

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

CAIO KENJI OSHIMA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AFERIÇÃO
DE ESFORÇO FÍSICO EM EQUIPAMENTO DE TREINAMENTO DE
SURFE - UM ESTUDO PILOTO**

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO 2019

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA
CAIO KENJI OSHIMA**

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AFERIÇÃO DE ESFORÇO
FÍSICO EM EQUIPAMENTO DE TREINAMENTO DE SURFE - UM ESTUDO
PILOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecatrônica.

Professor Orientador: Luiz Fernando Segalin
de Andrade

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Oshima, Caio Kenji

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AFERIÇÃO
DE ESFORÇO FÍSICO EM EQUIPAMENTO DE TREINAMENTO DE SURFE -
UM ESTUDO PILOTO / Caio Kenji Oshima ; orientação
de Luiz Fernando Segalin de Andrade. - Florianópolis,
SC, 2019.

45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Ergômetro. 2. Arduino. 3. Surfe. 4. Excel. 5.
Esforço. I. Andrade, Luiz Fernando Segalin de. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico
de Metal Mecânica. III. Título.

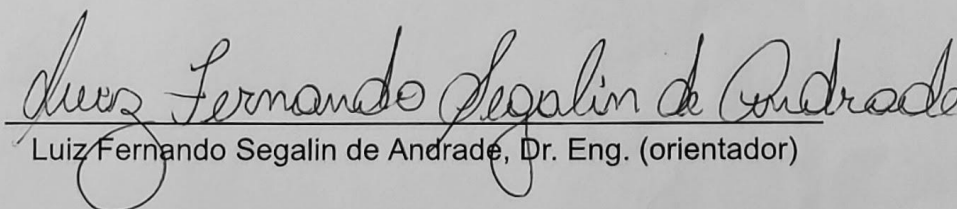
**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AFERIÇÃO DE ESFORÇO
FÍSICO EM EQUIPAMENTO DE TREINAMENTO DE SURFE - UM ESTUDO
PILOTO**

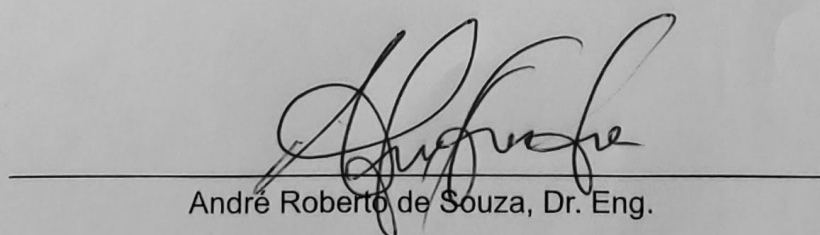
CAIO KENJI OSHIMA

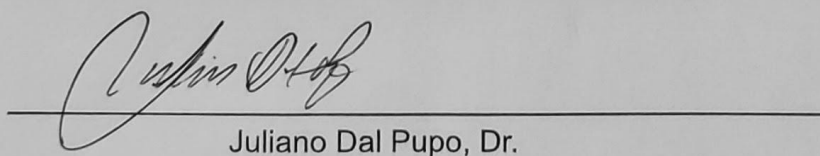
Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de Dezembro de 2019.

Banca Examinadora:


Luiz Fernando Segalin de Andrade, Dr. Eng. (orientador)


André Roberto de Souza, Dr. Eng.


Juliano Dal Pupo, Dr.

RESUMO

O surfe se desenvolveu como esporte, hoje é um esporte olímpico e acredita-se que o nível competitivo dos atletas da modalidade aumentará. Para isto o aperfeiçoamento do esporte necessita de novas técnicas de treinamento e avaliação dos resultados pois atualmente para o surfe não existem métodos específicos e estudos aprofundados sobre o esporte, utiliza-se de adaptações de outros esportes. A avaliação dos resultados e técnicas de treino são diretamente ligadas o desempenho dos atletas e poder medir e avaliar o desenvolvimento é indispensável para a evolução. O Brasil hoje conta com nomes expressivos no esporte, e Santa Catarina é uma referência no quesito e o desenvolvimento experimental e inicial das pesquisas relacionadas feitas no estado traz uma vantagem para os atletas da região. A Surf Evolution é uma empresa do estado que está no mercado fornecendo equipamentos para o treinamento e aprendizagem do esporte, seu equipamento inovador simula o surfe e permite que exercícios específicos do surf sejam treinados. Para a avaliação do esforço o ergômetro é o principal equipamento, usado pela medicina também, para avaliar os limiares anaeróbicos e aeróbicos.

Utilizando os protocolos de avaliação e um ergômetro pode-se treinar e avaliar um atleta especificamente para o esporte. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema para avaliação do esforço realizado no aparelho de treinamento de surfe, possibilitando o desenvolvimento do esporte. Os resultados gerados mostram que é possível criar novas formas específicas de avaliar o surfe e que o equipamento necessita de adaptações para gerar resultados melhores.

Palavras-chave: Ergômetro, Surfe, Esforço, Arduino, Excel, Wingate, automatização.

ABSTRACT

Surfing has developed as a sport and today it is an Olympic sport, it predicted that the competitive standard will increase. For that to happen, the improvement of surfing requires new training techniques and results evaluation, currently there are no specific method and studies about surfing, it is used techniques borrowed from other sports. The evaluation of the results and training techniques are directly related to athlete's performance, being able to evaluate the development it an important part of the evolution of the sport. Brazil has some significant names on surfing, Santa Catarina is one of the references in it, the experimental development and initial researches related to the subject brings a lead to the local athletes. The company Surf Evolution is a local company that provides equipment's to learn and practice surfing, its groundbreaking equipment simulates surfing and allows that specifics surfing exercises to be trained. An ergometer is the main equipment to evaluate and measure the effort, it is also used in the medical field, it can evaluate both anaerobic and aerobic threshold.

Utilizing evaluating protocols and an ergometer it is possible to train and evaluate an athlete to a specifically sport. This thesis shows the development of a process to evaluate the effort made in the equipment to train surfing, allowing further sport development. The results have shown that it is possible to create new specific ways to evaluate surfing and that the equipment needs to be better adapted to create better results.

Key-words: Ergometer, Surfing, Effort, Arduino, Excel, Wingate, automation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Surfe como esporte e competição.....	15
2.2	Movimento de remada.....	15
2.3	Ergômetros.....	16
2.4	Equipamento de treinamento de surfe.....	17
2.5	Análise dos esforços.....	20
2.6	Método de avaliação do esforço.....	21
2.7	Análise das variáveis.....	21
2.8	Aquisição dos dados.....	23
2.9	Análise dos dados.....	26
2.10	Requisitos do projeto.....	26
3.	DESENVOLVIMENTO.....	27
3.1	Determinação da constante elástica da mola.....	27
3.2	Adaptações no equipamento.....	32
3.3	Controle da pré carga da mola.....	32
3.4	Implementação de um encoder para medir distância do cabo.....	33
3.5	Medição dos batimentos cardíacos e nível de oxigênio no sangue.....	35
3.6	Desenvolvimento do programa para os testes de Wingate.....	35
3.7	Tratamento dos dados.....	36
3.8	Estudo para implementação de uma célula de carga.....	38
4.	RESULTADOS.....	44
5.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5.1	Conclusões.....	47
5.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

O surfe é um esporte que envolve uma grande variedade de movimentos, esforços físicos e, na maioria das vezes, a superação de dificuldades para o seu desempenho. Ele está baseado em um conjunto complexo de fatores que afetam a busca de equilíbrio em uma situação de constante instabilidade quando o surfista está sobre a prancha, seja deitado ou em pé. Isto se deve ao fato de a prancha ser sustentada num fluido e o mesmo não conferir uma resistência uniforme à posição de aplicação de força ou de distribuição do peso do conjunto surfista e prancha. Além disso, a velocidade de deslocamento da prancha associada aos constantes efeitos de aceleração e desaceleração envolvidos na prática do esporte afetam o equilíbrio e rendimento físico do surfista.

Assim, a busca do controle do equilíbrio apresenta-se como um dos grandes desafios para o surfista. No entanto, este não é o único fator de dificuldade enfrentado pelos iniciantes no esporte. Outros pontos que os surfistas procuram atingir na prática do esporte são o melhor rendimento do movimento de remada e o desenvolvimento da técnica de furar a onda, conhecida no Brasil pelos praticantes do esporte como “joelhinho”. Apesar de a técnica ser conhecida e difundida pelos praticantes do surfe, ela é de difícil execução, principalmente para os novatos no esporte.

A remada, por sua vez, consiste no movimento alternado dos braços similar ao movimento das braçadas do estilo livre na natação. Com ela o surfista busca vencer o atrito da prancha com a água para superar a distância da praia até a arrebentação ou acelerar a prancha até a velocidade que permita a entrada do surfista na onda.

Isto, associado ao fato que o surfista normalmente permanece um significativo período na água submetido aos efeitos de correntes marítimas, sol, vento, temperatura da água e efeitos do próprio sal, acabam por tornar o esporte bastante exigente do ponto de vista físico. Assim, o condicionamento para a prática do esporte é fundamental.

Além disso, o surfe também se trata de um esporte de competição. Há décadas existe uma associação de surfe profissional que promove campeonatos mundiais. Também, em função dos equipamentos necessários para a sua prática, surgiram várias empresas que ao longo do tempo tornaram-se gigantes em nível internacional. Estas empresas acabaram por investir pesado em marketing e criaram um nicho de mercado em nível mundial associado ao estilo de vida dos surfistas. Dessa forma, o

esporte acaba por movimentar uma grande soma em dinheiro. Conforme reportagem do jornal O Globo de 2016 o surfe movimenta cerca de 7 bilhões de reais ao ano (<https://oglobo.globo.com/economia/surfe-movimenta-7-bi-ao-ano-em-roupas-pranchas-acessorios-20547660>). Toda essa exposição, acabou por motivar a inserção do surfe como esporte olímpico.

O Surf foi introduzido, em dezembro de 2017, pelo comitê olímpico internacional (COI) nos jogos olímpicos, em acordo com a associação internacional do surf (ISA) e a liga mundial do surfe (WSL), aos jogos olímpicos como modalidade esportiva, a qual fará sua primeira participação nos jogos de Tóquio em 2020. Segundo o presidente da WSL *“As Olimpíadas oferecem uma plataforma incrível para qualquer modalidade esportiva e o surfe pode se beneficiar com esta grande oportunidade em 2020. É essencial que possamos aproveitar ao máximo essa oportunidade e a participação dos melhores surfistas do mundo do Championship Tour é fundamental para isso.”* (<https://hardcore.com.br/isa-e-wsl-firmam-acordo-para-os-jogos-olimpicos/>) A expectativa, é que com a introdução do surf nos jogos olímpicos, ocorra uma evolução do rendimento dos atletas no esporte, efeito que pode ser visto em outros esportes após serem introduzidos nos jogos. Notícias como a publicada na Agência Prefixo apontam que "Fundações de esportes municipais registram aumento na procura por modalidades esportivas após Olimpíadas no Rio de Janeiro". Nota-se, a partir disso, a necessidade do desenvolvimento do esporte de alto rendimento no que se refere ao número de atletas nacionais exitosos em grandes competições.

O aumento, manutenção ou mesmo a perda da aptidão aeróbica são dependentes de uma série de fatores: sobrecarga aplicada no treinamento (intensidade, duração da sessão e frequência semanal), estado inicial de condicionamento, fatores genéticos e a especificidade do movimento empregado. Okazaki et al (2012) apontam que: "análises estatísticas do desempenho, análise biomecânica das habilidades motoras, uso do biofeedback para correções do movimento e utilização de simuladores de realidade virtual para otimização do desempenho" são formas de utilizar a tecnologia para o desenvolvimento do esporte de alto rendimento.

Outras formas são o desenvolvimento de centros de treinamento especializados como o Surf Ranch ou o Centro de Treinamento de Alto Rendimento em Atletismo nos Estados Unidos. No Brasil tem-se o Núcleo de Alto Rendimento

(NAR) que foi montado com o objetivo de preparar os atletas da equipe olímpica brasileira para a competição no Rio de Janeiro. Contudo, isto ainda é insuficiente para o sucesso de competidores nacionais frente a equipes de países mais preparados e com melhor estrutura. Assim, surge a demanda de desenvolvimento de pesquisas de forma mais difundida e abrangente. Neste sentido, as universidades brasileiras têm promovido grande parte das pesquisas com a nucleação de grupos de pesquisa intra e interinstitucionais que buscam fazer o desenvolvimento científico na área esportiva.

Apesar disso, existem limitações que vão de questões orçamentárias que impedem a compra de equipamentos para a pesquisa, até problemas de falta de integração com a área tecnológica que impedem o desenvolvimento de pesquisas com maior abrangência. Este problema fica evidenciado na afirmação de Okazaki et al (2012) "outro fator que limita a utilização dessa ferramenta é a falta de estrutura e conhecimento para a coleta, armazenamento e análise dos dados".

McArdle e Katch (2004) definiram ergômetro como sendo um aparato de exercícios que quantifica e normatiza o exercício físico em termos de trabalho e/ou potência. O ergômetro é um aparelho usado na área do esporte para avaliar o esforço do atleta durante o exercício físico, há hoje modelos de ergômetro para esportes específicos, porém não há um modelo específico para o surf.

Nesse cenário, novas formas de treinamento surgem para os atletas obterem melhores resultados. A empresa Surf Evolution criou um simulador de surf para treinamento funcional em academias e para ensinar o esporte, o aparelho foi desenvolvido no IFSC onde se encontra o primeiro protótipo. O aparelho simula o movimento de oscilação lateral da prancha, o movimento de remada com os braços e o movimento de furar a onda com a prancha, os quais são movimentos que exigem esforço do praticante.

Assim, o desenvolvimento de tecnologia e integração com o esporte se faz necessário para a evolução dos atletas, e no cenário atual, o desenvolvimento pioneiro traz uma vantagem aos atletas locais.

1.1 Justificativa

Com a entrada do surf nas olimpíadas se espera que a competitividade aumente no esporte e como na pesquisa feita em junho de 2018 e publicada no artigo A Comparison of Aerobic Fitness Testing on a Swim Bench and Treadmill in a Recreational Surfing Cohort: A Pilot Study (218), o melhor método para avaliar

capacidade aeróbica específica do surf é usando um ergômetro de natação, porém sua disponibilidade limitada representa uma barreira para surfistas que desejam saber seu poder aeróbico máximo. (referenciar)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- a) Desenvolver um sistema que afira o esforço da remada do surf.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Definir o modelo para medir o esforço na remada do surf.
- b) Construção do sistema definido.
- c) Integração com o simulador de surf.
- d) Validação dos resultados por protocolos avaliativos

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Surfe como esporte e competição

Acredita-se que o surf surgiu na Polinésia central e se espalhou até o Havaí onde permaneceu restrito ao mundo. No Brasil, o surfe foi trazido pelos trabalhadores de companhias aéreas que tiveram contato com o surfe fora do país, e teve seu início na praia de Santos e foi se espalhando pelo país ao longo do tempo. (fonte brasil escola https://brasilecola.uol.com.br/educacao-fisica/aprendendo_surf.htm).

O surf competitivo profissional se iniciou em 1964 com a fundação da associação internacional do surf (ISA) (fonte: site ISA), a organização é reconhecida pelo comitê olímpico como autoridade governadora mundial do surf. Hoje a liga mundial de surf (WSL) é a maior organização do surf mundial (fonte site WSL), a organização realiza o torneio anual de surf, o qual tem etapas por praias ao redor do mundo e em cada etapa os competidores somam pontos para se definir o vencedor ao final do torneio. Desses campeonatos, nos anos de 2014, 2015 e 2018 tiveram-se brasileiros como campeões mundiais.

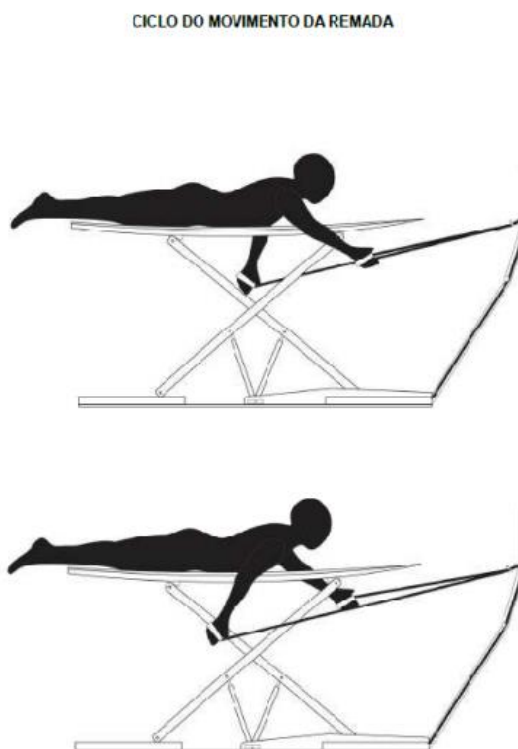
No ano de 2019 o surfe foi incluído nos jogos olímpicos, em um acordo entre ambas as organizações ISA e WSL juntamente com o comitê olímpico para incluir o surf nos jogos. O surf terá sua estreia no ano de 2020 em Tóquio. O evento contará com 20 atletas homens e 20 mulheres e o sistema de qualificação dará abertura para que nomes poucos conhecidos de países sem tanta expressão no esporte consigam uma vaga.

2.2 Movimento de remada

A prática do surf pode ser considerada uma atividade física de intensidade moderada a elevada, e (CAROZZA, 2013) mostra que a remada corresponde a 50% do tempo total gasto durante a prática. A remada é o movimento que o surfista executa com os braços e que propicia que o conjunto surfista e prancha se desloque com uma determinada velocidade sobre a água de forma a ultrapassar a arrebentação, vencer a correnteza e/ou se posicionar no melhor local da onda para “entrar” na onda e assim conseguir surfar, e tem sua fase aérea fora da água que requer velocidade do movimento, e submersa que consiste da força para empurrar a água para trás e se deslocar para frente. É um movimento que exige esforço do atleta, e é executado

extensivamente durante a prática, os principais músculos utilizados são o da parte superior do corpo como na Figura 1.

Figura 1 - Movimento da remada



Fonte: (Segalin, 2016).

2.3 Ergômetros

McArdle e Katch (2004) definiram ergômetro como sendo um aparato de exercícios que quantifica e normatiza o exercício físico em termos de trabalho e/ou potência. Hoje os ergômetros são utilizados para testes e desenvolvimento em atletas e por médicos para diagnósticos de pacientes, e são ferramentas importantes na aquisição de dados biomecânicos. Os ergômetros mais utilizados são os ergômetros de esteira onde a capacidade de corrida do usuário é avaliada, os cíclicos onde a capacidade na bicicleta é avaliada, e os de braços que podem ser em forma de remo ou de natação (Figura 2). Os ergômetros podem fornecer informações importantes para a avaliação dos resultados das cargas aplicadas, algumas variáveis medidas para isso são a potência média, velocidade do ciclo, e batimento cardíaco.

Figura 2 - Ergômetro de natação

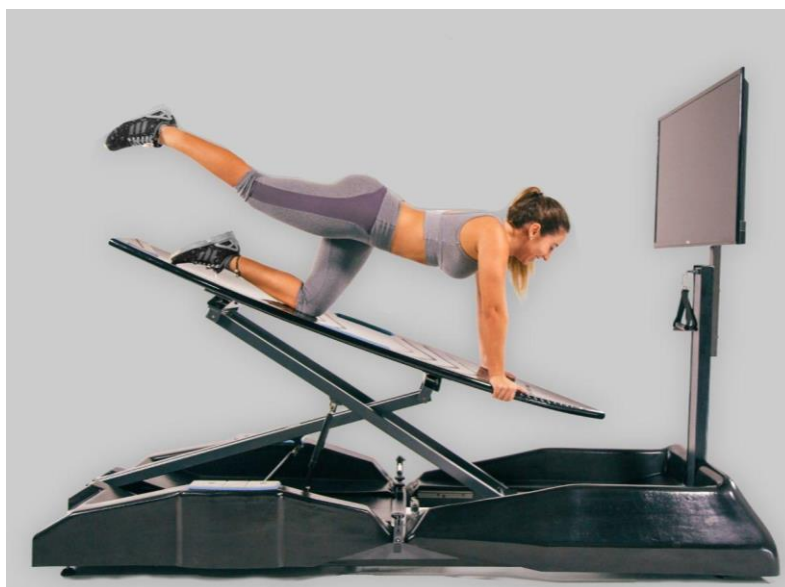


Fonte: Cefise (2019).

2.4 Equipamento de treinamento de surfe

A Surf Evolution foi uma empresa criada em Santa Catarina no ano de 2014 e foi inovadora em criar um simulador de surf (Figura 3). O equipamento possibilita o treinamento, aprendizado do esporte e condicionamento físico simulando os movimentos da prancha na água, com o balanço lateral da prancha e instabilidade para se manter em pé, simula também o movimento necessário para atravessar as ondas, o joelhinho, e o movimento da remada. O protótipo desse equipamento foi desenvolvido no IFSC no ano de 2015, o qual se encontra funcionando na instituição.

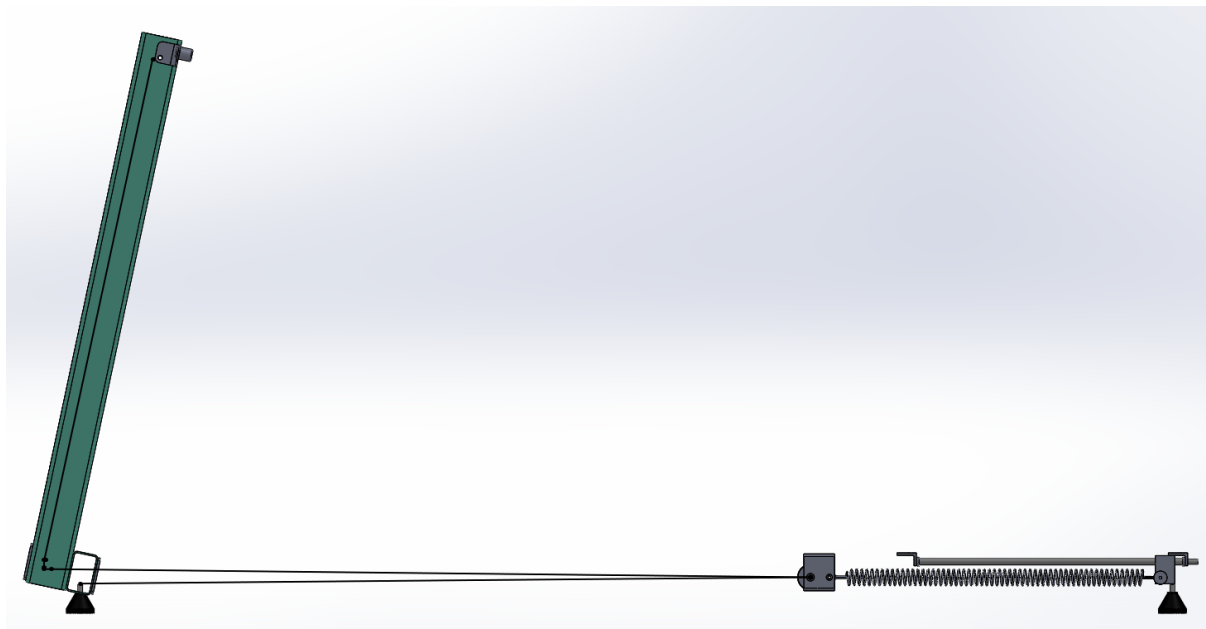
Figura 3 - Equipamento Surf Evolution



Fonte: Surf Evolution (2019).

O movimento da remada é simulado através de um sistema de cabos e polias e a resistência da água é simulada por uma mola que resiste ao tracionamento do cabo (Figura 4). O sistema é composto de um cabo de aço ligado à uma manopla para segurar e à uma mola de pilates para oferecer a resistência da remada, desta forma simulando a resistência da água no surfe.

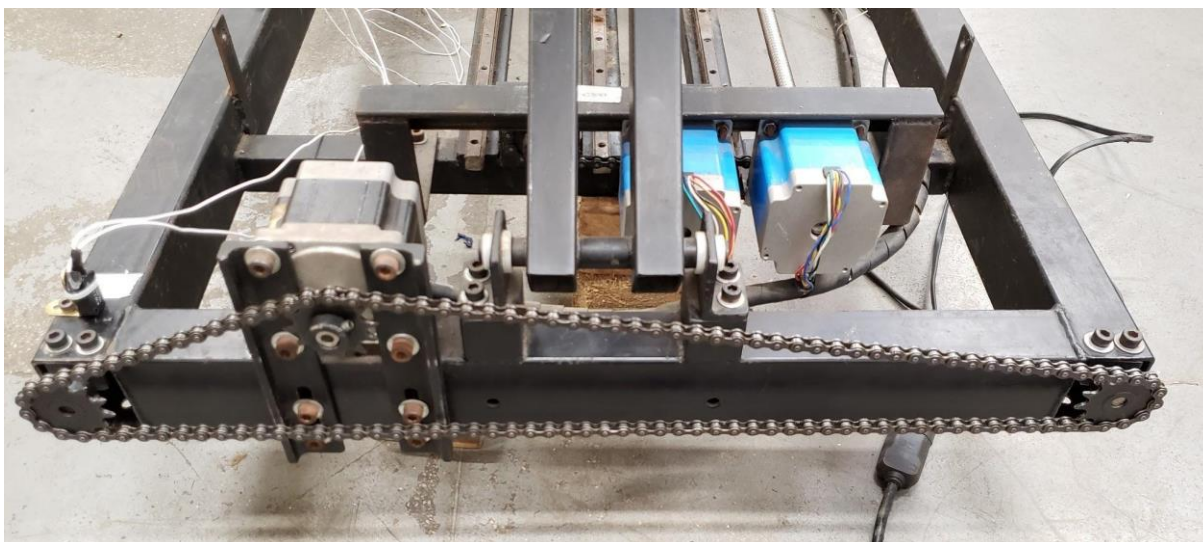
Figura 4 - Sistema de Remada



Fonte: elaborada pelo autor.

O sistema oferece um ajuste de pré carga da mola, isto é, a mola pode ser pré tensionada para ajustar a intensidade da resistência, para isso uma de suas extremidades pode ter sua posição deslocada, essa extremidade é presa à um sistema que é deslocado por uma barra roscada, enquanto que a outra extremidade está presa à uma polia em que o cabo da remada passa. Para ajustar a pré carga um motor de passos move as barras roscadas através do sistema de corrente e pinhões (Figura 5).

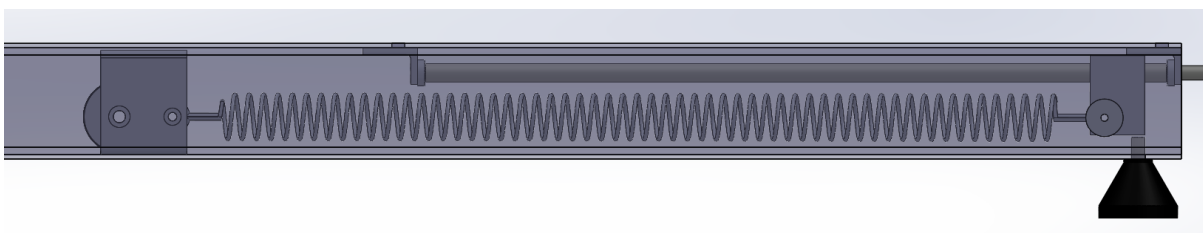
Figura 5 - Sistema de controle da remada



Fonte: elaborada pelo autor.

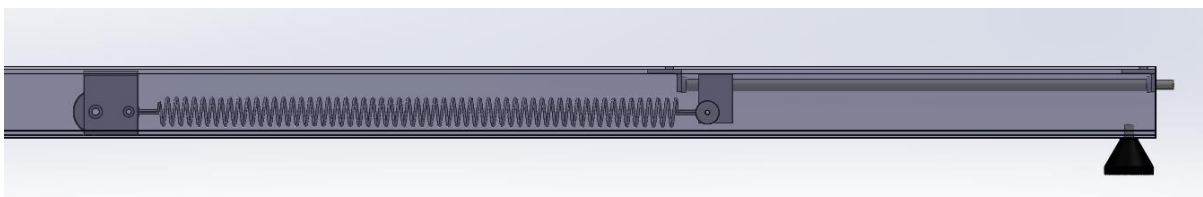
A mola pode ter uma de suas extremidades deslocada dentro de uma faixa de distância de 450 mm entre dois sensores de fim de curso, definindo o máximo de pré carga quando a mola tem a maior deformação (Figura 6) e o mínimo quando tem a menor deformação (Figura 7). O sistema tem uma pré carga mínima inicial, de forma que a mola na sua posição de pré carga mínima tem uma deformação inicial.

Figura 6 - Pré carga mínima da mola



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 7 - Pré carga máxima da mola

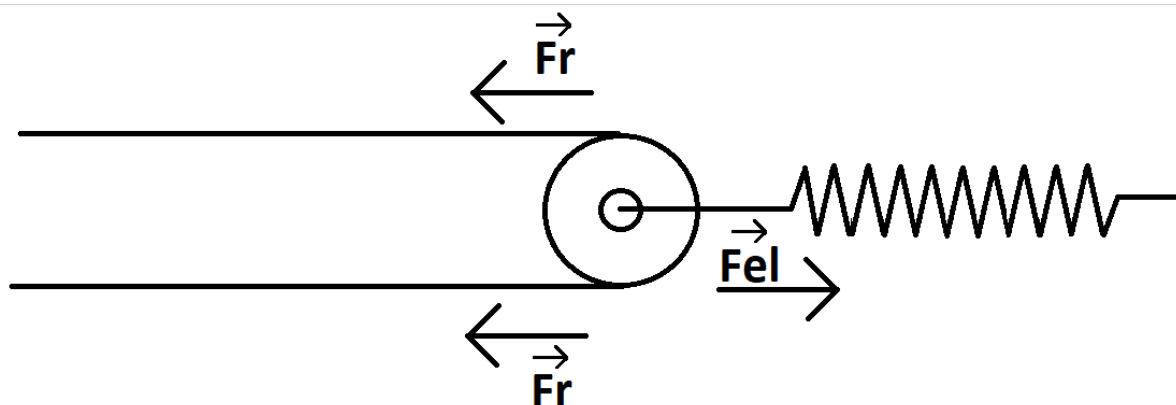


Fonte: elaborada pelo autor.

A outra extremidade é presa em uma polia, essa por sua vez é puxada pelo cabo do sistema de remada, o cabo está fixado na manopla passa pela polia e então

é fixado em um ponto fixo do simulador, essa configuração (Figura 8). tem a finalidade de reduzir a força aplicada pelo usuário pela metade como demonstrado na equação 1.

Figura 8 - Sistema de polia para redução de força



Fonte: elaborada pelo autor.

$$F_{el} = 2 \cdot F_r \quad (1)$$

Onde:

F_{el} = força elástica (N)

F_r = força da remada (N)

Portanto, pode-se definir que a distância da deformação da mola é metade da distância percorrida pelo cabo.

2.5 Análise dos esforços

Os esforços durante os exercícios podem ser descritos em dois tipos de respostas quanto às cargas. As cargas externas se referem ao exercício executado e é igual para todos, isto é, ao realizar um exercício com uma carga de 10 kg ou uma corrida à 10 Km/h estas serão as cargas externas aplicadas aos praticantes da atividade, a carga externa depende apenas do tipo do exercício realizado e da intensidade para ser avaliada. A carga interna é a resposta fisiológica do atleta ao exercício, depende de vários fatores e é diferente para cada pessoa, por exemplo, durante a corrida à 10 Km/h o batimento cardíaco pode variar dependendo da idade, condicionamento físico, alimentação, e mais fatores. Dessa forma, a carga externa pode ser medida de diferentes formas dependendo do exercício realizado, o batimento cardíaco e a análise dos gases expelidos pelo praticante podem avaliar a carga interna exercida. (Teixeira, 2006) A frequência cardíaca vem sendo amplamente

utilizada na avaliação e prescrição de exercícios físicos, devido à linearidade que apresenta junto ao volume de oxigênio consumido. A avaliação do esforço se baseia nas duas cargas, a análise da carga interna gerada em a resposta à carga externa aplicada pode indicar o esforço realizado durante o exercício.

2.6 Método de avaliação do esforço

Para avaliar o esforço existem protocolos de medição que avaliam o esforço durante o exercício. O teste de Wingate avalia a capacidade anaeróbia do indivíduo, “O teste anaeróbio de Wingate tem duração de 30 segundos, durante a qual o indivíduo que está sendo avaliado tenta pedalar o maior número possível de vezes contra uma resistência fixa, objetivando gerar a maior potência possível nesse período de tempo.” (Arruda, 2008) “Neste teste a potência gerada durante os 30 segundos é denominada potência média, e reflete a potência localizada do grupo muscular em exercício, utilizando energia principalmente das vias anaeróbias. A maior potência é gerada em 3 ou 5 segundos e é denominada de potência de pico e fornece informação sobre o pico de potência mecânica desenvolvida pelo grupo muscular utilizado no teste.” (Novais, 2010).

A partir da análise dos esforços e dos resultados e variáveis gerados nos modelos de ergômetros comerciais define-se a potência e o batimento cardíaco serão as variáveis analisada para se medir o esforço durante o exercício.

2.7 Análise das variáveis

De acordo com Mcardle et al. (2003), a potência máxima (pico de potência) é expressa em Watts (W), onde 1 W equivale a 6,12 kg-m/min e é calculada através da Força X Distância (número de revoluções X distância por revolução) ÷ Tempo em minutos.

Halliday e Resnick definem potência como: “A potência desenvolvida por uma força é a taxa com a qual a força realiza trabalho W sobre um objeto, se uma força realiza um trabalho durante um intervalo Δt de tempo, a potência média desenvolvida pela fora nesse intervalo de tempo é dada pela equação 2:

$$P = W / t \quad (2)$$

Onde:

P =Potência (W)

W = Trabalho (J)

t = tempo (s)

Então para determinar a potência é necessário calcular o trabalho e medir intervalo de tempo de realização do trabalho. Segundo Halliday e Resnick trabalho é o ato de transferir energia, e para uma força aplicada em uma partícula pode-se definir o trabalho pela equação 3:

$$W = F \cdot \Delta x \quad (3)$$

Onde:

W = trabalho (J)

F = força aplicada (N)

Δx = deslocamento (m)

No caso da remada do surfe a energia é a força aplicada no movimento da remada, no simulador de surf da Surf Evolution, em questão, essa energia é a força aplicada nas molas que fazem a resistência ao movimento da remada. Por tanto a para determinar o trabalho realizado deve-se medir a força aplicada ou o deslocamento realizado. A força aplicada à uma mola é dada pela lei de Hooke na equação 4:

$$F_{el} = k \cdot \Delta x \quad (4)$$

F_{el} = força elástica (N)

k = constante elástica (N/m)

Δx = deslocamento (m)

Onde K é constante elástica da mola e Δx é a deformação da mola. Portanto, o trabalho de uma força elástica é pela equação 5:

$$W_s = \frac{1}{2} k [x_f^2 - x_i^2] \quad (5)$$

Onde:

W_s = Trabalho da mola (J)

k = constante elástica (N/m)

x_f = posição final (m)

x_i = posição inicial (m)

Portanto a potência da mola pode ser definida em termos de trabalho pela equação 6:

$$P = \frac{1}{2} k [x_f^2 - x_i^2] / t \quad (6)$$

Onde:

P = Potência (J)

k = constante elástica (N/m)

xf = posição final (m)

xi = posição inicial (m)

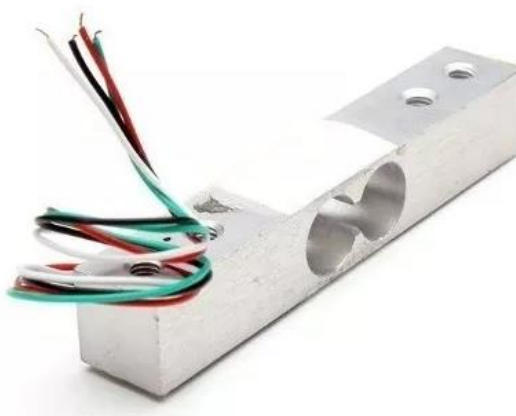
t = tempo

2.8 Aquisição dos dados

Para a aquisição dos dados de medição, um microcontrolador de baixo custo Arduino Mega pode ser utilizado para o projeto. Suas portas digitais e analógicas podem ser utilizadas para leitura de sensores e controlar o motor. O Arduino pode também realizar a marcação de tempo com resolução de microssegundos quando necessário através do seus Timers internos, além de permitir uma comunicação com programas externos para tratamento de dados, criação de interfaces interativas.

Para medir a força necessita-se de um sensor específico para a tarefa, Segundo Daniel Thomazini e Pedro Urbano Braga de Albuquerque extensômetros elétricos são utilizados para medir deformações em diferentes estruturas e associados à instrumentos especiais possibilitam a medição de força. Uma das formas de medir a força é pela deformação aplicada na estrutura e como mostrado em (Oliveira, Caballero, Barth, Carlos, & Loss, n.d.). Os tipos existentes de células de carga são de compressão, Beam, single point e tração. Para medir a força em um cabo o tipo de tração é o recomendada, mas seu alto custo e faixa de operação de peso a inviabiliza para o projeto. Desse modo a alternativa é a célula de carga de single point de 20kg que funciona por flexão mas tem baixo custo e a faixa de medição é adequada (Figura 9).

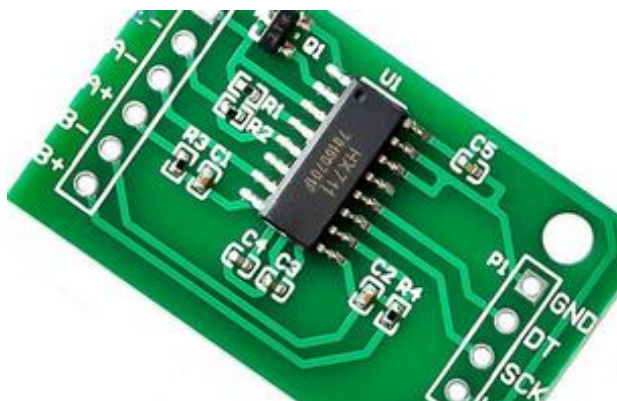
Figura 9 - Célula de carga



Fonte: FilipeFlop (2019).

A célula de carga funciona gerando um sinal em tensão pela pequena diferença de resistência nos Strain gages posicionados na sua estrutura quando deformados. Esse sinal precisa ser amplificado e tratado, e um módulo conversor HX711 amplifica e faz a comunicação entre a célula de carga e o instrumento que realiza a aquisição de dados (Figura 10).

Figura 10 - Conversor HX711



Fonte: FilipeFlop (2019).

No caso do simulador de surf, pode-se medir a deformação realizada pela força aplicada no cabo que puxa a mola durante o movimento da remada.

Para medir a deslocamento pode se medir a distância percorrida pela mola no movimento da remada, a mola é puxada pelo cabo que passa pelo sistema de polias, e um encoder incremental KY-040 acoplado em uma das polias pode medir o deslocamento do cabo que puxa a mola.

O batimento cardíaco necessita de um sensor específico e que possa ser utilizado pelo Arduino, um pulso oxímetro é um equipamento que pode medir pulso e saturação de oxigênio no sangue. O sensor MAX30100 (Figura 11) atende aos requisitos e oferece uma biblioteca com exemplos para serem aproveitados. O sensor funciona emitindo luz por dois LEDs, um na faixa de comprimento de onda vermelha e outro na faixa de infravermelho, a absorção da luz que penetra na pele é medida, e dependendo da quantidade de oxigênio no sangue a proporção entre a luz vermelha e luz infravermelha serão diferentes. O sensor deve ser posicionado na ponta do dedo ou lóbulo da orelha, basicamente onde a pele não é muito grossa para que a luz penetre.

Figura 11 - Sensor MAX30100



Fonte: FilipeFlop (2019).

2.9 Análise dos dados

Os protocolos de avaliação geram uma quantidade de dados grande para serem analisados no Arduino podendo causar imprecisões nas medidas, especialmente nas medidas de tempo. Por isso, o Excel facilita a análise e apresentação dos resultados. Para isso a ferramenta Arduino Excel (Roberto Valgolio, 2016) possibilita a interface entre as duas plataformas. Dessa forma pode-se automatizar uma planilha para apresentar os dados de forma fácil de interpretar e analisar.

2.10 Requisitos do projeto

Analisando a bibliografia existente e seguindo na linha de pesquisas sobre o assunto, chegou-se juntamente com a equipe de pesquisadores do laboratório de

esforço físico da UFSC, a uma lista de requisitos necessários para o desenvolvimento do projeto, são eles:

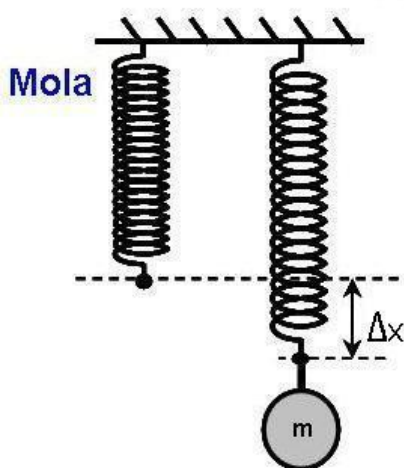
- Regular a carga externa da remada do surf
- Medir a carga interna do usuário
- Medir a potência gerada pelo usuário
- Executar o protocolo de Wingate
- Apresentar os valores de potência e batimentos cardíacos

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Determinação da constante elástica das molas

Para determinar a constante da mola foi necessário realizar testes com as molas. Pela lei de Hooke para determinar a constante elástica das molas é necessário saber a força aplicada e a deformação que esta causa (Figura 12).

Figura 12 - Teste com mola



Fonte: FilipeFlop.

Para isso foram usados massas calibradas de 7,25 kg, 8,00 kg, e massas de 1,00 kg para fazer o incremento de peso, além de um paquímetro para medir a deformação. O teste foi realizado com 5 molas de pilates para seleccionar o par com constante elástica similar, primeiramente as molas foram medidas sem carga (Figura 13).

Figura 13 - Medição do comprimento inicial



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após as molas serem penduradas em uma das suas extremidades no guindaste o peso foi pendurado na outra extremidade (Figura 14), após a mola ter estabilizado, e a deformação foi medida e os valores de deformação anotados na tabela 1.

Figura 14 - Realização do teste



Fonte: Elaborada pelo autor.

O teste se iniciou com 7,25 kg e depois com 8 kg, acrescentando 1,00 kg até atingir 14,00 kg. A força exercida na mola é a força peso, calculada por:

$$P = m \cdot g \quad (7)$$

Onde:

P = força peso (N)

m = massa (kg)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

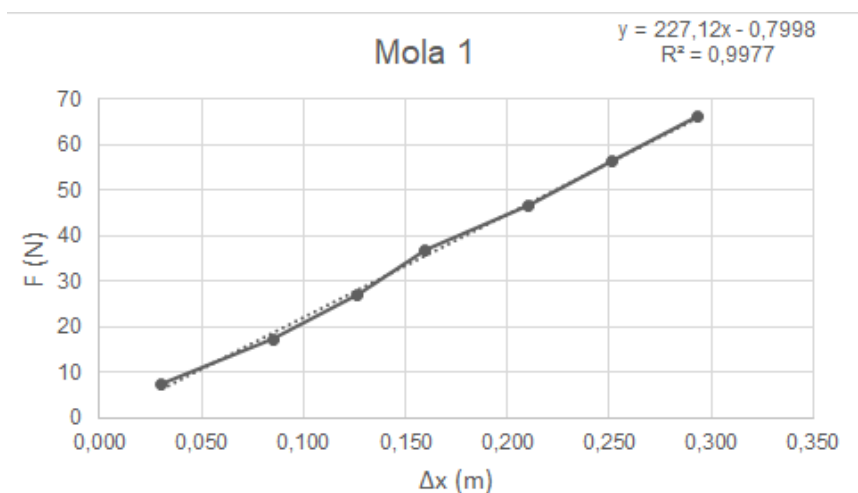
Tabela 1 – Deformação das molas no teste realizado

	m (Kg)	Deformação (mm)								
		0,00	7,25	8	9	10	11	12	13	14
Mola	1	443,4	631	661,6	716	757,8	790,8	841,6	882,5	924,7
	2	444,2	677,8	711,2	759,3	795,3	837,3	883	925,7	962,9
	3	451,7	696,5	730	780,2	816	855,7	904,9	943,3	989,9
	4	453,3	683	720	770,1	814,5	848	897,3	936,4	979,8
	5	470	491,3	505,6	513,9	532	537,7	554,2	560,7	575,2

Fonte: elaborada pelo autor.

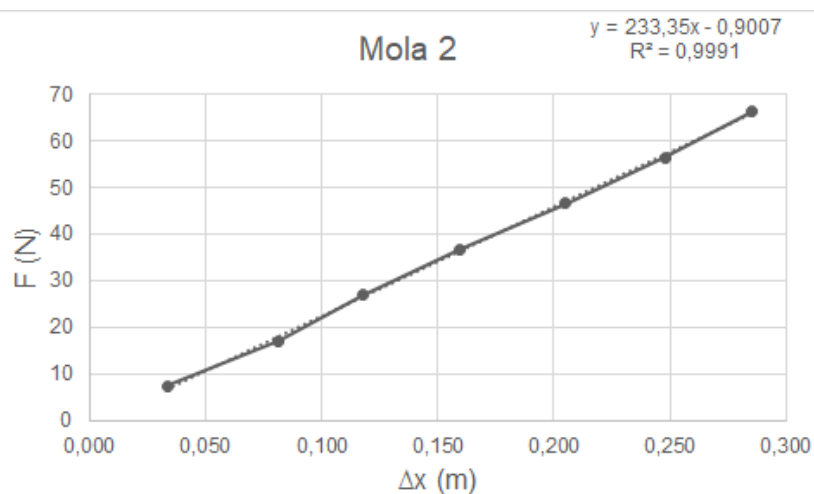
Para gerar os gráficos foi desconsiderado o valor do tamanho da mola sem carga, pois foi analisado que a mola não apresenta um comportamento linear na faixa inicial de deformação já que existem fatores como a construção, os ganchos de fixação e uma carga inerente ao formato da mola em posição de repouso. Os resultados de força por deformação geraram as seguintes figuras:

Figura 15 - Resultado mola 1



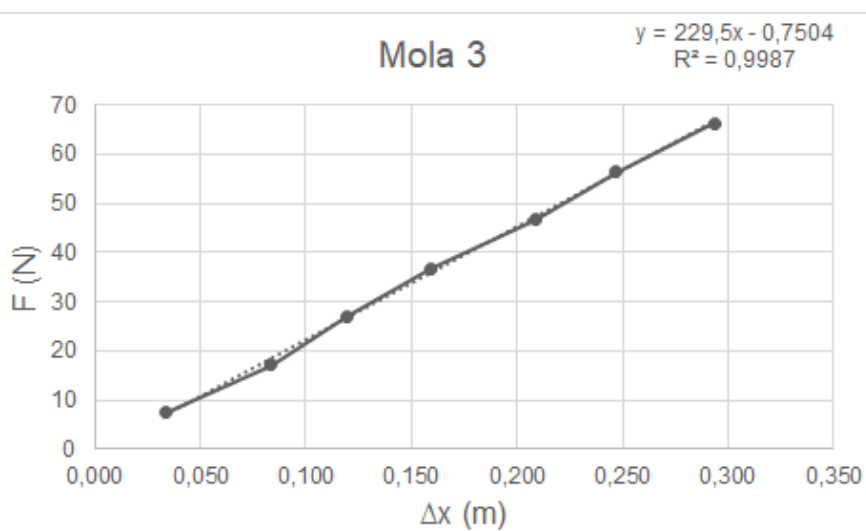
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 16 - Resultado mola 2



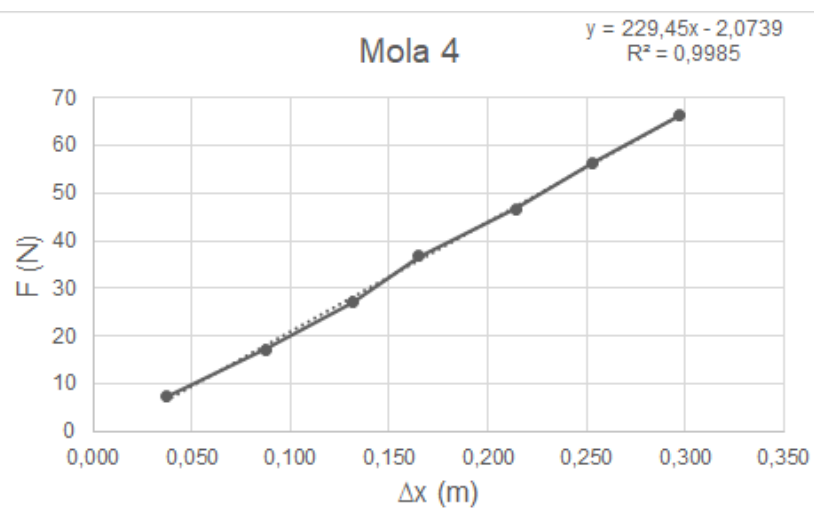
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 17 - Resultado mola 3



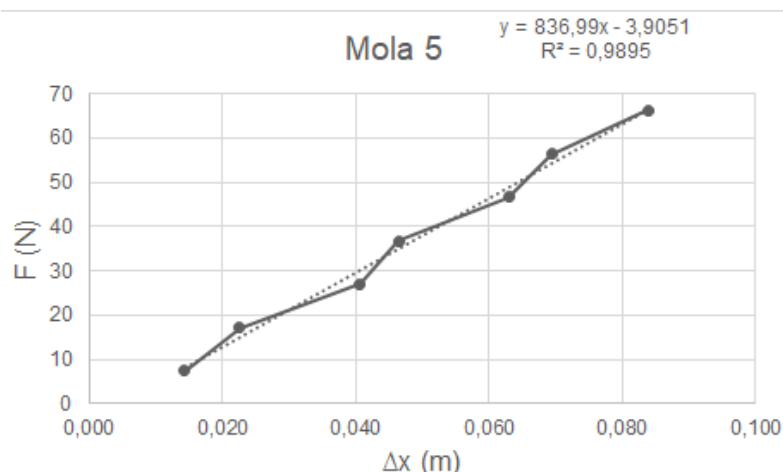
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 18 - Resultado mola 4



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 19 - Resultado mola 5



Fonte: elaborada pelo autor.

Analizou-se os gráficos e pode-se notar que as molas apresentam um comportamento esperado segundo a lei de Hooke, e que as molas 3 e 4 têm o coeficiente semelhante, porém a mola 2 tem o comportamento mais linear apresentado, e que a mola 5 apresenta o maior coeficiente. O valor inicial, isto é, o termo independente da equação gerada é desconsiderado pois indicaria que haveria uma força aplicada sem antes haver deformação. O coeficiente linear da equação é o valor da constante elástica.

Portanto, as constantes elásticas das molas estão na tabela 2:

Tabela 2 – Constante elástica das molas

Mola	1	2	3	4	5
K (N/m)	227,12	233,35	229,5	229,45	836,99

Fonte: elaborada pelo autor.

Para o equipamento foram selecionadas as molas 3 e 4 devido seu coeficiente serem similares, dessa forma o esforço em cada braço seria o mesmo durante o movimento da remada. As molas substituíram as molas que estavam no equipamento e apresentavam desgaste.

3.2 Adaptações no aparelho

O simulador tem o movimento vertical da prancha, este é capaz de simular o movimento de afundar a prancha na água e a instabilidade durante a prática. Este movimento não foi utilizado visto que durante a etapa da remada o praticante se posiciona com a prancha apontada para cima. Por tanto por motivos de segurança foi necessário impedir o simulador de realizar este movimento (Figura 22), a parte móvel do sistema foi travada com uma barra fabricada para impedir que essa deslize sobre as guias.

Figura 20 - Fixação de segurança

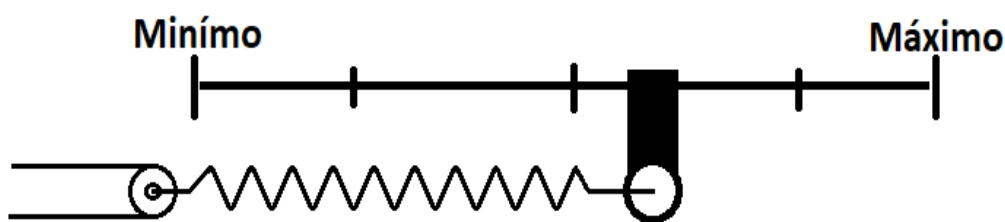


Fonte: elaborada pelo autor.

3.3 Controle da pré carga da mola

O controle da pré carga é feita pelo motor de passos, o qual através da corrente gira os pinhões das barras roscadas e ajusta a posição da extremidade da mola. Através dos valores mínimos e máximos de pré carga o sistema pode se ajustar de acordo com a intensidade deseje, isto é, o sistema pode ajustar a posição de deformação inicial entre 140 mm até 550 mm em até 20 divisões (Figura 21).

Figura 21 - Níveis de pré carga



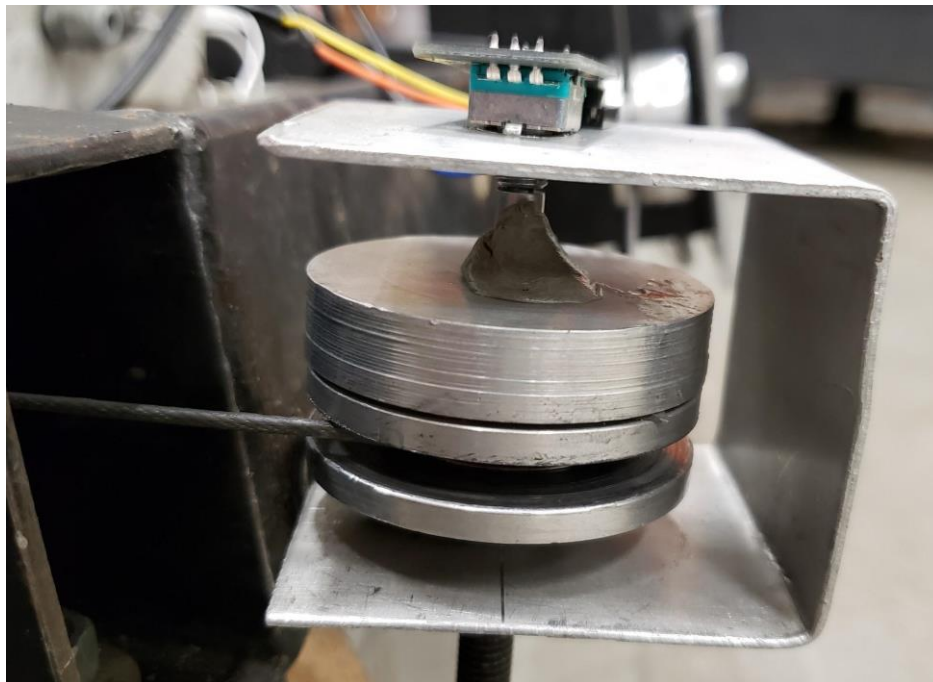
Fonte: elaborada pelo autor.

Para isso foi criado um programa no Arduino para controlar o movimento do motor. O programa inicia definindo os pontos máximo e mínimo movimentando o motor até os sensores de fim de curso, primeiramente o máximo e depois o mínimo, dessa forma o programa tem o valor de distância entre os pontos e pode definir as posições de pré carga da mola entre eles. O controle do motor foi feito usando o Arduino para enviar pulsos para o driver do motor de passos através de suas portas digitais.

3.4 Implementação de um encoder para medir distância do cabo

O encoder foi acoplado na polia com um suporte fabricado (Figura 22):

Figura 22 - Encoder posicionado



Fonte: elaborada pelo autor.

Para medir a deformação das molas pode-se medir o deslocamento do cabo durante a remada, para isso foi utilizado encoders acoplados nas polias do sistema, o encoder, assim, mede as revoluções da polia.

O encoder utilizado tem uma resolução de 20 pulsos por volta, isto significa 1 pulso a cada 18° , para determinar o comprimento de arco por pulso:

$$l = \frac{\alpha \pi R}{180} = \frac{18\pi 15}{180} = 4,71 \quad (8)$$

Onde:

l = comprimento de arco (m)

α = ângulo de abertura do comprimento de arco ($^{\circ}$)

R = raio (m)

$\pi = 3,1416$

Portanto, para a polia utilizada o encoder tem uma resolução de 4,71 mm por pulso. O Arduino faz a aquisição dos pulsos e calcula o deslocamento do cabo.

Foi realizado um teste para avaliar a precisão do encoder, deslocando o cabo em 0,10 m por vez e os valores calculados pelo Arduino foram anotados na tabela 5:

Tabela 3 – Resultado da calibração do encoder

X real	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500
X calculado	0,098	0,196	0,294	0,392	0,490

Fonte: elaborada pelo autor.

O sistema apresentou um erro sistemático de 2%, devido à baixa resolução do encoder e do arredondamento da conversão, um encoder com uma resolução maior e poderia melhorar esses resultados. O erro neste caso foi corrigido matematicamente pelo programa.

3.5 Medição dos batimentos cardíacos e nível de oxigênio no sangue

Para a medição dos batimentos cardíacos o sensor MAX 30100 precisa ser posicionado na ponta do dedo. Foi criado um programa modificando o exemplo da biblioteca do sensor. Os resultados são medidos em batimentos por minuto e concentração de oxigênio em porcentagem. O sensor foi testado e comparado com um medidor de batimentos cardíacos Polar H10, e os resultados comparados na tabela 6:

Tabela 4 – Resultado da calibração do MAX30100

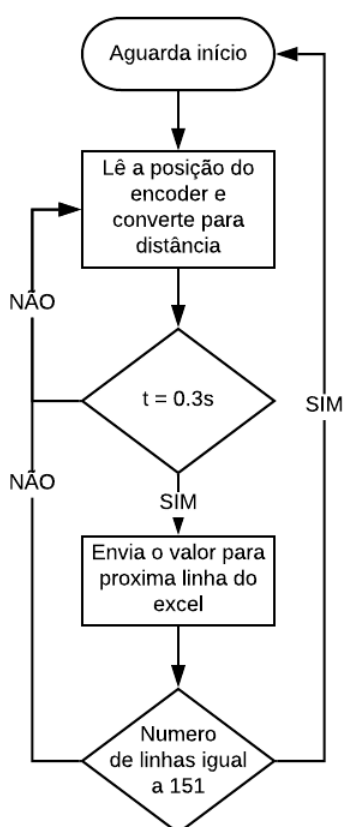
Polar H10	63 BPM
MAX30100	62 BPM

Fonte: elaborada pelo autor.

3.6 Desenvolvimento do programa para os testes de Wingate

O teste de Wingate é feito remando o maior número de vezes em 30 segundos, pela sua facilidade de implementação e interpretação dos resultados foi escolhido. Para implementar o programa se capturou a distância do movimento da remada durante 30 segundos, e a pré carga da mola pode ser ajustada previamente. O teste inicia com a primeira remada do usuário e os dados são capturados durante o tempo de execução. A posição do encoder é medida a cada 0,3s, o valor é convertido para distância percorrida pelo cabo e os resultados são enviados para uma planilha no Excel através do Arduino Excel, os valores são colocados na coluna B.

Figura 23 - Rotina Wingate



Fonte: elaborada pelo autor.

3.7 Tratamento dos dados

Os dados de cada teste foram analisados na planilha onde a potência é calculada. Para o teste de Wingate a potência máxima e média é calculada pelo trabalho total das remadas (Figura 24).

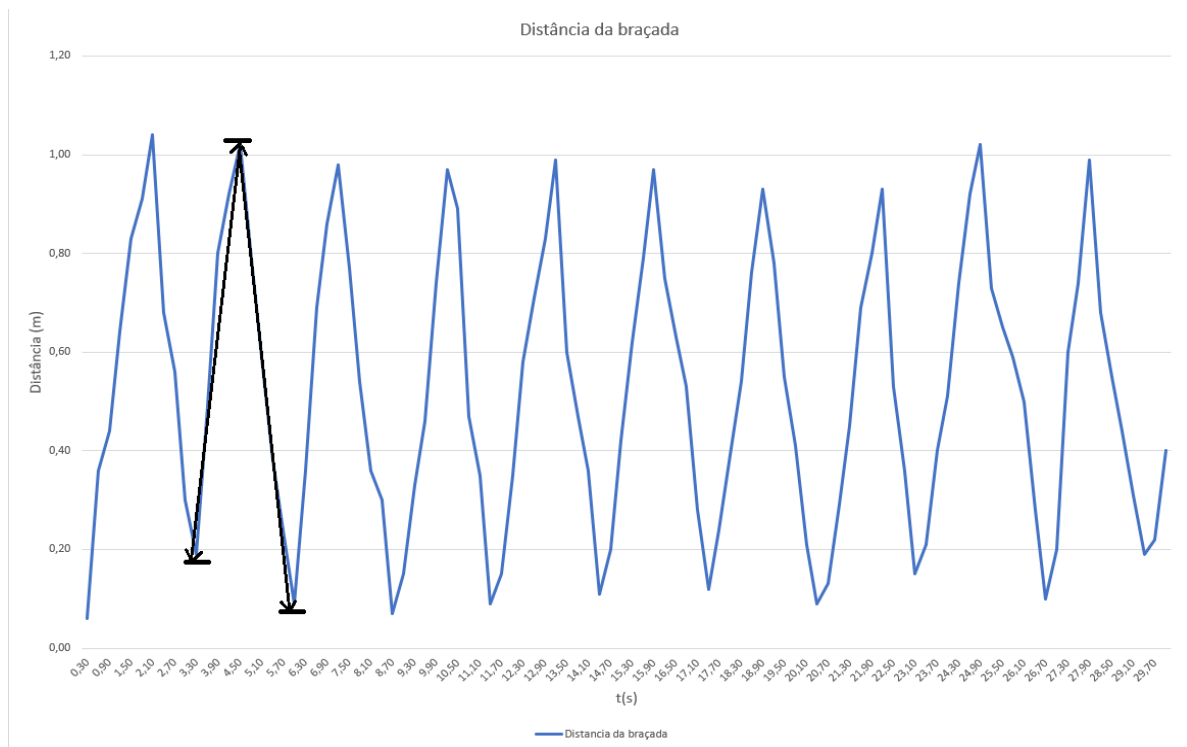
Figura 24 - Planilha de resultados

t(s)	Dist/braçada (m)	Potência Máxima (W)	Potência Média (W)	Índice de fadiga
0,3	0,06			
0,6	0,36	69,3	59,5	9%
0,9	0,44			
1,2	0,64			
1,5	0,83			
1,8	0,91			
2,1	1,04			
2,4	0,68			
2,7	0,56			
3	0,3			
3,3	0,19			
3,6	0,49			
3,9	0,8			
4,2	0,92			
4,5	1,02			
4,8	0,81			
5,1	0,59			

Fonte: elaborada pelo autor.

O gráfico gerado pela distância no tempo mostra o ciclo de remadas feito durante o teste e indica a distância uma remada completa.

Figura 25 – Gráfico da distância das braçadas no tempo



Fonte: elaborada pelo autor.

A potência máxima dada nos 5 primeiros segundos do teste, e a potência média é a potência gerada durante o teste podem ser calculadas pelas equações 9 e 10:

$$P = F.d / t \quad (9)$$

Onde:

F = Força (N)

P = Potência (W)

d = Distância percorrida do cabo (m)

t = Intervalo de tempo (s)

$$F = (K.\Delta x/2) + F_p \quad (10)$$

Onde:

F = Força (N)

F_p = Força da pré-carga (N)

K = Constante da mola (N.m)

Δx = Deformação da mola (m)

Em outros modelos de ergômetros a força resistente é fixa, porém para o simulador de surf a mola apresenta uma força variável durante o movimento, então para determinar a força calculada no intervalo de tempo a pré carga inicial é acrescentada para cada valor de força calculado, após a média desses valores foi tirada para o intervalo de tempo medido.

A distância percorrida foi encontrada somando os maiores valores da distância das braçadas e subtraindo os menores valores, pela equação do Excel (figura 25):

Figura 26 – Equação para encontrar a distância das braçadas

```
=(MAIOR(B3:B102;1)+MAIOR(B3:B102;2)+MAIOR(B3:B102;3)+MAIOR(B3:B102;4)+MAIOR(B3:B102;5)+MAIOR(B3:B102;6)+
MAIOR(B3:B102;7)+MAIOR(B3:B102;8)+MAIOR(B3:B102;9)-MENOR(B3:B102;1)+MENOR(B3:B102;2)+MENOR(B3:B102;3)+
MENOR(B3:B102;4)+MENOR(B3:B102;5)+MENOR(B3:B102;6)+MENOR(B3:B102;7)+MENOR(B3:B102;8)+MENOR(B3:B102;9))
```

Fonte: elaborada pelo autor.

3.8 Estudo para implementação de uma célula de carga

Para a utilização da célula de carga é necessário realizar a calibração do resultado apresentado antes de usá-la, e o valor de leitura deve ser convertido para a unidade desejada. Inicialmente a célula de carga foi calibrada para medir massa, para

isso se criou um programa de rotina de calibração com o Arduino, o conversor HX711 mede o valor de tensão gerado pela flexão causada por uma força na célula de carga. Para calibrar a célula de carga são necessários 2 valores conhecidos, o valor lido pelo conversor sem carga e um valor de massa conhecido. Dessa forma o programa realiza a aquisição do valor sem peso e registra o valor, este valor é usado como referência, após isso coloca-se uma massa de 100g calibrada sobre a célula, o valor da deformação causada é registrado. Então com um valor de referência e um valor de uma massa conhecida é possível calibrar o resultado pela equação 7:

$$V = (V_x - V_1) \left(\frac{m}{V_1 - V_2} \right) \quad (11)$$

Onde:

V = Valor calibrado (kg)

Vx = Valor lido

V1 = Valor de referência

V2 = Valor da massa calibrada

m = massa calibrada (kg)

Este procedimento deve ser realizado a cada vez que se iniciar a medição para garantir precisão dos valores medidos.

Com o programa para calibrar a célula de carga, foi necessário alterá-lo para medir força. O valor padrão agora foi uma deformação conhecida da mola e a força para essa deformação calculada. Para testar os resultados se utilizou-se da mola de pilates selecionada e fixações rígidas para evitar eventuais vibrações que pudessem alterar o resultado. A célula de carga foi fixada na morsa de uma furadeira e a mola foi fixada no eixo árvore de outra furadeira (Figura 20), dessa forma a morsa podia ser movimentada pela mesa da furadeira e a outra ponta da mola fica fixa. Então a mola foi deformada em intervalos iguais de 100mm movimentando a mesa, os valores foram registrados no programa. Usando a lei de Hooke, conhecendo a constante elástica, pode-se medir a força para determinar a deformação da mola pela equação 9:

$$k = F / (x_f - x_i) \quad (12)$$

onde:

F = força (N)

xf = distância final (m)

x_i = distância inicial (m)

Figura 27 - Teste de calibração



Fonte: elaborada pelo autor.

Foram obtidos os seguintes resultados na tabela 5:

Tabela 5

X deslocado (mm)	Deformação da mola (mm)	Deformação calculada (mm)
0	580	548
100	680	652
200	780	766
300	880	880

Fonte: elaborada pelo autor.

O resultado foi obtido sem a calibração da célula de carga, embora errado, mostra que portanto poderia ser utilizado para o equipamento.

As células de cargas medem a deformação da sua flexão, portanto, deve ser posicionada de forma perpendicular à força aplicada. Foram fabricados suportes de aço e fixados à estrutura para suportarem a célula de carga e torná-la o ponto fixo do cabo (Figura 28).

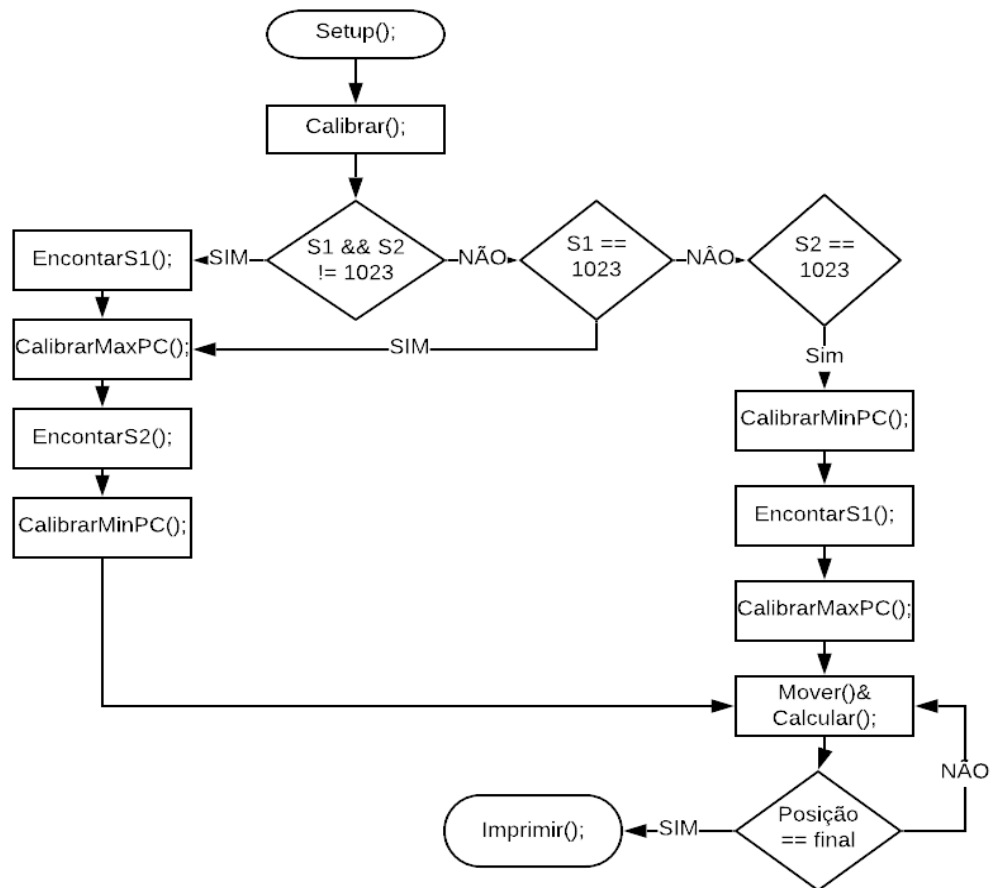
Figura 28 – Posição da célula de carga



Fonte: elaborada pelo autor.

O programa criado para medir a força nos testes iniciais precisou ser modificado pois o valor inicial de calibração agora é a pré carga mínima e o valor medido é a pré carga máxima do sistema. Usando o método de calibração descrito em <https://makersportal.com/blog/2019/5/12/arduino-weighing-scale-with-load-cell-and-hx711>, o programa que controla o motor foi incrementado com o método de calibração.

Então, deslocando a posição de deformação inicial da mola e medindo os valores pode-se calibrar a célula de carga. Em seguida foi criado um protocolo para medir e avaliar as medições realizadas (Figura 29), o programa realizava a calibração e em seguida movia o sistema em 5 posições de pré carga igualmente espaçadas, no mínimo de pré carga, em $\frac{1}{4}$ da distância total, em $\frac{1}{2}$ da distância total, $\frac{3}{4}$ da distância total e no máximo de pré carga, os valores de força foram medidos em cada um desses pontos e comparados com o valor teórico calculado.

Figura 29 - Rotina de calibração

Fonte: elaborada pelo autor.

Foram realizados 5 testes e os resultados obtidos anotados na tabela 6:

Tabela 6

	Diferença entre valores medidos e calculados (N)				
Posição	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Min	67,90	67,81	412,52	34,73	88,52
$\frac{1}{4}$	98,61	80,04	83,13	40,82	182,27
$\frac{1}{2}$	117,41	-314,50	93,30	68,72	212,49
$\frac{3}{4}$	146,38	-72,28	-77,62	88,05	177,19
Max	146,03	-438,71	114,93	114,35	115,61

Fonte: elaborada pelo autor.

O comportamento da célula de carga se mostrou inadequado para aplicação, alguns dos possíveis fatores causando os erros podem ser o tipo da célula utilizada, método de calibração. O método de medição da força pela célula de carga precisou ser descartado. O tipo de célula não é o correto para medir a força.

4. RESULTADOS

Foram realizados 5 testes de Wingate com intervalos de 5 minutos com 1 indivíduo. Os resultados foram salvos na planilha e analisados em seguida.

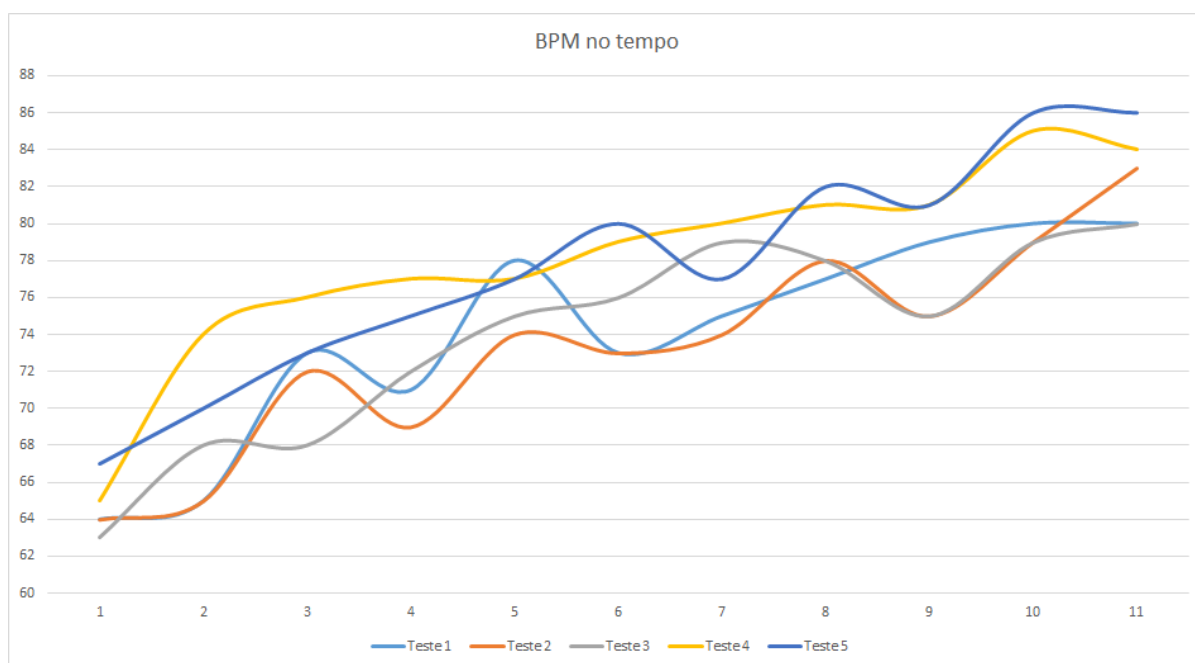
As potências geradas através do cálculo do trabalho e tempo de execução e calculados na tabela 7, os batimentos cardíacos na figura 30 e concentração de oxigênio no sangue na tabela 8:

Tabela 7 - Resultados dos testes

	Potência Máxima (W)	Potência Média (W)	Índice de fadiga
Teste 1	69,3	59,5	9%
Teste 2	48,9	36,3	6%
Teste 3	47,3	38,3	12%
Teste 4	40,2	25,3	29%
Teste 5	40,7	24,5	20%

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 30 - Batimentos cardíacos dos testes



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Resultados da concentração de oxigênio

%O2				
Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
96	96	97	97	96
98	98	97	98	98

Fonte: elaborada pelo autor.

O comportamento dos resultados mostra que a cada teste executado a potência máxima e média diminuem e o batimento cardíaco aumenta, demonstrando que o esforço aumentou. O resultado está dentro do esperado e o equipamento mostra-se capaz de gerar uma carga externa e avaliar a carga interna.

Outros resultados analisados foram a distância total de remada (Tabela 9), onde a distância teve um pico e depois caiu drasticamente. O número de remadas (Tabela 10), a amplitude da remada (Tabela 11), e o tempo entre remadas (Tabela 12), também diminuiram a cada teste.

Tabela 9 – Distância total de braçadas

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Distancia (m)	15,25	15,25	16,36	11,89	11,77

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 10 – Número total de braçadas

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Numero de remadas	18	18	17	17	16

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 11 – Amplitude das braçadas no teste

Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Amplitude (m)				
0,98	0,92	0,87	0,80	0,80
0,93	0,88	0,89	0,78	0,82
0,91	0,82	0,89	0,77	0,82
0,88	0,88	0,88	0,76	0,83
0,88	0,87	0,87	0,78	0,75
0,85	0,87	0,89	0,78	0,76
0,84	0,81	0,86	0,74	0,74
0,80	0,86	0,87	0,71	0,64
0,92	0,88	0,82	0,65	
0,80	0,76			

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 12 – Tempo de braçadas no teste

Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Tempo (s)				
3,30	3,30	3,60	3,60	3,90
2,40	2,70	3,30	3,30	3,30
2,40	2,70	3,30	3,30	3,30
2,40	2,70	3,30	3,00	3,00
2,70	3,00	2,70	3,30	3,00
2,70	3,00	3,00	3,90	3,30
2,70	3,00	3,00	3,30	3,90
2,40	3,00	2,70	3,00	3,30
3,30	3,00	3,30	3,30	
2,40	2,70			

Fonte: elaborada pelo autor.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido teve como resultado o desenvolvimento de um método para avaliação do esforço no equipamento de treinamento de surfe. O sistema mede dentro das possibilidades do equipamento o esforço e atendeu aos requisitos iniciais levantados com a equipe do laboratório de esforço físico da UFSC.

Os ergômetros comerciais usam uma carga fixa realizar a avaliação, enquanto que o simulador de surfe utiliza uma força variável devido às molas utilizadas, este fato demonstrou uma complicação para o projeto e também uma fonte de erros.

O desenvolvimento deste trabalho e os resultados obtidos, serviram para dar início a estudos aprofundados numa área em que não há muitos estudos sobre, e pode dar início a um desenvolvimento de adaptação da medição do esforço no equipamento estudado, e tem grande potencial de agregar uma nova funcionalidade ao produto.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Devido ao equipamento de treinamento de surfe utilizado, recomenda-se principalmente alterar o mecanismo de resistência da remada para utilizar uma carga fixa, dessa forma analisando melhor os resultados. Recomenda-se, no caso da utilização de encoder, a utilização de um encoder com maior resolução para aquisição mais precisa dos dados.

Algumas melhorias nos métodos de avaliação podem ser feitas, como elaboração de mais protocolos de avaliação, e utilização de mais métodos de avaliação, como a análise de gases expelidos.

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL Olympic Committee and ISA Confirm Qualification Process for Surfing Competition at Tokyo 2020. La Jolla, California (USA): ISA News, World Surfing News, 2018. Disponível em: <https://www.isasurf.org/international-olympic-committee-and-isa-confirm-qualification-process-for-surfing-competition-at-tokyo-2020/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

A THRILLING surf debut at Tsurigasaki Beach. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.olympic.org/news/a-thrilling-surf-debut-at-tsurigasaki-beach>. Acesso em: 16 ago. 2019.

SURF Ranch de Kelly Slater vai abrir ao público e prepara série de eventos: Novidades para a piscina de ondas artificiais idealizada pelo 11x campeão mundial de surf. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://surftotal.com/noticias/internacionais/item/11662-surf-ranch-de-kelly-slater-vai-abrir-ao-publico-e-prepara-serie-de-eventos>. Acesso em: 16 ago. 2019.

ENTENDA como vai funcionar o surfe nos Jogos Olímpicos: Veja o formato e as regras de qualificação do surfe para a Olimpíada de Tóquio-2020.. [S. l.]: Olimpíada Todo Dia, 2018. Disponível em: <http://www.olimpiadatododia.com.br/surfe/123007-surfe-na-olimpiada/>. Acesso em: 16 ago. 2019.

ARDUINO Weighing Scale with Load Cell and HX711. [S. l.]: Joshua Hrisco, 2019. Disponível em: <https://makersportal.com/blog/2019/5/12/arduino-weighing-scale-with-load-cell-and-hx711>. Acesso em: 8 out. 2019.

COMO UMA célula de carga realmente trabalha?. [S. l.]: Stefan Schmidt, 2018. Disponível em: <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>. Acesso em: 25 set. 2019.

Weltman A, Seip RL, Snead D, Weltman JY, Haskvitz EM, Evans WS, et al. Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med* 1992;13:257-63. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2007-1021248> Acesso em: 15 ago. 2019

Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics, 1994. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922002000100002&lang=pt Acesso em: 15 ago. 2019

Bouchard C, Dione FT, Simoneau JA, Boulay MR. Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev* 1992;20:27-58. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922002000100002&lang=pt Acesso em: 15 ago. 2019

Magel JR, Foglia GF, McArdle WD, Gutin B, Pechar GS, Katch FI. Specificity of swim training on maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol* 1975;38:151-5. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922002000100002&lang=pt Acesso em: 15 ago. 2019

OKAZAKI, Victor Hugo Alves et al. Ciência e tecnologia aplicada à melhoria do desempenho esportivo. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, São Paulo, v.11, n. 1, p.143-157, 2012. Semestral.

MCARDLE, W.; KATCH, W.D.M. *Fisiologia do Exercício, Nutrição e Desempenho Humano*. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 1172p.