

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança
Bacharelado em Educação Física

Raphael Pereira Fortes

**RELAÇÕES DA FORÇA MUSCULAR MÁXIMA COM AS RAZÕES
ISQUIOTIBIAIS:QUADRÍCEPS EM ATLETAS PROFISSIONAIS DE FUTEBOL**

Porto Alegre, RS

2024

Raphael Pereira Fortes

**RELAÇÕES DA FORÇA MUSCULAR MÁXIMA COM AS RAZÕES
ISQUIOTIBIAIS:QUADRÍCEPS EM ATLETAS PROFISSIONAIS DE FUTEBOL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Educação
Física da Escola de Educação Física da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Orientador: Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto
Coorientador: Prof. Dr. Carlos L. F. Machado

Porto Alegre, RS

2024

AGRADECIMENTOS

Neste momento, manifesto minha profunda gratidão àqueles que estiveram ao meu lado durante esta jornada desafiadora até aqui.

A meus pais, avós e demais familiares, expresso meu eterno reconhecimento pelo constante apoio e incentivo.

À minha companheira fiel e amiga, tua presença foi o alicerce que sustentou minha jornada e o céu que iluminou meus dias.

Aos amigos que se tornaram irmãos, cuja presença e camaradagem foram fundamentais em minha trajetória acadêmica, dedico minha mais sincera gratidão.

Aos meus mentores e orientadores, expresso meu profundo agradecimento pela orientação, inspiração e sabedoria compartilhada ao longo do caminho.

Por fim, minha mais profunda e sincera gratidão a todos que contribuíram para minha formação e crescimento pessoal e acadêmico.

RESUMO

A razão de força máxima entre isquiotibiais e quadríceps (razão I:Q) tem sido usada para estimar o risco de lesões e a prontidão para retornar ao esporte no cenário do futebol. Notadamente, há divergências quanto à principal determinante das razões I:Q, sendo discutida se estas são predominantemente influenciada pela fraqueza muscular dos isquiotibiais ou por um possível "excesso" de força do quadríceps femoral. Ademais, o grau de relação da força máxima com a razão I:Q considerando os níveis de força máxima de atletas (i.e. atletas mais fracos ou mais fortes) não foi previamente contemplado na literatura. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo verificar a correlação global entre as razões I:Q convencional e funcional e os picos de torque (PT) concêntrico e excêntrico dos flexores (FLEX) e concêntrico dos extensores (EXT) do joelho em atletas profissionais de futebol. Adicionalmente, verificamos estas correlações após a estratificação dos atletas para os percentis 20 e 80 de razões I:Q e PT FLEX. Participaram deste estudo 135 atletas profissionais de futebol do sexo masculino (270 membros avaliados). A força muscular máxima foi medida em um dinamômetro isocinético a 60°/s. Correlações de Spearman (ρ) foram separadamente realizadas para a condição global e para os percentis 20 e 80. Adotou-se um nível de significância $\alpha < 0,05$. Nas correlações globais (i.e. envolvendo 270 membros), as razões I:Q convencional e funcional demonstraram associações significativas com o PT FLEX concêntrico ($\rho=0,53$) e excêntrico ($\rho=0,63$), bem como o PT EXT ($\rho=-0,28$ e $\rho=-0,34$, respectivamente), sendo assim, maiores as correlações considerando-se o PT FLEX. Nas análises envolvendo os percentis 20 e 80 de razões I:Q, o PT FLEX concêntrico mostrou correlações com a razão I:Q convencional ($\rho=0,43$ e $\rho=0,31$, respectivamente), enquanto o PT EXT apresentou correlações significativas com a razão I:Q funcional nos percentis 20 e 80 ($\rho=-0,35$ e $\rho=-0,42$, respectivamente). Por fim, em membros com menores e maiores níveis de PT FLEX excêntrico, a razão I:Q funcional parece ser mais influenciada pelo desempenho do PT EXT, que apresentou correlações substanciais nos percentis 20 e 80 ($\rho=-0,92$ e $\rho=-0,76$, respectivamente). Em resumo, as análises globais indicam que a força máxima dos isquiotibiais desempenha um papel determinante em ambas as razões I:Q (convencional e funcional). Em contrapartida, as análises estratificadas revelam que tais associações podem ser influenciadas pelos níveis das razões I:Q e pelas condições específicas de força máxima excêntrica dos isquiotibiais. Por fim, em atletas com baixos níveis de força muscular excêntrica de FLEX, a razão I:Q funcional foi principalmente determinada pela força de extensores do joelho.

Palavras-chave: Força muscular; Risco de lesões; Lesões de isquiotibiais; Desempenho neuromuscular.

ABSTRACT

The maximum strength ratio between hamstrings and quadriceps (H:Q ratio) has been used to estimate injury risk and readiness to return to sport in football. Notably, there are disagreements regarding the main determinant of the H:Q ratios, and it is debated whether it is predominantly influenced by muscle weakness in the hamstrings or by a possible "excess" strength in the quadriceps femoris. Furthermore, the degree of relationship between maximum strength and the I:Q ratio considering the maximum strength levels of athletes (i.e. weaker or stronger athletes) was not previously considered. Thus, the present study aimed to verify the global correlation between the conventional and functional H:Q ratios and the concentric and eccentric peak torque (PT) of the flexors (FLEX) and concentric of the extensors (EXT) of the knee in professional football athletes. Additionally, we verified these correlations after stratifying the athletes for the 20th and 80th percentiles of H:Q ratios and eccentric PT FLEX. 135 professional male football athletes (270 members evaluated) participated in this study. Maximum muscle strength was measured on an isokinetic dynamometer at 60°/s. Spearman correlations (ρ) were performed separately for the global condition and for the 20th and 80th percentiles. A significance level $\alpha < 0.05$ was adopted. In global correlations (i.e. involving 270 limbs), conventional and functional H:Q ratios demonstrated significant associations with concentric ($\rho=0.53$) and eccentric ($\rho=0.63$) PT FLEX, as well as EXT PT ($\rho = -0.28$ and $\rho = -0.34$, respectively), thus, the correlations are higher considering PT FLEX. In analyzes involving the 20th and 80th percentiles of H:Q ratios, the concentric PT FLEX showed correlations with the conventional H:Q ratio ($\rho=0.43$ and $\rho=0.31$, respectively), while the PT EXT showed significant correlations with the functional H:Q ratio at the 20th and 80th percentiles ($\rho=-0.35$ and $\rho=-0.42$, respectively). Finally, in limbs with lower and higher levels of eccentric PT FLEX, the functional H:Q ratio seems to be more influenced by PT EXT performance, which showed substantial correlations in the 20th and 80th percentiles ($\rho=-0.92$ and $\rho= -0.76$, respectively). In summary, overall analyzes indicate that maximal hamstring strength plays a determining role in H:Q ratios. On the other hand, stratified analyzes reveal that such associations can be influenced by the levels of H:Q ratios and the specific conditions of maximum eccentric hamstring strength. Finally, in athletes with low levels of FLEX eccentric muscle strength, the functional H:Q ratio was mainly determined by knee extensor strength.

Keywords: Muscle strength; Injury risk; Hamstring injury; Neuromuscular performance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS DEMANDAS FÍSICAS E TAREFAS DO FUTEBOL DE ELITE.....	10
3.2 CARACTERÍSTICAS E INFLUÊNCIA DAS LESÕES DE MEMBRO INFERIOR NO FUTEBOL DE ELITE	11
3.3 PARÂMETROS NEUROMUSCULARES E MONITORAMENTO DO RISCO DE LESÕES NO MEMBRO INFERIOR NO FUTEBOL.....	13
3.4 RAZÕES DE FORÇA MÁXIMA ENTRE ISQUIOTIBIAIS E QUADRÍCEPS E SUAS DETERMINANTES.....	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 PROBLEMAS DE PESQUISA.....	18
4.2 HIPÓTESES	18
4.3 CARACTERIZAÇÃO E DESENHO DO ESTUDO	18
4.4 POPULAÇÃO E AMOSTRA	19
4.5 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	19
4.5.1 VARIÁVEIS DE CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	19
4.5.2 VARIÁVEIS CORRELACIONADAS	19
4.6 AVALIAÇÃO DA VARIÁVEIS	20
4.6.1 PICO DE TORQUE E RAZÃO I:Q FUNCIONAL	20
5 ANÁLISE DOS DADOS	21
6 RESULTADOS	22
7 DISCUSSÃO	24
8 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A prática do futebol de elite envolve a execução constante de tarefas que demandam altos níveis de força e potência muscular dos membros inferiores (TAYLOR *et al.*, 2017). As características das tarefas e as exigências físicas do futebol destacam-se por aumentar o risco de lesões nos membros inferiores (BARNES *et al.*, 2014). Esse aumento está, em parte, associado à redução no desempenho neuromuscular dos músculos do membro inferior envolvidos com a articulação do joelho (i.e. isquiotibiais e quadríceps) (EKSTRAND *et al.*, 2023; MELNYK; GOLLHOFER, 2007; THELEN *et al.*, 2005). Dados epidemiológicos recentes demonstram um aumento significativo na incidência das lesões musculares nas últimas temporadas (EKSTRAND *et al.*, 2023). Neste cenário, a lesão por distensão dos isquiotibiais foi a mais prevalente, aumentando sua ocorrência de 12% para 24% entre as temporadas 2001-02 e 2021-02 do futebol europeu. Adicionalmente, a ausência de jogadores devido a lesões nos isquiotibiais também aumentou de 10% para 20% no mesmo período (EKSTRAND *et al.*, 2023). Diante desse cenário, a pesquisa e implementação de estratégias para mitigar o risco de lesões no membro inferior tornam-se cruciais na preparação e preservação dos atletas, podendo contribuir para a sua manutenção ao longo da temporada e aprimoramento do desempenho esportivo.

A elevada incidência de lesões nos isquiotibiais em jogadores de futebol parece estar associada ao aumento substancial da intensidade e ao extenso volume de tarefas de alta intensidade durante as partidas (EKSTRAND *et al.*, 2023). Em atividades de alta intensidade, como corridas e *sprints*, a ação simultânea dos músculos flexores e extensores do joelho desempenha um papel crucial na estabilização da articulação (CORREIA *et al.*, 2020; WOODS, 2004). Durante *sprints*, os isquiotibiais atuam de maneira excêntrica para desacelerar a perna em oposição à ação concêntrica dos quadríceps (CORREIA *et al.*, 2020; WOODS, 2004). Essa co-ativação é fundamental para neutralizar as ações intensas do quadríceps e diminuir a sobrecarga em outros tecidos (e.g., ligamentos) ao minimizar a translação anterior da tíbia em relação ao fêmur (AAGAARD *et al.*, 2000; BARATA *et al.*, 1988; MELNYK; GOLLHOFER, 2007). Apesar das lesões no contexto esportivo apresentarem uma etiologia multifatorial, aspectos como a força excêntrica máxima dos flexores do joelho e uma adequada relação agonista/antagonista dos músculos do joelho são indicados como elementos mitigadores do risco de distensão nos isquiotibiais e ruptura do

ligamento cruzado anterior em jogadores de futebol (AAGAARD *et al.*, 2000; CROISIER *et al.*, 2008; COOMBS; GARBUTT, 2002). A partir disso, a avaliação do desempenho neuromuscular associado aos mecanismos de lesão nos membros inferiores tem sido conduzida através de dinamômetros isocinéticos. Notavelmente, avaliações envolvendo o pico de torque (PT) de flexores (PT FLEX) e extensores (PT EXT) do joelho através de dinamometria isocinética, bem como das razões isquiotibiais:quadríceps (i.e. razão I:Q) convencional e funcional têm sido adotadas em equipes profissionais de futebol (CROISIER *et al.*, 2008).

Pesquisas prévias identificaram relações significativas entre as razões I:Q e taxa de lesões em jogadores de futebol (CROISIER *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2018; ORCHARD *et al.*, 1997). Estudos mais recentes abordaram a relação da força máxima dos músculos flexores e extensores com os níveis de razão I:Q convencional e funcional (BOGDANIS; KALAPOTHARAKOS, 2015; CARMADA; DENADAI, 2012; FRITSCH *et al.*, 2020; FORTES *et al.*, 2023; GRECO *et al.*, 2012). Entretanto, as conclusões apresentam variações no que diz respeito aos grupos musculares determinantes do denominado "desequilíbrio muscular", isto é, valores de razão I:Q fora dos parâmetros normativos (0,5 - 0,6 e 0,8 - 1,0 para razão I:Q convencional e funcional, respectivamente). Essas variações podem estar relacionadas a possível presença de fraqueza nos isquiotibiais, quadríceps excessivamente mais fortes ou ambas as condições concomitantemente.

No que concerne à razão I:Q convencional, dois estudos evidenciaram valores de PT FLEX reduzidos e valores de PT EXT aumentados em atletas com desequilíbrio muscular em comparação com seus pares equilibrados (FRITSCH *et al.*, 2020; GRECO *et al.*, 2012). Em contrapartida, outro estudo constatou que atletas desequilibrados apresentavam PT FLEX reduzido, porém PT EXT semelhante aos atletas equilibrados (CARMADA; DENADAI, 2012). No contexto da razão I:Q funcional, uma pesquisa reportou menor PT FLEX e maior PT EXT (FRITSCH *et al.*, 2020), enquanto outra indicou apenas PT FLEX reduzido em atletas desequilibrados em comparação com aqueles equilibrados (CARMADA; DENADAI, 2012). Recentemente, um estudo de Fortes *et al.* (2023) demonstrou, em atletas de futsal, que o PT EXT não apresentou correlação significativa com as razões I:Q nos membros desequilibrados, sendo somente o PT FLEX significativamente associado com as razões I:Q nesta condição. Adicionalmente, observou-se que os membros desequilibrados apresentaram PT FLEX significativamente inferior e PT EXT

significativamente superior em relação aos membros equilibrados. A literatura prévia sugere que as relações entre o PT FLEX e PT EXT com as razões I:Q variam conforme as circunstâncias (i.e. atletas equilibrados e desequilibrados), sendo que o PT FLEX parece se destacar como um fator importante nos baixos valores das razões I:Q.

Até o presente momento, não foram realizadas investigações que abordem as correlações entre o PT FLEX e PT EXT e as razões I:Q em subgrupos de atletas caracterizados por distintos níveis de força, isto é, entre os que possuem maiores e menores níveis de força muscular. Nesse contexto, a investigação dos fatores determinantes das razões I:Q, ao levar em consideração a categorização de grupos de atletas com base na força muscular e nos níveis das razões I:Q, em oposição aos valores de referência, pode fornecer contribuições substanciais tanto para a personalização das análises quanto para a elucidação dos elementos preponderantes da condição de desequilíbrio muscular. Assim, os objetivos deste estudo consistiram em: a) examinar a correlação entre as razões I:Q convencional e funcional e os níveis de PT FLEX e PT EXTE em atletas profissionais de futebol, bem como b) analisar o comportamento dessas correlações em subdivisões de grupos de atletas de futebol, considerando menores e maiores níveis (i.e. percentil 20 e 80) de razões I:Q convencional e funcional e PT FLEX excêntrico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar, em atletas de futebol profissionais, a correlação entre as razões I:Q convencional e funcional e a força máxima de flexores e extensores do joelho, de maneira global e considerando os níveis de razões I:Q convencional e funcional e força máxima excêntrica dos flexores do joelho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Correlacionar as razões I:Q convencional e funcional com o pico de torque concêntrico e excêntrico de flexores e concêntrico de extensores do joelho em jogadores de futebol de maneira global.

Correlacionar a razão I:Q convencional com o pico de torque concêntrico de flexores e concêntrico de extensores do joelho em atletas de futebol com menores (i.e., percentil 20) e maiores (i.e., percentil 80) níveis de razão I:Q convencional.

Correlacionar a razão I:Q funcional com o pico de torque excêntrico de flexores e concêntrico de extensores do joelho em atletas de futebol com menores (i.e., percentil 20) e maiores (i.e., percentil 80) níveis de razão I:Q funcional.

Correlacionar a razão I:Q funcional com o pico de torque excêntrico de flexores e concêntrico de extensores do joelho em atletas de futebol com menores (i.e., percentil 20) e maiores (i.e., percentil 80) níveis de pico de torque dos flexores do joelho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A fim de melhor contextualizar os conteúdos relacionados à preparação física de atletas de futebol e o uso das razões I:Q para monitoramento do desempenho e risco para lesões será apresentado a seguir uma revisão da literatura acerca do tema. Nesta revisão serão contemplados os seguintes tópicos: características das demandas físicas e tarefas do futebol de elite; características e influência das lesões de membro inferior no futebol; parâmetros neuromusculares e monitoramento do risco de lesões no membro inferior no futebol; razões de força máxima entre isquiotibiais e quadríceps e suas determinantes.

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS DEMANDAS FÍSICAS E TAREFAS DO FUTEBOL DE ELITE

O futebol é caracterizado como um esporte estocástico e intermitente, composto predominantemente por demandas físicas de baixa intensidade intercaladas com ações rápidas de alta intensidade (BANGSBO *et al.*, 2006). Jogadores de futebol profissional percorrem aproximadamente entre 9 a 12 quilômetros durante o transcorrer de uma partida (TAYLOR *et al.*, 2017). Entretanto, apesar das atividades aeróbias, como corridas de baixa intensidade e trotes, prevalecerem, ações que requerem substanciais níveis de força e potência muscular, como saltos, *sprints*, acelerações, desacelerações e rápidas mudanças de direção, desempenham um papel fundamental nos momentos mais decisivos de uma partida de futebol (TAYLOR *et al.*, 2017). Conseqüentemente, nos últimos anos foi observado um aumento significativo na intensidade e, conseqüentemente, demandas físicas das partidas de futebol (CLEMENTE *et al.*, 2013; COPALLE *et al.*, 2019). Nesse contexto, Barnes e colaboradores (2014) reportaram um aumento em atividades como corridas de alta intensidade (+50%), número de sprints (+35%) e distância percorrida em sprints (+85%) entre as temporadas 2006-07 e 2012-13 da Premier League inglesa ao passo que a distância total percorrida pouco se alterou. Mais recentemente, uma revisão sistemática de Taylor e colaboradores (2017) demonstrou que atletas de futebol percorrem uma distância superior em corridas de alta velocidade/intensidade do que em corridas convencionais. Adicionalmente, os autores acrescentam que no futebol masculino de elite a corrida de alta intensidade compreendeu uma parcela correspondente a 5,1–18,2% da distância total percorrida e 2,1–6,1% do tempo total de jogo (i.e. a 116 a 347 segundos).

O aumento na intensidade do jogo e na frequência de tarefas de alta intensidade representa não somente alterações no padrão de atividades, mas também uma demanda aumentada para a capacidade neuromuscular de atletas de futebol. Esportes coletivos e multidirecionais como o futebol, exigem, sobretudo, a realização frequente de intensas acelerações e desacelerações em resposta à aleatoriedade das situações no contexto do jogo (HARPER *et al.*, 2019). Duas revisões sistemáticas, de Taylor e colaboradores (2017) e Harper e colaboradores (2019), reportaram que as desacelerações de alta e muito alta intensidade são consideravelmente mais frequentes do que as acelerações de alta e muito alta intensidade no futebol de elite. Adicionalmente, entre os principais esportes coletivos o futebol é o que apresenta a

maior discrepância entre a frequência de desacelerações e acelerações (HARPER *et al.*, 2019). A realização frequente de ações curtas e potentes como estas é destacada por estar relacionada à redução na capacidade de produção de força e potência muscular (i.e. fadiga neuromuscular) e a dano muscular pós-partida (GRAZIOLI *et al.*, 2019; HOYO *et al.*, 2016; THORLUND *et al.*, 2009). Nesse sentido, as acelerações apresentam um custo metabólico mais elevado, ao passo que as desacelerações possuem uma carga mecânica superior, podendo resultar em maiores danos nas estruturas dos tecidos na unidade músculo-tendão, especialmente quando as forças elevadas não podem ser dissipadas de maneira eficiente (HARPER *et al.*, 2018; NRENTERGHEM *et al.*, 2017; VERHEUL *et al.*, 2019). Destaca-se também que, embora uma maior frequência e magnitude de acelerações e desacelerações possa contribuir para melhores resultados, as desacelerações intensas, sobretudo, são apontadas como um fator de risco para lesões musculares de não contato como a distensão dos isquiotibiais (WOODS *et al.*, 2004; EKSTRAND *et al.* 2022). Portanto, o incremento na intensidade do jogo pode estar relacionado a uma maior suscetibilidade a lesões, uma vez que os atletas alcançam velocidades máximas superiores e executam mais ações explosivas como acelerações e desacelerações, exigindo níveis mais elevados de força e potência muscular para suportar tais demandas ao longo de uma partida.

3.2 CARACTERÍSTICAS E INFLUÊNCIA DAS LESÕES DE MEMBRO INFERIOR NO FUTEBOL DE ELITE

As lesões representam um problema multifatorial e recorrente no cenário do futebol profissional de alto desempenho. Dados prévios indicam que uma equipe profissional de futebol pode enfrentar aproximadamente 50 lesões a cada temporada, o equivalente a duas lesões por jogador (EKSTRAND, 2013). A incidência de lesões, especialmente durante a temporada competitiva, tem um impacto considerável no desempenho das equipes, além de prejudicar a performance e carreira dos atletas profissionais (EKSTRAND, 2013; HÄGGLUND *et al.*, 2013). De acordo com Ekstrand (2013), em média, 14% do elenco encontra-se indisponível devido a lesões em algum ponto durante a temporada, ao passo que Hägglund e colaboradores (2013) evidenciaram que uma baixa incidência de lesões e maior disponibilidade para os jogos estão correlacionadas com um maior desempenho em competições como a Liga da Europa e a Liga dos Campeões da Europa da UEFA.

No contexto do futebol profissional, as lesões musculares são reconhecidas como um dos principais desafios para o planejamento das equipes, representando um quarto do tempo perdido devido a lesões de alto desempenho (EKSTRAND *et al.*, 2011). Um estudo conduzido por Ekstrand e colaboradores (2011), abrangendo três coortes ao longo de nove temporadas (Cohortes da *Champions League*, *Swedish First League* e *Artificial Turf*), revelou que as lesões musculares correspondiam a 31% do total de lesões registradas em 51 equipes monitoradas. No mesmo estudo, foi relatado que 92% das lesões musculares afetam os quatro principais grupos musculares dos membros inferiores, sendo eles: isquiotibiais (37%), adutores (23%), quadríceps (19%) e músculos da panturrilha (13%). Além disso, é digno de nota um aumento substancial nas lesões musculares ao longo dos anos. Embora tenha ocorrido uma redução significativa nas lesões ligamentares, observou-se que a taxa de lesões musculares, como a distensão dos isquiotibiais, duplicou nas últimas 21 temporadas, passando de 12% para 24% (EKSTRAND *et al.*, 2009; 2023).

Dentre as lesões musculares, a distensão dos isquiotibiais é destacada como a mais prevalente e com altas taxas de reincidência (EKSTRAND *et al.*, 2009; 2011; 2022; WOODS *et al.*, 2004). Nas últimas décadas, a lesão dos isquiotibiais tem sido tratada como um dos principais e mais comuns problemas no futebol profissional (CROISIER *et al.*, 2002; 2008; DAUTY *et al.*, 2016; EKSTRAND *et al.*, 2009; 2011; 2013; 2016; 2022; HÄGGLUND *et al.*, 2014; WOODS *et al.*, 2004). Conforme Ekstrand e colaboradores (2023), nas últimas 21 temporadas do futebol europeu, foram registradas 2.636 lesões de isquiotibiais, representando 19% de todas as lesões reportadas. Ainda, a proporção de lesões nos isquiotibiais aumentou de 12% na primeira temporada para 24% na temporada mais recente. Nesse mesmo período, a porcentagem de dias de ausência por lesão atribuída a lesões nos isquiotibiais aumentou de 10% para 20%.

Postula-se que o considerável aumento nas lesões nos isquiotibiais nos últimos anos está associado ao aumento na intensidade e frequência de ações de alta intensidade (BARNES *et al.*, 2014; EKSTRAND *et al.*, 2023; HARPER *et al.*, 2019; TAYLOR *et al.*, 2017). Atualmente, os jogadores de futebol não apenas correm em maior velocidade, mas também o fazem com maior frequência e duração durante as partidas (BARNES *et al.*, 2014). Em concordância, Ekstrand e colaboradores (2023) relataram que 61% de todas as lesões nos isquiotibiais entre as temporadas 2001-2 e 2021-2 na Europa ocorreram durante corridas e *sprints*. Isso pode estar associado a

aspectos da mecânica e ativação muscular durante o *sprint*. A realização de *sprints* demanda uma considerável força excêntrica nos isquiotibiais, fator que pode contribuir para a indução de dano nas estruturas músculo-tendíneas (THELEN *et al.*, 2005). Notavelmente, as ações excêntricas são cruciais, especialmente durante a fase de desaceleração da perna no final do balanço do *sprint* (CORREIA *et al.*, 2020). Esta ação é fundamental para a manutenção da estabilidade articular, neutralização das ações concêntricas dos quadríceps, redução da translação da tíbia em relação ao fêmur e mitigação da sobrecarga no ligamento cruzado anterior (AAGAARD *et al.*, 2000; BARATA *et al.*, 1988). É relevante destacar que a fase final do balanço do *sprint* é o momento em que ocorre o pico de força na unidade músculo-tendão, coincidindo com o alongamento máximo dos isquiotibiais devido à combinação de flexão do quadril e extensão do joelho (SCHACHE *et al.*, 2012; THELEN *et al.*, 2005). Dessa forma, em virtude dos movimentos cíclicos, acelerações e desacelerações durante os *sprints*, o estresse repetido na unidade músculo-tendão, juntamente com a necessidade de produção intensa de força excêntrica em comprimentos mais alongados, podem aumentar a suscetibilidade dos isquiotibiais ao estiramento (CORREIA *et al.*, 2020; GUEX; MILLET, 2013; SCHACHE *et al.*, 2012). Nesse contexto, níveis de força excêntrica máxima e a proporção de força máxima dos isquiotibiais em relação aos quadríceps são apontados como aspectos que podem auxiliar no monitoramento do risco e proteção contra lesões por distensão nos isquiotibiais (COOMBS; GARBUTT, 2002; DAUTY *et al.*, 2016).

3.3 PARÂMETROS NEUROMUSCULARES E MONITORAMENTO DO RISCO DE LESÕES NO MEMBRO INFERIOR NO FUTEBOL

A literatura prévia tem destacado as ações excêntricas dos isquiotibiais como um fator protetivo para a articulação do joelho (AAGAARD *et al.*, 2000; COOMBS; GARBUTT, 2002; BARATA *et al.*, 1988; SOLOMONOW *et al.*, 1987). Tal pressuposto parte, sobretudo, da capacidade dos isquiotibiais em contribuir para estabilidade na articulação do joelho através da co-ativação em movimentos de extensão. Um estudo de Solomonow e colaboradores (1987) demonstrou haver um sinergismo entre o ligamento cruzado anterior do joelho e os músculos posteriores da coxa para manter a articulação estabilizada em pacientes com lesão ligamentar. De acordo com os achados, os músculos isquiotibiais atuam como reguladores de carga durante a extensão da articulação do joelho, intensificando sua atividade em situações de

sobrecarga ligamentar ou quando a anatomia impede que o ligamento mantenha eficazmente a estabilidade. Barata e colaboradores (1988) corroboraram esses resultados, destacando que a co-ativação dos antagonistas (i.e. isquiotibiais) é menor em indivíduos com quadríceps significativamente mais hipertrofiados. Os autores concluíram que o aumento excessivo na força dos agonistas, juntamente com a diminuição na atividade dos antagonistas, resulta numa redução da força estabilizadora da articulação durante a carga de extensão do joelho, expondo, assim, os ligamentos a uma carga de força aumentada. Em outro estudo, conduzido por Aagaard e colaboradores (2000), foi demonstrado que a coativação dos músculos isquiotibiais pode gerar momentos flexores durante a extensão do joelho de 15 a 40 Nm. Esses valores atingiram seu pico próximo da amplitude final do movimento, representando de 45 a 73% do momento de extensão. Os autores propuseram que o momento antagonista gerado pelos isquiotibiais tem o potencial de contrabalançar o deslizamento anterior da tíbia e a rotação interna excessiva causada pelas forças contráteis do quadríceps, especialmente nas fases finais da extensão do joelho (i.e. 30° a 10° de amplitude de movimento). Nesse contexto, considerando a importância da função dos isquiotibiais e o impacto da relação de força entre os músculos do joelho na estabilidade articular, as razões de força entre os isquiotibiais e quadríceps têm sido empregadas como um indicador para descrever a capacidade de estabilização articular e para monitorar o risco de lesões, como distensões dos isquiotibiais e rupturas do ligamento cruzado anterior no cenário desportivo (COOMBS; GARBUTT, 2002).

A razão entre a força máxima dos isquiotibiais e a força máxima dos quadríceps (i.e. razão I:Q), um parâmetro avaliado por meio de dinamômetros isocinéticos, é comumente utilizado no âmbito científico e na preparação física de clubes de futebol (AAGAARD *et al.*, 1998; CROISIER *et al.*, 2008). Convencionalmente, a razão I:Q é expressada como a força máxima concêntrica de flexão do joelho dividida pela força máxima concêntrica de extensão do joelho obtida em uma determinada velocidade angular do joelho (AAGARD *et al.*, 1998; COOMBS; GARBUTT, 2002). Posteriormente, uma estratégia mais ecológica para as demandas do esporte foi implementada, a razão I:Q funcional. A razão I:Q funcional é determinada a partir da expressão a força máxima excêntrica dos isquiotibiais em relação à força concêntrica máxima dos quadríceps, obtidas em uma dada velocidade angular (AAGARD *et al.*, 1998; COOMBS; GARBUTT, 2002). Os valores de referência são de 0,5 a 0,6 e de

0,8 a 1,0 para as razões I:Q convencional e funcional, respectivamente (COOMBS; GARBUTT, 2002; CROISIER *et al.*, 2008; HEISER *et al.*, 1984).

Embora não se tenha consenso, registros anteriores da literatura sugerem que identificar "desequilíbrios" na produção de força entre os músculos flexores e extensores do joelho pode ser uma ferramenta relevante no monitoramento do risco de lesões nos isquiotibiais (COOMBS; GARBUTT, 2002; CROISIER *et al.*, 2008; DAUTY *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2018; ORCHARD *et al.*, 1997). Em um estudo de coorte, Orchard e colaboradores (1997), examinando 37 atletas de futebol australiano durante a pré-temporada, identificaram uma associação significativa entre lesões musculares nos isquiotibiais e uma razão I:Q reduzida, medida a 60°/s nos membros afetados. Um estudo de coorte realizado por Croisier e colaboradores (2008), com 462 atletas de futebol avaliados isocineticamente na pré-temporada, revelou uma taxa de lesões nos isquiotibiais significativamente maior, atingindo 16,5% em jogadores com desequilíbrio muscular. Além disso, enfatizaram que participar de atividades de futebol com desequilíbrios musculares não tratados pode aumentar em mais de quatro vezes o risco de lesões nos isquiotibiais em comparação com um perfil de força muscular considerado normal nos músculos do joelho. Outro estudo de coorte, conduzido por Lee e colaboradores (2018), reportou que atletas de futebol com força isocinética reduzida nos isquiotibiais e baixos valores de razão I:Q apresentaram um aumento significativo no risco de lesões nos isquiotibiais. Entretanto, recentemente alguns estudos sugeriram que o uso das razões I:Q apresenta baixo poder preditivo (DAUTY *et al.*, 2018; GREEN *et al.*, 2020; SHALAJ *et al.*, 2020; VAN DYK *et al.*, 2016). É proposto que os resultados controversos podem estar associados aos pontos de cortes estabelecidos e velocidades utilizadas nos testes isocinéticos (DAUTY *et al.*, 2018). Embora os dados sobre o poder preditivo das razões I:Q para lesões sejam inconclusivos, é crucial destacar que as lesões resultam de uma rede complexa de determinantes intrinsecamente ligadas ao contexto da prática esportiva e individualidade dos atletas (BITTENCURT *et al.*, 2016). Parâmetros neuromusculares, como as razões I:Q, constituem apenas uma faceta dentre vários marcadores de risco que podem contribuir para a ocorrência de lesões no âmbito esportivo. Nesse sentido, as razões I:Q são parâmetros neuromusculares convencionalmente empregados na preparação física e podem desempenhar um papel importante no monitoramento do risco de lesões nos isquiotibiais em atletas de futebol.

3.4 RAZÕES DE FORÇA MÁXIMA ENTRE ISQUIOTIBIAIS E QUADRÍCEPS E SUAS DETERMINANTES

Tradicionalmente, as razões I:Q têm sido empregadas para monitorar o desempenho neuromuscular e o risco de lesões nos músculos da coxa, particularmente no contexto do futebol (COOMBS; GARBUTT, 2002; CROISIER *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2018). Contudo, nos últimos anos, alguns estudos forneceram dados importantes acerca da relação entre os níveis de força dos músculos do joelho e as razões I:Q (BOGDANIS; KALAPOTHARAKOS, 2016; CARMADA; DENADAI, 2012; FRITSCH *et al.*, 2020; FORTES *et al.*, 2023; GRECO *et al.*, 2013). Algumas dessas pesquisas tiveram como objetivo compreender se o "desequilíbrio muscular", ou seja, atletas com valores inadequados de razão I:Q, está mais fortemente associado à fraqueza dos isquiotibiais, à força excessiva dos quadríceps ou a ambas as condições (BOGDANIS; KALAPOTHARAKOS, 2016; FRITSCH *et al.*, 2020; FORTES *et al.*, 2023).

A literatura prévia apresenta diferentes resultados sobre os fatores determinantes do desequilíbrio muscular. Em um estudo experimental conduzido por Camarda e Denadai (2012) com 21 atletas de futebol, foi relatado que atletas com razões I:Q, tanto convencional quanto funcional, abaixo dos pontos de corte apresentavam apenas os flexores, concêntrica e excentricamente, mais fracos, tendo a força dos extensores similar em comparação com atletas que possuíam níveis normais das razões I:Q. Posteriormente, em contraponto, Greco e colaboradores (2012), em uma amostra de 39 atletas de futebol, reportaram que atletas com baixa razão I:Q convencional possuíam reduzida força dos isquiotibiais e maior força dos quadríceps em comparação com atletas com maiores níveis de razão I:Q. Contrariamente, Bogdanis e Kalapotharakos (2016), em um estudo com 18 atletas de futebol profissionais, encontraram que atletas com baixos níveis de razão I:Q tiveram maior pico de torque de extensão do joelho em comparação com aqueles com maiores níveis de razão I:Q, enquanto que nenhuma diferença foi encontrada para força dos isquiotibiais. Em outro estudo, Fritsch e colaboradores (2020), com uma amostra de 101 atletas de futebol profissionais e juniores, reportaram que membros com uma razão I:Q convencional inferior demonstraram redução na força máxima concêntrica dos isquiotibiais e aumento na força máxima concêntrica dos quadríceps em todos os pontos de corte avaliados. Em relação à razão I:Q funcional, observaram que membros com uma razão I:Q menor apresentaram uma redução na força máxima

excêntrica dos isquiotibiais para todos os pontos de corte, com resultados inconsistentes para a força máxima concêntrica dos quadríceps. Ainda, a razão I:Q convencional exibiu apenas correlações fracas com a força concêntrica dos quadríceps e isquiotibiais, enquanto a razão I:Q funcional demonstrou uma correlação insignificante com a força concêntrica dos quadríceps e uma correlação moderada com a força excêntrica dos isquiotibiais. Mais recentemente, Fortes e colaboradores (2023), com uma amostra de 46 atletas profissionais de futsal, mostraram que em membros com desequilíbrio muscular, foi observada uma redução na força dos isquiotibiais e um aumento na força dos quadríceps em comparação com membros equilibrados. Além disso, os pesquisadores identificaram uma correlação negativa entre a força máxima dos extensores e as razões I:Q em pernas equilibradas, mas essa relação não foi observada em pernas desequilibradas. Nos membros com desequilíbrio, tanto a força concêntrica quanto excêntrica dos isquiotibiais mostraram associações positivas significativas com as relações I:Q. Os pesquisadores ressaltam que as correlações entre a força dos músculos do joelho e os níveis das razões I:Q podem sofrer variações em função da condição de equilíbrio ou desequilíbrio muscular.

As discrepâncias nos resultados encontrados em estudos anteriores podem ser atribuídas às divergências nos pontos de corte adotados para definir o “desequilíbrio muscular”, assim como às disparidades nos tamanhos das amostras utilizadas, especialmente em estudos de natureza correlacional. Apesar de não ser completamente elucidado, as evidências prévias indicam que a fraqueza dos isquiotibiais, especialmente em relação à força excêntrica, desempenha um papel determinante nos casos de valores reduzidos da razão I:Q. No contexto atual, pesquisas com amostras mais abrangentes podem contribuir significativamente para a compreensão das correlações entre a força dos músculos do joelho e os níveis da razão I:Q. Ademais, a adoção de grupos estabelecidos com base nos níveis de força muscular e nas razões I:Q pode fornecer informações relevantes sobre as associações entre esses parâmetros e os fatores determinantes de índices reduzidos da razão I:Q. Desta forma, os resultados advindos do presente estudo têm o potencial de contribuir tanto para a compreensão quanto para a aplicação das razões I:Q no âmbito da preparação física no futebol e no monitoramento do risco de lesões nos músculos da coxa e ligamentos do joelho.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROBLEMAS DE PESQUISA

Qual parâmetro, entre a força concêntrica e excêntrica dos flexores e a força concêntrica dos extensores do joelho, está mais associado às razões I:Q convencional e funcional em atletas de futebol?

Qual parâmetro, entre a força concêntrica dos flexores e extensores do joelho, está mais associado à razão I:Q convencional em atletas de futebol com maiores e menores níveis de razão I:Q convencional?

Qual parâmetro, entre a força excêntrica dos flexores e concêntrica dos extensores do joelho, está mais associado à razão I:Q funcional em atletas de futebol com maiores e menores níveis de razão I:Q funcional?

Qual parâmetro, entre a força excêntrica dos flexores e concêntrica dos extensores do joelho, está mais associado à razão I:Q funcional em atletas de futebol com maiores e menores níveis de força excêntrica máxima dos flexores do joelho?

4.2 HIPÓTESES

Nas análises globais, considerando os 270 membros, a força máxima concêntrica e excêntrica dos flexores do joelho apresentará maiores níveis de correlação com as razões I:Q convencional e funcional em relação à força máxima dos extensores de joelho. Além disso, ao realizar análises correlacionais específicas nos percentis 20 e 80, considerando-se os valores de razões I:Q convencional e funcional e de força excêntrica máxima dos flexores do joelho, a força máxima concêntrica e excêntrica dos flexores do joelho se correlacionar mais significativa com as razões I:Q convencional e funcional em atletas classificados com maiores e menores níveis dessas razões, assim como em relação à força muscular excêntrica máxima dos flexores do joelho.

4.3 CARACTERIZAÇÃO E DESENHO DO ESTUDO

Este estudo, de natureza transversal, foi concebido com o propósito de investigar as correlações entre a força máxima concêntrica e excêntrica dos músculos flexores e a força concêntrica dos extensores do joelho com os valores da razão I:Q convencional e funcional em atletas profissionais de futebol masculino. Todas as análises foram conduzidas no Laboratório de Pesquisa do Exercício da Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, sendo previamente aprovadas pelo comitê de ética institucional, conforme parecer número 2.903.811. Inicialmente, um pesquisador entrou em contato com as equipes para elucidar os objetivos do estudo. As avaliações foram realizadas em uma única visita ao laboratório durante o período de pré-temporada esportiva. Todos os participantes receberam orientações para evitar atividades físicas de alta intensidade nas 24 horas anteriores aos testes. Ademais, nos dias de avaliação, não foram conduzidos quaisquer testes físicos antes das avaliações isocinéticas. O tamanho da amostra foi determinado por conveniência, considerando que esta pesquisa integra um projeto mais amplo destinado à avaliação de parâmetros neuromusculares em distintas populações de atletas.

4.4 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A amostra deste estudo é composta por atletas profissionais masculinos de futebol, totalizando 135 participantes de diferentes equipes das primeiras e segundas divisões do campeonato regional (Campeonato Estadual do Rio Grande do Sul). Todos os atletas incluídos na pesquisa não apresentaram lesões músculo-esqueléticas nos três meses precedentes ao estudo. Esses participantes representavam suas equipes nas competições nacionais e regionais, sendo membros da categoria principal de seus clubes. Adicionalmente, as equipes já utilizavam avaliações isocinéticas como parte da rotina de pré-temporada. Durante a coleta de dados, realizada em 270 membros, não foram identificados quaisquer eventos adversos. Tanto a equipe quanto os atletas foram informados sobre os objetivos, riscos e benefícios da pesquisa, tendo dado o consentimento por meio da assinatura de termo de consentimento livre e esclarecido.

4.5 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

4.5.1 VARIÁVEIS DE CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

- Idade (anos);
- Estatura (cm);
- Massa corporal total (kg).

4.5.2 VARIÁVEIS CORRELACIONADAS

- Pico de torque concêntrico dos flexores do joelho (Nm);

- Pico de torque excêntrico dos músculos flexores do joelho (Nm);
- Pico de torque concêntrico dos músculos extensores do joelho (Nm);
- Razão convencional de força máxima entre os músculos isquiotibiais e quadríceps;
- Razão funcional de força máxima entre os músculos isquiotibiais e quadríceps.

4.6 AVALIAÇÃO DA VARIÁVEIS

4.6.1 PICO DE TORQUE E RAZÃO I:Q FUNCIONAL

O protocolo de avaliação para os parâmetros musculares consistiu na análise do PT FLEX concêntrico e excêntrico dos membros direito e esquerdo, assim como o PT EXT concêntrico, utilizando um dinamômetro isocinético (Cybex Norm, Ronkonkoma, NY, EUA). Para garantir uma preparação adequada, os participantes foram submetidos a um aquecimento de cinco minutos em um cicloergômetro (*Movement Technology*, BM2700, São Paulo, Brasil), com esforço auto-relatado de baixo a moderado.

Durante as avaliações no dinamômetro, os participantes permaneceram sentados com o tronco flexionado a 85°, e a articulação do joelho (epicôndilo lateral do fêmur) alinhada ao eixo de rotação do aparelho. Medidas adicionais foram tomadas para estabilizar a perna, coxa, tronco e pelve, evitando assim movimentos compensatórios. Instruções específicas foram dadas aos atletas, orientando-os a realizar todas as contrações com esforço máximo, incentivando-os a agir "o mais rápido e forte possível" (MAFFIULETTI *et al.*, 2016). *Feedback* visual em tempo real foi fornecido através de uma tela disposta em frente aos participantes.

O protocolo iniciou-se com um aquecimento específico, composto por 10 contrações concêntricas isocinéticas submáximas a 120°/s. A avaliação do PT FLEX e PT EXT concêntrico foi realizada em seguida, utilizando o modo concêntrico-concêntrico a 60°/s, com cinco contrações consecutivas. Já o PT FLEX excêntrico foi medido no modo excêntrico, também com cinco contrações consecutivas, a 60°/s (FORTES *et al.*, 2023; MACHADO *et al.*, 2023). Antes de cada teste máximo, foram conduzidas três repetições submáximas como pré-teste, visando esclarecer dúvidas e familiarizar os participantes com os procedimentos. Um intervalo de 30 segundos separou o pré-teste do teste máximo, enquanto um intervalo de 60 segundos foi realizado após os testes máximos.

O valor máximo de pico de torque obtido em cada teste máximo foi empregado nas análises posteriores. A razão I:Q convencional foi determinada pela divisão do PT FLEX concêntrico pelo PT EXT concêntrico, enquanto a razão I:Q funcional foi calculada pela divisão do PT FLEX excêntrico pelo PT EXT concêntrico. Nas análises específicas para os grupos de atletas com baixos e altos níveis de razão I:Q convencional, funcional e PT FLEX, os atletas foram classificados de acordo com os níveis de razão I:Q convencional, funcional e PT FLEX excêntrico e foram utilizados os percentis 20 e 80 em cada situação para os cálculos e análises de correlação.

5 ANÁLISE DOS DADOS

A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os dados estatísticos descritivos estão apresentados utilizando média e desvio-padrão. Inicialmente, as correlações de Spearman (ρ) foram conduzidas para a análise global. Após a identificação dos percentis 20 e 80, as seguintes correlações foram, separadamente, feitas para as seguintes condições: estratificação de acordo com menores e maiores níveis de razão I:Q convencional, funcional e PT FLEX excêntrico. A interpretação dos valores de correlação seguiu a categorização proposta por Cohen (1998): trivial ($\rho \leq 0,1$), pequeno ($\rho=0,1 < \rho \leq 0,3$), moderado ($\rho=0,3 < \rho \leq 0,5$), grande ($\rho=0,5 < \rho \leq 0,7$), muito grande ($\rho=0,7 < \rho \leq 0,9$), quase perfeito ($\rho > 0,9$) e perfeito ($\rho = 1$). O nível de significância adotado foi $< 0,05$. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o programa de análises estatísticas *Statistical Package for Social Science* (SPSS) versão 25.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

6 RESULTADOS

Os resultados de caracterização demonstraram que os 135 participantes possuíam estatura média de $180,38 \pm 6,75$ cm e uma média de massa corporal de 78 ± 8 kg. Os 270 membros avaliados apresentaram uma média de $154,17 \pm 26,30$ Nm para o PT FLEX concêntrico, $201 \pm 35,82$ Nm para o PT FLEX excêntrico e $262,19 \pm 40,84$ Nm para o PT EXT concêntrico. Além disso, as médias das razões I:Q convencional e funcional foram, respectivamente, $0,59 \pm 0,1$ e $0,77 \pm 0,16$.

As correlações globais entre as razões I:Q convencional e funcional, o PT FLEX concêntrico e excêntrico, e o PT EXT concêntrico são apresentadas na Tabela 1. As análises globais ($n=270$) revelaram correlações significativas (variando de pequenas a muito grandes) entre a força muscular e as razões I:Q convencional e funcional. De maneira adicional, as correlações globais indicaram que o PT FLEX concêntrico e excêntrico estão mais fortemente associados com as razões I:Q convencional e funcional, respectivamente.

Tabela 1. Correlações de Spearman (ρ) entre pico de torque (PT) de flexores (FLEX) e extensores (EXT) do joelho e razões I:Q convencional e funcional ($n=135$, 270 membros).

	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX concêntrico	Sig.	PT FLEX excêntrico	Sig.
Razão I:Q Convencional	-0,28	0,000	0,53	0,000	0,31	0,000
Razão I:Q Funcional	-0,34	0,000	0,18	0,003	0,63	0,000

O nível de significância foi estabelecido em $\alpha < 0,05$.

As análises específicas dos grupos de atletas com menores e maiores níveis de razão I:Q convencional e funcional e PT FLEX são detalhadas na Tabela 2. Ao considerar os atletas ranqueados pelos valores de razão I:Q convencional, observa-se que, nos percentis 20 e 80, somente o PT FLEX concêntrico apresenta correlação significativa com a razão I:Q convencional. Nos grupos de atletas ranqueados pelos valores de razão I:Q funcional, as correlações mostram que, nos percentis 20 e 80, apenas o PT EXT concêntrico correlaciona-se significativamente com a razão I:Q funcional. Por fim, ao analisar os grupos de atletas ranqueados pelo PT FLEX excêntrico, verifica-se que, no percentil 20, somente o PT EXT concêntrico demonstrou correlação significativa com as razões I:Q convencional funcional. No percentil 80, as análises indicam que o PT EXT concêntrico apresenta uma maior correlação com a razão I:Q funcional em comparação ao PT FLEX excêntrico.

Tabela 2. Correlações de Spearman (ρ) entre o pico de torque (PT) dos flexores (FLEX) e extensores (EXT) do joelho e as razões I:Q convencional e funcional específicas aos percentis 20 e 80.

Razão I:Q convencional percentil 20 (n=56)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX concêntrico	Sig.
Razão I:Q convencional	-0,02	0,856	0,43	0,001
Razão I:Q convencional percentil 80 (n=57)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX concêntrico	Sig.
Razão I:Q convencional	-0,11	0,406	0,31	0,018
Razão I:Q funcional percentil 20 (n=57)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX excêntrico	Sig.
Razão I:Q funcional	-0,35	0,007	0,21	0,116
Razão I:Q funcional percentil 80 (n=56)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX excêntrico	Sig.
Razão I:Q funcional	-0,42	0,002	0,10	0,454
PT FLEX excêntrico percentil 20 (n=59)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX excêntrico	Sig.
Razão I:Q funcional	-0,92	0,000	-0,03	0,796
PT FLEX excêntrico percentil 80 (n=55)				
	PT EXT concêntrico	Sig.	PT FLEX excêntrico	Sig.
Razão I:Q funcional	-0,76	0,000	0,44	0,001

n= número de membros nos percentis; O nível de significância foi estabelecido em $\alpha < 0,05$.

7 DISCUSSÃO

Os objetivos desta pesquisa compreenderam: a) investigar a relação entre as razões I:Q convencional e funcional e os níveis de PT FLEX e PT EXTE em jogadores profissionais de futebol; e b) examinar como essas correlações se comportam em subgrupos de atletas de futebol, levando em consideração níveis mais baixos e mais altos (ou seja, percentis 20 e 80) de razões I:Q convencional e funcional, bem como de PT FLEX excêntrico. Os principais achados do presente estudo são os seguintes: a) na análise global, considerando 270 membros, observou-se correlações significativas entre o PT FLEX concêntrico e excêntrico, bem como o PT EXT concêntrico, com as razões I:Q, sendo o PT FLEX a medida que apresentou correlações mais expressivas; ao analisar os percentis 20 e 80, verificou-se que b) os níveis de razão I:Q convencional foram positivamente correlacionados com o PT FLEX; d) níveis de razão I:Q funcional foram associados negativamente com o PT EXT; e) no grupo de membros com baixos e altos níveis de PT FLEX excêntrico, o PT EXT apresentou uma maior correlação com os níveis de razão I:Q funcional.

As razões de força I:Q convencional e funcional são destacadas na literatura como indicadores neuromusculares relevantes para a preparação física e monitoramento do risco de lesões no futebol (COOMBS; GARBUTT, 2002; CROISIER *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2018). Manter níveis apropriados de razão I:Q convencional e funcional é sugerido como um dos fatores protetivos contra lesões nos isquiotibiais (COOMBS; GARBUTT, 2002; CROISIER *et al.*, 2008; DAUTY *et al.*, 2016). Nesse contexto, investigações anteriores empenharam-se na análise das variáveis determinantes das razões I:Q, visando elucidar os principais fatores que contribuem para o chamado "desequilíbrio muscular" da articulação do joelho (BOGDANIS; KALAPOTHARAKOS, 2016; FRITSCH *et al.*, 2020; FORTES *et al.*, 2023). Dentre as considerações, destaca-se o questionamento sobre se a fraqueza dos isquiotibiais, o excesso de força nos quadríceps ou ambas as condições desempenham papel preponderante nessa condição. Em uma pesquisa conduzida por Bogdanis e Kalapotharakos (2016), foi observado que apenas o PT EXT apresentou correlação significativa com a razão I:Q convencional. Em contraste, estudos liderados por Fritsch e colaboradores (2020) e Fortes e colaboradores (2023) revelaram correlações substanciais entre as razões I:Q e o PT FLEX, tanto em contração concêntrica quanto excêntrica. Ao abordar as análises globais, os resultados obtidos neste estudo corroboram as conclusões de Fritsch e colaboradores (2020) e Fortes e colaboradores

(2023), destacando que as razões I:Q exibem uma correlação maior com o PT FLEX concêntrico ($p=0,53$) e excêntrico ($p=0,63$) em comparação ao PT EXT ($p=-0,28$ para razão I:Q convencional e $p=-0,34$ para a funcional). Em conclusão, essas descobertas reiteram a importância da força, especialmente a excêntrica, dos isquiotibiais, para a determinação das razões I:Q e do “equilíbrio muscular”, podendo auxiliar em uma compreensão mais profunda dos valores de razões I:Q. Tais resultados fornecem informações para a melhoria das estratégias preventivas contra “desequilíbrios musculares” e redução de risco para lesões nos isquiotibiais.

Outros métodos para investigar as determinantes das razões I:Q incluem a análise das disparidades de força máxima entre grupos de atletas com e sem "desequilíbrio muscular", bem como a avaliação das correlações entre a força máxima dos isquiotibiais e quadríceps em atletas com e sem essa condição. Resultados anteriores na literatura indicam que membros caracterizados por "desequilíbrio muscular" exibem redução no PT FLEX, tanto em contração concêntrica quanto excêntrica, enquanto apresentam maior ou equivalente PT EXT em comparação a membros equilibrados (CARMADA; DENADAI, 2012; FORTES *et al.*, 2023; FRITSCH *et al.*, 2020; GRECO *et al.*, 2012). No entanto, um estudo conduzido por Bogdanis e Kalapotharakos (2016) apresenta uma perspectiva oposta, sugerindo que membros com razão I:Q convencional adequada mantêm níveis similares de PT FLEX e maior PT EXT em comparação a indivíduos com razão I:Q normal. Além disso, em um estudo conduzido por Fortes e colaboradores (2023), observou-se uma correlação negativa entre o PT EXT e as razões I:Q em membros equilibrados, enquanto tal correlação não foi identificada em membros desequilibrados. Em adição, membros com desequilíbrio muscular apresentaram associações positivas entre as razões I:Q e o PT FLEX, tanto em contração concêntrica quanto excêntrica. Esses resultados sugerem que as correlações entre PT FLEX e PT EXT e as razões I:Q são influenciadas pela condição de equilíbrio ou desequilíbrio muscular nos membros, adicionando complexidade ao entendimento dessas interações.

No presente estudo, verificamos a correlação entre a força muscular e as razões i:Q a partir de uma classificação dos membros com base nos níveis de razão I:Q convencional e funcional, bem como no PT FLEX excêntrico. A categorização dos atletas foi realizada utilizando os percentis 20 e 80, permitindo uma análise estratificada sem a dependência dos valores normativos propostos na literatura. As análises nos percentis 20 e 80 mostram que o PT FLEX concêntrico destaca-se como

um fator determinante no perfil da razão I:Q convencional, estabelecendo correlações significativas em ambos os percentis ($\rho=0,43$ e $\rho=0,31$, respectivamente), o que não foi observado para o PT EXT. Esses resultados contrapõem os achados de Fortes e colaboradores (2023), que indicaram que o PT FLEX concêntrico se correlacionou apenas em membros com menores níveis de razão I:Q convencional ($\rho=0,39$), enquanto o PT EXT demonstrou uma correlação mais acentuada em membros equilibrados (i.e. com maiores níveis de razão I:Q convencional) ($\rho=-0,51$). Adicionalmente, nossos resultados destacam que o PT EXT está significativamente associado aos níveis elevados e reduzidos da razão I:Q funcional, apresentando correlações significativas nos percentis 20 ($\rho=-0,35$) e 80 ($\rho=-0,42$). Estes resultados contrastam com as descobertas de Fortes e colaboradores (2023), os quais observaram uma correlação positiva com o PT FLEX excêntrico em membros com baixos índices de razão I:Q funcional ($\rho=0,52$) e uma correlação negativa com o PT EXT em membros com maiores níveis de razão I:Q funcional ($\rho=-0,44$).

Adicionalmente, em virtude das significativas correlações com as razões I:Q globalmente e da sua importância funcional, conduzimos uma análise para investigar as relações entre as razões I:Q funcional e o PT FLEX e PT EXT em atletas com distintos patamares de força excêntrica nos isquiotibiais (i.e. percentis 20 e 80). Surpreendentemente, constatamos que em membros com menores e maiores níveis de PT FLEX excêntrico, a razão I:Q parece ser mais influenciada pelo desempenho do PT EXT, que apresentou correlações substanciais ($\rho=-0,92$ e $\rho=-0,76$) para os percentis 20 e 80, respectivamente. Entretanto, ressaltamos que esses resultados podem ter sido influenciados por uma menor margem de variação nos valores do PT FLEX excêntrico em ambos os percentis (i.e. de 132 a 169 Nm e 231 a 358 Nm nos percentis 20 e 80, respectivamente) em comparação ao PT EXT (i.e. de 149 a 350 Nm e 146 a 370 Nm nos percentis 20 e 80, respectivamente). Neste contexto, os resultados do presente estudo destacam a importância de abordagens estratificadas para analisar as determinantes das razões I:Q. Estas descobertas podem auxiliar na elaboração de estratégias preventivas e de otimização do desempenho atlético, especificamente em termos de avaliação neuromuscular em atletas.

Recentemente, a capacidade preditiva das razões I:Q em relação a lesões tem sido objeto de intenso questionamento (DAUTY *et al.*, 2018; VAN DYK *et al.*, 2016). Contudo, estudos de coorte, sobretudo com atletas de futebol, têm revelado associações significativas entre lesões nos isquiotibiais e as razões I:Q (CROISIER *et*

al., 2008; LEE *et al.*, 2018; ORCHARD *et al.*, 1997). Esse impasse pode ser atribuído à natureza multifatorial das lesões no contexto esportivo, resultado de complexas interações entre uma extensa rede de determinantes, ao invés de uma relação linear entre fatores preditivos isolados (BITTENCOURT *et al.*, 2016). Nesse sentido, as razões I:Q devem ser consideradas parâmetros neuromusculares que, em conjunto com outros fatores, desempenham um papel importante na ocorrência de lesões musculoesqueléticas de isquiotibiais. As lesões de isquiotibiais representam a forma mais comum de lesão muscular no futebol, sendo desencadeada por diferentes fatores de risco (EKSTRAND *et al.*, 2023). Dentre estes, a força máxima dos isquiotibiais, especialmente a excêntrica, tem sido destacada como um dos fatores modificáveis mais importantes para a redução do risco de lesões (LEE *et al.*, 2018; OPAR *et al.*, TIMMINS *et al.*, 2016). Segundo Timmins e colaboradores (2016) o risco de lesões nos isquiotibiais é reduzido em 9% para cada incremento de 10 N na força excêntrica em jogadores de futebol. Em acordo com os resultados do presente estudo as correlações globais (270 membros) apontam para a força dos isquiotibiais, especialmente a excêntrica, como o parâmetro mais fortemente associado aos valores das razões I:Q ($\rho=0,53$ e $\rho=0,63$ para as razões I:Q convencional e funcional, respectivamente). Tais evidências sugerem que o reforço dos isquiotibiais, com o consequente aumento da relação I:Q, teoricamente atua como um mecanismo protetivo, podendo afastar atletas de uma maior vulnerabilidade a lesões nos isquiotibiais. Embora as análises nos percentis 20 e 80 tenham revelado maiores associações com a força dos quadríceps, uma diminuição na sua capacidade muscular seria prejudicial ao desempenho esportivo. Portanto, do ponto de vista prático, com base na literatura prévia e nos resultados deste estudo, é razoável sugerir que os programas de treinamento de força devem priorizar o fortalecimento, concêntrico e excêntrico, dos isquiotibiais como estratégia para aprimorar as razões I:Q.

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Inicialmente, é relevante destacar que a amostra é composta por atletas de cinco equipes profissionais do Rio Grande do Sul, avaliados exclusivamente durante a pré-temporada. Adicionalmente, o desenho experimental adotado não possibilita uma análise da capacidade preditiva das razões I:Q convencional e funcional de lesões musculoesqueléticas. Além disso, é relevante destacar que as avaliações isocinéticas conduzidas neste estudo não contemplaram uma condição de fadiga neuromuscular,

um fator importante na ocorrência de lesões no futebol. Por fim, é importante observar que as avaliações isocinéticas foram realizadas a 60°/s, o que limita a extrapolação ou comparação com estudos prévios sobre o tema e avaliações conduzidas em diferentes velocidades angulares. Estas limitações destacam a necessidade de cautela na interpretação e generalização dos resultados, ressaltando a importância de futuras pesquisas abordarem essas questões de forma mais abrangente.

8 CONCLUSÃO

No presente estudo investigamos a correlação entre as razões I:Q convencional e funcional e a força dos flexores e extensores do joelho. Nas correlações globais as razões I:Q demonstraram estar significativamente associadas ao PT FLEX concêntrico e excêntrico e ao PT EXT, com o PT FLEX demonstrando maior grau de correlações (moderadas a grandes). Nas análises estratificadas, foram identificadas variações nos graus de correlação entre as razões I:Q e a força muscular. Especificamente, ao considerar a estratificação por razão I:Q convencional, observou-se que o PT FLEX concêntrico apresentou uma correlação positiva tanto no percentil 20 quanto no percentil 80 com a razão I:Q convencional. Por outro lado, na estratificação por razão I:Q funcional, o PT EXT concêntrico mostrou-se positivamente associado com a razão I:Q funcional, tanto no percentil 20 quanto no percentil 80. Por fim, em membros com menores e maiores níveis de PT FLEX excêntrico, a razão I:Q funcional parece ser mais influenciada pelo desempenho do PT EXT, que apresentou correlações substanciais nos percentis 20 e 80. Em suma, as análises globais apontam para a força máxima dos isquiotibiais como determinante das razões I:Q convencional e funcional, enquanto que as análises estratificadas resultaram em associações distintas. Esses resultados revelam que tais associações podem ser alteradas de acordo com os níveis de razões I:Q e força máxima excêntrica dos flexores do joelho.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 10, n. 2, p. 58–67, 2000.
- AAGAARD, P. et al. American Journal of Sports A New Concept For Isokinetic Hamstring: **The American Journal of Sports Medicine**, v. 26, n. 2, p. 231–237, 1998.
- BANGSBO, J.; MOHR, M.; KRUSTRUP, P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. **Journal of Sports Sciences**, v. 24, n. 7, p. 665–674, 2006.
- BARATTA, R. et al. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. **The American journal of sports medicine**, v. 16, n. 2, p. 113–122, 1988.
- BARNES, C. et al. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. **International journal of sports medicine**, v. 35, n. 13, p. 1095–1100, dez. 2014.
- BITTENCOURT, N. F. N. et al. Complex systems approach for sports injuries: Moving from risk factor identification to injury pattern recognition - Narrative review and new concept. **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 21, p. 1309–1314, 2016.
- BOGDANIS, G. C.; KALAPOTHARAKOS, V. I. Knee Extension Strength and Hamstrings-to-Quadriceps Imbalances in Elite Soccer Players. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 2, p. 119–124, 2015.
- CAMARDA, S. R. DE A.; DENADAI, B. S. Does muscle imbalance affect fatigue after soccer specific intermittent protocol? **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 15, n. 4, p. 355–360, 2012.
- CLEMENTE, F. M. et al. Activity profiles of soccer players during the 2010 World Cup. **Journal of Human Kinetics**, v. 38, n. 1, p. 201–211, 2013.
- COHEN, Jacob. Statistical power analysis for the behavioral sciences. **Academic press**, 2013.
- COOMBS, R.; GARBUTT, G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 1, n. 3, p. 56–62, 2002.
- COPPALLE, S. et al. Relationship of pre-season training load with in-season biochemical markers, injuries and performance in professional soccer players. **Frontiers in Physiology**, v. 10, n. APR, p. 1–11, 2019.
- CORREIA, P. et al. Rapid hamstrings to quadriceps ratio at long muscle lengths in professional football players with previous hamstring strain injury. **European Journal of Sport Science**, v. 20, n. 10, p. 1405–1413, 2020.
- DAUTY, M. et al. Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. **Muscles, Ligaments and Tendons Journal**, v. 6, n. 1, p. 116–123, 2016.

DAUTY, Marc; MENU, Pierre; FOUASSON-CHAILLOUX, Alban. Cutoffs of isokinetic strength ratio and hamstring strain prediction in professional soccer players. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 28, n. 1, p. 276-281, 2018.

DE HOYO, M. et al. Influence of football match time–motion parameters on recovery time course of muscle damage and jump ability. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 14, p. 1363–1370, 2016.

EKSTRAND, J.; HÄGGLUND, M.; WALDÉN, M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. **British journal of sports medicine**, v. 45, n. 7, p. 553–558, jun. 2009.

EKSTRAND, J. Keeping your top players on the pitch: The key to football medicine at a professional level. **British Journal of Sports Medicine**, v. 47, n. 12, p. 723–724, 2013.

EKSTRAND, J. et al. Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men’s professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. **British Journal of Sports Medicine**, v. 57, n. 5, p. 292–298, 2023.

EKSTRAND, J.; HÄGGLUND, M.; WALDÉN, M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). **American Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 6, p. 1226–1232, 2011.

EKSTRAND, J. et al. Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. **British journal of sports medicine**, v. 47, n. 12, p. 732–737, ago. 2013;

WALDÉN, M.; HÄGGLUND, M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men’s professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. **British journal of sports medicine**, v. 50, n. 12, p. 731–737, jun. 2016.

FORTES, R. P. et al. Relationship between maximal strength and hamstring-to-quadriceps ratios in balanced and unbalanced legs in futsal athletes. **Sport Sciences for Health**, v. 19, n. 4, p. 1169–1176, 2023.

FRITSCH, C. G. et al. Poor hamstrings-to-quadriceps torque ratios in male soccer players: weak hamstrings, strong quadriceps, or both? **Sports Biomechanics**, v. 22, n. 7, p. 811–821, 2023.

GRECO, C. C. et al. Rapid hamstrings/quadriceps strength capacity in professional soccer players with different conventional isokinetic muscle strength ratios. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 11, n. 3, p. 418–422, 2012.

GREEN, Brady; BOURNE, Matthew N.; PIZZARI, Tania. Isokinetic strength assessment offers limited predictive validity for detecting risk of future hamstring strain in sport: a systematic review and meta-analysis. **British journal of sports medicine**, 2017.

GUEX, K.; MILLET, G. P. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. **Sports Medicine**, v. 43, n. 12, p. 1207–1215, 2013.

HÄGGLUND, M. et al. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. **British journal of sports medicine**, v. 47, n. 12, p. 738–742, ago. 2013.

HARPER, D. J.; CARLING, C.; KIELY, J. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 49, n. 12, p. 1923–1947, dez. 2019.

HEISER, T. M. et al. Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 12, n. 5, p. 368–370, 1984.

LEE, J. W. Y. et al. 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. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 21, n. 8, p. 789–793, 2018.

MACHADO, C. L. F. et al. Effects of an isokinetic fatigue protocol on knee flexion–extension performance and hamstrings-to-quadriceps ratio in women professional soccer players. **Sport Sciences for Health**, 2023.

MAFFIULETTI, N. A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 6, p. 1091–1116, 2016.

MELNYK, M.; GOLLHOFER, A. Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 15, n. 5, p. 525–532, 2007.

OPAR, David A.; SERPELL, Benjamin G. Is there a potential relationship between prior hamstring strain injury and increased risk for future anterior cruciate ligament injury?. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 95, n. 2, p. 401-405, 2014.

ORCHARD, J. et al. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. **The American journal of sports medicine**, v. 25, n. 1, p. 81–85, 1997.

PALARETI, G. et al. Comparison between different D-Dimer cutoff values to assess the individual risk of recurrent venous thromboembolism: Analysis of results obtained in the DULCIS study. **International Journal of Laboratory Hematology**, v. 38, n. 1, p. 42–49, 2016.

SCHACHE, A. G. et al. Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 4, p. 647–658, 2012.

SHALAJ, I. et al. Potential prognostic factors for hamstring muscle injury in elite male soccer players: A prospective study. **PLoS ONE**, v. 15, n. 11 November, p. 1–17, 2020.

SOLOMONOW, M. et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 15, n. 3, p. 207–213, 1987.

CROISIER, J. L. Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury A Prospective Study. **The American Journal of Sports Medicine**. p. 1–7, 2008.

TAYLOR, J. B. et al. Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. **Sports Medicine**, v. 47, n. 12, p. 2533–2551, 2017.

THELEN, D. G. et al. Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 1, p. 108–114, 2005.

THORLUND, J. B.; AAGAARD, P.; MADSEN, K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. **International journal of sports medicine**, v. 30, n. 4, p. 273–278, abr. 2009.

TIMMINS, Ryan G. et al. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. **British journal of sports medicine**, v. 50, n. 24, p. 1524-1535, 2016.

VAN DYK, N. et al. Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries. **American Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 7, p. 1789–1795, 2016.

VANRENTERGHEM, J. et al. Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. **Sports Medicine**, v. 47, n. 11, p. 2135–2142, 2017.

VERHEUL, J. et al. Biomechanical loading during running: can a two mass-spring-damper model be used to evaluate ground reaction forces for high-intensity tasks? **Sports Biomechanics**, v. 20, n. 5, p. 571–582, 2021.

WOODS, C. et al. The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football - Analysis of hamstring injuries. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 1, p. 36–41, 2004.