

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIR A RESISTÊNCIA GERADA NA  
INTERAÇÃO DE DIFERENTES SOLADOS DE CALÇADOS DE FUTEBOL COM A  
SUPERFÍCIE DE CONTATO**

**Wagner Rosa de Oliveira**

**Porto Alegre**

**Julho 2020**

**Wagner Rosa de Oliveira**

**PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIR A RESISTÊNCIA GERADA NA  
INTERAÇÃO DE DIFERENTES SOLADOS DE CALÇADOS DE FUTEBOL COM A  
SUPERFÍCIE DE CONTATO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Fagundes Loss

**PORTO ALEGRE**

**2020**

### CIP - Catalogação na Publicação

Rosa de Oliveira, Wagner  
PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIR A RESISTÊNCIA  
GERADA NA INTERAÇÃO DE DIFERENTES SOLADOS DE CALÇADOS  
DE FUTEBOL COM A SUPERFÍCIE DE CONTATO / Wagner Rosa  
de Oliveira. -- 2020.  
58 f.  
Orientador: Jefferso Fagundes Loss.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa  
de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,  
Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Chuteiras. 2. Futebol. 3. Mudança de Direção. 4.  
Tração. I. Fagundes Loss, Jefferso, orient. II.  
Título.

**Wagner Rosa de Oliveira**

**PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIR A RESISTÊNCIA GERADA NA  
INTERAÇÃO DE DIFERENTES SOLADOS DE CALÇADOS DE FUTEBOL COM A  
SUPERFÍCIE DE CONTATO**

Conceito final:

Porto Alegre, 24 de agosto de 2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Cláudia Tarragô Candotti – UFRGS

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Gertz – ULBRA

---

Prof. Dr. João Ellera Gomes – UFRGS

---

Orientador – Prof. Dr. Jefferson Fagundes Loss – UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Bom, desde meu segundo ano de graduação já tinha em mente fazer um mestrado, e de lá para cá sempre foi meu grande objetivo pessoal e que de fato isso me ajudaria nos meus objetivos profissionais. Não tem preço a alegria que sinto ter conseguido finalizar esse projeto. Fico satisfeito com o trabalho que realizei, com todas as dificuldades encontradas desde o início do mestrado tendo que trocar de tema por impossibilidade de conseguir fazer o que seria meu primeiro projeto. Contudo, o destino ou simplesmente a aleatoriedade das coisas na vida, fez com que meu segundo projeto fosse na verdade engatado com meu projeto de TCC na graduação, no qual consegui colher muitos frutos e novamente poderia me dar mais. E assim foi... Foi um desafio construir algo que não faz parte da minha formação base mas foi gratificante ver o projeto funcionando.

Em agradecimento, digo que tenho um carinho especial por todos que me ajudaram em todos os momentos, sejam eles quais forem... Podem ter certeza que não esquecerei e serei sempre grato a todos. Mas tenho que fazer um agradecimento especial a minha esposa Grazielle, que sempre esteve do meu lado, ajudando mesmo quando não entendia nada do que eu estava falando, sempre fez de tudo para me apoiar. Obrigado e desculpa por fazer você abrir mão de várias coisas na sua vida, nunca vou esquecer.

Agradeço a todo pessoal do grupo BIOMEC que me ajudou tanto nas angustias quanto coletas, William que desde a graduação no grupo de estudos da Unisinos sempre me incentivou a seguir a pesquisa e galgamos boa parte desse caminho juntos. Ao Edgar colega de graduação e pós graduação, que me ajudou nas noites, tardes e manhãs de coleta, carregando peso para cima e para baixo para o equipamento funcionar. A Ana e Fernanda que sempre estiveram presentes para ajudar com palavras certas em momentos difíceis, ajudando a descontrair. E todos os demais integrantes Angelo, Vicente, Renata, Igor, Gui, Tati, Laura's e demais que possa ter esquecido aqui.

Agradecimento especial também ao meu orientador Jefferson Loss pela paciência e ter acreditado lá na seleção de que eu poderia dar conta de todas as tarefas que iriam ser incumbidas a mim.

Agradeço a Dass por ter cedido tempo meu de trabalho para realizar esse projeto, também a minha supervisora Naomi por te me ajudado em momentos de grande dúvida e ter sugerido sempre boas ideias no trabalho. Agradeço a minha estagiária Raquel por ter segurado os problemas na empresa nas minhas ausências. E as meus colegas da Umbro por ajudarem a elaborar os calçados para as avaliações.

Destaco ainda o apoio financeiro da FAPERGS, através do EDITAL FAPERGS 05/2019 - PROGRAMA PESQUISADOR GAÚCHO-PQG:19/2551-0001840-1)

## RESUMO

A presente dissertação teve como foco o desenvolvimento de um equipamento para medição da resistência gerada na interação do calçado de futebol (chuteira) com a superfície. O interesse nessa medição, se deve ao fato de que tem sido associado ao uso de chuteiras um grande aumento do número de lesões de não contato, e que estas lesões são decorrentes de uma alta resistência rotacional oferecida pela chuteira nos movimentos de mudança de direção. Neste contexto, essa dissertação teve como objetivo propor um equipamento para medir a interação do solado com a superfície e testar suas características psicométricas. Na dissertação constam dois artigos. O primeiro artigo está relacionado ao protocolo de desenvolvimento: um estudo com o objetivo de apresentar o equipamento com os respectivos índices de confiabilidade, o protocolo de avaliação, e as medidas que o equipamento é capaz de fornecer. Dentre essas medidas, foram extraídas da curva de torque em função do ângulo de rotação, o valor máximo de torque (MAX), valor de torque em 45 graus de rotação (Torque 45), valor de torque na zona intermediária de medição (TorqueZD), valor de torque em 90 graus de rotação (Torque 90), rigidez rotacional (rigidez), trabalho até a rotação de 45 graus (AT45) e trabalho total até 90 graus de rotação (AT90). Foram utilizadas 11 chuteiras para avaliação. Para verificação da confiabilidade foi utilizado os valores de ICC, SEM, MDC e RMS, sendo verificada a confiabilidade das medidas sucessivas no mesmo dia e da reprodutibilidade uma semana depois. Para medidas sucessivas foram utilizadas 10 medidas realizadas um único dia, enquanto para as medidas de reprodutibilidade foram utilizadas 5 medidas do primeiro dia e 5 medidas do segundo dia medido uma semana depois. Para todas as variáveis analisadas o ICC foi alto  $> 0,90$  com baixos valores de SEM, MDC e RMS, tanto para repetibilidade como para reprodutibilidade. De modo geral, o equipamento mostrou ser um sistema de medição confiável para avaliar mecanicamente a interação de diferentes solados de chuteira e o gramado artificial. As variáveis MAX, Rigidez, AT45 e AT90, são indicadas como as principais medidas a serem consideradas para futuras avaliações. O segundo artigo busca mostrar as diferenças práticas entre as chuteiras avaliadas, com as diferenças em torno de dois eixos de rotação das chuteiras, no retropé e no mediopé. Os resultados mostraram que um eixo de rotação mais anterior aumenta substancialmente o torque máximo e o trabalho, mas a rigidez é dependente da chuteira. Com relação as diferenças entre as chuteiras, foi observado que a chuteira com o formato circular e material rígido possui maior torque máximo tanto com eixo de rotação no retropé como no mediopé. Já a chuteira de trava mista (triangular e circular), além de maior altura de travas e material rígido, é a que apresenta maior rigidez rotacional e trabalho tanto com eixo de rotação no retropé como no mediopé. E as chuteiras que possuem material mais flexível, maior número de travas e menor altura, apresentaram de modo geral os menores valores para todas as variáveis analisadas. Com base nestes dois estudos, podemos afirmar que o equipamento proposto é capaz de medir a resistência oferecida por diferentes solados de chuteiras na interação com a superfície. Além de, ser capaz de detectar as diferenças entre as chuteiras, no qual mostrou ser dependente das diferentes características de material, formato, tamanho e número de travas, além do eixo de rotação no qual ocorre o movimento. Com base nos resultados que o equipamento proposto é capaz de fornecer, será possível em aplicações futuras tentar determinar um valor de referência de resistência para cada tipo de chuteira, podendo auxiliar tanto a indústria na confecção de novos calçados como guiar os usuários na escolha de uma chuteira mais adequada para sua prática esportiva.

**Palavras Chaves:** Chuteiras; Futebol; Mudança de Direção; Torque; Tração

## ABSTRACT

This dissertation focused on the development of equipment to measure the frictional resistance generated in the interaction of soccer shoes (soccer shoes) with the surface. The interest in this measurement is due to the fact that a large increase in the number of non-contact injuries has been associated with the use of cleats, and that these injuries are due to the higher rotational resistance offered by the cleat in movements of change of direction. In this context, this dissertation aimed to propose equipment to measure the interaction of the sole with the surface and test its psychometric characteristics. The dissertation contains two articles. The first article is related to the development protocol: a study with the objective of presenting the equipment with the respective reliability index, the evaluation protocol, and the measures that the equipment is capable of providing. Among these measures, the torque curve as a function of the rotation angle, the maximum torque value (MAX), torque value in 45 degrees of rotation (Torque 45), torque value in the intermediate measurement zone (TorqueZD) were extracted. , torque value at 90 degrees of rotation (Torque 90), rotational stiffness (rigidez), work up to 45 degrees rotation (AT45) and total work up to 90 degrees rotation (AT90). 11 soccer shoes was used to study. To check reliability, the ICC, SEM, MDC and RMS values were used, and the reliability of successive measurements on the same day and of reproducibility one week later were verified. For successive measurements, 10 measurements taken on a single day were used, while for reproducibility measurements, 5 measurements from the first day and 5 measurements from the second day measured a week later were used. For all variables analyzed, the ICC was high > 0.90 with low values of SEM, MDC and RMS, both for repeatability and reproducibility. In general, the equipment proved to be a reliable measurement system to mechanically evaluate the interaction of different soccer shoes and artificial grass. The variables MAX, Rigidez, AT45 and AT90, are indicated as the main measures to be considered for future evaluations. The second article seeks to show the practical differences between the soccer shoes evaluated, with the differences around two axis of rotation of the soccer shoes, in the rearfoot and midfoot. The results showed that a more anterior rotation axis substantially increases the MAX and AT90, but the rigidez is dependent on the soccer shoe. Regarding the differences between the soccer shoes, it was observed that the soccer shoe with the circular shape and rigid material has a higher maximum torque both with the rotation axis in the rearfoot and the midfoot. The mixed soccer shoe cleats (triangular and circular), in addition to greater height of cleats and rigid material, is the one with the greatest rigidez and AT90 with both the rotation axis in the rearfoot and the midfoot. And soccer shoes that have more flexible material, a greater number of cleats and a lower height, generally presented the lowest values for all variables analyzed. Based on these two studies, we can affirm that the proposed equipment is capable of measuring the resistance offered by different boot soles when interacting with the surface. In addition to being able to detect the differences between the soccer shoes, which proved to be dependent on the different characteristics of material, shape, size and number of cleats, in addition to the axis of rotation in which the movement occurs. Based on the measurements provided by the equipment and the suggested evaluation protocol, it will be possible to determine reference values for the interaction resistance between the soccer shoe and the surface, which can assist both the industry in making new shoes and guide users in choosing a soccer shoe more suitable for your sports practice. This would help the industry to develop safe products while delivering performance to the user.

**Key Words:** Soccer shoes; Soccer; Cutting Movement; Moment; Traction

## Índice de Figura

<b>Figura 2.1</b> – Visão geral do equipamento montado e suas principais características para funcionamento.....	23
<b>Figura 2.2</b> – Forma protótipo criada para mimetizar um pé humano.....	24
<b>Figura 2.3</b> – Curva de torquee os respectivos pontos que foram extraídos para análise. .....	26
<b>Figura 2.4</b> – Exemplo dos diferentes padrões de curva encontrados.....	28
<b>Figura 2.5</b> – Acomodação da chuteira sobre o disco-base. ....	32
<b>Tabela 3.1</b> – Características das travas das chuteiras utilizadas. ....	41
<b>Figura 3.1</b> – Equipamento de medição e Forma utilizada. ....	41
<b>Figura 3.2</b> – Torque Máximo, Rigidez e Trabalho para cada chuteira em cada posição do eixo de rotação.....	44

## **Índice de Tabela**

<b>Tabela 2.1</b> – Características das chuteiras utilizadas.....	30
<b>Tabela 2.2</b> – Avaliação da confiabilidade das variáveis do sistema. ....	31
<b>Tabela 3.1</b> – Características das travas das chuteiras utilizadas. ....	41
<b>Tabela 3.2</b> - Média e desvio padrão das condições de teste chuteiras e eixo de rotação para cada uma das variáveis analisadas. ....	43

## Lista de Abreviaturas e Siglas

BOR	Borracha
FIFA	Federação Internacional de Futebol
Hz	Hertz
ICC	Coeficiente de correlação intra classe
Kg	Quilograma
Kg/m <sup>2</sup>	Quilograma metro quadrado
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
m	Metros
MDC	Minimal Detectable Change
mm	Milímetros
N	Newton
Nm	Newton Metro
PVC	Policloreto de Vinila
RMS	Root Mean Square
SEM	Standard Error of Measurement
TPU	Poliuretano

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	14
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1 .....	20
CONFIABILIDADE DE UM SISTEMA PARA MEDIDA DA RESISTÊNCIA DE INTERAÇÃO ENTRE A SOLA DO CALÇADO E A SUPERFÍCIE DE CONTATO .....	20
2.1 INTRODUÇÃO .....	21
2.2 MÉTODOS .....	22
2.2.1 Descrição Equipamento .....	22
2.2.2 Instrumentação .....	24
2.2.3 Protocolo de Avaliação .....	25
2.2.4 Análise e Processamento dos Dados .....	27
2.2.5 Confiabilidade .....	27
2.3 RESULTADOS .....	28
2.4 DISCUSSÃO .....	32
2.5 CONCLUSÃO .....	35
REFERÊNCIAS ARTIGO 1 .....	36
CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2 .....	38
3.1 INTRODUÇÃO .....	39
3.2 METODOS .....	40
3.2.1 Análise Estatística .....	42
3.3 RESULTADOS .....	42
3.4 DISCUSSÃO .....	45
3.4.1 Limitações .....	50
3.5 CONCLUSÃO .....	50
REFERENCIAS ARTIGO 2 .....	51
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	54
REFERENCIAS INTRODUÇÃO GERAL .....	56
APÊNDICE A: TABELAS TESTE POS-HOC DE COMPARAÇÃO ENTRE AS CHUTEIRAS ARTIGO 02 .....	58
ANEXO A: CARTA DE ANUÊNCIA PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA NO LAPEX .....	61

## APRESENTAÇÃO

Esta dissertação teve como objetivo propor um equipamento que seja capaz de medir a resistência oferecida pela interação de diferentes solados de calçado e a superfície, de modo prático e confiável. Embora já tenham sido realizados estudos nesse sentido, nenhum estudo se preocupou especificamente com todo o processo de construção e medição da confiabilidade dessa medida de interação. Não foram encontrados, por exemplo, dados referentes a confiabilidade em dias diferentes. Desse modo dividimos essa dissertação em (1) Capítulo 1 - Introdução Geral, com apresentação da caracterização do estudo e o estado da arte, bem como os objetivos. (2) Capítulo 2 – Artigo referente ao estudo de construção e confiabilidade das medidas propostas. (3) Capítulo 3 – Artigo referente as diferenças encontradas entre diferentes calçados pelo equipamento. Capítulo 4 – Considerações finais, bem como um guia para aplicabilidade do equipamento em estudos futuros.

Ressalta-se que os Capítulos 2 e 3 estão apresentados em formato de artigos, sendo que o Capítulo 2 já está submetido e em processo de revisão no *Journal Sports Biomechanics*. Também se destaca que o artigo 1 dessa presente dissertação seguiu as recomendações do GRRAS (*Guideline for Reporting Reliability and Agreement Studies*).

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

A influência das propriedades do calçado no gesto esportivo tem sido destacada há muito tempo como um fator determinante para o aumento do rendimento de atletas. Chuteiras que ajudam a aumentar a estabilidade do atleta em campo (VILLWOCK et al., 2009a; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016), calçados de atletismo que promovam um maior retorno de energia (ARELLANO; KRAM, 2014), calçados de corrida de rua que tenham uma boa resiliência ajudando no consumo energético (HOOGKAMER et al., 2018), entre outros exemplos, tem sido bem fundamentados na literatura. O calçado seja ele de qual modalidade esportiva for, é a interface de contato do pé do atleta e o solo, e essa interação do “complexo pé-calçado” e o solo, para além da questão do rendimento, também é de interesse de pesquisa da biomecânica que tem como objetivo entender o mecanismo de proteção do corpo das cargas envolvidas neste fenômeno. Através dessas informações é possível, do ponto de vista de desenvolvimento de produto, modificar aspectos do calçado que possam ajudar a proteger o atleta e aumentar seu rendimento esportivo.

Neste sentido, uma das características do calçado bastante pesquisada e controversa quanto a sua influência é o atrito. O atrito é a força de contato entre dois corpos e que tem sido fonte de debate desde o século XVII, causando até hoje divergência quanto ao sua definição (BARRY; MILBURN, 2013). Mesmo assim existem alguns pressupostos fundamentais e que têm sido bem aceitos na física para direcionamento da sua aplicabilidade nas mais diversas áreas da engenharia, uma delas é a Lei de Atrito à seco, tendo seus dois primeiros pressupostos colocados por Amontons, de que a força de atrito é proporcional a força aplicada e independe da área da superfície. Mais tarde Coulomb e Morin acrescentaram mais dois conceitos de que o atrito é independente da velocidade e ainda pode ser classificado como estático e dinâmico. Sendo que o atrito estático é dado pela força necessária para iniciar o movimento, enquanto que o dinâmico é a força necessária para manter o movimento. Porém, quando estes conceitos são colocados a prova com interação entre diferentes tipos de superfície como os solados de calçados, nem sempre esses pressupostos se mantêm (FREDERICK, 1984; NIGG, 1990; NIGG; YEADON, 1987). Por exemplo, Bonstingl et al (1975), viram que o atrito aumentou quando solado apresentava maior área de contato com o solo, violando a 1ª lei do atrito a seco, que diz que este independe da área de contato. Uma das hipóteses para essa incoerência possivelmente seja devido as diferenças de rugosidades dos materiais, tanto

da superfície como do solado, que acabam interagindo microscopicamente, alterando assim a força de atrito entre os corpos (BARRY; MILBURN, 2013, 1999). Quando colocamos entre as superfícies algum líquido, de forma que este lubrifique as áreas de contato, os corpos tendem a se comportar de maneira ainda mais diferente das superfícies secas (BARRY; MILBURN, 2013; TABOR, 1981). Desse modo não seria incoerente dizer que o atrito modifica também quando a superfície for granular, como no caso de gramados de futebol, tanto sintético como natural. Do ponto de vista físico o solo natural ou artificial, se diferencia de superfícies rígidas e lisas, pelo fato de que possuem partículas que estão ligeiramente ligadas, que por tal motivo possuem uma relativa liberdade de movimento uma em relação a outra (BARRY; MILBURN, 1999). O fato de elas estarem mais livres e com ligações mais fracas, fazem com que os espaços entre elas sejam preenchidos por ar ou água, o que modifica completamente o atrito entre as partículas e o solado. Em chuteiras, quando estas penetram no solo, o solo oferece uma resistência. O resultado dessa resistência é uma deformação das partículas até o ponto de ruptura, no qual então ocorre o deslizamento do solado (BARRY; MILBURN, 2013; BONSTINGL; MOREHOUSE; NIEBEL, 1975).

Com base nisso, na tentativa de separar os termos designados às diferentes formas de medir essa força de interação, pesquisadores dividiram as forças de atrito nos calçados como sendo os termos fricção e tração, sendo fricção o atrito entre corpos sólidos lisos e tração quando estes possuem travas ou pinos, como no caso das chuteiras (BARRY; MILBURN, 2013). Frederick (1984) e Nigg (1987) definem tração como: “quando um dos corpos tem capacidade de desenvolver movimento em relação ao outro corpo que é estacionário”, se referindo a interação da superfície com calçados de travas, como chuteiras e pinos como sapatilhas de atletismo. Portanto, tração é dada como a força propulsora ou de frenagem gerada na interação do solado com a superfície, sendo esta paralela à superfície e direcionada sempre de maneira oposta ao movimento. Ainda Nigg (1990), divide esse componente tração em rotacional e translacional, sendo o translacional a relação entre as forças normal e horizontal, onde a componente rotacional, é dado pelo efeito rotacional ao redor do centro de pressão do pé (NIGG, 1990; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Tendo em vista que o componente rotacional da tração é dado em Nm, e trata-se do efeito rotacional de uma força, podemos na verdade dizer que este componente trata-se do torque gerado pelo calçado na interação com a superfície. Nas últimas décadas, alguns pesquisadores, replicaram estudos na tentativa de medir a variável torque na interação com o solo, com o objetivo de identificar a resistência que

diferentes superfícies e solados de chuteiras impõe ao movimento rotacional exercido por diferentes esportes, principalmente para o futebol americano e rugby (LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS, 1996a; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006a).

O interesse em medir o torque de resistência oferecido pela interação calçado superfície, se deve em grande parte devido aos altos índices de lesões por não contato, e as frequentes associações destas lesões com o uso de chuteiras. Thomson et al (2015) por exemplo, mostraram que o uso de chuteiras que ofereçam alta resistência rotacional, aumenta o risco de lesão de não contato em até 2,5 vezes.

Lesões por não-contato, são definidas como aquelas no qual o indivíduo não sofre impacto diretamente no local afetado. Exemplos de lesões de não-contato incluem torções de tornozelo e joelho, que por sua vez levam a ruptura ligamentar, luxações e lesões musculares. Esse tipo de lesão no esporte predomina nos membros inferiores, sendo que 78% destas ocorrem independentemente da modalidade esportiva (BUTLER et al., 2013; INKLAAR, 1994b; RISTIĆ et al., 2010). Esportes como futebol, basquete, corrida e tênis, são acometidos em mais de 50% desse tipo de lesão (INKLAAR, 1994b). Destaca-se ainda que a maioria dessas lesões ocorrem em esportes de movimentos complexos, que exigem paradas abruptas e mudanças de direção repentinas, o que aumenta a exigência nessas articulações (BISESTI et al., 2015a; CLOAK; GALLOWAY; WYON, 2010). Movimentos rápidos e vigorosos são necessários para que estes atletas tenham melhor rendimento esportivo. Dessa maneira, as marcas esportivas tem realizado alto investimento em calçados que promovam essa maior “estabilidade” (KAILA, 2007). Contudo, a custo disso, o risco de lesão aumenta o que não parece ter sido levado em consideração na construção dos atuais produtos.

Um exemplo específico pode ser dado com relação as chuteiras utilizadas para a prática de futebol na grama ou em superfície sintética. As travas têm a função primária de fornecer atrito suficiente para permitir corridas em alta velocidade (KAILA, 2007). Entretanto, a mesma força de atrito que permite ao atleta impulsionar o seu corpo em grande velocidade para frente, fixando a chuteira no chão, impede que o pé gire juntamente com o restante do corpo em uma mudança brusca de direção (HEIDT JR et al., 1996; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Desta forma, ao girar o corpo de forma repentina para mudar a direção de deslocamento, por exemplo, estando o pé fixado no chão pela chuteira, articulações como o tornozelo, joelho e quadril acabam sofrendo grandes esforços de torção, aumentando as chances de ocorrerem lesões (LAMBSON;

BARNHILL; HIGGINS, 1996a; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006c; TORG; QUEDENFELD; LANDAU, 1974a).

Para uma melhor compreensão desse mecanismo de lesão e a influência da interação superfície-calçado, se faz necessário a medição do torque entre a superfície e o calçado, e como esse torque age no pé. Para mensuração desse torque, equipamentos mecânicos têm sido utilizados na tentativa de simular os movimentos humanos, principalmente os de mudança de direção. Estes testes tem se mostrado mais fidedignos para avaliar as variáveis de contato, pelo fato de que em seres humanos existem diferentes maneiras de execução motora de um movimento, fazendo com que este seja extremamente variável inter-sujeitos e até mesmo intra-sujeito, além da alta variação antropomórfica entre os sujeitos, dentre outras variáveis de difícil controle, que tendem a influenciar diretamente no movimento (HEIDT JR et al., 1996).

Desse modo, esse estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar a confiabilidade de um equipamento que seja capaz de medir a resistência entre o solado do calçado e a superfície, durante um giro de 90º, simulando um movimento de mudança de direção. Dessa forma, espera-se que o equipamento seja capaz de medir a resistência gerada pela interação calçado e superfície, de modo que seja aplicável para o desenvolvimento de produtos mais seguros. Neste sentido, com este equipamento será possível avaliar a eficiência de novos tipos de solados em calçados, ou mesmo da distribuição das travas nas chuteiras, que buscam diminuir as sobrecargas articulares oriundas das variações bruscas de direção.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Propor um equipamento para medir a resistência na interação entre o solado do calçado e a superfície de contato e testar suas características psicométricas.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um equipamento para medição da resistência de interação calçado-superfície que simule um movimento de mudança de direção de 90º.

Desenvolver protocolos de medição da interação calçado-superfície.

Avaliar a repetibilidade das medidas de resistência geradas na interação de diferentes calçados e superfície na simulação de um movimento de mudança de direção de 90°.

Avaliar a reprodutibilidade das medidas de resistência geradas na interação de diferentes calçados e superfície na simulação de um movimento de mudança de direção de 90°.

Comparar as medidas de resistência oferecida pelas diferentes combinações de solado de calçado com a superfície.

## CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1

### CONFIABILIDADE DE UM SISTEMA PARA MEDIDA DA RESISTÊNCIA DE INTERAÇÃO ENTRE A SOLA DO CALÇADO E A SUPERFÍCIE DE CONTATO

#### CONFIABILIDADE DE UM SISTEMA PARA MEDIDA DA RESISTÊNCIA DE INTERAÇÃO ENTRE A SOLA DO CALÇADO E A SUPERFÍCIE DE CONTATO

##### Resumo

**Introdução:** A chuteira é um tipo de calçado importante no meio esportivo, utilizado principalmente em esportes praticados na grama, sendo o futebol o principal deles. A chuteira possui travas que variam quanto a sua configuração, e tem por finalidade prover torque na interação com o solo, para evitar quedas durante movimentos específicos que o esporte demanda. Contudo, altos valores de torque, principalmente em movimentos de mudança de direção, estão associados a altos índices de lesões de não contato. Portanto, é necessária a medição envolvida nessa interação através de equipamentos que possam ser confiáveis quanto a sua natureza de medição. **Objetivo:** Avaliar a confiabilidade de um sistema para medir o torque de interação entre a sola do calçado e a superfície, em um movimento simulado de mudança de direção. **Métodos:** Destaca-se que por este estudo ser de confiabilidade, seguiu-se sua estrutura de acordo com o Guide trUm equipamento foi devidamente construído para medição da interação de diferentes solados de chuteira com o solo. Para medição foi instalado no equipamento uma célula de carga devidamente calibrada. Também foi utilizado como uma análise complementar um sistema de medição tridimensional do movimento. Para fins de análise pontos específicos da curva de torque foram extraídos e calculados, sendo estes representados pelas variáveis, Torque Máximo, Torque 45°, Torque 90°, Torque Zona Intermediária, Trabalho 45°, Trabalho 90° e Rigidez. Para as medições foram utilizadas 11 chuteiras. Na verificação da confiabilidade foi utilizado os valores de ICC, SEM, MDC e RMS. Foi verificada a confiabilidade das medidas sucessivas no mesmo dia e uma semana depois. **Resultados:** Para todas as variáveis analisadas o ICC foi alto > 0,90 com baixos valores de SEM, MDC e RMS, tanto para repetibilidade como para reprodutibilidade. **Conclusão:** O equipamento mostrou ser um sistema de medição confiável para avaliar mecanicamente a interação de diferentes solados de chuteira e o gramado. Com as variáveis MAX, Rigidez, AT45 e AT90, sendo indicadas como as principais medidas a serem consideradas para futuras avaliações.

**Palavras-chaves:** *Chuteiras; Torque; Futebol; e Mudança de Direção.*

## 2.1 INTRODUÇÃO

A influência das propriedades do calçado no gesto esportivo tem sido destacada há muito tempo como um fator determinante para o aumento do rendimento de atletas ou mesmo uma ferramenta para prevenção e proteção de lesões (VILLWOCK et al., 2009a; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). O calçado, seja ele de qual modalidade esportiva for, é a interface de contato do pé do atleta com o solo, e essa interação do “complexo pé-calçado” e o solo, para além da questão do rendimento, também é interesse de pesquisa da biomecânica que busca compreender os mecanismos de proteção do corpo e as cargas envolvidas neste fenômeno. Através dessas informações é possível, do ponto de vista de desenvolvimento de produto, modificar aspectos do calçado que possam ajudar a proteger o atleta e aumentar seu rendimento esportivo (GOONETILLEKE, 2012).

Dos calçados esportivos a chuteira é um dos que apresenta um maior desafio do ponto de vista de medição, pelo fato de a chuteira possuir travas que variam quanto ao número, formato, dimensão, material e posicionamento, que fazem com que a chuteira não siga as “leis do atrito” como outros calçados (BARRY; MILBURN, 2013). A chuteira é utilizada em diversos esportes praticados na grama, sendo o mais popular o futebol. O futebol é um esporte que exige do atleta diferentes movimentos e de alta complexidade de execução. Um desses movimentos é a mudança de direção, que tem sido associada como o movimento responsável pelo mecanismo de lesões de não-contato (BISESTI et al., 2015).

Entre as lesões de não-contato, a ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) tem acometido diversos jogadores profissionais e amadores ao redor do mundo nos últimos anos (DE SA et al., 2018; LEE; KURODA; CHAN, 2015), e um dos fatores que pode agravar isso é a resistência exercida no movimento rotacional pela interação do calçado com a superfície de contato (DE OLIVERA; ONODERA; LA TORRE, 2019; WANNOP; LUO; STEFANYSHYN, 2013). A medição direta desta interação entre a sola do calçado e a superfície pode auxiliar no entendimento do mecanismo de lesão, bem como auxiliar na elaboração de estratégias de prevenção (SILVA et al., 2017; WANNOP; WROBETS; STEFANYSHYN, 2010). Neste sentido Torg et al. (1974), foram os pioneiros em realizar essa medição, principalmente focada para o futebol americano. Contudo, limitações na época quanto a tecnologia e materiais disponíveis, além da falta de confiabilidade na medida, fez com que nas décadas seguintes outros pesquisadores, tentassem avaliar essa interação (LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS, 1996; LIVESAY;

REDA; NAUMAN, 2006; VILLWOCK et al., 2009). Entretanto, muitos destes equipamentos utilizados foram adaptados de outras finalidades, e até o momento não parecem estar disponíveis os dados de confiabilidade das medidas desta interação.

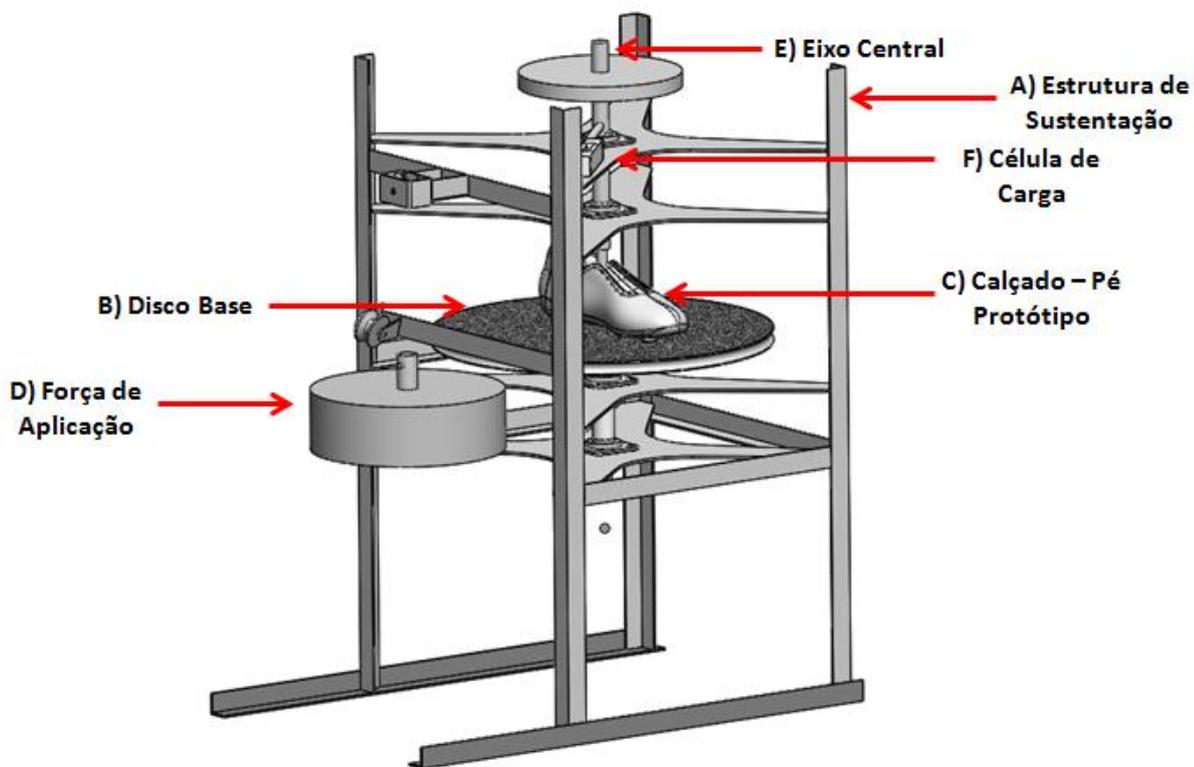
Sendo assim, tendo em vista a variabilidade de tentativas de medição da interação do solado do calçado com a superfície e a falta de estudos que mostrem a confiabilidade desse tipo de medida sendo aplicada especificamente a avaliação de chuteiras de futebol, o objetivo desse presente estudo foi avaliar a confiabilidade de um sistema para medir o torque de interação entre a sola do calçado e a superfície, em um movimento simulado de mudança de direção. Com um equipamento que meça diretamente a interação entre a sola do calçado e a superfície de forma confiável, será possível avaliar a eficiência de novos tipos de solados em calçados, ou mesmo da distribuição das travas nas chuteiras, que buscam diminuir as sobrecargas articulares oriundas das variações bruscas de direção.

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 Descrição Equipamento

O equipamento foi inicialmente projetado em um *software* CAD SolidWorks 2018 (Vélizy-Villacoublay, FRA), o qual foi utilizado para desenhar, definir dimensões e material além da mecânica básica de funcionamento. O desenho esquemático do equipamento pode ser visto na Figura 2.1. Para construção propriamente dita, foi necessária inicialmente a criação de uma estrutura de sustentação (A) estável ao redor de um disco-base (B), que serve para fixação do piso e do calçado de teste (C). Em relação a um observador externo, a máquina opera de forma inversa à situação esportiva. Na máquina, a superfície de apoio (disco-base) irá girar enquanto o calçado se mantém imóvel. Esta opção foi baseada no menor momento de inércia da base em relação ao eixo no qual o calçado é fixado. Com auxílio de anilhas, uma força de tração é aplicada ao disco-base (D), permitindo manipular a velocidade angular do disco-base. Acima do disco-base e alinhado com o seu eixo central (E), um tubo de aço de 600 mm de comprimento e 25 mm de diâmetro, permite a colocação das anilhas para simular a força axial que será aplicada a chuteira.

**Figura 2.1** – Visão geral do equipamento montado e suas principais características para funcionamento.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na extremidade do tubo de aço há uma forma de termoplástico rígido projetada, para simular o calçado com pé humano (C). Foi utilizada uma forma com centro de rotação na região correspondente ao retropé, mas com toda região correspondente a planta do pé apoiada ao solo (Figura 1.2 A e 1.2 B).

Sobre o disco-base foi fixado um gramado artificial do sistema REAL GAME (GRUPO PLACAR, São Paulo, BRA) em monofilamento com altura de 52 mm. Sobre o gramado foram distribuídos grânulos de borracha com espessura de 1 a 3 mm, na proporção de 10 kg/m<sup>2</sup> de borracha, conforme orientação do fabricante, seguindo os procedimentos recomendados pela Federação Internacional de Futebol (FIFA).

**Figura 2.2** – Forma protótipo criada para mimetizar um pé humano.

A) Forma Retropé- Vista Lateral (Seta Indica Localização do Centro de Rotação)



B) Forma Retropé - Vista Superior (Seta Indica Localização do Centro de Rotação)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O funcionamento básico do equipamento consiste em, tendo uma carga aplicada no eixo central (para simular a força axial aplicada no pé de apoio), e uma força de tração aplicada no disco-base, aciona-se uma alavanca que destrava o disco-base, levando ao movimento relativo entre o calçado e a superfície de contato.

### 2.2.2 Instrumentação

Uma célula de carga tipo I LBS 250 (LIBRACOM, BRA), foi instalada a uma distância de 0,05 m do eixo de rotação (Figura 2.1F), medindo a força oriunda da interação entre o solado do calçado e a superfície de apoio. Considerando que esta força irá depender da distância entre o eixo e o local de captação de força pela célula de carga, a resistência entre o solado do calçado e a superfície de apoio foi expressa pelo torque, através do produto da força mensurada pela célula de carga pela distância ao eixo de rotação (0,05 m).

Em conjunto com a medição da força da célula de carga, foi realizada uma avaliação cinemática com uso de um sistema tridimensional de avaliação de movimento *BTS Smart-DX* (*BTS Bioengineering*, ITA). Para avaliação cinemática foram utilizados 06 marcadores reflexivos, sendo posicionado 01 marcador no eixo central do equipamento, 02 marcadores no disco-base, 01 marcador nas anilhas que aplicam força de tração no disco-base e 02 marcadores na chuteira, sendo 01 na parte medial do calcanhar e outro na parte lateral do antepé.

### 2.2.3 Protocolo de Avaliação

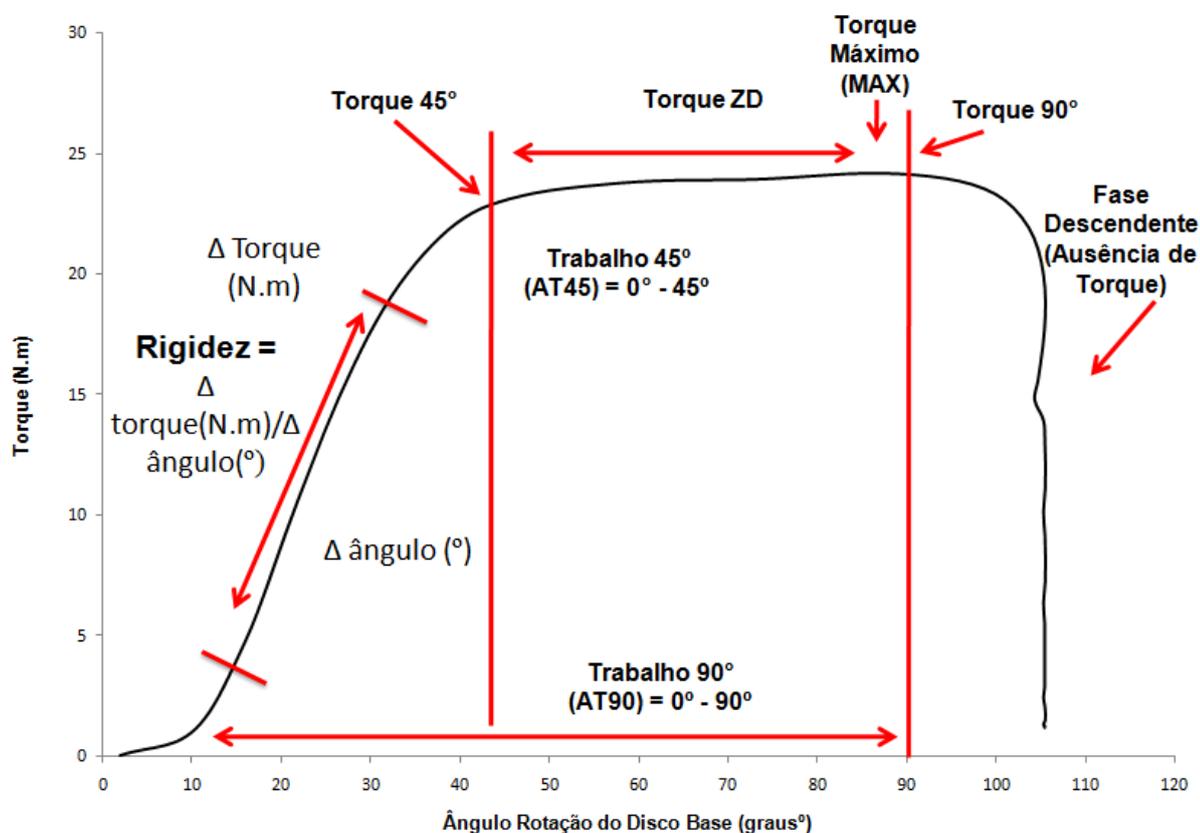
Visando avaliar a variabilidade das medições de torque, as coletas foram realizadas em dois dias distintos, Dia 1 e Dia 2, com intervalo de sete dias. No Dia 1 foram coletadas 10 curvas de torque em sequência. O tempo entre cada coleta era o suficiente apenas para reposicionar o disco e ajustar/ajeitar/arrumar/acomodar o gramado abaixo da chuteira. A partir destas 10 medições foram avaliadas as possibilidades de reunir as curvas em médias de subconjuntos de medidas com: dois resultados consecutivos, três resultados consecutivos, quatro resultados consecutivos, cinco resultados consecutivos e dez resultados consecutivos. Os menores coeficientes de variabilidade foram obtidos com a média de 05 repetições, para a maioria das variáveis analisadas. Assim, para análise da confiabilidade das variáveis analisadas foram utilizados três subconjuntos de medidas: Subconjunto 1, calculado como a média dos valores oriundos das 5 primeiras repetições consecutivas (Dia 1); Subconjunto 2, calculado como a média dos valores oriundos das 5 últimas repetições consecutivas (Dia 1); e Subconjunto 3, calculado como a média dos valores oriundos das repetições consecutivas do Dia 2.

A partir da curva de torque em função do ângulo do disco-base, foram extraídas as seguintes variáveis representativas da interação do solado do calçado com a superfície: o valor máximo de torque (MAX), o valor de torque em 45° de rotação do disco, correspondente ao final da fase ascendente (Torque 45), torque na zona de deslizamento, sendo essa parte mais estável da curva, representativa do deslizamento mais constante da chuteira sobre o gramado, calculada como a média do torque entre 45° e 90° de rotação do disco (Torque ZD), valor de torque em 90°, sendo este valor correspondente ao torque quando o disco está em 90° de rotação (Torque 90), o trabalho até 45°, sendo calculado pela área abaixo da curva de torque até 45° (AT45), o trabalho até 90°, sendo calculado pela área abaixo da curva de torque até 90° (AT90). Também foi obtida a rigidez (BALLAL et al., 2014), calculada a partir da região mais linear da curva, entre 10° e 30° (Figura 2.3). Estas variáveis foram consideradas representativas da interação entre o solado da chuteira e a superfície.

Além das variáveis extraídas da curva de torque, também foram monitoradas duas variáveis para controle do sistema: ângulo da chuteira e velocidade angular do disco-base. O ângulo da chuteira foi dado pela angulação entre uma linha formada pelos dois marcadores da chuteira e o eixo X (eixo horizontal) do sistema de coordenadas global do

laboratório. Para fins de análise o ângulo da chuteira foi representado pelo seu valor máximo no entre 30° e 45° de rotação do disco-base. O ângulo do disco-base foi determinado pela angulação entre uma linha formada pelos dois marcadores do disco-base e o eixo Z (eixo horizontal) do sistema de coordenadas global do laboratório. A velocidade angular foi obtida a partir da primeira derivada do ângulo do disco-base em função do tempo. Para fins de análise, a velocidade angular do disco-base foi considerada no instante em que o ângulo da chuteira atingiu seu ponto máximo.

**Figura 2.3** – Curva de torquee os respectivos pontos que foram extraídos para análise.



Tratando-se de um estudo de confiabilidade (*reliability*), o tamanho da amostra foi calculado de acordo com Walter et al.(1998), assumindo que o valor da hipótese nula do Coeficiente de Correlação Intraclassa (ICC) é de 0,30 (ou seja, qualquer valor menor que 0,30 pode ser considerado "inaceitável"); 80% do poder e um nível de significância de 95% para detectar um valor de ICC de pelo menos 0,80, foi encontrado um n de 11,4. Assim, 11 modelos de chuteiras foram avaliados (Tabela 2.1), todos eles da mesma numeração:

40 (BRA). A ordem de avaliação foi definida por sorteio. Uma carga de 300 N foi aplicada no eixo do equipamento, e uma carga de 350 N foi utilizada para tracionar o disco-base.

#### 2.2.4 Análise e Processamento dos Dados

Para os dados cinéticos foi utilizada uma taxa de aquisição de 1000 Hz e para os dados cinemáticos 100 Hz. Um filtro passa-baixa *Butterworth* de quarta ordem, com frequência de corte de 10 Hz foi utilizado para suavização dos sinais, tanto da célula de carga quanto da cinemetria com o intuito de eliminar possíveis ruídos.

Os dados cinéticos e cinemáticos foram coletados simultaneamente, com uso do *software BTS Smart-Capture (BTS Bioengineering, ITA)*. Após coleta os dados foram analisados e processados no *software BTS Smart Analyser (BTS Bioengineering, ITA)*.

#### 2.2.5 Confiabilidade

Destacamos primeiramente, que pelo fato deste presente estudo ser do tipo de confiabilidade, seguiu-se o modelo de elaboração conforme o GRRAS (*Guideline for Reporting Reliability and Agreement Studies*).

A repetibilidade é uma condição de medição em que o mesmo procedimento de medição é realizado consecutivamente, considerando as mesmas condições (avaliador, sistema de medição, etc.) com medições replicadas em um curto período de tempo (WEIR, 2005). Para repetibilidade, foram considerados dois subconjuntos de medidas: subconjunto 1 e subconjunto 2, ambos realizados no Dia 1. Para avaliar a repetibilidade, foi utilizado um teste-t, para comparar a diferença entre os dois subconjuntos; o erro RMS (*Root Mean Square*) para quantificar a diferença entre os subconjuntos; o Coeficiente de Correlação Intraclasse – ICC<sub>1,2</sub> (aleatório unidirecional, duas situações) para avaliar a consistência entre os subconjuntos; o SEM (*Standard Error of Measurement*) que fornece um índice absoluto de confiabilidade; e o MDC (*Minimal Detectable Change*) que determina a mínima diferença entre os subconjuntos que não pode ser atribuída ao acaso (WEIR, 2005).

O SEM foi estimado com base na Equação 1, onde SD é o desvio padrão das medidas. O MDC foi estimado com base em um intervalo de confiança de 95%, conforme a Equação 2. A classificação de Munro (2005) foi adotada para interpretar os valores de ICC dos coeficientes de confiabilidade, nos quais: 0,26 a 0,49 refletem baixa correlação; 0,50 a 0,69 refletem correlação moderada; 0,70 a 0,89 refletem alta correlação; e 0,90 a 1,00 indica correlação muito alta.

$$SEM = SD * (\sqrt{1 - ICC}) \quad \text{Equação (1)}$$

$$MDC = 1,96 * SEM \quad \text{Equação (2)}$$

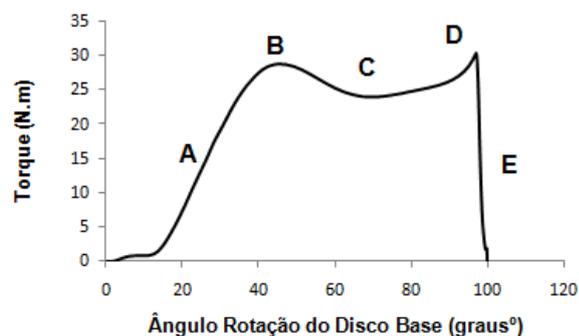
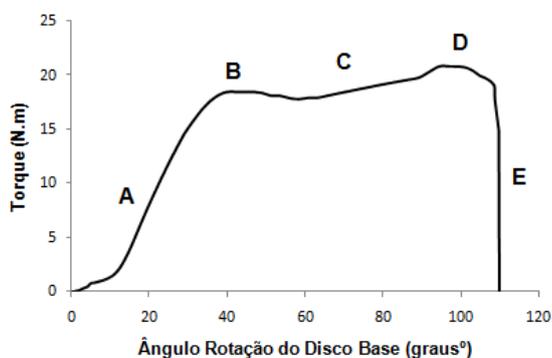
A reprodutibilidade no tempo reflete a precisão dos dados medidos em dois ou mais ensaios, com o mesmo sistema de medição e medições replicadas com um intervalo de pelo menos de 24h (BALAZS, 2008). Para a reprodutibilidade no tempo, foram consideradas dois subconjuntos de medidas: subconjunto 1 (Dia 1) e subconjunto 3 (Dia 2). A reprodutibilidade das medidas foi avaliada por meio do teste-t, do erro RMS, ICC, SEM e do MDC.

### 2.3 RESULTADOS

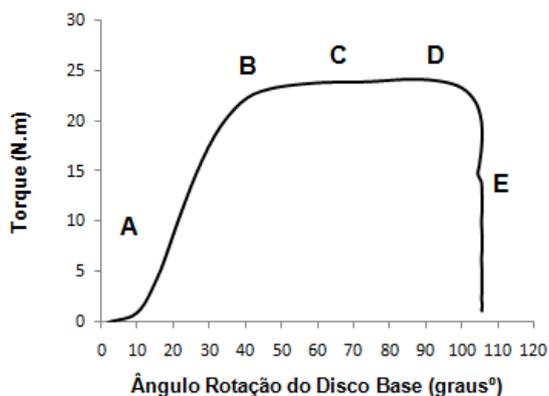
A forma da curva de torque variou entre as chuteiras e entre as tentativas, apresentando alguns padrões: I – Pico de torque bem definido no final, próximo aos 90°; II – Pico de torque bem definido no início, próximo aos 45°; III – Platô pico de torque não definido (Figura 2.4).

**Figura 2.4** – Exemplo dos diferentes padrões de curva encontrados.

- I) Pico de torque bem definido no final      II) Pico de torque bem definido no início



### III) Platô pico de torque não definido



Fases da curva de torque:

- A) Fase ascendente
- B) Região final da fase ascendente, região do pico de torque inicial (Torque 45°)
- C) Zona de deslizamento, entre 45 e 90°
- D) Região final da zona de deslizamento, região do torque final (90°)
- E) Fase descendente da força, sem aplicação de força de tração sobre o disco-base

Todas as curvas apresentaram uma fase ascendente (A), que finalizava entre 30° e 45° graus de rotação do disco-base. Após a fase ascendente, havia uma região intermediária, zona de deslizamento (C), que podia ser crescente, decrescente ou mais ou menos estável, entre 45 e 90° de rotação do disco-base. Após os 90° de rotação do disco-base, a tração sobre o disco-base cessava, levando a região descendente (E).

No que se refere às variáveis de controle do sistema (ângulo da chuteira e velocidade angular do disco base), não houve diferença estatística entre os subconjuntos 1 e 2, tampouco entre os subconjuntos 1 e 3. Os altos valores de ICC, assim como os baixos valores de SEM, MDC e do erro RMS confirmam a repetibilidade e reprodutibilidade do sistema (Tabela 2.2).

Para ambas as análises, Repetibilidade e Reprodutibilidade, não houve diferenças significativas entre as medidas. No que se refere a repetibilidade das variáveis que caracterizam a interação do solado com a superfície, todas tiveram um ICC muito alto (> 0,9), apresentando baixos valores de SEM, MDC e RMS (Tabela 2.2).

**Tabela 2.1** – Características das chuteiras utilizadas

Chuteiras	Tipo	Material	Geometria	Região	Nº Travas	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Distância das Travas
C01	FG	PVC	Circular	Antepé	10	10	10	25
				Retropé	4	15	10	25
C02	FG	TPU70	Mista	Antepé	7	10	15/10	22/30
				Retropé	4	13	15/10	25
C03	TF	BOR	Retangular	Antepé	28	4	±10	±10
				Retropé	18	4	±15	±10
C04	SG	TPU70	Circular	Antepé	6	15	6	35
				Retropé	2	18	6	-
C05	HG	BOR	Circular	Antepé	6	7	8	40/35
				Retropé	4	10	11	27
C06	FG	TPU70	Mista	Antepé	8	7	9/12	31
				Retropé	4	7	9/12	28
C07	FG	TPU70	Triangular	Antepé	8	9	13	30
				Retropé	4	12	13	27
C08	FG	TPU70	Triangular	Antepé	7	10	10	31
				Retropé	4	13	10	28
C09	FG	TPU70	Circular	Antepé	10	8	8	21
				Retropé	4	10	12	21
C10	HG	TPU70	Circular	Antepé	6	8	25/20	36/27
				Retropé	4	8	20	35
C11	TF	BOR	Triangular	Antepé	60	4	4	4
				Retropé	30	4	4	4

**Tabela 2.2** – Avaliação da confiabilidade das variáveis do sistema.

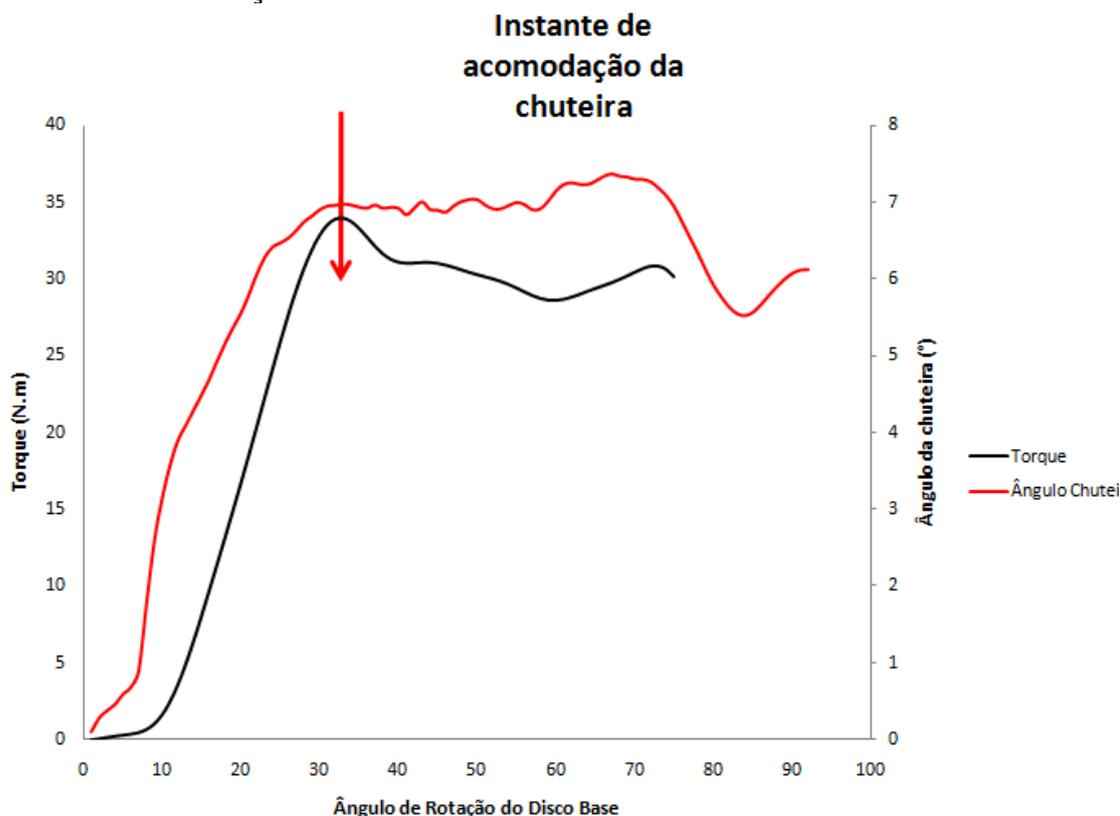
Variáveis de Controle		Sub-conjunto 1	Sub-conjunto 2	Teste t	p	Erro RMS	ICC	SEM	MDC
Repetibilidade	*Angulo da Chuteira (°)	7,2 (±2,6)	7,2 (±2,6)	0,030	0,976	2,0	0,845	1,1	2,1
	*Velocidade Angular do Disco (°/s)	219,9 (±32,5)	216,1 (±32,2)	0,876	0,402	14,3	0,948	7,2	14,1
	MAX (N.m)	27,9 (±4,2)	27,6 (±3,9)	1,107	0,294	0,8	0,991	0,4	0,8
	Torque 45° (N.m)	25,0 (±4,1)	24,5 (±4,1)	0,826	0,428	0,9	0,990	2,4	4,8
	Torque ZD (N.m)	24,5 (±5,0)	24,2 (±5,2)	0,380	0,712	0,7	0,993	2,0	4,0
	Torque 90° (N.m)	23,7 (±5,4)	22,7 (±5,6)	1,863	0,092	1,1	0,991	2,2	4,3
	Rigidez (N.m/deg)	0,83 (±0,2)	0,81 (±0,2)	0,191	0,853	0,1	0,962	0,2	0,3
	AT45 (Nm.º)	2,8 (±0,5)	2,8 (±0,8)	0,869	0,405	0,3	0,958	0,6	1,1
	AT90 (Nm.º)	8,94 (±2,4)	9,22 (±2,8)	1,081	0,305	0,9	0,973	0,4	0,8
		Sub-conjunto 1	Sub-conjunto 3						
Reprodutibilidade	*Angulo da Chuteira (°)	7,2 (±2,6)	7,8 (±3,3)	0,922	0,378	2,4	0,807	1,3	2,5
	*Velocidade Angular do Disco (°/s)	219,9 (±32,5)	230,9 (±25,8)	2,077	0,064	20,1	0,901	9,2	18,0
	MAX (N.m)	27,9 (±4,2)	29,1 (±4,6)	-2,213	0,051	2,0	0,970	0,9	1,7
	Torque 45° (N.m)	23,8 (±4,1)	24,9 (±4,1)	0,440	0,669	1,5	0,968	4,4	8,5
	TorqueZD (N.m)	25,2 (±4,6)	24,5 (±5,0)	1,189	0,262	1,9	0,959	5,0	9,8
	Torque 90° (N.m)	25,4 (±5,3)	23,7 (±5,4)	2,080	0,170	2,3	0,970	4,2	8,3
	Rigidez (N.m/deg)	0,85 (±0,1)	0,83 (±0,1)	0,315	0,760	0,1	0,934	0,2	0,4
	AT45 (Nm.º)	2,74 (±0,5)	2,8 (±0,5)	1,096	0,086	0,4	0,916	0,8	1,6
	AT90 (Nm.º)	8,94 (±2,4)	8,31 (±2,4)	1,671	0,126	1,3	0,920	2,4	4,7

Legenda: \*Variáveis controle do sistema, monitoramento para que as condições de teste permaneçam semelhantes em todas as condições

## 2.4 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a confiabilidade de um sistema para medir a interação entre a sola do calçado e a superfície, em um movimento simulado de mudança de direção. A ausência de diferença estatística entre as sessões de avaliação, os altos valores de ICC, e os baixos valores de SEM e MDC indicam uma boa confiabilidade do sistema. O ângulo da chuteira e a velocidade angular do disco são dependentes de características do sistema e/ou da configuração utilizada. O ângulo da chuteira não deveria variar, pois o calçado deveria permanecer imóvel enquanto o disco-base gira. Entretanto, foi observada uma pequena variação do ângulo da chuteira em torno de  $8^\circ$  no início do movimento do disco-base. Estima-se que essa variação possa ser associada a uma eventual acomodação da chuteira sobre o gramado. Quando o disco-base atingia um ângulo em torno de  $30^\circ$  a variação angular da chuteira cessava (Figura 2.5).

**Figura 2.5**– Acomodação da chuteira sobre o disco-base.



Baseados no valor do MDC de  $2,1^\circ$  (Tabela 2.2), é possível estabelecer um intervalo de confiança para o ângulo da chuteira, para medidas realizadas no mesmo dia. Assim, valores inferiores a  $5,1^\circ$  ou superiores a  $9,3^\circ$  podem ser considerados

atípicos. Neste caso, ângulos da chuteira fora deste intervalo indicam que houve alguma alteração significativa no sistema, e as medidas devem ser consideradas com cautela, ou mesmo descartadas.

A velocidade angular do disco-base é dependente tanto do atrito entre a chuteira e a superfície como da quantidade de carga que foi utilizada para tracionar o disco. Como foi utilizada sempre a mesma carga para tracionar o disco-base (350 N) a velocidade angular manteve valores similares entre as sessões de avaliação.

Dentre as variáveis que caracterizaram as chuteiras, o valor do torque máximo (MAX) foi o que apresentou mais alto ICC, com reduzidos valores de SEM e MDC, tanto em relação as sessões de avaliação da repetibilidade como da reprodutibilidade. O nível de compactação no gramado e a variabilidade de como ocorre a interação das travas com a grama sintética parecem ser os maiores responsáveis pelas diferenças encontradas entre as medições (FLEMING, 2011; WANNOP et al., 2019). Thomson et al. (2019), também encontraram bons resultados de ICC, SEM e MDC para o pico máximo de torque. Vale ressaltar que o estudo de Thomson, é o único a trazer os valores de SEM e MDC, ainda assim, os resultados se limitam apenas a repetibilidade, não trazendo os dados com respeito a variações da medida em dias diferentes. As variáveis Torque 45 e Torque 90 também apresentaram bons resultados em todas as sessões de avaliação, assim com a variável Torque ZD, todas com ICC > 0,90, e baixos valores de SEM, MDC e RMS. Considerando que estas variáveis representam o mesmo fenômeno, o valor do torque máximo (MAX) parece ser a escolha natural para representar a interação entre o calçado e a superfície durante o teste, corroborando com outros estudos que também tinham como objetivo avaliar a interação calçado e superfície (FLEMING, 2011; LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS, 1996; THOMSON et al., 2019; VILLWOCK et al., 2009b; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Mas cabe ressaltar o bom desempenho das demais variáveis analisadas, podendo ser levado em consideração em futuras análises para comparação dentre as diferentes configurações de chuteiras.

Outros trabalhos que apresentaram os dados de confiabilidade, também avaliaram apenas o pico máximo de torque, sendo que apresentaram confiabilidade baixa ou média (HEIDT JR et al., 1996; SMEETS et al., 2012). Heidt et al (1996), avaliaram tanto o torque translacional como rotacional, com melhores correlações para o torque translacional 0,85, enquanto para rotacional o coeficiente ficou em

torno de 0,55. Entretanto, cabe ressaltar que o índice utilizado para avaliação da confiabilidade foi coeficiente de correlação produto momento de Pearson ( $r$ ), e não o ICC, indicado nesta situação de comparação de medidas de mesma natureza, e oriundas de um mesmo processo de medição (FIELD, 2009). Wannop et al. (2019), também avaliaram a interação rotacional e translacional, em que a translacional obteve um ICC moderado (0,80) e o rotacional ICC alto (0,94). Neste estudo os autores fizeram o teste de reprodutibilidade em dias diferentes, mas não falam o tempo de espera para nova medida, assim como não apresentam os dados de SEM e MDC.

Outra variável a apresentar valores de ICC muito altos e baixos valores de SEM e MDC e RMS foi a rigidez. Essa variável é calculada pela relação do torque pelo ângulo de rotação da chuteira com a superfície, fornecendo a taxa de torque para cada grau de rotação. Em termos gerais significa que para cada grau de rotação, existe um mínimo de torque que é necessário para execução do movimento, sendo que quanto maior a rigidez, maior a resistência oferecida pela interação calçado superfície (BALLAL et al., 2014; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006). Do ponto de vista de confiabilidade da medida, nenhum estudo trouxe dados a respeito dessa variável. Um dos aspectos importantes a ser considerado sobre essa variável é a forma como é calculada que variou dentre os estudos (BALLAL et al., 2014; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006; VILLWOCK et al., 2009b), Livesay et al. (2006), foram os primeiros a relatar a rigidez como uma variável importante a ser medida, em seu trabalho a rigidez foi calculada no trecho inicial de 2 a 10 graus de rotação da chuteira, considerada por ele a região mais linear. Contudo, Villwock et al. (2009b), identificaram que o cabedal do calçado gerava um movimento que atrapalhava o início da curva de torque, além de que diferentes superfícies provocavam alterações no comportamento da curva. Sendo assim, para tentar abranger as diferenças entre as condições, ele calculou a rigidez assumindo um torque inicial mínimo de 3 Nm e o final em 75% do torque máximo. No presente estudo a rigidez foi calculada como sendo o trecho mais linear da curva torque x ângulo (Figura 03), que correspondeu a região entre 10 e 30 graus de rotação do disco-base (BALLAL et al., 2014). Cabe salientar que, a maioria das lesões de não contato que ocorre no futebol está associada ao instante inicial do apoio, fase onde há uma alteração brusca no estímulo mecânico externo (DE OLIVERA; ONODERA; LA TORRE, 2019; GEHRING et al., 2007).

Nas sessões de avaliação de repetibilidade e reprodutibilidade, ambas as variáveis, AT45 e AT90 apresentaram altos valores de ICC com baixos valores de SEM e MDC, indicando que ambas podem ser utilizadas para representar a interação entre a chuteira e a superfície. A área sob a curva, representada pelas variáveis AT45 e AT90, está associada ao trabalho ( $W = \text{Torque} \times \Delta\text{angular}$ ). Assim, a variável AT45 pode ser utilizada para expressar o “trabalho durante a fase inicial do movimento de rotação”, enquanto a variável AT90 representa o trabalho ao longo de todo teste. Considerando que a amplitude angular foi fixada, um maior ou menor trabalho expresso pelas variáveis TA45 e TA90 será consequência de um maior ou menor torque, em média, durante os primeiros 45° ou ao longo de todo o teste, respectivamente.

Este estudo apresenta algumas limitações. Uma delas se refere a força de tração utilizada, que foi fixada em 350 N e não sofreu alterações ao longo do estudo. Valores maiores desta força deverão levar a maiores velocidades e acelerações angulares entre o calçado e a superfície. De forma similar, uma única força de 300 N foi aplicada no eixo, sendo esta força inferior ao peso médio de um adulto. Valores diferentes destas forças deverão levar a distintos valores das variáveis analisadas. Cabe ressaltar que, embora combinações diferentes destas forças não tenham sido estudadas, a expectativa é que sua influência seja maior no valor absoluto das variáveis analisadas, e não das na confiabilidade das medições, tendo em vista que as forças de contato tendem a possuir um comportamento linear como resposta a carga aplicada, como já foi demonstrado em estudos anteriores (SERENSITS; MCNITT, 2014; TORG; QUEDENFELD; LANDAU, 1974; WANNOP; STEFANYSHYN, 2012).

## 2.5 CONCLUSÃO

O equipamento mostrou ser uma ferramenta confiável para medir a interação do solado do calçado com a superfície. Sugere-se as variáveis torque máximo, rigidez, área da curva até 45° e área da curva até 90° para descrever a interação entre a chuteira e a superfície de contato.

## REFERÊNCIAS ARTIGO 1

- BALAZS, A. International vocabulary of metrology-basic and general concepts and associated terms. **Chemistry International**, p. 20–1, 2008.
- BALLAL, M. S. et al. Rotational and peak torque stiffness of rugby shoes. **Foot (Edinburgh, Scotland)**, v. 24, n. 3, p. 107–110, set. 2014.
- BARRY, B.; MILBURN, P. Tribology, friction and traction: understanding shoe-surface interaction. **Footwear Science**, v. 5, n. 3, p. 137–145, 2013.
- BISESTI, B. A. et al. Comparison of Knee Moments and Landing Patterns During a Lateral Cutting Maneuver: Shod Vs. Barefoot. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 29, n. 11, p. 3075–3078, 2015.
- DE OLIVERA, W. R.; ONODERA, A. N.; LA TORRE, M. Influence of Cleat Design on Knee Joint Moments During Cutting Maneuver and Instep Kick in Soccer. **Muscles, Ligaments and Tendons Journal**, v. 9, n. 3, 2019.
- DE SA, D. et al. All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction - A Systematic Review of Techniques, Outcomes, and Complications. **Journal of Knee Surgery**, v. 31, n. 9, p. 895–904, 2018.
- FIELD, A. **Descobrimos a Estatística Usando o SPSS-5**. [s.l.] Penso Editora, 2009.
- FLEMING, P. Artificial turf systems for sport surfaces: Current knowledge and research needs. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 225, n. 2, p. 43–64, 2011.
- GEHRING, D. et al. Effect of soccer shoe cleats on knee joint loads. **International journal of sports medicine**, v. 28, n. 12, p. 1030– 034, 2007.
- GOONETILLEKE, R. S. **The science of footwear**. [s.l.] CRC Press, 2012.
- HEIDT JR, R. S. et al. Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 6, p. 834–842, 1996.
- LAMBSON, R. B.; BARNHILL, B. S.; HIGGINS, R. W. Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries: a three-year prospective study. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 2, p. 155–159, 1996.
- LEE, Y. H. D.; KURODA, R.; CHAN, K. M. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 2015 global perspective of the Magellan Society. **Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology**, v. 2, n. 4, p. 122–128, 2015.
- LIVESAY, G. A.; REDA, D. R.; NAUMAN, E. A. Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface: the effect of shoe type and playing surface. **The American journal of sports medicine**, v. 34, n. 3, p. 415–422, 2006.
- MUNRO, B. H. **Statistical methods for health care research**. [s.l.] lippin cott williams & wilkins, 2005. v. 1

SERENSITS, T. J.; MCNITT, A. S. Comparison of rotational traction of athletic footwear on varying playing surfaces using different normal loads. **Applied Turf grass Science**, v. 11, n. 1, 2014.

SILVA, D. C. et al. Influence of cleats-surface interaction on the performance and risk of injury in soccer: a systematic review. **Applied bionics and biomechanics**, v. 2017, 2017.

SMEETS, K. et al. Torsional injuries of the lower limb: an analysis of the frictional torque between different types of football turf and the shoe outsole. **Br J Sports Med**, v. 46, n. 15, p. 1078–1083, 2012.

THOMSON, A. et al. Six different football shoes, one playing surface and the weather; Assessing variation in shoe-surface traction over one season of elite football. **Plo one**, v. 14, n. 4, p. e0216364, 2019.

TORG, J. S.; QUEDENFELD, T. C.; LANDAU, S. The shoe-surface interface and its relationship to football knee injuries. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 5, p. 261–269, 1974.

VILLWOCK, M. R. et al. The effects of various infills, fibre structures, and shoe designs on generating rotational traction on an artificial surface. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 223, n. 1, p. 11–19, 2009a.

VILLWOCK, M. R. et al. Football playing surface and shoe design affect rotational traction. **The American journal of sports medicine**, v. 37, n. 3, p. 518–525, 2009b.

WALTER, S. D.; ELIASZIW, M.; DONNER, A. Sample size and optimal designs for reliability studies. **Statistics in medicine**, v. 17, n. 1, p. 101–110, 1998.

WANNOP, J. W. et al. Influence of the composition of artificial turf on rotational traction and athlete biomechanics. **Journal of sports sciences**, p. 1–8, 28 mar. 2019.

WANNOP, J. W.; LUO, G.; STEFANYSHYN, D. J. Footwear traction and lower extremity non contact injury. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 45, n. 11, p. 2137–2143, nov. 2013.

WANNOP, J. W.; STEFANYSHYN, D. J. The effect of normal load, speed and moisture on footwear traction. **Footwear Science**, v. 4, n. 1, p. 37–43, 2012.

WANNOP, J. W.; STEFANYSHYN, D. J. The effect of translational and rotational traction on lower extremity joint loading. **Journal of sports sciences**, v. 34, n. 7, p. 613–620, 2016.

WANNOP, J. W.; WOROBEYS, J. T.; STEFANYSHYN, D. J. Footwear traction and lower extremity joint loading. **The American journal of sports medicine**, v. 38, n. 6, p. 1221–1228, 2010.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231–240, 2005.

## CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2

### A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CHUTEIRAS E DA LOCALIZAÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE INTERAÇÃO DO SOLADO COM A SUPERFÍCIE

#### RESUMO

**Introdução:** A chuteira é um tipo de calçado utilizado principalmente em esportes de grama, sendo o futebol o principal deles. O objetivo da chuteira é através de suas travas, prover resistência o suficiente na interação com a superfície, para gerar estabilidade e o atleta não sofrer quedas. Contudo, também deve-se ter cuidado para que essa resistência não seja alta demais a ponto de aumentar o risco de lesão, principalmente nos movimentos rotacionais, como a mudança de direção. Além disso, variações no movimento de mudança de direção devem ser consideradas, devido a variabilidade de execução intra-sujeito e inter-sujeito. **Objetivo:** Avaliar a resistência da interação de diferentes chuteiras e a superfície, bem como a influência da localização do eixo de rotação e sua interação com diferentes chuteiras. **Métodos:** Foi utilizado para avaliação o equipamento proposto no estudo anterior (artigo 1), seguindo mesmo protocolo de avaliação e analisadas as seguintes variáveis: Torque máximo (MAX), rigidez e trabalho angular total (AT90). Foram avaliadas 11 chuteiras, sendo realizadas 10 medições para cada uma das chuteiras em duas posições do eixo de rotação, no retropé e em mediopé, totalizando um  $n = 220$ . Para análise foi utilizada uma ANOVA *two-way*, considerando como fator a chuteira (11 níveis) e o eixo de rotação (2 níveis). Para posterior comparação entre as condições foi realizado um post-hoc com correção de *Bonferroni*. Para todas análises foi considerado como significativo um  $p < 0,05$ . **Resultados:** O eixo de rotação no mediopé apresentou maior torque máximo (MAX) e trabalho (AT90), para todas as chuteiras, enquanto a rigidez foi dependente do tipo de chuteira utilizada. A chuteira com trava circular e material rígido, foi a que apresentou maior torque máximo independente do eixo. Enquanto a chuteira mista com travas altas e material rígido, apresentou maiores valores de rigidez e trabalho (AT90). **Conclusão:** O eixo de rotação no mediopé aumenta substancialmente os valores de torque máximo e trabalho, quando comparado ao retropé. Os valores de rigidez são mais sensíveis ao tipo de chuteira.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A popularidade mundial do futebol faz com que alto investimento em equipamentos esportivos seja realizado pela indústria, tanto do ponto de vista de moda quando voltado para melhora da *performance* e proteção contra lesões (GOONETILLEKE, 2012; HENNIG, 2011). Um desses equipamentos é a chuteira, que é considerada o equipamento mais importante para prática do futebol, pois tem como principal função dar estabilidade ao atleta, aumentando assim sua proteção contra quedas e conseqüentemente diminuindo o risco de lesões (HENNIG, 2011).

Grande parte da estabilidade fornecida pela chuteira se deve ao seu solado, que possui travas, que tem como principal função penetrar na superfície aumentando a força de atrito (SMEETS et al., 2012; THOMSON et al., 2019). Essa força de atrito entre o solado e o gramado varia quanto ao nome dado na literatura, mas existe um consenso entre alguns autores que a chamam de tração ou torque (BARRY; MILBURN, 2013; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Esse torque pode ser dividido do ponto de vista funcional, como translacional ou rotacional, sendo o translacional correspondente à resistência no plano sagital, enquanto o rotacional é correspondente à resistência no plano frontal (WANNOP; STEFANYSHYN, 2016).

Ao mesmo tempo em que é importante um elevado torque translacional para impulsionar de forma segura o atleta durante uma corrida, por exemplo, o torque rotacional não pode ser excessivo devido ao risco de lesões de não-contato. O mecanismo dessa lesão possui um padrão bem estabelecido que é quando ao girar o corpo de forma repentina para mudar a direção de deslocamento, o pé fica fixado no chão pela chuteira, enquanto que as demais articulações como o tornozelo, joelho e quadril acabam sofrendo grandes esforços de torção, aumentando as chances de lesão (LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS, 1996; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006b; TORG; QUEDENFELD; LANDAU, 1974). Entretanto, até o presente momento, não há na literatura valores de referência que possam ser utilizados para caracterizar a resistência entre o solado e a superfície.

Alguns trabalhos em diferentes esportes se propuseram a avaliar essa resistência de interação ao longo das últimas décadas (BALLAL et al., 2014; GALBUSERA et al., 2013; LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS, 1996; TORG; QUEDENFELD; LANDAU, 1974; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Apesar de possuir um bom número de trabalhos que tenham avaliado o torque de diferentes

calçados esportivos, poucos levam em consideração toda a chuteira, sendo normalmente limitados a testar travas isoladamente, ou pedaços do solado. Esta abordagem, embora tenha vantagens na sua execução, limita a interpretação dos resultados, tendo em vista que calçados não seguem as leis de atrito (KENT et al., 2015; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006b; WANNOP; STEFANYSHYN, 2016). Além disso, como as chuteiras possuem diferentes números de travas no antepé e calcanhar, a mudança do eixo de rotação pode alterar a resistência de contato. Desse modo este presente estudo tem como principal objetivo avaliar a resistência da interação de diferentes solados de chuteira e a superfície bem como a influência da localização do eixo de rotação e sua interação com diferentes chuteiras. Nossa hipótese é que exista diferença entre os diferentes solados independentemente da localização do eixo de rotação, e que o eixo de rotação deslocado mais para parte anterior, apresenta uma resistência maior.

### 3.2 METODOS

Foram utilizadas para avaliação 11 chuteiras com diferentes configurações de solado (Tabela 3.1). A resistência exercida na interação de diferentes solados de calçados com a superfície foi avaliada com equipamento específico (Oliveira et. al., 2020). Como superfície de contato foi utilizado um gramado artificial do tipo REAL GAME (GRUPO PLACAR, São Paulo, BRA) em monofilamento com altura de 52 mm. Sobre a superfície foram distribuídos grânulos de borracha com espessura de 1 a 3 mm, na proporção de 10 kg/m<sup>2</sup> de borracha, conforme orientação do fabricante e recomendações da Federação Internacional de Futebol (FIFA). Foram utilizadas duas formas para simular pé humano com diferentes posições do eixo de rotação (Figura 3.1). A medição do torque máximo, rigidez e da área sobre a curva, seguiram as recomendações de Oliveira et al (2020).

Foram realizadas 10 medições para cada condição de calçado em cada um dos eixos de rotação (Retropé e Mediopé) totalizando um n = 220 medições. Para todas medidas foram extraídos os valores de pico de torque máximo referente ao maior valor de torque medido pela célula de carga para cada chuteira independente do instante de ocorrência (MAX), rigidez correspondente ao torque necessário para cada grau de rotação, medido na região mais linear no trecho inicial da curva de torque, de 10° a 30° graus de rotação e Trabalho total angular referente à área da curva de torque de 0° a 90° de rotação (AT90).

**Tabela 3.1** – Características das travas das chuteiras utilizadas.

Chuteiras	Tipo	Material	Características Geométricas	Região	Nº Travas	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Distância entre Travas (mm)
C01	FG	PVC	Circular	Antepé	10	10	10	25
				Retropé	4	15	10	25
C02	FG	TPU70	Mista	Antepé	7	10	15/10	22/30
				Retropé	4	13	15/10	25
C03	TF	BOR	Retangular	Antepé	28	4	±10	±10
				Retropé	18	4	±15	±10
C04	SG	Alumínio	Circular	Antepé	6	15	6	35
				Retropé	2	18	6	-
C05	HG	BOR	Circular	Antepé	6	7	8	40/35
				Retropé	4	10	11	27
C06	FG	TPU70	Mista	Antepé	8	7	9/12	31
				Retropé	4	7	9/12	28
C07	FG	TPU70	Triangular	Antepé	8	9	13	30
				Retropé	4	12	13	27
C08	FG	TPU70	Triangular	Antepé	7	10	10	31
				Retropé	4	13	10	28
C09	FG	TPU70	Circular	Antepé	10	8	8	21
				Retropé	4	10	12	21
C10	HG	BOR	Meia Lua	Antepé	6	8	25/20	36/27
				Retropé	4	8	20	35
C11	TF	BOR	Circular	Antepé	60	4	4	4
				Retropé	30	4	4	4

**Figura 3.1** – Equipamento de medição e Forma utilizada.

a) Vista superior da forma com eixo de Rotação no Retropé



b) Vista superior da forma com eixo de Rotação Mediopé



### 3.2.1 Análise Estatística

Para verificar o efeito da localização do centro de rotação no torque exercido por cada chuteira, bem como as diferenças entre cada chuteira, foi empregada uma ANOVA *Two-Way*, com fator posição do eixo (dois níveis: Retropé x Mediopé) e Chuteira (11 níveis, correspondentes as 11 diferentes solados). Para posterior identificação das diferenças bem como a interação de cada fator, foi realizado um teste *post hoc* com correção de *Bonferroni*. Para fins de significância estatística usou-se um  $p < 0,05$ .

### 3.3 RESULTADOS

A posição do eixo de rotação mostrou influenciar significativamente o valor máximo de torque (MAX) [(F(1,198)= 887,4,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,82$ )] e o trabalho (AT90) [(F(1,198) = 127,6,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,39$ )], além disso, existe uma interação entre posição do eixo de rotação e tipo de chuteira, tanto para valor máximo de torque [(F(10,198) = 11,9,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,38$ )] como para trabalho [(F(10,198) = 3,9,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,17$ )], indicando que, embora os maiores valores estejam associados ao eixo no mediopé, isto não necessariamente acontece para todas as chuteiras (Figura 3.2).

Por outro lado, a posição do eixo de rotação não influenciou significativamente o valor da rigidez [(F(1,198) = 0,651,  $p = 0,420$ ,  $\eta^2 = 0,00$ )], além de haver uma interação significativa entre o eixo de rotação e as chuteiras [(F(10,198) = 16,1,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,45$ )], mostrando que a maior rigidez rotacional não está apenas relacionada à localização do eixo de rotação, mas depende também do tipo de chuteira que está sendo avaliada.

As chuteiras C02, C07 e C09, quando o eixo de rotação está no retropé, foram as que apresentaram maiores valores de pico máximo de torque (MAX), quando comparado as demais. Na extremidade oposta, as chuteiras C03 e C11, foram as que tiveram menores valores de pico máximo de torque (MAX). Já quando o eixo de rotação estava no mediopé, as chuteiras C09 e C02, mantiveram-se como sendo as que possuem o maior pico máximo de torque (MAX), enquanto a C03 continuou sendo a com menor valor de pico de torque.

**Tabela 3.2** - Média e desvio padrão das condições de teste chuteiras e eixo de rotação para cada uma das variáveis analisadas.

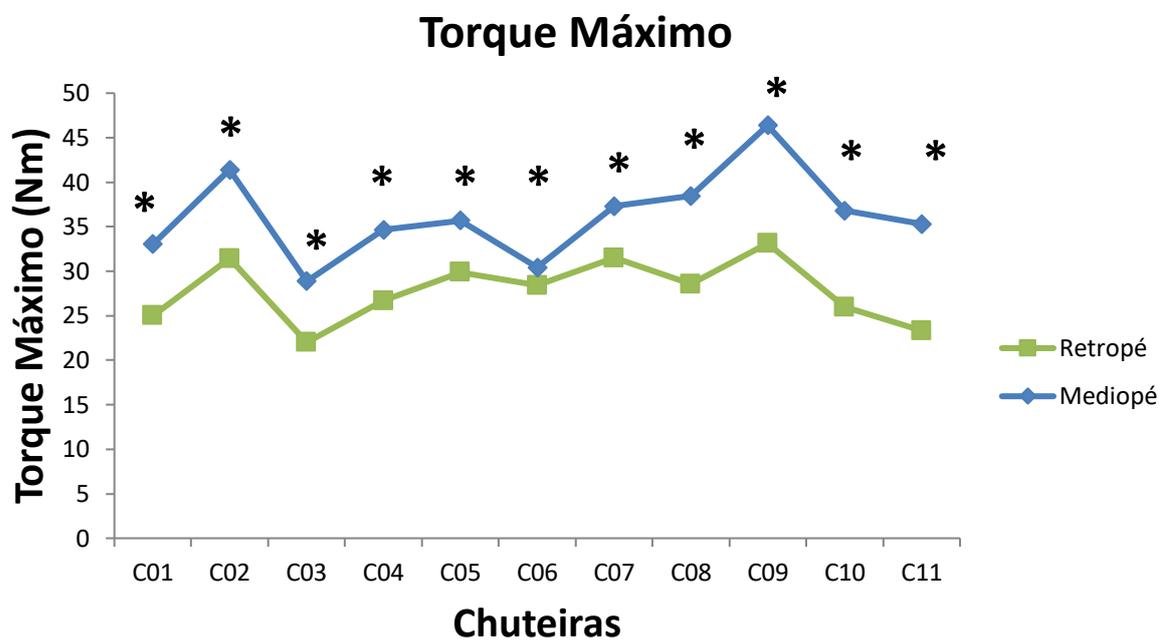
Chuteiras	Eixo no Retropé			Eixo no Mediópé		
	MAX [Nm]	Rigidez [Nm/°]	AT90 [Nm.°]	MAX [Nm]	Rigidez [Nm/°]	AT90 [Nm.°]
C01	25,0 <sup>ab</sup> ±0,9	*0,97 <sup>d</sup> ±0,10	7,1 <sup>bcd</sup> ±0,0	*33,0 <sup>bc</sup> ±2,0	0,89 <sup>bc</sup> ±0,25	*11,6 <sup>cd</sup> ±4,3
C02	31,4 <sup>de</sup> ±2,8	1,22 <sup>e</sup> ±0,11	12,1 <sup>de</sup> ±1,0	*41,4 <sup>f</sup> ±1,4	1,18 <sup>d</sup> ±0,08	*14,6 <sup>e</sup> ±2,8
C03	22,0 <sup>a</sup> ±4,2	0,32 ±0,05	3,7 <sup>a</sup> ±0,2	*28,9 <sup>a</sup> ±0,7	0,65 <sup>ab*</sup> ±0,04	*6,6 <sup>a</sup> ±0,4
C04	26,7 <sup>bc</sup> ±3,1	*0,68 <sup>ab</sup> ±0,15	6,2 <sup>abc</sup> ±1,0	*34,6 <sup>cd</sup> ±1,8	0,57 <sup>a</sup> ±0,05	*9,1 <sup>bc</sup> ±1,3
C05	29,9 <sup>d</sup> ±1,3	*1,31 <sup>e</sup> ±0,15	8,6 <sup>cd</sup> ±2,0	*35,7 <sup>cde</sup> ±1,3	0,90 <sup>bc</sup> ±0,07	*11,5 <sup>cd</sup> ±1,0
C06	28,4 <sup>cd</sup> ±1,4	1,03 <sup>d</sup> ±0,05	10,3 <sup>de</sup> ±1,4	*30,4 <sup>ab</sup> ±1,1	1,08 <sup>cd</sup> ±0,09	10,3 <sup>bcd</sup> ±1,4
C07	31,5 <sup>de</sup> ±1,7	1,00 <sup>d</sup> ±0,06	11,4 <sup>de</sup> ±0,9	*37,3 <sup>de</sup> ±0,8	1,02 <sup>c</sup> ±0,17	12,8 <sup>de</sup> ±1,9
C08	28,6 <sup>cd</sup> ±1,4	0,95 <sup>d</sup> ±0,07	9,6 <sup>de</sup> ±0,9	*38,5 <sup>ef</sup> ±1,4	0,96 <sup>c</sup> ±0,09	10,7 <sup>bcd</sup> ±3,9
C09	33,1 <sup>e</sup> ±1,0	0,79 <sup>bc</sup> ±0,09	7,8 <sup>bcd</sup> ±1,2	*46,4 ±3,1	0,81 <sup>b</sup> ±0,07	*13,6 <sup>e</sup> ±1,9
C10	26,0 <sup>bc</sup> ±2,9	*0,77 <sup>bc</sup> ±0,06	6,5 <sup>bc</sup> ±0,4	*36,8 <sup>de</sup> ±2,4	0,64 <sup>a</sup> ±0,07	*9,3 <sup>bc</sup> ±0,6
C11	23,3 <sup>ab</sup> ±1,9	0,58 <sup>a</sup> ±0,07	5,0 <sup>ab</sup> ±0,6	*35,3 <sup>cde</sup> ±2,9	0,62 <sup>a</sup> ±0,06	*7,7 <sup>ab</sup> ±1,1

\*Diferença estatisticamente significativa entre os eixos ( $p < 0,05$ ) indicando o maior valor para o respectivo eixo de rotação,

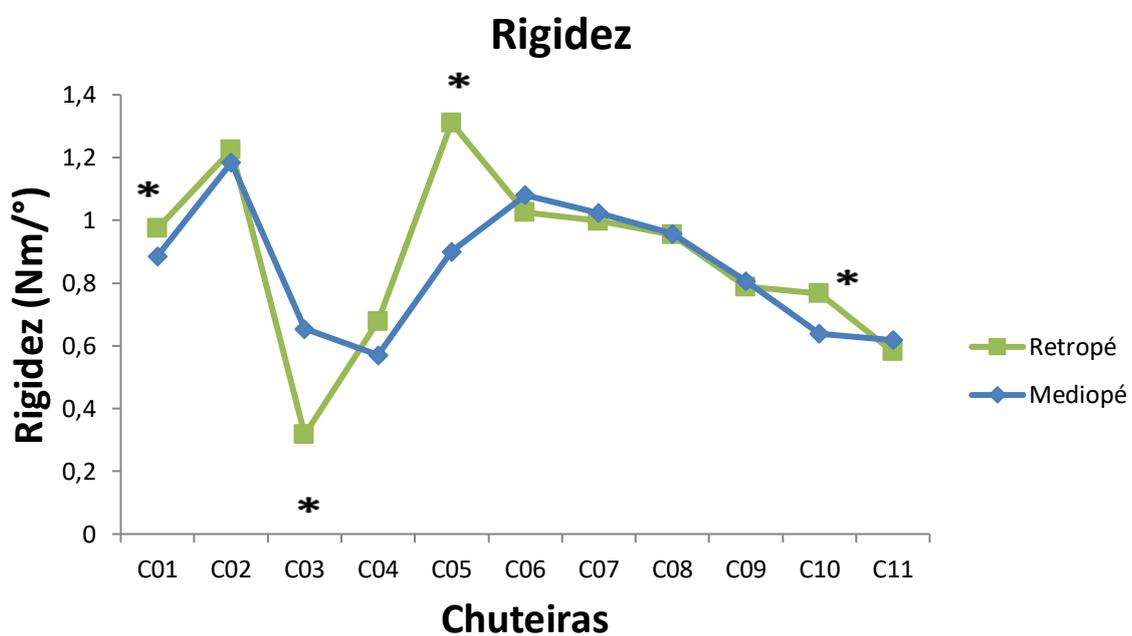
Letras iguais indicam ausência de diferença estatística ( $p > 0,05$ ) na mesma coluna.

**Figura 3.2** – Torque Máximo, Rigidez e Trabalho para cada chuteira em cada posição do eixo de rotação.

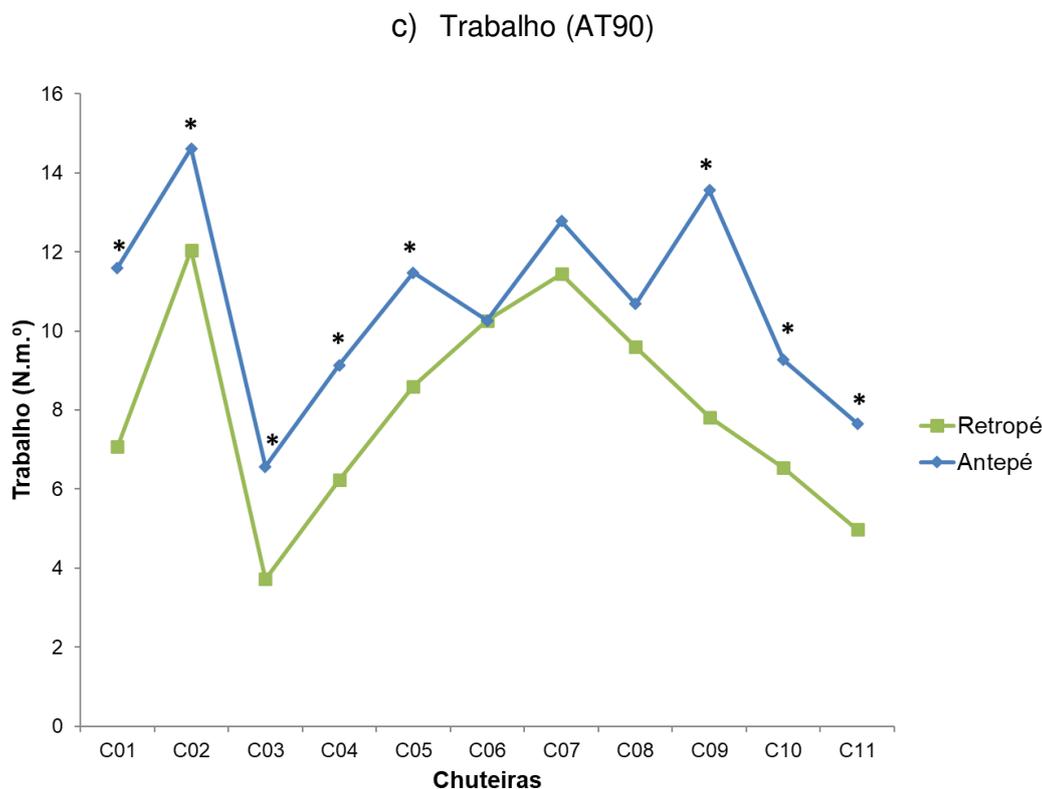
a) Torque máximo (MAX)



b) Rigidez



**Figura 3.2** – Torque Máximo, Rigidez e Trabalho para cada chuteira em cada posição do eixo de rotação (continuação)



\* Diferença significativa entre os eixos ( $p < 0,05$ ) para a mesma chuteira

### 3.4 DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes solados de chuteiras e da localização do eixo de rotação na resistência da interação calçado-superfície. Os resultados apontam para uma influência da posição do eixo de rotação, bem como há diferenças entre as chuteiras avaliadas. O aspecto inovador deste estudo está nas variáveis analisadas, que trazem um ponto de vista mais amplo da interação calçado superfície. Além disso, a influência do eixo de rotação é algo que até onde temos conhecimento, não foi relatado em trabalhos anteriores, apesar de existirem estudos que tenham analisado torque no antepé e torque no retropé, nenhum destes estudos comparou a influência do eixo de rotação. Cabe salientar a importância destes resultados, tanto para a indústria que projeta e constrói os calçados como para o usuário final, que possui uma gama de opções muitas vezes sem informações suficientes que o ajudem a decidir pela escolha mais adequada. Ressalta-se ainda que não se trata de uma escolha simples, onde valores mais elevados de resistência poderiam estar associados a melhor *performance*.

Devem-se considerar também os riscos de lesão, pois altos valores de resistência rotacional entre as chuteiras e as superfícies de jogo podem resultar em lesões na extremidade inferior (THOMSON; WHITELEY; BLEAKLEY, 2015; WANNOP; WOROBETS; STEFANYSHYN, 2010).

A localização do eixo de rotação mostrou ter grande influência quando analisamos o torque máximo (MAX) e o trabalho (AT90). Contudo, para rigidez o comportamento parece ser dependente da chuteira. Para todas as chuteiras analisadas o torque máximo foi maior quando deslocado o eixo de rotação mais para frente, o mesmo é observado para a variável AT90. Este resultado vai de encontro ao estudo de (HEIDT et al., 1996), que mostrou que quando considerada a força distribuída em todo o pé, o torque aumenta substancialmente, independentemente do tipo de chuteira e gramado. Do ponto de vista prático, isso pode ser importante ao considerarmos a construção de uma chuteira, pois em um esporte complexo como o futebol o eixo de rotação pode mudar de acordo com o movimento que o jogador executar (IBRAHIM et al., 2017). Rouissi, et al (2015), destacaram que na mudança de direção em altas velocidades, o centro de rotação tende a ser mais anterior. Contudo, até onde sabemos não existe estudos que tenham comparado ou analisado a localização do centro de rotação em diferentes movimentos de mudança de direção. Um dos fatores que pode estar associado a este maior torque exercido pelo eixo de rotação no mediopé, é o maior número de travas no mediopé/antepé (MÜLLER et al., 2010). Embora a chuteira possua diversas características que podem influenciar no torque exercido na interação com o solo, um maior número de travas no antepé, favorece a uma maior resistência rotacional devido a maior quantidade de travas penetrando no solo (SMEETS et al., 2012).

Para a rigidez, a localização do eixo de rotação não influenciou para maioria das chuteiras analisadas, contudo, para quatro chuteiras, observa-se um resultado curioso, com diminuição da rigidez quando eixo de rotação é deslocado mais anteriormente. Ao analisarmos as características dessas chuteiras, observamos que três delas possuem as travas com material mais flexível, Borracha ou PVC, enquanto uma delas, possui material de alumínio, além disso as chuteiras variam quanto ao formato das travas e dimensões. A variável rigidez representa a resistência oferecida para cada grau de rotação, nos graus iniciais do movimento de mudança de direção (LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006a). Portanto, é uma variável importante para representação de maior ou menor risco de lesão que uma determinada configuração

de trava pode oferecer, tendo em vista que maioria das lesões por não contato ocorrem nos instantes iniciais do movimento. Uma menor rigidez rotacional, associado a níveis de torque altos o suficiente para manter estabilidade, pode ser um resultado importante também do ponto de vista de desenho de um solado de chuteira, pois o mesmo terá de levar em consideração não apenas formato, altura das travas e número de travas, mas também ao tipo de material aplicado (MÜLLER et al., 2010). Especula-se que pelo fato das chuteiras com materiais de característica mais maleável terem apresentado menores valores de resistência rotacional, um material mais maleável, parece favorecer a uma diminuição da rigidez rotacional, independente do formato de trava. Outro fator importante é que o valor máximo de torque não necessariamente obteve o mesmo comportamento para rigidez. Esse fenômeno já foi observado anteriormente por Villwock et al (2009), isso ocorre porque a rigidez é calculada no início do movimento de rotação enquanto o valor máximo de torque pode ser obtido em qualquer momento do instante de rotação. A rigidez, portanto, é uma variável que deve ser considerada quando comparando outras condições de calçados, pois ela retrata a resistência oferecida nos instantes iniciais do movimento no qual o controle neuromuscular no membro inferior, tem menos tempo para ajudar estabilizar as articulações do tornozelo e do joelho.

Dentre as diferenças encontradas entre as chuteiras, com o eixo de rotação no retopé, destacamos que as chuteiras C02, C05, C06, C07, C08 e C09, não se diferenciaram entre si, e apresentaram maiores valores de torque máximo que as demais. Estas chuteiras possuem características físicas, muito diferente umas das outras, mas apesar desta variedade de materiais, design e tamanho não foi encontrado diferença estatística entre elas. As diferenças encontradas para C01, C03, C04, C10 e C11, podem ser explicadas pelo número de travas e material, que são as principais mudanças entre estas chuteiras, sendo que C04 possui material rígido de alumínio, mas apenas 2 travas no calcanhar, enquanto que C01, C03, C10 e C11, possuem um material bem flexível que pode fazer com que o torque máximo diminua (BONSTINGL; MOREHOUSE; NIEBEL, 1975).

Quando olhamos para as diferenças com o centro de rotação deslocado mais anteriormente, vemos que a chuteira C09 com as travas circulares, foi a que mais se diferenciou das demais apresentando maior torque máximo entre todas. Estes resultados corroboram com outros na literatura, que também atribuem a chuteiras com travas circulares maior resistência a rotação (LAMBSON; BARNHILL; HIGGINS,

1996; SERENSITS; MCNITT, 2014; WEI et al., 2012). Apesar de estes estudos concordarem quanto à maior resistência ao torque atribuída as chuteiras circulares, outros trabalhos mostram o contrário com maior torque nas chuteiras retangulares e mista (GALBUSERA et al., 2013; SILVA et al., 2017; WANNOP; LUO; STEFANYSHYN, 2013). Estas discrepâncias podem ser explicadas pela falta de controle entre as condições nestes estudos que se utilizam de chuteiras já existentes no mercado que se diferenciam muito entre si, que por sua vez possuem materiais, travas e tamanhos muito diferentes, fazendo com que se tenha dificuldade em tirar uma conclusão de qual característica da chuteira pode interferir no torque de resistência ao movimento de rotação. Desse modo salientamos a importância de estudos futuros com maior controle das condições de teste, para que assim consiga definir qual a principal característica da chuteira pode ser modificada para fins de alterar o torque máximo de resistência, oferecido ao movimento de rotação.

Destaca-se, com relação ao torque máximo, que as chuteiras C03 e C11 foram as que apresentaram menor valor de torque máximo se diferenciado da maioria das condições, independentemente da localização do eixo de rotação. Estes resultados corroboram com demais trabalhos, que mostram que as chuteiras da categoria Turf (TF), apresentam menores valores de torque que os demais tipos de chuteiras (HEIDT et al., 1996; LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006a; VILLWOCK et al., 2009). Um dos principais fatores para que isso ocorra é o tipo de material dessas chuteiras, que é extremamente flexível e o tamanho das travas que possuem no máximo 6 mm, e são normalmente distribuídas em grande quantidade, tanto no retopé, como no antepé (SILVA et al., 2017). O fato de as travas serem baixas e flexíveis, dificulta com que estas penetrem no gramado, oferecendo assim uma menor resistência ao movimento rotacional (VILLWOCK et al., 2009). Salienta-se que estas chuteiras têm por característica e finalidade serem utilizadas em gramados artificiais de 1º e 2º geração, que por sua vez possuem tufo de grama baixo, mais rígidos e com menor distribuição de grânulos de borracha e areia (FLEMING, 2011; SILVA et al., 2017). Estes gramados são ainda muito utilizados no esporte amador (GOONETILLEKE, 2012), mas não são mais usados no esporte profissional (GOONETILLEKE, 2012). No presente estudo, optou-se pela utilização do gramado de 3º geração, por se assemelhar mais com o gramado natural (FLEMING, 2011). Do ponto de vista prático embora as chuteiras do tipo TF (Turf) possam ser utilizadas neste tipo de gramado. Estudos anteriores, mostram que talvez o torque exercido

por estas chuteiras não sejam o suficiente para promover estabilidade mínima para execução dos movimentos do futebol com boa *performance* (LIVESAY; REDA; NAUMAN, 2006a; VILLWOCK et al., 2009). Desse modo, os valores de torque máximo encontrados por essa chuteira talvez não sejam o suficiente para gerar estabilidade na execução dos movimentos dificultando assim prática esportiva.

A chuteira C02 foi a que apresentou maior rigidez tanto com o eixo de rotação no calcanhar como no antepé, assim como a chuteira C05, embora essa tenha diminuído drasticamente a rigidez, quando o centro rotação deslocado mais anteriormente. Contudo, outro aspecto importante observado é que as chuteiras com material mais flexível de modo geral (PVC e BORRACHA) apresentaram menores valores de rigidez do que os materiais mais duros. Este resultado vai de encontro a estudos anteriores, que mostraram que materiais mais flexíveis, tendem a influenciar na resistência rotacional, principalmente nos instantes iniciais do movimento (HEIDT et al., 1996; WEI et al., 2012).

Para a variável trabalho a chuteira C02, foi a que apresentou maior trabalho rotacional que a maioria das chuteiras, tanto com o eixo de rotação no retropé como no antepé. Até onde temos conhecimento, nenhum estudo analisou o trabalho rotacional neste tipo de avaliação. Como principal diferença encontrada para variável trabalho, está o fato de a chuteira C02 ser a que apresenta maior valor de trabalho, independentemente do eixo de rotação, e a chuteira C09, que embora tenha um aumento do trabalho quando o centro de rotação está no mediopé, isso não é observado com o eixo de rotação no retropé. Destacamos que essa variável pode ser mais um importante indicador do ponto de vista de análise da interação das diferentes travas de chuteiras e a superfície de jogo. Tendo em vista que ela fornece mais um subsídio para detectar possíveis diferenças entre os diferentes padrões de travas.

Identificamos no presente estudo alguns aspectos interessantes do ponto de vista de análise e aplicação para estudos futuros. O valor máximo de torque, rigidez e trabalho, apresentaram diferentes resultados para as interações entre as chuteiras. Contudo, com relação à posição do centro de rotação parece bem evidente que quanto mais anteriorizado maior a resistência oferecida a rotação, exceto para variável rigidez que parece depender do tipo de chuteira, sendo as que apresentam materiais mais flexíveis as que possuem menor rigidez. Do ponto de vista prático, o

uso combinado dessas variáveis para análise de diferentes produtos, pode ser um melhor indicativo para uma melhor orientação tanto para indicação do uso de chuteira como para confecção. Do ponto de vista de análise é possível que se faça uma chuteira com maior valor de pico de torque, sem perder desempenho, do mesmo modo que ofereça menor rigidez rotacional protegendo contra lesões, assim como menor trabalho. Para isso, parece que uma combinação de design e material pode ser uma possível solução do ponto de vista de fabricação de chuteiras. Contudo, mais estudos são necessários com o intuito de analisar mais detalhadamente cada aspecto da chuteira que pode interferir nas variáveis de resistência rotacional aqui apresentada.

### **3.4.1 Limitações**

Esse presente estudo possui algumas limitações, uma delas é o fato de ter sido testado apenas dois eixos de rotação retropé e mediopé, faltando uma análise com o eixo de rotação mais anterior como no antepé. Contudo, vale ressaltar que nenhum outro estudo trouxe na mesma análise com diferentes localizações do eixo de rotação. Outra limitação é o tipo de superfície testada, foi utilizada apenas um tipo de gramado artificial de 3ª geração. Contudo, este tipo de gramado já tem sido bem documentado de ser o mais parecido com o natural e apesar de apresentar diferenças na resistência oferecida o comportamento entre os tipos de calçados tendem a ser o mesmo (VILLWOCK et al., 2009). Também a carga vertical utilizada foi fixada em 300N, bem longe do peso de um atleta na posição estática e muito menor que os valores de força alcançados por atletas quando executando o movimento de mudança de direção, que podem chegar a até três vezes o peso corporal (RISTIĆ et al., 2010). Contudo, já tem sido mostrado em outros trabalhos que o comportamento da resistência rotacional, tende a ser linear com a alteração da carga aplicada (WANNOP; STEFANYSHYN, 2012). Além disso, a utilização de uma carga maior, acarretaria danificação no gramado utilizado, aumentando a variabilidade das medições.

## **3.5 CONCLUSÃO**

Com base nos resultados apresentados, a posição do eixo de rotação influencia nas variáveis, pico máximo de torque máximo (MAX) e trabalho (AT90), aumentando substancialmente os valores quando o centro de rotação é deslocado

mais anteriormente, mas não influencia de forma sistemática na rigidez. Entre as chuteiras, destaca-se a chuteira C09, no qual, possui como principal característica o formato circular e material rígido, como a que apresentou maior torque máximo tanto com eixo de rotação no retropé como no mediopé. A chuteira C02, que possui travas mistas em formato triangular e circular, além de maior altura de travas e material rígido, foi a que apresentou maior rigidez rotacional e trabalho tanto com eixo de rotação no retropé como no mediopé. E as chuteiras C03 e C11, que possuem material mais flexível, maior número de travas e são mais baixas, apresentaram de modo geral os menores valores para todas as variáveis analisadas.

## REFERENCIAS ARTIGO 2

BALLAL, M. S. et al. Rotational and peak torque stiffness of rugby shoes. **Foot (Edinburgh, Scotland)**, v. 24, n. 3, p. 107–110, set. 2014.

BARRY, B.; MILBURN, P. Tribology, friction and traction: understanding shoe-surface interaction. **Footwear Science**, v. 5, n. 3, p. 137–145, 2013.

BONSTINGL, R. W.; MOREHOUSE, C. A.; NIEBEL, B. W. Torques developed by different types of shoes on various playing surfaces. **Medicine and science in sports**, v. 7, n. 2, p. 127–131, 1975.

FLEMING, P. Artificial turf systems for sport surfaces: Current knowledge and research needs. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 225, n. 2, p. 43–64, 2011.

GALBUSERA, F. et al. Does soccer cleat design influence the rotational interaction with the playing surface? **Sports biomechanics**, v. 12, n. 3, p. 293–301, set. 2013.

GOONETILLEKE, R. S. **The science of footwear**. [s.l.] CRC Press, 2012.

HEIDT, R. S. J. et al. Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 6, p. 834–842, dez. 1996.

HENNIG, E. M. The influence of soccer shoe design on player performance and injuries. **Research in Sports Medicine**, v. 19, n. 3, p. 186–201, 2011.

IBRAHIM, H. et al. The change of direction speed performance of hearing-impaired netball players. **Man in India**, v. 97, n. 13, p. 195–203, 2017.

KENT, R. et al. The mechanics of American football cleats on natural grass and infill-type artificial playing surfaces with loads relevant to elite athletes. **Sports biomechanics**, v. 14, n. 2, p. 246–257, jun. 2015.

LAMBSON, R. B.; BARNHILL, B. S.; HIGGINS, R. W. Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries: a three-year prospective study. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 2, p. 155–159, 1996.

LIVESAY, G. A.; REDA, D. R.; NAUMAN, E. A. Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface: the effect of shoe type and playing surface. **The American journal of sports medicine**, v. 34, n. 3, p. 415–422, 2006a.

LIVESAY, G. A.; REDA, D. R.; NAUMAN, E. A. Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface: the effect of shoe type and playing surface. **The American journal of sports medicine**, v. 34, n. 3, p. 415–422, mar. 2006b.

MÜLLER, C. et al. Comprehensive evaluation of player-surface interaction on artificial soccer turf. **Sports Biomechanics**, v. 9, n. 3, p. 193–205, 2010.

RISTIĆ, V. et al. Causes of anterior cruciate ligament injuries. **Medicinski pregled**, v. 63, n. 7–8, p. 541–545, 2010.

ROUISSI, M. et al. “Side-stepping maneuver”: Not the more efficient technique to change direction amongst young elite soccer players. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v. 15, n. 2, p. 749–763, 2015.

SERENSITS, T. J.; MCNITT, A. S. Comparison of rotational traction of athletic footwear on varying playing surfaces using different normal loads. **Applied Turfgrass Science**, v. 11, n. 1, 2014.

SILVA, D. C. F. et al. The influence of different soccer cleat type on kinetic, kinematic and neuromuscular ankle variables in artificial turf. **Footwear Science**, v. 9, n. 1, p. 21–31, 2017.

SMEETS, K. et al. Torsional injuries of the lower limb: an analysis of the frictional torque between different types of football turf and the shoe outsole. **Br J Sports Med**, v. 46, n. 15, p. 1078–1083, 2012.

THOMSON, A. et al. Six different football shoes, one playing surface and the weather; Assessing variation in shoe-surface traction over one season of elite football. **PloS one**, v. 14, n. 4, p. e0216364, 2019.

THOMSON, A.; WHITELEY, R.; BLEAKLEY, C. Higher shoe-surface interaction is associated with doubling of lower extremity injury risk in football codes: a systematic review and meta-analysis. **British journal of sports medicine**, v. 49, n. 19, p. 1245–1252, out. 2015.

TORG, J. S.; QUEDENFELD, T. C.; LANDAU, S. The shoe-surface interface and its relationship to football knee injuries. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 5, p. 261–269, 1974.

VILLWOCK, M. R. et al. Football playing surface and shoe design affect rotational traction. **The American journal of sports medicine**, v. 37, n. 3, p. 518–525, 2009.

WANNOP, J. W.; LUO, G.; STEFANYSHYN, D. J. Footwear traction and lower extremity noncontact injury. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 45, n. 11, p. 2137–2143, nov. 2013.

WANNOP, J. W.; STEFANYSHYN, D. J. The effect of normal load, speed and moisture on footwear traction. **Footwear Science**, v. 4, n. 1, p. 37–43, 2012.

WANNOP, J. W.; STEFANYSHYN, D. J. The effect of translational and rotational traction on lower extremity joint loading. **Journal of sports sciences**, v. 34, n. 7, p. 613–620, 2016.

WANNOP, J. W.; WOROBEETS, J. T.; STEFANYSHYN, D. J. Footwear traction and lower extremity joint loading. **The American journal of sports medicine**, v. 38, n. 6, p. 1221–1228, 2010.

WEI, F. et al. Rotational stiffness of football shoes influences talus motion during external rotation of the foot. **Journal of biomechanical engineering**, v. 134, n. 4, p. 041002, abr. 2012.

## **CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

A partir dos resultados do estudo apresentado no capítulo 2, é possível afirmar que o equipamento proposto é capaz de medir a resistência entre o solado e a superfície. De acordo com os resultados de repetibilidade e reprodutibilidade, verificamos que para todas as medidas propostas a variação entre as medidas é pequena, com excelente consistência interna ( $ICC > 0,9$ ) e valores aceitáveis de SEM, MDC e RMS. Dentre as medidas propostas, destacam-se o valor máximo do pico de torque, a rigidez e o trabalho angular, que apresentaram os melhores valores de ICC, SEM, MDC e RMS. Podemos com isso concluir que, é possível utilizar essa metodologia com alto grau de confiança nas medidas propostas. Além disso, do ponto de vista prático, consideramos que para utilização futura do equipamento, seja utilizada a média de 5 medidas sucessivas como valor representativo da variável para fins de análise. Alguns cuidados práticos também devem ser considerados ao utilizar o equipamento. Dentre esses cuidados está o ajuste no gramado a cada medição. O fato de o gramado possuir certa irregularidade, faz com que a cada tentativa a interação com o solado seja diferente, fazendo com que se tenha assim variação entre as tentativas. Uma forma de amenizar e diminuir essa variação é a cada tentativa verificar como a chuteira está posicionada no gramado, bem como ajeitar a grama para que os grânulos de borracha fiquem bem distribuídos. Outro cuidado que deve ser tomado é com o tipo de chuteira a ser colocado na forma, sendo que quando essa possuir cadarço, ele deve ficar bem ajustado para que o movimento do cabedal interfira o mínimo possível na resistência ao movimento.

Com relação aos resultados apresentados no capítulo 3, podemos destacar que o eixo de rotação no mediopé, oferece maior resistência que quando está no retopé. Além disso, os resultados apresentam diferenças importantes entre as chuteiras, mostrando principalmente, que quando aplicado esse tipo de metodologia com o objetivo de verificar a influência de diferentes chuteiras, deve ser levado em conta diversos aspectos e procurar realizar uma análise mais ampla do que apenas relatar nos trabalhos o pico de torque, que pode não condizer com o real efeito que determinado calçado oferece. Deste modo estudos futuros devem levar em consideração não apenas o torque máximo, mas também a rigidez e o trabalho, buscando identificar o que cada uma dessas variáveis representa do ponto de vista prático para diferentes chuteiras.

Com base nos resultados que o equipamento proposto é capaz de fornecer, será possível em aplicações futuras tentar determinar um valor de referência de resistência para cada tipo de chuteira, ajudando tanto o usuário na escolha de um calçado, como a indústria para desenvolvimento de produtos mais técnicos e seguros.

Atualmente na indústria poucos atributos técnicos do calçado têm sido considerados para o desenvolvimento. Sendo o mercado normalmente direcionado pelo aspecto visual, não havendo a priori a preocupação técnica de quanto uma determinada alteração na chuteira pode interferir na resistência da interação do solado com a superfície. Essa falta de orientação técnica no desenvolvimento se deve em parte a indisponibilidade de informações concreta e objetivas, de modo que o técnico em calçado consiga utilizar essa informação aplicada diretamente no projeto do produto. Com base nesse estudo, e demais pesquisas que, poderão ser realizadas com essa mesma metodologia, será possível do ponto de vista prático, determinar quais características da chuteira podem ser mais importantes para serem modificadas e assim elaborar um guia para design de chuteiras que sejam mais seguras para prática esportiva, sem abrir mão da *performance*.

## REFERENCIAS INTRODUÇÃO GERAL

ARELLANO, C. J.; KRAM, R. Partitioning the metabolic cost of human running: a task-by-task approach. **Integrative and comparative biology**, v. 54, n. 6, p. 1084–1098, dez. 2014.

BARRY, B.; MILBURN, P. Tribology, friction and traction: understanding shoe-surface interaction. **Footwear Science**, v. 5, n. 3, p. 137–145, 2013.

BARRY, E. B.; MILBURN, P. D. **A mechanism explaining traction of footwear on natural surfaces**. Proceedings of Fourth Symposium on Footwear Biomechanics. **Anais...**1999

BISESTI, B. A. et al. Comparison of Knee Moments and Landing Patterns During a Lateral Cutting Maneuver: Shod Vs. Barefoot. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 29, n. 11, p. 3075–3078, 2015.

BONSTINGL, R. W.; MOREHOUSE, C. A.; NIEBEL, B. W. Torques developed by different types of shoes on various playing surfaces. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 7, n. 2, p. 127–131, 1975.

BUTLER, R. J. et al. Dynamic Balance Performance and Noncontact Lower Extremity Injury in College Football Players: An Initial Study. **Sports Health**, v. 5, n. 5, p. 417–422, 2013.

CLOAK, R.; GALLOWAY, S.; WYON, M. The effect of ankle bracing on peak mediolateral ground reaction force during cutting maneuvers in collegiate male basketball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 9, p. 2429–2433, 2010.

FREDERICK, E. C. Physiological and ergonomics factors in running shoe design. **Applied Ergonomics**, v. 15, n. 4, p. 281–287, 1984.

HEIDT JR, R. S. et al. Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 6, p. 834–842, 1996.

HOOBKAMER, W. et al. A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 48, n. 4, p. 1009–1019, abr. 2018.

INKLAAR, H. Soccer injuries. **Sports medicine**, v. 18, n. 1, p. 55–73, 1994.

KAILA, R. Influence of modern studded and bladed soccer boots and sidestep cutting on knee loading during match play conditions. **The American journal of sports medicine**, v. 35, n. 9, p. 1528–1536, 2007.

LAMBSON, R. B.; BARNHILL, B. S.; HIGGINS, R. W. Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries: a three-year prospective study. **The American journal of sports medicine**, v. 24, n. 2, p. 155–159, 1996.

LIVESAY, G. A.; REDA, D. R.; NAUMAN, E. A. Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface: the effect of shoe type and playing surface. **The American journal of sports medicine**, v. 34, n. 3, p. 415–422, 2006a.

LIVESAY, G. A.; REDA, D. R.; NAUMAN, E. A. Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface: the effect of shoe type and playing surface. **The American journal of sports medicine**, v. 34, n. 3, p. 415–422, mar. 2006b.

NIGG, B. M. The validity and relevance of tests used for the assessment of sports surfaces. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, n. 1, p. 131–139, 1990.

NIGG, B. M.; YEADON, M. R. Biomechanical aspects of playing surfaces. **Journal of sports sciences**, v. 5, n. 2, p. 117–145, 1987.

RISTIĆ, V. et al. Causes of anterior cruciate ligament injuries. **Medicinski pregled**, v. 63, n. 7–8, p. 541–545, 2010.

TABOR, D. Friction—the present state of our understanding. **Journal of lubrication technology**, v. 103, n. 2, p. 169–179, 1981.

TORG, J. S.; QUEDENFELD, T. C.; LANDAU, S. The shoe-surface interface and its relationship to football knee injuries. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 5, p. 261–269, 1974.

VILLWOCK, M. R. et al. The effects of various infills, fibre structures, and shoe designs on generating rotational traction on an artificial surface. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 223, n. 1, p. 11–19, 2009.

WANNOP, J. W.; STEFANYSHYN, D. J. The effect of translational and rotational traction on lower extremity joint loading. **Journal of sports sciences**, v. 34, n. 7, p. 613–620, 2016.

## APÊNDICE A: TABELAS TESTE POS-HOC DE COMPARAÇÃO ENTRE AS CHUTEIRAS ARTIGO 02

Tabela – Resultados *pos-hoc* comparação entre chuteiras para o centro de rotação no retropé e mediopé para torque máximo

Chuteiras	Posição	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11
C01	Retropé		<0.001*	0.090	1.000	<0.001*	<b>0.018*</b>	<0.001*	<b>0.010*</b>	<0.001*	1.000	1.000
	Antepé		<0.001*	<0.001*	1.000	0.295	0.315	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<b>0.005*</b>	0.923
C02	Retropé	<0.001*		<0.001*	<0.001*	1.000	0.084	1.000	0.137	1.000	<0.001*	<0.001*
	Antepé	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.115	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C03	Retropé	0.090	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<b>0.002*</b>	1.000
	Antepé	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C04	Retropé	1.000	<0.001*	<0.001*		<b>0.038*</b>	1.000	<0.001*	1.000	<0.001*	1.000	<b>0.023*</b>
	Antepé	1.000	<0.001*	<0.001*		1.000	<0.001*	0.272	<b>0.003*</b>	<0.001*	1.000	1.000
C05	Retropé	<0.001*	1.000	<0.001*	<b>0.038*</b>		1.000	1.000	1.000	<b>0.038*</b>	<b>0.002*</b>	<0.001*
	Antepé	0.295	<0.001*	<0.001*	1.000		<0.001*	1.000	0.172	<0.001*	1.000	1.000
C06	Retropé	<b>0.018*</b>	0.084	<0.001*	1.000	1.000		0.066	1.000	<0.001*	0.549	<0.001*
	Antepé	0.315	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C07	Retropé	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	1.000	0.066		0.108	1.000	<0.001*	<0.001*
	Antepé	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.272	1.000	<0.001*		1.000	<0.001*	1.000	1.000
C08	Retropé	<b>0.010*</b>	0.137	<0.001*	1.000	1.000	1.000	0.108		<0.001*	0.357	<0.001*
	Antepé	<0.001*	0.115	<0.001*	<b>0.003*</b>	0.172	<0.001*	1.000		<0.001*	1.000	0.050
C09	Retropé	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	<b>0.038*</b>	<b>0.000*</b>	1.000	<0.001*		<0.001*	<0.001*
	Antepé	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*
C10	Retropé	1.000	<0.001*	<0.001*	1.000	<b>0.002*</b>	0.549	<0.001*	0.357	<0.001*		0.260
	Antepé	<b>0.005*</b>	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000	<0.001*	1.000	1.000	<0.001*		1.000
C11	Retropé	1.000	<0.001*	1.000	<b>0.023*</b>	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.260	
	Antepé	0.923	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000	<0.001*	1.000	0.050	<0.001*	1.000	

\*Diferença estatisticamente significativa  $p < 0.05$ .

Tabela - Resultados pos-hoc comparação entre chuteiras para o centro de rotação no retropé e medipé para variável Trabalho AT90

Chuteiras	Posição	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11
C01	Retropé		<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.002*</b>	1.000	1.000	<b>0.004*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	0.080	1.000	1.000	0.437
	Antepé		<b>0.009*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	0.101	1.000	1.000	1.000	1.000	0.735	0.177	<b>&lt;0.001*</b>
C02	Retropé	<b>&lt;0.001*</b>		<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.001*</b>	1.000	1.000	0.107	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
	Antepé	<b>0.009*</b>		<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.004*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
C03	Retropé	<b>0.002*</b>	<b>&lt;0.001*</b>		0.088	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.022*</b>	1.000
	Antepé	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>		0.068	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.037*</b>	1.000
C04	Retropé	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	0.088		0.148	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.001*</b>	1.000	1.000	1.000
	Antepé	0.101	<b>&lt;0.001*</b>	0.068		0.173	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000
C05	Retropé	1.000	<b>0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	0.148		1.000	<b>0.020*</b>	1.000	1.000	0.489	<b>&lt;0.001*</b>
	Antepé	1.000	<b>0.004*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	0.173		1.000	1.000	1.000	0.458	0.297	<b>&lt;0.001*</b>
C06	Retropé	<b>0.004*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000		1.000	1.000	0.109	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
	Antepé	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000		0.081	1.000	<b>0.002*</b>	1.000	0.058
C07	Retropé	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.020*</b>	1.000		1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
	Antepé	1.000	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	0.081		0.445	1.000	<b>0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
C08	Retropé	0.080	0.107	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.001*</b>	1.000	1.000	1.000		1.000	<b>0.007*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
	Antepé	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000	1.000	0.445		<b>0.017*</b>	1.000	<b>0.008*</b>
C09	Retropé	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000	0.109	<b>&lt;0.001*</b>	1.000		1.000	<b>0.020*</b>
	Antepé	0.735	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	0.458	<b>0.002*</b>	1.000	<b>0.017*</b>		<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>
C10	Retropé	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.022*</b>	1.000	0.489	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.007*</b>	1.000		1.000
	Antepé	0.177	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.037*</b>	1.000	0.297	1.000	<b>0.001*</b>	1.000	<b>&lt;0.001*</b>		1.000
C11	Retropé	0.437	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.020*</b>	1.000	
	Antepé	<b>&lt;0.001*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	1.000	<b>&lt;0.001*</b>	0.058	<b>&lt;0.001*</b>	<b>0.008*</b>	<b>&lt;0.001*</b>	1.000	

\*Diferença estatisticamente significativa  $p < 0.05$ .

Tabela - Resultados pos-hoc comparação entre chuteiras para o centro de rotação no retropé e mediopé para Rigidez

Chuteiras	Posição	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11
C01	Retropé		<0.001*	<0.001*	0.001*	<0.001*	0.093	0.589	1.000	1.000	0.596	<0.001*
	Antepé		<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000	1.000	1.000	0.012*	<0.001*	<0.001*
C02	Retropé	<0.001*		<0.001*	<0.001*	1.000	0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
	Antepé	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	0.023*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C03	Retropé	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
	Antepé	<0.001*	<0.001*		1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.050	1.000	1.000
C04	Retropé	0.001*	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.832	1.000	1.000
	Antepé	<0.001*	<0.001*	1.000		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000
C05	Retropé	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*		<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
	Antepé	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*		0.005*	0.367	1.000	1.000	<0.001*	<0.001*
C06	Retropé	0.093	0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*		1.000	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*
	Antepé	1.000	1.000	<0.001*	<0.001*	0.005*		1.000	0.375	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C07	Retropé	0.589	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000		1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*
	Antepé	1.000	0.023*	<0.001*	<0.001*	0.367	1.000		1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*
C08	Retropé	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000		0.017*	0.003*	<0.001*
	Antepé	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	0.375	1.000		0.051	<0.001*	<0.001*
C09	Retropé	1.000	<0.001*	<0.001*	0.832	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.017*		1.000	<0.001*
	Antepé	0.012*	<0.001*	0.050	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	0.051		0.013*	0.002*
C10	Retropé	0.596	<0.001*	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.003*	1.000		0.003*
	Antepé	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.013*		1.000
C11	Retropé	<0.001*	<0.001*	<0.001*	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.003*	
	Antepé	<0.001*	<0.001*	1.000	1.000	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.002*	1.000	

\*Diferença estatisticamente significativa  $p < 0.05$ .

## ANEXO A: CARTA DE ANUÊNCIA PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA NO LAPEX



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO

### DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA DE REALIZAÇÃO DE PESQUISA NO LAPEX

Declaro para os devidos fins, que autorizo a realização da pesquisa intitulada " **proposta de um equipamento para medir as forças geradas na interação de diferentes solados de calçados com a superfície de contato** " sob a orientação do professor **JEFFERSON FAGUNDES LOSS** no Laboratório de Pesquisa do Exercício.

Aluno: **WAGNER ROSA DE OLIVEIRA**

Porto Alegre, 11 de julho de 2019.

Prof. Rogério da Cunha Voser

Diretor do Laboratório de Pesquisa do Exercício

Rogério da Cunha Voser  
Diretor do Lab. Pesquisa  
do Exercício - LAPEX  
ESEFID / UFRGS

