

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO  
HUMANO

Rúbia Anelise Trabach Godinho

**A RAZÃO ISQUIOTIBIAIS: QUADRÍCEPS EXPRESSA EM PICO DE TORQUE  
DURANTE PROTOCOLO INDUTOR DE FADIGA MUSCULAR EM ATLETAS  
DE FUTEBOL FEMININO PROFISSIONAL: UM ESTUDO TRANSVERSAL**

Porto Alegre

2023

Rúbia Anelise Trabach Godinho

**A RAZÃO ISQUIOTIBIAIS:QUADRÍCEPS EXPRESSA EM PICO DE TORQUE  
DURANTE PROTOCOLO INDUTOR DE FADIGA MUSCULAR EM ATLETAS  
DE FUTEBOL FEMININO PROFISSIONAL: UM ESTUDO TRANSVERSAL**

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 pré-requisito para a obtenção do título de Mestre.

Orientador Professor Ronei Silveira Pinto

Porto Alegre

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Trabach Godinho, Rúbia Anelise  
A RAZÃO ISQUIOTIBIAIS:QUADRÍCEPS EXPRESSA EM PICO  
DE TORQUE DURANTE PROTOCOLO INDUTOR DE FADIGA MUSCULAR  
EM ATLETAS DE FUTEBOL FEMININO PROFISSIONAL: UM ESTUDO  
TRANSVERSAL / Rúbia Anelise Trabach Godinho. -- 2023.  
35 f.  
Orientadora: Ronei Silveira Pinto.

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, 2023.

1. Futebol feminino. 2. Força muscular. 3.  
Equilíbrio muscular. 4. Fadiga muscular. I. Silveira  
Pinto, Ronei, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, mãe, pai e mana, por todo o carinho e dedicação para com a minha formação pessoal e profissional. Sou grata por sermos companheiros na trajetória da vida e por vocês me ensinarem o poder dos nossos sonhos. Hoje realizo o meu sonho, que foi, mais uma vez, possível, pelo amor e incentivo de vocês. Esta conquista é de vocês! Eu amo muito vocês!

Agradeço ao professor Ronei Silveira Pinto por ser meu orientador ao longo da minha formação acadêmica e, para além disto, ser um generoso amigo. Ainda, agradeço aos professores que tive a satisfação de conviver e aprender ao longo do ensino fundamental, médio e superior.

Agradeço a todo o grupo de pesquisa e colegas que possibilitaram a realização deste trabalho. Além disto, meu muito obrigada, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao que ela representa. Satisfação em trilhar uma trajetória acadêmica em uma universidade pública, gratuita e de qualidade.

## RESUMO

A avaliação da força muscular e da razão isquiotibiais:quadríceps (I:Q) por meio de um dinamômetro isocinético é geralmente realizada durante toda a temporada de futebol com o intuito de avaliar desequilíbrios musculares que aumentam as chances de lesão nos membros inferiores (e.g., distensão de isquiotibiais e de ligamento cruzado anterior – LCA), bem como a sua gravidade. No entanto, esta avaliação geralmente é realizada em uma condição sem a presença da fadiga muscular, embora as lesões costumem ocorrer em condições em que a fadiga aguda e/ou crônica estejam presentes. Os objetivos do presente estudo foram (a) comparar a razão de força I:Q ao longo de um protocolo isocinético indutor de fadiga muscular e (b) comparar o índice de fadiga muscular desenvolvido em flexores e extensores do joelho induzido pelo protocolo acima referido. Quinze jogadores profissionais de futebol feminino ( $21,8 \pm 5,3$  anos;  $60,1 \pm 8,7$  kg;  $163,6 \pm 7,6$  cm) realizaram um protocolo de indução de fadiga muscular de 30 repetições realizado em dinamômetro isocinético. Os picos de torque de flexores e extensores de joelho foram computados para cada repetição, e a razão I:Q convencional foi calculada. Como esperado, ao final do protocolo de fadiga, o torque de flexão e extensão de joelhos foi significativamente reduzido para os membros direito e esquerdo. ANOVAs de duas vias com medidas repetidas revelou uma redução significativa na razão I:Q ao longo do protocolo indutor de fadiga para ambos os membros ( $F_{(2,63, 36,95)} = 25,16$ ;  $P = 0,001$ ), sem diferença significativa entre os membros avaliados ( $F_{(1,00, 14,00)} = 1,23$ ;  $P = 0,285$ ). Não houve interação significativa entre o tempo e membros avaliado ( $F_{(3,74, 52,46)} = 1,69$ ;  $P = 0,170$ ). Por fim, o teste T de amostra pareada revelou que o índice de fadiga foi significativamente maior para flexão de joelho em comparação a extensão de joelho ( $P = 0,001$ ), demonstrando um maior declínio relativo (%) na força dos flexores do joelho em comparação aos extensores do joelho ( $46,7 \pm 9,7\%$  [95% IC 43,2 a 50,2] vs.  $33,1 \pm 11,0\%$  [95% IC 29,2 a 37,1], respectivamente).

**Palavras-chave:** dinamômetro isocinético; lesão; ligamento cruzado anterior; mulheres; musculatura isquiotibial.

## ABSTRACT

The assessment of muscle strength and hamstring:quadriceps ratio (H:Q) using an isokinetic dynamometer is generally performed throughout the football season in order to assess muscle imbalances that increase the chances of injury to the lower limbs (e.g., hamstring and anterior cruciate ligament (ACL) strain, as well as its severity. However, this assessment is usually performed in a condition without the presence of muscle fatigue, although injuries tend to occur in conditions where acute and/or chronic fatigue is present. The objectives of the present study were (a) to compare the H:Q strength ratio along an isokinetic protocol that induces muscle fatigue and (b) to compare the muscle fatigue index developed in knee flexors and extensors induced by the aforementioned protocol. Fifteen professional female soccer players ( $21.8 \pm 5.3$  years;  $60.1 \pm 8.7$  kg;  $163.6 \pm 7.6$  cm) performed a muscle fatigue induction protocol of 30 repetitions performed on an isokinetic dynamometer. As expected, at the end of the fatigue protocol, knee flexion and extension torque was significantly reduced for the right and left limbs. ANOVAs with repeated measures revealed a significant reduction in the H:Q ratio over the course of the fatigue-inducing protocol for both limbs ( $F_{(2,63, 36,95)} = 25,16; P = 0,001$ ), with no difference significant among the members evaluated ( $F_{(1,00, 14,00)} = 1,23; P = 0,285$ ). There was no significant interaction between time and limbs assessed ( $F_{(3,74, 52,46)} = 1,69; P = 0,170$ ). Finally, the paired sample T test revealed that the fatigue index was significantly higher for knee flexion compared to knee extension ( $P = 0.001$ ), demonstrating a greater relative decline (%) in knee flexor strength compared to to knee extensors ( $46,7 \pm 9,7\%$  [95% IC 43,2 a 50,2] vs.  $33,1 \pm 11,0\%$  [95% IC 29,2 a 37,1], respectively) .

**Keywords:** isokinetic dynamometer; lesion; anterior cruciate ligament; women; hamstring muscle.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Desenho experimental do estudo (avaliação na pré-temporada). .....18
- Figura 2** Proporção média de isquiotibiais para quadríceps durante o protocolo isocinético indutor de fadiga muscular .....25

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> Comparação entre os valores de pico de torque a $300^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ em condições isocinéticas não fadigadas e fadigadas..... | 23 |
|--|----|



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|          |   |
|----------|---|
| cm       | Centímetros   |
| DP       | Desvio-padrão   |
| IF       | Índice de fadiga muscular                                     |
| I:Q      | Isquiotibiais:quadríceps                                      |
| kg       | Quilogramas   |
| LCA      | Ligamento cruzado anterior                                    |
| N.m      | Newton.metro  |
| PT       | Pico de torque  |
| <i>P</i> | Probabilidade de significância                                |
| SPSS     | <i>Software</i> “Statistical Package for the Social Sciences” |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 11 |
| <b>2 OBJETIVO GERAL</b> .....  | 12 |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                      | 12 |
| <b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                                 | 12 |
| 3.1 INCIDÊNCIA DE LESÃO NO FUTEBOL FEMININO .....                    | 13 |
| 3.2 AVALIAÇÃO DE FORÇA MUSCULAR .....                                | 15 |
| <b>3.2.1 Equilíbrio muscular agonista e antagonista</b> .....        | 16 |
| 3.3 FADIGA MUSCULAR .....  | 17 |
| <b>4 MÉTODOS</b> .....   | 18 |
| 4.1 DESENHO DO ESTUDO .....  | 18 |
| 4.2 PARTICIPANTES .....  | 18 |
| 4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA .....                                     | 19 |
| <b>4.3.1 Protocolo de avaliação no dinamômetro isocinético</b> ..... | 19 |
| <b>4.3.2 Índice de fadiga muscular</b> .....                         | 18 |
| <b>4.3.2 Razão muscular isquiotibiais:quadríceps</b> .....           | 19 |
| 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....  | 21 |
| <b>5 RESULTADOS</b> .....  | 21 |
| <b>6 DISCUSSÃO</b> .....   | 26 |
| <b>7 LIMITAÇÃO</b> .....   | 28 |
| <b>8 CONCLUSÃO</b> .....   | 29 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 29 |

**APÊNDICE 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..... 33**

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a última década, houve um aumento exponencial no número de jogadoras de futebol do nível juvenil ao profissional (COSO *et al.*, 2016; FIFA, 2014; FIFA, 2019). Segundo a Federação Internacional de Futebol em 2015, o número total de jogadores profissionais registrados era de aproximadamente 4 milhões, aumentando para aproximadamente 13 milhões em 2019, um aumento de 325% (Scott *et al.*, 2020). Infelizmente, este crescimento vem acompanhado de um aumento considerável no número de lesões, e isso pode ser devido ao aumento substancial na frequência, intensidade e competitividade durante as rotinas de treino e partidas (LARRUSKAIN *et al.*, 2017; LÓPEZ-VALENCIANO *et al.*, 2021; ROBLES-PALAZÓN *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, vários estudos avaliaram a incidência de lesões em jogadores de futebol, e observou-se que a maioria das lesões está relacionada aos membros inferiores, sendo a articulação do joelho a mais acometida (LARRUSKAIN *et al.*, 2017; LÓPEZ-VALENCIANO *et al.*, 2021; ROBLES-PALAZÓN *et al.*, 2021), bem como os isquiotibiais (EKSTRAND *et al.*, 2011). Com relação à articulação do joelho, aproximadamente 16,8-31,8% das lesões ocorrem nesta região do corpo, sendo a ruptura do ligamento cruzado anterior uma das lesões mais frequentes em jogadores de futebol, sendo 6 vezes mais incidente no sexo feminino do que no sexo masculino (WEBSTER; HEWETT; FELLER, 2021). Além disto, as lesões da musculatura isquiotibial também são frequentes e representam 15,1-32,3% das lesões musculares. A fim avaliar desequilíbrios musculares que aumentam as chances de lesão nos membros inferiores, bem como a sua gravidade, a avaliação da força muscular isocinética é tradicionalmente utilizada em clubes de futebol durante a pré-temporada, sendo que os valores de força e equilíbrio muscular de articulações como a do joelho podem auxiliar a organização das rotinas de treino envolvendo os flexores e extensores de joelho e, desta maneira, auxiliar na redução do risco de lesões sem contato ocorridos na articulação do joelho (CROISIER *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2018).

A razão de força muscular isquiotibiais:quadríceps, calculada pelo pico de torque, tem sido o parâmetro mais utilizado para rastrear o risco das lesões (CROISIER *et al.*, 2008). Esta razão tem sido tradicionalmente apresentada de duas maneiras: a razão convencional I:Q, que é calculada dividindo-se a força muscular concêntrica de flexores do joelho pela força muscular concêntrica de extensores do joelho, e a razão funcional I:Q, que é calculada dividindo-se a força muscular excêntrica de flexores do joelho pela força muscular concêntrica

de extensores do joelho (AAGAARD *et al.*, 1998). No entanto, estudos recentes ressaltam que valores de força I:Q não predizem a ocorrência de lesões futuras (DAUTY *et al.*, 2018; GREEN *et al.*, 2020; VAN DYK *et al.*, 2016). A fadiga muscular desenvolvida durante uma partida ou acumulada durante o microciclo de treino, parece influenciar o risco de lesões (MCCALL *et al.*, 2015; WOODS *et al.*, 2004). No entanto, em muitos estudos a razão I:Q tradicional tem sido avaliada em condições sem a presença da fadiga muscular. Pinto e colaboradores (2018) mostraram que os valores da razão I:Q durante um teste de fadiga em dinamômetro isocinético são diferentes daqueles observados sem fadiga muscular em jogadores profissionais de futebol do sexo masculino. Além disto, estes autores observaram menor resistência à fadiga dos flexores de joelho em relação aos extensores de joelho, condição neuromuscular que pode favorecer a excessiva translação anterior da tíbia em relação ao fêmur, que está associada à ruptura do LCA e distensão dos isquiotibiais. Outro estudo (WEBER *et al.*, 2010) também analisou os dados do PT e do índice de fadiga coletados no teste isocinético e mostrou que, durante o teste isocinético de fadiga, a resistência à fadiga difere entre o quadríceps femoral e os isquiotibiais, com maior redução do torque dos músculos flexores quando comparados aos extensores do joelho. No entanto, são poucos os estudos que investigam jogadoras de futebol e a razão força I:Q destas atletas, principalmente em testes realizados em condições de fadiga muscular.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a razão de força I:Q em jogadoras profissionais de futebol no início da pré-temporada.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar e comparar a razão de força I:Q ao longo do protocolo isocinético indutor de fadiga muscular em jogadoras profissionais de futebol;

Avaliar e comparar o índice de fadiga muscular desenvolvido em flexores e extensores de joelho usando um protocolo isocinético indutor de fadiga muscular em jogadoras profissionais de futebol.

## **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Com o intuito de melhor compreender as particularidades dos assuntos abordados, faz-se necessário a revisão da literatura sobre os temas envolvidos.

### 3.1 INCIDÊNCIA DE LESÃO NO FUTEBOL FEMININO

No que tange ao futebol feminino é observado um crescimento exponencial do número de meninas e mulheres atletas desde o nível de base até o profissional (COSO *et al.*, 2016). Infelizmente, esse crescimento vem acompanhado de lesões que causam sofrimento mental e físico para a atleta, redução do elenco disponível para comissão técnica e prejuízo financeiro para o clube (DIEMER *et al.*, 2021 e FAUDE *et al.*, 2006). É necessário que os órgãos responsáveis e interessados em melhor compreender a incidência de lesões no futebol considerem a definição de lesão, bem como a sua classificação e severidade para melhor documentação e definição de estratégias de controle da crescente ocorrência destas lesões (CHENG *et al.*, 2020 e VAN MECHELEN; HLOBIL; KEMPER, 1992).

O conceito de lesão é amplo na literatura (CLARSEN; BAHR, 2014) e é fracionado em quatro categorias: definição teórica, operacional, híbrida e abrangente (PROFISIO, 2019). A definição teórica concentra-se na alteração biológica do corpo humano, um exemplo é: “uma queixa física causada por uma transferência de energia que ultrapassa a capacidade corporal de manter a integridade de sua estrutura e/ou função” (PROFISIO, 2019). Contudo, para ser possível o monitoramento de lesões o profissional encarregado necessita da operacionalização desses dados, com isso, é possível detectar e acompanhar as lesões com mais simplicidade e funcionalidade (PROFISIO, 2019). Sendo assim, a definição operacional é algo que permite o monitoramento de lesões, de maneira mais quantitativa, pelo profissional de saúde durante a sua rotina (PROFISIO, 2019). Por exemplo: o afastamento do atleta de sua atividade esportiva ou lesão que requer atenção e cuidado de um profissional da saúde (PROFISIO, 2019). A terceira categoria, a híbrida, é caracterizada quando se incorpora, pelo menos, dois componentes operacionais para uma atleta ser considerada lesionada (PROFISIO, 2019). Já a definição abrangente é caracterizada como uma desordem neuromusculoesquelética, independentemente de suas consequências operacionais (PROFISIO, 2019).

Após o conhecimento a respeito da definição de lesão deve-se compreender sobre o que será utilizado para mensuração da sua severidade, pois é interessante reduzir tanto o número de lesões quanto à severidade de

cada lesão (VAN MECHELEN; HLOBIL; KEMPER, 1992). Alguns exemplos que são comumente utilizados são: tempo de recuperação, número de atendimentos recebidos, tempo de afastamento do atleta do treino e/ou partida e custo do tratamento (VAN MECHELEN; HLOBIL; KEMPER, 1992).

Por fim, é necessário a compreensão a respeito das características e causas da lesão, para ser possível classificá-la (VAN MECHELEN; HLOBIL; KEMPER, 1992). A classificação engloba diferentes cenários (PROFISIO, 2019). Em relação à classificação, a lesão pode ser aguda ou gradual; sobre o mecanismo tem-se o de contato ou não contato; além da classificação de acordo com a região corporal, tipo de tecido, e se é uma lesão primária ou recorrente (PROFISIO, 2019).

A incidência de lesões no futebol feminino reportada na literatura apresenta diferentes cenários (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021). As lesões diferem em sua incidência quando analisadas em treino ou em partida, contemplando uma incidência de 3.5 e 19.2 por mil horas de exposição, respectivamente (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021). Contudo, independentemente disto, é observado um acometimento maior na extremidade inferior dos membros (EKSTRAND; HAGGLUND; WALDEN, 2009; INKLAAR *et al.*, 1994 e LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021), sendo tornozelo, joelho e a coxa as localidades mais incidentes (1.1, 1.1 e 0.9 por mil horas de exposição, respectivamente) (Valenciano *et al.*, 2020)). Uma revisão sistemática com metanálise (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021) apresentou como músculo/tendão, estrutura não óssea/ligamento como os tipos de lesões mais comuns (1.82 e 1.51 por mil horas de exposição, respectivamente). Contudo, este estudo não estratificou as musculaturas envolvidas. Outro estudo (CROSSLEY *et al.*, 2020), em alternativa, observou que a musculatura posterior da coxa é a terceira região de maior incidência de lesão (0.22 por mil horas de exposição) e que 47% destas ocorrem durante os últimos minutos de cada tempo de jogo (WOODS *et al.*, 2004). Com relação à severidade das lesões (considerando o tempo que a jogadora precisa ficar afastada das partidas) é visto quatro gravidades de maneira crescente: 2.2, 2.1, 1.7 e 1.1, por mil horas de exposição (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021). Quando é observado o mecanismo de lesão, as lesões traumáticas aparecem com superioridade em relação àquelas causadas por uso excessivo (4.5 e 1.6 por mil horas de exposição, respectivamente) (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021). No que se diz

respeito à lesão primária ou recorrente há uma incidência, por mil horas de exposição, de 4.6 para novas lesões e de 1.8 para lesões recorrentes (LÓPES-VALENCIANO *et al.*, 2021).

### 3.2 AVALIAÇÃO DE FORÇA MUSCULAR

A força muscular é um importante componente de saúde e desempenho físico no esporte (GRØNFELDT *et al.*, 2020; WING; TURNER; BISHOP, 2020). Geralmente, é aceita como um fator importante que influencia o sucesso no esporte (REQUENA *et al.*, 2009) e corresponde à força máxima gerada por um músculo ou um grupamento muscular durante a contração voluntária máxima sob um determinado conjunto de condições (BARTLETT *et al.*, 2007). A mesma tem sido comumente avaliada no futebol durante a temporada para identificar indivíduos que possam estar em um grupo de risco para lesões (PAUL *et al.*, 2015; WHITELEY *et al.*, 2012).

A mensuração de força muscular pode ser realizada a partir de métodos que utilizem diferentes modos de contração muscular: isométrica, concêntrica e excêntrica (MIL-HOMENS; VALAMATOS; PINTO, 2017). A contração isométrica é caracterizada por uma contração muscular sem encurtamento ou alongamento do músculo (HISLOP *et al.*, 1967). A contração isotônica é composta da contração concêntrica e excêntrica, que é quando o músculo é encurtado durante a produção de força e quando o músculo é alongado durante a produção de força, respectivamente (BARTLETT *et al.*, 2007). Além disto, diferentes aparelhos podem medir a força muscular em diferentes condições: isométrica, isotônica e isocinética (MIL-HOMENS; VALAMATOS; PINTO, 2017). A condição isométrica consiste na avaliação em determinado ângulo sem movimentação, a isotônica consiste na avaliação quando não é controlada a velocidade do movimento e a isocinética quando é controlada a velocidade do movimento, contudo a velocidade não é sempre constante, pois há um período de aceleração e desaceleração (HISLOP *et al.*, 1967).

A mensuração através do dinamômetro isocinético permite a avaliação dos três modos de contração e das três condições (AAGAARD *et al.*, 1998); e é apontado na literatura como o padrão ouro para identificação da força muscular (MARTIN *et al.*, 2006). Essa avaliação é realizada através de um equipamento que possui um dispositivo eletromecânico ou hidráulico (VALOVICH-MCLEOD *et al.*, 2004). Através desse instrumento é possível



avaliar diferentes músculos e grupos musculares e a principal aplicação é na avaliação da relação de força entre grupos musculares antagonistas, por exemplo, dos grupos: isquiotibiais e quadríceps (PAUL *et al.*, 2015). Com isto, é possível avaliar o balanço muscular, determinado pela razão entre a musculatura agonista e antagonista de determinado movimento articular (SILVA NETO *et al.*, 2010). Uma boa proporção entre esses dois grupamentos musculares é essencial para a adequada estabilidade da articulação do joelho (VARGAS *et al.*, 2019).

Como qualquer ferramenta, o dinamômetro isocinético apresenta vantagens e desvantagens (VALAMATOS; MIL-HOMENS; PINTO, 2017). Como vantagens, observamos: a produção de força muscular como sendo máxima durante todo o período da avaliação, pois a força exercida pelo equipamento é proporcional à força aplicada pelo participante avaliado; a avaliação pode ser realizada em diferentes velocidades ( $1^\circ/s$  até  $500^\circ/s$ ); além de ser segura para o avaliado e possuir alta reprodutibilidade dos valores mensurados (TERRERI *et al.*, 1999); e como desvantagens, observa-se: diferença no modo de contração, pois no cotidiano não temos contrações isocinéticas, contudo os valores de PT apresentados através da avaliação de um gesto motor e através de um movimento isolado pelo dinamômetro isocinético é muito próximo (VALAMATOS; MIL-HOMENS; PINTO, 2017). A avaliação, através do dinamômetro isocinético, é ampla e permite a análise de diferentes parâmetros: PT, ângulo do PT (ângulo onde ocorre o maior valor da produção de força), trabalho (produto do torque pela distância percorrida), índice de fadiga (diferença percentual da média das primeiras e últimas repetições), diferença contralateral (diferença na produção de torque da articulação dominante e não dominante), equilíbrio articular agonista e antagonista, e taxa de produção de torque (TERRERI *et al.*, 1999; VALOVICH-MCLEOD *et al.*, 2004).

### **3.2.1 Equilíbrio muscular agonista e antagonista**

O equilíbrio muscular é apontado como a relação de força da musculatura agonista e antagonista de determinado movimento (VALAMATOS; MIL-HOMENS; PINTO, 2017). O seu valor de referência é dependente da condição isocinética utilizada, podendo ter uma razão convencional, quando é utilizado contração concêntrica ou excêntrica para a musculatura agonista e antagonista, ou uma razão funcional, quando é

utilizado contração excêntrica para a musculatura antagonista e contração concêntrica para a musculatura agonista (AAGAARD *et al.*, 1998), sendo que, na razão I:Q convencional busca-se uma razão, aproximada, de 0.5-0.7 e na funcional uma razão, aproximada, de 0.6-1.4 (AAGAARD *et al.*, 1998). A razão I:Q convencional a  $60^{\circ}\text{s}^{-1}$  inferior a 50,5% (LEE *et al.*, 2018) e a razão I:Q funcional a  $60^{\circ}\text{s}^{-1}$  inferiores a 60% (DAUTY; POTIRON-JOSSE; ROCHCONGAR, 2003) aparecem na literatura como fatores de risco para lesão da musculatura isquiotibial. A avaliação da razão I:Q é, usualmente, descrita através do PT. Em condições isocinéticas, a condição de produzir força máxima pode ser mensurada pelo PT. O PT, medido em N.m., é descrito como o maior torque produzido em um determinado ângulo e pode ser analisado em contrações concêntrica, excêntrica ou isométrica (VALAMATOS; MIL-HOMENS; PINTO, 2017). O desequilíbrio na produção de força muscular desenvolvida pelos grupamentos musculares responsáveis pela flexão e extensão do joelho vem sendo umas das principais avaliações físicas realizadas por parte do Departamento Médico e *staff* de clubes de futebol e, esta avaliação, é usualmente realizada através da razão de força I:Q baseada nos valores de PT durante uma contração voluntária máxima (CROISIER *et al.*, 2008; DAUTY *et al.*, 2016; LIPORACI *et al.*, 2018).

### 3.3 FADIGA MUSCULAR

A fadiga muscular é definida como a incapacidade de produzir e manter determinado nível de força durante a realização do exercício (MACINTOSH; RASSIER, 2002). A fadiga é acentuada, em especial, no grupamento muscular da região anterior (i.e., quadríceps) e posterior da coxa (i.e., isquiotibiais), por serem musculaturas mais exigidas nas ações do futebol (WEBER *et al.*, 2012). Ao ser analisada a quantidade das fibras musculares observa-se que a musculatura isquiotibial apresenta maior quantidade de fibras musculares esqueléticas do tipo II (menos resistentes à fadiga), em relação à musculatura quadricipital (GARRETT; CALIFF; BASSETT, 1984; HUNTER *et al.*, 2001).

Associado a isso, há estudos que apontam uma maior incidência de lesão da musculatura isquiotibial no final de cada tempo, relacionando com a sobrecarga imposta durante uma partida (WOODS *et al.*, 2004). Além disso, também há estudos apontando uma maior incidência de lesão na região

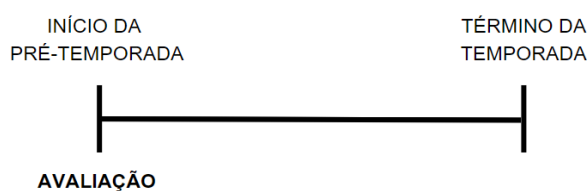
posterior da coxa em atletas que jogam duas partidas na semana em comparação com atletas que jogam apenas uma partida, associado a um período reduzido de recuperação entre as partidas (BENGTSSON; EKSTRAND; HÄGGLUND, 2013).

Buscando compreender a influência da fadiga muscular em diferentes cenários do futebol há alguns protocolos que são utilizados para induzir a fadiga muscular (DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010). A indução da fadiga muscular pode ser realizada através do dinamômetro isocinético. O protocolo indutor de fadiga realizado através do dinamômetro isocinético, consiste geralmente de 30 repetições contínuas concêntricas máximas de flexão e extensão do joelho a uma velocidade de  $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ . O indivíduo é instruído a realizar a contração “o mais forte e rápido possível” e o encorajamento verbal e visual é realizado durante todo o protocolo.

## 4 MÉTODOS

### 4.1 DESENHO DO ESTUDO

Este estudo é observacional de seguimento transversal, do tipo quantitativo. A avaliação de força dos músculos isquiotibiais e quadríceps (assim como o cálculo da razão I:Q), e o protocolo indutor de fadiga muscular destes grupos musculares, foram realizados nos dois membros inferiores, e esta avaliação ocorreu no início da pré-temporada de futebol (temporada 2021-2022). A avaliação ocorreu na Universidade de Caxias do Sul, na cidade de Caxias do Sul no estado do Rio Grande do Sul, na primeira semana da pré-temporada (Figura 1). A pré-temporada durou quatro semanas e, na sequência, iniciou-se o calendário de partidas de dois campeonatos oficiais ao longo do ano (segunda divisão do campeonato nacional e primeira divisão do campeonato regional de futebol).



**Figura 1.** Desenho experimental do estudo (avaliação na pré-temporada).

### 4.2 PARTICIPANTES

Este estudo incluiu 15 atletas de futebol profissional do sexo feminino com idade superior a 18 anos. Foram excluídas do estudo quatro atletas, pelo fato de que não estavam aptas fisicamente para a realização da avaliação.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (número de aprovação: 47867121.2.0000.5347) e pelo clube envolvido. Além disto, os dirigentes, coordenadores e as participantes foram informados sobre os objetivos e os procedimentos do estudo, e todos concordaram em participar assinando o termo de consentimento livre e esclarecido.

#### 4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA

##### **4.3.1 Protocolo de avaliação no dinamômetro isocinético**

Os procedimentos de avaliação foram realizados conforme detalhado em estudos anteriores (PINTO *et al.*, 2018 e RUAS *et al.*, 2015). Resumidamente, a extensão e flexão do joelho foram realizadas em condições máximas durante um protocolo indutor de fadiga muscular usando um dinamômetro isocinético (Biodex, System 4 Pro™, Biodex Medical Systems, New York, USA). Um aquecimento de 5 minutos foi realizado em um cicloergômetro em ritmo confortável (Tecnologia de Movimento, model BM2799, São Paulo, SP, Brazil) antes das participantes serem posicionadas no dinamômetro isocinético, com tiras de fixação colocadas na coxa (membro inferior a ser testado), quadris (posicionados a 85°) e tórax, para minimizar movimentos compensatórios. O epicôndilo lateral do joelho a ser testado foi alinhado com o eixo de rotação do dinamômetro, e o braço de alavanca da máquina preso à perna a 2 cm acima do maléolo lateral do tornozelo. O pico de torque do joelho foi avaliado por meio da amplitude de movimento de 90° (de 90° de flexão do joelho a 0° de extensão total). Antes da avaliação, as participantes realizaram um aquecimento específico composto por 10 repetições isocinéticas concêntricas de extensão-flexão do joelho a 120°s<sup>-1</sup> e cinco repetições a 300°s<sup>-1</sup> para fins de familiarização.

O protocolo indutor de fadiga muscular consistiu em 30 repetições contínuas de extensão e flexão de joelho através de contrações concêntricas realizadas a 300 °s<sup>-1</sup>. Estudos anteriores demonstraram reduções significativas no PT de extensão e flexão do joelho de jogadores profissionais de futebol masculino (PINTO *et al.*, 2018; WEBER *et al.*, 2010), e que um mínimo de 25

repetições é necessário para determinar com precisão a diminuição na razão I:Q (SANGNIER; TOURNY-CHOLLET, 2008). Além disso, como as lesões comuns no joelho no futebol (por exemplo, ruptura do LCA e distensão dos isquiotibiais) geralmente ocorrem em altas velocidades de movimento (WALDÉN *et al.*, 2015), assim, as atletas foram instruídas a “empurrar e puxar o mais forte e rápido possível” durante cada tentativa (SAHALY *et al.*, 2001). Os dados brutos foram exportados do *software* do dinamômetro (Biodex 4 System) para um computador pessoal após a correção da gravidade, e os valores de pico de torque de ambos os membros inferiores foram usados para análise posterior.

#### 4.3.2 Índice de fadiga muscular

Para identificar as alterações no pico de torque de flexão e extensão do joelho pelo protocolo indutor de fadiga muscular, o IF foi calculado usando um método já utilizado anteriormente (PINTO *et al.*, 2018), em que a diminuição percentual no pico médio, calculado nas últimas três repetições (ou seja, 28<sup>a</sup>, 29<sup>a</sup> e 30<sup>a</sup> repetições), foi comparada com o pico de torque médio nas três primeiras repetições válidas (ou seja, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> repetições). A 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> repetições foram descartadas para minimizar possíveis artefatos relacionados ao início da contração.

$$IF = [(m\u00e9dia \text{ do pico de torque}_{3-5} - m\u00e9dia \text{ do pico de torque}_{28-30}) / m\u00e9dia \text{ do pico de torque}_{3-5}] \times 100$$

#### 4.3.3 Razão muscular isquiotibiais:quadríceps

A razão I:Q convencional foi calculada em cada repetição, dividindo-se o pico de torque (PT) dos flexores do joelho PT dos extensores do joelho, sendo os mesmo avaliados em condições concêntricas. A razão I:Q em condições de fadiga foi calculada usando-se o IF de flexão e extensão do joelho. Além disto, seguindo o método utilizado no estudo de Pinto *et al.* (2018), a razão I:Q também foi calculada dividindo-se o valor médio do PT concêntrico de flexores de joelho pelo valor médio do PT concêntrico de extensores de joelho, ambos medidos a cada quatro repetições durante o protocolo isocinético indutor de fadiga (ou seja, 3<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> a 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> a 14<sup>a</sup>; 15<sup>a</sup> a 18<sup>a</sup>; 19<sup>a</sup> a 22<sup>a</sup>; 23<sup>a</sup> a 26<sup>a</sup>; 27<sup>a</sup> a 30<sup>a</sup>).

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e os valores descritivos são apresentados como média  $\pm$  desvio padrão (DP). ANOVAs de duas vias com medidas repetidas foi utilizada para comparar: (1) o pico de torque concêntrico de extensão e flexão do joelho sem fadiga e com fadiga do membro direito e membro esquerdo e; (2) a razão I:Q ao longo das repetições no protocolo de fadiga do membro direito e membro esquerdo. A esfericidade foi testada usando o teste de *Mauchly*. *Greenhouse-Geiser* foi usado quando a esfericidade foi violada. Quando um efeito principal do exercício foi observado, comparações pareadas de acompanhamento usando o ajuste de *Bonferroni* foram usadas para determinar diferenças significativas entre o tempo, membro e interação tempo e membro. Como não foram observadas diferenças nos parâmetros de desempenho entre os dados dos membros direito e esquerdo, ambos os membros dos participantes foram considerados para análise como um único conjunto de dados. Teste T de amostra pareada foi utilizado para comparar: (3) o índice de fadiga de extensores e flexores de joelho. Os tamanhos de efeito foram calculados pela diferença entre as pontuações sem fadiga e com fadiga, dividido pelo DP e o ES foi interpretado como:  $ES \leq 0,2$ , efeito trivial;  $0,2-0,5$ , efeito pequeno;  $0,5-0,8$ , efeito moderado; e  $ES \geq 0,8$ , grande efeito. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o *software* Statistical Package for Social Science (SPSS) versão 20.0 (IBM SPSS Inc., IL, USA) e o nível de significância ( $\alpha$ ) adotado foi de  $\leq 0.05$ .

## 5 RESULTADOS

Quinze jogadoras de futebol profissional participaram do estudo (idade =  $21,8 \pm 5,3$  anos; estatura =  $163,6 \pm 7,6$  cm; massa corporal =  $60,1 \pm 8,7$  kg).

As alterações no pico de torque de extensão e flexão do joelho durante o protocolo indutor de fadiga muscular isocinética estão apresentadas na Tabela 1. Como esperado, ao final do protocolo de fadiga, o torque de extensão de joelhos foi significativamente reduzido para os membros direito e esquerdo ( $F_{(1,00, 14,00)} = 128,31$ ;  $P = 0,001$ ), sem diferenças significativas entre os membros ( $F_{(1,00, 14,00)} = 0,27$ ;  $P = 0,610$ ). Não houve interação significativa entre o tempo e membros avaliado ( $F_{(1,00, 14,00)} = 0,18$ ;  $P = 0,672$ ). Para flexão de joelhos, o torque também foi significativamente reduzido para os membros direito e esquerdo ( $F_{(1,00, 14,00)} = 230,97$ ;  $P = 0,001$ ), sem diferenças

significativas entre os membros ( $F_{(1,00, 14,00)} = 0,31; P = 0,585$ ). Não houve interação significativa entre o tempo e membros avaliado ( $F_{(1,00, 14,00)} = 0,47; P = 0,504$ ).

**Tabela 1.** Comparações entre os valores de pico de torque a  $300^{\circ}\text{s}^{-1}$  em condições isocinéticas, sem (valores iniciais) e com (valores finais) a presença da fadiga muscular.

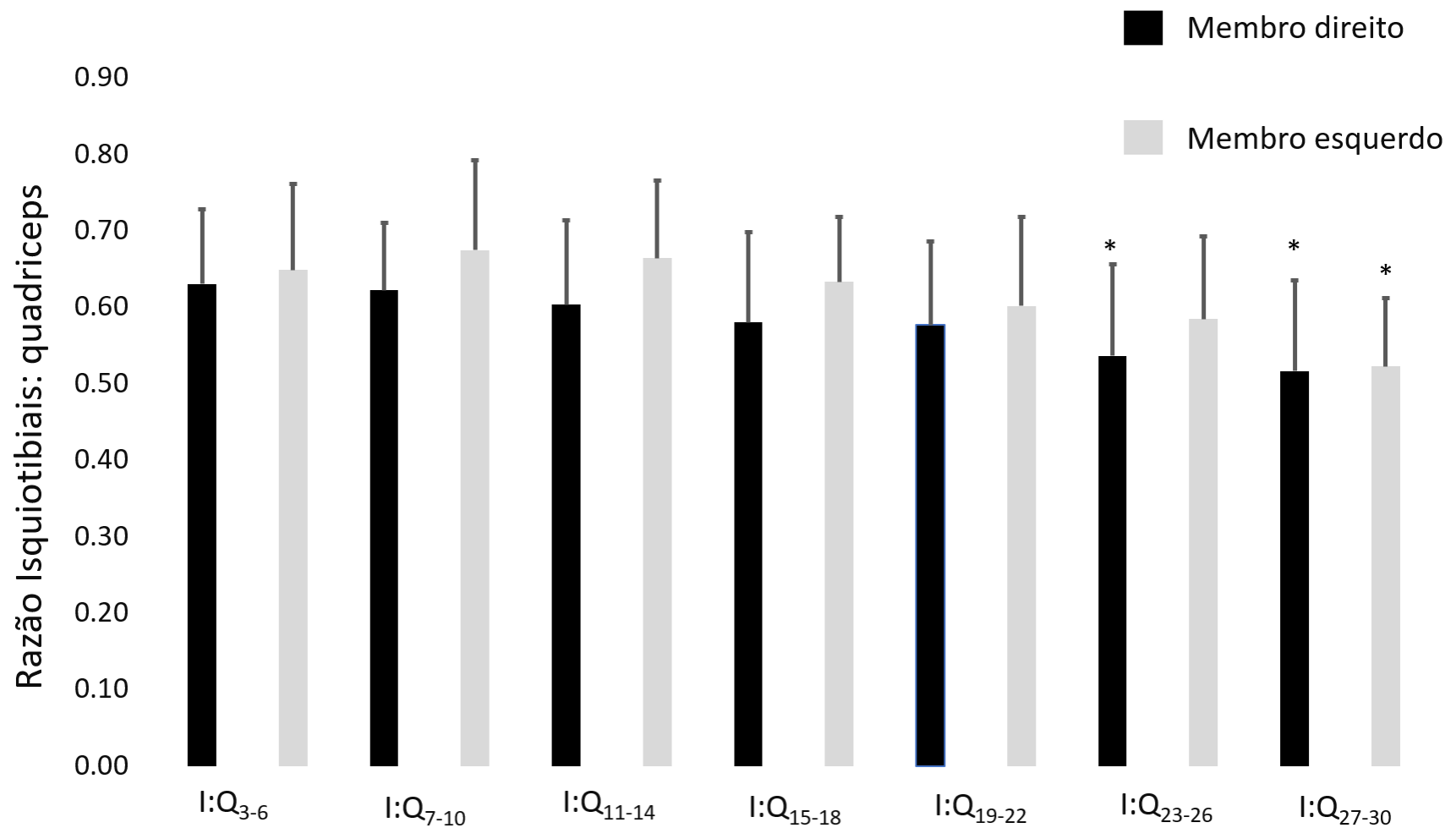
| Variável  | Sem fadiga<br>(inicial)    | Com fadiga<br>(final)      | $\Delta$<br>[95% IC] | ES<br>[95% IC] | Valor <i>P</i>    |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|-------------------|
|   | Média $\pm$ DP<br>[95% IC] | Média $\pm$ DP<br>[95% IC] |                      |                |                   |
| <b>Extensão do joelho</b>                         |                            |                            |                      |                |                   |
| Direita   | 55,2 $\pm$ 9,2             | 37,0 $\pm$ 6,9             | 18,2 $\pm$ 6,6       | 2,0 $\pm$ 0,7  | <i>P</i> = 0.0001 |
| Pico de torque a $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ , N·m | [50,6 a 59,9]              | [33,5 a 40,5]              | [14,9 a 21,6]        | [1,6 a 2,3]    |                   |
| Esquerda  | 54,8 $\pm$ 12,3            | 35,8 $\pm$ 8,4             | 19,0 $\pm$ 7,7       | 1,5 $\pm$ 0,6  | <i>P</i> = 0.0001 |
| Pico de torque a $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ , N·m | [48,6 a 61,0]              | [31,5 a 41,1]              | [15,1 a 22,9]        | [1,29 a 1,9]   |                   |
| <b>Flexão do joelho</b>                           |                            |                            |                      |                |                   |
| Direita   | 34,6 $\pm$ 6,4             | 18,8 $\pm$ 4,3             | 15,8 $\pm$ 4,6       | 2,5 $\pm$ 0,7  | <i>P</i> = 0.0001 |
| Pico de torque a $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ , N·m | [31,4 a 37,8]              | [16,6 a 21,0]              | [13,5 a 18,2]        | [2,1 a 2,8]    |                   |
| Esquerda  | 34,5 $\pm$ 4,8             | 17,9 $\pm$ 3,9             | 16,6 $\pm$ 4,6       | 3,4 $\pm$ 1,0  | <i>P</i> = 0.0001 |
| Pico de torque a $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ , N·m | [32,0 a 36,9]              | [15,9 a 19,9]              | [14,2 a 18,9]        | [2,9 a 3,9]    |                   |

DP = desvio padrão;  $\Delta$  = variação média; 95% IC = intervalo de confiança a 95%; ES = tamanho do efeito; ANOVAs de duas vias com medidas repetidas revelou diferença significativa da extensão e flexão do joelho com fadiga em comparação a sem fadiga N·m (*P* = 0.001).



O comportamento das razões I:Q ao longo do protocolo indutor de fadiga em dinamômetro isocinético estão apresentados na figura 2. ANOVAs de duas vias com medidas repetidas revelou uma redução significativa na razão I:Q ao longo do protocolo indutor de fadiga para ambos os membros ( $F_{(2,63, 36,95)} = 25,16; P = 0,001$ ), sem diferença significativa entre os membros avaliados ( $F_{(1,00, 14,00)} = 1,23; P = 0,285$ ). Não houve interação significativa entre o tempo e membros avaliados ( $F_{(3,74, 52,46)} = 1,69; P = 0,170$ ).

Comparações pareadas utilizando ajustes de *Bonferroni* mostraram que para o membro direito, houve uma redução significativa da razão I:Q somente a partir da 23<sup>a</sup> repetição I:Q<sub>23-26</sub> ( $0,54 \pm 0,12$ ) vs. I:Q<sub>3-6</sub> ( $0,63 \pm 0,10$ ) ( $P = 0,003$ ) e I:Q<sub>27-30</sub> ( $0,52 \pm 0,12$ ) vs. I:Q<sub>3-6</sub> ( $0,63 \pm 0,10$ ) ( $P = 0,001$ ). Enquanto para o membro esquerdo a razão I:Q teve uma redução significativa somente a partir da 27<sup>a</sup> repetição, I:Q<sub>27-30</sub> ( $0,52 \pm 0,09$ ) vs. I:Q<sub>3-6</sub> ( $0,65 \pm 0,11$ ) ( $P = 0,021$ ).



**Figura 2.** A razão isquiotibiais: quadríceps calculada para cada quatro repetições (I:Q<sub>7-10</sub>, I:Q<sub>11-14</sub>, I:Q<sub>15-18</sub>, I:Q<sub>19-22</sub>, I:Q<sub>23-26</sub> e I:Q<sub>27-30</sub>) foram comparados com I:Q<sub>3-6</sub> durante o protocolo isocinético indutor de fadiga muscular. Comparações pareadas utilizando ajustes de *Bonferroni* mostraram na ANOVAs de duas vias com medidas repetidas diferença significativa em comparação a razão I:Q<sub>3-6</sub> durante o protocolo de fadiga em dinamômetro isocinético ( $P \leq 0.05$ ).

Por fim, o teste T de amostra pareada revelou que o índice de fadiga foi significativamente maior para flexão de joelho em comparação a extensão de joelho ( $P = 0,001$ ), demonstrando um maior declínio relativo (%) na força dos flexores do joelho em comparação aos extensores do joelho ( $46,7 \pm 9,7\%$  [95% IC 43,2 a 50,2] vs.  $33,1 \pm 11,0\%$  [95% IC 29,2 a 37,1], respectivamente).

## 6 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar as relações de força I:Q e também o IF desenvolvido em flexores e extensores de joelho durante um protocolo isocinético indutor de fadiga muscular em jogadoras profissionais de futebol. Os principais resultados do presente estudo foram que um protocolo isocinético indutor de fadiga muscular decorreu em uma redução progressiva dos valores de PT de flexão e extensão do joelho ao longo das repetições, com maior redução na flexão do joelho (sem diferenças significativas entre os membros). Com isto, é possível ressaltar que os resultados das avaliações realizadas com o indivíduo em uma condição sem a presença da fadiga muscular serão possivelmente diferentes daqueles observados durante as condições de jogo, uma vez que as demandas neuromusculares dos atletas são diferentes em ambas as condições.

No presente estudo é possível notar a diminuição da razão I:Q convencional (i.e., avaliada em condições concêntricas) ao longo do protocolo que induz a fadiga muscular no dinamômetro isocinético. Cabe ressaltar que estudos anteriores também verificaram este mesmo comportamento. A velocidade angular do dinamômetro isocinético utilizada no presente estudo, de  $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ , foi maior que a utilizada em estudos anteriores, de  $180^{\circ}\text{s}^{-1}$  (SANGNIER; TOURNY-COLLET, 2007; WEBER *et al.*, 2012) e a mesma utilizada em outro estudo (PINTO *et al.*, 2018). Uma diminuição mais pronunciada na razão I:Q foi observada quando uma velocidade angular maior foi usada durante o protocolo isocinético de indução de fadiga muscular comparando os estudos citados. De forma especulativa, velocidades mais rápidas podem aumentar a ativação de fibras musculares de contração rápida, ou seja, fibras do tipo II, em maior magnitude do que em contrações realizadas em menores velocidades (e.g.,  $180^{\circ}\text{s}^{-1}$ ), o que pode explicar em parte os resultados diferentes (HAMADA *et al.*, 2003).

No presente estudo, verificou-se que a razão I:Q teve uma redução significativa a partir da 23ª repetição para o membro inferior direito e a partir da 27ª repetição para o membro inferior esquerdo e o PT de flexão e extensão do joelho diminuíram gradativamente até o final do protocolo indutor de fadiga

muscular. Além disto, ocorreu uma redução progressiva dos valores de PT de flexão e extensão do joelho ao longo das repetições, com maior redução na flexão do joelho, mostrando uma menor tolerância à fadiga dos flexores. Isto parece ser relevante, pois esta diminuição da razão I:Q ao longo das repetições, indica uma maior necessidade deste grupo muscular ser treinado em condições de fadiga muscular. Adicionalmente, estes resultados podem ser parcialmente explicados pela composição do tipo de fibra destes músculos, sendo que os flexores de joelho apresentam maior quantidade de fibras do tipo II, que são mais suscetíveis à fadiga muscular, em comparação aos extensores de joelho (GARRETT *et al.*, 1984). Este comportamento, da mesma forma, já foi documentado em estudos anteriores em atletas do sexo masculino (PINTO *et al.*, 2018), porém, até então, ao nosso conhecimento, não havia estudos investigando atletas do sexo feminino. No estudo de Pinto *et al.* (2018), realizado com atletas de futebol masculino, foi observado decréscimo no PT flexor e extensor do joelho na 6ª repetição e continuaram a diminuir até o final do protocolo. Contudo, a razão I:Q diminuiu estatisticamente apenas no final do protocolo, 28ª-30ª repetições, devido a uma redução significativa no PT flexor do joelho. Este dado relevante, e discrepante entre as mulheres e os homens, pode ter sério impacto na prática diária de clubes esportivos, pois o desequilíbrio da razão I:Q parece ser um fator de risco para lesões do ligamento cruzado anterior, que ocorrem aproximadamente 1-6 vezes mais frequentemente em atletas do sexo feminino em relação aos atletas do sexo masculino (WALDÉN *et al.*, 2010). Além disto, sabe-se que os músculos posteriores da coxa auxiliam o ligamento cruzado anterior na redução e controle da anteriorização da tíbia, sendo um importante fator intrínseco modificável quando o objetivo é diminuir o risco e a gravidade desta lesão (BARATTA *et al.*, 1988; SOLOMONOW *et al.*, 1987). Há controvérsias na literatura em relação a contribuição da razão I:Q como fator contribuinte na redução do risco e da severidade de uma lesão (GREEN *et al.*, 2020). Contudo, é documentado que a relação de força dos músculos do flexores e extensores do joelho devem respeitar uma magnitude de 3:2, ou seja, razão I:Q de 0,66 (COOMBS, 2002). Todavia, este referencial é para indivíduos livres de fadiga muscular. No presente trabalho, observamos que a razão I:Q inicia em valores próximos de 0,66, mas, a partir da 15ª repetição o comportamento fica abaixo do esperado e isto é acentuado a partir da 23ª repetição do protocolo indutor de fadiga muscular.

Neste estudo, também foi possível analisar a variação do pico de torque de flexores e extensores de joelho sem e com fadiga muscular. A fadiga muscular é pronunciada no decorrer das partidas e no decorrer da temporada e, quando

presente, influencia as qualidades físicas, técnicas e táticas do futebol, sendo decorrentes de ações como andar, trotar e correr em alta velocidade, presentes, respectivamente em 33%, 55% e 12% no futebol feminino (SCOTT, 2020). Neste trabalho, a variação média absoluta dos valores sem e com fadiga muscular foi mais acentuada no PT de extensão do joelho, contudo, a análise através do IF, exibiu maior variação no PT de flexão do joelho em relação ao PT de extensão do joelho. Compreender o envolvimento da fadiga muscular em atletas é importante no contexto da lesão, pois no futebol feminino há 1,6 lesões por mil horas de exposição geradas por mecanismo de não contato (LÓPEZ-VALENCIANO *et al.*, 2020) e, além disto, a maior parte de todas as lesões ocorrem no terço final de cada tempo (WOODS *et al.*, 2004) o que pode estar relacionado com a fadiga muscular ocasionada pelo desgaste físico da partida. Além disto, Ekstrand *et al.* (2011) demonstraram que a fadiga muscular foi o quarto item mais citado como fator de risco intrínseco para lesão dos músculos isquiotibiais entre 15 clubes de futebol de elite do continente europeu. Ainda, indivíduos com maior porcentagem de fibras tipo II, como atletas de futebol que possuem *sprint* como ação determinante, podem exigir maior equilíbrio muscular devido à característica explosiva do exercício realizado (COOMBS, 2002). Estas informações somadas auxiliam na concepção dos métodos de avaliação a serem utilizados ao longo da temporada futebolística mais condizentes com a realidade da rotina de treinos e jogos em que inevitavelmente está presente a fadiga muscular aguda e/ ou crônica.

## 7. LIMITAÇÃO

Entende-se que há informações relevantes para o aprimoramento de pesquisas futuras. Há dois pontos a serem considerados: a execução de um protocolo indutor de fadiga muscular amplamente utilizado, porém induzido em laboratório; e a razão I:Q sendo usada convencionalmente, em que não é avaliada a produção de força dos flexores de joelho em condições excêntricas. Com isto, sugere-se que os próximos estudos que abordem esta linha de pesquisa considerem a realização de um protocolo ecológico que induza à fadiga muscular (e.g., uso dos protocolos *Soccer-Specific Simulation 90*, *Functional Agility Short-Term Fatigue Protocol* e *Loughborough Intermittent Shuttle Test*); e que seja realizado o cálculo da razão I:Q de forma funcional, em que é utilizada a força excêntrica dos isquiotibiais ao invés da força concêntrica deste grupo muscular. Nestas situações, a pesquisa se aproxima mais do cenário futebolístico,

às condições de treino e jogo, por meio da fadiga muscular induzida ecologicamente; e nos gestos desportivos, através da razão I:Q ser funcional. Ainda assim, a taxa de diminuição do pico de torque pode fornecer informações importantes sobre o desempenho físico de uma atleta. Portanto, entender o comportamento da força dos músculos isquiotibiais e quadríceps e a razão muscular I:Q em condições de fadiga muscular pode contribuir para o desenvolvimento do desempenho atlético e a redução do risco e gravidade de uma lesão musculoesquelética.

## **8. CONCLUSÃO**

Os resultados do presente estudo foram que um protocolo isocinético de fadiga muscular induziu uma redução progressiva nos valores de pico de torque de flexão e extensão do joelho ao longo das repetições, com maior redução na flexão do joelho. Além disto, os presentes resultados fornecem suporte para o uso da razão muscular I:Q em condições de fadiga muscular em ensaios futuros; e apoia a noção de que os isquiotibiais são mais suscetíveis à fadiga muscular e podem, portanto, estar em maior risco de lesão em comparação com o quadríceps. Ainda, sugere-se que a avaliação da razão muscular I:Q seja realizada em condições de fadiga muscular em clubes de futebol, visando a sua proximidade com a prática esportiva.

## **REFERÊNCIAS**

Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998 Mar-Apr;26(2):231-7. doi: 10.1177/03635465980260021201. PMID: 9548116.

Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med.* 1988 Mar-Apr;16(2):113-22. doi: 10.1177/036354658801600205. PMID: 3377094.

Coombs R, Garbutt G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *J Sports Sci Med.* 2002 Sep 1;1(3):56-62. PMID: 24701125; PMCID: PMC3967430.

Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2008 Aug;36(8):1469-75. doi: 10.1177/0363546508316764. Epub 2008 Apr 30. PMID: 18448578.

Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Cutoffs of isokinetic strength ratio and hamstring strain prediction in professional soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2018 Jan;28(1):276-281. doi: 10.1111/sms.12890. Epub 2017 Apr 20. PMID: 28378465.

Delextrat A, Gregory J, Cohen D. The use of the functional H:Q ratio to assess fatigue in soccer. *Int J Sports Med.* 2010 Mar;31(3):192-7. doi: 10.1055/s-0029-1243642. Epub 2010 Feb 15. PMID: 20157872.

Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med.* 2011 Jun;39(6):1226-32. doi: 10.1177/0363546510395879. Epub 2011 Feb 18. PMID: 21335353.

Garrett WE, Califf JC, Bassett FH. Histochemical correlates of hamstring injuries. *The American Journal of Sports Medicine.* 1984;12(2):98-103. doi:10.1177/036354658401200202.

Green B, Bourne MN, van Dyk N, Pizzari T. Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport. *Br J Sports Med.* 2020 Sep;54(18):1081-1088. doi: 10.1136/bjsports-2019-100983. Epub 2020 Apr 16. PMID: 32299793.

Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, Tarnopolsky MA. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiol Scand.* 2003 Jun;178(2):165-73. doi: 10.1046/j.1365-201X.2003.01121.x. PMID: 12780391.

Larruskain J, Lekue JA, Diaz N, Odriozola A, Gil SM. A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scand J Med Sci Sports.* 2018 Jan;28(1):237-245. doi: 10.1111/sms.12860. Epub 2017 Mar 27. PMID: 28207979.

Lee JWY, Mok KM, Chan HCK, Yung PSH, Chan KM. Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *J Sci Med Sport*. 2018 Aug;21(8):789-793. doi: 10.1016/j.jsams.2017.11.017. Epub 2017 Dec 5. PMID: 29233665.

Liporaci RF, Saad MC, Bevilaqua-Grossi D, Riberto M. Preseason intrinsic risk factors-associated odds estimate the exposure to proximal lower limb injury throughout the season among professional football players. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018 May 30;4(1):e000334. doi: 10.1136/bmjsem-2017-000334. PMID: 29955374; PMCID: PMC6018857.

López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M, Myer GD, Ayala F. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2020 Jun;54(12):711-718. doi: 10.1136/bjsports-2018-099577. Epub 2019 Jun 6. PMID: 31171515; PMCID: PMC9929604.

McCall A, Davison M, Andersen TE, Beasley I, Bizzini M, Dupont G, Duffield R, Carling C, Dvorak J. Injury prevention strategies at the FIFA 2014 World Cup: perceptions and practices of the physicians from the 32 participating national teams. *Br J Sports Med*. 2015 May;49(9):603-8. doi: 10.1136/bjsports-2015-094747. PMID: 25878078; PMCID: PMC4413740.

Pinto MD, Blazeovich AJ, Andersen LL, Mil-Homens P, Pinto RS. Hamstring-to-quadriceps fatigue ratio offers new and different muscle function information than the conventional non-fatigued ratio. *Scand J Med Sci Sports*. 2018 Jan;28(1):282-293. doi: 10.1111/sms.12891. Epub 2018 May 2. PMID: 28378509.

Robles-Palazón FJ, López-Valenciano A, De Ste Croix M, Oliver JL, García-Gómez A, Sainz de Baranda P, Ayala F. Epidemiology of injuries in male and female youth football players: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 2022 Nov;11(6):681-695. doi: 10.1016/j.jshs.2021.10.002. Epub 2021 Oct 23. PMID: 34700052; PMCID: PMC9729930.

Ruas CV, Pinto RS, Haff GG, Lima CD, Pinto MD, Brown LE. Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: a Comprehensive Review. *Sports Med Open*. 2019 Mar 25;5(1):11. doi: 10.1186/s40798-019-0185-0. PMID: 30911856; PMCID: PMC6434009.



Sahaly R, Vandewalle H, Driss T, Monod H. Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Aug;85(3-4):345-50. doi: 10.1007/s004210100451. PMID: 11560090.

Sangnier S, Tourny-Chollet C. Study of the fatigue curve in quadriceps and hamstrings of soccer players during isokinetic endurance testing. *J Strength Cond Res.* 2008 Sep;22(5):1458-67. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181ab41. PMID: 18714243.

Scott D, Bradley PS. Physical Analysis of the FIFA Women's World Cup France 2019TM. Fédération Int Footb Assoc. 2020.

Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* 1987 May-Jun;15(3):207-13. doi: 10.1177/036354658701500302. PMID: 3618871.

van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, Farooq A, Witvrouw E. Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *Am J Sports Med.* 2016 Jul;44(7):1789-95. doi: 10.1177/0363546516632526. Epub 2016 Mar 21. PMID: 27002102.

Waldén M, Häggglund M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Jan;19(1):3-10. doi: 10.1007/s00167-010-1172-7. Epub 2010 Jun 9. PMID: 20532868.

Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Häggglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med.* 2015 Nov;49(22):1452-60. doi: 10.1136/bjsports-2014-094573. Epub 2015 Apr 23. PMID: 25907183; PMCID: PMC4680158.

Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A; Football Association Medical Research Programme. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of

hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2004 Feb;38(1):36-41. doi: 10.1136/bjism.2002.002352. PMID: 14751943; PMCID: PMC1724733.

Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med.* 1992 Aug;14(2):82-99. doi: 10.2165/00007256-199214020-00002. PMID: 1509229.

Weber, Fernanda Seganfredo; Silva, Bruna Gonçalves Cordeiro da; Radaelli, Régis; Paiva, Cláudio; Pinto, Ronei Silveira. Avaliação Isocinética em Jogadores de Futebol Profissional e Comparação do Desempenho Entre as Diferentes Posições Ocupadas no Campo. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 264-268, ago. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-86922010000400006>.

Webster KE, Hewett TE, Feller JA. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Australian Rules Football: Incidence, Prevention and Return to Play Outcomes. *Open Access J Sports Med.* 2021 Mar 31;12:33-41. doi: 10.2147/OAJSM.S250414. PMID: 33833597; PMCID: PMC8020809.

Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A; Football Association Medical Research Programme. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2004 Feb;38(1):36-41. doi: 10.1136/bjism.2002.002352. PMID: 14751943; PMCID: PMC1724733.

## APÊNDICE 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você sendo convidada a participar do estudo intitulado “A RAZÃO ISQUIOTIBIAIS:QUADRÍCEPS EXPRESSA EM PICO DE TORQUE DURANTE PROTOCOLO INDUTOR DE FADIGA MUSCULAR EM ATLETAS DE FUTEBOL FEMININO PROFISSIONAL: UM ESTUDO TRANSVERSAL”, orientado pelo Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto, que objetiva avaliar a razão I:Q nas condições com e sem fadiga induzida por um protocolo isocinético. Para tanto, pedimos que você leia atentamente este documento, antes de consentir com sua assinatura. Este projeto está de acordo com a Resolução N° 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, que dispõe sobre as diretrizes e normas envolvendo seres humanos.

O projeto será realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que localiza-se na cidade de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul.

**PROCEDIMENTOS:** Você irá participar de uma coleta de dados, com duração de, aproximadamente, 30 minutos, em um único dia. Primeiramente será realizada a coleta dos seguintes dados: identificação da participante, informações sobre a saúde, informações sobre a prática esportiva e data da avaliação. Após, serão aplicados e avaliados testes e um protocolo. A avaliação contempla: dinamometria isocinética e o protocolo indutor de fadiga no dinamômetro isocinético.

1. Dinamômetro isocinético - Para avaliar o desempenho neuromuscular, pico de torque, será utilizado o dinamômetro isocinético. Previamente, você irá realizar o aquecimento em um cicloergômetro. Após o aquecimento, você terá que produzir força contra um braço de alavanca do dinamômetro isocinético.

2. Protocolo indutor de fadiga muscular - Para induzir a fadiga muscular será utilizado o protocolo no dinamômetro isocinético.

**RISCOS E BENEFÍCIOS:** Os riscos de participar da pesquisa podem incluir leves desconfortos ou fadiga da musculatura dos membros inferiores. Para evitá-los você receberá orientações para realização de exercícios de recuperação muscular após os testes e protocolo. Os benefícios serão diretos e indiretos. O benefício direto contempla o conhecimento a respeito dos parâmetros de desempenho neuromuscular podendo estas informações serem úteis para a prescrição do seu treinamento. O benefício indireto contempla a contribuição para o conhecimento científico, pois, se confirmada a hipótese alternativa, poderão ser trabalhadas outras estratégias de treino, a fim de evitar sobrecarga

ou lesões musculoesqueléticas em mulheres atletas de futebol.

**CONFIDENCIALIDADE:** Ficará resguardado ao pesquisador responsável e protegido de revelação não autorizada o uso das informações recolhidas. Garantimos o sigilo dos dados de identificação preservando a privacidade e anonimato. Manteremos em um arquivo, sob nossa guarda, por 5 anos, todos os dados e documentos da pesquisa.

**VOLUNTARIEDADE:** A participação é voluntária. Não há nenhuma remuneração para participar desta pesquisa e os custos que possam ocorrer decorrentes da participação, serão de responsabilidade dos pesquisadores do projeto. A recusa em participar do estudo será sempre respeitada, possibilitando que sejam interrompidas as avaliações a qualquer momento e por qualquer motivo, sem prejuízos a participante de sua responsabilidade

Nos colocamos a disposição, e em caso de dúvidas ou preocupações quando aos direitos como participante deste estudo, favor entrar em contato com o pesquisador responsável, Ronei Silveira Pinto, pelo telefone (51) 9 9923-0663; com a orientanda Rúbia Anelise Trabach Godinho, pelo telefone (51) 9 9790-3270; ou diretamente com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo telefone (51) 3308-3738.

Uma via deste documento ficará com você e a outra ficará guardada com os pesquisadores desse projeto. Ambas as vias vão estar assinadas por você e pelo pesquisador responsável.

**DECLARAÇÃO:** Eu, \_\_\_\_\_, declaro ter lido e compreendido todas as informações acima descritas e concordo com que a atleta \_\_\_\_\_ participe do estudo.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável da participante

\_\_\_\_\_  
Nome do pesquisador

\_\_\_\_\_  
Assinatura do pesquisador

Porto Alegre, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_.