



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Maria Beatriz Cavaca Santos

**ESTUDO DA DINÂMICA DE RECEÇÕES EM  
PARES/GRUPOS DE GINÁSTICA ACROBÁTICA**

**Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente, orientada pela Doutora Maria  
de Fátima da Costa Paulino e Prof. <sup>a</sup> Doutora Ana Paula Betencourt Martins  
Amaro.**

**Apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica**

Outubro de 2021



---

# Estudo da Dinâmica de Receções em Pares/Grupos de Ginástica Acrobática

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na  
Especialidade de Energia e Ambiente

## Study of the dynamics of Receptions in Pairs/Groups of Acrobatic Gymnastics

Autor

**Maria Beatriz Cavaca Santos**

Orientadores

**Maria de Fátima da Costa Paulino**  
**Ana Paula Betencourt Martins Amaro**

Júri

Presidente **Professora Doutora Maria Augusta Neto, Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra.**

Orientadores **Doutora Maria de Fátima da Costa Paulino, Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Coimbra.**

Vogais **Professor Doutor Luís Manuel Ferreira Roseiro, Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Coimbra.**  
**Engenheiro João Paulo Mouta Dias, Instituto Pedro Nunes.**

**Colaboração Institucional**

---



**Coimbra, outubro, 2021**



“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”

(Einstein 1931)



---

## Agradecimentos

As minhas primeiras palavras de agradecimento vão para as minhas orientadoras, Doutora Maria de Fátima da Costa Paulino e Professora Doutora Ana Paula Betencourt Martins Amaro, por todo o apoio e orientação prestados. Gostaria ainda de gratificar o Professor Doutor Luís Roseiro e a Professora Doutora Beatriz Branquinho Gomes, pela ajuda prestada.

Os meus agradecimentos a todos os ginastas que participaram neste estudo e um especial ao treinador João Paulo Dias pela disponibilidade e ajuda que sempre apresentou.

Não poderia deixar de agradecer à minha família, ao meu namorado e aos meus amigos, que sempre me acompanharam nesta etapa. Um agradecimento especial à minha irmã que sendo médica, me ajudou bastante a entender alguns aspetos importantes deste estudo.

Por fim, gostaria de dedicar esta dissertação à memória do meu avô João, que infelizmente não viu satisfeito o seu desejo de ver a neta mais nova a formar-se.



---

## Resumo

A Ginástica Acrobática (GA) é uma modalidade caracterizada por treinos de elevada intensidade e realização de inúmeras repetições de exercícios, o que aumenta a probabilidade de lesão, particularmente dos membros inferiores, considerando o constante impacto a que as estruturas ósseas, articulares e musculares estão sujeitas em cada receção ao solo. O objetivo deste trabalho é estudar a cinemática e a cinética da receção ao solo, de ginastas volantes, após um salto vertical a partir de uma estafa. Para tal, foi utilizada uma Plataforma de Forças Industrial (PFI). Foi, ainda, projetada e desenvolvida uma Plataforma de Forças (PF) aplicada à ginástica acrobática, que foi denominada por Plataforma de Forças Desenvolvida (PFD). O objetivo desta plataforma é adquirir a força vertical, sendo uma alternativa mais económica relativamente às do mercado, e com dimensões adequadas à ginástica acrobática.

Neste estudo foi analisada a relação entre diversas variáveis cinemáticas e cinéticas com o pico de força vertical na receção ao solo. Estudou-se a forma de receção, isto é, se o volante cai predominantemente sobre o antepé, ou sobre o mediopé, a altura máxima do salto, o impulso exercido, a duração da receção do volante, a distância vertical entre o solo e o trocânter maior do volante, no momento de flexão máxima dos membros inferiores e, também, a influência do peso do ginasta.

Com este estudo concluiu-se que a forma de receção (antepé ou mediopé), o impulso exercido na receção, e o peso do ginasta parecem estar relacionados com o pico de força vertical na receção ao solo. Verificou-se que os ginastas que caem sobre o antepé apresentam forças de pico mais reduzidas, comparados com os que realizavam a receção sobre o mediopé. O impulso e o peso do atleta mostraram ser diretamente proporcionais à força de pico exercida na receção. Desta forma, é possível estudar cada atleta por forma a melhorar a sua receção ao solo, prevenindo, ou se possível, evitando, lesões futuras.

**Palavras-chave:** Plataforma de Forças, Ginástica Acrobática, Receção ao solo.



## Abstract

Acrobatic Gymnastics is a sport characterized by high intensity training and numerous repetitions of the exercises, which increases the probability of injury, particularly of the lower limbs, considering the permanent impact to which the bone, joint and muscle structures are subjected at each reception to the ground. The objective of this work is to study the kinematics and kinetics of the reception to the ground after a vertical jump. For this purpose, an Industrial Force Plate was used. A Force Plate applied to acrobatic gymnastics was also designed and developed. This platform was called the Developed Force Plate. The goal of this platform is, in addition to acquiring vertical force, to be a cheaper alternative to those on the market and more suitable for this sport.

The relationship between several kinematic and kinetic variables and the peak vertical force in the reception to the ground, was analyzed. We studied the reception form (if the handwheel falls predominantly on the forefoot or the midfoot); the maximum height of the jump; the impulse exerted; the duration of the handwheel reception; the vertical distance between the ground and the greater trochanter, at the moment of maximum flexion of the lower limbs; and also the influence of the weight of the gymnast

This study concludes that the form of reception (forefoot or midfoot), the impulse exerted on the reception and the weight of the gymnast appear to be related to the peak vertical force on the ground reception. Gymnasts who fall on the forefoot were found to have lower peak forces compared to those who performed the reception on the midfoot. The impulse and the weight of the athlete were directly proportional to the force exerted at the reception. So, it is possible to study each athlete in order to improve their reception on the ground and avoid avoiding future injuries.

**Keywords** Force Plate, Acrobatic Gymnastics, Reception.



## Índice

Índice de figuras .....	ix
Índice de tabelas .....	xiii
Siglas .....	xv
1. Introdução .....	1
1.1. Justificação do estudo e objetivos .....	1
1.2. Estrutura da Dissertação .....	1
2. Enquadramento temático .....	3
2.1. Ginástica acrobática .....	3
2.2. Anatomia .....	6
2.3. Lesões na ginástica .....	8
2.4. Plataforma de forças .....	10
3. Plataforma de forças industrial .....	11
3.1. Amostra da PFI .....	11
3.2. Procedimentos e material para a PFI .....	12
3.3. Variáveis em estudo .....	15
3.4. Análise estatística .....	20
4. Plataforma de forças desenvolvida .....	21
4.1. Amostra da PFD .....	21
4.2. Procedimentos e material para a PFD .....	21
4.2.1. Células de carga .....	22
4.2.2. Construção da Plataforma .....	23
4.2.3. Calibração .....	26
4.2.4. Ensaios .....	28
5. Resultados e discussão .....	31
5.1. Plataforma de forças industrial .....	31
5.2. Plataforma de forças desenvolvida .....	34
5.3. Análise comparativa .....	35
6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros .....	37
7. Referências bibliográficas .....	39
Apêndice A - Ensaios na plataforma de forças industrial – Gráficos Fz em função do tempo .....	43
Apêndice B – Esboços 2D das células de carga e da plataforma de forças desenvolvida...	53
Apêndice C – Resultados das variáveis em estudo com a PFI para cada ensaio.....	55

Apêndice D – Estudo estatístico das variáveis em estudo .....	57
Apêndice E - Ensaio na plataforma de forças desenvolvida – Gráficos Fz em função do tempo .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Figura ilustrativa de um trio, com a identificação de cada ginasta (FIG 2021)..	3
Figura 2.2. Figura ilustrativa de um par (FIG 2021). .....	4
Figura 2.3. Figura ilustrativa de uma quadra (FIG 2021).....	4
Figura 2.4. Esquema de uma estafa de plataforma vista lateral (FIG 2021). .....	4
Figura 2.5. Esquema de uma estafa de plataforma vista superior. ....	4
Figura 2.6. Praticável de treino: Vista superior (A), Vista lateral (B) (Spieth Gymnastics 2021).....	5
Figura 2.7. Esquema do amortecimento do praticável. ....	5
Figura 2.8. Pé ósseo visto pela face superior (Pina 1999).....	6
Figura 2.9. Articulação tibiotársica (A) vista pela face externa (B) vista pela face interna (Pina 1999). ....	7
Figura 2.10. Fémur visto pela face anterior (Pina 1999). .....	7
Figura 2.11. Padrão da pisada.....	9
Figura 2.12. Figura ilustrativa uma plataforma de forças (Lider de Balanças 2021).....	10
Figura 3.1. Posição dos ginastas relativos à plataforma: vista frontal (A) e vista lateral (B). .....	12
Figura 3.2. Sistemas de coordenadas da plataforma de forças industrial (Kistler 2021). ...	12
Figura 3.3. Montagem da zona de receção da PFI.....	13
Figura 3.4. Zona delimitada da PFI. ....	13
Figura 3.5. Esquema da montagem do ensaio. ....	13
Figura 3.6. Exemplo de resultados retirados pela plataforma PFI (Ensaio V <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ). ....	14
Figura 3.7. Imagem da Câmara C1.....	14
Figura 3.8. Imagem da Câmara C2.....	15
Figura 3.9. Exemplo de queda sobre o antepé (Ensaio V <sub>2</sub> S <sub>1</sub> ): durante o salto (A); momentos antes da receção (B); primeiro contacto com o solo (C). ....	16
Figura 3.10. Exemplo de queda sobre o mediopé (Ensaio V <sub>5</sub> S <sub>3</sub> ): durante o salto (A); momentos antes da receção (B); primeiro contacto com o solo (C). ....	16
Figura 3.11. Calibração da câmara C1. ....	17
Figura 3.12. Exemplo de altura máxima de um salto. ....	17

---

Figura 3.13. Representação do intervalo de tempo correspondente ao pico (Ensaio $V_{10}S_3$ ). .....	18
Figura 3.14. Área correspondente ao impulso (Ensaio $V_{10}S_3$ )......	18
Figura 3.15. Calibração da câmara C2. ....	19
Figura 3.16. Exemplo de flexão máxima de um salto.....	19
Figura 4.1. Célula de carga <i>single point</i> e extensómetros (HBK 2020)......	22
Figura 4.2. Esquema representativo do funcionamento de uma plataforma de forças.....	22
Figura 4.3. Célula de carga do tipo <i>single point</i> utilizada no estudo (PTRobotics 2021)...	23
Figura 4.4. Desenho 3D da célula de carga.....	23
Figura 4.5. Vista inferior do modelo da PFD.....	24
Figura 4.6. Vista lateral do modelo da PFD.....	24
Figura 4.7. Simulação do deslocamento resultante da plataforma de forças. ....	25
Figura 4.8. Ligações entre as células e o osciloscópio digital.....	25
Figura 4.9. Plataforma de forças vista inferior.....	26
Figura 4.10. Montagem do sistema. ....	26
Figura 4.11. Exemplo dos resultados obtidos para o teste 2 pela PFD. ....	27
Figura 4.12. Montagem da zona de receção para a PFD.....	29
Figura 4.13. Zona de receção da PFD. ....	29
Figura 5.1. Valores de pico de força $F_z$ médio em função do tipo de receção .....	32
Figura 6.1. Vista inferior da plataforma proposta. ....	38
Figura A. 1. Ensaio para o $V_1$ com a PFI: Ensaio $V_1S_1(A)$ ; Ensaio $V_1S_2(B)$ ; Ensaio $V_1S_3(C)$ ; Ensaio $V_1S_4(D)$ . ....	43
Figura A. 2. Ensaio para o $V_2$ com a PFI: Ensaio $V_2S_1(A)$ ; Ensaio $V_2S_2(B)$ ; Ensaio $V_2S_3(C)$ ; Ensaio $V_2S_4(D)$ . ....	44
Figura A. 3. Ensaio para o $V_3$ com a PFI: Ensaio $V_3S_1(A)$ ; Ensaio $V_3S_2(B)$ ; Ensaio $V_3S_3(C)$ ; Ensaio $V_3S_4(D)$ . ....	45
Figura A. 4. Ensaio para o $V_4$ com a PFI: Ensaio $V_4S_1(A)$ ; Ensaio $V_4S_2(B)$ ; Ensaio $V_4S_3(C)$ ; Ensaio $V_4S_4(D)$ ; Ensaio $V_4S_5(E)$ . ....	46
Figura A. 5. Ensaio para o $V_5$ com a PFI: Ensaio $V_5S_1(A)$ ; Ensaio $V_5S_2(B)$ ; Ensaio $V_5S_3(C)$ ; Ensaio $V_5S_4(D)$ . ....	47
Figura A. 6. Ensaio para o $V_6$ com a PFI: Ensaio $V_6S_1(A)$ ; Ensaio $V_6S_2(B)$ ; Ensaio $V_6S_3(C)$ ; Ensaio $V_6S_4(D)$ ; Ensaio $V_6S_5(E)$ . ....	48
Figura A. 7. Ensaio para o $V_7$ com a PFI: Ensaio $V_7S_1(A)$ ; Ensaio $V_7S_2(B)$ ; Ensaio $V_7S_3(C)$ ; Ensaio $V_7S_4(D)$ ; Ensaio $V_7S_5(E)$ . ....	49

---

---

Figura A. 8. Ensaios para o $V_8$ com a PFI: Ensaio $V_8S_1(A)$ ; Ensaio $V_8S_2(B)$ ; Ensaio $V_8S_3(C)$ ; Ensaio $V_8S_4(D)$ .....	50
Figura A. 9. Ensaios para o $V_9$ com a PFI: Ensaio $V_9S_1(A)$ ; Ensaio $V_9S_2(B)$ ; Ensaio $V_9S_3(C)$ ; Ensaio $V_9S_4(D)$ ; Ensaio $V_9S_5(E)$ .....	51
Figura A. 10. Ensaios para o $V_{10}$ com a PFI: Ensaio $V_{10}S_1(A)$ ; Ensaio $V_{10}S_2(B)$ ; Ensaio $V_{10}S_3(C)$ ; Ensaio $V_{10}S_4(D)$ .....	52
Figura B. 1. Desenho 2D e medidas da célula de carga. ....	53
Figura B. 2. Desenho 2D e medidas da plataforma de forças desenvolvida. ....	54
Figura E. 1. Ensaios para o $V_1$ com a PFD: Ensaio $V_1S_1(A)$ ; Ensaio $V_1S_2(B)$ ; Ensaio $V_1S_3(C)$ ; Ensaio $V_1S_4(D)$ ; Ensaio $V_1S_5(E)$ .....	62
Figura E. 2. Ensaios para o $V_3$ com a PFD: Ensaio $V_3S_1(A)$ ; Ensaio $V_3S_2(B)$ ; Ensaio $V_3S_3(C)$ ; Ensaio $V_3S_4(D)$ ; Ensaio $V_3S_5(E)$ .....	63



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Dados antropométricos dos atletas. ....	11
Tabela 4.1. Orçamento da plataforma desenvolvida. ....	26
Tabela 4.2. Pesos utilizados para os testes. ....	27
Tabela 4.3. Conversão para [N].....	28
Tabela 5.1. Dados médios com a PFI para cada volante.....	31
Tabela 5.2. Média do rácio para cada forma de recepção .....	32
Tabela 5.3. Resultados dos ensaios com a PFD para o $V_1$ . ....	34
Tabela 5.4. Resultados dos ensaios com a PFD para o $V_3$ . ....	34
Tabela 5.5. Pico de força médio para a plataforma industrial e desenvolvida. ....	35
Tabela C. 1. Resultados da PFI para todos os ensaios.....	55
Tabela D. 1. Teste-t para amostras independentes entre o rácio e a forma de recepção. ....	57
Tabela D. 2. Correlação entre o pico de força e a altura máxima atingida.....	57
Tabela D. 3. Correlação entre o pico de força e a duração da recepção.....	58
Tabela D. 4. Correlação entre o pico de força e o impulso. ....	58
Tabela D. 5. Correlação entre o pico de força e a distância do trocâter maior ao solo. ....	58
Tabela D. 6. Correlação entre o pico de força e o peso do volante. ....	59



## **SIGLAS**

AAC – Associação Académica de Coimbra

CC – Células de Carga

FIG – Federação Internacional de Ginástica

FPG – Federação Portuguesa de Ginástica

GA – Ginástica Acrobática

PF – Plataforma de Forças

PFD – Plataforma de Forças Desenvolvida

PFI – Plataforma de Forças Industrial



## **1. INTRODUÇÃO**

Com este estudo pretende-se analisar a força exercida pelos ginastas na receção de um exercício. Assim, no sentido de estudar a dinâmica de receções de saltos, foram utilizadas duas Plataformas de Forças (PF), uma disponível no mercado, Plataforma de Forças Industrial (PFI), outra construída para o efeito, Plataforma de Forças Desenvolvida (PFD). A utilização destas duas plataformas permitiu a comparação de resultados.

Os ensaios experimentais foram realizados por ginastas voluntários da Associação Académica de Coimbra (AAC), com alguns anos de prática desta modalidade. A amostra é constituída por 10 ginastas de alta competição, com idades compreendidas entre os 12 e 18 anos.

### **1.1. Justificação do estudo e objetivos**

Este estudo assenta na compreensão, e previsão, da possibilidade de ocorrência de diferentes lesões dos membros inferiores, resultantes da prática de Ginástica Acrobática (GA). Devido ao elevado número de treinos semanais e à elevada força que os ginastas exercem no solo nas suas receções, um atleta desta modalidade está sujeito a um aumento da propensão a lesões dos pés e tornozelos. A finalidade deste estudo é analisar a relação entre a força exercida pelos ginastas e a probabilidade de ocorrência de lesões.

### **1.2. Estrutura da Dissertação**

Neste primeiro capítulo são descritos os objetivos para este trabalho e qual a motivação para a sua realização. No capítulo 2, apresenta-se um enquadramento ao estudo onde se ostentam noções relevantes para o estudo, nomeadamente sobre ginástica acrobática, anatomia dos membros inferiores e as principais lesões que decorrem da prática deste desporto. São também referenciadas as plataformas de forças.

O terceiro capítulo, “Plataforma de forças industrial”, define os procedimentos e a amostra estabelecida para a realização dos ensaios, este estudo preliminar permitiu

conhecer os valores de forças envolvidas quando realizado o salto em estudo, assim como otimizar quais os parâmetros relevantes para o estudo.

No capítulo 4, “Plataforma de forças desenvolvida”, descreve-se a montagem da plataforma desenvolvida e os materiais utilizados. Neste capítulo, apresenta-se também o orçamento alocado para a sua construção e uma explicação dos ensaios realizados.

O quinto capítulo, “Resultados e discussões”, está dividido em 3 secções. Na primeira, encontram-se os resultados obtidos com os ensaios da PFI e a respetiva análise estatística. Na segunda, apresentam-se os dados adquiridos pela PFD. A terceira secção inclui uma análise comparativa dos resultados, obtidos pelas duas plataformas.

Por último, no capítulo 6, “Conclusões e sugestões para trabalhos futuros”, são enumeradas várias conclusões relativamente a este estudo e recomendações para trabalhos posteriores.

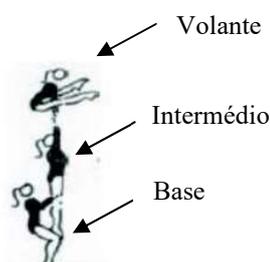
## 2. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

### 2.1. Ginástica acrobática

A ginástica é um desporto constituído por várias especialidades, sendo a ginástica acrobática uma delas. A ginástica acrobática desenvolveu-se no século XVII com a criação do circo (Correia 2018).

Na ginástica acrobática executam-se exercícios que exigem força, coordenação, flexibilidade, equilíbrio e agilidade (Merida, Nista-Piccolo, and Merida 2008). Estes exercícios são executados com acompanhamento musical e requerem expressão e movimentos corporais perfeitamente sincronizados com a música. A ginástica acrobática é realizada num praticável com uma dimensão de 12 x 12 (m<sup>2</sup>), onde os ginastas concretizam um conjunto de figuras acrobáticas. A pontuação é dada tendo em conta o grau de dificuldade, a execução dos exercícios realizados e ainda a sincronização da coreografia (FIG 2021).

A GA é constituída por grupos de ginastas de diferentes idades e estaturas, aos quais se dá as denominações de bases, intermédios e volantes (Fernandes 2016), como representado na Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Figura ilustrativa de um trio, com a identificação de cada ginasta (FIG 2021).

Existem cinco tipologias de acordo o atual código de pontuação de ginástica acrobática (FIG 2021): pares femininos, masculinos e mistos, constituídos por dois elementos, um base e um volante, Figura 2.2. Grupos femininos, constituídos por três elementos do sexo feminino, um base, um intermédio e um volante, Figura 2.1. Existem

ainda grupos masculinos, constituídos por quatro elementos do sexo masculino, dos quais um é base, dois são intermédios e um é volante, Figura 2.3.



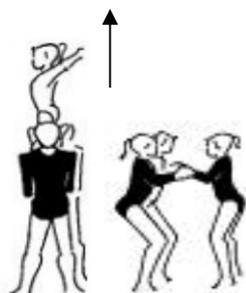
**Figura 2.2.** Figura ilustrativa de um par (FIG 2021).



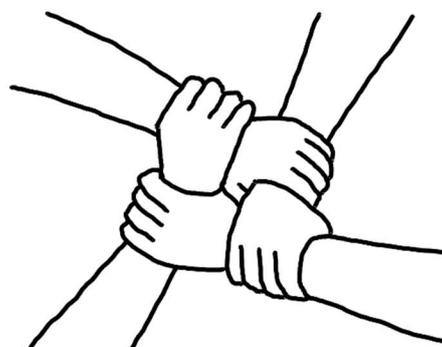
**Figura 2.3.** Figura ilustrativa de uma quadra (FIG 2021).

Os exercícios agrupam-se em exercícios de equilíbrio, dinâmico e combinado. Nos exercícios de equilíbrio para a realização dos exercícios os ginastas devem-se manter estáticos durante o tempo definido para esse elemento, podendo realizar apenas interligações. Nos exercícios de dinâmico, as figuras são caracterizadas por uma fase de voo. Nestes exercícios os bases necessitam de projetar os volantes, e os volantes de realizar uma receção correta. Os exercícios combinados agrupam as características dos dois exercícios descritos anteriormente, ou seja, os ginastas realizam elementos dinâmicos e de equilíbrio (FIG 2021).

Este estudo dedica-se à análise de um elemento dinâmico, avaliando a força de pico vertical exercida na receção. Este elemento consiste num salto vertical a partir de uma estafa de plataforma, como demonstrado na Figura 2.4. Numa estafa de plataforma os bases estão de frente um para o outro, realizando um entrelaçado com os braços, Figura 2.5. O volante sobe para as mãos dos bases onde saltam e são projetados. Após a fase de voo, os bases ajudam o volante a realizar a receção do salto.



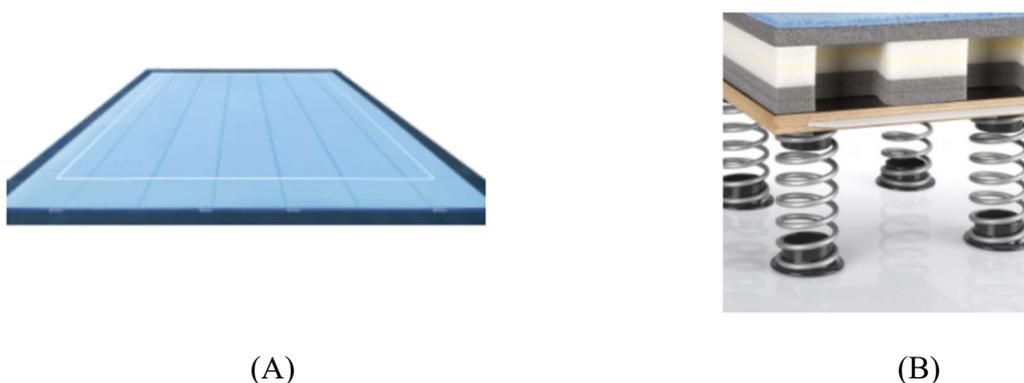
**Figura 2.4.** Esquema de uma estafa de plataforma vista lateral (FIG 2021).



**Figura 2.5.** Esquema de uma estafa de plataforma vista superior.

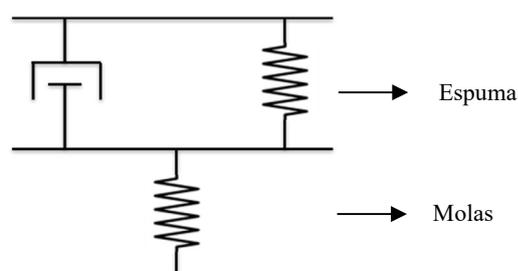
O modo de receção dos ginastas é um aspeto relevante para a pontuação do esquema, assim como para a diminuição da probabilidade de lesões. Quando os ginastas realizam um salto, na fase de receção, ocorrem os seguintes movimentos: contacto dos pés com o solo, flexão dos membros inferiores de forma a amortecer a queda e, por último, o retorno à posição normal de marcha (Gama 2017). De acordo com o código de pontuação da ginástica acrobática (FIG 2021), uma receção correta é aquela que deve absorver a força de impacto da receção, sem perder o equilíbrio ou mover os pés no momento da receção ao solo.

O praticável de treino/provas é constituído por uma carpete, uma camada de espuma, madeira contraplacada e molas, como demonstrado na Figura 2.6. É para este praticável que os ginastas realizam as suas receções.



**Figura 2.6.** Praticável de treino: Vista superior (A), Vista lateral (B) (Spieth Gymnastics 2021).

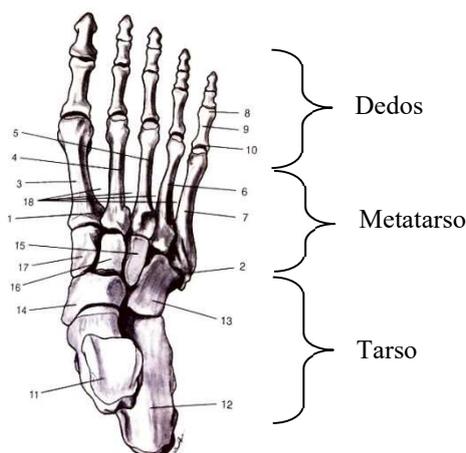
Como já demonstrado em estudos anteriores (Correia 2018) este praticável permite aumentar a impulsão a partir das molas existentes e da espuma e permite algum amortecimento ao elevado impacto através da camada de espuma, Figura 2.7.



**Figura 2.7.** Esquema do amortecimento do praticável.

## 2.2. Anatomia

O pé humano é constituído por 26 ossos, que por sua vez, são divididos em três grupos: o tarso, o metatarso e os dedos (Pina 1999), Figura 2.8.

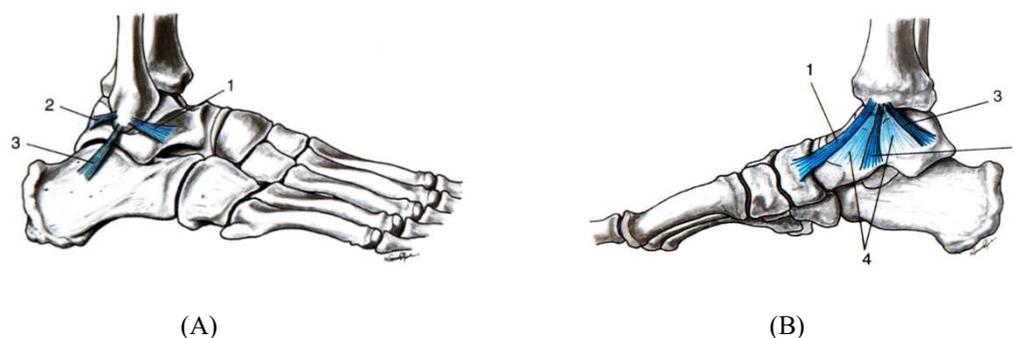


**Figura 2.8.** Pé ósseo visto pela face superior (Pina 1999).

O tarso é composto por sete ossos curtos dispostos em duas fileiras: fileira posterior (constituída pelo astrágalo e pelo calcâneo) e fileira anterior (constituída pelo cubóide, pelo escafoide e pelos três cuneiformes). Na porção inferior do calcâneo insere-se o tendão de Aquiles, que corresponde às terminações dos músculos gêmeos e solhar. O metatarso é constituído por cinco ossos longos, os metatársicos. Os dedos são constituídos por três ossos longos que se denominam falanges, com exceção do polegar que apenas integra duas falanges (Pina 1999).

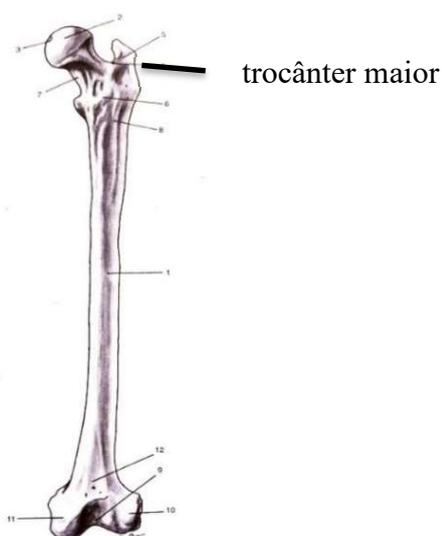
Relativamente à miologia do pé, este é constituído por 5 grupos de músculos: músculos dorsais, músculos plantares interiores, músculos plantares exteriores, músculos plantares médios e finalmente, músculos interósseos. Os músculos do pé estão envoltos pelas fáscias plantares e dorsais (Pina 1999).

A articulação tibiotársica, ou do tornozelo, é a articulação que permite os movimentos entre a perna e o pé. Esta articulação é constituída, do lado do pé pelo astrágalo e, do lado da perna, pelas extremidades inferiores da tibia e do perónio. O tornozelo encontra-se unido através do ligamento lateral externo e do ligamento lateral interno, como demonstrado nas **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** (Pina 1999).



**Figura 2.9.** Articulaco tibiotársica (A) vista pela face externa (B) vista pela face interna (Pina 1999).

O trocânter maior é uma saliência localizada na porão superior do fmur onde se inserem músculos essenciais para o funcionamento da articulaco da anca, **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** (CUF 2021b).



**Figura 2.10.** Fmur visto pela face anterior (Pina 1999).

### 2.3. Lesões na ginástica

As lesões no pé e no tornozelo são muito comuns em atletas de diferentes modalidades. As lesões do tornozelo correspondem a cerca de 25% de todas as lesões desportivas (CUF 2021a).

A postura é mantida através de mecanismos dos sistemas sensorial e motor, gerando uma ação necessária à manutenção do padrão postural (Freitas 2008). O centro de gravidade está ligado diretamente ao equilíbrio e é definido pelo ponto no corpo onde o somatório das forças gravitacionais distribuídas é igual a zero (Rodowanski 2011). A ginástica é um desporto caracterizado por longas horas de treino e repetição. A maior parte das lesões ocorrem nos treinos e não nas competições (71,0% a 96,6% vs. 3,4% a 21%, respetivamente), uma vez que nos treinos os ginastas executam várias repetições dos diversos exercícios (Caine and Harringe 2013).

As lesões ocorridas na ginástica acrobática dizem respeito predominantemente aos membros inferiores (35,9% a 70,2% relativamente a todas as lesões) (Caine and Harringe 2013) e ocorrem principalmente nos ligamentos (Graption *et al.* 2013). Estas lesões podem ser provocadas pelo uso excessivo do pé (lesões crónicas) ou por acontecimentos repentinos resultantes dum acontecimento traumático (lesões agudas). Na ginástica é necessário um elevado número de horas de treino para um desempenho de alto nível e são executados vários exercícios de alto risco, pelo que é expectável que ocorram tanto lesões crónicas, como lesões agudas. As lesões agudas geralmente resultam de quedas ou de saídas de figuras incompletas (Graption *et al.* 2013) e podem depender do tipo da superfície de aterragem, sendo as mais comuns as entorses do tornozelo (15,9% a 43,6% das lesões) e as fraturas (Caine and Harringe 2013). As lesões crónicas mais comuns são a tendinite de Aquiles e a fascite plantar (Sobhani *et al.* 2013).

As entorses do tornozelo são frequentes em traumatologia desportiva e correspondem a lesões ligamentares (complexos ligamentares laterais externo e interno). Uma queda de grande altura sobre os pés, provoca compressão sobre os calcâneos podendo resultar em fraturas de um ou ambos os calcâneos. A tendinite de Aquiles corresponde a uma inflamação do tendão de Aquiles e resulta do uso excessivo ou microtraumas deste tendão.

Finalmente, a fascite plantar está relacionada com roturas parcelares da fásia plantar, desencadeando uma reação inflamatória (Proença 2006).

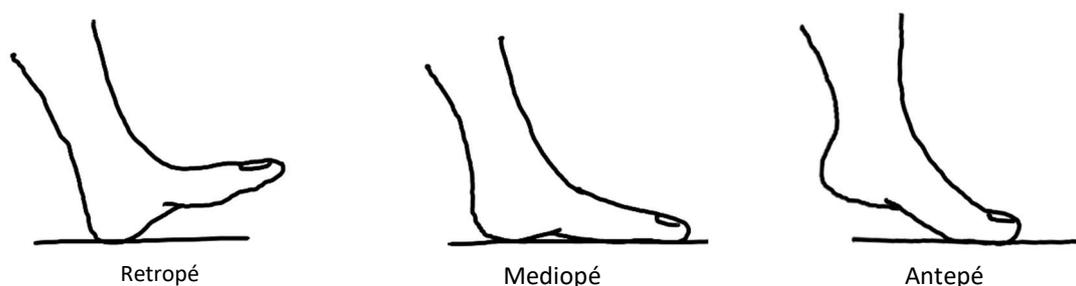
O pé pode ser colocado no solo sobre o antepé, mediopé ou retropé,

Retropé

Mediopé

Antepé

. A queda sobre o retropé ocorre quando o pé toca no solo primeiro com o calcanhar. Com o mediopé existe um toque simultâneo entre a parte da frente e a parte de trás do pé. Finalmente, a queda sobre o antepé, ocorre quando a parte da frente é a primeira a tocar o solo.



**Figura 2.11.** Padrão da pisada.

A receção deve ser realizada sobre o antepé, para que seja absorvida a energia cinética gradualmente até à flexão máxima das articulações dos joelhos. Por sua vez, quando a receção é realizada sobre o mediopé, a absorção da energia cinética ocorre maioritariamente nos pés, podendo causar o desequilíbrio do volante, para além de aumentar significativamente a tensão a que as estruturas ósseas do pé estão sujeitas (Gama 2017). Neste último caso, o volante praticamente não absorve energia com a flexão dos joelhos, aumentando a probabilidade de sofrer lesões.

Assim, numa receção deve-se privilegiar primeiro a colocação do antepé no solo, sendo esta a forma de execução correta de uma receção que é essencial para a prevenção de lesões (Gama 2017). Por isso, é de elevada importância o estudo dos esforços envolvidos nas receções, por forma a compreender melhor e prevenir as lesões que daí podem advir.

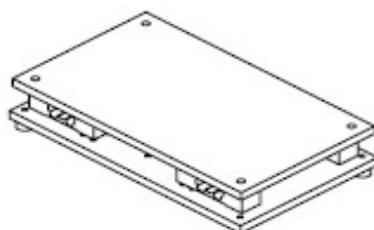
## 2.4. Plataforma de forças

A plataforma de força é uma das ferramentas mais comuns na análise do movimento humano (Hull, Brewer, and Hawkins 1995). São utilizadas quer para o uso desportivo (Buckthorpe, Morris, and Folland 2011), quer para a análise dos comportamentos de pacientes que sofrem alguma patologia (Lavarda 2016). As plataformas de forças são úteis para examinar as características cinemáticas e cinéticas do movimento de um atleta. Estes equipamentos permitem a medição da força de ação/reação exercida sobre a plataforma (Król and Mynarski 2010), o que pode ajudar um treinador desportivo a avaliar quantitativamente a execução de um exercício de um atleta (Beckham, Suchomel, and Mizuguchi 2014). Estes equipamentos, no mercado, custam aproximadamente 10 000€ (Urquiza 2005).

A placa superior da plataforma deve ter a máxima rigidez possível aliada à mínima massa. A alta rigidez requerida tem como objetivo diminuir a flexão das superfícies durante a utilização da plataforma, garantindo uma transmissão praticamente total do esforço recebido na superfície para os sensores de força (Urquiza 2005). As plataformas de forças podem ser piezoelétricas ou extensiométricas.

As plataformas piezoelétricas consistem num par de placas planas rígidas, uma sobre a outra, com cristais piezoelétricos entre elas. Estes cristais quando submetidos a esforços de compressão, ou de tração, são capazes de gerar uma tensão elétrica (Urquiza 2005). Os materiais piezoelétricos geram uma intensidade de tensão linear ao esforço empregado na plataforma.

As plataformas de forças extensiométricas têm, entre as placas, sensores de força (células de carga) à base de extensómetros, que fornecem sinais elétricos relativos às forças aplicadas (Naves 2001), Figura 2.12.



**Figura 2.12.** Figura ilustrativa uma plataforma de forças (Lider de Balanças 2021).

### 3. PLATAFORMA DE FORÇAS INDUSTRIAL

#### 3.1. Amostra da PFI

Participaram no estudo 10 atletas praticantes de GA da AAC com participação em competições de nível nacional. Tinham idades compreendidas entre os 12 e 18 anos ( $14,70 \pm 2,41$  anos) e massa corporal entre 31,00 e 61,20 kg ( $42,24 \pm 9,43$  kg). Os ginastas foram avaliados em contexto de treino e foi recolhido um consentimento informado dos ginastas, ou dos seus representantes legais, no caso dos ginastas menores de idade, para a recolha de dados.

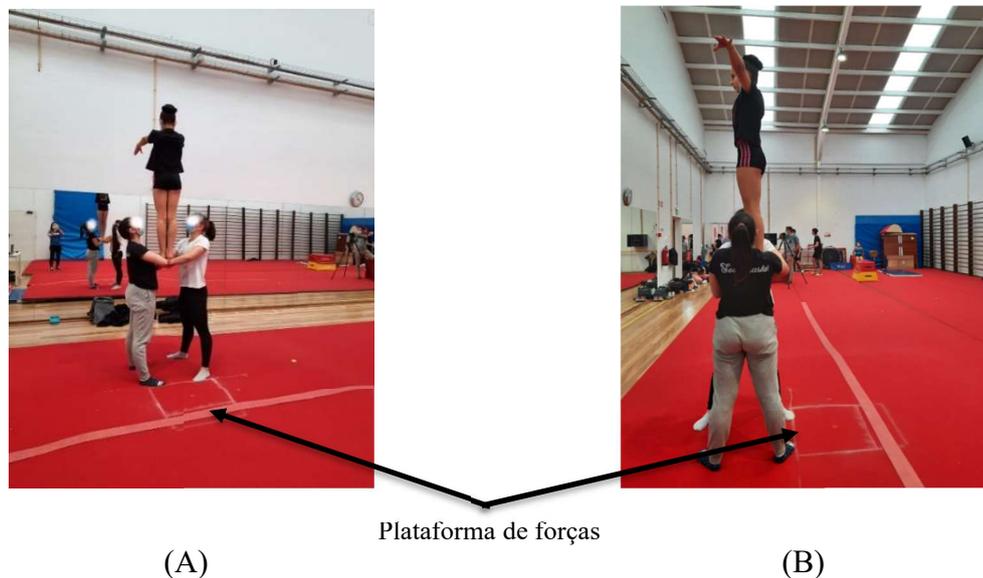
De forma a preservar a identidade dos ginastas, nos ensaios os volantes foram registados como  $V_1, V_2, \dots, V_{10}$ . Os diferentes saltos foram identificados como  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . Assim sendo, o primeiro salto do primeiro volante foi identificado como  $V_1S_1$ , e assim sucessivamente. Os dados antropométricos dos atletas estão apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Dados antropométricos dos atletas.

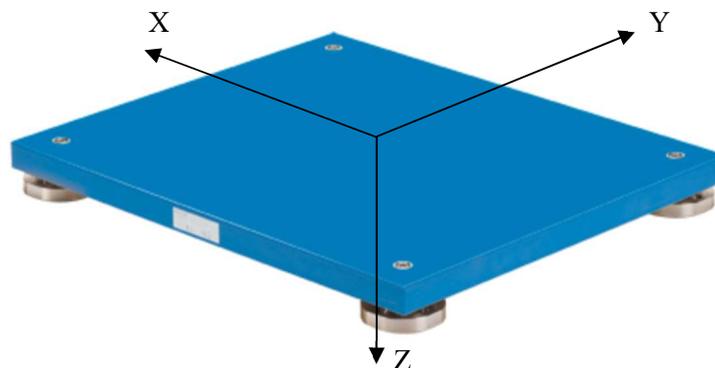
Ginasta	Sexo	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (m)
Volante 1 ( $V_1$ )	F	12	31,0	1,40
Volante 2 ( $V_2$ )	F	13	41,8	1,46
Volante 3 ( $V_3$ )	F	12	32,8	1,42
Volante 4 ( $V_4$ )	M	12	35,1	1,47
Volante 5 ( $V_5$ )	M	18	61,2	1,73
Volante 6 ( $V_6$ )	F	14	38,4	1,50
Volante 7 ( $V_7$ )	F	14	40,2	1,49
Volante 8 ( $V_8$ )	F	17	43,2	1,53
Volante 9 ( $V_9$ )	F	17	41,0	1,48
Volante 10 ( $V_{10}$ )	F	18	57,8	1,58

### 3.2. Procedimentos e material para a PFI

Cada volante realizou entre 6 a 8 saltos verticais de forma a garantir a repetibilidade dos ensaios (Figura 3.1). Considerando o objetivo do presente estudo, e para a análise das forças de reação no solo, foi utilizada uma plataforma de forças piezoelétrica da Kistler® 60 x 40 (cm<sup>2</sup>) (modelo 2812A), com capacidade de 8 000 N. Esta plataforma foi cedida pelo Centro de Investigação em Desporto e Atividade Física (CIDAF) e mede forças em 3 direções, X, Y e Z (Figura 3.2). A recolha dos dados foi feita com recurso ao *software* BioWare® versão 4.0.



**Figura 3.1.** Posição dos ginastas relativos à plataforma: vista frontal (A) e vista lateral (B).



**Figura 3.2.** Sistemas de coordenadas da plataforma de forças industrial (Kistler 2021).

A plataforma foi rodeada por colchões de queda (Figura 3.3) e coberta por um rolo de praticável. Os saltos foram contabilizados sempre que a sua receção coincidia com a zona correspondente à plataforma de forças (Figura 3.4).



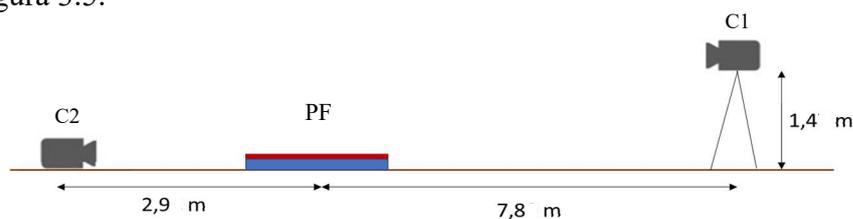
**Figura 3.3.** Montagem da zona de receção da PFI.



**Figura 3.4.** Zona delimitada da PFI.

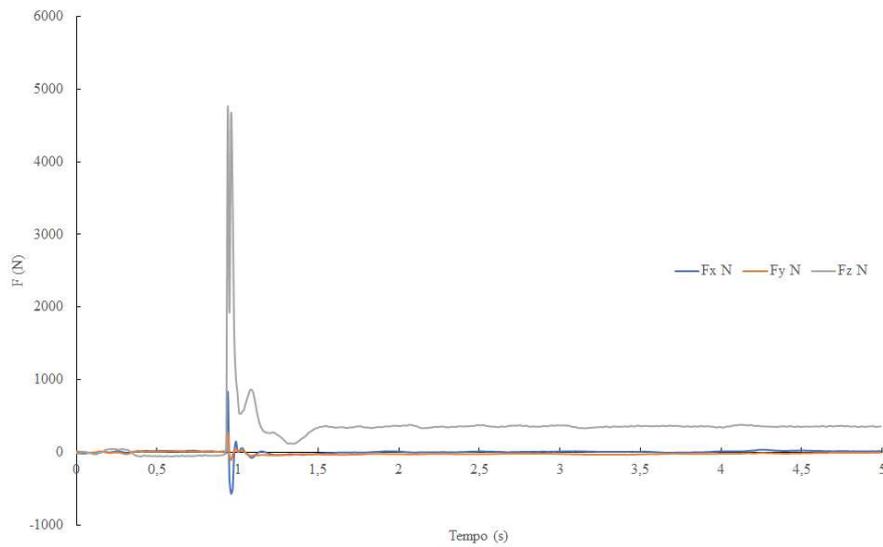
Os saltos e respetivas receções foram filmadas utilizando duas câmaras de vídeo, uma Sony® (câmara C1) e uma Canon® (câmara C2),

**Figura 3.5.**



**Figura 3.5.** Esquema da montagem do ensaio.

A plataforma de forças foi calibrada e programada para uma recolha de 5 s. Foi utilizada uma frequência de 100 Hz para as câmaras e para a plataforma. Após cada salto, obteve-se o gráfico das forças em função do tempo, Figura 3.6, centrando-se a análise na componente vertical das forças – Fz.



**Figura 3.6.** Exemplo de resultados retirados pela plataforma PFI (Ensaio V<sub>2</sub>S<sub>3</sub>).

A plataforma e as câmaras foram sincronizadas de forma a ser possível comparar as imagens da receção (C2) com os gráficos retirados pela plataforma. Desta forma, é possível identificar aproximadamente em que zona do gráfico correspondia à receção do volante. Concluiu-se que a receção se inicia desde o momento em que a força  $F_z$  é nula e começa a crescer, até existir um decréscimo da força antes de estabilizar num valor constante (correspondente ao peso do atleta). No exemplo da Figura 3.6 a receção ocorreu entre os 0,93 e os 1,01 segundos.

O objetivo da câmara C1 é obter a altura máxima do salto, Figura 3.7.



**Figura 3.7.** Imagem da Câmara C1.

A câmara C2 está colocada num plano mais próximo da zona de receção, sendo possível obter imagens da flexão máxima dos joelhos do volante e caracterizar as receções em dois grupos: 1) atletas que realizam receção sobre o antepé e 2) atletas que realizam receção sobre o mediopé, Figura 3.8.



Figura 3.8. Imagem da Câmara C2.

### 3.3. Variáveis em estudo

Uma vez que o estudo se centra na análise da força  $F_z$ , desprezou-se as componentes  $F_x$  e  $F_y$  dos dados obtidos. Os gráficos da força em função do tempo dos ensaios com a PFI estão apresentados no Apêndice A - Ensaio na plataforma de forças industrial – Gráficos  $F_z$  em função do tempo.

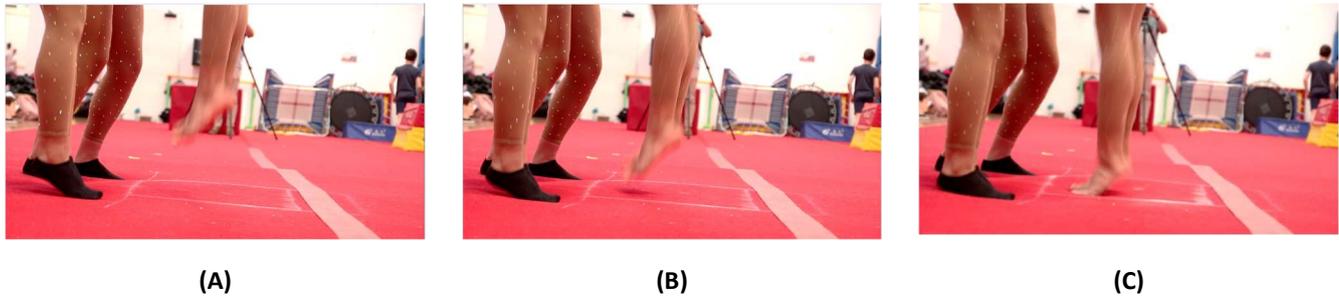
Para cada ensaio foi analisada a influência da força máxima, isto é, força de pico vertical, sobre as seguintes variáveis:

- Forma de receção;
- Altura máxima atingida na fase de voo;
- Duração da receção ao solo;
- Impulso;
- Distância do trocânter maior ao solo, na máxima flexão dos joelhos;
- Peso do volante.

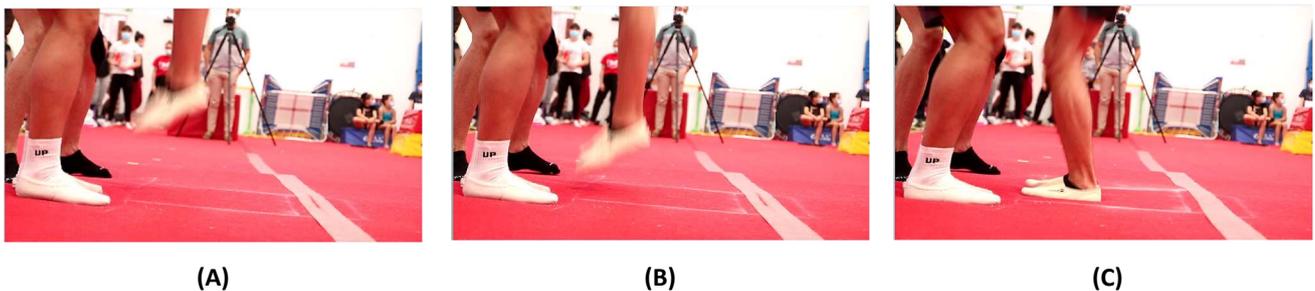
#### – Forma de receção

De forma a analisar a forma de receção dos volantes no solo, utilizaram-se as imagens da câmara C2. Foi estudado o momento exato em que o pé do lado da câmara entra

em contacto com o solo, dividindo-se os saltos em dois grupos: os que iniciam a receção no antepé e os que realizam a receção sobre o mediopé, como se demonstra nas Figura 3.9 e Figura 3.10, respetivamente.



**Figura 3.9.** Exemplo de queda sobre o antepé (Ensaio  $V_2S_1$ ): durante o salto (A); momentos antes da receção (B); primeiro contacto com o solo (C).



**Figura 3.10.** Exemplo de queda sobre o mediopé (Ensaio  $V_5S_3$ ): durante o salto (A); momentos antes da receção (B); primeiro contacto com o solo (C).

Foi possível verificar que a forma de receção ao solo de cada volante se mantém constante ao longo dos diversos saltos realizados, isto é, o mesmo volante tende a cair sempre sobre o mediopé ou sempre sobre a antepé.

#### – **Altura máxima atingida**

Foi utilizado o *software* Tracker<sup>®</sup> para retirar os valores das alturas máximas dos saltos. A calibração foi realizada através da filmagem de um colchão na vertical sobre a PF (Figura 3.11). As medidas do colchão foram registadas no *software*. Posteriormente, para cada ensaio, averiguou-se a posição do calcanhar do volante quando este atingiu a altura máxima. O *software* realizou automaticamente uma relação entre estes dados obtendo-se, assim, o valor da altura máxima de cada salto (Figura 3.12).

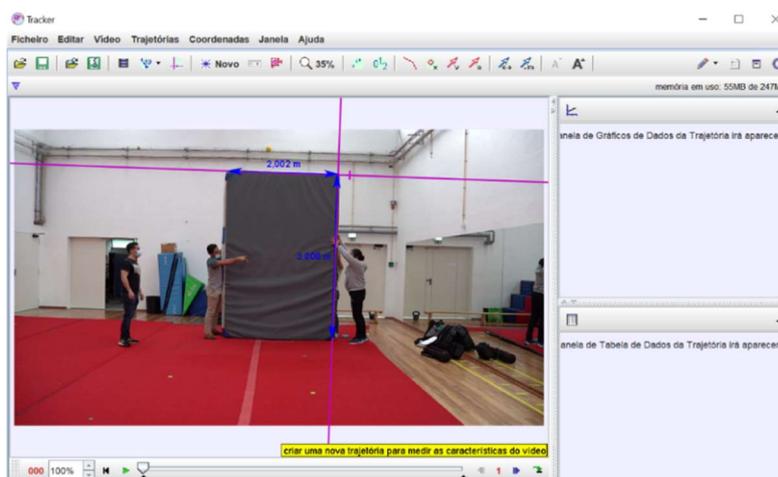


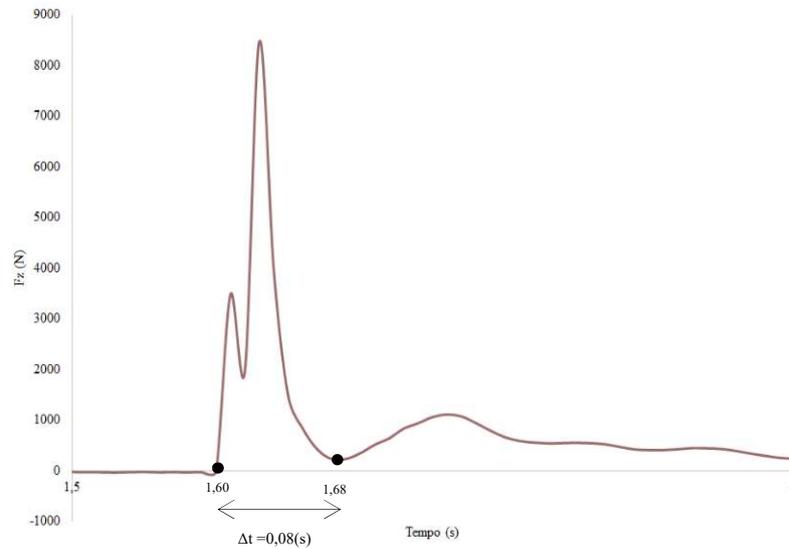
Figura 3.11. Calibração da câmara C1.



Figura 3.12. Exemplo de altura máxima de um salto.

#### – Duração da receção

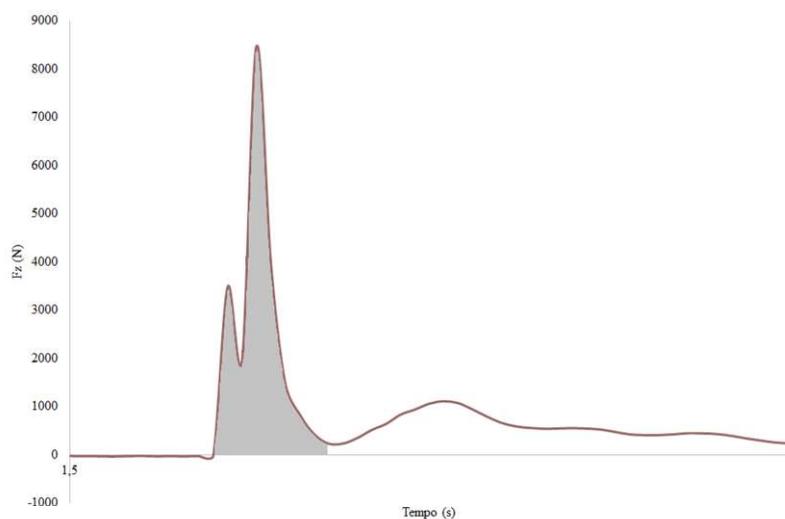
Foram comparadas as imagens da câmara C2 com as do gráfico retirado pelas plataformas. Identificou-se onde ocorria a receção nos gráficos e foram analisadas as suas durações, Figura 3.13.



**Figura 3.13.** Representação do intervalo de tempo correspondente ao pico (Ensaio V<sub>10</sub>S<sub>3</sub>).

### – Impulso

Para o intervalo de tempo determinado anteriormente, foi calculado o integral da função, que corresponde ao impulso exercido na recepção ao solo, Figura 3.14. É importante notar que este impulso é causado pelo volante quando salta da estafa e pelos bases ao realizarem a projeção.



**Figura 3.14.** Área correspondente ao impulso (Ensaio V<sub>10</sub>S<sub>3</sub>).

### – Distância do trocâter maior ao solo na máxima flexão dos joelhos

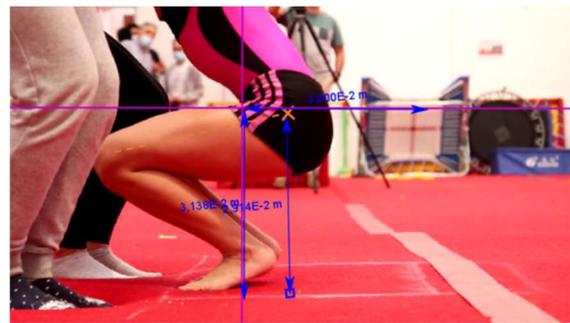
É importante numa receção amortecer parte da energia com as pernas, de forma a reduzir a energia absorvida pelos pés. A flexão das pernas deve, por isso, ser elevada, de forma a prevenir possíveis lesões. Foi então estudada a distância do trocâter maior ao solo, na flexão máxima dos joelhos. Como dito anteriormente, o trocâter maior é uma saliência localizada no fémur. Este osso foi usado como referência por ser o local onde deve estar situado o centro de gravidade do volante, quando este realiza a flexão máxima dos joelhos.

Foram analisadas as imagens da câmara C2 correspondentes ao momento da flexão máxima das pernas, para cada ensaio. À semelhança do cálculo da altura máxima atingida na fase de voo, recorreu-se ao *software* Tracker<sup>®</sup> para calcular o valor da altura do trocâter maior ao solo.

A calibração foi realizada através da filmagem de um objeto com medidas conhecidas (Figura 3.15). Estimou-se a localização do trocâter maior do fémur para cada salto (identificado com uma cruz laranja na Figura 3.16). Posteriormente, foi averiguada esta altura, Figura 3.16. Considerou-se que, quanto maior o valor da distância do trocâter maior ao solo, menor seria a flexão máxima dos joelhos realizada pelo volante na receção.



**Figura 3.15.** Calibração da câmara C2.



**Figura 3.16.** Exemplo de flexão máxima de um salto.

### – Peso

Realizou-se a pesagem de todos os atletas, para posteriormente relacionar com o pico de força vertical  $F_z$  na receção. Foi ainda calculada a razão entre o pico de força vertical medido e o peso do volante, Eq. (1).

$$\text{Rácio} = \frac{\text{Pico de força vertical}}{\text{Peso}} \quad (1)$$

### 3.4. Análise estatística

Realizou-se a correlação e comparação das diversas variáveis através do *Software IBM SPSS® Statistics 25.0* (IBM Cooperation, New York, EUA). Foi analisado o nível de significância das correlações entre as diferentes variáveis, que é definido como o limite que determina se os resultados de uma análise podem ser considerados estatisticamente significativos (Maroco 2007). A significância de uma amostra é geralmente definida como  $p < 0,05$  (Pocinho 2014). Neste estudo foi utilizada a correlação de Pearson ( $\rho$ ) e o Teste-T independente.

A correlação de Pearson pode assumir valores entre 1 e -1 e avalia a correlação linear entre as variáveis. Foi utilizada para relacionar pico de força vertical com a altura máxima do salto, a duração da receção, o impulso, a distância do trocâter maior ao solo e o peso (Coeficiente de Correlação de Pearson 2018).

Foi utilizado o Teste-T para amostras independentes para comparar os dois grupos de ginastas de acordo com a sua forma de receção, os que caem sobre o antepé e os que caem sobre o mediopé, uma vez que se tratava de variáveis nominais. Estes grupos foram correlacionados com o rácio entre o pico da força vertical e o peso (Eq.1), para cada ensaio. A forma de receção correlacionou-se com o rácio, ao contrário das restantes variáveis, pois demonstrou uma significância superior, comparando com o pico de força vertical.

---

## 4. PLATAFORMA DE FORÇAS DESENVOLVIDA

A plataforma de forças industrial tem algumas desvantagens para o uso gímico. Para além das dimensões serem bastante reduzidas, a estrutura é metálica, sendo uma superfície demasiado rígida para a realização da receção deste tipo de saltos. O objetivo da construção da plataforma de forças desenvolvida (PFD) é obter uma plataforma mais indicada para a ginástica acrobática. A nova plataforma tem maiores dimensões, tornando, desta forma, os ensaios mais seguros e uma constituição idêntica ao praticável de treino (com madeira contraplacada). A PFI permite comparar os resultados com a nova plataforma e provar que esta é válida. Para além disso, as plataformas de forças são equipamentos bastante caros, por isso, uma das finalidades é também ter uma opção mais em conta, mas com garantia de resultados.

### 4.1. Amostra da PFD

Foram utilizados apenas dois volantes ( $V_1$  e  $V_3$ ), com o objetivo de comparar os resultados com a PFI. Foram escolhidos estes volantes por terem apresentado valores de força de pico reduzidos e por realizarem uma receção sobre o antepé.

### 4.2. Procedimentos e material para a PFD

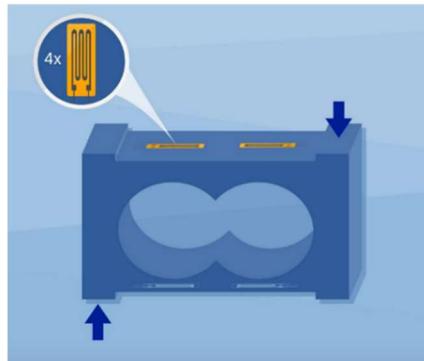
Foi projetada uma plataforma de forças extensiométrica com capacidade de 6 kN e capaz de medir a força segundo o eixo Z.

Os materiais utilizados para a construção da plataforma foram:

- 1 x Placa em madeira contraplacada 80 x 80 x 15 (cm<sup>3</sup>)
- 4 x “Barrotes” em madeira 55 x 5 x 3,5 (cm<sup>3</sup>)
- 4 x Peças metálicas de união das células de carga à placa
- 4 x Junções metálicas para os “barrotes”
- 4 x Células de carga do tipo *single point*
- 64 x Parafusos de cabeça cilíndrica M8 x 35
- 16 x Parafusos auto-roscantes

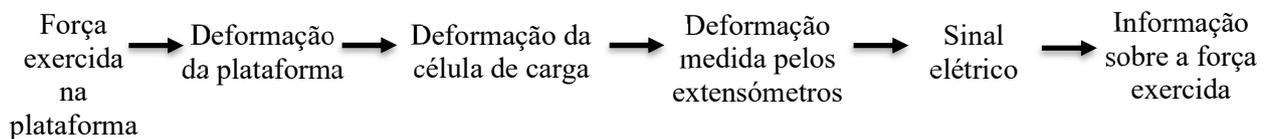
### 4.2.1. Células de carga

As células de carga (CC) são normalmente feitas em aço ou alumínio. Como elementos de medição possui *strain gages* ou extensómetros, que são condutores elétricos (HBK 2020), Figura 4.1.



**Figura 4.1.** Célula de carga *single point* e extensómetros (HBK 2020).

A força exercida sobre a PF cria uma deformação na placa que é transmitida à célula de carga (Vieira 2016). Esta deformação cria uma variação de voltagem, sendo esta interpretada pelos extensómetros, que geram um nível de tensão elétrica correspondente à força, uma vez que as alterações de voltagem são proporcionais à magnitude da força aplicada (Urquiza 2005). O esquema apresentado na Figura 4.2 descreve o funcionamento de uma célula de carga numa plataforma de forças.



**Figura 4.2.** Esquema representativo do funcionamento de uma plataforma de forças.

As células de carga mais utilizadas são: ‘*Single point*’; do tipo ‘*Beam*’ (viga); para forças de compressão e para forças de tração. Neste estudo foram utilizadas quatro CC *single point*, sendo as mais indicadas para plataformas carregadas com um peso na parte superior (HBK 2020).

As células escolhidas estão apresentadas na Figura 4.3., adquiridas na PTRobotics®, com capacidade máxima para 150 kg e fabricadas em liga de alumínio. Possuem uma sensibilidade de  $1,0 (\pm 0,1)$  mV/V. A PF tem, por isso, uma capacidade total de aproximadamente 600 kg.

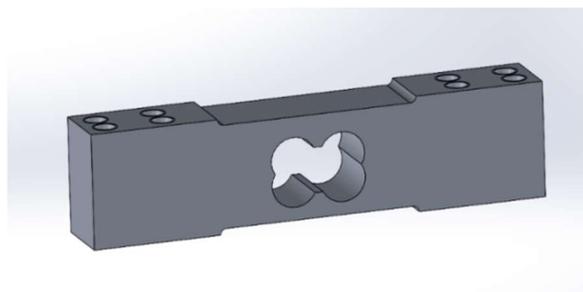


**Figura 4.3.** Célula de carga do tipo *single point* utilizada no estudo (PTRobotics 2021).

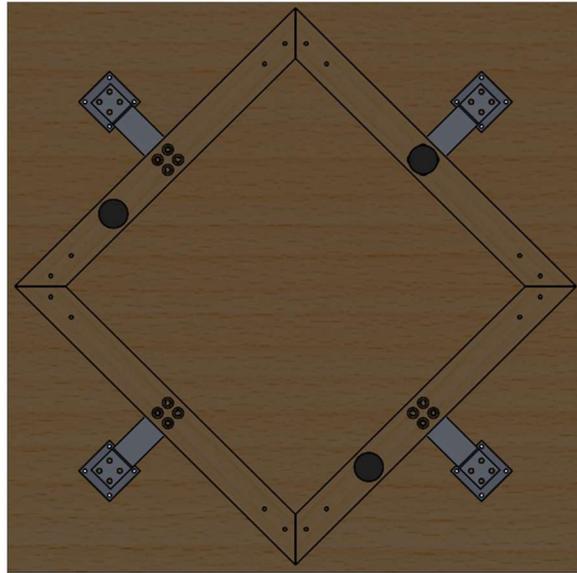
#### 4.2.2. Construção da Plataforma

Desenvolveu-se uma plataforma retangular com  $0,8 \times 0,8$  (m<sup>2</sup>) com uma espessura de 15 cm. Foi utilizada madeira contraplacada para a placa superior da plataforma, uma vez que o praticável é constituído também por placas deste material.

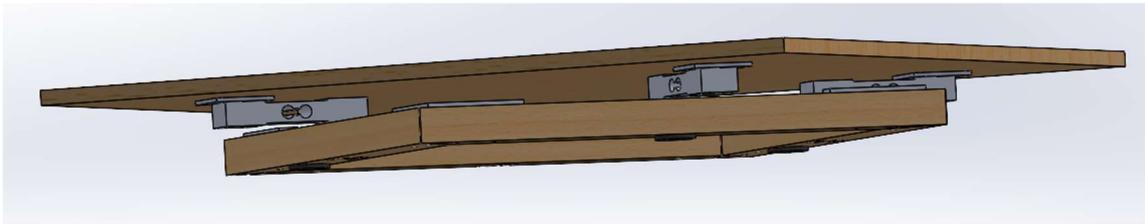
Realizou-se o projeto do modelo da plataforma no Solidworks®, permitindo a sua otimização dimensional. No Apêndice B – Esboços 2D das células de carga e da plataforma de forças desenvolvida, estão apresentadas todas as dimensões da plataforma, assim como as células de carga utilizadas. As Figura 4.4., Figura 4.5 e Figura 4.6 representam a PFD.



**Figura 4.4.** Desenho 3D da célula de carga.

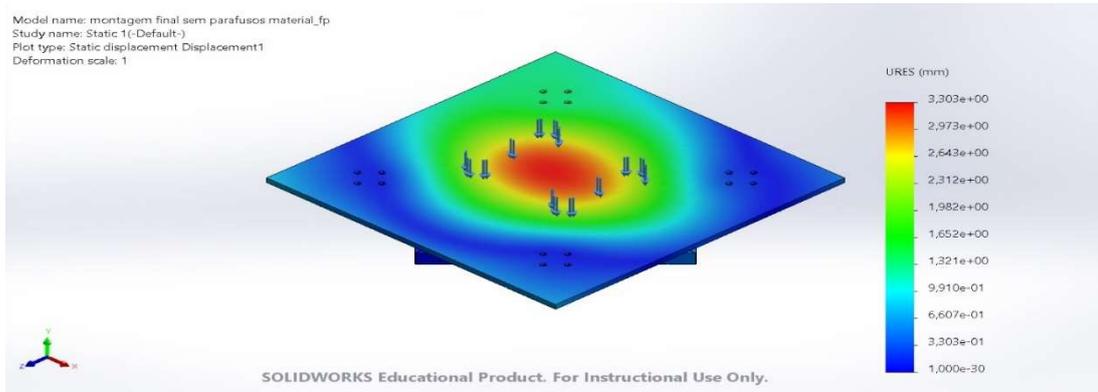


**Figura 4.5.** Vista inferior do modelo da PFD.



**Figura 4.6.** Vista lateral do modelo da PFD.

Foi realizada uma simulação no *software* Solidworks<sup>®</sup>, de forma a prever o deslocamento resultante máximo existente na plataforma, Figura 4.7. No modelo numérico, usaram-se 3 superfícies inferiores (pés), para colocar o encastramento da plataforma com o solo. Na parte superior aplicou-se, em duas superfícies representativas do pé do atleta, uma força a simular a que seria exercida. Foram utilizados 42 990 elementos tetraédricos e 78 001 nós neste estudo. O deslocamento máximo obtido foi de 3,30 mm (22% relativamente à espessura), este foi um valor considerado aceitável para o material da placa, visto que este permite uma rápida recuperação relativamente ao deslocamento sofrido.



**Figura 4.7.** Simulação do deslocamento resultante da plataforma de forças.

Para a recolha dos dados da PFD foi utilizado o *software* PicoScope 6<sup>®</sup> e um osciloscópio digital, onde se ligou o sistema da plataforma, com as quatro células de carga/osciloscópio numa ponte extensiométrica da marca Vishay Measurements Group SB- 10 Switch and Balance Unit, Model: SB-10, Figura 4.8.



**Figura 4.8.** Ligações entre as células e o osciloscópio digital.

As Figura 4.9 e Figura 4.10 apresentam imagens da montagem experimental da plataforma desenvolvida e todo o sistema associado.



**Figura 4.9.** Plataforma de forças vista inferior.



**Figura 4.10.** Montagem do sistema.

Na Tabela 4.1 estão apresentadas as despesas recorrentes da construção desta plataforma, permitindo uma redução nos custos. No total foram gastos 115,27 €, o que corresponde a aproximadamente a um décimo relativamente às do mercado.

**Tabela 4.1.** Orçamento da plataforma desenvolvida.

<b>Material</b>	<b>Preço</b>
Células de carga	66,16€
Parafusos	13,04€
Placa	24,25€
Barrotes	6,77€
Junções	5,05€
<b>Total</b>	<b>115,27€</b>

### 4.2.3. Calibração

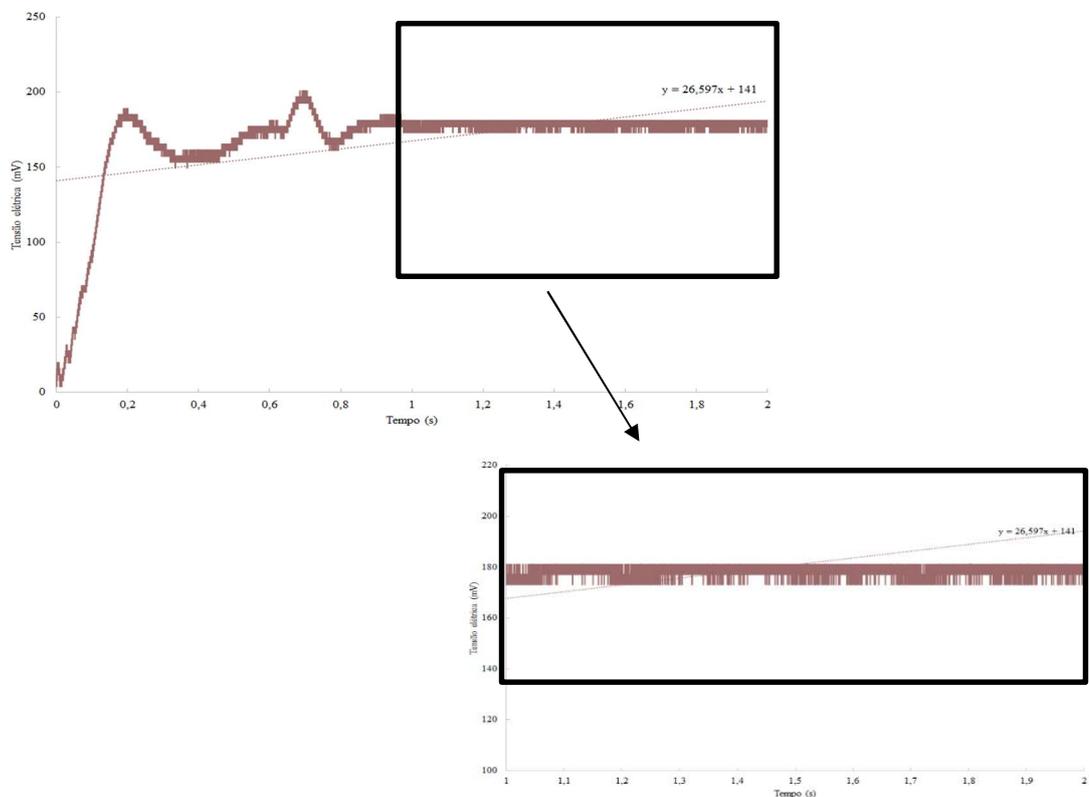
Para a calibração da PFD, inicialmente foram calibradas as células individualmente e posteriormente no conjunto das quatro células na plataforma. Foram utilizados pesos conhecidos para a calibração de todo o sistema.

Inicialmente foram realizados seis testes, onde se utilizaram pessoas e também objetos com pesos conhecidos e, posteriormente, colocados sobre a plataforma. A Tabela 4.2 apresenta os valores dos pesos retirados a partir de uma balança para cada teste.

**Tabela 4.2.** Pesos utilizados para os testes.

Testes	Peso (N)
1	127,5
2	549,4
3	559,2
4	618,0
5	833,9
6	863,3

A Figura 4.11 representa o gráfico obtido pela plataforma para o teste 2. Foi analisado o intervalo de tempo onde o sinal obtido era constante. Calculou-se o valor médio desse sinal, que para o caso do teste 2 correspondia a 177 mV.



**Figura 4.11.** Exemplo dos resultados obtidos para o teste 2 pela PFD.

Com o peso real do objeto (Tabela 4.2) e, comparando com o valor obtido no osciloscópio digital (Figura 4.11), foi relacionado o peso [N] com o sinal elétrico [mV], para esta plataforma, Tabela 4.3. Para o teste 2, observou-se que 549,4 N corresponde a 177 mV. Conclui-se que 1mV, para o teste 2, corresponde a aproximadamente 3,1 N. Realizou-se o mesmo procedimento para todos os ensaios e, posteriormente, calculou-se a média.

Conclui-se que, para a plataforma de forças desenvolvida, **1mV** corresponde a aproximadamente **3,5 N**.

**Tabela 4.3.** Conversão para [N].

Testes	1mv → N
1	3,6
2	3,1
3	3,6
4	3,8
5	3,4
6	3,5
Média	3,5 ( $\pm 0,2$ )

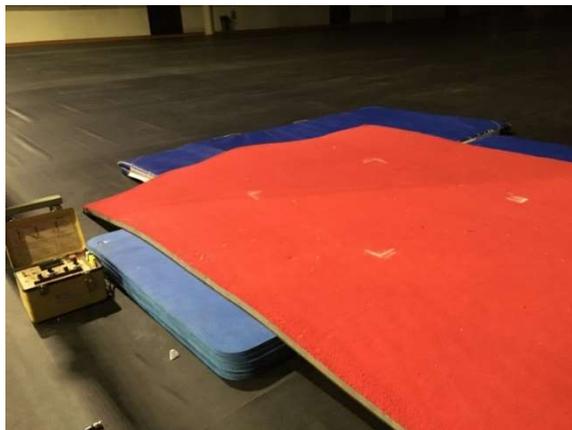
#### 4.2.4. Ensaios

Os ensaios com a PFD foram realizados à semelhança dos ensaios para a PFI. A plataforma, após colocada no chão, foi rodeada por colchões de queda (Figura 4.12) e, posteriormente, coberta pelo praticável de treino (Figura 4.13). Os volantes 1 e 3 realizaram, mais uma vez, saltos verticais para a plataforma a partir de uma estafa, com os mesmos bases usados nos ensaios da PFI.

O objetivo destes ensaios foi analisar a fidedignidade dos resultados da PFD. Posto isto, não foram analisadas as variáveis estudadas com a PFI (Capítulo 3.3), nem utilizadas câmaras de vídeo.



**Figura 4.12.** Montagem da zona de receção para a PFD.



**Figura 4.13.** Zona de receção da PFD.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Plataforma de forças industrial

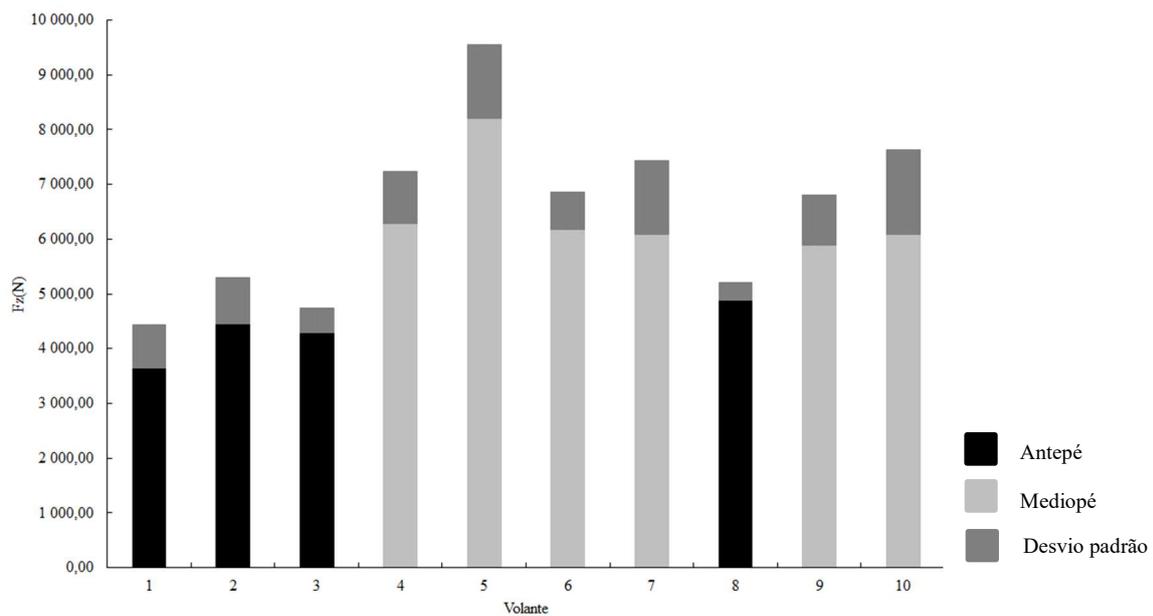
Foram calculados os valores das variáveis mencionadas anteriormente para todos os ensaios. Estes resultados estão apresentados no Apêndice C – Resultados das variáveis em estudo com a PFI para cada ensaio. Na Tabela 5.1 apresentam-se apenas os resultados médios para cada volante.

**Tabela 5.1.** Dados médios com a PFI para cada volante

Volante	Pico força Fz (N)	Altura máx (m)	$\Delta t$ (s)	Impulso (N.s)	Distância Flexão máx (cm)	Massa (kg)	Forma de receção
V <sub>1</sub>	3 647 (±793)	2,06 (±0,04)	0,07 (±0,01)	88,19 (±14,54)	26,35 (±3,98)	31,00	Antepé
V <sub>2</sub>	4 451 (±851)	2,05 (±0,04)	0,09 (±0,01)	143,54 (±31,50)	46,20 (±4,40)	41,84	Antepé
V <sub>3</sub>	4 283 (±4534)	2,46 (±0,07)	0,06 (±0,01)	77,78 (±13,37)	30,12 (±3,96)	32,79	Antepé
V <sub>4</sub>	6 287 (±947)	2,64 (±0,05)	0,05 (±0,02)	99,08 (±20,77)	30,20 (±4,35)	35,10	Mediopé
V <sub>5</sub>	8 213 (±1 335)	2,30 (±0,08)	0,08 (±0,01)	168,23 (±18,15)	31,70 (±7,16)	61,20	Mediopé
V <sub>6</sub>	6 172 (±684)	2,37 (±0,04)	0,07 (±0,01)	120,17 (±26,61)	37,30 (±2,78)	38,40	Mediopé
V <sub>7</sub>	6 084 (±1 347)	2,22 (±0,04)	0,07 (±0,00)	147,17 (±14,86)	38,90 (±4,91)	40,15	Mediopé
V <sub>8</sub>	4 885 (±318)	2,55 (±0,12)	0,09 (±0,00)	143,47 (±17,66)	40,10 (±0,94)	43,20	Antepé
V <sub>9</sub>	5 884 (±920)	2,13 (±0,03)	0,08 (±0,01)	159,21 (±15,17)	32,20 (±1,37)	40,97	Mediopé
V <sub>10</sub>	6 085 (±1553)	2,19 (±0,06)	0,09 (±0,02)	212,55 (±16,92)	39,10 (±3,01)	57,78	Mediopé

No Apêndice D – Estudo estatístico das variáveis em estudo, apresentam-se os resultados do SPSS® e as significâncias associadas.

Na Figura 5.1 é possível analisar a influência que a forma de recepção tem sobre o pico de força vertical médio, na recepção ao solo, para cada um dos ginastas avaliados. Os volantes que caíram sobre o antepé apresentaram menores valores da força de pico, relativamente aos que caíram sobre o mediopé. Ou seja, realizar a recepção de forma correta permite reduzir em 28,45 % as forças exercidas no solo.



**Figura 5.1.** Valores de pico de força  $F_z$  médio em função do tipo de recepção

Foi ainda calculado o rácio (Eq. 1) para as diferentes formas de recepção e valor médio de toda a amostra (Tabela 5.2). Em média, a força exercida por um volante após um salto vertical é de 13,42 ( $\pm 2,33$ ) vezes superior ao seu próprio peso.

**Tabela 5.2.** Média do rácio para cada forma de recepção

Rácio	Forma de recepção	N	Rácio Médio
	Antepé	16	11,57 ( $\pm 2,22$ )
	Mediopé	28	15,00 ( $\pm 3,51$ )
<b>Média</b>			13,42 ( $\pm 2,33$ )

---

A análise comparativa dos dois grupos da forma de receção, mostrou que os volantes do grupo que inicia a receção no antepé exercem forças de pico significativamente inferiores aos volantes do grupo que realiza a receção sobre o mediopé, independentemente do peso corporal do volante (rácio) ( $t(42) = -3,522$ ;  $p < 0,05$ ).

A receção sobre o antepé induz valores de rácio inferiores a 13 vezes o peso corporal. Em relação à receção sobre o mediopé, para todos os ginastas à exceção do V<sub>10</sub>, o rácio foi superior a 13 vezes o peso corporal. Estes valores induzem mais uma vez, que é exercido um pico de força menor quando se realiza a receção sobre o antepé. Tal sugere que a probabilidade de ocorrência de lesões com este tipo de queda será mais reduzida.

Relativamente à altura máxima atingida, o valor médio registado foi 2,25 ( $\pm 0,20$ ) m relativamente ao solo. Não se encontrou correlação estatisticamente significativa entre o pico de força vertical na receção ao solo e a altura máxima atingida na fase de voo ( $\rho = 0,119$ ;  $p=0,442$ ).

A duração da receção é bastante semelhante de ensaio para ensaio. Em média ronda os 0,07 ( $\pm 0,01$ ) s. Esta variável não apresentou correlação estatisticamente significativa com o pico de força vertical ( $\rho = -0,279$ ;  $p=0,066$ ).

Em média os volantes atingiram os 143,50 ( $\pm 38,68$ ) N.s de valor de impulso na receção. Foi possível encontrar uma correlação estatisticamente significativa entre o impulso exercido na receção e o pico de força vertical. Este resultado era expectável, uma vez que o impulso é uma grandeza em função da força vertical  $F_z$  e do tempo ( $\rho = 0,483$ ;  $p < 0,001$ ).

Não se verificou relação entre a distância do trocâter maior ao solo do volante no momento de flexão máxima dos joelhos com o pico de força vertical ( $\rho = 0,063$ ;  $p=0,683$ ).

Verificou-se uma correlação significativa entre o pico de força vertical e o peso corporal do atleta, ( $\rho = 0,466$ ;  $p=0,001$ ), isto é, um volante com maior peso exerce uma força superior na receção ao solo.

O valor mais elevado de pico de força vertical medido na plataforma de forças foi de 8 853 N, com um salto realizado pelo V<sub>5</sub>. Efetivamente, esta força representa 15 vezes o seu peso corporal, um valor muito elevado a que as estruturas músculo-esqueléticas dos membros inferiores estarão sujeitas, o que sugere uma maior probabilidade de propensão à ocorrência de lesões. Este volante, V<sub>5</sub>, para além de ser o mais pesado, realizava a sua receção sobre o médiopé e foi o que apresentou picos de forças verticais mais elevados,

comprovando, mais uma vez, que o peso e a forma de recepção têm influência sobre o pico de força vertical.

Num estudo realizado por Gama (2017), que avalia a recepção a um pé após um salto vertical típico de ginástica rítmica, (*grand jete*), utilizando uma plataforma de forças semelhante, verificou-se que a posição do pé influencia a carga atingida. Resultado semelhante foi verificado no presente estudo em que, quando retirado o efeito do peso no pico de força na recepção (rácio), a magnitude deste valor dependeu da posição do pé no momento de contacto com o solo. Correia (2018), avaliou praticantes de GA e estudou a pressão plantar, após um salto vertical. Demonstrou que as regiões do pé mais solicitadas eram maioritariamente o retropé e mediopé. No estudo de Mills, Paim e Yeadon (2009) também concluíram que é possível para um ginasta modificar a sua estratégia de recepção, a fim de minimizar as forças internas dos músculos e a força de reação ao solo (Mills, Paim, and Yeadon 2009).

## 5.2. Plataforma de forças desenvolvida

Os gráficos obtidos pela PFI estão apresentados no Apêndice E - Ensaio na plataforma de forças desenvolvida – Gráficos Fz em função do tempo. Nas Tabela 5.3 e Tabela 5.4 estão apresentados os valores da força de pico exercidos pelo V<sub>1</sub> e o V<sub>3</sub>, respetivamente.

**Tabela 5.3.** Resultados dos ensaios com a PFD para o V<sub>1</sub>.

Ensaio	Pico de força Fz (N)
V <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3 456
V <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	4 516
V <sub>1</sub> S <sub>3</sub>	4 571
V <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	4 516
V <sub>1</sub> S <sub>5</sub>	3 401
<b>Média</b>	4 516 (± 542)

**Tabela 5.4.** Resultados dos ensaios com a PFD para o V<sub>3</sub>.

Ensaio	Pico de força Fz (N)
V <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	5 631
V <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	4 683
V <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	5 798
V <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	6 188
V <sub>3</sub> S <sub>5</sub>	5 519
<b>Média</b>	5 631 (± 495)

O pico de força vertical médio para o  $V_1$  é 4 516 N e para o  $V_3$  é 5 631 N. Foi ainda calculado o rácio (pico de força vertical médio/peso do volante) para estes dois volantes com a PFD. O rácio correspondente ao  $V_1$  e  $V_3$ , para a PFD, foi de 14,85 e 17,50 respetivamente.

### 5.3. Análise comparativa

Comparando as duas plataformas, Tabela 5.5, é possível verificar que para o  $V_1$  e  $V_3$ , houve um aumento de 10,65 %, e 13,60 % respetivamente, da força exercida na plataforma industrial para a desenvolvida. Esta variação pode-se dever a vários fatores. Primeiramente as plataformas têm constituições diferentes, uma é feita em madeira contraplacada e a outra é metálica, sendo a rigidez das plataformas bastante diferente, há alteração da força exercida sobre a plataforma. Para além disso, a recolha com a PFD é realizada com células de carga e a PFI utilizada cristais piezoelétricos. Finalmente podem existir erros na calibração com a PFD.

**Tabela 5.5.** Pico de força médio para a plataforma industrial e desenvolvida.

Volante	Pico força Fz (N)	
	Plataforma de Forças Industrial	Plataforma de Forças Desenvolvida
$V_1$	3 647 (±793)	4 516 (± 542)
$V_3$	4 283 (±454)	5 631 (± 495)

Analisando o Apêndice A e Apêndice E, é possível notar que, os gráficos destas duas plataformas são relativamente idênticos. O valor do pico de forças obtido pela plataforma desenvolvida possui uma variação relativamente baixa, quando comparado com a PFI, garantindo assim a fiabilidade da PFD. Os ensaios efetuados com a PFD permitiram verificar que o tipo de receção se mantinha igual, ou seja, estes atletas efetuam uma receção com o antepé podendo desta forma diminuir a probabilidade de futuras lesões.



---

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

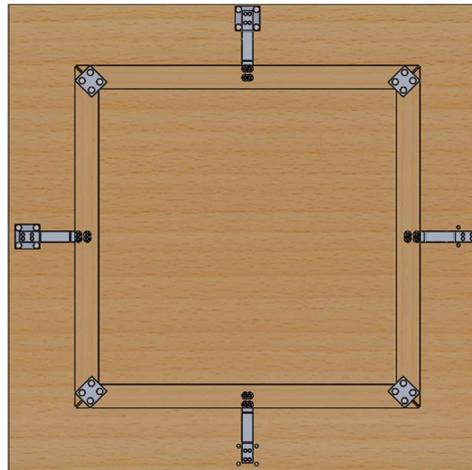
Resumindo, a força exercida no solo na receção do volante depende de diversos fatores, como a forma de receção, o impulso e o peso do volante. Relativamente à forma de receção, esta apresentou valores de força superiores quando a receção era realizada sobre o mediopé, mesmo quando aos valores de pico de força foi retirado o efeito do peso corporal. Assim, as receções sobre o antepé permitiram obter valores de força vertical na receção ao solo inferiores, sugerindo ser mais vantajosa em termos de prevenção de lesões. Para além disso, em termos competitivos, possibilita obter uma pontuação superior. O impulso apresentou resultados diretamente proporcionais ao pico de força vertical. Por último, o peso corporal foi determinante na força exercida no solo durante a receção, uma vez que quanto maior o peso corporal do volante, maior o pico de força vertical observado.

De forma a prevenir lesões relacionadas com a receção ao solo, como entorses do tornozelo, tendinite de Aquiles, fascite plantar e fratura dos calcâneos, será importante sensibilizar os volantes para a realização de uma receção ao solo a iniciar sobre o antepé.

A plataforma de forças desenvolvida demonstrou ser mais adequada para o uso gímnico, comparada com a plataforma de forças industrial. A área superior permitiu aos atletas ter uma zona de queda mais segura, bem como ter mais ensaios válidos. A utilização de madeira contraplacada na construção da plataforma, possibilitou aos atletas terem uma receção, durante os ensaios, mais amortecida e mais confortável.

Considerando os resultados do presente estudo, os ginastas deveriam ser acompanhados periodicamente, de forma a verificar o tipo de receção que realizam. Se esta for identificada como inapropriada, deveria ser realizado um seguimento desses ginastas, no sentido de perceber se as medidas de correção do gesto implementadas estão a surtir efeito.

De forma a melhorar a plataforma desenvolvida, poder-se-iam alterar os “barrotes” da disposição da Figura 4.5 para a da Figura 6.1. Desta forma assegurava-se uma maior estabilidade na receção.



**Figura 6.1.** Vista inferior da plataforma proposta.

Outra possível melhoria era alterar as células de carga para umas com maior capacidade de carga. A plataforma tem uma capacidade de aproximadamente 6 000 N, o que é reduzido para alguns ensaios, principalmente para os volantes que caem sobre o mediopé.

Por fim, poderia ser uma mais valia para a evolução dos ginastas, que se utilizassem as conclusões aqui retiradas em ações de formação para treinadores, e ginastas, de modo a consciencializar os mesmos para a correta realização dos exercícios e, conseqüentemente, para a diminuição de lesões desportivas.

---

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beckham, G., T. Suchomel, and S. Mizuguchi. 2014. New Studies in Athletics “Force Plate Use in Performance Monitoring and Sport Science Testing.”
- Buckthorpe, Matthew, John Morris, and Jonathan P. Folland. 2011. “Validity of Vertical Jump Measurement Devices.” *Journal of Sports Sciences*: 65–67.
- Caine, Dennis J., and Marita L. Harringe. 2013. “Epidemiology of Injury in Gymnastics.” *Gymnastics*: 109–24.
- Coeficiente de Correlação de Pearson. 2018. “Wikipédia.”  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_correlação\\_de\\_Pearson](https://pt.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_correlação_de_Pearson).
- Correia, Cristiano. 2018. “Análise e Comparação Das Receções, Em Exercícios Na Ginástica Acrobática Com Alteração Da Zona de Contacto.” Dissertação de Mestrado - DEM Universidade de Coimbra.
- CUF. 2021a. “Hospitais e Clínicas CUF.” <https://www.cuf.pt/saude-a-z/lesoes-do-pe-e-tornozelo>.
- . 2021b. “Trocanterite.” <https://www.cuf.pt/saude-a-z/trocanterite>.
- Einstein, Albert. 1931. “A Imaginação é Mais Importante Que a Ciência, Porque a Ciência é Limitada, Ao Passo Que a Imaginação Abrange o Mundo Inteiro.”  
<https://www.pensador.com/frase/MjU2OQ/>.
- Fernandes, Joana Filipa Gonçalves. 2016. “O Equilíbrio Na Ginástica Acrobática: O Desempenho de Ginastas Bases e Volantes.” Dissertação de Mestrado – FDUP Universidade do Porto.
- FIG. 2021. “Federation Internationale de Gymnastique.”  
<https://www.gymnastics.sport/site/pages/disciplines/hist-acro.php>.
- Freitas, Ricardo Luiz Barros de. 2008. Aleph “Plataforma de Força Para Aplicações Biomédicas.”
- Gama. 2017. “Impacto Das Forças De Reação Do Solo Na Ginástica Rítmica – Estudo De Saltos.” Dissertação de Mestrado - FCDEF Universidade de Coimbra.
- Graption, Xavier et al. 2013. “Specific Injuries Induced by the Practice of Trampoline, Tumbling and Acrobatic Gymnastics.” *Knee Surgery, Sports Traumatology*,

- Arthroscopy* 21(2): 494–99.
- HBK. 2020. “Então... Como Uma Célula de Carga Realmente Trabalha?”  
<https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>.
- Hull, M. L., R. Brewer, and D. Hawkins. 1995. “A New Force Plate Design Incorporating Octagonal Strain Rings.” *Journal of Applied Biomechanics* 11(3): 311–21.
- Kistler. 2021. “3D Force Plate Portable (0...5kN).”  
<https://www.kistler.com/pt/product/type-9260aa/?application=5>.
- Król, Henryk, and Władysław Mynarski. 2010. “Effect of Increased Load on Vertical Jump Mechanical Characteristics in Acrobats.” *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 12(4): 33–37.
- Lavarda, Marcos Dinís. 2016. “Sistema de Plataformas de Força e Identificação de Movimentos Por Processamento de Imagem Para Aplicação Em Treinamento Do Equilíbrio Baseado Em Biofeedback.” : 91.
- Lider de Balanças. 2021. “Plataforma de Forças.”  
<https://www.liderbalancas.com.br/produtos/celula-de-carga-pla>.
- Maroco, J. 2007. Edição Sílabo *Análise Estatística Com Utilização Do SPSS*.
- Merida, Fernanda, Vilma Lení Nista-Piccolo, and Marcos Merida. 2008. “Redescobrimo a Ginástica Acrobática.” *Movimento (ESEFID/UFRGS)* 14(2): 155–80.
- Mills, Chris, Matthew Paim, and Maurice Yeadon. 2009. “Reducing Ground Reaction Forces in Gymnastics’ Landings May Increase Internal Loading.” *Journal of Biomechanics*: 671–78.
- Naves, Eduardo L M. 2001. *Desenvolvimento de Uma Plataforma de Força Para Análise Da Performance Biomecânica de Atletas*.
- Pina, Esperança. 1999. *Anatomia Humana Da Locomoção*. ed. LIDEL. Lisboa.
- Proença. 2006. *Ortopedia e Traumatologia - Noções Essenciais*. ed. imprensa da universidade de coimbra.
- PTRobotics. 2021. “Load Cell - 150Kg.” <https://www.ptrobotics.com/sensores-de-peso/6239-load-cell-150kg.html>.
- Rodowanski. 2011. “Plataforma de Forças Instrumentada: Uma Ferramenta Aplicada a Estudos de Posturologia.”
- Sobhani, S., R. Dekker, K. Postema, and P. U. Dijkstra. 2013. 23 *Scandinavian Journal of*

Medicine and Science in Sports “Epidemiology of Ankle and Foot Overuse Injuries in Sports: A Systematic Review.”

Spieth Gymnastics. 2021. “Free Exercise Floor ‘Moscow.’” <https://www.spieth-gymnastics.com/product-detail-spieth-en/spieth-free-exercise-floor-moscow/>.

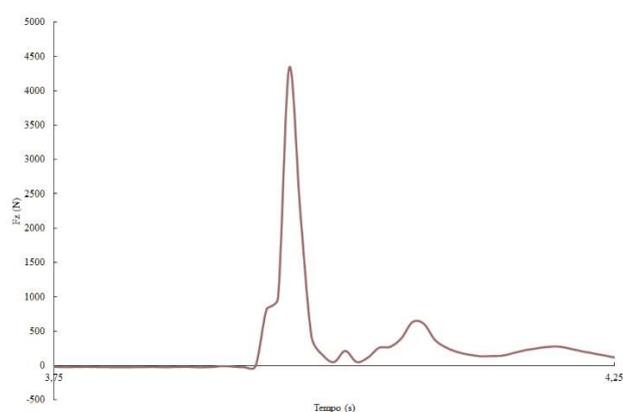
Urquiza, Marcelle Alencar. 2005. “Desenvolvimento de Uma Plataforma de Força Multiaxial Para Instrumentação Biomédica.”

Vieira, Manuel António Rodrigues. 2016. “Sensor Inteligente Para Medição de Cargas Mecânicas.” : 89.

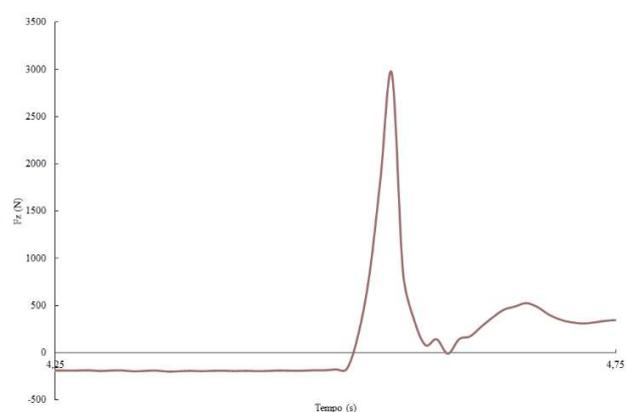


## APÊNDICE A - ENSAIOS NA PLATAFORMA DE FORÇAS INDUSTRIAL – GRÁFICOS FZ EM FUNÇÃO DO TEMPO

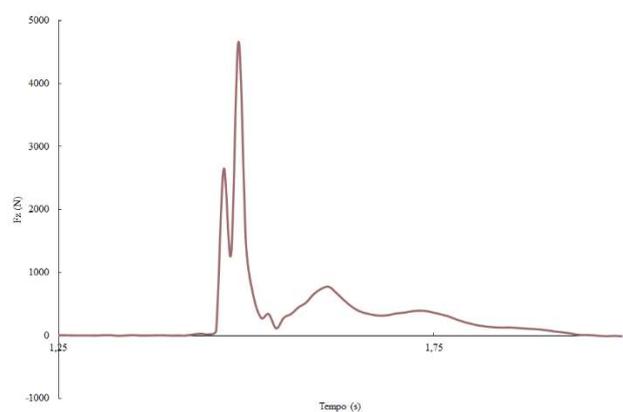
### 1. Volante 1



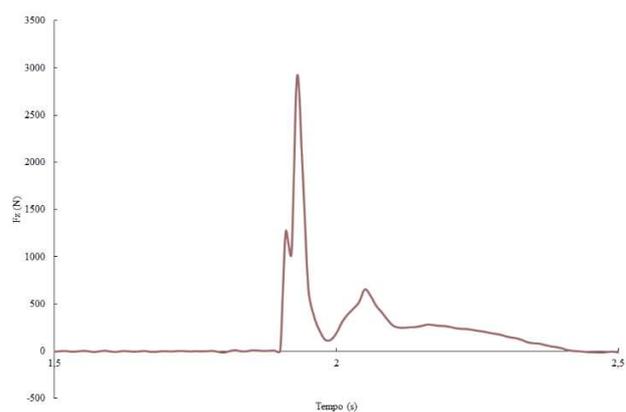
(A)



(B)



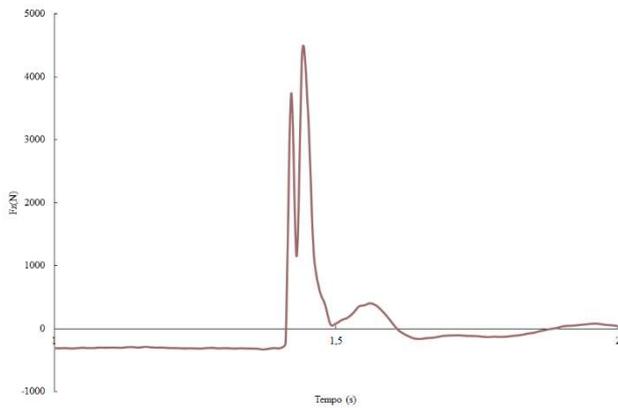
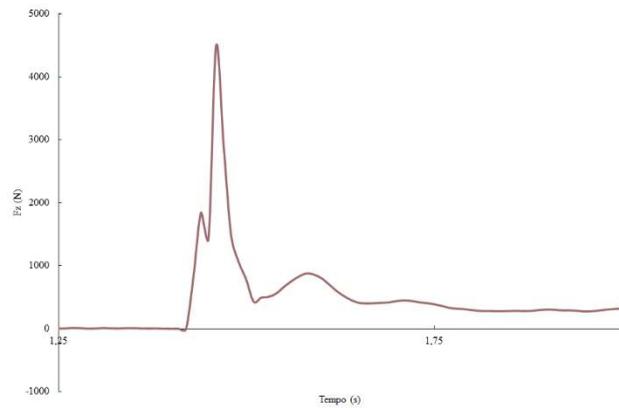
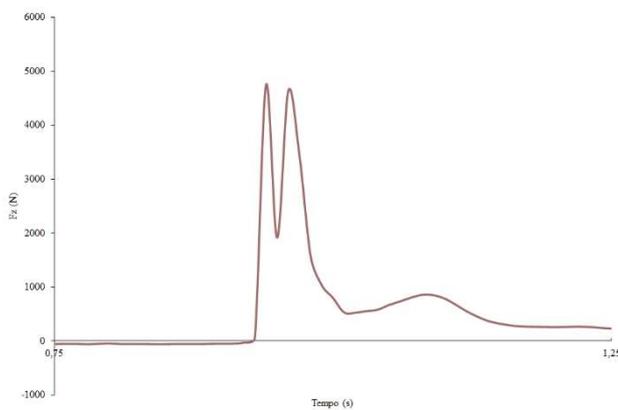
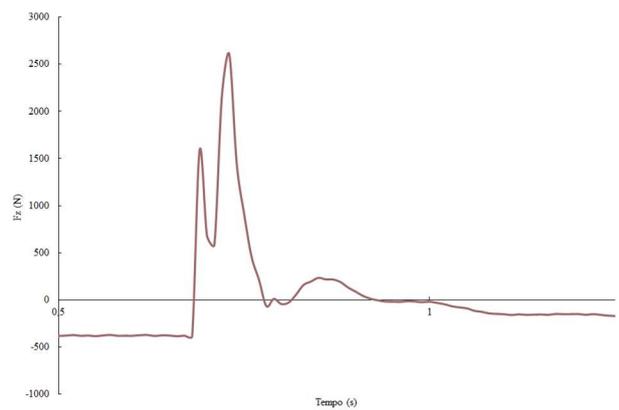
(C)



(D)

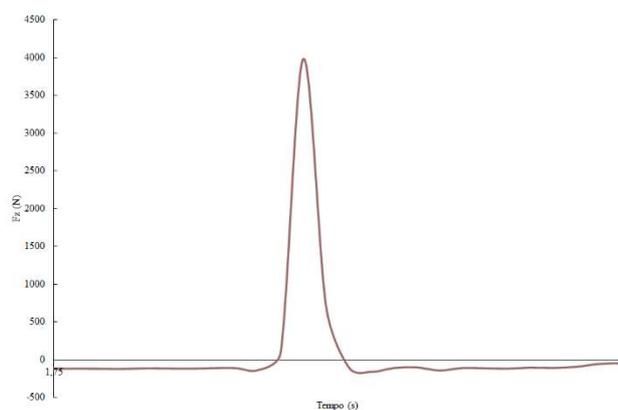
**Figura A. 1.** Ensaio para o  $V_1$  com a PFI: Ensaio  $V_1S_1$ (A); Ensaio  $V_1S_2$ (B); Ensaio  $V_1S_3$ (C); Ensaio  $V_1S_4$ (D).

## 2. Volante 2

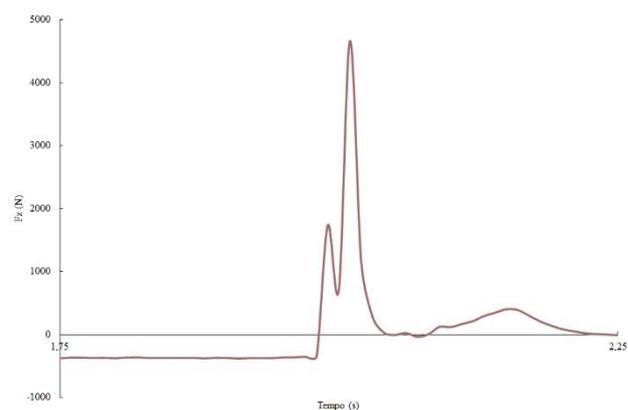
**(A)****(B)****(C)****(D)**

**Figura A. 2.** Ensaio para o  $V_2$  com a PFI: Ensaio  $V_2S_1$ (A); Ensaio  $V_2S_2$ (B); Ensaio  $V_2S_3$ (C); Ensaio  $V_2S_4$ (D).

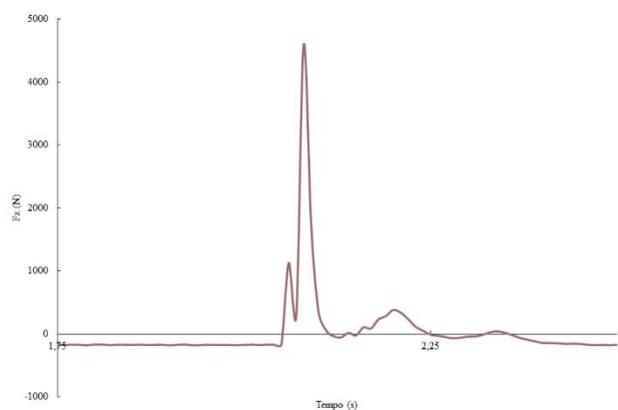
### 3. Volante 3



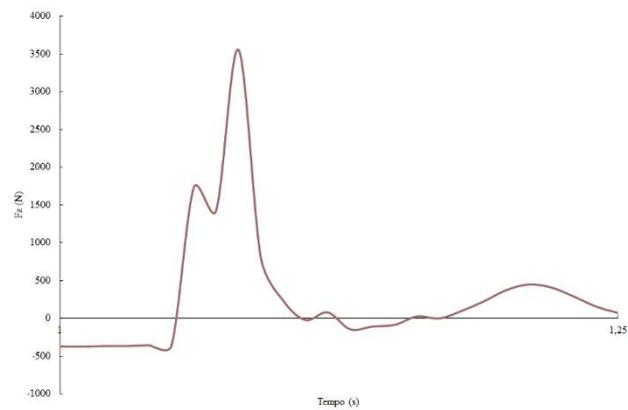
(A)



(B)

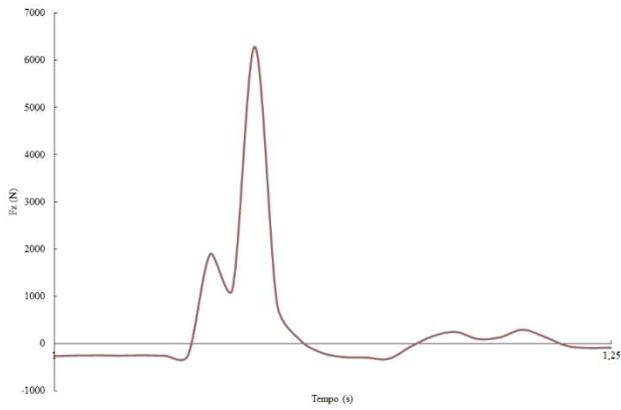
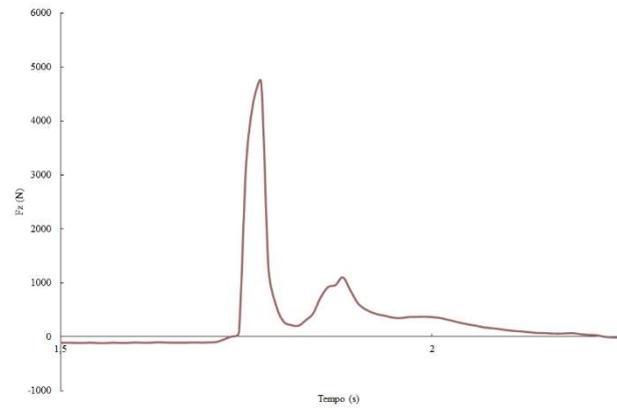
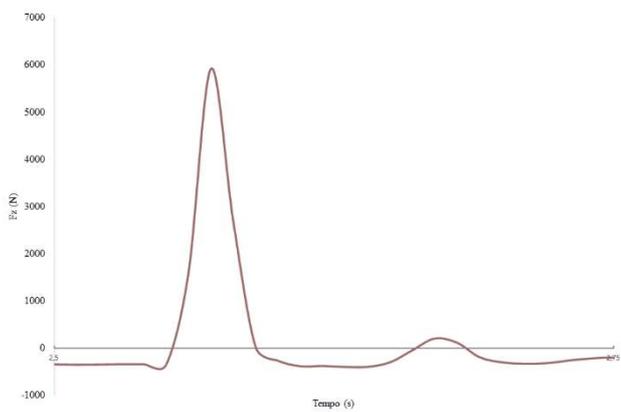
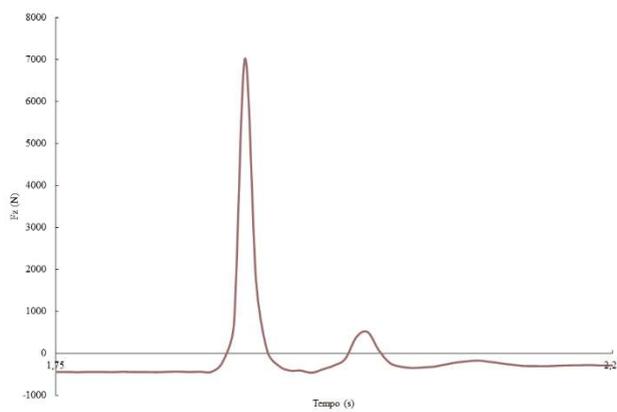
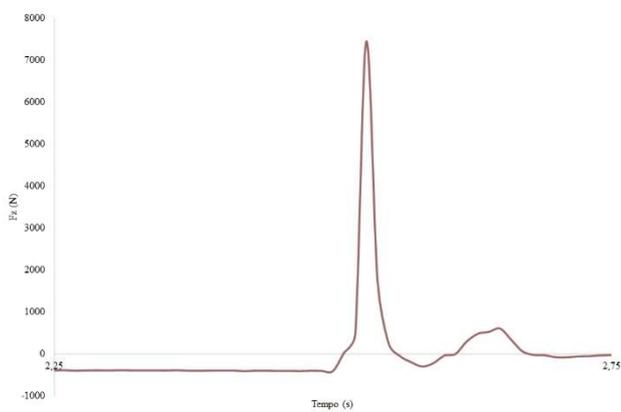


(C)



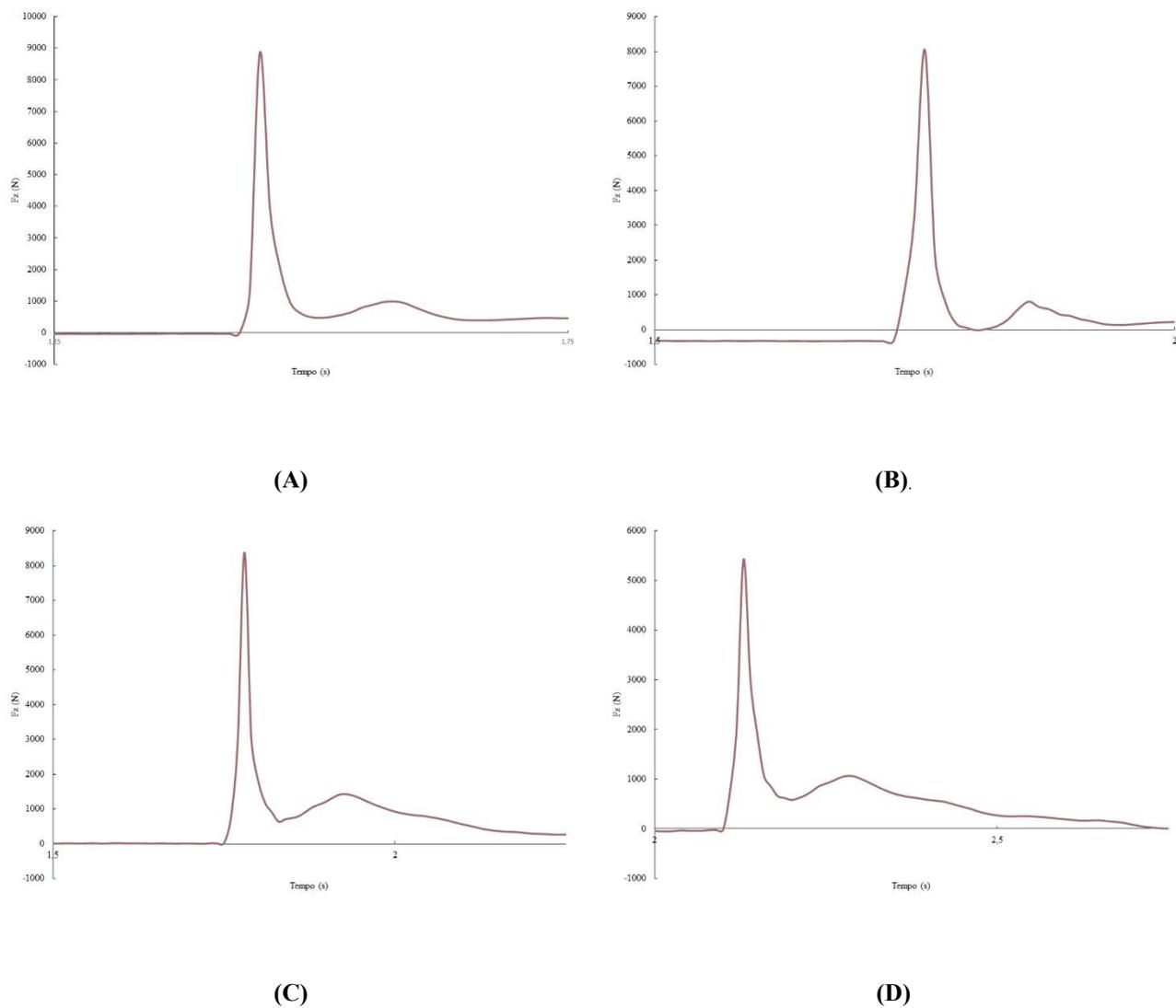
(D)

**Figura A. 3.** Ensaios para o  $V_3$  com a PFI: Ensaio  $V_3S_1$ (A); Ensaio  $V_3S_2$ (B); Ensaio  $V_3S_3$ (C); Ensaio  $V_3S_4$ (D).

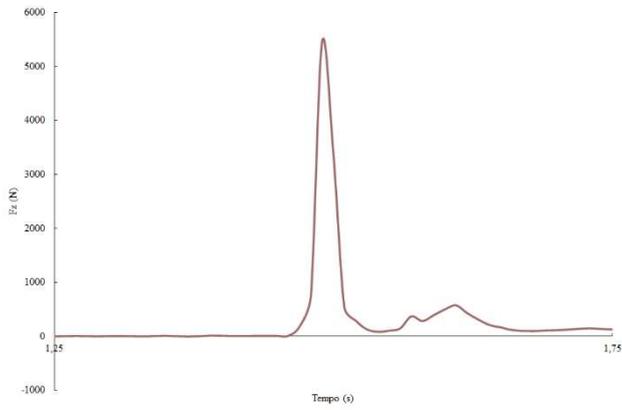
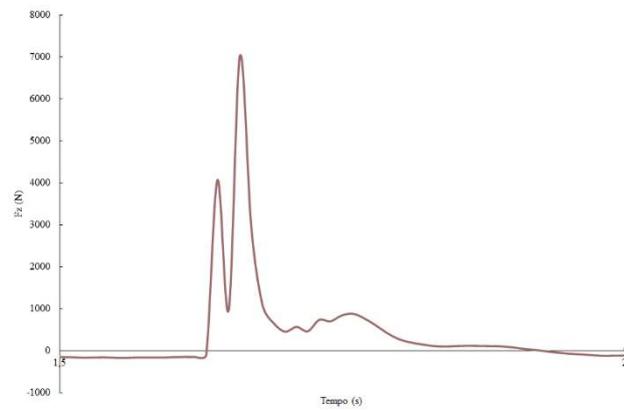
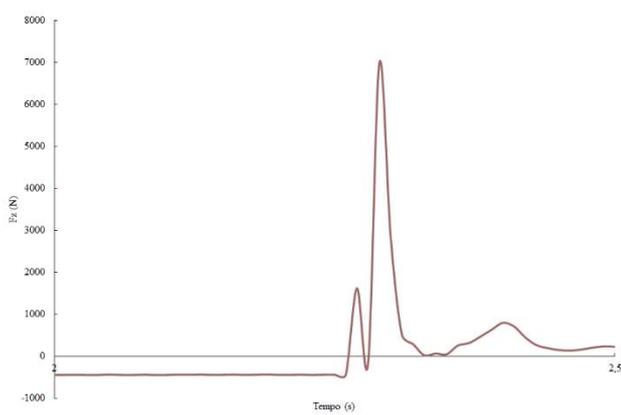
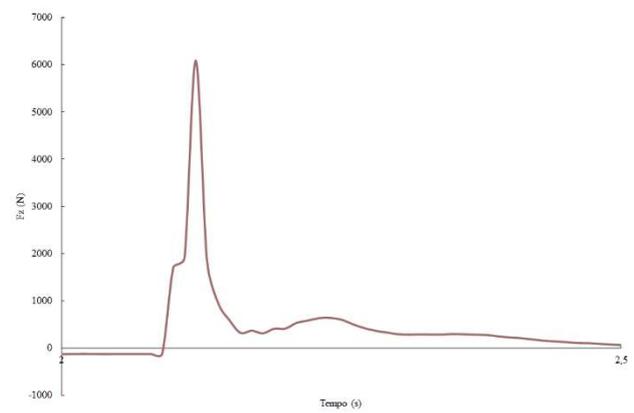
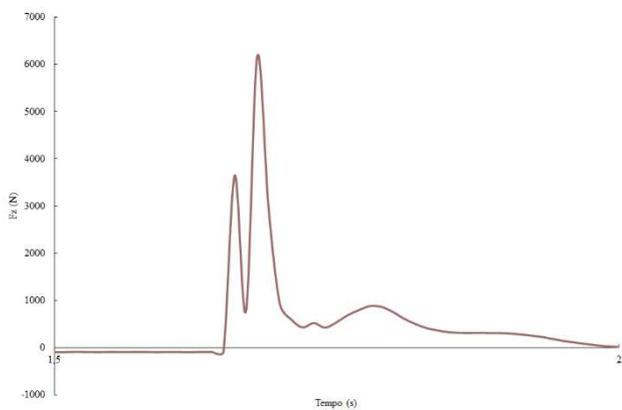
**4. Volante 4****(A)****(B)****(C)****(D)****(E)**

**Figura A. 4.** Ensaios para o  $V_4$  com a PFI: Ensaio  $V_4S_1$ (A); Ensaio  $V_4S_2$ (B); Ensaio  $V_4S_3$ (C); Ensaio  $V_4S_4$ (D); Ensaio  $V_4S_5$ (E).

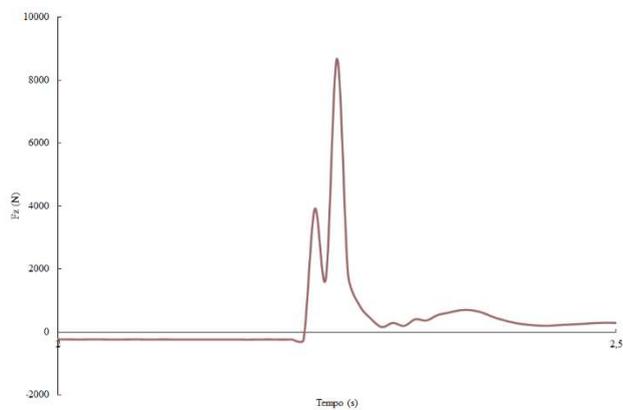
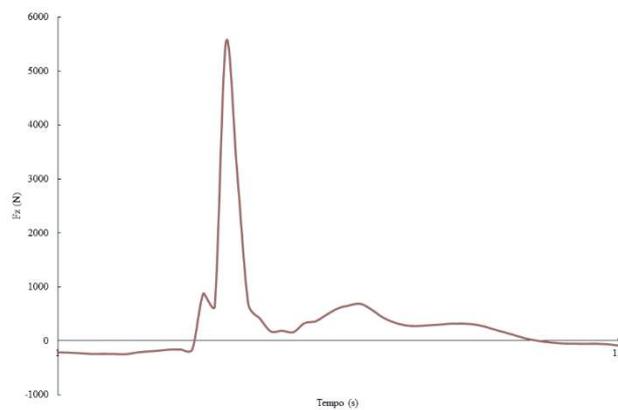
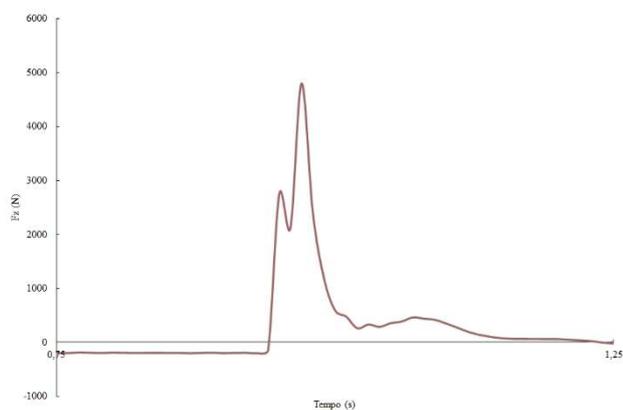
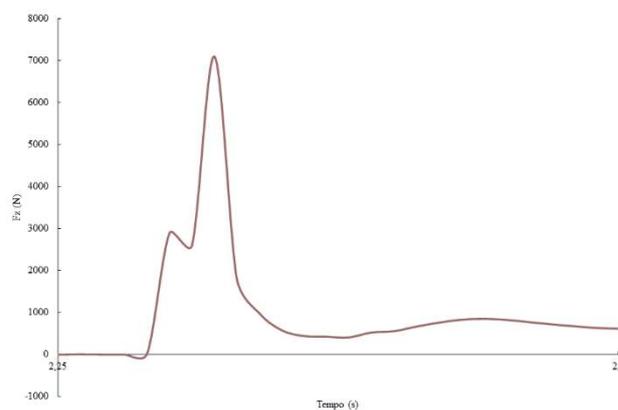
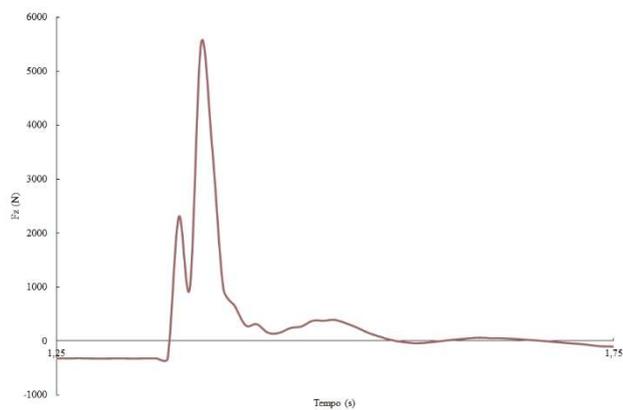
## 5. Volante 5



**Figura A. 5.** Ensaios para o V<sub>5</sub> com a PFI: Ensaio V<sub>5</sub>S<sub>1</sub>(A); Ensaio V<sub>5</sub>S<sub>2</sub>(B); Ensaio V<sub>5</sub>S<sub>3</sub>(C); Ensaio V<sub>5</sub>S<sub>4</sub>(D).

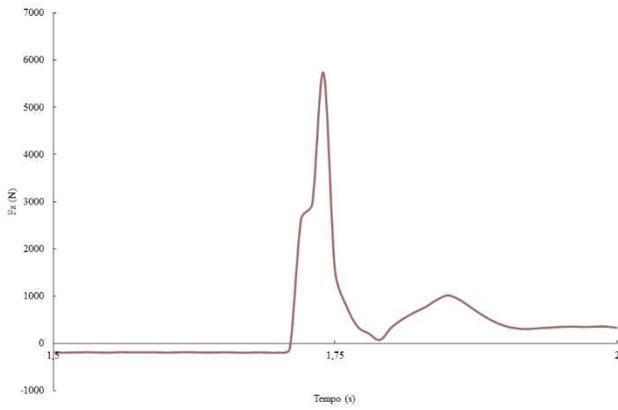
**6. Volante 6****(A)****(B)****(C)****(D)****(E)****Figura A. 6.** Ensaios para o  $V_6$  com a PFI: Ensaio  $V_6S_1$ (A); Ensaio  $V_6S_2$ (B); Ensaio  $V_6S_3$ (C); Ensaio  $V_6S_4$ (D); Ensaio  $V_6S_5$ (E).

## 7. Volante 7

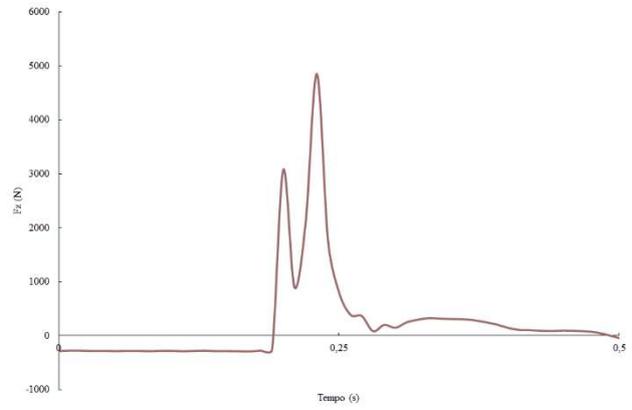
**(A)****(B)****(C)****(D)****(E)**

**Figura A. 7.** Ensaios para o V<sub>7</sub> com a PFI: Ensaio V<sub>7</sub>S<sub>1</sub>(A); Ensaio V<sub>7</sub>S<sub>2</sub>(B); Ensaio V<sub>7</sub>S<sub>3</sub>(C); Ensaio V<sub>7</sub>S<sub>4</sub>(D); Ensaio V<sub>7</sub>S<sub>5</sub>(E).

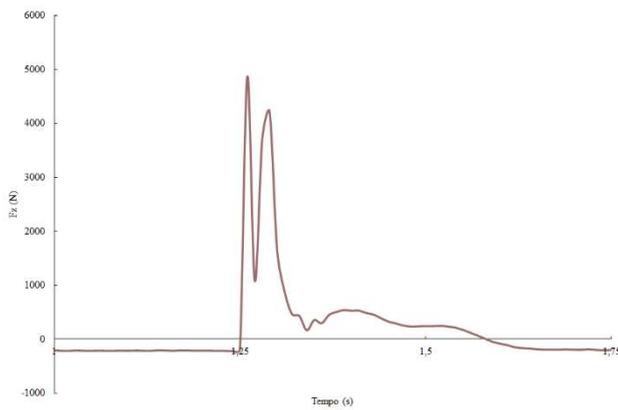
### 8. Volante 8



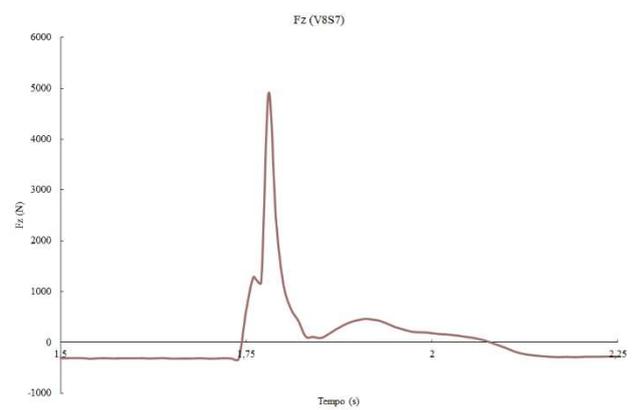
(A)



(B)



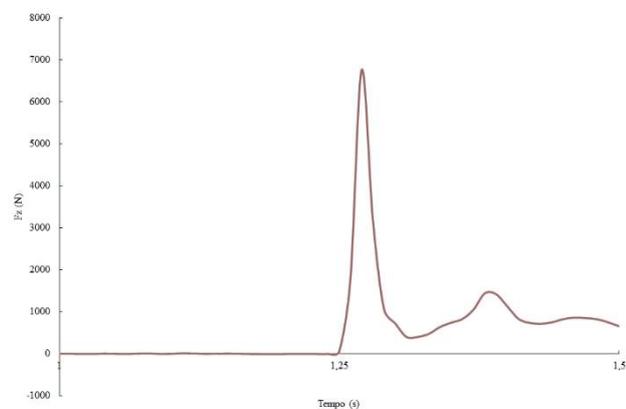
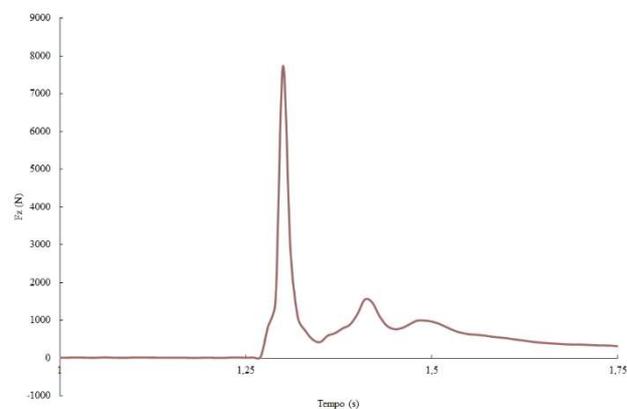
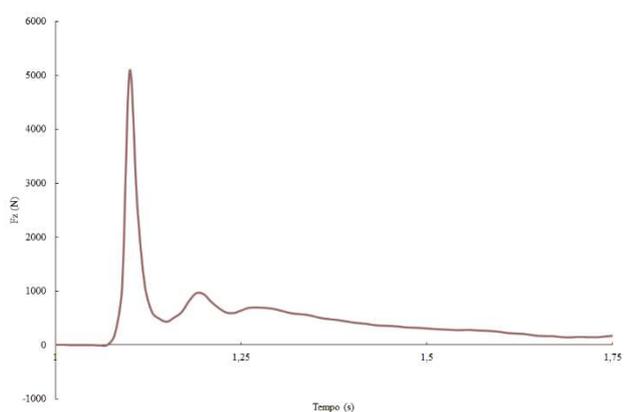
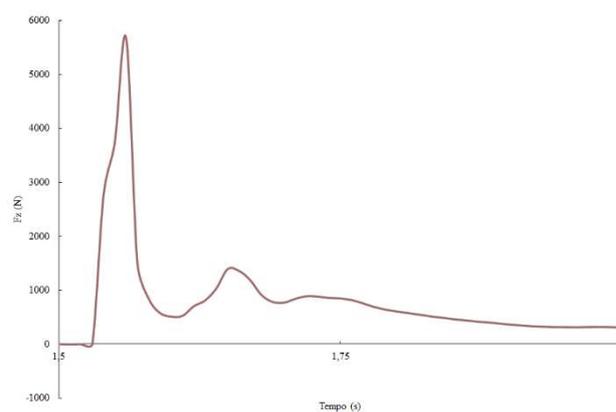
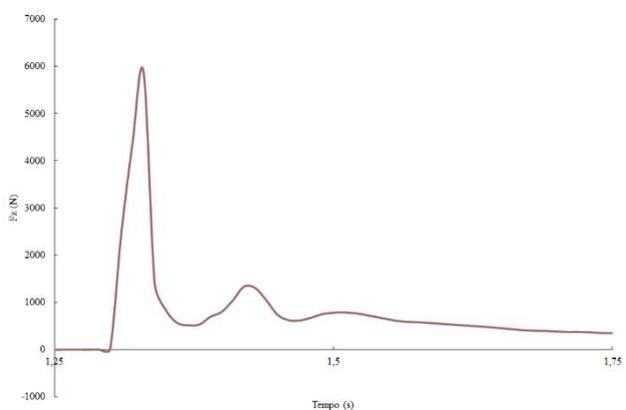
(C)



(D)

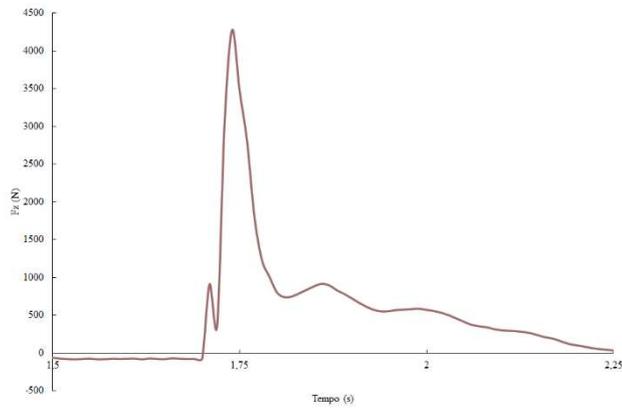
**Figura A. 8.** Ensaios para o  $V_8$  com a PFI: Ensaio  $V_8S_1$ (A); Ensaio  $V_8S_2$ (B); Ensaio  $V_8S_3$ (C); Ensaio  $V_8S_4$ (D).

### 9. Volante 9

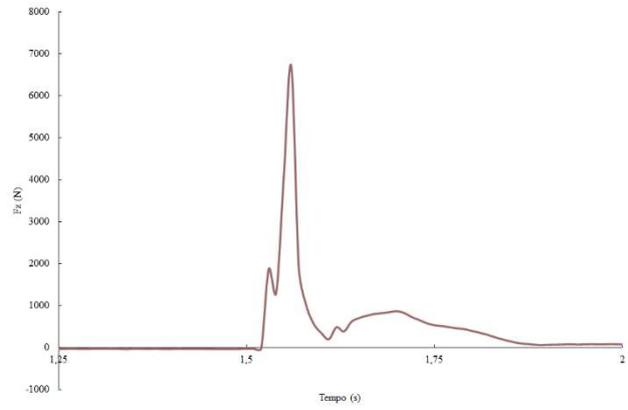
**(A)****(B)****(C)****(D)****(E)**

**Figura A. 9.** Ensaios para o  $V_9$  com a PFI: Ensaio  $V_9S_1$ (A); Ensaio  $V_9S_2$ (B); Ensaio  $V_9S_3$ (C); Ensaio  $V_9S_4$ (D); Ensaio  $V_9S_5$ (E).

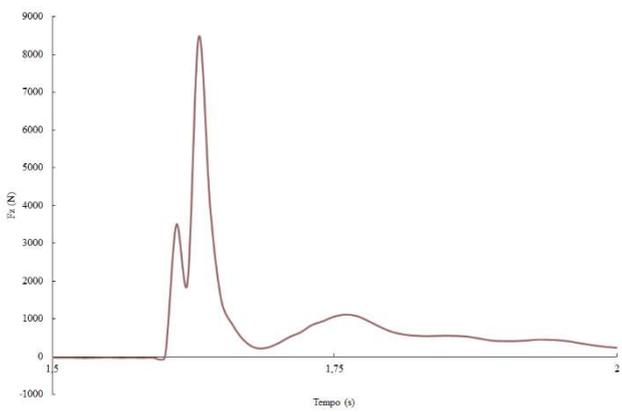
**10. Volante 10**



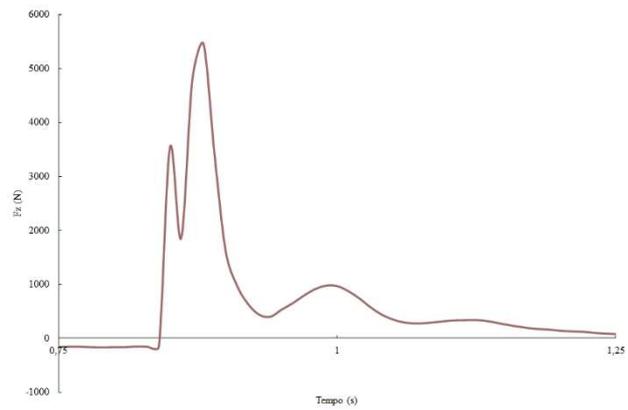
**(A)**



**(B)**



**(C)**



**(D)**

**Figura A. 10.** Ensaios para o  $V_{10}$  com a PFI: Ensaio  $V_{10}S_1$ (A); Ensaio  $V_{10}S_2$ (B); Ensaio  $V_{10}S_3$ (C); Ensaio  $V_{10}S_4$ (D).

## APÊNDICE B – ESBOÇOS 2D DAS CÉLULAS DE CARGA E DA PLATAFORMA DE FORÇAS DESENVOLVIDA

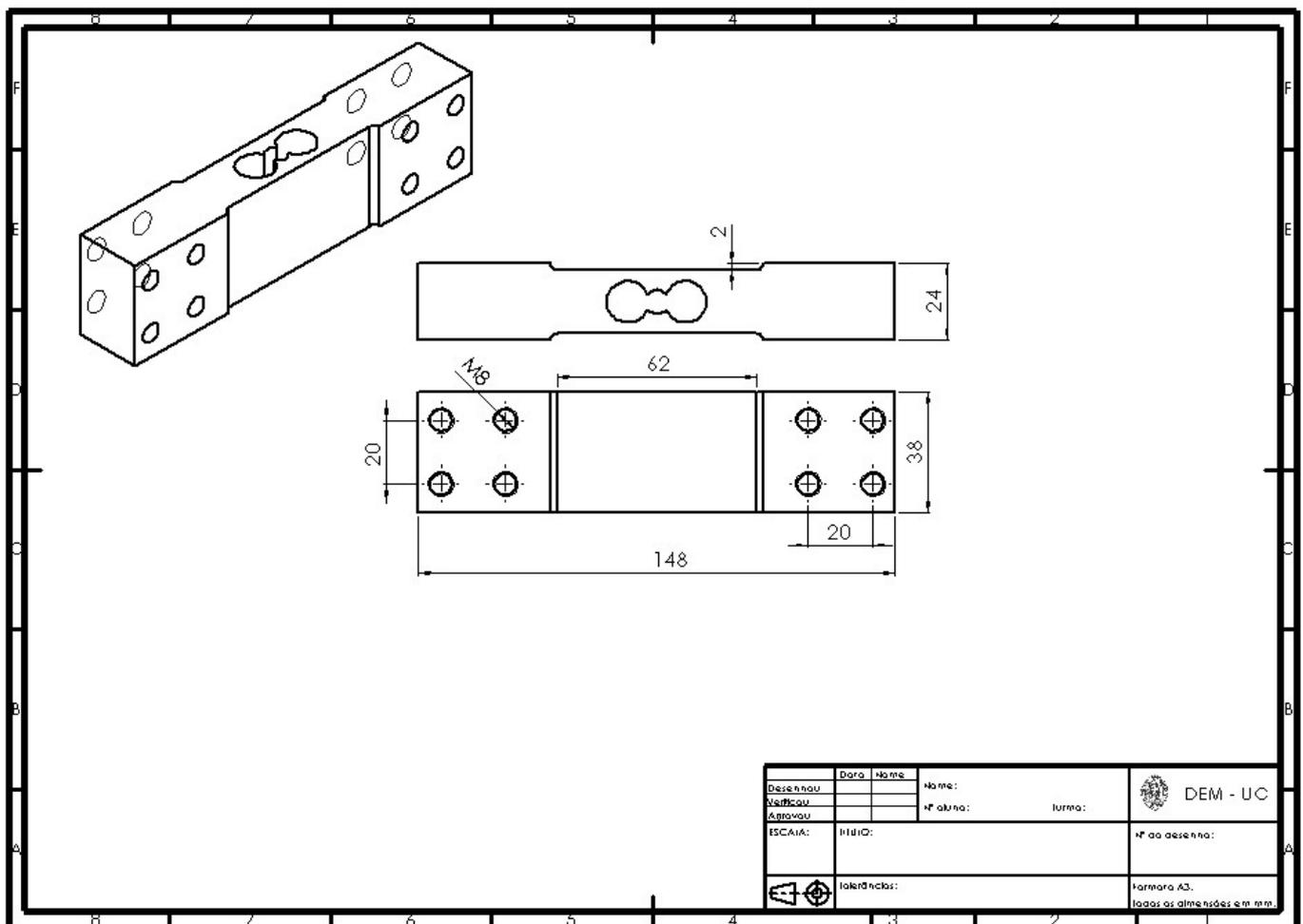


Figura B. 1. Desenho 2D e medidas da célula de carga.

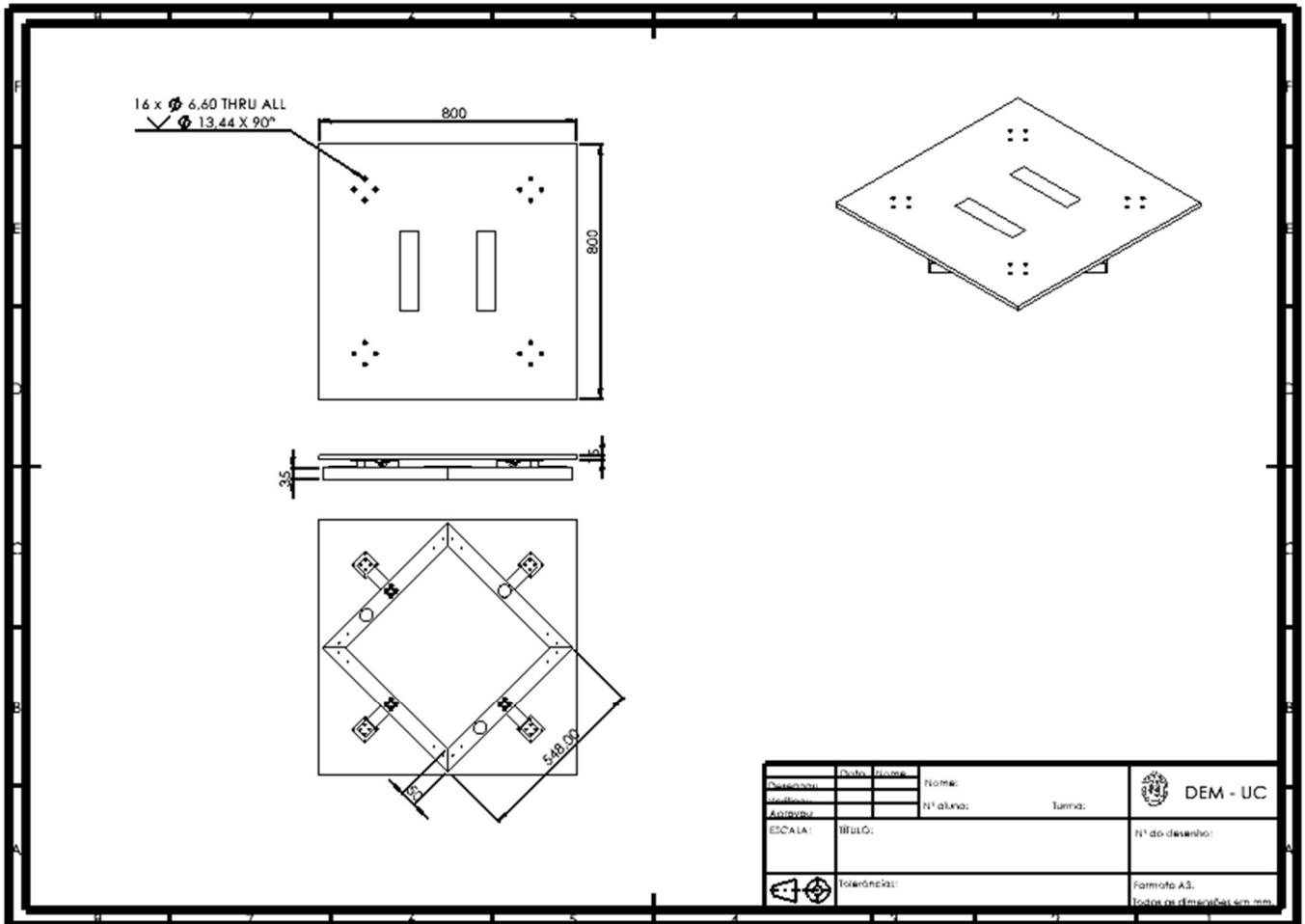


Figura B. 2. Desenho 2D e medidas da plataforma de forças desenvolvida.

## APÊNDICE C – RESULTADOS DAS VARIÁVEIS EM ESTUDO COM A PFI PARA CADA ENSAIO.

Tabela C. 1. Resultados da PFI para todos os ensaios.

Volante	Ensaio	Pico força Fz (N)	Altura máx (m)	$\Delta t$ (s)	Impulso (N.s)	Distância Flexão máx (cm)	Massa (kg)	Forma de receção
V <sub>1</sub>	V <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	4 337	2,09	0,07	91,04	29,70	31,00	Antepé
	V <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	2 956	2,03	0,07	70,60	20,80		
	V <sub>1</sub> S <sub>3</sub>	4 663	2,09	0,06	111,14	23,00		
	V <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	2 905	2,00	0,08	85,34	29,70		
V <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	4 417	2,05	0,07	131,96	50,50	41,84	Antepé
	V <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	4 484	2,05	0,09	155,11	45,10		
	V <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	4 749	1,96	0,08	189,94	47,30		
	V <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	2 607	2,08	0,10	104,04	38,50		
V <sub>3</sub>	V <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	3 977	2,46	0,05	49,69	31,10	32,79	Antepé
	V <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	4 657	2,47	0,06	83,99	24,00		
	V <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	4 589	2,33	0,08	79,66	35,00		
	V <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	3 556	2,53	0,06	75,90	29,14		
V <sub>4</sub>	V <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	6 287	2,59	0,05	100,35	33,00	35,10	Mediopé
	V <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	4 723	2,64	0,09	150,97	28,10		
	V <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	5 918	2,67	0,05	98,62	22,80		
	V <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	7 030	2,70	0,05	98,23	35,50		
	V <sub>4</sub> S <sub>5</sub>	7 447	2,57	0,04	99,08	30,20		
V <sub>5</sub>	V <sub>5</sub> S <sub>1</sub>	8 853	2,23	0,06	176,95	40,40	61,20	Mediopé
	V <sub>5</sub> S <sub>2</sub>	8 047	2,19	0,07	152,06	35,00		
	V <sub>5</sub> S <sub>3</sub>	8 378	2,36	0,08	199,19	28,40		
	V <sub>5</sub> S <sub>4</sub>	5 416	2,36	0,08	159,52	21,30		
V <sub>6</sub>	V <sub>6</sub> S <sub>1</sub>	5 440	2,41	0,05	105,81	36,30	38,40	Mediopé
	V <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	7 027	2,33	0,07	174,82	43,10		
	V <sub>6</sub> S <sub>3</sub>	6 992	2,34	0,07	120,17	37,30		
	V <sub>6</sub> S <sub>4</sub>	5 526	2,37	0,07	114,78	35,40		
	V <sub>6</sub> S <sub>5</sub>	6 172	2,43	0,07	156,79	39,80		
V <sub>7</sub>	V <sub>7</sub> S <sub>1</sub>	8 664	2,16	0,07	175,44	39,50	40,15	Mediopé
	V <sub>7</sub> S <sub>2</sub>	6 084	2,19	0,07	135,94	35,60		
	V <sub>7</sub> S <sub>3</sub>	4 799	2,23	0,08	147,17	38,90		
	V <sub>7</sub> S <sub>4</sub>	7 099	2,29	0,07	166,47	26,50		
	V <sub>7</sub> S <sub>5</sub>	5 508	2,22	0,07	143,18	39,10		
V <sub>8</sub>	V <sub>8</sub> S <sub>1</sub>	5 723	2,39	0,08	144,40	38,50	43,20	Antepé
	V <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	4 853	2,59	0,09	142,54	40,90		
	V <sub>8</sub> S <sub>3</sub>	4 860	2,51	0,09	175,44	40,60		
	V <sub>8</sub> S <sub>4</sub>	4 909	2,73	0,09	126,68	39,60		
V <sub>9</sub>	V <sub>9</sub> S <sub>1</sub>	6 759	2,13	0,06	141,69	30,80	40,97	Mediopé
	V <sub>9</sub> S <sub>2</sub>	7 716	2,16	0,08	159,21	30,80		
	V <sub>9</sub> S <sub>3</sub>	5 084	2,09	0,09	125,35	33,40		
	V <sub>9</sub> S <sub>4</sub>	5 676	2,07	0,08	164,98	32,20		
	V <sub>9</sub> S <sub>5</sub>	5 884	2,13	0,07	162,97	34,20		
V <sub>10</sub>	V <sub>10</sub> S <sub>1</sub>	4 274	2,22	0,12	215,23	38,80	57,78	Mediopé
	V <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	6 709	2,09	0,09	182,01	39,40		
	V <sub>10</sub> S <sub>3</sub>	8 465	2,23	0,08	209,87	33,70		
	V <sub>10</sub> S <sub>4</sub>	5 461	2,16	0,09	228,42	42,00		



## APÊNDICE D – ESTUDO ESTATÍSTICO DAS VARIÁVEIS EM ESTUDO

### 1. Forma de receção

**Tabela D. 1.** Teste-t para amostras independentes entre o rácio e a forma de receção.

Rácio		Teste de Levene para igualdade de variâncias		Teste-t para igualdades de médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95 % Intervalo de confiança da diferença	
									Inferior	Superior
	Variâncias iguais assumidas	3,351	0,074	-3,522	42	0,001	-3,43085	0,97418	-5,39683	-1,46487
	Variâncias iguais não assumidas			-3,970	41,452	<0,001	-3,43085	0,86429	-5,17574	-1,68595

### 2. Altura máxima atingida

**Tabela D. 2.** Correlação entre o pico de força e a altura máxima atingida.

		Pico força Fz	Altura máx
Pico força Fz	Correlação de Pearson	1	0,119
	Sig. (2 extremidades)		0,442
	N	44	44
Altura máx	Correlação de Pearson	0,119	1
	Sig. (2 extremidades)	0,442	
	N	44	44

### 3. Duração da recepção

Tabela D. 3. Correlação entre o pico de força e a duração da recepção.

		Pico força Fz	Tempo
Pico força Fz	Correlação de Pearson	1	-0,279
	Sig. (2 extremidades)		0,066
	N	44	44
Tempo	Correlação de Pearson	-0,279	1
	Sig. (2 extremidades)	0,066	
	N	44	44

### 4. Impulso

Tabela D. 4. Correlação entre o pico de força e o impulso.

		Pico força Fz	Impulso
Pico força Fz	Correlação de Pearson	1	0,483**
	Sig. (2 extremidades)		0,001
	N	44	44
Impulso	Correlação de Pearson	0,483**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,001	
	N	44	44

\*\* . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

### 5. Distância do trocâter maior ao solo na máxima flexão dos joelhos

Tabela D. 5. Correlação entre o pico de força e a distância do trocâter maior ao solo.

		Pico força Fz	Flexão máx
Pico força Fz	Correlação de Pearson	1	0,063
	Sig. (2 extremidades)		0,683
	N	44	44
Flexão máx	Correlação de Pearson	0,063	1
	Sig. (2 extremidades)	0,683	
	N	44	44

## 6. Peso

**Tabela D. 6.** Correlação entre o pico de força e o peso do volante.

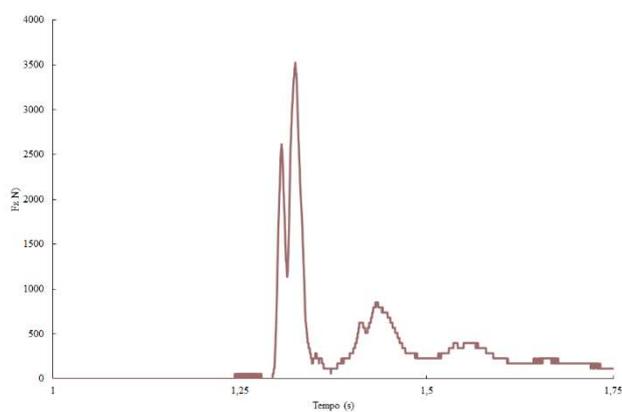
		Pico força Fz	Peso
Pico força Fz	Correlação de Pearson	1	0,466**
	Sig. (2 extremidades)		0,001
	N	44	44
Peso	Correlação de Pearson	0,466**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,001	
	N	44	44

\*\* . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

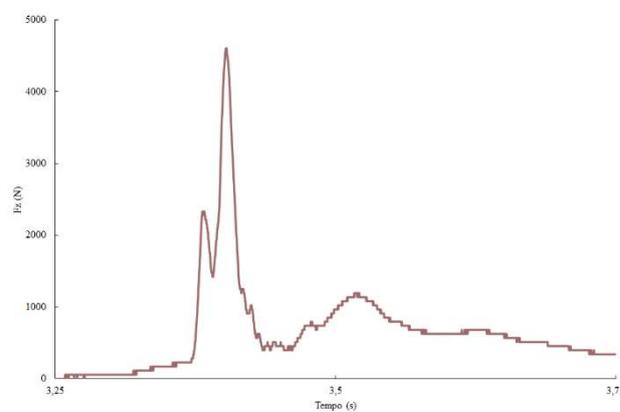


## APÊNDICE E - ENSAIOS NA PLATAFORMA DE FORÇAS DESENVOLVIDA – GRÁFICOS FZ EM FUNÇÃO DO TEMPO

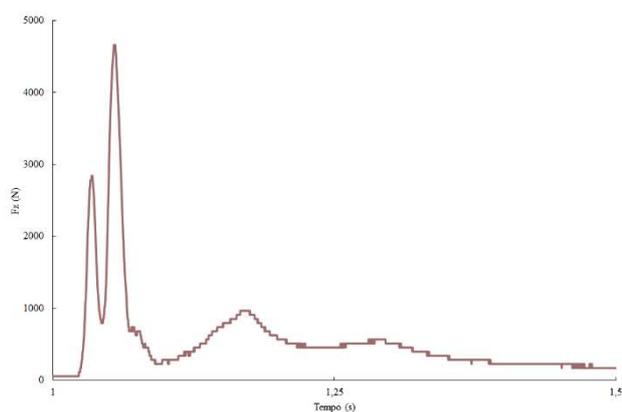
### 1. Volante 1



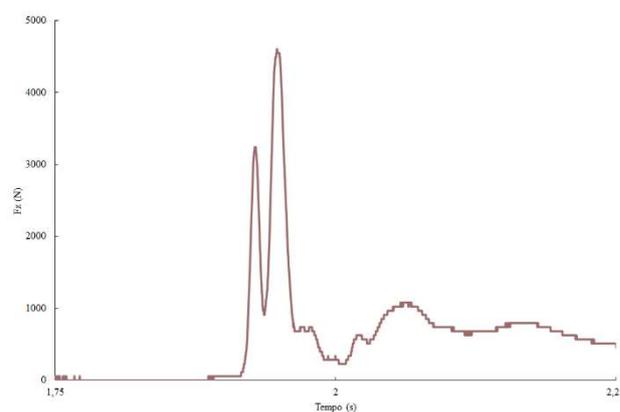
(A)



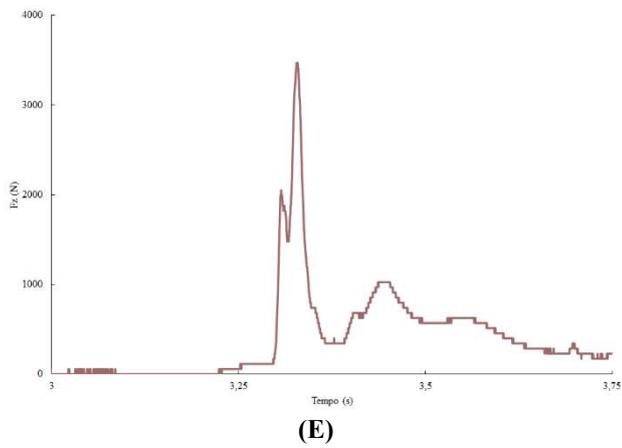
(B)



(C)

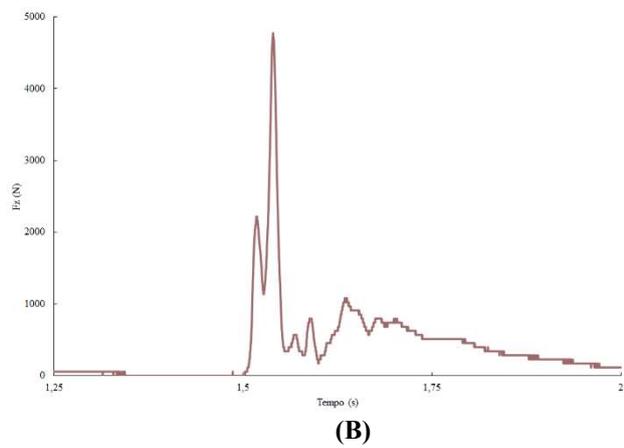
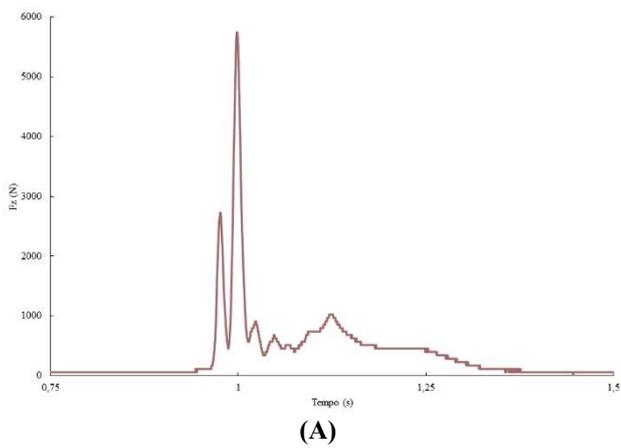


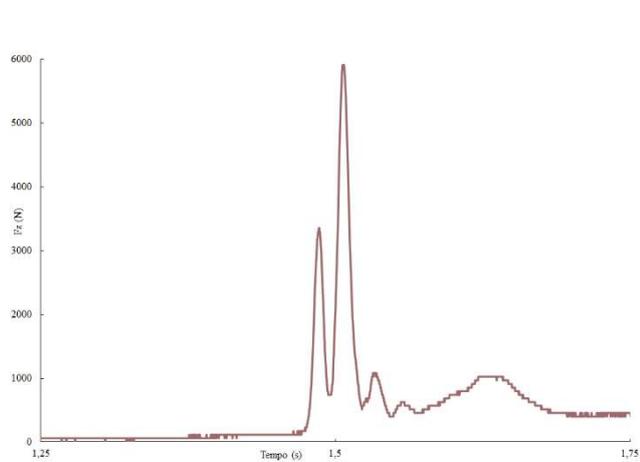
(D)



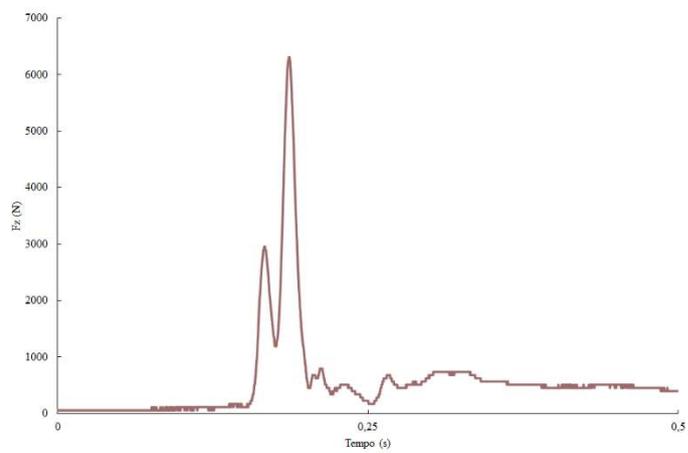
**Figura E. 1.** Ensaio para o  $V_1$  com a PFD: Ensaio  $V_1S_1$ (A); Ensaio  $V_1S_2$ (B); Ensaio  $V_1S_3$ (C); Ensaio  $V_1S_4$ (D); Ensaio  $V_1S_5$ (E).

## 2. Volante 3

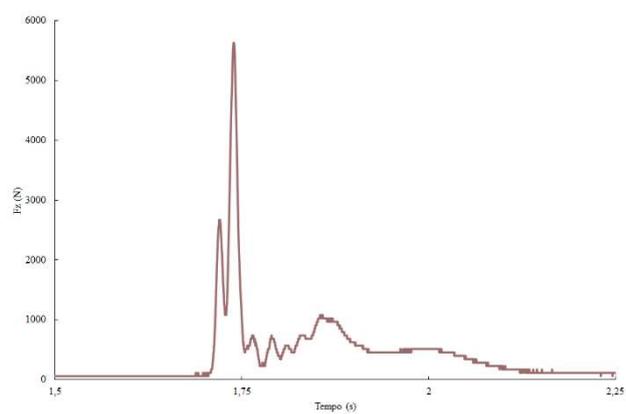




(C)



(D)



(E)

**Figura E. 2.** Ensaios para o  $V_3$  com a PFD: Ensaio  $V_3S_1$ (A); Ensaio  $V_3S_2$ (B); Ensaio  $V_3S_3$ (C); Ensaio  $V_3S_4$ (D); Ensaio  $V_3S_5$ (E).