. A Figura 26 ilustra diferentes momentos ao longo dos testes práticos realizados na piscina.

Figura 26 - Testes práticos com o protótipo construído (a) colocando e retirando da piscina, (b) verificando a estabilidade/flutuabilidade, (c) ligando o cinturão de segurança à estrutura, (d) praticando o nado, (e) demonstrando espaço na largura e (f) a resistência mecânica.



Fonte: o autor (2024).

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da estrutura flutuante proposta neste trabalho resultou em um possível recurso para auxiliar pessoas com paralisia cerebral em atividades aquáticas. A abordagem seguiu uma metodologia de pesquisa para a geração de ideias, avaliação das propostas conceituais com base em requisitos funcionais e de fabricação, seleção de materiais e avaliação experimental das propriedades mecânicas. A consulta a especialistas e a análise de produtos similares foram importantes para a concepção de três propostas conceituais, sendo uma delas selecionada com base em critérios técnicos.

Esforços e cargas atuantes na estrutura foram determinados com base em cálculos analíticos e referências antropométricas. Isso permitiu o dimensionamento preliminar dos componentes e a definição das forças de peso e empuxo que agem sobre o equipamento.

Para a seleção dos materiais, foram realizadas análises considerando critérios como custo, disponibilidade, peso e facilidade de montagem. Ensaio de tração e flexão em tubos de PVC rígido validaram a escolha do material, evidenciando sua resistência e adequação ao ambiente aquático.

Ensaio complementares, simulando condições de uso, como imersão prolongada e exposição à luz solar, revelaram um aumento de até 12% na resistência à tração das amostras. No entanto, observou-se maior fragilidade nas fraturas, com alongamentos reduzidos a cerca de um terço dos valores originais. Por outro lado, os ensaios de flexão em três pontos não identificaram alterações na rigidez do material. Com isso, foi calculado um fator de segurança da ordem de 1,8 contra a fratura em uma condição extrema de carregamento. Entretanto a deflexão calculada de 227 mm promovida devido ao peso de uma pessoa sobre a estrutura em terra firme, pode ampliar os momentos fletores a ponto de causar uma falha estrutural.

A escolha do PVC rígido como material principal mostrou-se adequada, especialmente devido à sua disponibilidade, custo acessível e propriedades físicas e mecânicas. Entretanto, é necessário um estudo mais amplo sobre a sua degradação pois os efeitos prolongados podem levar à redução da resistência mecânica, além da fragilização identificada neste estudo.

O protótipo construído e testado em uma piscina confirmou a exequibilidade do projeto e validou parcialmente o produto. Considera-se que este seja um ponto de partida para futuras melhorias e ajustes visando a comercialização. Com isso, espera-se que a estrutura desenvolvida contribua para a inclusão de pessoas com paralisia cerebral em atividades aquáticas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Aplicação de testes práticos para atestar a estabilidade da estrutura;

Avaliação prática da usabilidade do produto;

Ampliação do tempo de exposição par análise do efeito nas propriedades mecânicas do PVC;

Incorporação de um dreno no projeto dos flutuadores para promover a purga da água que pode infiltrar nos tubos;

Estabelecer um prazo de validade para o produto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-OTAIBI, Dhari; ALNASER, Yousef. **Swimming fin for the disabled**. Depositante: Autores. US 10,137,331 B1. Depósito: 6 ago. 2018. Concessão: 27 nov. 2018.

BOBATH, Karel. The neuropathology of cerebral paralysis and its importance in treatment and diagnosis. **Cerebral palsy bulletin**, USA, 1959.

BRAVIM, Eduardo Costa. **Estudo da aplicação de materiais orgânicos em meios corrosivos do processamento primário do petróleo**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Especialidade Engenharia de Inspeção de Equipamentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2009.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquina de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre -RS: McGraw- Hill, 2016.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. São Paulo – SP: McGraw-Hill, 1986.

DOS SANTOS, Claudemilson; OLIVEIRA, Amália Rebouças de Paiva e. Oficina de ideias: desenvolvimento de baliza portátil para prática de goalball por pessoas com deficiência visual. *In*: CONGRESSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA DA UNESP, 8., 2015, São Paulo. **Anais**. Disponível em < <http://hdl.handle.net/11449/142342>>. Acesso em: 10 out. 2020.

FERNANDES, Paulo Roquetti; FERNANDES FILHO, José. Estudo comparativo da dermatoglia, somatotipia e do consumo máximo de oxigênio dos atletas da seleção brasileira de futebol de campo, portadores de paralisia cerebral de atletas profissionais de futebol de campo, não portadores de paralisia cerebral. **Fitness & performance jornal**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 73 p. 157-165, 2004.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. Ed. Rio de Janeiro, LTC – Livros técnicos e científicos editora S.A., 1996.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**, 9. ed. Porto alegre: Bookman, 2002.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MAZITOVA, A.K.; VIKHAREVA, I.N.; MASKOVA, A.R.; GAREEVA, N.B.; SHAIKHULLIN, I.R. Study of the effect of additives on biodegradation of PVC materials. **Nanotechnologies in Construction**. 12 (2) p. 94-99, 2020.

PALISANO, Robert; ROSENBAUM, Peter; WALTER, Stephen; RUSSELL, Dianne; WOOD, Ellen; GALUPPI, Barbara. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. **Dev Med Child Neurol**, USA, n. 38, p. 214-223, 1997.

REHAB STORE, MJM International Aqua Float. Disponível em <https://www.rehab-store.com/p-mjm-international-aqua-float.html>

RUFFINO, Rogério; COSTA, Cláudia Henrique da; ANTÃO, Vinícius Cavalcanti dos Santos; PINHEIRO, Germânia Araújo; JANSEN, José Manoel. **Relação envergadura/altura: um valor para estudos espirométricos em brasileiros**. Pulmão/RJ, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 40-44, 1996.

SBP - Sociedade Brasileira de Pediatria. **Tabelas de Pesos e Estaturas**. Disponível em: https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/img/documentos/valores_referencia.pdf

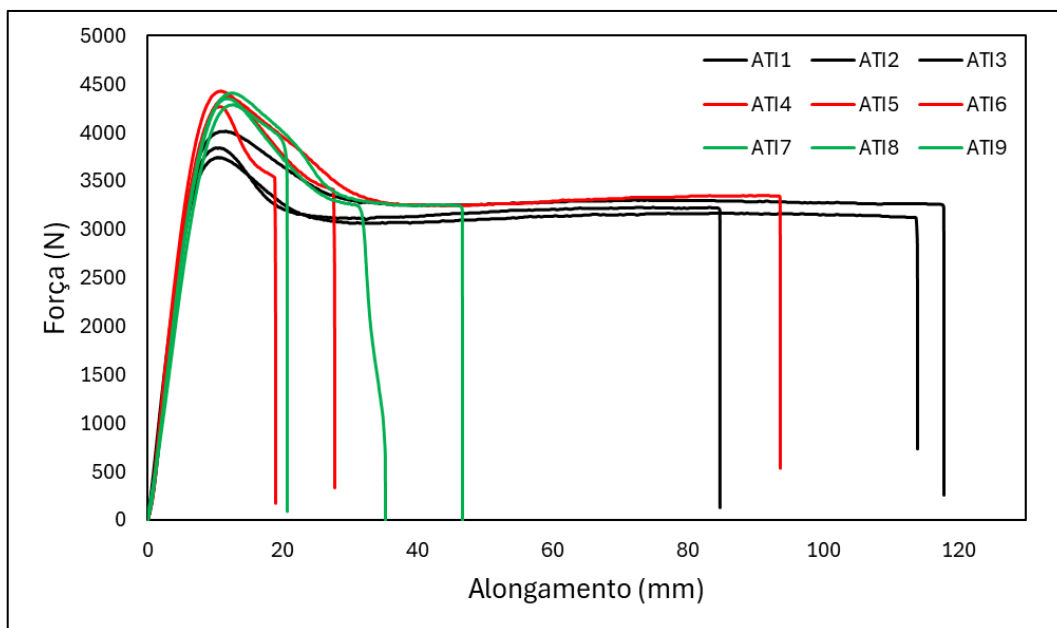
SKINNER, Alison T.; THOMSON, Ann M. **Duffield: exercícios na água**. 3 ed. São Paulo: Manole, 1985.

VIEIRA, Silvia. **Introdução à Bioestatística**. Rio de Janeiro – RJ: Elsevier Editora Ltda., 2016.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de engenharia**. São Paulo – SP: Artliber Editora Ltda., 2005.

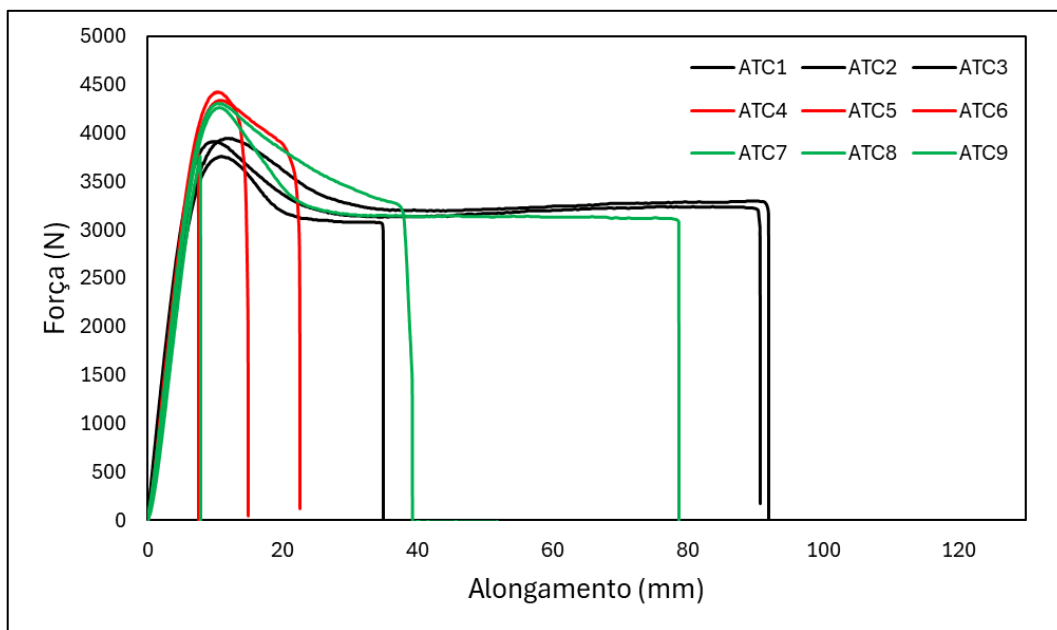
APÊNDICE A

Figura 27 – Ensaio de tração dos corpos de prova de tubo de PVC inteiriços 20 mm



Fonte: o autor (2024)

Figura 28 - Ensaio de tração dos corpos de prova de tubo de PVC bipartidos 20 mm.



Fonte: o autor (2024)