

### UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

### MARCUS VINÍCIUS SOUZA SODRÉ

### UMA METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO ESTÁTICA DA NINTENDO WII BALANCE BOARD E SUA AVALIAÇÃO

Ilhéus-BA 2020

# UMA METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO ESTÁTICA DA NINTENDO WII BALANCE BOARD E SUA AVALIAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Esbel Tomás Valero Orellana

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Ossamu Honda

S679	Sodré, Marcus Vinícius Souza. Uma metodologia para calibração estática da Nintendo Wii Balance Board e sua avaliação / Marcus Vinícius Souza Sodré. – Ilhéus, BA: UESC, 2020. 67 f.: il.
	Orientador: Esbel Tomás Valero Orellana. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Santa de Cruz. Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computa- cional em Ciência e Tecnologia. Inclui referências e apêndices.
	<ol> <li>Medição. 2. Calibração. 3. Instrumentos de medição – Calibração – Programa de computador. 4. Software de aplica- ção. I. Título.</li> </ol>
	CDD 620.0044

MARCUS VINÍCIUS SOUZA SODRÉ

# UMA METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO ESTÁTICA DA NINTENDO WII BALANCE BOARD E SUA AVALIAÇÃO

Ilhéus-BA, 13/03/2020

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Esbel Tomás Valero Orellana UESC (Orientador)

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ambrósio UESC

Prof. Dr. Joel Sanchez Dominguez UERJ

Dedico este trabalho a todos os meus professores.

## Agradecimentos

- Agradeço ao prof. Esbel pela paciência e pelos diversos ensinamentos ao longo da jornada que levarei para vida. Agradeço ao prof. Honda pelas críticas que certamente melhoraram consideravelmente a qualidade deste trabalho. Agradeço também a Raí, companheiro de experimento com muito levantamento de peso. Agradeço também a Túlio, Sabrina e Marcílio que fazem parte da equipe multidisciplinar responsável pelo desenvolvimento desse projeto.
- À Universidade Estadual de Santa Cruz por me possibilitar mais esta etapa do meu desenvolvimento pessoal. O bom filho a casa torna.
- À CAPES pelo auxílio financeiro via bolsa de mestrado acadêmico.
- Ao NBCGIB, por fornecer o ambiente de pesquisa e desenvolvimento.
- A todos os colegas, professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia (PPGMC) pela cooperação, amizade, dedicação e conhecimentos ao longo do curso.

A ciência é uma disposição de aceitar os fatos mesmo quando eles são opostos aos desejos. (B. F. Skinner)

"If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants (Sir Isaac Newton).

### UMA METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO ESTÁTICA DA NINTENDO WII BALANCE BOARD E SUA AVALIAÇÃO

### Resumo

A posturografia é uma técnica importante utilizada na avaliação das oscilações corporais e alterações na postura, porém seu uso é limitado devido a dificuldade de acesso aos sistemas utilizados na sua implementação. Equipada com sensores de pressão, a plataforma para jogos Nintendo Wii Balance Board <sup>TM</sup> (**WBB**), pode ser utilizada como uma opção na implementação da posturografia ao ser utilizado com o Ethel, um software especialmente desenvolvido com esta finalidade. Cada plataforma sai da fábrica com um vetor de calibração de referência com informações para cada um de seus quatro sensores, porém resultados diferentes podem ser encontrados a depender da plataforma utilizada. Este trabalho se propõe a apresentar uma metodologia própria de calibração mais simples que as propostas na literatura com o intuito de minimizar as possíveis alterações e diferenças de medição entre plataformas distintas. Como forma de avaliar a calibração proposta, dois experimentos foram realizados: a comparação da calibração proposta de diferentes plataformas com os respectivos vetores de calibração de referência e, posteriormente, a avaliação das medidas realizadas utilizando estes novos valores de calibração. Estas calibrações foram feitas em três dias diferentes em um período de dez semanas, por diferentes operadores, como forma de avaliar a necessidade de recalibração e se existe influencia do operador. Efetuou-se, também, medidas no Ethel com uma massa de 34 Kg posicionada sobre pontos específicos da plataforma com distancias de 1 cm entre elas, de forma a comparar o deslocamento da massa com os valores adquiridos pelo software Ethel. As medidas de massa realizadas com plataformas calibradas com a metodologia proposta apresentam boa correlação com medidas de massa realizadas com uma balança digital. Medidas feitas com plataformas distintas utilizando-se a calibração proposta apresentam um desvio padrão pequeno, ao contrário dos resultados obtidos com o vetor de calibração de referência. As medidas de deslocamento encontradas com o Ethel, após a calibração, apresentam valores precisos e acurados em consonância com a literatura. Com a nova calibração proposta é possível utilizar o software Ethel em conjunto com a WBB como uma alternativa aos sistemas atualmente disponíveis, para a implementação de posturografia. Desta forma, a utilização da calibração proposta garante que os resultados obtidos com o Ethel independem da WBB utilizada.

Palavras-chave: Wii Balance Board, calibração estática, Ethel.

### A METHODOLOGY FOR STATIC CALIBRATION OF NINTENDO WII BALANCE BOARD AND ITS EVALUATION

PPGMC - UESC

### Abstract

Posturography is an important technique used to assess body oscillations and postural changes, but its use is limited due to the difficulty of access to the systems used in its implementation. Equipped with pressure sensors, the Nintendo Wii Balance Board gaming platform can be used as an option in the implementation of posturography when used with Ethel, a software specially developed for this purpose. Each platform comes from the factory with a reference calibration vector with information for each of its four sensors, however different results can be found depending on the platform used. This work proposes to present its own calibration methodology simpler than the ones proposed in the literature in order to minimize possible changes and measurement differences between different platforms. As a way of evaluating the proposed calibration, two experiments were carried out: the comparison of the proposed calibration of different platforms with the respective reference calibration vectors and, later, the evaluation of the measurements performed using these new calibration values. These calibrations were performed on three different days over a period of ten weeks, by different operators, as a way of assessing the need for recalibration and if there is any influence from the operator. Ethel measurements were also made with a mass of 34 kg positioned on specific points of the platform with distances of 1 cm between them, in order to compare the displacement of the mass with the values acquired by the Ethel software. The mass measurements performed with platforms calibrated with the proposed methodology have a good correlation with mass measurements performed with a digital scale. Measurements made with different platforms using the proposed calibration have a small standard deviation, in contrast to the results obtained with the reference calibration vector. The displacement measurements found with Ethel, after calibration, present precise and accurate values in line with the literature. With the new calibration proposed, it is possible to use the Ethel software together with the WBB as an alternative to the currently available systems, for the implementation of posturography. Thus, the use of the proposed calibration ensures that the results obtained with Ethel are independent of the WBB used.

Keywords: Wii Balance Board, static calibration, Ethel.

# Lista de figuras

Figura 1 –	Ilustração do CoP em um sistema de coordenadas baseado em forças	
	e momentos medidos por uma plataforma de força	5
Figura 2 –	Representação de uma plataforma de força e seus eixos de medição.	6
Figura 3 –	Plataforma Wii Balance Board exibida em vista explodida. A estrutura	
	de metal é posicionada apoiada sobre os quatro sensores, de forma	
	que a massa aplicada sobre sua superfície seja distribuída entre os	
	sensores	8
Figura 4 –	Sensores de equilíbrio da WBB localizada nos quatro cantos	8
Figura 5 –	Plataforma WBB com as forças de reação representadas sob cada	
	sensor bem como os três eixos de medida $X, YeZ$ . As distância entre	
	os apoios da estrutura metálica sobre os sensores são exibidos como	
	$X \in Y$ nas direções $ML \in AP$ respectivamente	9
Figura 6 –	Trajetória de CoP com olhos abertos medida com WBB em compara-	
	ção com plataforma de força de grau laboratorial.	11
Figura 7 –	Custo da licença do software National Instruments Labview	12
Figura 8 –	Recorte de tela de exames do Ethel com algumas métricas calculadas.	13
Figura 9 –	Tela do software Ethel exibindo caminho do CoP em estatocinesio-	
	grama	14
Figura 10 –	Equipamento utilizado para posicionar a carga em pontos de interesse	
	sobre a WBB: <b>A</b> : Equipamento montado sobre a plataforma; <b>B</b> : Partes	
	constituintes	16
Figura 11 –	Locais de aplicação da massa durante o procedimento calibração da	
	WBB: A: Sensor RT destacado em cor diferente dos demais; B: Sensor	
	RB destacado em cor diferente dos demais; C: Sensor LT destacado	
	em cor diferente dos demais; <b>D</b> : Sensor LB destacado em cor diferente	
	dos demais.	17
Figura 12 –	Fluxograma descrevendo o método iterativo utilizado no cálculo de	
	$R_{med,j}$	18
Figura 13 –	Telas do Ethel com instruções ao operador durante o processo de	
	calibração: A: Tela com instrução para não posicionar carga sobre	
	a plataforma WBB; <b>B</b> : Tela com instruções para posicionamento da	
	massa de 17 Kg sobre o sensor RT destacado em cor diferente dos	
	demais; <b>C</b> : Tela com instruções para posicionamento da massa de 34	
	Kg sobre o sensor RT destacado em cor diferente dos demais; <b>D</b> : Tela	
	final onde é possível testar, salvar ou descartar a calibração.	20

Figura 14 – Balança digital de marca Camry modelo EB9013 utilizada como refe-	-
rência nas medidas de massa no Experimento 1	. 21
Figura 15 – Objeto retangular sendo utilizado para minimizar a pressão e a defor-	-
mação plástica além de auxiliar no posicionamento da carga sobre a	
WBB	. 22
Figura 16 – Posicionamento de massa em posição conhecida sobre a plataforma	
com auxílio de gabarito milimetrado realizada no experimento 2.	. 23
Figura 17 – Gráfico com valores médios de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos	
sensores TR, TL, BR, e BL de plataforma que apresentou o maior	
desvio padrão em uma medida ao longo do tempo. Este desvio pa-	-
drão associado ao $R_{max}$ do sensor $TL$ foi igual a 113,90 e a calibração	
foi efetuada pelo Operador 01.	. 25
Figura 18 – Gráfico com valores médios $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para sensor $TL$ e seus	
respectivos desvios padrão de plataforma que apresentou o maior	
desvio padrão nas medidas; <b>A:</b> Operador 1; <b>B:</b> Operador 2	. 26
Figura 19 – Medida média da massas de 17 Kg efetuada com a balança digital , o	
Vetor de referência de fábrica $(V_{ref})$ e calibração proposta com seus	
respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 17	
Kg está ilustrada no eixo das ordenadas	. 27
Figura 20 – Medida média da massas de 34 Kg efetuada com a balança digital , o	
Vetor de referência de fábrica $(V_{ref})$ e calibração proposta com seus	
respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 34	
Kg está ilustrada no eixo das ordenadas	. 28
Figura 21 – Medida média da massa do indivíduo 01 efetuada com a balança	
digital, o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta	
com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital	
igual a 91 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas	. 28
Figura 22 – Medida média da massa do indivíduo 01 efetuada com a balança	
digital, o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta	
com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital	
igual a 78,7 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas	. 29
Figura 23 – Deslocamento do CoP de 1 cm em 1 cm na direção AnteroPosterior e	
seu desvio padrão.	. 31
Figura 24 – Erro absoluto da distância euclidiana ao ponto central esperada e	
medida, para cada um dos pontos.	. 31
Figura 25 – Erro relativo da distância euclidiana ao ponto central esperada e	
medida, para cada um dos pontos.	. 32
Figura 26 – Deslocamento do CoP de 1 cm em 1 cm na direção MedioLateral e	
seu desvio padrão.	. 33
-	

Figura 27 –	Erro absoluto da distância euclidiana ao ponto central esperada e	
	medida, para cada um dos pontos	33
Figura 28 –	Erro relativo da distância euclidiana ao ponto central esperada e	
	medida, para cada um dos pontos	34

## Lista de tabelas

cia da plataforma 03 exibindo a diferença de magnitude em sensores do mesmo tipo	Tabela 1 – Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ dos sensores TL e BL do vetor de referê-	
do mesmo tipo.       24         Tabela 2 – Médias de medidas de massa do indivíduo 01 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.       25         Tabela 3 – Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.       30         Tabela A.1–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.       42         Tabela A.2–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.       42         Tabela A.3–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.       42         Tabela A.4–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.       42         Tabela A.4–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.       42         Tabela A.5–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.       43         Tabela A.6–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.       43         Tabela A.7–Valores de R <sub></sub>	cia da plataforma 03 exibindo a diferença de magnitude em sensores	
Tabela 2 - Médias de medidas de massa do indivíduo 01 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.25Tabela 3 - Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.30Tabela A.1-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.42Tabela A.2-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.42Tabela A.3-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.42Tabela A.3-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.4-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7-Valores de R_{min}, R_{med} \in R_{max} para cada um dos sensores TR, BR, TLe BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.$	do mesmo tipo	26
desvios padrão expressos em Kg.29Tabela 3 - Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.30Tabela A.1-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ $e BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.42Tabela A.2-Valores de $R_{min}, R_{med} \in R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 	Tabela 2 – Médias de medidas de massa do indivíduo 01 e seus respectivos	
Tabela 3 - Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg	desvios padrão expressos em Kg	29
desvios padrão expressos em Kg.       30         Tabela A.1–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.       42         Tabela A.2–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.       42         Tabela A.3–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019.       42         Tabela A.4–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.       42         Tabela A.5–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.       42         Tabela A.5–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019.       42         Tabela A.6–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.       42         Tabela A.7–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.       42         Tabela A.8–Valores de R <sub>min</sub> , R <sub>med</sub> e R <sub>max</sub> para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da	Tabela 3 – Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos	
Tabela A.1–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.2–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.Tabela A.3–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.Tabela A.4–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.42Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.42Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.4	desvios padrão expressos em Kg	30
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019	Tabela A.1–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 01 em 08/10/2019.44Tabela A.2–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.44Tabela A.3–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.42Tabela A.4–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.42Tabela A.6–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}, R$	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.2–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.Tabela A.3–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.Tabela A.4–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Opera	pelo Operador 01 em 08/10/2019	42
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019	Tabela A.2–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 02 em 08/10/2019.44Tabela A.3-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.42Tabela A.4-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.4344Tabela A.6-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.4344Tabela A.8- Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8- Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimen	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.3–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.42Tabela A.4–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.44Tabela A.6–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.42Tabela A.7–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 e	pelo Operador 02 em $08/10/2019$	42
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019	Tabela A.3–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 01 em 16/10/2019.42Tabela A.4-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 43Tabela A.9-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44pelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9-Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44pelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9-Valores de $R_{min}, R_{me$	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.4–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 16/10/2019.Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado <td>pelo Operador 01 em 16/10/2019</td> <td>42</td>	pelo Operador 01 em 16/10/2019	42
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019	Tabela A.4–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 02 em 16/10/2019.42Tabela A.5–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44Tabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44Tabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44Pabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR, BR, TL$ 44Pabela A.9–Valores de $R_{min}, R_{me$	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	pelo Operador 02 em 16/10/2019	42
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019	Tabela A.5–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 01 em 18/12/2019.43Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ ee $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 18/12/2019.Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.43Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.4344e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.44	pelo Operador 01 em 18/12/2019	43
e <i>BL</i> da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019	Tabela A.6–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 02 em 18/12/2019.43Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ ee $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ eBL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadoqpelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	e $BL$ da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 08/10/2019.Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.43Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.4344bela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	pelo Operador 02 em 18/12/2019	43
e <i>BL</i> da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em $08/10/2019$	Tabela A.7–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 01 em 08/10/2019	e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 02 em 08/10/2019.Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	pelo Operador 01 em 08/10/2019	43
e <i>BL</i> da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em $08/10/2019$	Tabela A.8–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 02 em $08/10/2019$ . 43 Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019. 43	e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$ e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuadopelo Operador 01 em 16/10/2019.43	pelo Operador 02 em 08/10/2019	43
e <i>BL</i> da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019.	Tabela A.9–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
pelo Operador 01 em 16/10/2019	e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
	pelo Operador 01 em 16/10/2019	43

Tabela A.10-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 02 em 16/10/2019	44
Tabela A.11–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 01 em 18/12/2019	44
Tabela A.12–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 02 em 18/12/2019	44
Tabela A.13–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 01 em 08/10/2019	44
Tabela A.14-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 02 em 08/10/2019	44
Tabela A.15–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 01 em 16/10/2019	45
Tabela A.16–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 02 em 16/10/2019	45
Tabela A.17–Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 01 em 18/12/2019	45
Tabela A.18-Valores de $R_{min}$ , $R_{med}$ e $R_{max}$ para cada um dos sensores $TR$ , $BR$ , $TL$	
e $BL$ da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado	
pelo Operador 02 em 18/12/2019	45
Tabela B.1 – Distância euclidiana esperada, distância CoP medida e o desvio pa-	
drão na direção AP	46
Tabela B.2 – Erros absolutos e Relativos para cada distância euclidiana na direção	
AP	47
Tabela B.3 – Distância euclidiana esperada, distância CoP medida e o desvio pa-	
drão na direção ML.	47
Tabela B.4 – Erros absolutos e Relativos para cada distância euclidiana na direção	
ML	48

# Lista de abreviaturas e siglas

- AP Anteroposterior
- BL Botton left
- BR Botton right
- CoP *Centro de Pressão*
- ML Mediolateral
- TL Top left
- TR Top right
- Vref *Vetor de referência*
- WBB Wii Balance Board

# Sumário

1 – Introdução	. 1
1.1 Objetivos	. 2
2 – Revisão de literatura	. 3
2.1 Posturografia	. 3
2.2 Plataformas de Força	. 4
2.3 Nintendo Wii Balance Board	. 7
2.3.1 Calibração padrão	. 10
2.4 Ethel	. 11
3 – Materiais e Métodos	. 15
3.1 Calibração Proposta	. 15
3.2 Desenhos experimentais para avaliar a calibração	. 19
3.2.1 Experimento 1: Avaliação da eficácia na medida de massas da	
calibração proposta	. 19
3.2.1.1 Resumo do Experimento 1	. 21
3.2.2 Experimento 2: Teste de deslocamento do CoP de distâncias co-	
nhecidas	. 22
3.2.2.1 Resumo do Experimento 2	. 23
4 – Apresentação e Discussão dos Resultados	. 25
4.1 Avaliação da eficácia na medida de massas.	. 25
4.2 Teste de deslocamento do CoP.	. 30
5 – Conclusões	. 35
Referências	. 37
Apêndices	41
APÊNDICE A – Valores de resposta dos sensores das calibrações realizadas	
utilizando a metodologia proposta	. 42
APÊNDICE B – Medidas de deslocamento de CoP	. 46

### 1 Introdução

A posturografia é uma importante técnica utilizada na avaliação das oscilações corporais e alterações na postura e sua utilização em larga escala é limitada devido aos sistemas utilizados na sua implementação (LLORENS et al., 2015). Estes sistemas são compostos por um Software especialista responsável por calcular métricas específicas com os dados obtidos de um equipamento de medida do tipo plataforma de força (PARK; LEE, 2014), (LLORENS et al., 2015).

Equipada com sensores de pressão a plataforma para jogos Nintendo Wii Balance Board <sup>™</sup>(WBB) pode ser utilizada como uma plataforma de força na implementação da Posturografia(CLARK et al., 2010). Entretanto existe uma carência de softwares especializados na implementação desta técnica utilizando a WBB. Os softwares disponíveis possuem importantes limitações, para sua utilização, como a necessidade de conexão permanente com a Internet(LLORENS et al., 2015).

Neste contexto surgiu na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) um projeto para a implementação do sistema Ethel, desenvolvido por um grupo de pesquisadores. O Ethel permite o uso da plataforma WBB na implementação da posturografia (BIZERRA et al., 2018), (SILVA et al., 2019).

Entretanto, cada plataforma sai da fábrica com um vetor de referência de calibração de seus sensores gravado. As diferenças nestes valores de referência para plataformas diferentes, em conjunto com o desgaste natural do uso, como exemplo deformação da superfície plástica, folgas em componentes mecânicos, desgaste do apoio com o solo, dentre outras alterações, podem gerar medidas diferentes quando se utilizam equipamentos distintos. Desta forma, resultados diferentes podem ser encontrados em exames clínicos efetuados no mesmo paciente ao se utilizar diferentes plataformas WBB. O esperado em exames clínicos é que os resultados dos mesmos possam ser obtidos, independentemente dos equipamentos utilizados.

Para aprimorar os resultados obtidos com a WBB podem ser encontrados na literatura estudos que propõem estratégias complexas de calibração (LEACH et al., 2014a), (BARTLETT et al., 2012). De forma a corrigir as possíveis alterações e diferenças de medição entre plataformas distintas, e devido à complexidade e a dificuldade de se implementar as metodologias propostas na literatura, apresenta-se neste trabalho uma metodologia própria de calibração mais simples bem como desenhos experimentais para testar e avaliar esta calibração.

### 1.1 Objetivos

Este trabalho se dispõe a propor e avaliar uma metodologia para calibração estática da WBB. Desta forma espera-se garantir uma maior acurácia na utilização deste equipamento para implementação da posturografia. Com esta finalidade o trabalho se propõe:

- Desenvolver e implementar uma metodologia para calibração das plataformas;
- Avaliar a reprodutibilidade dos resultados obtidos com a metodologia proposta, quando executada por diferentes operadores;
- Avaliar a reprodutibilidade dos resultados obtidos com a metodologia proposta, quando executada em instantes diferentes a longo de um período de dez semanas;
- Avaliar a equivalência de resultados obtidos com a metodologia proposta, ao se utilizar plataformas distintas ;
- Avaliar a precisão e a acurácia na determinação do centro de pressão (CoP), com a calibração proposta.

Para melhorar a compreensão do escopo deste trabalho apresenta-se no próximo capítulo a revisão da literatura onde os tópicos relacionados à Posturografia, às plataformas de força, WBB e o Ethel são aprofundados. Posteriormente apresenta-se no capítulo 3 a metodologia para realização da calibração e os desenhos experimentais para verificar a mesma bem como a sua a precisão e acurácia. Os resultados obtidos e sua discussão são apresentados no capítulo 4. No capítulo 5 apresentam-se as conclusões deste trabalho.

### 2 Revisão de literatura

Neste capítulo apresenta-se a revisão da literatura sobre os tópicos mais relevantes deste trabalho.

### 2.1 Posturografia

O sistema de controle postural é a base do controle motor humano e informações dos sistemas visual, vestibular e somatosensorial, são utilizados para produzir estabilidade e condições para o movimento. A habilidade de assumir e manter a posição corporal desejada durante uma atividade estática ou dinâmica também é de responsabilidade do sistema de controle postural. O equilíbrio é um componente necessário para o controle postural(TEIXEIRA, 2013), (WINTER et al., 1990).

Se o sistema de controle postural sofre degradação como parte do processo de envelhecimento ou por conta de alguma doença, então, suas entradas devem ser reajustadas como forma de manutenção do equilíbrio e de evitar acidentes com quedas e fraturas (HORAK et al., 1989).

Identificar de forma precisa os pacientes com risco de quedas é um desafio clínico e alguns testes são capazes de identificar indivíduos com risco de quedas de forma razoável. Como exemplo pode-se citar a Escala de Equilíbrio de Berg, o Alcance Funcional, o Teste de Dez Metros e o Up-and-go (BERG et al., 1992), (DUNCAN et al., 1990), (ROSSIER; WADE, 2001), (PODSIADLO; RICHARDSON, 1991).

Estas técnicas são simples de serem utilizadas, haja vista não requererem equipamentos caros e geralmente serem de rápida execução, porém os resultados obtidos com o uso destas técnicas são extremamente subjetivos e na maioria das vezes os testes não são responsivos o suficiente para serem usados para medir pequenos progressos ou deteriorações na capacidade de equilíbrio de um indivíduo (BROWNE; O'HARE, 2000).

A oscilação postural é amplamente reconhecida como um importante indicador da função do equilíbrio (CUPPS, 1997). Equipamentos do tipo plataforma de força são utilizados para registrar balanços posturais de intensidades muito pequenas, de outra maneira imperceptíveis senão com o auxílio destes equipamentos de medida (BROWNE; O'HARE, 2000). A integridade do sistema de controle postural pode ser avaliada com testes de Posturografia estática e/ou dinâmica (PRIETO et al., 1993). A estabilometria, também chamada estabilografia ou estatocinesiografia, é o registro da oscilação do corpo humano (DIRECTIONS, 1983). A estabilidade postural, ou Posturografia estática, caracteriza o desempenho do sistema de controle postural em posição estática em pé durante repouso. A Posturografia dinâmica caracteriza o desempenho do sistema de controle postural através da medida da resposta a uma perturbação postural aplicada ou intencional (PRIETO et al., 1993).

O Sistema de Posturografia Computadorizada é utilizado para quantificar a força aplicada pelo corpo a uma plataforma de força equipada com sensores(ALLUM et al., 1988). Estes sistemas utilizam um computador em conjunto com um software especializado e um equipamento para medir a oscilação postural em várias condições de teste (CIVANTOS; CABANILLAS, 2018). Estas condições de teste visam desafiar os mecanismos de controle postural de forma a manipular o feedback somatossensorial e visual para que sua influência no equilíbrio possa ser alterada. Assim é possível avaliar a capacidade do paciente de usar sensações vestibulares para manter o equilíbrio (NASH-NER et al., 1982). Acredita-se que os resultados da Posturografia estejam relacionados à capacidade do paciente de manter e recuperar o equilíbrio, isto pode refletir anormalidades de uma modalidade sensorial específica ou até mesmo no processamento dessa modalidade sensorial no sistema nervoso central (ALLUM et al., 1988).

Na Posturografia computadorizada as respostas são medidas e processadas através de métricas predefinidas e protocolizadas. As métricas dos pacientes são comparadas às de um grupo de pessoas sem sintomas associados à idade, isto permite a avaliação da presença de anormalidades estatisticamente definidas. Anomalias identificadas por meio deste exame refletem a disfunção do equilíbrio causada pela biomecânica ou condições neurológicas (MONSELL et al., 1997).

O balanço postural é portanto a oscilação natural apresentada pelo corpo quando em postura ereta, sendo tradicionalmente representado por meio da trajetória do CoP (WINTER, 1995).

Uma maneira de medir a trajetória do CoP e possíveis alterações posturais é através da utilização das Plataformas de Força.

### 2.2 Plataformas de Força

As Plataformas de Força são utilizadas na avaliação do equilíbrio em uma variedade de campos, incluindo a reabilitação neurológica o desempenho atlético e a prevenção de quedas em idosos (PIIRTOLA; ERA, 2006), (PROSPERINI; POZZILLI, 2013), (HRYSOMALLIS, 2007).

Tais equipamentos podem fornecer informações quantitativas detalhadas sobre deficit de movimentos ou mecanismos de controle postural, e respostas a manipulações sensoriais. As plataformas de força normalmente medem forças e momentos de reação, que podem ser utilizados para avaliar o desenvolvimento da força e da posição do CoP

#### (BENDA et al., 1994).

O CoP pode ser definido como a localização do vetor de força de reação vertical, que representa a média ponderada de todas as pressões sobre a superfície do equipamento de testes (WINTER, 1995). É também, a projeção no plano do solo do centroide da distribuição da força vertical (PAVOL, 2005). De fato, o CoP é o local onde o vetor de força resultante atuaria se fosse considerado um único ponto de aplicação. Sua posição pode ser obtida das plataformas de força durante testes de postura ou marcha (MOCHIZUKI; AMADIO, 2003). Na Figura 1 é possível ver uma ilustração do CoP.

Figura 1 – Ilustração do CoP em um sistema de coordenadas baseado em forças e momentos medidos por uma plataforma de força.



Fonte: (LATASH, 2012)

Forças medidas com a utilização de plataformas de equilíbrio estático, tem sido utilizadas para discriminar entre condições clínicas (por exemplo, paralisia supranuclear e doença de Parkinson (ONDO et al., 2000)). São utilizadas também para avaliar a contribuição de diferentes sistemas sensoriais (SHUMWAY-COOK; HORAK, 1986). A predição de ocorrência de quedas é outro importante uso (PAJALA et al., 2008). Por fim pode-se demonstrar a eficácia dos protocolos de treinamento de equilíbrio (por exemplo, os utilizados em tratamento de acidente vascular cerebral) com auxílio desta importante ferramenta (BONAN et al., 2004).

Variáveis obtidas a partir das avaliações feitas com as plataformas de força demonstraram estar correlacionadas moderadamente com outras ferramentas utilizadas para avaliar o equilíbrio, como a Escala de Equilíbrio de Berg em AVC e a min-BESTest em doença de Parkinson (NIAM et al., 1999), (HARRO et al., 2016). As plataformas de força demonstraram tipicamente confiabilidade aceitável para avaliação do equilíbrio estático de pé, neste sentido utiliza-se a Posturografia como ferramenta na avaliação e acompanhamento da evolução de pacientes com deficit no equilíbrio corporal (MEDEI-ROS et al., 2003).

Normalmente uma plataforma de força é constituída por uma placa rígida aonde uma quantidade de sensores do tipo célula de carga ou piezoelétrico são distribuídos. A configuração mais comum nestes equipamentos são quatro sensores. O objetivo é medir as três componentes da força  $F_{(x,y,z)}$ , com x representando a direção anteroposterior, y representando a mediolateral e z a vertical, além dos momentos da força (torque)  $M_{(x,y,z)}$  associado a cada componente x, y e z. Componentes da força agindo sobre a plataforma pode ser visto na figura 2. Como seis forças são medidas, estas plataformas são conhecidas geralmente como plataformas de força de seis componentes. Os dados do CoP estão portanto relacionados a uma medida de posição dada por duas coordenadas na superfície da plataforma, dependendo da orientação do indivíduo avaliado (DUARTE; FREITAS, 2010).



Figura 2 – Representação de uma plataforma de força e seus eixos de medição.

Fonte: (DUARTE; FREITAS, 2010)

As principais métricas da Posturografia podem ser divididas em métricas no domínio do tempo, subclassificadas como métricas de distância ou de área, e as métricas no domínio da frequência. São medidos valores de posição AnteroPosteriores(AP) e Mediolaterais(ML). O CoP portanto é um distribuição bivariada, definido pela junção das coordenadas AP e ML. As métricas são calculadas utilizando-se os valores do

CoP ou valores derivados do mesmo. Pode-se citar como exemplo a métrica chamada Excursão Total(*TOTEX*), que pode ser definida como o comprimento total do caminho do COP e é aproximadamente a soma das distâncias entre pontos consecutivos do caminho do COP, como pode ser visto na equação (1) (PRIETO et al., 1996). Quanto mais preciso for a medida do CoP, formado pelos valores de *AP* e *ML*, mais precisos serão a métricas calculadas.

$$TOTEX = \sum_{n=1}^{N-1} \sqrt{(AP[n+1] - AP[n])^2 + (ML[n+1] - ML[n])^2}$$
(1)

O amplo acesso a esta tecnologia ainda é limitado devido ao alto custo dos sistemas utilizados disponíveis atualmente (SILVA et al., 2017). Outro problema é baixa disponibilidade de softwares livres especializados. Além do preço elevado (acima de U\$ 10.000,00), as plataformas comerciais são pesadas (massa > 10Kg), o que dificulta o seu transporte e consequentemente a sua utilização pelos profissionais em múltiplos locais, ficando seu uso restrito a laboratórios (CLARK et al., 2018).

### 2.3 Nintendo Wii Balance Board

O desenvolvimento de acessórios e dispositivos para videojogos evoluiu significativamente nos últimos anos. Como exemplo apresenta-se a Plataforma *Wii Balance Board* <sup>™</sup> **WBB**, lançada no mercado em 2007 como um controle de jogo para o sistema de videojogos Nintendo Wii, e projetada para promover uma maior imersão dos jogadores no mundo dos jogos.

A **WBB** consiste de uma plataforma rígida e leve, com menos de quatro quilogramas, dotada de quatro transdutores de força uni-axiais verticais, instalados em seus pés e localizados em cada uma das quatro extremidades da plataforma, como pode ser visto na Figura 3 e 4. Cada transdutor é uma célula de carga formada por uma barra de metal apoiada sobre extensômetros (*strain gauges*) que convertem a força aplicada em uma tensão elétrica, posteriormente digitalizada e transmitida via *bluetooth* (BARTLETT et al., 2014).

O sinal obtido da plataforma **WBB**, retorna a resposta dos seus quatro sensores, **TR**(*top right* ou direito superior), **BR**(*botton right* ou direito inferior), **TL**(*top left* ou esquerdo superior) e **BL**(*botton left* ou esquerdo inferior), às forças de reação do solo verticais (eixo z), e desta forma é possível estimar a posição do **CoP** sobre a plataforma, (**CLARK et al.**, 2010). É possível visualizar na Figura 5 as forças de reação do solo  $F_{TL}, F_{BL}, F_{TR}, F_{BR}$  referentes a cada sensor.

Figura 3 – Plataforma Wii Balance Board exibida em vista explodida. A estrutura de metal é posicionada apoiada sobre os quatro sensores, de forma que a massa aplicada sobre sua superfície seja distribuída entre os sensores.



Fonte: (BEITZEL, 2018)





Fonte: (NINTENDO, 2019)

Apesar da **WBB** ser incapaz de medir a força horizontal (eixos x ou y), como plataformas de força de grau laboratorial, é possível calcular tais forças utilizando as medidas verticais (eixo z). Especificamente, os cálculos da estimativa de **CoP** usados para os dados do WBB não levam em conta componentes horizontais e de cisalhamento (LEACH et al., 2014b). As forças verticais ( $F_{TR}$ ,  $F_{BR}$ ,  $F_{TL}$ ,  $F_{BL}$ ) medidas por cada um dos quatro transdutores de força são usadas para estimar o **CoP** ( $CoP_{WBB}$ ) em cada um dos eixos X e Y, respectivamente, conforme as equações (2) e (3). X e Y são respectivamente iguais a 433 mm e 238 mm e representam as distâncias horizontais e verticais entre cada transdutor de força, e  $CoP_{wbb_x}$  e  $CoP_{wbb_y}$  representam o deslocamento do **CoP** (em mm) calculado nas direções médio-lateral(ML) e antero-posterior(AP), respectivamente.

$$CoP_{wbb_x} = \frac{X}{2} \frac{(F_{TR} + F_{BR}) - (F_{TL} + F_{BL})}{F_{TR} + F_{BR} + F_{TL} + F_{BL}}$$
(2)

$$CoP_{wbb_y} = \frac{Y}{2} \frac{(F_{TR} + F_{TL}) - (F_{BR} + F_{BL})}{F_{TR} + F_{BR} + F_{TL} + F_{BL}}$$
(3)

Figura 5 – Plataforma WBB com as forças de reação representadas sob cada sensor bem como os três eixos de medida X, YeZ. As distância entre os apoios da estrutura metálica sobre os sensores são exibidos como X e Y nas direções ML e AP respectivamente.



#### Fonte: (LEACH et al., 2014a)

Cada plataforma **WBB** possui um vetor de calibração de referência de fábrica, ajustado durante a fabricação do equipamento e utilizado para que as leituras dos sensores sejam ajustadas de forma a permitir o seu uso correto pelos jogadores nos mais diversos jogos. O vetor de calibração de referência de fábrica da **WBB** possui 24 bytes e pode ser lido diretamente da plataforma. Este vetor possui valores de resposta de referência para cada um dos quatro sensores: **TR**, **BR**, **TL** e **BL**. Seis bytes são utilizados para cada sensor para armazenar a resposta de referência de fábrica de cada sensor, dois bytes para cada valor de medida, para as massas de 0 Kg( $R_{min}$ ), 17 Kg( $R_{med}$ ) e 34 Kg( $R_{max}$ ). Estes valores de massa foram determinados pela fabricante da Wbb para serem utilizados nos cálculos das forças  $F_j$ , com j = TR, BR, TL e BL (BYER, 2019).

Dada a resposta elétrica do sinal de cada um dos sensores,  $R_{TR}$ ,  $R_{BR}$ ,  $R_{TL}$  e  $R_{BL}$ , às forças verticais  $F_{TR}$ ,  $F_{BR}$ ,  $F_{TL}$ ,  $F_{BL}$ , são calculadas com base nos valores de referência dos mesmos. Duas maneiras de cálculo usando interpolação linear por partes em cada intervalo a depender da resposta do sensor são apresentados: Para os casos em que a resposta do sensor seja menor que  $R_{med}$  tem-se que

$$F_j = M_{med} \left(\frac{Rj - R_{min,j}}{R_{med,j} - R_{min,j}}\right)g, \quad j = TR, BR, TLeBL$$
(4)

e caso a resposta do sensor seja maior que  $R_{med}$  utiliza-se

$$F_{j} = M_{med} \left(\frac{R_{j} - R_{med,j}}{R_{max,j} - R_{med,j}}\right) + 1)g, \quad j = TR, BR, TLeBL$$
(5)

Nas equações (4) e (5) g representa a constante de aceleração da gravidade e  $M_{med} = 17$  representa um fator de conversão de massa da plataforma. Estas equações permitem fazer uma interpolação linear da resposta de cada sensor nos respectivos intervalos.

O peso aplicado sobre a plataforma pode então ser calculado conforme a equação (6):

$$Peso = F_{TL} + F_{BL} + F_{TR} + F_{BR} \tag{6}$$

#### 2.3.1 Calibração padrão

Como apresentado anteriormente, cada plataforma **WBB** possui um vetor de referência de fábrica, entretanto o desgaste do uso devido a aplicação de massas sobre a mesma, deformações plásticas, folgas de componentes mecânicos, desgaste dos sensores, desgaste de componentes de contato com o solo, dentre outras alterações, podem modificar a resposta dos sensores da plataforma (LEACH et al., 2014b).

Desta forma pesquisadores propõem utilizar procedimentos de calibração e diversas metodologias são propostas com esta finalidade(LEACH et al., 2014b), (CLARK et al., 2010), (BARTLETT et al., 2014). Devido a alta complexidade, e a necessidade de equipamentos indisponíveis, como exemplo uma plataforma de força de grau laboratorial, não é possível implementar as metodologias propostas na literatura sem um laboratório específico para construção dos equipamentos necessários nesta abordagem.

Diversos estudos recentes têm comprovado a viabilidade de utilizar a **WBB** como substituta de plataformas de força mais caras e sofisticadas, utilizadas na Posturografia (CLARK et al., 2010), (YOUNG et al., 2011), (HUURNINK et al., 2013), (LEACH et al., 2014b).

Apesar dos bons resultados nos estudos utilizando a **WBB** como ferramenta utilizada em exames clínicos, existe a necessidade da calibração das diferentes plataformas **WBB** utilizadas neste processo e a posterior validação desta calibração de forma a se obter uma maior acurácia(LEACH et al., 2014b), (BARTLETT et al., 2012). Espera-se que exames clínicos feitos com plataformas WBB diferentes apresentem resultados equivalentes dentro de uma determinada faixa, o que não acontece com o vetor de calibração de referência.

### 2.4 Ethel

A **WBB** exibe excelente confiabilidade para avaliação do comprimento do caminho CoP e possui validade concorrente com uma plataforma de força de grau laboratorial (CLARK et al., 2010). Estimativas instântaneas de CoP obtidas através de uma **WBB** são muito semelhantes às obtidas com uma FP. A boa correspondência entre as trajetórias do CoP sugere que qualquer medida de equilíbrio baseada na trajetória do CoP medida com **WBB** pode ser considerada suficientemente precisa, conforme pode ser visto na Figura 6 (HUURNINK et al., 2013).

Figura 6 – Trajetória de CoP com olhos abertos medida com WBB em comparação com plataforma de força de grau laboratorial.



Fonte: (HUURNINK et al., 2013)

Um problema no uso da **WBB** em exames clínicos de Posturografia é a baixa disponibilidade de softwares e na maioria dos estudos realizados, rotinas em softwares proprietários de terceiros, como exemplo o National Instruments LabVIEW, são utilizadas na aquisição e processamento de dados. A principal limitação do uso deste tipo de solução, é o custo elevado das licenças de tais aplicações proprietárias, como pode ser visto na Figura 7. Outro problema é o alto nível de especialização necessário por parte dos profissionais, para criação de rotinas e interfaces para o uso da WBB.

Existem softwares de código fechado validados para uso com a WBB, entre eles pode-se destacar o software *Balancia* (Balancia v1.0, sistemas Minto, Seul, República

EDIÇÕES DO LabVIEW 2019	EDIÇÕES DO LabVIEW NXG		
lodas as edições do LabVIEW estão disponíveis	em inglês, francês, alemão, coreano, japonês e chinês si	mplificado.	
	LabVIEW Base	LabVIEW Full	LabVIEW Professional
A partir de	R\$ 1.299,00/ano	R\$ 17.690,00	R\$ 29.485,00
Escolha a sua edição de software	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR
Avaliação gratuita		_	AVALIAÇÃO GRATUITA

Figura 7 – Custo da licença do software National Instruments Labview.



da Coreia), que apesar de descrito na literatura não foi disponibilizado para compra e nem encontrado para testes (PARK; LEE, 2014).

Um outro software disponível é o *PosturographyTest* (Posturography Test, Neurorehabilitation BrainResearch Group), também validado para uso com a WBB e baseado na Internet. A ferramenta é disponibilizada de forma gratuita, com a instalação de um software local para execução dos exercícios com captura de dados e posterior carregamento dos dados para o servidor. Apesar de também estar validado, o software em questão exige conexão contínua com a internet para seu funcionamento e possui a grande desvantagem de seus servidores web não estarem sempre disponíveis(LLORENS et al., 2015).

Neste contexto apresenta-se o software ETHEL, desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da UESC. O software calcula diversas métricas e protocolos, e como exemplo pode-se citar: Distância Resultante (*RD*), Distância Média (*MDIST*), Distância RMS do COP médio (*RDIST*), Comprimento total do caminho do COP (*TOTEX*), Média da velocidade do COP (*MVELO*) dentre outras, de acordo com metodologia definida (PRIETO et al., 1996) como pode ser visto na Figura 8

Com as funcionalidades implementadas no ETHEL é possível utilizar a plataforma de jogos WBB como uma alternativa aos equipamentos atualmente disponíveis, para a implementação de técnicas de instrumentalização de exames e procedimentos clínicos. O Ethel possui interface gráfica amigável utilizada na coleta e processamento dos dados de diferentes protocolos de exames implementados e a grande vantagem de ter seu código fonte aberto, o que permite saber exatamente como é calculada cada uma das métricas utilizadas bem como o acréscimo de novas métricas necessárias. Na figura 9 é possível ver um exemplo da interface do Ethel.

MÉTRICAS		
AP_	-3.84	
ML_	0.71	
MDIST_AP	0.23	
MDIST_ML	0.14	
MDIST_TOTAL	0.3	
RMS_AP	0.01	
RMS_ML	0.01	
RMS_TOTAL	0.01	
MVELO_AP	0.81	
MVELO_ML	0.5	
MVELO_TOTAL	1.05	
AMPLITUDE_AP	1.47	
AMPLITUDE_ML	1.0	
AMPLITUDE_TOTAL	0.23	
PONTOS	768	

Figura 8 – Recorte de tela de exames do Ethel com algumas métricas calculadas.

O Ethel permite a inclusão de diferentes plataformas WBB em suas configurações, porém em suas versões iniciais não estava disponível uma rotina para calibração para as diferentes plataformas. Uma metodologia de calibração foi implementada e será discutida nos capítulos à seguir.

Figura 9 – Tela do software Ethel exibindo caminho do CoP em estatocinesiograma.



### **3 Materiais e Métodos**

Diversos estudos apresentam resultados que permitem comparar as medidas obtidas com a **WBB** com aqueles gerados com ajuda de plataformas utilizadas como referência no mercado. Particularmente em (LEACH et al., 2014b) apresenta-se um estudo detalhado e são discutidas as características e a forma de processar os sinais de cada um dos sensores contidos na **WBB**. Com base nestes resultados e na metodologia por eles proposta, idealizou-se para este trabalho uma metodologia própria de calibração implementada no **Ethel**. Foram realizados dois experimentos com intuito de testar a nova calibração proposta efetuando medidas de massa e do CoP estático utilizando o novo vetor de calibração proposto.

### 3.1 Calibração Proposta

O **Ethel** foi desenvolvido na linguagem Python versão 3.6.8 e portanto, o módulo de calibração foi desenvolvido na mesma linguagem.

O dispositivo utilizado no processo de calibração é formado por um suporte nivelado composto por um tripé ao qual é possível acoplar uma barra e anilhas de pesos diversos além de um nível. Espera-se com este equipamento que a a força seja aplicada verticalmente e pontualmente em pontos de interesse específicos. Um exemplo de aplicação de massa é exibido na Figura 10A e as partes constituintes do equipamento são exibidas na Figura 10B. Na Figura 11 ilustra-se pontos de interesse onde estão localizado os quatro sensores da plataforma. Durante a calibração, a massa deve sempre ser aplicada no sensor destacado. O equipamento da Figura 10A permite testar a resposta de cada um dos sensores da WBB. Como não é possível testar cada sensor independentemente, haja vista estarem montados em uma estrutura que distribui a carga aplicada sobre a plataforma para todos os sensores, pensou-se em uma forma de se aplicar uma carga de forma pontual sobre cada um dos sensores, de forma que a resposta dos três sensores restantes fosse mínima. Com auxílio deste dispositivo é possível aplicar cargas pontuais verticais em diferentes localizações da plataforma e estimular de forma diferenciada, cada um dos sensores.

Com base neste equipamento, desenvolveu-se uma metodologia de calibração estática para estimar novos valores para o vetor de calibração. Este vetor de calibração possui 12 valores associados, sendo um valor de resposta mínima ( $R_{min}$ ), um valor de resposta média ( $R_{med}$ ) e um valor de resposta máxima ( $R_{max}$ ) para cada um dos quatro sensores. Cada sensor terá portanto cargas aplicadas individualmente e exclusivamente sobre ele em cada momento. Estas cargas são respectivamente iguais a: 0 Kg ( $R_{min}$ ), 17

Figura 10 – Equipamento utilizado para posicionar a carga em pontos de interesse sobre a WBB: **A**: Equipamento montado sobre a plataforma; **B**: Partes constituintes



 $\operatorname{Kg}(R_{med}) \operatorname{e} 34 \operatorname{Kg}(R_{max}).$ 

O vetor de referência de fábrica possui valores de resposta  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos quatro sensores: **TR**, **BR**, **TL** e **BL** referente respectivamente a carga de 0 Kg, 17 Kg e 34 Kg. Faz-se necessário portanto para o cálculo de um novo vetor de calibração a resposta de cada um dos sensores a estas cargas.

Inicialmente a resposta dos sensores, quando não submetidos a carga, é utilizada para estimar o novo valor de  $R_{min,j}$ , para j = RT, RB, LT, RB. Posteriormente, utilizando como base esta primeira estimativa, realizam-se testes com carga para estimar os outros componentes do vetor de calibração. Os pontos onde as cargas foram aplicadas foram escolhidos de forma a ficar sobre cada sensor de forma a minimizar a resposta dos outros sensores. A carga é aplicada somente a um ponto por vez. Na Figura 11 é possível ver os local de aplicação de carga sobre os sensores RT, LB, LT e LB destacados em cor diferente dos demais.

Espera-se que mesmo ao se posicionar a carga somente sobre um dos sensores, a plataforma distribua uma pequena parte do peso para os três sensores restantes. Esta pequena contribuição do peso medida pelo sensores sem a carga posicionada diretamente sobre eles, chamada de peso residual ( $P_{res}$ ), é calculada como a soma das respostas de cada um dos sensores que não tem a carga pontual aplicada sobre ele naquele momento. Desta forma, levando em consideração a equação (6), teremos

$$P_{resRT} = F_{RB} + F_{LT} + F_{LB} \tag{7}$$

Figura 11 – Locais de aplicação da massa durante o procedimento calibração da WBB: A: Sensor RT destacado em cor diferente dos demais; B: Sensor RB destacado em cor diferente dos demais; C: Sensor LT destacado em cor diferente dos demais; D: Sensor LB destacado em cor diferente dos demais.



$$P_{resRB} = F_{RT} + F_{LT} + F_{LB} \tag{8}$$

$$P_{resLT} = F_{RT} + F_{RB} + F_{LB} \tag{9}$$

$$P_{resLB} = F_{RT} + F_{RB} + F_{LT} \tag{10}$$

Para estimar o valor de  $R_{med,j}$  aplica-se então uma carga de 17 Kg sobre cada sensor. Como a massa aplicada é conhecida previamente, a resposta da plataforma é também conhecida e deve ser equivalente a esta massa. Desta forma, partindo de uma estimativa inicial para o valor de  $R_{med,j}$  para j = RT, RB, LT, LB, e usando o valor previamente estimado de  $R_{min,j}$  consegue-se calcular um novo valor de  $R_{med,j}$ , através um processo iterativo de rápida convergência, descrito no fluxograma da Figura 12, que pode ser repetido até que a diferença entre duas iterações consecutivas em termos percentuais seja menor que *errorelativo* < 0, 5%, conforme as equações:

$$R_{medRT} = \left[ \left( \frac{17}{P_{ref} - P_{resRT}} \right) \cdot \left( R_{RT} - RT_{min} \right) \right] + RT_{min}$$
(11)

$$R_{medRB} = \left[ \left( \frac{17}{P_{ref} - P_{resRB}} \right) \cdot \left( R_{RB} - RB_{min} \right) \right] + RB_{min}$$
(12)

$$R_{medLT} = \left[ \left( \frac{17}{P_{ref} - P_{resLT}} \right) \cdot \left( R_{LT} - LT_{min} \right) \right] + LT_{min}$$
(13)

$$R_{medLB} = \left[ \left( \frac{17}{P_{ref} - P_{resLB}} \right) \cdot \left( R_{LB} - LB_{min} \right) \right] + LB_{min}$$
(14)

### Figura 12 – Fluxograma descrevendo o método iterativo utilizado no cálculo de $R_{med,j}$ .



Para estimar o valor de  $R_{max,j}$  aplica-se uma carga de 34 Kg sobre cada sensor. Como a massa aplicada é conhecida previamente, a resposta da plataforma é também conhecida e deve ser equivalente a esta massa. A resposta nos demais sensores encontrase entre  $R_{med,j}$  e  $R_{min,j}$  podendo ser calculada com base nos valores de  $R_{med,j}$  e  $R_{min,j}$  já conhecidos. Desta forma, é possível se calcular diretamente os valores de  $R_{max,j}$  conforme as equações:

$$R_{maxRT} = \left[ \left(\frac{17}{P_{resRT}}\right) (R_{RT} - R_{medRT}) \right] + R_{medRT}$$
(15)

$$R_{maxRB} = \left[\left(\frac{17}{P_{resRB}}\right)\left(R_{RB} - R_{medRB}\right)\right] + R_{medRB}$$
(16)

$$R_{maxLT} = \left[\left(\frac{17}{P_{resLT}}\right)\left(R_{LT} - R_{medLT}\right)\right] + R_{medLT}$$
(17)

$$R_{maxLB} = \left[\left(\frac{17}{P_{resLB}}\right)\left(R_{LB} - R_{medLB}\right)\right] + R_{medLB}$$
(18)

Todo o procedimento de calibração proposto é realizado em um módulo com interface gráfica amigável que conduz o operador com instruções ao longo do processo como pode ser visto nas telas exibidas na Figura 13.

### 3.2 Desenhos experimentais para avaliar a calibração

Neste ponto para avaliar a precisão da plataforma e as características desta calibração proposta foram idealizados dois experimentos. Os objetivos destes experimentos é avaliar a a eficácia na medida de massa e testar a precisão na determinação da localização do CoP utilizando a WBB com calibração proposta.

# 3.2.1 Experimento 1: Avaliação da eficácia na medida de massas da calibração proposta .

O Experimento 1 tem como objetivo avaliar a eficácia da calibração na medida de massas, em diferentes plataformas usadas em exames clínicos, e a reprodutibilidade desta calibração. Desta forma a calibração foi realizada por dois operadores e em três momentos distintos ao longo de dez semanas em que as plataforma estavam sendo utilizadas com o Ethel na realização de exames clínicos com indivíduos.

Para a realização deste experimento, todas as WBB utilizaram o mesmo conjunto de baterias. Para avaliação da eficácia da calibração efetuou-se, ao final do processo, medidas de massas conhecidas. Para efeito de comparação, as medidas realizadas utilizando a calibração proposta foram confrontadas com as medidas de massa utilizando o vetor interno de referência de fábrica da plataforma WBB e com medidas de uma balança digital.

Figura 13 – Telas do Ethel com instruções ao operador durante o processo de calibração:
A: Tela com instrução para não posicionar carga sobre a plataforma WBB;
B: Tela com instruções para posicionamento da massa de 17 Kg sobre o sensor RT destacado em cor diferente dos demais; C: Tela com instruções para posicionamento da massa de 34 Kg sobre o sensor RT destacado em cor diferente dos demais; D: Tela final onde é possível testar, salvar ou descartar a calibração.





Figura 14 – Balança digital de marca Camry modelo EB9013 utilizada como referência nas medidas de massa no Experimento 1.



Como referência na medida de massa utilizou-se uma balança digital de marca Camry modelo EB9013 com precisão de 100 g e alimentada por uma bateria de Lítio do tipo CR2032. O equipamento possui também visor de cristal líquido e indicação de excesso de carga e bateria fraca. A massa máxima nominal permitida neste equipamento é de 150 Kg. A balança digital pode ser vista na Figura 14. A bateria da balança digital era sempre trocada por uma nova no início do experimento como forma de manter as mesmas características na medição ao longo do tempo.

O experimento consistiu inicialmente na calibração de três plataformas WBB por um operador. Em um segundo momento quatro medidas de massa (17 Kg, 34 Kg, além da massa de dois voluntários) foram realizadas utilizando-se o vetor de referência de fábrica, o vetor de calibração calculado e a balança digital. Imediatamente após esta primeira etapa, um segundo operador repetiu o procedimento supracitado.

Como algumas das plataformas eventualmente são utilizadas para realização de testes em indivíduos, espera-se saber a influência do uso da plataforma nos valores calculados pela calibração proposta. Para tanto os procedimentos de calibração e medidas de massa foram repetidos três vezes com diferentes intervalos de tempo entre as calibrações.

#### 3.2.1.1 Resumo do Experimento 1

O experimento 1 foi realizado durante um período de 10 semanas nos dias 08/10/2019, 16/10/2019 e 18/12/2019. O Operador 1 calibrou cada uma das três plataformas WBB disponíveis usando a metodologia de calibração proposta. Posteriormente o operador 1 mediu massas de 17 Kg, 34 Kg, e de dois indivíduos, usando a balança digital, o vetor de referência e a calibração proposta. O Operador 2 repetiu os mesmos procedimentos.

### 3.2.2 Experimento 2: Teste de deslocamento do CoP de distâncias conhecidas

O Experimento 2 tem como objetivo avaliar a precisão do deslocamento do CoP utilizando o vetor de calibração proposto calculado na avaliação de massas estáticas posicionadas em pontos predeterminados da superfície da WBB.

Para o segundo experimento, utilizou-se a mesma estrutura utilizada no experimento 1 para aplicação de massas estáticas (tripé haste e pesos) posicionada em diferentes pontos da plataforma WBB. Os deslocamentos do CoP foram então medidos e calculados utilizando-se o vetor calculado na calibração proposta. Como forma de evitar deformação plástica na superfície da plataforma, utilizou-se um objeto retangular de madeira como base de apoio de forma a reduzir a pressão sobre a plataforma. Além de proteger a plataforma de deformação plástica o objeto auxiliou o posicionamento da massa na posição desejada com a maior precisão possível. O objeto pode ser visto na Figura 15

Figura 15 – Objeto retangular sendo utilizado para minimizar a pressão e a deformação plástica além de auxiliar no posicionamento da carga sobre a WBB



Espera-se que uma massa estática, ao ser deslocada de uma distância conhecida

sobre a plataforma, tenha um deslocamento de CoP equivalente.

Desta forma o experimento consiste em cobrir a superfície da plataforma com um gabarito com divisões milimetradas sobre a superfície da WBB, de forma que uma massa de 34 Kg possa ser aplicada em determinados pontos de interesse como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Posicionamento de massa em posição conhecida sobre a plataforma com auxílio de gabarito milimetrado realizada no experimento 2.



Efetuou-se inicialmente uma medida do CoP da massa de 34 Kg posicionada em ponto situado próximo ao centro geométrico da superfície da WBB. Este ponto central foi utilizado como referência. A estrutura foi então deslocada 10 cm de distância, de 1 em 1 cm, para cima e para baixo (direção AP). A estrutura foi deslocada também 10 cm de distância, de 1cm em 1cm, para esquerda e para direita (direção ML). Foram feitas portanto 41 medidas , sendo um ponto central e 10 medidas, distantes 1 cm entre elas, para cada um dos sentidos das direções AP e ML. Estas medidas foram repetidas por três vezes em momentos diferentes.

Com este experimento, esperava se verificar se medidas do CoP efetuadas se deslocavam de forma correlata com as distâncias entre os pontos de aplicação da massa de 34 Kg.

#### 3.2.2.1 Resumo do Experimento 2

Um gabarito com divisões milimetradas foi afixado sobre a plataforma de forma a facilitar a localização dos pontos experimentais de aplicação da massa de teste de 34 Kg. A medida em cada ponto onde a massa foi aplicada foi medido com o Ethel. Os procedimentos a seguir foram repetidos por três vezes em momentos diferentes:

• Posicionamento da massa de teste em um ponto central de referência, localizado aproximadamente no centro geométrico da plataforma ;

- Posicionamento da massa de teste, de 1 em 1 cm, iniciando-se 1 cm acima do ponto central sem deslocamento para os lados no Ethel (deslocamento somente na direção AP);
- Posicionamento da massa de teste, de 1 em 1 cm, iniciando-se 1 cm abaixo do ponto central sem deslocamento para os lados no Ethel (deslocamento somente na direção AP);
- Posicionamento da massa de teste, de 1 em 1 cm, iniciando-se 1 cm à direita do ponto central sem deslocamento para cima ou para baixo no Ethel ( deslocamento somente na direção ML);
- Posicionamento da massa de teste, de 1 em 1 cm, iniciando-se 1 cm à esquerda do ponto central sem deslocamento para cima ou para baixo no Ethel (deslocamento somente na direção ML);

### 4 Apresentação e Discussão dos Resultados

Apresenta-se a seguir os principais resultados obtidos nos experimentos propostos na seção anterior. Apresenta-se, também, uma breve discussão sobre estes resultados.

### 4.1 Avaliação da eficácia na medida de massas.

Como parte deste processo foram determinados dezoito vetores de calibração utilizando a metodologia proposta, ou seja, cada uma das três plataformas foi calibrada uma vez por cada operador em cada um dos três dias em que foi realizado o experimento. Os dezoito vetores de calibração estão disponíveis no Apêndice A.

Na Figura 17 é possível ver as médias do vetor de calibração calculado ao longo do tempo para um mesmo operador, da plataforma que apresentou o maior desvio padrão. A plataforma dois, quando calibrada pelo operador 1, apresentou uma média de 7905,0 com desvio padrão de 113,9 no valor do  $R_{max}$  associado ao sensor TL. Podese constatar na Figura 17 a diferença entre os valores de calibração de cada um dos sensores. Entretanto, o desvio padrão indica uma variação pequena ao longo do tempo.





Na Figura 18 apresenta-se a média do valor de calibração do sensor TL da

plataforma 2, obtida por cada um dos operadores. Apesar deste ser o sensor que apresentou maior variação, pode-se constatar que os valores obtidos pelos operadores é muito próximo. A diferença entre estes valores foram iguais a 0,16% no  $R_{min}$ , 0,16% no  $R_{med}$  com a maior diferença igual a 0,25% no  $R_{max}$ .

Figura 18 – Gráfico com valores médios  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para sensor TL e seus respectivos desvios padrão de plataforma que apresentou o maior desvio padrão nas medidas; **A:** Operador 1; **B:** Operador 2.



Apesar de se tratar de sensores semelhantes, diferenças de magnitude consideráveis foram encontradas nas medidas entre os sensores. Normalmente espera-se que sensores semelhantes tenham valores mínimos, médios e máximos de mesma ordem, entretanto isto não aconteceu em alguns casos. Como exemplo os valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$ ,  $R_{max}$  dos sensores TL e BL do vetor de referência da plataforma 03 são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  dos sensores TL e BL do vetor de referêcia da plataforma 03 exibindo a diferença de magnitude em sensores do mesmo tipo.

	$R_{min}$	$R_{med}$	$R_{max}$
TL	2255	4019	5795
BL	17203	18889	20582

A seguir apresenta-se as medidas da massa de 17 Kg efetuadas com as três plataformas WBB usando o vetor de referência de fábrica e a calibração proposta em comparação com uma balança digital. Na Figura 19 é possível visualizar a média das medidas da massa de 17 Kg efetuadas em três dias distintos por operadores diferentes ao longo de todo o experimento.

Figura 19 – Medida média da massas de 17 Kg efetuada com a balança digital , o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 17 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas.



O vetor de referência Vref apresentou média de 13,6 Kg e desvio padrão de 2,8 Kg na medida da massa de 17 Kg. A calibração proposta apresentou massa média de 16,5 kg e seu desvio padrão foi de 0,4 Kg.

Na Figura 20 apresenta-se a média das medidas da massa de 34 Kg efetuadas nos três dias distintos e por operadores diferentes. A massa medida utilizando o vetor de referência de fábrica e a calibração proposta são comparados com a balança digital.

Figura 20 – Medida média da massas de 34 Kg efetuada com a balança digital , o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 34 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas.



O vetor de referência *Vref* apresentou média de 32,8 Kg e desvio padrão de 3,1 Kg nas medidas da massa de 34 Kg. A calibração proposta apresentou massa média de 32,7 e seu desvio padrão foi de 0,5 Kg.

Realizou-se também medidas com indivíduos em cada dia de experimento. A massa dos indivíduos não era constante ao longo do experimento. A comparação foi feita utilizando a massa de cada indivíduo medida pelas três plataformas e pela balança digital. Cada operador efetuou esta medida uma vez. Na Figura 21 é possível visualizar a comparação da massa do indivíduo 01 medida com a balança digital e as médias das massas medidas com a calibração proposta e o vetor de referência em um mesmo dia. No gráfico apresenta-se a medida que apresentou o maior desvio padrão.

Figura 21 – Medida média da massa do indivíduo 01 efetuada com a balança digital, o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 91 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas.



Na Tabela 2 é possível observar que apesar das médias de massa do vetor de referência e da calibração proposta serem próximas a massa medida com a balança digital, o desvio padrão da calibração proposta é menor.

Tabela 2 – Médias de medidas de massa do indivíduo 01 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.

	massa Média	desvio padrão
Balança digital	91	0,0
Vetor de referêcia	95	3,7
Calibração proposta	87,2	0,4

De forma análoga ao indivíduo 01, na Figura 21 é possível visualizar a comparação da massa do indivíduo 02 medida com a balança digital e as médias das massas medidas com a calibração proposta e o vetor de referência em um mesmo dia. No gráfico apresenta-se a medida que apresentou o maior desvio padrão.

Figura 22 – Medida média da massa do indivíduo 01 efetuada com a balança digital, o Vetor de referência de fábrica ( $V_{ref}$ ) e calibração proposta com seus respectivos desvios padrão. A medida da balança digital igual a 78,7 Kg está ilustrada no eixo das ordenadas.



Na Tabela 3 é possível observar que apesar das médias de massa do vetor de referência e da calibração proposta serem próximas da massa medida com a balança digital, o desvio padrão da calibração proposta é menor.

O vetor de referência sempre apresenta desvio padrão maior que a calibração proposta em todas as medidas. As médias das medidas são parecidas utilizando ambos os vetores de calibração.

Tabela 3 – Médias de medidas de massa do indivíduo 02 e seus respectivos desvios padrão expressos em Kg.

	massa Média	desvio padrão
Balança digital	78,7	0,0
Vetor de referêcia	81,3	3,7
Calibração proposta	75,2	0,7

### 4.2 Teste de deslocamento do CoP.

O Experimento 2 tem como objetivo avaliar a precisão do deslocamento do CoP utilizando o vetor de calibração calculado ao avaliar objetos em repouso posicionados em pontos da superfície da WBB. Os resultados encontrados no Experimento 1 embasaram a decisão de se utilizar apenas uma das plataformas WBB no Experimento 2. Na medida da massas o desvio padrão foi pequeno, independentemente da magnitude das massas ao se utilizar a calibração proposta. Se o desvio padrão é pequeno independente da plataforma em que está sendo feita a medição então o resultado da medida deve ser parecido em qualquer das plataformas.

Na Figura 23 apresenta-se o gráfico da posição do CoP de uma massa que foi deslocada para cima e para baixo (direção AP). Neste gráfico exibe-se a média da distância à posição central de cada ponto e seus respectivos desvios padrão. O eixo das abscissas representa a distância à posição central do ponto onde massa foi aplicada ao passo que o eixo das ordenadas representa a magnitude desta distância. Observa-se que os desvios padrão na direção AP são pequenos. O maior desvio padrão foi encontrado no ponto 1 cm distante do centro, acima do ponto médio, e seu valor foi 0,29 cm. O menor desvio padrão foi encontrado no ponto 2 cm distante do centro, abaixo do ponto médio, e seu valor foi 0,12 cm. Os desvios padrão podem ser consultados na Tabela B.1 disponível na seção B do Apêndice.





Para ilustrar o comportamento do erro na medida do CoP na direção AP nas diferentes posições experimentais, apresenta-se na Figura 24 o erro absoluto da distância ao ponto central euclidiana esperada e medida, para cada um dos pontos. O gráfico mostra o quão próximo de onde a medida deveria estar localizada, ela realmente está. No pior caso o erro foi igual a 0,13 cm e no melhor caso igual a 0,005 cm.

Figura 24 – Erro absoluto da distância euclidiana ao ponto central esperada e medida, para cada um dos pontos.



Os erros relativos podem ser vistos na Figura 25. O maior erro relativo foi

encontrado no ponto 1 cm distante do centro, abaixo do ponto médio, com valor de 4,0%. O menor erro relativo foi encontrado no ponto 6 cm distante do centro, acima do ponto médio, com valor de 0,1%.





Os dados completos com todos os erros na medida de CoP para direção AP estão disponíveis na Tabela B.2 na seção B do Apêndice.

Um estudo análogo foi realizado na direção ML. Na Figura 26 apresenta-se o gráfico da posição do CoP de uma massa que foi deslocada para esquerda e para direita (direção ML). Neste gráfico exibe-se a média da distância à posição central de cada ponto e seus respectivos desvios padrão. O eixo das ordenadas representa a distância à posição central do ponto onde massa foi aplicada ao passo que o eixo das abscissas representa a magnitude desta distância. Observa-se que os desvios padrão na direção ML são pequenos. O maior desvio padrão foi encontrado no ponto 3 cm distante do centro, à esquerda do ponto médio, e seu valor foi 0,26 cm. O menor desvio padrão foi encontrado no ponto 10 cm distante do centro, à direita do ponto médio, e seu valor foi 0,19 cm. Os desvios padrão podem ser consultados na Tabela B.3 disponível na seção B do Apêndice.





Para ilustrar o comportamento do erro na medida do CoP na direção ML nas diferentes posições experimentais, apresenta-se na Figura 27 o erro absoluto da distância ao ponto central euclidiana esperada e medida, para cada um dos pontos. O gráfico mostra o quão próximo de onde a medida deveria estar localizada, ela realmente está. No pior caso o erro foi igual a 0,25 cm e no melhor caso igual a 0,01 cm.

Figura 27 – Erro absoluto da distância euclidiana ao ponto central esperada e medida, para cada um dos pontos.



Os erros relativos podem ser vistos na Figura 28. O maior erro relativo foi

encontrado no ponto 1 cm distante do centro, à direita do ponto médio, com valor de 11,7%. O menor erro relativo foi encontrado no ponto 4 cm distante do centro, à esquerda do ponto médio, com valor de 0,3%.





Os dados completos com todos os erros na medida de CoP para direção ML estão disponíveis na Tabela B.4 na seção B do Apêndice.

Um erro maior foi encontrado na direção ML, o que era de certa forma esperado. É importante lembrar que a distância entre sensores na direção ML é de 433 mm ao passo que na direção AP é de 238 mm. Este erro pode estar associado ao fato da distância entre os sensores na direção ML ser maior.

Como o cálculo da posição média apresentou pequenos desvios padrão, é possível afirmar que o experimento é reprodutível e sua repetição terá resultados parecidos.

### 5 Conclusões

De forma geral a metodologia para calibração estática, desenvolvida ao longo deste trabalho, apresentou resultados satisfatórios. O conjunto de procedimentos simples propostos puderam ser utilizados facilmente por diferentes operadores e os valores das calibrações efetuadas por eles tiveram resultados equivalentes. A maior diferença encontrada na calibração efetuada por dois operadores foi da ordem de 0,25%. Os experimentos demonstraram também, que a variação dos valores de calibração foi muito pequena ao longo do tempo de aproximadamente dez semanas em que foi realizado o experimento. O maior desvio padrão encontrado nas medidas médias de um sensor de uma plataforma foi igual a 113,90, sendo a medida média em questão igual a 7905,0. O desvio padrão portanto foi igual a 1,44% da medida média. Os testes realizados indicam que para este período de tempo não se faz necessárias para estender a validade deste resultado.

Um outro aspecto importante é que resultados obtidos após a calibração proposta mostraram que plataformas diferentes geraram resultados equivalentes. Isto permite que WBB diferentes sejam utilizadas para avaliar o mesmo paciente com resultados equivalentes nas mesmas condições. Este tipo de conduta não pode ser utilizada quando se trabalha com o vetor de referência de fábrica, pois suas medidas podem variar consideravelmente de plataforma para plataforma. Com a calibração proposta neste trabalho, qualquer plataforma utilizada em exames clínicos terá resultados equivalentes, o que confirma a possibilidade de uso na posturografia como já tinha sido apresentado anteriormente por (CLARK et al., 2018).

Em relação à precisão no cálculo do deslocamento do CoP, o experimento demonstrou que a plataforma WBB após a calibração com a metodologia calibração, consegue estimar a localização do CoP com boa acurácia, sendo o maior erro encontrado na direção ML e igual a 2,5 mm, o que é compatível com a literatura (CLARK et al., 2014), (COLLINS et al., 2009), (CAPPELLO et al., 2011). Boa precisão também foi encontrada nas repetições das medições.

Os resultados das medidas são melhores na direção AP que na ML, o que possivelmente deve estar relacionado com a geometria da plataforma e o posicionamento dos sensores.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se o desenvolvimento de uma metodologia para testes da plataforma em situação dinâmica, por exemplo com o uso de uma estrutura com movimento controlado que permita a avaliação da oscilação dinâmica do CoP. Esta avaliação poderia ser feita por exemplo com auxílio de ferramentas que apresentassem movimento controlado e frequência definida. A oscilação de um pêndulo com frequência controlada para avaliar a plataforma seria um bom ponto de partida.

### Referências

ALLUM, J.; KESHNER, E.; HONEGGER, F.; PFALTZ, C. Indicators of the influence a peripheral vestibular deficit has on vestibulo-spinal reflex responses controlling postural stability. **Acta oto-laryngologica**, Taylor & Francis, v. 106, n. 3-4, p. 252–263, 1988.

BARTLETT, H.; BINGHAM, J.; TING, L. H. Validation and calibration of the wii balance board as an inexpensive force plate. **American Society of Biomechanics**, v. 1, n. 2, p. 3–4, 2012.

BARTLETT, H. L.; TING, L. H.; BINGHAM, J. T. Accuracy of force and center of pressure measures of the wii balance board. **Gait & posture**, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 224–228, 2014.

BEITZEL, A. Nintendo Wii Balance Board: https://grabcad.com/library/nintendowii-fit-board-1. 2018. Disponível em: <"https://grabcad.com/library/ nintendo-wii-fit-board-1">.

BENDA, B. J.; RILEY, P. O.; KREBS, D. E. Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, IEEE, v. 2, n. 1, p. 3–10, 1994.

BERG, K. O.; WOOD-DAUPHINEE, S. L.; WILLIAMS, J. I.; MAKI, B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. **Canadian journal of public health= Revue canadienne de sante publique**, v. 83, p. S7–11, 1992.

BIZERRA, R. S. P.; SOUZA, T. S.; SILVA, T. C.; ORELLANA, E. T. V. Sistema ETHEL para Instrumentalização de Exames de Posturografia. In: **5° Simpósio de Ensino, Extensão, Inovação, Pesquisa e Pós-Graduação e 24° Seminário de Iniciação Científica**. Ilhéus: [s.n.], 2018. ISSN 1809-5283. Disponível em: <a href="http://xxx/sisres/resumosanais8.php">http://xxx/sisres/resumosanais8.php</a>>.

BONAN, I. V.; YELNIK, A. P.; COLLE, F. M.; MICHAUD, C.; NORMAND, E.; PA-NIGOT, B.; ROTH, P.; GUICHARD, J. P.; VICAUT, E. Reliance on visual information after stroke. part ii: Effectiveness of a balance rehabilitation program with visual cue deprivation after stroke: a randomized controlled trial. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Elsevier, v. 85, n. 2, p. 274–278, 2004.

BROWNE, J.; O'HARE, N. Development of a novel method for assessing balance: the quantitative posturography system. **Physiological measurement**, IOP Publishing, v. 21, n. 4, p. 525, 2000.

BYER, B. **Technical Guide to the Wii Balance Board**. 2019. Disponível em: <<u>http://wiibrew.org/wiki/Wii\_Balance\_Board</u>>. Acesso em: 22 out. 2019.

CAPPELLO, A.; BAGALÀ, F.; CEDRARO, A.; CHIARI, L. Non-linear re-calibration of force platforms. **Gait & posture**, Elsevier, v. 33, n. 4, p. 724–726, 2011.

CIVANTOS, C. C.; CABANILLAS, M. I. C. Primeros pasos en la posturografía dinámica computarizada. **Revista ORL**, Universidad de Salamanca, v. 9, n. 3, p. 227–237, 2018.

CLARK, R. A.; BRYANT, A. L.; PUA, Y.; MCCRORY, P.; BENNELL, K.; HUNT, M. Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. **Gait and Posture**, v. 31, n. 3, p. 307–310, 2010. ISSN 09666362.

CLARK, R. A.; HUNT, M.; BRYANT, A. L.; PUA, Y.-H. Author response to the letter: on "validity and reliability of the nintendo wii balance board for assessment of standing balance": are the conclusions stated by the authors justified? **Gait & posture**, v. 39, n. 4, p. 1151–4, 2014.

CLARK, R. A.; MENTIPLAY, B. F.; PUA, Y.-H.; BOWER, K. J. Reliability and validity of the wii balance board for assessment of standing balance: a systematic review. **Gait & posture**, Elsevier, v. 61, p. 40–54, 2018.

COLLINS, S. H.; ADAMCZYK, P. G.; FERRIS, D. P.; KUO, A. D. A simple method for calibrating force plates and force treadmills using an instrumented pole. **Gait & posture**, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 59–64, 2009.

CUPPS, B. Postural control: A current view. NDTA Network, p. 1–7, 1997.

DIRECTIONS, I. Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. **Agressologie**, v. 24, n. 7, p. 321–326, 1983.

DUARTE, M.; FREITAS, S. M. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. **Brazilian Journal of physical therapy**, SciELO Brasil, v. 14, n. 3, p. 183–192, 2010.

DUNCAN, P. W.; WEINER, D. K.; CHANDLER, J.; STUDENSKI, S. Functional reach: a new clinical measure of balance. **Journal of gerontology**, The Gerontological Society of America, v. 45, n. 6, p. M192–M197, 1990.

HARRO, C. C.; MARQUIS, A.; PIPER, N.; BURDIS, C. Reliability and validity of force platform measures of balance impairment in individuals with parkinson disease. **Physical therapy**, Oxford University Press, v. 96, n. 12, p. 1955–1964, 2016.

HORAK, F. B.; SHUPERT, C. L.; MIRKA, A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. **Neurobiology of aging**, Elsevier, v. 10, n. 6, p. 727–738, 1989.

HRYSOMALLIS, C. Relationship between balance ability, training and sports injury risk. **Sports medicine**, Springer, v. 37, n. 6, p. 547–556, 2007.

HUURNINK, A.; FRANSZ, D. P.; KINGMA, I.; DIEËN, J. H. van. Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. **Journal of Biomechanics**, v. 46, n. 7, p. 1392–1395, 2013. ISSN 00219290.

LATASH, M. L. Fundamentals of motor control. [S.l.]: Academic Press, 2012.

LEACH, J.; MANCINI, M.; PETERKA, R.; HAYES, T.; HORAK, F. Validating and calibrating the nintendo wii balance board to derive reliable center of pressure measures. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 10, p. 18244–18267, 2014.

LEACH, J. M.; MANCINI, M.; PETERKA, R. J.; HAYES, T. L.; HORAK, F. B. Validating and calibrating the Nintendo Wii balance board to derive reliable center of pressure measures. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 10, p. 18244–18267, 2014. ISSN 14248220.

LLORENS, R.; LATORRE, J.; NOÉ, E.; KESHNER, E. A. A low-cost wii balance board<sup>™</sup>based posturography system: An efficacy study with healthy subjects and individuals with stroke. In: IEEE. **2015 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)**. [S.I.], 2015. p. 80–85.

MEDEIROS, Í. R.; BITTAR, R. S.; PEDALINI, M. E. B.; LORENZI, M. C.; KII, M. A.; FORMIGONI, L. G. Avaliação do tratamento dos distúrbios vestibulares na criança através da posturografia dinâmica computadorizada: resultados preliminares. **Jornal de Pediatria**, SciELO Brasil, v. 79, n. 4, p. 337–342, 2003.

MOCHIZUKI, L.; AMADIO, A. C. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre o centro de massa e o centro de pressão. **Rev Port Cien Desp**, v. 3, n. 3, p. 77–83, 2003.

MONSELL, E. M.; FURMAN, J. M.; HERDMAN, S. J.; KONRAD, H. R.; SHEPARD, N. T. Computerized dynamic platform posturography. **Otolaryngology–Head and Neck Surgery**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 117, n. 4, p. 394–398, 1997.

NASHNER, L. M.; BLACK, F. O.; WALL, C. Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. **Journal of Neuroscience**, Soc Neuroscience, v. 2, n. 5, p. 536–544, 1982.

NI. **Escolha a sua versão do Labview**. 2019. Disponível em: <"https://www.ni.com/ pt-br/shop/labview/select-edition.html">.

NIAM, S.; CHEUNG, W.; SULLIVAN, P. E.; KENT, S.; GU, X. Balance and physical impairments after stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Elsevier, v. 80, n. 10, p. 1227–1233, 1999.

NINTENDO. Wii Balance Board Operations Manual:https://www.nintendo.com/consumer/downloads/wiiBalanceBoard.pdf. 2019. Disponível em: <"https://www.nintendo.com/consumer/downloads/ wiiBalanceBoard.pdf">.

ONDO, W.; WARRIOR, D.; OVERBY, A.; CALMES, J.; HENDERSEN, N.; OLSON, S.; JANKOVIC, J. Computerized posturography analysis of progressive supranuclear palsy: a case-control comparison with parkinson's disease and healthy controls. **Archives of neurology**, American Medical Association, v. 57, n. 10, p. 1464–1469, 2000.

PAJALA, S.; ERA, P.; KOSKENVUO, M.; KAPRIO, J.; TÖRMÄKANGAS, T.; RANTA-NEN, T. Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63–76 years. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, Oxford University Press, v. 63, n. 2, p. 171–178, 2008.

PARK, D.-S.; LEE, G. Validity and reliability of balance assessment software using the nintendo wii balance board: usability and validation. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 11, n. 1, p. 99, 2014.

PAVOL, M. J. Detecting and understanding differences in postural sway. focus on "a new interpretation of spontaneous sway measures based on a simple model of human postural control". **Journal of Neurophysiology**, American Physiological Society, v. 93, n. 1, p. 20–21, 2005.

PIIRTOLA, M.; ERA, P. Force platform measurements as predictors of falls among older people–a review. **Gerontology**, Karger Publishers, v. 52, n. 1, p. 1–16, 2006.

PODSIADLO, D.; RICHARDSON, S. Timed up and go (tug) test. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 39, n. 2, p. 142148, 1991.

PRIETO, T. E.; MYKLEBUST, J. B.; HOFFMANN, R. G.; LOVETT, E. G.; MYKLEBUST, B. M. Measures of posturl steadiness differences between healthy young and elderly adults. **Transactions of Biomedical Engineering**, v. 43, n. 9, p. 965–966, 1996.

PRIETO, T. E.; MYKLEBUST, J. B.; MYKLEBUST, B. Characterization and modeling of postural steadiness in the elderly: a review. **IEEE Transactions on rehabilitation engineering**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 26–34, 1993.

PROSPERINI, L.; POZZILLI, C. The clinical relevance of force platform measures in multiple sclerosis: a review. **Multiple sclerosis international**, Hindawi, v. 2013, 2013.

ROSSIER, P.; WADE, D. T. Validity and reliability comparison of 4 mobility measures in patients presenting with neurologic impairment. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Elsevier, v. 82, n. 1, p. 9–13, 2001.

SHUMWAY-COOK, A.; HORAK, F. B. Assessing the influence of sensory interaction on balance: suggestion from the field. **Physical therapy**, Oxford University Press, v. 66, n. 10, p. 1548–1550, 1986.

SILVA, M. G.; MOREIRA, P. V. S.; ROCHA, H. M. Development of a low cost force platform for biomechanical parameters analysis. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 33, n. 3, p. 259–268, 2017.

SILVA, T.; BIZERRA, R.; MARTINS, S.; SODRÉ, M.; ORELLANA, E. et al. Sistema ethel para exames de posturografia utilizando wii balance board tm. In: SBC. **Anais da XIX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe**. [S.l.], 2019. p. 142–147.

TEIXEIRA, C. L. Equilíbrio e controle postural. 2013.

WINTER, D. A. Human balance and posture control during standing and walking. **Gait & posture**, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 193–214, 1995.

WINTER, D. A.; PATLA, A. E.; FRANK, J. S. Assessment of balance control in humans. **Med prog technol**, v. 16, n. 1-2, p. 31–51, 1990.

YOUNG, W.; FERGUSON, S.; BRAULT, S.; CRAIG, C. Assessing and training standing balance in older adults: A novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. **Gait and Posture**, v. 33, n. 2, p. 303–305, 2011. ISSN 09666362.

Apêndices

# APÊNDICE A – Valores de resposta dos sensores das calibrações realizadas utilizando a metodologia proposta

Tabela A.1 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.

Sensor	$R_{min}$	$R_{med}$	$R_{max}$
TR	16024	18053	20045
BR	15811	17864	19763
TL	8260	10238	12071
BL	18093	20091	21992

Tabela A.2 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	16000	18035	19997
BR	15832	17846	19767
TL	8275	10228	12126
BL	18075	20123	21968

Tabela A.3 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	16036	18101	20122
BR	15800	17815	19791
TL	8250	10171	12050
BL	18098	20087	22037

Tabela A.4 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	16006	18036	19996
BR	15831	17827	19776
TL	8277	10236	12130
BL	18067	20050	21962

Tabela A.5 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	16009	18059	20083
BR	15827	17872	19789
TL	8285	10240	12121
BL	18072	20074	21999

Tabela A.6 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 01 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	15966	18024	20083
BR	15869	17937	19814
TL	8346	10311	12241
BL	18026	20042	21968

Tabela A.7 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2241	4207	6053
BR	2931	4929	6798
TL	4051	6089	7829
BL	3975	6033	7955

Tabela A.8 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2245	4207	6091
BR	29237	4914	6889
TL	40487	6031	7888
BL	398176	038	7999

Tabela A.9 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019.

Sensor	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2268	4224	6089
BR	2908	4985	6740
TL	4034	5972	7820
BL	3991	6046	8072

Tabela A.10 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.

Sensor	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2261	4239	6154
BR	2910	4874	6805
TL	4038	5970	7852
BL	3990	6049	8012

Tabela A.11 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019.

Sensor	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2290	4247	6272
BR	2931	4956	6787
TL	4049	6000	8066
BL	4035	6120	8047

Tabela A.12 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 02 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	2263	4251	6097
BR	2948	4941	6904
TL	4068	6031	7915
BL	4007	6055	8009

Tabela A.13 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 08/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	5064	7097	9016
BR	19763	21877	23890
TL	2385	4416	6355
BL	17313	19274	21108

Tabela A.14 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 08/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	5070	7100	9043
BR	19752	21854	23889
TL	2382	4488	6416
BL	17332	19276	21106

Tabela A.15 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 16/10/2019.

		Rmin	Rmed	Rmax
TF	2	5124	7188	9041
BF	2	19708	21866	23801
TL		2343	4355	6365
BL	_	17365	19292	21182

Tabela A.16 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 16/10/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	5089	7097	9025
BR	19745	21825	23885
TL	2381	4390	6377
BL	17333	19262	21165

Tabela A.17 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 01 em 18/12/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	5044	7052	9025
BR	19795	21910	24027
TL	2453	4552	6423
BL	17279	19228	21095

Tabela A.18 – Valores de  $R_{min}$ ,  $R_{med}$  e  $R_{max}$  para cada um dos sensores TR, BR, TL e BL da Plataforma 03 após procedimento de calibração efetuado pelo Operador 02 em 18/12/2019.

	Rmin	Rmed	Rmax
TR	5048	7063	8995
BR	19789	21904	23951
TL	2447	4483	6439
BL	17281	19224	21139

# APÊNDICE B – Medidas de deslocamento de CoP

Tabela B.1 – Distância euclidiana	esperada,	distância	CoP	medida e	e o	desvio	padrão	) na
direção AP.	1						•	

Distância Euclidiana esperada (cm)	Distância CoP (cm)	desvio padrão (cm)
-10	-9.93	0.19
-9	-8.94	0.14
-8	-7.89	0.16
-7	-6.87	0.16
-6	-5.91	0.18
-5	-4.94	0.18
-4	-3.94	0.16
-3	-2.96	0.14
-2	-1.96	0.12
-1	-0.96	0.16
1	0.99	0.29
2	2.02	0.23
3	3.02	0.26
4	3.98	0.28
5	4.99	0.24
6	5.99	0.23
7	6.95	0.23
8	7.90	0.18
9	8.92	0.21
10	9.87	0.20

Distância euclidiana	Erro Absoluto AP	Erro Relativo AP
10	0,073	0,70%
9	0,063	0,70%
8	0,113	1,40%
7	0,13	1,90%
6	0,093	1,60%
5	0,06	1,20%
4	0,057	1,40%
3	0,04	1,30%
2	0,037	1,80%
1	0,04	4,00%
1	0,005	0,50%
2	0,023	1,10%
3	0,018	0,60%
4	0,014	0,30%
5	0,009	0,20%
6	0,007	0,10%
7	0,043	0,60%
8	0,093	1,20%
9	0,078	0,90%
10	0,127	1,30%

Tabela B.2 – Erros absolutos e Relativo	s para cada	distância	euclidiana r	a direção	AP.
---	-------------	-----------	--------------	-----------	-----

Tabela B.3 – Distância euclidiana esperada, distância CoP medida e o desvio padrão na direção ML.

Distância Euclidiana esperada (cm)	Distância CoP (cm)	desvio padrão (cm)
-10	-9,893	0,22
-9	-8,893	0,20
-8	-7,88	0,22
-7	-6,87	0,19
-6	-5,933	0,20
-5	-4,957	0,20
-4	-3,987	0,20
-3	-3,02	0,26
-2	-1,973	0,24
-1	-0,973	0,22
1	1,113	0,22
2	2,11	0,23
3	3,25	0,24
4	4,247	0,19
5	5,237	0,20
6	6,1	0,22
7	7,057	0,21
8	8,08	0,24
9	9,113	0,20
10	10,08	0,19

Distância euclidiana	Erro Absoluto ML	Erro Relativo ML
10	0,11	1,10%
9	0,11	1,20%
8	0,12	1,50%
7	0,13	1,90%
6	0,07	1,10%
5	0,04	0,90%
4	0,01	0,30%
3	0,02	0,70%
2	0,03	1,30%
1	0,03	2,60%
1	0,12	11,70%
2	0,11	5,50%
3	0,25	8,30%
4	0,25	6,20%
5	0,24	4,70%
6	0,10	1,70%
7	0,06	0,80%
8	0,08	1,00%
9	0,12	1,30%
10	0,08	0,80%

Tabela B.4 – Erros absolutos e Relativos para cada distância euclidiana na direção ML.