

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

VINICIUS CLAUDINO

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DA POSTURA SENTADA

Joinville  
2021

VINICIUS CLAUDINO

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DA POSTURA SENTADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Benjamin Grando Moreira

Joinville  
2021

## RESUMO

Com o início da pandemia o número de pessoas trabalhando em *homeoffice* e estudando à distância cresceu. Com isso aumentou a necessidade do uso de parte da casa como local de trabalho e estudo, conseqüentemente o aumento do tempo passado sentado no computador. Portanto, um aspecto importante é a posição que a pessoa está sentada enquanto trabalha ou estuda. Posturas incorretas podem gerar fadiga, desconforto e, a longo prazo, doenças como varizes, hérnias de disco e até deformidades na coluna vertebral. Este trabalho consiste em prototipar um dispositivo para monitorar a posição em que a pessoa está sentada e avisar quando a postura estiver incorreta. Os aspectos de monitoramento foram definidos com base em posições consideradas ergonomicamente corretas. O monitoramento do protótipo é feito no uso do encosto e no uso do assento. Foram utilizadas células de carga para monitorar a distribuição da carga entre os lados do assento. No encosto, sensores de refletância monitoram a utilização que o encosto deve ser usado. A integração dos sensores e algoritmos foi feita com o uso de uma placa Raspberry. No monitoramento do assento é realizado teste de comparação entre as carga nos dois lados do assento com o valor de referência. No encosto é monitorada a posição do usuário e comparado com duas posições de referência. Como oportunidade para continuação do trabalho é proposto o monitoramento da inclinação do pescoço utilizando as células de carga, posicionamento dos braços e obtenção das métricas dos programas por meio de testes com mais pessoas.

**Palavras-chave:** Postura sentada. Células de carga. Sensor de refletância. Raspberry.

## ABSTRACT

With the beginning of the pandemics the number of people working from home and studying from a distance grew up. With this, the necessity of using a place at home as work place and study place increased, as well as the the time people expend sitted, possibly at computer. So, the position that a person is sitted when is studying and working is an aspect that must be taken account. Incorrect postures can lead to fatigue, discomfort and diseases such a varicose veins, herniated discs and spinal deformation in the long term. This paper consists in prototype a device to monitorate the sitted position of a person and advise when the position is not correct. The aspects of monitorating was defined based on ergonomically correctly positions. The monitoring was divided in seat monitoring and chair back rest monitoring. Load cells was used to monitorate the distribution of load between the two sides of seat. At chair back rest, reflectance sensor monitorate the position that the chair back rest must be used. The integration of the the sensor and the algorithm was done by Raspberry board. At seat monitoring it is realized a comparison test between the both side load and the reference value. At chair back rest the current position is compared with the two reference position. As an opportunity to continue this work, monitoring of neck inclination using load cells, arms position and obtaining program metrics by testing more people was found.

**Keywords:**Sitting position. Load Cell. Reflectance sensor. Raspberry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Altura de mesa com teclado . . . . .	14
Figura 2 – Cone de visão . . . . .	16
Figura 3 – Protótipo de uma cadeira com sensoriamento de contato . . . . .	16
Figura 4 – Células de carga, fixação na cadeira e testes . . . . .	17
Figura 5 – Cadeira sobre plataforma de força e acelerômetros . . . . .	17
Figura 6 – Design característico do <i>strain gage</i> . . . . .	20
Figura 7 – Ponte Wheatstone . . . . .	20
Figura 8 – Sensor de obstáculo . . . . .	21
Figura 9 – Placa com HX711 . . . . .	21
Figura 10 – Cadeira usada para montar o protótipo . . . . .	23
Figura 11 – Protótipo aberto . . . . .	24
Figura 12 – Protótipo fechado . . . . .	24
Figura 13 – Protótipo pronto aberto . . . . .	25
Figura 14 – Circuito utilizado para os testes da célula de carga . . . . .	25
Figura 15 – Teste de linearidade dos sensores de carga . . . . .	26
Figura 16 – Posicionamento do sensor de refletância sobre o encosto da cadeira . . . . .	27
Figura 17 – Fixação de 3 sensores sobre o encosto da cadeira . . . . .	27
Figura 18 – Vista lateral da posição 1 e da posição 2 . . . . .	28
Figura 19 – Vista lateral da posição 3 e posição 4 . . . . .	29
Figura 20 – Vista frontal da posição curvada esquerda e posição curvada direita . . . . .	29
Figura 21 – Vista frontal do encosto da cadeira com o os sensores de refletância posicionados . . . . .	30
Figura 22 – Circuito utilizado no teste de posição do encosto . . . . .	30
Figura 23 – Vista lateral, frontal e sensores ativados na posição 1 . . . . .	31
Figura 24 – Vista lateral, frontal e sensores ativados na posição 2 . . . . .	32
Figura 25 – Teste de comportamento do sensor de carga . . . . .	33
Figura 26 – Diagrama de estados algoritmo de balanceamento de cargas . . . . .	34
Figura 27 – Leitura do sensor em cada estado do diagrama de estados . . . . .	35
Figura 28 – Diagrama de estados do algoritmo de monitoramento de encosto . . . . .	36
Figura 29 – Diagrama de atividades do estado <i>Monitora assento</i> . . . . .	37
Figura 30 – Sinais dos sensores de carga e posição de utilização do encosto . . . . .	41
Figura 31 – Sinais no momento em que uma pessoa senta . . . . .	42
Figura 32 – Sinais no momento de trocas entre posições 1 e 2 . . . . .	43
Figura 33 – Sinais no momento de movimentação na cadeira . . . . .	44
Figura 34 – Sinais no momento postura incorreta na cadeira . . . . .	44

Figura 35 – Circuito completo . . . . .	49
Figura 36 – Diagrama de estados composto do algoritmo . . . . .	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de peso corporal . . . . .	13
Tabela 2 – Resultado da medição dos sensores . . . . .	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
ADC	Analogue to digital converter
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetros
CP	Coeficiente Postural
MDF	Fibra de média densidade
GF	<i>Gauge Factor</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
LED	<i>Light emitter diode</i>
kg	Quilograma
s	Segundos
V	Volts

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	Objetivos	11
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Estruturação do trabalho</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	Postura sentada	12
2.2	Ergonomia no computador	13
<b>2.2.1</b>	<b>Mesa</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Cadeira</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Tela</b>	<b>15</b>
2.3	Trabalhos relacionados	16
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E RECURSOS</b>	<b>19</b>
3.1	Raspberry pi	19
3.2	Sensores do tipo <i>Strain gage</i>	19
3.3	Sensor de refletância	20
3.4	HX711	21
3.5	Biblioteca HX711	22
<b>4</b>	<b>PROTOTIPAGEM</b>	<b>23</b>
4.1	Protótipo físico para medir distribuição de peso	24
4.2	Testes com a célula de carga	25
4.3	Teste com sensor de refletância	27
4.4	Testes de posição no encosto	28
4.5	Testes de comportamento da célula de carga com uso do protótipo	32
4.6	Algoritmo de monitoramento de distribuição de carga	33
4.7	Algoritmo para monitoramento de uso do encosto	35
4.8	Monitoramento do uso do assento	36
4.9	Estado Ajuste	37
4.10	Alternativas avaliadas	38
<b>4.10.1</b>	<b>Relação do sensor de refletância com a luz solar</b>	<b>38</b>
<b>4.10.2</b>	<b>Limitações do protótipo físico de monitoramento da distribuição</b>	<b>39</b>
<b>4.10.3</b>	<b>Uso do módulo HX711</b>	<b>39</b>
<b>4.10.4</b>	<b>Necessidade de algoritmo de Ajuste</b>	<b>39</b>
<b>4.10.5</b>	<b>algoritmo de monitoramento</b>	<b>40</b>

4.10.6	Tempo de acomodação para começar a calibração . . . . .	40
5	RESULTADOS . . . . .	41
6	CONCLUSÕES . . . . .	45
	REFERÊNCIAS . . . . .	47
	APÊNDICE A . . . . .	49
	APÊNDICE B . . . . .	50
	APÊNDICE C . . . . .	54

## 1 INTRODUÇÃO

Com o início da pandemia do coronavírus em 2019 e a evolução em 2020 e 2021, houveram muitas restrições em relação a quantidade de pessoas em ambientes fechados com pouca circulação de ar e também restrição de funcionamento de meios transporte públicos, ocasionando um deficit de lugares e em escritórios e salas de aula, assim como passo-se a ter dificuldade de deslocamento para estes lugares (Governo do Estado de Santa Catarina, 2020).

Buscando uma solução para esse problema de contingencia em ambientes de trabalho e de estudo, universidades adotaram ensino a distância e empresas orientaram os funcionários a trabalhar de casa, para não precisar se deslocar até o escritório e também diminuir o número de pessoas nestes ambientes (BIGARELLI, 2020; UFSC, 2020).

Com a repentina necessidade de trabalhar de casa, as pessoas adaptaram partes de sua casa como seu novo local de trabalho e estudo, porém nem todos os locais são ergonomicamente corretos. Segundo Laville (1977), são vários os efeitos das posturas ergonomicamente incorretas, sendo a curto prazo fadiga imediata, causando desconforto ao trabalhar e estudar e com o passar do tempo pode haver formação de edemas, varizes, bursite, hérnias de disco e até mesmo uma deformação na coluna vertebral.

Os móveis para escritório, como cadeiras e mesas são projetados para atender uma grande variedade de pessoas a partir de ajustes, sendo que alguns seguem normas NBR 13962 ( Móveis para escritório - Cadeiras ) e NBR 13965 ( Móveis para escritório - Mesas ) da ABNT ( Associação Brasileira de Normas Técnicas ). Porém para um uso eficiente desses móveis é preciso saber regular altura, postura correta e até saber se a distribuição das cargas do peso do corpo está correta (ABNT, 2018; ABNT, 2012).

Sendo assim, dado o problema de estar sentado por grandes períodos de tempo, com o risco de estar em uma posição ergonomicamente incorreta, este trabalho objetiva identificar formas de monitorar a postura sentada enquanto se usa o computador para trabalhar ou estudar.

O monitoramento de postura que o encosto está sendo utilizado é feito por meio de sensores de refletância. Para fazer a checagem da distribuição do peso é a célula de carga do tipo *strain gage*, que mede a carga que está sendo aplicada de acordo com a deformação do material. Na verificação do uso do encosto é utilizado um sensor de refletância, que detecta obstáculos e possui regulagem de distância.

Para utilização das células de carga, foi montado um dispositivo para ser usado

sobre o assento, que juntamente com as células medem a carga em que cada lado do assento está submetido. Os sensores de refletância foram fixados diretamente na cadeira e regulados para que fosse possível detectar em qual posição o encosto está sendo utilizado. A leitura e processamento dos dados dos sensores foi feita por meio de um Raspberry.

O teste do protótipo foi realizado por uma pessoa gerando situações que deveriam alertar sobre postura incorreta ou reavaliar qual os parâmetros que devem ser considerados corretos. Os aspectos avaliados, testados e comprovados no funcionamento do protótipo foram a troca entre posições consideradas corretas, sendo que o algoritmo gerou novos parâmetros, e postura detectada como incorreta, onde deve ser tomada alguma ação para avisar o usuário.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um protótipo com o objetivo de analisar aspectos da ergonomia da postura sentada.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar possibilidades de monitoramento da postura sentada;
- Definir sensores para realizar monitoramento;
- Testar viabilidade de uso dos sensores;
- Desenvolver o protótipo de monitoramento com os sensores.

### 1.1.3 Estruturação do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no Capítulo 2 é feita uma revisão teórica sobre ergonomia e aspectos de postura utilizados para referência na prototipagem, assim como trabalhos relacionados. No Capítulo 3 são apresentados as tecnologias, materiais e recursos utilizados no trabalho. O capítulo 4 tem informações sobre a montagem do protótipo, testes realizados com os sensores, testes de integração dos sensores com o protótipo, explicações sobre os algoritmos e alternativas avaliadas. Os resultados são apresentados no capítulo 5 e, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, iniciando com o estudo de características do trabalho para projetar o que pode ser executado, sempre adequando o trabalho ao homem. A ergonomia estuda fatores que influenciam no desempenho de sistemas produtivo, reduzindo fadiga, estresse, erros e acidentes (IIDA, 2005).

Entre outros fatores, a análise ergonômica dos aspectos físicos inclui postura no trabalho, projeto dos postos de trabalho, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho e saúde do trabalhador (IIDA, 2005). Com isso percebe-se a importância da ergonomia para uma melhor qualidade de vida, saúde e também desempenho em ambientes de trabalho.

Com o estudo voltado para aspectos de postura sentada, nesse capítulo são abordados os pontos essenciais para realizar o projeto de sensoriamento de uma cadeira para análise de postura. É preciso analisar aspectos da postura sentada, assim como a influência que sofre em decorrência do ambiente em que se está sentado.

### 2.1 POSTURA SENTADA

A postura é um hábito que, por treino, pode vir a se tornar um hábito subconsciente, podendo tanto se tornar a postura correta quanto a postura errada, podendo estas se tornarem definitivas (MORO, 2000 apud CAILLIET, 1979).

lida (2005) relata que a postura sentada é umas das três posturas básicas do ser humano, sendo que cada postura envolve esforço de certos grupos musculares por conta da distribuição de peso. Bracciali e Vilarta (2000) relatam que, quando se está com os membros superiores apoiados, é possível que haja uma diminuição na pressão intra-discal, pois o peso dos membros é suportado pelo apoio.

Para Couto (1995), quando o indivíduo está na posição sentada, a distribuição de peso na estrutura do corpo muda bruscamente, sendo que a distribuição adequada de peso quando se está sentado é de 50% na base da bacia do corpo e 34% na parte posterior da coxa, os outros 16% do peso na planta do pé. Essa distribuição de peso não considera que parte do peso é distribuído no encosto.

lida (2005) relata que os esforços inadequadas por longos períodos de tempo podem provocar fortes dores nos grupos musculares utilizados para manter a postura, sendo que um assento muito baixo pode causar dor no encosto e no pescoço, assento muito alto causa dor na parte inferior das pernas, joelhos e pés e estar sentado sem encosto causa dor nos músculos extensores do dorso.

Segundo Grandjean (1998), a posição sentada possui vantagens e

desvantagens. Quando se está sentado é possível ter um alívio de peso nas pernas, alívio da pressão de circulação sanguínea nos membros inferiores e um consumo reduzido de energia. Em contra partida ficar muito tempo sentado pode deixar os músculos da barriga flácidos e desenvolver uma cifose, quando se senta inclinado para frente essa posição é desfavorável para os órgãos da digestão e respiração.

Durante a posição sentada, curvar a postura levemente para frente deixa os músculos das costas com menos exigência de força, tornando a postura mais confortável que a ereta. Porém na posição curvada se tem uma pressão nos discos vertebrais maior do que em uma posição ereta, sendo que o ideal seria que tenha um revezamento entre essas posturas eretas e levemente inclinada para frente (GRANDJEAN, 1998).

A tabela 1 mostra a distribuição do peso corporal de uma pessoa. Fazendo uma comparação da tabela 1 com a distribuição adequada de peso na postura sentada segundo Couto (1995) e com o relato de Bracciali e Vilarta (2000), percebe-se que em uma cadeira sem encosto e sem apoio para os braços, a distribuição do peso do tronco, cabeça e membros superiores fica na bacia e na região frontal da coxa, já a planta do pé fica com parte do peso dos membros inferiores.

Tabela 1 – Distribuição de peso corporal

<i>Parte do corpo</i>	<i>% do peso total</i>
Cabeça	6 a 8%
Tronco	40 a 46%
Membros superiores	11 a 14%
Membros inferiores	33 a 40%

Fonte: Iida (2005).

Resende (2006) encontrou médias de distribuição de peso corporal na cadeira diferente do Couto (1995), sendo que ela obteve uma média de 20,04% do peso na planta dos pés, 30,34% nas tuberosidades isquiáticas, 45,33% na parte frontal da coxa e 4,2% no encosto da cadeira. Ela também obteve um valor médio para o coeficiente postural (CP) de 18,31, sendo este o valor a razão entre o peso total no assento e a força aplicada no encosto.

## 2.2 ERGONOMIA NO COMPUTADOR

Um escritório básico de trabalho consiste em uma mesa e uma cadeira, sendo que o usuário irá realizar tanto suas tarefas e obrigações utilizando meios físicos, como papel e caneta, quanto no meio digital utilizando a tela e periféricos do computador (PHEASANT, 2003).

É aceito no quesito conforto que a altura da mesa deve ser acima do cotovelo

para que os braços fiquem flexionados, permitindo o usuário usar do teclado com uma ação mais natural e relaxada. Ainda no uso do teclado os ombros devem estar relaxados, sem obstáculos nas laterais dos braços, antebraço aproximadamente horizontal e os pulsos afastados o máximo possível para continuar em uma posição neutra (PHEASANT, 2003).

### 2.2.1 Mesa

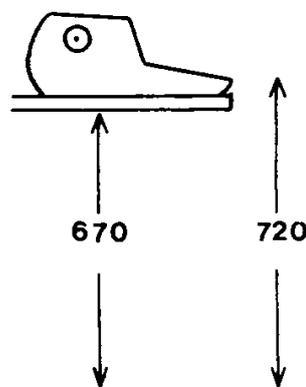
Pessoas que trabalham em um computador tem basicamente três pontos principais de contato com o ambiente de trabalho, mesa ou teclado, cadeira e chão. Pelo menos dois destes três devem ter possibilidade de regulagem para atender a necessidade de cada usuário (PHEASANT, 2003).

As mesas de escritório são fabricadas com padrão de altura, porém medidas dos usuários não, devem ter um espaço suficientemente grande para garantir uma flexibilidade na posição do teclado e do monitor (PHEASANT, 2003).

Como mostrado na figura 1, sem levar em conta a altura do teclado, uma altura boa para mesa deve ser em média 72 cm, caso tenha teclado a altura deve ser compensada. Já Grandjean (1998) relata que a melhor faixa de alturas de mesa para adaptação, utilizadas juntamente com cadeiras reguláveis é entre 74 e 78 cm.

Para Pheasant (2003), a diferença de altura entre o cotovelo e a parte superior da coxa deve ser em torno de 8,5 cm e a diferença de altura entre o cotovelo e a mesa ou teclado deve ser de 7,5cm . Já Grandjean (1998) relata que a distancia mínima entre o assento da a parte mais baixa da mesa de trabalho deve ser de 18,5 cm, assim como sentar com os cotovelos apoiados na mesa ajuda significativamente a diminuir peso suportado pelo assento e conseqüentemente pela coluna vertebral.

Figura 1 – Altura de mesa com teclado



Fonte: adaptado de Pheasant (2003)

### 2.2.2 Cadeira

Para Barnes (1977), uma das posturas incorretas que acontecem com maior frequência é quando as pessoas se inclinam para um lado da cadeira, mudando o equilíbrio da distribuição do peso entre os lados do corpo.

A altura da cadeira deve ser ajustável na posição sentada e o intervalo de ajuste vai depender da possibilidade de ajuste da altura da mesa. Uma faixa de altura boa para cadeiras é de 38 cm a 53,5 centímetros (cm). O encosto deve ter a forma de contorno da espinha lombar e o tamanho do encosto para um melhor suporte nas costas é de 50 cm (PHEASANT, 2003).

Sobre o ponto de vista de conforto, o encosto ajuda a aliviar a carga na espinha lombar e diminui a tensão dos músculos das costas, evitando consequentemente a fadiga. Quando se usa o encosto de uma cadeira, parte do peso do tronco é transferida para o encosto ao apoiar as costas, diminuindo o desgaste e a pressão nos discos vertebrais (GRANDJEAN, 1998).

Para se manter uma postura sentada correta, os joelhos devem estar flexionados 90°, pés devem estar apoiados no chão, a distância entre os joelhos e o assento da cadeira deve ser de 8cm e os joelhos devem estar posicionados a uma distância de 8cm da borda da cadeira. A altura do apoio de braço deve deixar o braço a 90° quando apoiado e a inclinação do encosto da cadeira deve ser de 95° a 110° (BRAGATTO, 2015 apud SONNE; VILLALTA; ANDREWS, 2012).

### 2.2.3 Tela

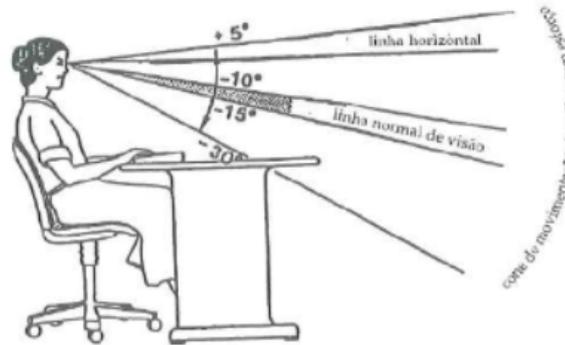
Uma localização correta da tela é um fator importante no quesito de manter uma boa postura, pois influencia diretamente na posição da cabeça e do pescoço. Fazer a avaliação da postura da cabeça é muito difícil, pois é determinada por sete vértebras (GRANDJEAN, 1998). Weston (1953) assim como Grandjean (1998) citam que uma linha de visão em uma posição considerada relaxada é de algo entre -10 a -15° abaixo da linha de visão horizontal.

Para Grandjean (1998) a direção do olhar pode variar em um cone de 30° em torno da a linha normal de visão, saindo dessa área de visão é necessário mexer a cabeça. A linha horizontal e o cone de referência é mostrado na imagem 2. Weston (1953 apud PHEASANT, 2003) sugere que o ângulo mínimo de visão para evitar fadiga é limitado entre -24° e -27°, abaixo desse angulo os músculos do pescoço fadigam com o peso do pescoço.

Bragatto (2015 apud SONNE; VILLALTA; ANDREWS, 2012) sugere que o monitor deve estar a uma distancia minima de 40cm e maxima de 75cm de forma que que a parte mais baixa do monitor não deve ficar com um angulo menor que 30°.

Baseado nisso, é recomendado que o topo da tela deve estar posicionada um

Figura 2 – Cone de visão



Fonte: (GRANDJEAN, 1998)

pouco abaixo do olho, de modo que quando se está olhando para o centro da tela o ângulo do centro visual seja algo em torno de 15°, assim como deve estar dentro dos limites mínimos e máximos de distância da tela, assim evitando que o usuário tenha uma postura incorreta.

### 2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Bezerra (2018) em seu trabalho de conclusão de curso, prototipou uma cadeira com oito sensores de toque, quatro deles monitorando a posição do indivíduo no assento da cadeira e os outros quatro os pontos de contato no encosto. Para alertar sobre má postura, foi utilizado um *vibracall* e uma tela para indicar quais dos oito pontos precisam ser corrigidos. O protótipo, tela e *vibracall* são mostrados na figura 3.

Figura 3 – Protótipo de uma cadeira com sensoriamento de contato



Fonte: (BEZERRA, 2018)

Esse método utilizado informa se a pessoa está encostada ou não, sem monitorar a uniformidade da distribuição do peso no assento e alertando para qualquer movimentação que a pessoa possa vir a realizar. Na maneira em que o protótipo foi montado, não é possível fazer mudanças na posição sem ter alertas de postura incorreta.

Resende (2006) em seu trabalho de mestrado, realizou uma pesquisa com voluntários para medir a distribuição de forças no assento, encosto e no pé em uma cadeira ergonômica com altura do assento e do encosto ajustada individualmente. Para isso foram utilizadas células de carga acopladas em uma cadeira, como mostra a figura 4.

Figura 4 – Células de carga, fixação na cadeira e testes



Fonte: (RESENDE, 2006)

Utilizando as células de carga no assento, encosto e no chão conseguiu medir a distribuição de peso nos pontos de apoio e ter uma relação da distribuição de peso do assento com o encosto. O objetivo do trabalho foi fazer a medição e documentar a distribuição de peso, sem fazer o monitoramento constante da postura das pessoas.

Freitas (2014), em seu trabalho de mestrado, desenvolveu um protótipo de monitoramento da postura sentada. O objetivo foi monitorar o deslocamento do centro de pressão e as mudanças na curvatura da coluna vertebral durante o uso ao longo do dia e armazenar esses dados para análise do aumento do desconforto ao passar do tempo se mantendo na postura sentada.

Na prototipagem utilizou uma plataforma de força ( 2 placas rígidas com células de carga entre elas ) com uma cadeira em cima e acelerômetros para medir ângulos de inclinação na colunas nas regiões torácica e lombar. A figura 5 mostra a imagem da cadeira sobre uma plataforma de força e o posicionamento dos acelerômetros.

Figura 5 – Cadeira sobre plataforma de força e acelerômetros



Fonte: (FREITAS, 2014)

Diferente do primeiro trabalho, o objetivo deste TCC não é somente saber se a pessoa está sentada na cadeira e com as costas apoiadas no encosto dessa cadeira, é conseguir realizar também o monitoramento online da distribuição de carga nos lados do assento e possibilitar trocar de postura. Em relação ao segundo e terceiro trabalhos, a diferença é que o objetivo deste não é somente medir as cargas e angulações, mas gerar recomendações de realocação de postura. Diferente do terceiro trabalho, este TCC opta por utilizar sensores apenas na cadeira, considerando um uso facilitado da aplicação por não exigir ao usuário também posicionar sensores em si.

### 3 MATERIAIS E RECURSOS

Nesse capítulo são apresentadas tecnologias utilizadas no projeto, os sensores utilizados, módulos de amplificação de sinal, bibliotecas de programação e o Raspberry Pi. É preciso analisar o comportamento dos componentes para saber a melhor maneira de utilizar os dados.

#### 3.1 RASPBERRY PI

Raspberry Pi é uma placa de tamanho e custo reduzido, que após o sistema operacional instalado em um cartão de memória, pode ser utilizado como computador, necessitando também dos periféricos, como mouse, teclado e monitor.

Com o sistema operacional instalado e utilizando os periféricos citados anteriormente, é possível utilizar programas e funções que também estão disponíveis em outros sistemas operacionais, como por exemplo os aplicativos da LibreOffice, navegadores de internet e ambientes de desenvolvimento integrado (IDE - do inglês *Integrated Development Environment*).

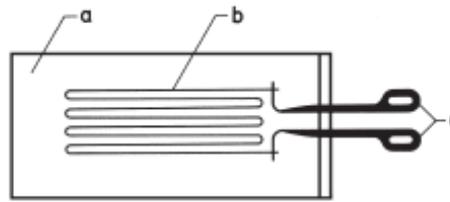
Além dessas funções de computador, o Raspberry ainda possui as portas GPIO (*General Purpose Input/Output*) que são portas digitais que podem ser utilizadas para obter dados via entrada digital ou também via protocolo de transferência de dados, podendo assim controlar dispositivos pelas saídas digitais da placa (Raspberry Pi Foundation, 2018) e por meio de protocolo de comunicação.

O Raspberry permite coletar e armazenar dados extraídos de sensores na memória, sem necessitar de periféricos extras, assim como também possui meios de comunicação em rede, recursos que facilitam o desenvolvimento de projetos e integração com outros dispositivos.

#### 3.2 SENSORES DO TIPO *STRAIN GAGE*

Sensores do tipo *strain gage* são baseados no princípio de variação de resistência do material a partir da aplicação de uma tensão mecânica. Uma das principais aplicações desses sensores é a medição da força aplicada em um material a partir da deformação (HOFFMANN, 1989).

Colando um fio para medição de resistência em um outro material, é possível saber qual a tensão que o conjunto está sendo submetido a partir da variação da resistência do fio. A ideia principal de um sensor é mostrado na figura 6, sendo *a* o material em que o fio é colado, *b* o fio *c* as conexões para medição (HOFFMANN, 1989).

Figura 6 – Design característico do *strain gage*

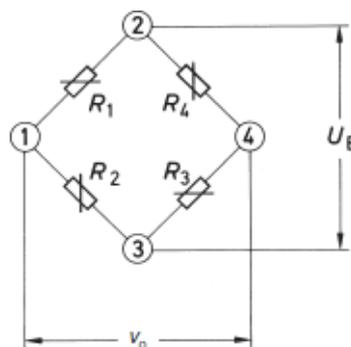
Fonte: (HOFFMANN, 1989)

Esse tipo de sensor é mais utilizado, aplicando uma força ao sensor a estrutura sofre uma deformação, variando a resistência de acordo com a deformação, podendo essa deformação ser tanto de uma força de compressão quanto de contração (NI, 1998; HOFFMANN, 1989; DALLY; RILEY, 1991). Esse sensor pode ser posicionado de forma que seja possível medir a massa de um objeto pelo valor da força peso.

Por ter variações pequenas de resistência, os sensores *strain gage* usam o circuito do tipo ponte de *Wheatstone*, podendo assim determinar com grande precisão a variação de resistência (HOFFMANN, 1989).

A figura 7 mostra a organização das resistências para formar esse circuito juntamente com uma tensão de referência  $U_B$ , a tensão de saída  $V_S$  varia de acordo com a variação das resistências. Esse tipo de sensor pode ser utilizado juntamente com outros. Este sensor pode ser útil no monitoramento da distribuição de peso no assento da cadeira (DALLY; RILEY, 1991; HOFFMANN, 1989).

Figura 7 – Ponte Wheatstone

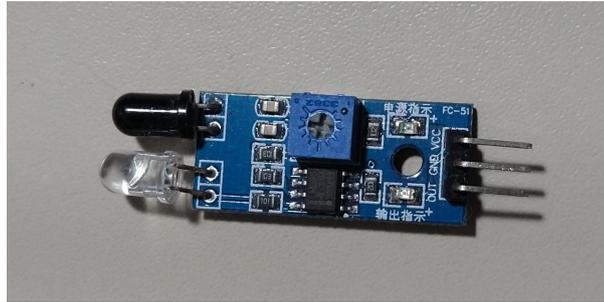


Fonte: Hoffmann (1989)

### 3.3 SENSOR DE REFLETÂNCIA

Esse sensor funciona com dois LEDs, um emissor de infravermelho e um receptor de infravermelho. Ele também conta com uma placa e um circuito integrado comparador de sinais LM393. Após alimentado, o sensor funciona em dois estados, nível lógico alto quando está sem obstáculo e nível lógico baixo quando encontra algum obstáculo. A placa utilizada é mostrada na figura 8.

Figura 8 – Sensor de obstáculo



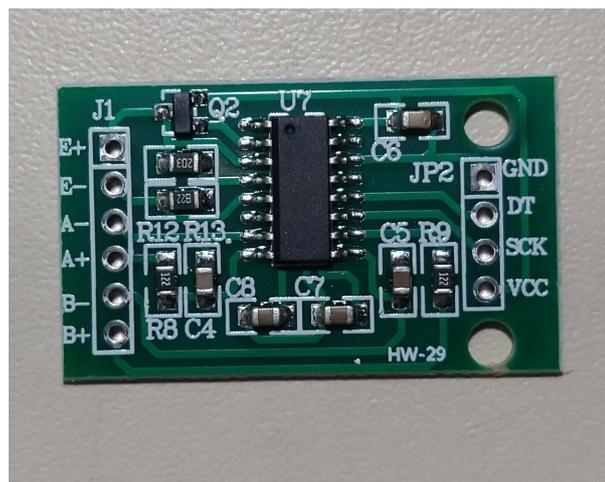
Fonte: Autor

A distância desejada de detecção do obstáculo pode ser regulada diretamente no sensor. Para usar o dado desse sensor é necessário somente ler o valor da saída digital, podendo ser utilizado para detectar se a pessoa está ou não utilizando o encosto da cadeira e se está posicionada de maneira correta.

### 3.4 HX711

A variação de resistência de um fio quando submetido a tensão é muito pequena. Para se ter uma maior precisão de medição é necessário utilizar um amplificador de sinais (HOFFMANN, 1989). O HX711 é um conversor analógico-digital (ADC - do inglês *Analogue to Digital Converter*) de 24 bits utilizado para aplicações que envolvem medição de peso. Possui entradas analógicas com ganho de amplificador e faz a conversão do sinal para digital, aumentando a precisão da leitura do sinal.

Figura 9 – Placa com HX711



Fonte: Autor

Como mostrado na figura 9, é possível ter acesso ao *chip* HX711 com uma placa de circuito já pronta, facilitando o uso e o manuseio. Esse componente será utilizado juntamente com o sensor *strain gage*, para uma melhor precisão e também disponibilidade de leitura do sinal por portas digitais.

### 3.5 BIBLIOTECA HX711

A biblioteca HX711<sup>1</sup> é uma biblioteca de programação escrita na linguagem de programação Python baseada em orientação a objeto. Esta biblioteca pode ser utilizada para realizar a comunicação entre o módulo HX711 mostrado na imagem 9 e o Raspberry por meio de protocolo de comunicação e as *GPIO*.

Os métodos necessários a aquisição de dados de um módulo HX711 estão dentro de uma classe *HX711*. Para cada módulo utilizado é necessário criar um objeto informando as duas portas que estão sendo utilizadas para realizar a comunicação e o módulo receber os dados.

O método da classe que retorna o valor da leitura do sensor é *read\_median()*, que recebe como argumento a quantidade de vezes que o dado do sensor deve ser lido. Após colocar os valores da leitura em uma lista, a função organiza os valores em ordem crescente e retorna a mediana da lista, tentando assim evitar possíveis erros e ruídos na medição.

---

<sup>1</sup> <https://github.com/tatobari/hx711py>

#### 4 PROTOTIPAGEM

A prototipagem da cadeira para monitoramento da postura envolveu duas situações para medição: a maneira que está sendo utilizado o encosto da cadeira e a distribuição correta de peso entre os dois lados do assento da cadeira.

No que diz respeito ao uso do encosto, Grandjean (1998) relata que o uso do encosto é importante, pois quando se está usando este a carga nos músculos das costas é aliviada, assim como é importante manter a coluna ereta, sendo o ideal ter o revezamento entre essas duas posições.

A segunda situação que foi considerada para realizar o monitoramento, é a inclinação ou não do tronco para um dos lados da cadeira. Segundo Barnes (1977), esta posição é uma das posturas incorretas que ocorrem com maior frequência. Quando se está nesta posição, algumas partes do corpo podem estar submetidas a uma carga maior do que deveria.

O projeto foi elaborado de forma que seja possível monitorar o uso do encosto e a distribuição do peso em cada lado da cadeira. Para isso foi necessário uma cadeira em que fosse possível acoplar os sensores de refletância no encosto e que também suporte algum dispositivo para medir a distribuição da carga. A cadeira que foi utilizada é mostrada na imagem 10.

Figura 10 – Cadeira usada para montar o protótipo



Fonte: Autor

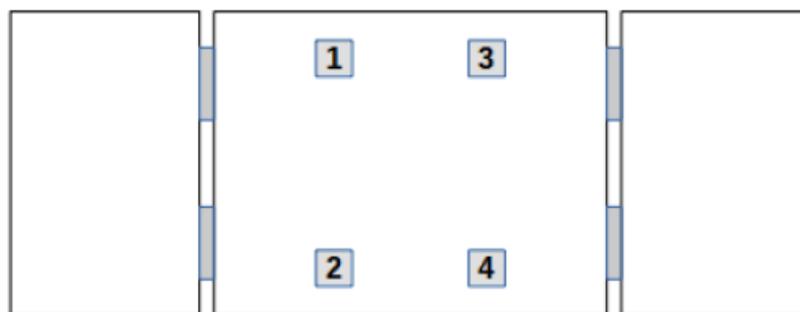
O sensoriamento da cadeira foi dividido em duas partes. Os sensores de refletância foram fixados nos espaços livres no encosto da cadeira. A parte de monitoramento da distribuição de carga entre os lados do assento não foi possível usar diretamente a cadeira. Com isso se fez necessário o uso de um outro protótipo para ser colocado sobre o assento somente para esse uso.

A seguir são apresentados detalhamentos sobre os protótipos e testes de funcionamento. A seção 4.1 mostra o protótipo utilizado para monitorar a distribuição de carga. Nas seção 4.2 até 4.5 são apresentados testes dos sensores realizados individualmente na integração com o protótipo. As seções 4.6 até 4.9 são referentes à explicação dos algoritmos utilizados para integração dos sensores com o protótipo.

#### 4.1 PROTÓTIPO FÍSICO PARA MEDIR DISTRIBUIÇÃO DE PESO

Para prototipar um dispositivo em que fosse possível utilizar sobre o assento da cadeira e fazer a medição de carga em ambos os lados, foi pensando em algo que somente fosse possível realizar movimentação no sentido da força peso. Os desenhos do protótipo com as folhas fechadas e abertas são mostrados na figura 11 e na figura 12, onde os quatro quadrados cinzas numerados de 1 a 4 na placa central são os quatro sensores de carga.

Figura 11 – Protótipo aberto



Fonte: Autor

Figura 12 – Protótipo fechado



Fonte: Autor

Na construção mostrada na figura 13, foram utilizadas três placas de fibra de média densidade (MDF), uma na base para servir de apoio inferior dos sensores e duas em cima para servir como apoio superior aos sensores também para se ter a possibilidade de sentar sobre o protótipo.

Com intuito de prender as placas de cima com a de baixo permitindo somente o movimento no sentido da força peso, foram utilizadas dobradiças para formar um sistema que atendesse a necessidade de se movimentar apenas na direção da força peso. Criando assim um sistema parecido com uma balança quando utilizado com os sensores de carga.

Figura 13 – Protótipo pronto aberto



Fonte: Autor

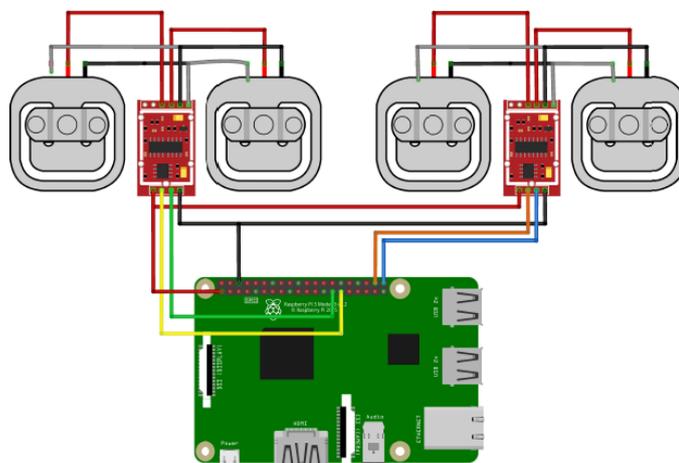
Nos primeiros testes feitos, apenas uma dobradiça foi colocada, porém as placas de cima ficaram com pouca sustentação e firmeza. Com o intuito de evitar possíveis erros de medição no projeto, uma dobradiça foi adicionado em cada placa, ficando com duas dobradiças em cada lado.

Os quatro sensores utilizados no protótipo são mostrados na figura 14. Para cada sensor, foi feito um rebaixo de duas camadas na placa inferior de MDF, uma no contorno do anel externo do sensor para permitir o encaixe e um mais fundo com o contorno do miolo do sensor prevendo as possíveis deformações quando submetidos a uma carga.

#### 4.2 TESTES COM A CÉLULA DE CARGA

Com o intuito de testar o comportamento das células de carga quando submetidas a uma carga, um circuito foi montado utilizando quatro células de carga, dois módulos *HX711* e, para tratar os sinais recebidos pelo *HX711*, foi utilizado um Raspberry. O circuito montado é mostrado na figura 14.

Figura 14 – Circuito utilizado para os testes da célula de carga



Fonte: Autor

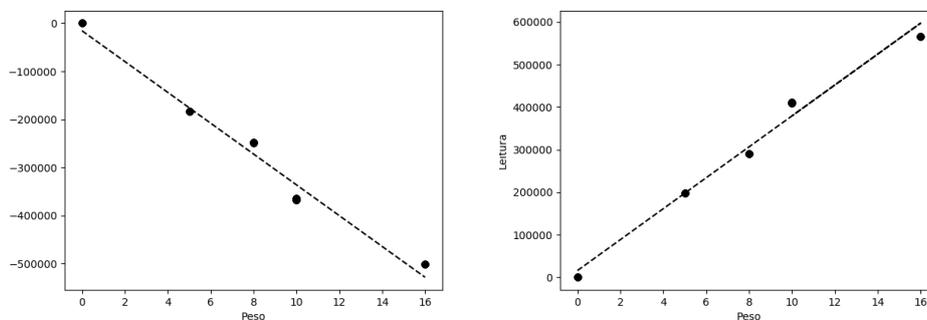
Os sensores do circuito da figura 14 foram montados no protótipo da figura 13. As portas utilizadas do Raspberry são o *GND* e a tensão de *3.3 Volts (V)* para alimentação dos módulos *HX711*. As *GPIO 5* e *6* são utilizadas para comunicação em um destes módulos e *20* e *21* no outro.

O circuito foi montado de forma que cada módulo *HX711* faz a leitura do sinal de 2 células com capacidade de 50 kg, totalizando 100 kg em cada lado da cadeira. Por ter o funcionamento baseado em resistências, a leitura das duas células é o somatório da carga delas. Um módulo faz a leitura dos sinais dos sensores de carga 1 e 2 da figura 11 e o outro os sensores 3 e 4.

Para o teste do comportamento das células quando submetidas a carga, o sistema foi submetido a testes com diferentes objetos de massa conhecida. A massa dos objetos de teste eram de 5 quilogramas (kg), 8 kg, 10 kg e 16 kg. Para cada massa, foram feitas 50 medições utilizando a função *read\_median()* da biblioteca *HX711*<sup>1</sup>.

Os resultados das medições de cada lado do protótipo foram plotados em um gráfico de pontos, juntamente com uma linha de tendência entre os resultados. Por ter resultados próximos na medição, os pontos ficaram agrupados e parecendo somente um. Sendo o *HX711* um *ADC* de 24 bits, o valor mostrado no gráfico 15 é a representação decimal do número binário da conversão.

Figura 15 – Teste de linearidade dos sensores de carga



Fonte: Autor

Analisando os resultados obtidos nos testes de comportamento dos sensores, é possível observar que o resultado varia linearmente na medida em que é a carga vai aumentando, mesmo não seguindo a linha de tendência. Esse resultado mostra que é possível analisar a variação da carga em cada lado do protótipo.

Um fator que pode ter influenciado na diferença da leitura dos sensores em relação à linha de tendência mostrada na figura 15, é o fato de o peso não estar totalmente apoiado sobre os sensores, parte do peso está nas dobradiças e parte nos sensores. Como a aplicação é monitorar a variação da carga durante o uso, não há grande influência saber ou não o peso.

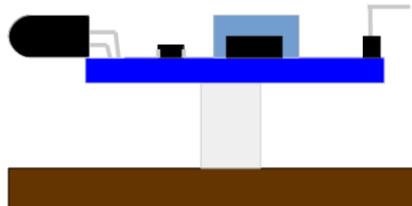
<sup>1</sup> <https://github.com/tatobari/hx711py>

### 4.3 TESTE COM SENSOR DE REFLETÂNCIA

Para testar o sensor de refletância, um sensor foi fixado com os LEDs da detecção rentes as barras horizontais de sustentação do encosto. O sensor é alimentado pela Raspberry e a leitura do sinal de saída é realizada pela *GPIO*. Com intuito de evitar possíveis erros de leitura devido a proximidade entre o apoio inferior, o sensor foi posicionado sobre uma base cilíndrica de raio 0,4 cm e altura de 0,7 cm.

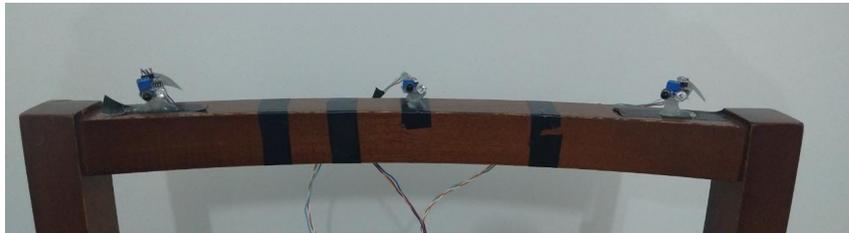
O posicionamento individual dos sensores é mostrado na figura 16, sendo a base marrom a barra horizontal do encosto da cadeira. O posicionamento de três sensores no encosto da cadeira é mostrado da figura 17. Na figura é possível visualizar fitas isolantes pretas, elas foram utilizadas para uma melhor fixação dos sensores e organização dos cabos de sinais e alimentação.

Figura 16 – Posicionamento do sensor de refletância sobre o encosto da cadeira



Fonte: Autor

Figura 17 – Fixação de 3 sensores sobre o encosto da cadeira



Fonte: Autor

A variação da sensibilidade da proximidade é feita por um potenciômetro acoplado ao sensor (sendo este um quadrado azul com um círculo cinza no meio mostrado na figura 8), podendo variar a sensibilidade simplesmente girando o miolo do potenciômetro.

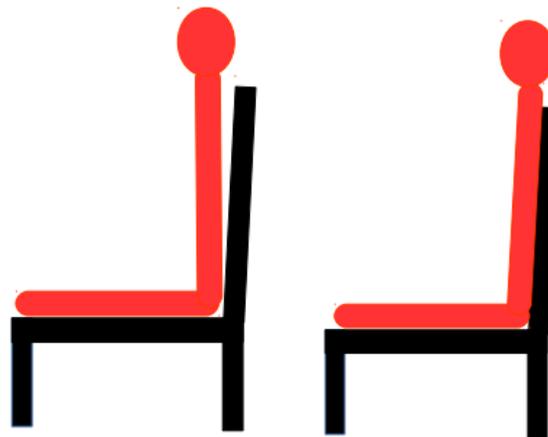
Na regulagem do sensor para uso no protótipo, foi colocado uma régua ao lado e ajustando o potenciômetro para saber qual a menor distância em que o sensor pode realizar a detecção. Conforme o miolo do potenciômetro do sensor é girado no sentido horário, a distância de detecção vai diminuindo. A distância mínima possível de detecção encontrada nos sensores utilizados foi de 1,8 cm.

#### 4.4 TESTES DE POSIÇÃO NO ENCOSTO

Para ter uma referência na análise das posições, foi considerado que uma pessoa pode ficar em duas posições diferentes para manter a postura correta. Uma posição considerada correta é a postura com a coluna ereta, pois a pressão nos discos intervertebrais é menor do que quando se está em uma posição curvada, sendo esta a posição 1 da figura 18 sem inclinação lateral do tronco (GRANDJEAN, 1998).

Quando se usa o encosto para apoiar as costas, parte do peso é transferida para este, aliviando assim a carga nos músculos das costas e evitando a fadiga. Com isso, a segunda posição considerada correta é quando a pessoa está com a totalidade das costas apoiada no encosto da cadeira (GRANDJEAN, 1998), esta é a segunda posição da figura 18 com o tronco sem inclinação lateral.

Figura 18 – Vista lateral da posição 1 e da posição 2



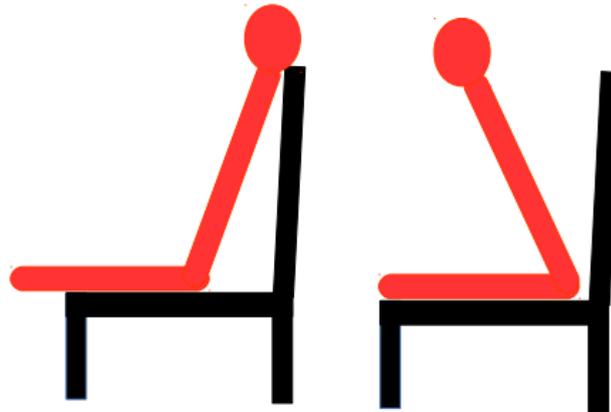
Fonte: Autor

Para ter dados de análise também nas posições incorretas, foram consideradas as posições numeradas de 3 a 8 como incorretas. Na posição 3, a parte de cima da coluna está encostada no encosto da cadeira e a parte de baixo não, sem inclinação lateral do tronco. A posição 4 é com a parte de baixo da coluna encostada no encosto da cadeira com o tronco curvado para frente, também sem inclinação lateral. A vista lateral das posições 3 e 4 é mostrada na imagem 19.

A posição 5 é quando a pessoa está com a coluna curvada para o lado esquerdo com a parte inferior da coluna afastada do encosto da cadeira e a posição 6 com o tronco inclinado para o lado direito, também com a parte inferior da coluna afastada do encosto da cadeira. Sendo estas uma combinação da primeira posição da figura 19 com as duas posições da figura 20.

A posição 7 é quando a pessoa está com a coluna curvada para o lado esquerdo com a coluna totalmente encostada no encosto da cadeira. A posição 8 com o tronco inclinado para o lado direito, também com a coluna encostada na cadeira. Sendo estas

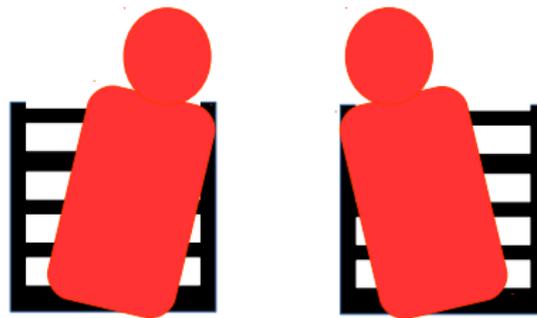
Figura 19 – Vista lateral da posição 3 e posição 4



Fonte: Autor

uma combinação da segunda posição da figura 19 com as duas posições da figura 20.

Figura 20 – Vista frontal da posição curvada esquerda e posição curvada direita



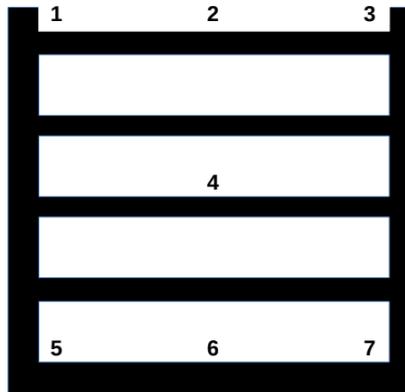
Fonte: Autor

No teste do monitoramento do uso do encosto, foram utilizados sete sensores, a distribuição dos sensores no encosto da cadeira e a numeração de cada um é mostrado na figura 21. Todos os sensores foram regulados e posicionados de acordo com o primeiro sensor que foi realizado o teste.

O circuito da integração dos sete sensores com o Raspberry é mostrado na figura 22 e o circuito completo é mostrado no apêndice A. O sensor de refletância possui três pinos, os dois utilizados para alimentar e referência de tensão foram as portas *3.3 Volts(V)* e *GND*. A última porta do sensor é a saída do sinal, por ser um sinal digital a leitura dos sinais foi feita diretamente pelas *GPIO*.

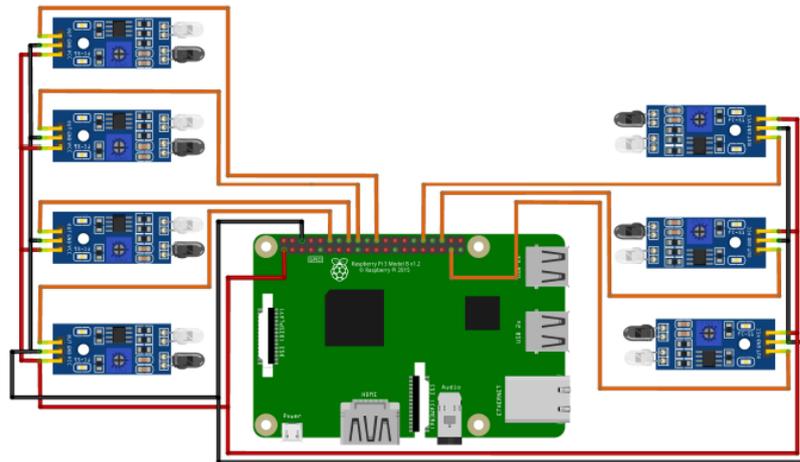
Com o objetivo de testar o resultado dos sete sensores, os sinais foram extraídos por 50 ciclos com intervalo de 10s enquanto o computador era utilizado. O resultado da medição dos ciclos são de cada posição é mostrado na tabela 2, sendo que para cada ciclo em que fosse detectada presença no sensor, era somada uma

Figura 21 – Vista frontal do encosto da cadeira com o os sensores de refletância posicionados



Fonte: Autor

Figura 22 – Circuito utilizado no teste de posição do encosto



Fonte: Autor

unidade.

A primeira linha da tabela se refere aos sensores mostrados na imagem 21. As demais linhas se referem à quantidade de vezes em que foi detectado presença nos sensores de refletância em cada posição. Nas posições em que o valor do sensor é 50, o sensor detectou presença em todos os testes. Quando o valor é diferente de 50, não ocorreu detecção em todos os ciclos.

Analisando a tabela 2, é possível notar que na posição 2, todos os sensores estão ativados e na posição 1 os sensores 4,5,6 e 7, mostrando que na posições corretas os sinais dos sensores indicaram o mesmo resultado em todos os ciclos. Em nenhuma das posições incorretas foi detectado sinal de presença nos sensores 1 e 3 juntamente com o sensor 6.

Também é possível perceber que em todas as posições incorretas em que

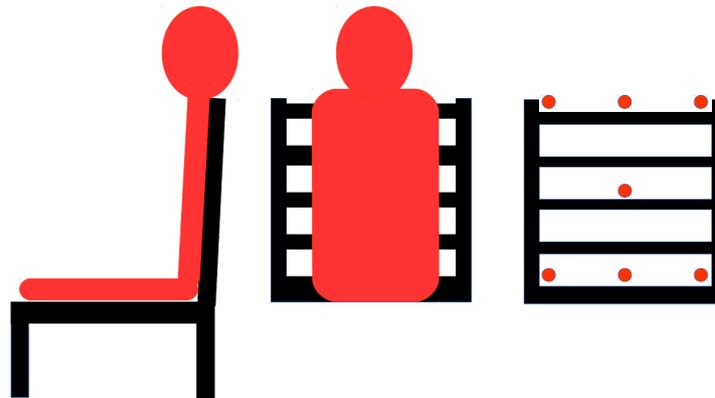
Tabela 2 – Resultado da medição dos sensores

Sensor	1	2	3	4	5	6	7
Posição 1	0	0	0	50	50	50	50
Posição 2	50	50	50	50	50	50	50
Posição 3	29	38	39	40	0	0	0
Posição 4	0	0	0	0	50	50	50
Posição 5	0	0	11	16	0	0	37
Posição 6	50	0	0	50	0	0	0
Posição 7	50	46	0	50	50	50	50
Posição 8	0	37	50	50	50	50	50

Fonte: Autor.

foi detectado presença nos sensores 6 e 4 não foi detectado nos sensores 1 e 3. Para uma melhor visualização, a vista lateral e frontal, assim como os sensores que permaneceram ativados durante todos os ciclos no teste na posição 1 é mostrada na figura 23.

Figura 23 – Vista lateral, frontal e sensores ativados na posição 1



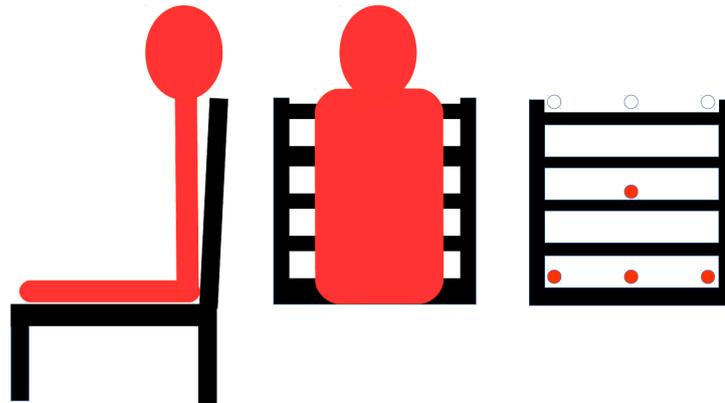
Fonte: Autor

Os sensores da figura 21 que permaneceram ativos durante todos os testes são representados por bolas laranjas na imagem do encosto da figura 23. A mesma análise foi feita na posição 2, sendo que a vista lateral e frontal, assim como os sensores ativos durante os testes são mostrados na imagem 24.

A análise na tabela 2, juntamente com as imagens 23 e 24 mostra que com os sensores 1, 3, 4 e 6 já é possível monitorar se a pessoa está sentada nas posições 1 e 2. Não estando nestas posições, é considerado que a pessoa está utilizando o encosto incorretamente.

Com o objetivo de monitorar apenas se o encosto está sendo utilizado corretamente, é possível descartar por redundância o uso dos sensores 2, 5 e 7. Na posição 1 os sensores 1, 3, 4 e 6 devem estar detectando presença, na posição

Figura 24 – Vista lateral, frontal e sensores ativados na posição 2



Fonte: Autor

2, os sensores 6 e 4 devem estar detectando presença e os sensores 1 e 3 não. Uma combinação diferente destas duas, é considerada como posicionamento incorreto.

#### 4.5 TESTES DE COMPORTAMENTO DA CÉLULA DE CARGA COM USO DO PROTÓTIPO

Para estimar os parâmetros de acomodação e variação normal nos estados de *Ajuste* e *Monitora assento*, mostrados no diagrama da imagem 26, foi necessário realizar testes para entender o comportamento dos sensores quando o protótipo é utilizado de forma dinâmica.

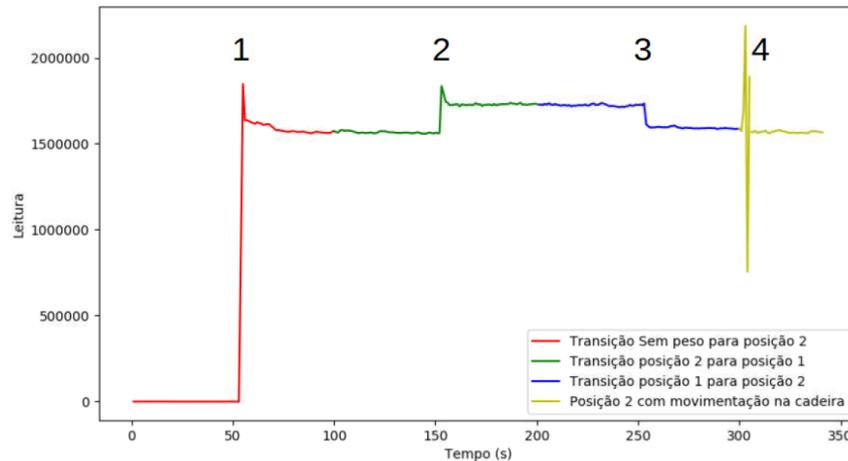
Baseado nos testes de posição no encosto, foram escolhidas duas posições como corretas, sendo estas definidas como posição 1 ( tronco ereto ) e posição 2 ( tronco apoiado no encosto da cadeira ). A figura 25 mostra um teste realizado para entender o comportamento dos sensores de carga quando a cadeira é utilizada nestas posições, assim como o comportamento nas mudanças de posição e movimentação na cadeira.

A indicação de número 1 mostra o momento de transição em que uma pessoa senta na cadeira na posição 2. O indicador de número 2 é quando há uma mudança da posição 2 para a posição 1 no número 3 novamente na posição 2. As oscilações no indicador de número 4 indicam uma movimentação na cadeira enquanto está na posição 2.

O gráfico pode ser analisado para estimar valores que representam uma acomodação dos dados e usar no algoritmo do estado de *Ajuste*. Os picos vistos nos indicadores 1,2 e 4 mostram que pode haver uma grande variação quando há troca entre posições e movimentação na cadeira, estes dados de pico precisam estar fora do valor de referência na calibração do estado *Ajuste* para evitar erros.

Em relação ao estado de *Monitora assento*, com a análise dos dados é possível

Figura 25 – Teste de comportamento do sensor de carga



Fonte: Autor

verificar qual a variação da leitura das células de carga quando o protótipo está sendo utilizado e com isto estimar os valores aceitáveis para fazer a classificação de quando a posição está sendo mantida ou quando está sofrendo alteração.

Analisando os dados do intervalo 75s até 140s, foi obtido uma variação máxima de 1,63% em relação a média dos valores da medição. É importante destacar que essa medição foi feita somente com uma pessoa, e tentando permanecer o mais estática possível em um período de 65s.

#### 4.6 ALGORITMO DE MONITORAMENTO DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGA

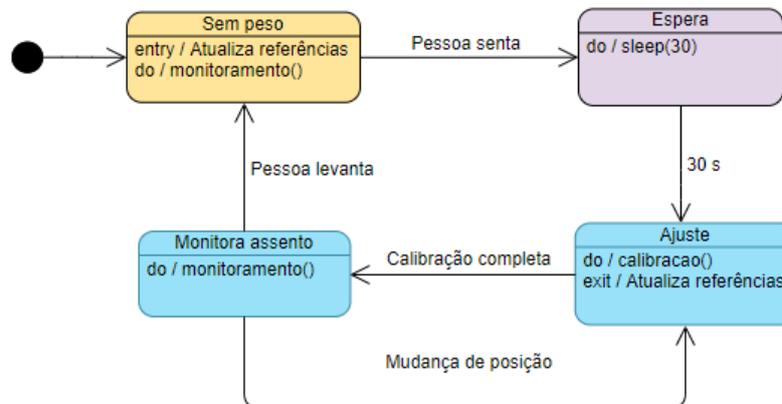
Uma das posturas incorretas que ocorrem com frequência é quando a pessoa está inclinada para um dos lados da cadeira. Com o monitoramento da distribuição do peso entre os dois lados do acento da cadeira, é possível identificar se a pessoa está ou não nessa postura inclinada (BARNES, 1977).

Na construção do algoritmo de controle da distribuição de carga, um diagrama de máquina de estados foi elaborado para um melhor entendimento de como deve ser o funcionamento do algoritmo. A figura 26 mostra o diagrama e a sequência dos estados de funcionamento do código.

O algoritmo de medição de equilíbrio de carga é dividido em 4 estados, *Sem peso*, *Espera*, *Ajuste* e *Monitora assento*. O estado *Sem peso* é quando os sensores não detectam peso no assento da cadeira. O algoritmo entra no estado de *Espera* quando alguém senta. No estado de espera apenas é iniciado um temporizador e nenhuma leitura de sensores é necessária.

Após sair do estado de *Espera*, o algoritmo entra no estado *Ajuste*. Neste estado o algoritmo detecta se os sensores de carga ainda estão sofrendo variação.

Figura 26 – Diagrama de estados algoritmo de balanceamento de cargas



Fonte: Autor

Depois de a pessoa se acomodar e a variação estar de acordo, a calibração começa, medindo a carga de cada lado e criando uma referência da diferença de peso entre os lados.

Para saber qual a variação máxima no sinal das células de carga com um objeto estático, foram analisados os dados dos testes de comportamento com um objeto de 16 kg, o mesmo que foi utilizado nos testes da seção 4.2. A porcentagem da diferença entre o maior e o menor valor de leitura para esse peso em relação a média foi de 0,135%.

No estado de *Ajuste*, é importante que a pessoa fique na posição correta, pois é quando a referência de peso dos dois lados é calculada. Assim como a variação entre as medições, o algoritmo também verifica se a pessoa está na posição 1 ou 2 do teste de posição do encosto e calcula a referência para a posição em que a pessoa está na hora da calibração.

No estado *Monitora assento*, a carga em cada lado do protótipo é monitorada continuamente e as leituras são comparadas com os valores de referência obtidos no estado *Ajuste*. Em caso de variação de peso por mudança de posição, o algoritmo verifica pelos sensores de refletância se a pessoa está na posição 1 ou posição 2. Para os casos de mudança da posição 1 para a posição 2 e vice versa, uma nova calibração é feita.

Quando há um desequilíbrio entre os pesos sem mudança na posição do encosto, ou quando a posição do encosto mudou da posição correta para a incorreta, o algoritmo espera 30s e realiza a leitura novamente. Em caso da persistência da divergência na medição de carga do assento, um aviso<sup>2</sup> é gerado a cada 30s para corrigir a postura e o algoritmo volta para o estado de *Ajuste*.

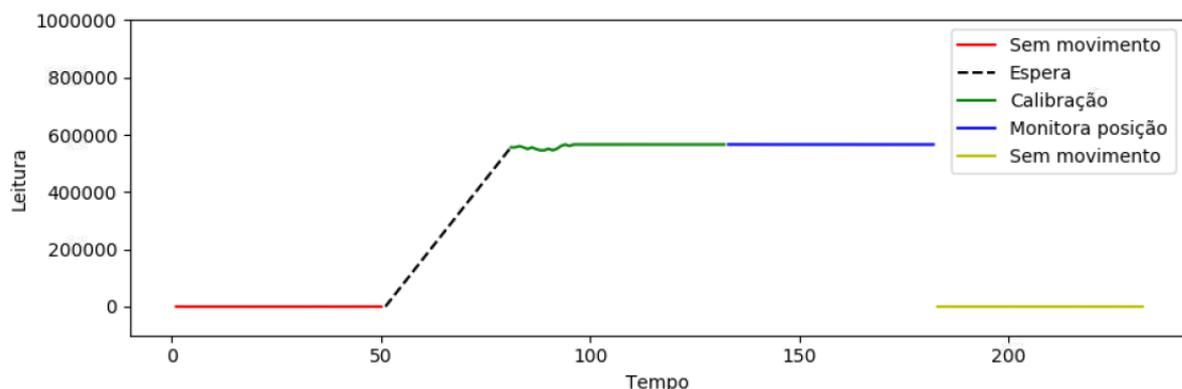
<sup>2</sup> Para o protótipo, o aviso é gerado por um LED que se acende

Para um melhor entendimento dos estados do diagrama da figura 26, é utilizado um gráfico com a leitura de um dos lados do protótipo de distribuição de carga. A linha vermelha do gráfico da figura 27 é o estado *Sem peso*, a linha preta pontilhada entre a linha vermelha e a linha verde é o estado de espera após detectar peso, neste estado as leituras dos sensores são ignoradas. No estado *Sem Peso* não é realizada nenhuma leitura do sensor de carga.

O estado de *Ajuste* é mostrado na linha verde do gráfico da figura 27, que no começo sofre um pouco de variação e depois estabiliza. *Monitora assento* é representado no gráfico pela linha azul, sendo que nessa representação foi considerada uma posição estática, sem variação de carga nas células. Na seção 4.8 são apresentados mais detalhes sobre este estado.

A última linha do gráfico é a linha amarela, que representa o estado *Sem peso* novamente. Para os casos em que ocorre mudança entre as posturas corretas, o estado *Ajuste* da linha verde vem após o estado *Monitora assento* no gráfico.

Figura 27 – Leitura do sensor em cada estado do diagrama de estados



Fonte: Autor

#### 4.7 ALGORITMO PARA MONITORAMENTO DE USO DO ENCOSTO

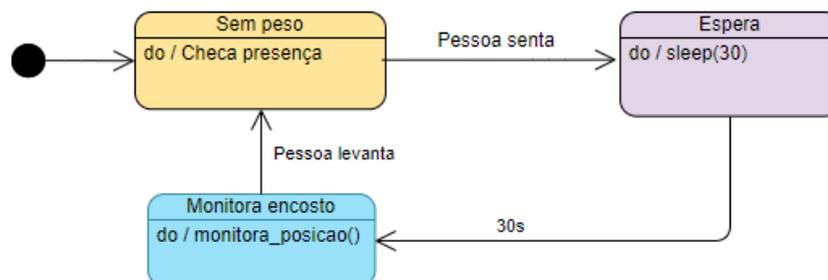
Na elaboração do algoritmo de monitoramento de uso do encosto, foram considerados os resultados das duas posições corretas utilizadas no teste de posição do encosto como base para realizar a comparação com a medição contínua. A posição 1 é quando a pessoa está com o tronco ereto e a posição 2 com as costas totalmente apoiadas no encosto da cadeira, ambas sem inclinação lateral do tronco.

A análise no teste de posição no encosto mostrou que com apenas quatro sensores é possível saber se a pessoa está utilizando ou não o encosto corretamente. Na construção do algoritmo de monitoramento do uso do encosto da cadeira, foram utilizados os sinais de quatro sensores de refletância para detectar como está sendo utilizado o encosto. São estes os sensores 1, 3, 4 e 6 com a posição representada na figura 21.

Para monitorar apenas quando a cadeira está sendo utilizada, o algoritmo de monitoramento de uso do encosto começa a monitorar juntamente com o estado *Ajuste* do diagrama mostrado na figura 26. Ou seja, o evento *Pessoa senta* é a identificação feita pelos sensores de carga de que uma pessoa sentou, assim como o evento *Pessoa levanta* também é identificado pelos sensores de carga.

No algoritmo de monitoramento de distribuição de carga e no de ajuste, também é feita a análise da posição em que o encosto está sendo usado. O diagrama de estados do algoritmo de monitoramento de uso do encosto é mostrado na figura 28. Os estados *Sem peso* e *Espera* são os mesmos do diagrama mostrado na figura 26. Para uma melhor visualização da integração dos diagramas de estados das Figuras 26 e 28, é utilizado um diagrama de estados com um estado composto, o qual é mostrado no apêndice C.

Figura 28 – Diagrama de estados do algoritmo de monitoramento de encosto



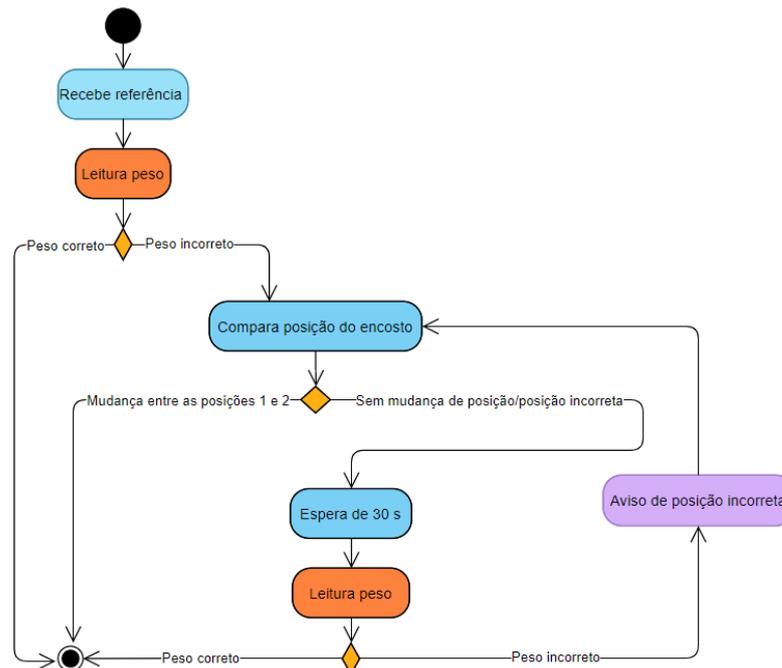
Fonte: Autor

A leitura dos sinais dos sensores de refletância é feita por meio das *GPIO* do Raspberry. No estado *Monitora encosto*, uma função compara o resultado obtido da leitura dos sensores com o resultado esperado para as posições corretas 1 ou 2. No estado *Esperando* o algoritmo de monitoramento de uso do encosto está verificando se o algoritmo de balanceamento de carga está no estado *Ajuste*.

Em caso de divergência entre a leitura dos sinais dos sensores com a referência, o programa espera 30s com intuito de enviar mensagem toda vez que a pessoa precisar se reacomodar na cadeira. Caso haja persistência na posição incorreta, um aviso é emitido indicando que o protótipo não está sendo utilizado corretamente.

#### 4.8 MONITORAMENTO DO USO DO ASSENTO

O estado *Monitora assento* do diagrama mostrado na figura 26 utiliza uma função que monitora individualmente a carga dos dois lados do protótipo, que recebe por parâmetro a referência de peso de acordo com a posição que a pessoa se encontra no encosto, sendo a referência os valores recebidos no estado de *Ajuste*. Esse estado trabalha também com os dados obtidos pelo estado *Monitora encosto* da figura 28. O diagrama de atividades desse algoritmo é mostrado na figura 29.

Figura 29 – Diagrama de atividades do estado *Monitora assento*

Fonte: Autor

Um fator analisado é a porcentagem do considerado normal de variação, estimada no teste de comportamento da célula de carga quando o protótipo está em uso. O valor encontrado foi de 1,63%, porém o valor utilizado como tolerância de variação do peso medido em relação a referência é de duas vezes esse valor, 3,26%.

Ao entrar na função, uma leitura do peso é realizada e comparada com a referência recebida do estado de *Ajuste* juntamente com a porcentagem de tolerância. Em casos do peso estar de acordo, a função é finalizada sem ação. Se houver divergência entre o peso e a referência, é realizada uma verificação se houve mudança no uso do encosto entre as posições corretas e em caso positivo, a função é finalizada.

Em casos que há divergência no peso e não houve mudança entre posturas corretas, a função entra em um estado de espera de 30s. Após o tempo, uma nova leitura de peso e posicionamento de encosto é realizada. Se o peso bater com a referência a função é finalizada e, em caso negativo, a função entra em um *loop* de avisos e leitura até corrigir a postura do assento ou encosto.

#### 4.9 ESTADO AJUSTE

Para realizar a comparação entre o peso em que o encosto está sendo submetido e o peso considerado correto, é preciso ter um valor de referência. O gráfico de teste do protótipo da figura 25 mostra que, quando uma pessoa senta, assim como quando há mudança de posição, os sensores sofrem uma significativa variação.

Na função de calibração, é necessário ter uma faixa de valores para considerar

que os valores da leitura dos sinais estabilizaram. A porcentagem da diferença entre o maior e o menor valor encontrado nos testes de comportamento da célula de carga no uso do protótipo em relação a média é de 1,63%.

Com base nisto, são considerados que os valores de leitura estão estabilizados e o algoritmo começa a calcular o valor de referência quando a variação entre as últimas cinco medições for menor que cinco vezes o valor do teste, 8,15%. Após estar estabilizado, é feita uma média de 10 valores lidos e um valor de referência é retornado pela função.

Esse valor de 8,15% foi determinado de forma empírica com base na análise de comportamento do gráfico da figura 25. Esse valor foi utilizado somente para testes e pode ser mudado. Para estimar um valor com maior precisão de um valor de acomodação, seria necessário realizar testes com mais pessoas.

Assim como o valor aceitável de variação no estado de monitora assento, esse valor de tolerância para começar a calibração é retirado de um arquivo de texto com métricas utilizadas em funções do código e pode ser alterado. Por ser um valor estimado com poucos testes, não há precisão caso outra pessoa venha a usar.

Para um melhor resultado de um valor de estabilização, seria necessário realizar testes com várias pessoas com períodos maiores de utilização do protótipo no computador, juntamente com uma forma de averiguar em qual dos períodos da medição que a pessoa se encontra na posição correta.

#### 4.10 ALTERNATIVAS AVALIADAS

Nas subseções a seguir são apresentadas observações, problemas e oportunidades identificadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho. São situações que não fazem parte do protótipo desenvolvido, embora possam ser de interesse para trabalhos futuros.

##### 4.10.1 Relação do sensor de refletância com a luz solar

Alguns testes de aquisição dos sinais dos sensores de refletância foram realizados durante um dia ensolarado, perto de uma janela. Houve dificuldades na regulagem dos sensores, pois os sensores que estavam recebendo luz solar estavam sempre com sinal de detecção de presença ativado, impossibilitando a regulagem.

Após a falta de sucesso na regulagem e nos testes, o objetivo foi achar qual o fator que estava influenciando nas medições. Por se tratar de um sensor de presença que utiliza emissor e receptor de infravermelho, o sensor estava indicando presença pois estava detectando a radiação infravermelho do sol, ao invés da radiação emitida pelo próprio sensor.

Uma alternativa que pode ser avaliada para lidar com essa situação é a inclusão de cada sensor de refletância em uma estrutura tubular, limitando assim a entrada de luz solar. Uma outra alternativa que pode ser avaliada para esse problema é o uso de sensores de distância.

#### **4.10.2 Limitações do protótipo físico de monitoramento da distribuição**

No desenvolvimento do projeto, uma das ideias que foi levantada era realizar o monitoramento da carga exata que cada parte do assento da cadeira estava submetida. Com esses valores, comparar os valores obtidos na medição dos sensores com a distribuição correta, segundo Couto (1995).

Com os testes realizados na seção 4.2, percebeu-se que o comportamento do sensor é linear, mas a linha de tendência não acompanha exatamente os pontos. Isso se deve pelo fato do peso não estar totalmente apoiado nos sensores, parte nos sensores e parte nas dobradiças.

Um outro fator observado que influenciou nos testes da célula de carga, foi a posição em que a pessoa está sentada, mudando o valor do sinal quando há mudança na posição. Assim como há influência na medição de acordo com a posição das pernas, braços e cabeça.

Para realizar a medição correta de peso que o protótipo estava sendo submetido, seria necessário que tivesse somente os sensores entre as placas. Não foi encontrado uma possibilidade de fazer com que as placas ficassem na posição correta de medição, movimento somente no sentido da força peso sem usar dobradiças.

#### **4.10.3 Uso do módulo HX711**

Pelo fato dos sensores do tipo *strain gage* se comportar como uma resistência, variando conforme deformação, não é possível saber o peso que cada sensor está submetido utilizando apenas um módulo *HX711*, o sinal deste módulo é a soma de todos os pesos dos sensores conectados a ele.

Para saber qual dos lados estavam sofrendo variação foi necessário fazer a aquisição de mais um módulo, pois com somente um módulo não é possível diferenciar a variação em cada lado.

#### **4.10.4 Necessidade de algoritmo de Ajuste**

O protótipo de monitoramento de distribuição de carga no assento precisa ser regulado toda vez que for ser utilizado. Foi observado nos testes iniciais que os valores de referência arquivados não se mantinham em um próximo teste, como o sensor varia a resistência pela deformação, fatores como temperatura influenciam no sinal.

#### **4.10.5 algoritmo de monitoramento**

Uma das tentativas de combinação para uso dos sensores de carga foi comparar os dois lados do assento e monitorar a diferença de carga entre os lados do assento. Foi observado que monitorando a diferença podem haver erros, pois há a possibilidade de apoio dos membros do corpo mantendo a diferença, mas com partes do corpo sobrecarregadas.

#### **4.10.6 Tempo de acomodação para começar a calibração**

Inicialmente foi pensando em um tempo de 30s para esperar a pessoa se acomodar logo após sentar na cadeira. Com o início dos testes e análises dos resultados, o tempo foi diminuído para 5s. Uma alternativa que pode utilizada no algoritmo é tirar o tempo de acomodação e utilizar somente o critério de estabilização dos sinais.

Como o tempo de acomodação pode variar muito, com tempos de acomodação menores que o estabelecido no algoritmo, há uma perda de tempo de monitoramento, quando demorar mais para se acomodar, o recurso utilizado vai ser a estabilização dos sinais.

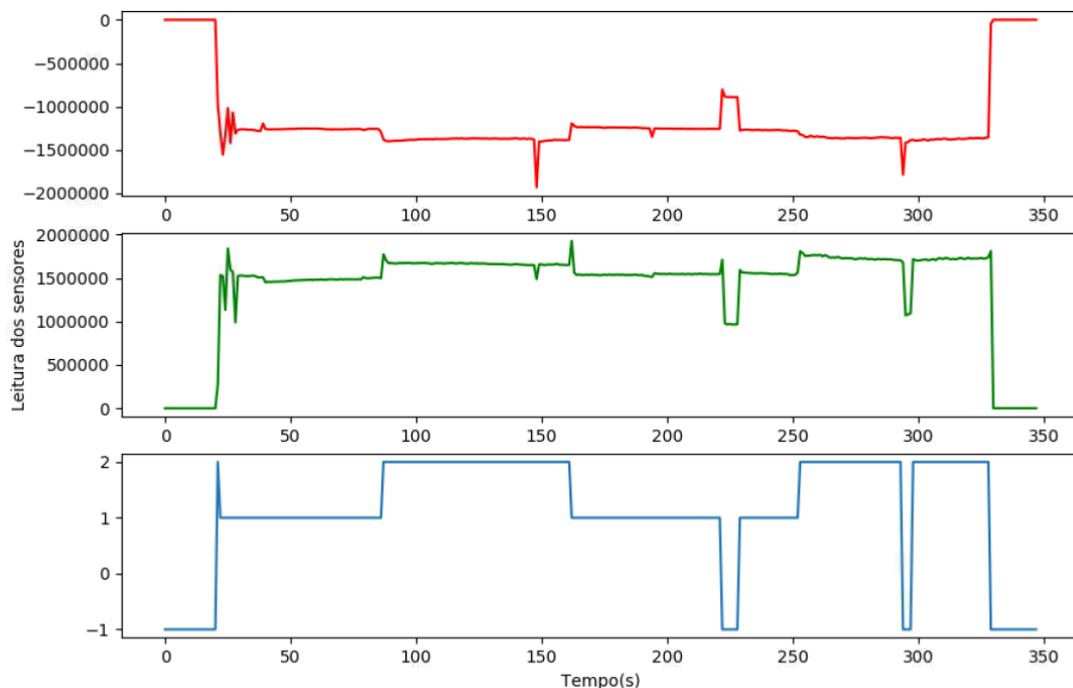
## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos no uso do protótipo com a integração dos sensores de carga e de refletância, utilizando os algoritmos de monitoramento de uso do encosto e monitoramento de distribuição de carga no assento são apresentados nesse capítulo.

Por serem métricas que podem ser alteradas, os tempos de acomodação para entrar no estado de *Ajuste* e para se acomodar na postura foram diminuídos para 5s. Se tratando de sinais medidos entre períodos de tempo, o gráfico seria somente pontos no momento da medição, para uma melhor visualização foi traçada uma linha ligando os pontos.

Para o teste foi realizada a leitura dos sinais da célula de carga dos dois lados do assento, juntamente com o a postura em que o encosto está sendo utilizado. A figura 30 mostra a leitura dos dos sensores de carga nos gráficos com as linhas vermelha e verde. o gráfico de linha azul mostra a posição em que a pessoa está utilizando o encosto, sendo que o valor 2 é para posição 2, valor 1 para posição 1 e -1 para qualquer outra posição.

Figura 30 – Sinais dos sensores de carga e posição de utilização do encosto



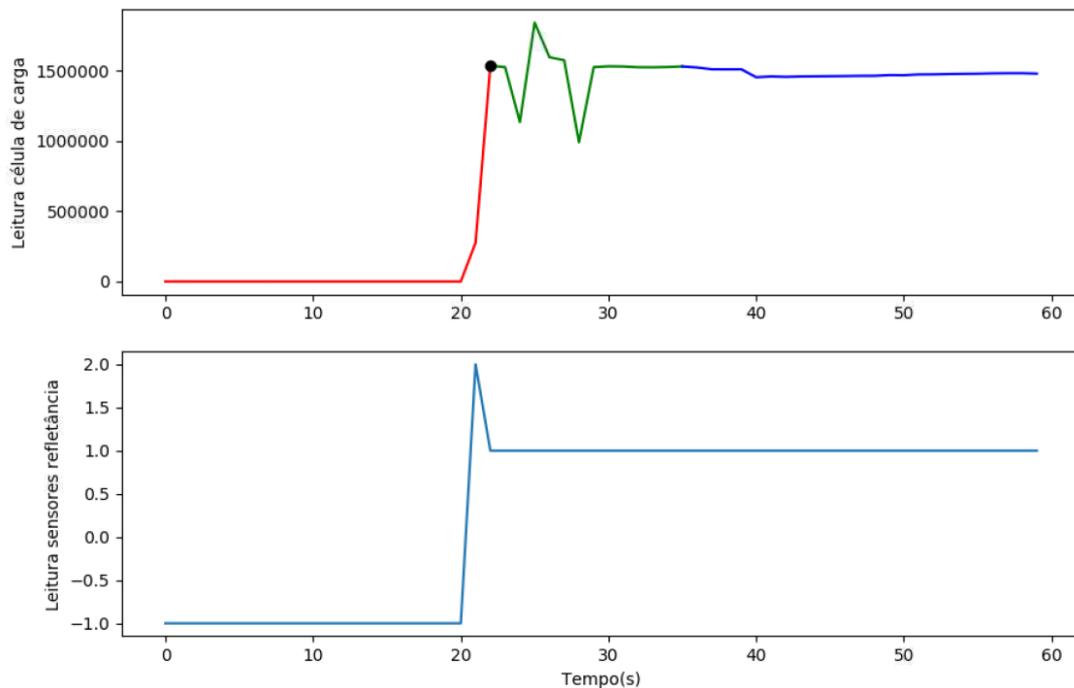
Fonte: Autor

Os cenários avaliados foram: o momento que uma pessoa senta na cadeira, o intercambio entre as posições 1 e 2 do encosto, posição incorreta no encosto e posição incorreta no assento. Como os momentos em que há tempo de acomodação os sensores não realizam leitura e não são mostrados, o gráfico da figura 30 será dividido

entre os momentos citados anteriormente e explicados individualmente.

Por terem resultados semelhantes no quesito de variação, são mostrados os sinais de apenas um dos lados do assento, juntamente com o sinal do encosto. A figura 31 mostra a leitura dos sensores no momento em que uma pessoa se senta no protótipo, sendo esse período de zero até 60s o mesmo período do gráfico mostrado na figura 30, porém com foco no momento para análise.

Figura 31 – Sinais no momento em que uma pessoa senta



Fonte: Autor

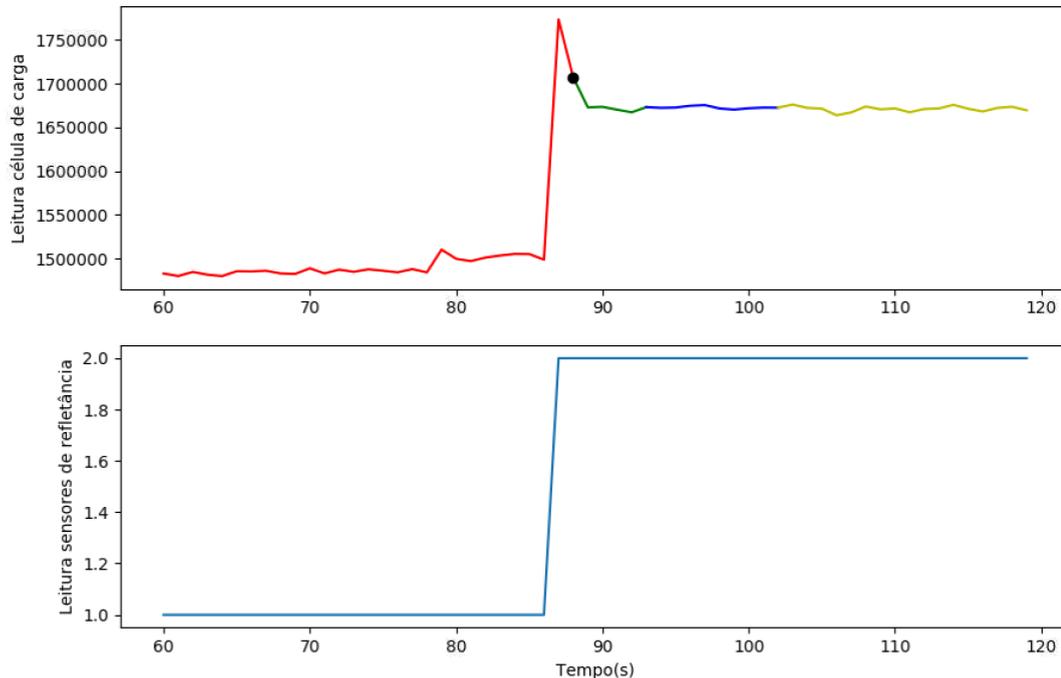
A linha em vermelho da figura 31 mostra um momento em que o protótipo não está sendo utilizado. Quando detecta que tem alguém sentando no protótipo de detecção de carga, o algoritmo congela ( momento apontado no ponto preto ) as operações em um intervalo de 5s e após isso, vêm o estado de *Ajuste*.

O estado de *Ajuste* é dividido em 2 momentos. O primeiro é a espera da acomodação, quando as últimas 5 medições não tiverem uma variação maior que 8,15% entre elas, representado na linha verde. No segundo momento é feita a média de 10 valores medidos para usar de referência no monitoramento do uso do encosto, esse momento é mostrado na linha azul do primeiro gráfico.

Um momento que precisa ser analisado no monitoramento é o intercâmbio entre as posições 1 e 2. Neste momento o algoritmo recalibra os valores de referência dos sensores de carga, já que há uma variação de carga no assento devido a carga no encosto. A figura 32 mostra a leitura dos sensores no momento que há uma troca entre as posições 1 e 2.

Na imagem da figura 32, a linha em vermelho representa o momento em

Figura 32 – Sinais no momento de trocas entre posições 1 e 2



Fonte: Autor

que a pessoa estava na posição 1 e mudou para a posição 2, representado entre os momentos 60s e 120s do gráfico da figura 30. O ponto preto representa o momento em que o algoritmo entra no estado de *Ajuste*.

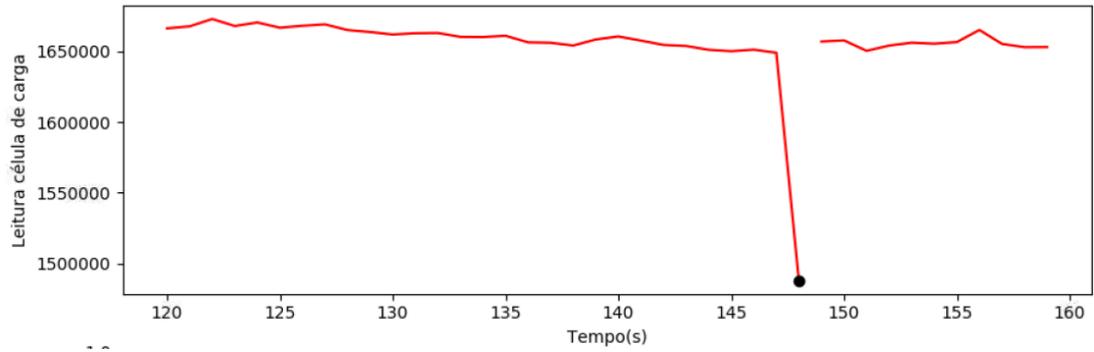
A linha verde do gráfico 32 é o momento de acomodação do estado de *Ajuste* e a linha azul quando começa a calcular a referência. Na linha amarela, o algoritmo entra no estado de *Monitora assento* e está monitorando se o peso está correto de acordo com a referência calculada.

O momento em que o algoritmo detecta posição incorreta na distribuição de carga do assento é mostrado na figura 31. Por ser um curto período de tempo, o algoritmo considerou que seria um momento de acomodação do usuário e congelou as medições por 5s. Após voltar a fazer medições o usuário já estava posicionado corretamente.

O momento mostrado pelo ponto preto na figura 36 é o momento em que o algoritmo congela por detectar posição incorreta. Logo após os 5s, a leitura dos sensores de carga do protótipo mostram que a postura está correta novamente. Sendo esse período de 120s até 160s mostrado do gráfico da figura 30.

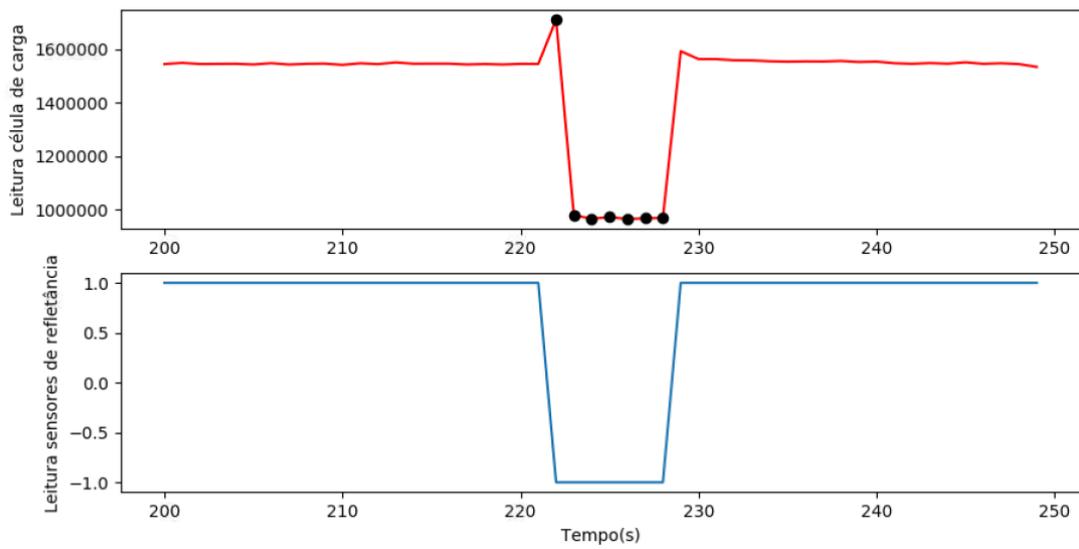
O momento mostrado na figura 34 é a parte em que o algoritmo deve detectar como postura incorreta. Os pontos pretos indicam quando o algoritmo entra no estado de espera de 5s, como nenhuma medição é feita nesses intervalos, o algoritmo considerou que as medições foram feitas a cada 1s, porém foi a cada 5s.

Figura 33 – Sinais no momento de movimentação na cadeira



Fonte: Autor

Figura 34 – Sinais no momento postura incorreta na cadeira



Fonte: Autor

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho foi proposto com o objetivo de realizar o sensoriamento de uma cadeira para monitorar alguns aspectos da postura sentada de uma pessoa. O sensoriamento do protótipo foi separado em duas partes para o monitoramento: monitoramento do encosto e da distribuição de carga entre os dois lados do assento. No uso do encosto foram utilizados sensores de refletância e na distribuição células de carga. Para a medir a distribuição de carga, foi confeccionado um dispositivo para acoplar na cadeira e utilizar com as células de carga.

Os sensores de refletância foram regulados para a mínima distância possível de detecção de presença e o posicionamento deles na cadeira foi testado para ver se atenderia a necessidade para o monitoramento do encosto. No teste do sensoriamento do encosto foram utilizados sete sensores e oito posições, para cada posição o comportamento dos sensores de refletância foi analisado. Com isso foi criado um algoritmo que monitora se o encosto está sendo utilizado corretamente de acordo com as posições estabelecidas.

O teste do protótipo de monitoramento da distribuição de carga foi realizado utilizando o assento e variando posições. Com base nos sinais obtidos foi possível analisar o comportamento dos sinais quando se está em postura estática, mudanças de posição e quando uma pessoa senta. Com base no estudo do comportamento dos sinais foi elaborado um algoritmo que realiza a calibração, coletando valores de referência e um algoritmo de monitoramento da distribuição do assento, que verifica se a carga dos dois lados do assento está correta.

No uso do código, valores como as porcentagens de tolerância dos algoritmos de calibração e monitoramento e o valor dos tempos de acomodação são retirados de um arquivo de configuração com as métricas para facilitar a alteração caso necessário. Estes valores foram estimados no uso do protótipo com apenas uma pessoa em um curto período de tempo, para uma melhor precisão seria necessário mais testes com um uso prolongado, acompanhando de um profissional da saúde garantindo que a pessoa está na postura correta durante os testes.

O resultado final integrando sensores e os algoritmos com o protótipo foi a avaliação de quando uma pessoa senta na cadeira, muda entre as posturas consideradas corretas e quando se está em postura incorreta. Para estes casos o protótipo funcionou corretamente, começando a calibrar quando uma pessoa senta e em seguida monitora a distribuição de carga e a posição de uso do encosto. Recalibra os parâmetros de referência do assento quando se muda entre as posições corretas no encosto e avisa quando se mantém em uma posição incorreta por um tempo maior que

a tolerância.

O protótipo é capaz de medir variações nas células de carga e se regulado, posições específicas no encosto. Foi observado que o uso dos sensores de carga poderiam analisar outras questões da ergonomia na posição sentada, como por exemplo a distribuição do peso na frente e atrás do assento, a inclinação do pescoço e o posicionamento dos braços, para saber se estão ou não apoiados.

Como trabalhos futuros é importante a obtenção de tolerâncias e tempos de acomodação a partir da realização de testes com um número maior de pessoas, fazer uma análise dos resultados e encontrar possíveis valores médios. Com isso obter dados de uso real, validando ou não se devem ser usados tempo de acomodação e tolerâncias de variação genéricas ou estes parâmetros devem obrigatoriamente ser individualizados.

Há também a possibilidade de eliminar o uso da dobradiça, podendo assim medir o carga exata aplicada sobre os sensores, isso envolve uma maneira de fixar as placas com algum material que não influencie na distribuição do peso. Com dados da carga exata no assento, será possível monitorar a distribuição entre a parte da frente e a parte de trás do assento, podendo uma destas partes estarem sobrecarregadas mesmo com a carga distribuída corretamente entre os dois lados. Este monitoramento de carga nas pernas pode ser complementado com o uso de células de carga nos pés, medindo se está com a carga apoiada no chão adequadamente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13966**: Móveis para escritório - mesas - classificação e características físicas dimensionais e requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13962**: Móveis para escritório - cadeiras - requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e de Tempos**: projeto e medidas do trabalho. 6. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977.

BEZERRA, K. A. S.

**Sensoriamento de uma cadeira ergonômica para monitoramento postural** — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2018.

BIGARELLI, B. **43% das empresas adotam home office devido ao coronavírus**. 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/carreira/noticia/2020/03/20/43percent-das-empresas-adotam-home-office-devido-ao-coronavirus.ghtml>. Acesso em: 29 mai. 2021.

BRACCIALLI, L. M. P.; VILARTA, R. Aspectos a serem considerados na elaboração de programas de prevenção e orientação de problemas posturais. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 16–28, 2000.

BRAGATTO, M. M. **Dor cervical crônica e postura em trabalhadores de escritório usuários de computador**. Dissertação de mestrado — Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2015.

CAILLIET, R. **Lombalgias: síndromes dolorosas**. São Paulo: Editora Manole, 1979.

COUTO, H. A. **Ergonomia Aplicada ao Trabalho**. 1. ed. Belo Horizonte: ERGO, 1995.

DALLY, J. W.; RILEY, W. F. **Experimental Stress Analysis**. 3. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1991.

FREITAS, M. S. **SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA POSTURA SENTADA UTILIZANDO PLATAFORMA DE FORÇAS E ACELERÔMETROS**. Dissertação de mestrado — Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

Governo do Estado de Santa Catarina. Declara estado de calamidade pública em todo o território catarinense, nos termos do cobrade nº 1.5.1.1.0 – doenças infecciosas virais, para fins de enfrentamento à covid-19, e estabelece outras providências. **Diário Oficial do Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, 2020. Disponível em: [https://www.saude.sc.gov.br/coronavirus/arquivos/decreto\\_562.pdf](https://www.saude.sc.gov.br/coronavirus/arquivos/decreto_562.pdf). Acesso em: 29 mai. 2021.

GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia**: Adaptando o trabalho ao homem. 4. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

HOFFMANN, K. **An introduction do measurements using Strain Gages**. Alsbach: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

LAVILLE, A. **Ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária – E.P.U, 1977. 49-50 p.

MORO, A. R. P. **ANÁLISE BIOMECÂNICA DA POSTURA SENTADA**: Uma abordagem ergonômica de mobiliário escolar. Tese de Doutorado — Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Strain Gauge measurement - A Tutorial**: Application note 078. Austin, 1998.

PHEASANT, E. **BodySpace**: Anthropometry, ergonomics and the design of work. 2. ed. London: Taylor Francis, 2003.

Raspberry Pi Foundation. **Raspberry Pi 3 Model B+**. 2018. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. Acesso em: 08 jul. 2021.

RESENDE, F. L. S. **ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS E DAS FORÇAS ENTRE ASSENTO E ENCOSTO, NA POSTURA SENTADA ADEQUADA**. Dissertação de mestrado — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2006.

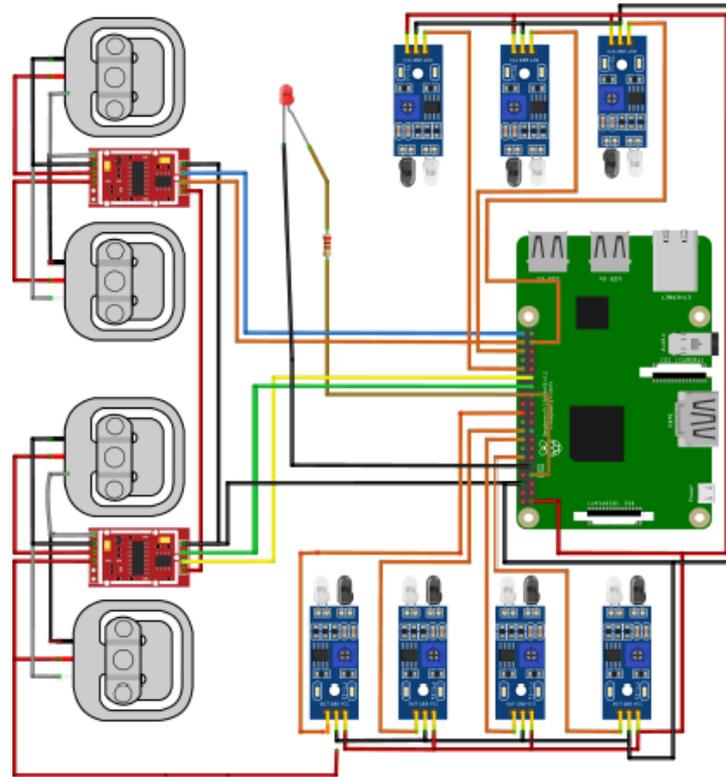
SONNE, M.; VILLALTA, D. L.; ANDREWS, D. M. **Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA—rapid office strain assessment**. 1. ed. [S.l.]: Appl Ergon, 2012. v. 43. 98-108 p.

UFSC. **RETOMADA DAS AULAS (ENSINO REMOTO) - SEMESTRE 2020-1**. 2020. Disponível em: <https://mtm.grad.ufsc.br/2020/08/19/retomada-das-aulas-ensino-remoto-semester-2020-1/>. Acesso em: 29 mai. 2021.

WESTON, H. Visual fatigue with special reference to lighting. **Symposium on Fatigue**, London, 1953.

## APÊNDICE A - CIRCUITO COMPLETO

Figura 35 – Circuito completo



Fonte: Autor

**APÊNDICE B - CÓDIGO DO PROTÓTIPO**

```
1
import time
3 import sys

5 EMULATE_HX711=False

7 referenceUnit = 1

9 if not EMULATE_HX711:
    import RPi.GPIO as GPIO
11    from hx711 import HX711
else:
13    from emulated_hx711 import HX711

15 def cleanAndExit():
    if not EMULATE_HX711:
17        GPIO.cleanup()
        sys.exit()
19

## CONFIG PORTAS GPIO
21 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(4, GPIO.OUT)
23

GPIO.setup(18, GPIO.IN) #5
25 GPIO.setup(23, GPIO.IN) #7
GPIO.setup(24, GPIO.IN) #2
27 GPIO.setup(25, GPIO.IN) #4
GPIO.setup(26, GPIO.IN) #6
29 GPIO.setup(12, GPIO.IN) #1
GPIO.setup(16, GPIO.IN) #3
31

##CONFIG OS MODULOS HX711
33 hx = HX711(5, 6)
hx.set_reading_format("MSB", "MSB")
35 hx.reset()
hx.tare_A()
37

39 hx2 = HX711(20, 21)
hx2.set_reading_format("MSB", "MSB")
41 hx2.reset()
```

```

hx2.tare()
43
# TOLERANCIA PARA CALIBRACAO E PARA MOVIMENTACAO NA CADEIRA
45 refcalib=0.0815
   refsenta=0.0326
47
#RETORNA POSICAO 1, 2 OU INCORRETA
49 def monitoramento_infra():
   ret= 1
51   if (GPIO.input(12)==0 and GPIO.input(16)==0 and GPIO.input(25)==0 and
       GPIO.input(26)==0):
       ret=1
53   if (GPIO.input(12)==1 and GPIO.input(16)==1 and GPIO.input(25)==0 and
       GPIO.input(26)==0):
       ret=2
55   return ret

57
##FUNCAO PARA FAZER O MONITORAMENTO DAS CARGAS
59 def monitoramento(valor_ref=0):
   try:
61
       hx2.power_up()
63       val2 = hx2.get_weight_A(5)
       print("val2: ",val2)
65       hx2.power_down()

67       hx.power_up()
       val = hx.get_weight(5)
69       print("val: ",val)
       hx.power_down()

71
   except (KeyboardInterrupt, SystemExit):
73       cleanAndExit()
   return (val, val2)
75

77 #COMPARA SE MUDOU ENTRE AS POSICOES 1 E 2
def compara_assento(posi):
79   if (monitoramento_infra()>0 and monitoramento_infra() !=posi):
       return 1
81   else:
       return 1
83

#COMPARA SE OS PESOS ESTAO CORRETOS DE ACORDO COM A REFERENCIA
85 def compara_peso(p1,p2,r1,r2,p3,r3):
   if (p1<(r1*(1+r3)) or p1>(r1*(1+r3))):

```

```

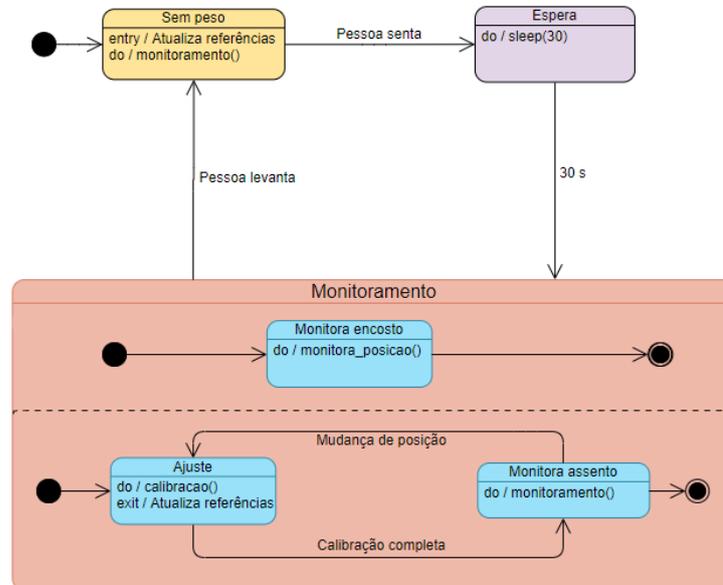
87     return 1
88     if (p2>(r2*(1+r3)) or p2<(r2*(1-r3))):
89         return 1
90     return 1
91
92
93 #REALIZA CALIBRACAO
94 def calibracao (tole , posi):
95     cont=0
96     cont2=0
97     ref1=0
98     ref2=0
99     g,h=monitoramento ()
100    g2,h2=0,0
101    #ESPERA ESTABILIZAR PARA GERAR A REFERENCIA
102    while (cont<5 and (g>10000 or g< 10000)):
103        g,h=monitoramento ()
104        if ( ((g<((1+tole)*g2)) or (g<((1-tole)*g2))) and ((h<((1+tole)*h2)) or
105            (h<((1-tole)*h2))))):
106            cont=cont+1
107        else:
108            cont=0
109            g2,h2=g,h
110    #CALCULA O VALOR DA REFERENCIA
111    while (cont2<10 and (g>10000 or g< 10000)):
112        g,h=monitoramento ()
113        ref1=ref1+g
114        ref2=ref2+h
115        cont2=cont2+1
116    return (ref1/10,ref2/10, posi)
117
118    ref1 , ref2=0,0
119    tempo_incorreta=0
120
121    while (True):
122
123        g,h=monitoramento ()
124        monitora=monitoramento_infra ()
125
126        #CONDICAO QUE DETECTA SE ALGUEM SENTOU E COME A A CALIBRACAO
127        if ((g>10000 or g< 10000) and (ref1==0 and ref2==0)):
128            time.sleep(5)
129            tempo_incorreta=0
130            ref1 , ref2 , posicao=calibracao (refcalib , monitoramento_infra ())
131
132    #CONDICAO QUE MONITORA A DISTRIBUICAO DO ASSENTO

```

```
133     if ((g>10000 or g< 10000) and (ref1!=0 and ref2!=0)):
134         print ("Monitorando2")
135         #COMPARA SE HOUE TROCA ENTRE AS POSI ES CORRETAS DO ENCOSTO E
            RECALIBRA
136         if (compara_peso(g,h,ref1 ,ref2 ,posicao ,refsenta) == 1 and
            compara_assento(posicao)>0):
137             ref1=0
            ref2=0
138             tempo_incorreta=0
139         ##trocou para posicoes incorretas
140         if ((compara_peso(g,h,ref1 ,ref2 ,posicao ,refsenta) == 1 and
            compara_assento(posicao)<0) or (monitora_infra()<0)):
141             tempo_incorreta=tempo_incorreta+1
142             #CONDICAO PARA AVISAR DE POSTURA INCORRETA SOMENTE A PARTIR DO
            SEGUNDO SLEEP
143             if (tempo_incorreta>0):
144                 GPIO.output(4)=1
            time.sleep(5)
145         else:
146             tempo_incorreta=0
```

**APÊNDICE C - DIAGRAMA DE ESTADO COMPOSTO DO ALGORÍTIMO**

Figura 36 – Diagrama de estados composto do algoritmo



Fonte: Autor