



Recuperação após um jogo de futebol: o impacto da fadiga neuromuscular

Carlos Eduardo Amorim Pinto

Porto, setembro de 2022



Recuperação após um jogo de futebol: o impacto da fadiga neuromuscular

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Alto Rendimento, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, ao abrigo do Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março, na redação dada pelo Decreto-Lei nº 65/2018 de 16 de agosto.

Orientador: Professor Doutor Filipe Almeida Viana da Conceição

Coorientadora: Professora Doutora Maria Luísa Dias Estriga

Carlos Eduardo Amorim Pinto

Porto, setembro de 2022

Ficha de catalogação

Pinto, C. (2022). Recuperação após um jogo de futebol: o impacto da fadiga neuromuscular. Porto: Pinto, C. Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de mestre em Treino de Alto Rendimento Desportivo, apresentado à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-chave: FADIGA, FUTEBOL, CONTRAÇÃO ISOMÉTRICA MÁXIMA, FREQUÊNCIA MEDIANA, ESCALAS SUBJETIVAS

Agradecimentos

Esta dissertação não poderia ser realizada se não tivesse o apoio e ajuda de várias pessoas. Foram tempos difíceis, onde fui colocado à prova por diversas vezes para que conseguisse atingir todos os objetivos delimitados no início desta caminhada, e se isso foi possível, deve-se também àqueles que estiveram presentes no meu dia-a-dia, aquando da realização deste estudo. Deste modo, agradeço especialmente:

À FADEUP, por ter sido um espaço tão acolhedor ao longo destes anos de ensino e claro, aos professores e todos os intervenientes da mesma, por me terem permitido aprofundar os conhecimentos, por terem formado um profissional das ciências do desporto e, acima de tudo, um ser humano melhor e mais preparado para as exigências diárias, nos mais diversos contextos.

Ao Professor Doutor Filipe Conceição, pela orientação e acompanhamento no presente estudo, na delimitação dos caminhos a seguir, meios para atingir os objetivos iniciais e abordagens/ensinamentos de conceitos importantes para o desenvolvimento desta dissertação.

À Professora Doutora Luísa Estriga pela enorme ajuda, prestabilidade e paciência que teve comigo ao longo desta jornada, quer na seleção dos melhores caminhos a seguir, quer nas constantes correções estruturais no desenvolvimento deste tema, e ainda no acompanhamento prestado na análise estatística, através dos programas a esse fim destinados.

Ao financiamento do projeto NORTE-02-0853-FEDER037340 - NexTrainer – New Equipment for Advanced Neuromuscular Calf Training and Recovery, cofinanciado pelo programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Esta empresa permitiu-me analisar os atletas, uma vez que me cedeu a máquina usada no presente estudo. Um agradecimento especial ao José Luís Ferreira Santos, que me explicou o funcionamento da máquina e me tirou todas as dúvidas relativamente à mesma.

Ao engenheiro Pedro Nuno Silva Ramos Gonçalves, pelo desenvolvimento do programa em ambiente Matlab, pois sem ele seria impossível analisar da melhor forma os atletas testados e tirar as conclusões deste estudo. Além disso, sou grato pela sua constante disponibilidade e prontidão na resposta a dúvidas que foram surgindo ou ainda nas atualizações constantes que precisaram ser efetuadas no programa.

Às equipas técnicas dos escalões sénior e júnior do Fiães Sport Clube, pois foi graças a elas que consegui ter a aprovação para realizar os testes nos seus plantéis. Aos atletas envolvidos pela disponibilidade e interesse demonstrado aquando das realizações das avaliações físicas e respostas aos inquéritos. Por fim, à direção do clube pelo empréstimo da carrinha para o transporte do aparelho necessário para os testes físicos e pela cedência das instalações para guardar o mesmo, bem como para realizar os testes.

À minha família que acompanhou de perto todos os meus passos e me deu todo o suporte emocional para que conseguisse terminar este ciclo com sucesso. Toda a paciência, confiança e todo o amor demonstrado, não só ao longo deste ano, mas sim ao longo de uma vida, para que hoje conseguisse ser um Homem capaz de lidar com todas as adversidades profissionais e pessoais.

Aos meus amigos mais próximos, pois estiveram sempre presentes e acompanharam o meu trabalho, mostrando sempre interesse, preocupação e disposição para me ajudarem, caso fosse preciso. Deram-me um apoio e motivação especial, para que isto fosse possível.

Por fim, mas não menos importante, agradecer à minha companheira de todas as horas, que caminhou ao meu lado durante todas as etapas deste trabalho, pois sem ela não teria chegado até aqui. A ti, obrigado por toda a dedicação, ajuda, apoio e amor incondicional. Serei eternamente grato!

Índice geral

Índice de figuras	ix
Índice de quadros	xi
Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de abreviaturas	xvii
1. Introdução	1
2. Revisão da literatura	5
2.1. Definição de fadiga neuromuscular	5
2.2. Como avaliar a fadiga neuromuscular	7
2.3. Magnitude da fadiga e tempo de recuperação	9
2.4. Exigência física do futebol	10
2.5. Dano muscular induzido pelo futebol	13
2.6. Como se comporta a fadiga no futebol	14
2.7. Como se comporta a fadiga no rugby	17
2.8. EMG e fadiga	18
2.9. Análise dos dados nas avaliações físicas	20
2.10. Carga interna: escalas subjetivas de esforço	23
3. Problema, Objetivos e hipóteses	25
3.1. Problema	25
3.2. Objetivos	25
3.3. Hipóteses	25
4. Material e métodos	27
4.1. Caracterização da amostra	27
4.2. Desenho experimental	29

4.2.1. Material utilizado	29
4.3. Procedimento da recolha de dados.....	32
4.3.1. Familiarização.....	32
4.3.2. Desenho Experimental.....	32
4.4. Tratamento dos dados	34
5. Resultados e discussão.....	39
5.1. Parâmetros da força em estudo	39
5.2. Escalas referentes ao estado subjetivo dos atletas	56
6. Considerações finais	67
7. Conclusões.....	69
8. Limitações e futuros estudos.....	73
9. Referências bibliográficas	75
Anexos	xix

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Acceleration leg curl/extension</i>	29
Figura 2 - Questionário Hooper Index adaptado (Vieira, 2020).	31
Figura 3 - Percepção subjetiva de esforço adaptada de Borg (Vieira, 2020).	32
Figura 4 - Curva força-tempo e magnitude-frequência nos 3 momentos de avaliação.	35
Figura 5 - Curva média magnitude-frequência, nos 3 momentos de avaliação.	36
Figura 6 - Comparação geral dos 3 momentos de avaliação.	36
Figura 7 - Valores FFT dos 3 momentos de avaliação.	36
Figura 8 - Valores referentes à frequência mediana, nos 3 momentos de avaliação.	37

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização dos atletas que foram avaliados no presente estudo.	28
Quadro 2 - Uso do ângulo de 60º para avaliações em terreno.....	30
Quadro 3 -Valores descritivos referentes aos vários parâmetros em estudo, em cada momento das avaliações.	40
Quadro 4 - Comparação entre o grupo de controlo e experimental, nos 3 momentos de avaliação.	41
Quadro 5 - Comparação dos 3 momentos de avaliação, no grupo experimental e de controlo.....	42
Quadro 6 - Valores da mediana frequência ao longo dos 3 momentos de avaliação, no grupo experimental.....	55
Quadro 7 - Valores percentuais das respostas referentes ao estado do atleta, em cada momento das avaliações.	57
Quadro 8 - Valores percentuais das respostas referentes à RPE, respondidos imediatamente após o jogo (momento 2).	58
Quadro 9 – Valores da moda e mediana referentes ao estado dos atletas, em cada momento das avaliações.	59
Quadro 10 - Comparação entre o grupo de controlo e o grupo experimental, usando o teste não paramétrico (Mann-Whitney).....	60
Quadro 11 - Comparação entre os 3 momentos de avaliação, para cada grupo, usando o teste não paramétrico (Friedman).....	60

RESUMO

A fadiga neuromuscular ocorre quando a capacidade de produzir força ou potência são prejudicadas. Também pode estar relacionada com o decréscimo na capacidade de gerar força, durante uma contração isométrica. Foram testados 22 jogadores, após um jogo de futebol, com idades compreendidas entre os 17 e 25 anos (19.18 ± 2.89). Os testes consistiram numa contração isométrica máxima (*leg extension*) e resposta às escalas subjetivas do esforço e estado físico (Hooper e Index), durante 3 momentos (antes do jogo, imediatamente após e após 48h). O problema do estudo foi verificar se a FFT permite identificar sujeitos em fadiga, sendo que o objetivo foi perceber como a recuperação ocorre, após o jogo. Além disso, pretendeu-se também deduzir se o uso da frequência mediana permite estudar o estado do atleta. Os resultados indicaram que a RFD apresentou, no momento 1, diferenças estatísticas entre o grupo controlo (GC) e experimental (GE) no RFD 30 ($GE < GC$). No momento 2, observaram-se diferenças estatísticas entre grupos na RFD 90, 100 e 150 ms ($GE < GC$). Pareceu existir uma tendência para o aumento dos valores do GE numa fase inicial, até 150 ms. Já no momento 3, os resultados mostraram uma tendência para baixar no GE. No pico, não se verificaram diferenças significativas, parecendo haver tendência do GE para diminuir o pico após o jogo, havendo uma recuperação ao fim de 48h. Na análise dos tempos de pico e do RC, também não foram observadas diferenças. No GE, o gradiente S mostrou ter diferenças estatisticamente significativas, quando comparado com o GC, no momento 2. Houve uma tendência para o gradiente S descer após 48h no GE, embora no GC também tenha descido. No gradiente A não houve diferenças, havendo uma tendência para a queda dos valores ao longo do tempo (GE). Na frequência mediana, não existiram diferenças. Os valores obtidos mostraram um padrão indefinido. Nas escalas, verificaram-se diferenças significativas entre grupos: nível fadiga e RPE maiores no GE, no momento 2. Relativamente aos momentos, os resultados indicaram que o GE aumentou os níveis de fadiga e dor muscular, após o jogo, recuperando os valores basais após 48h.

Palavras-chave: FADIGA, FUTEBOL, CONTRAÇÃO ISOMÉTRICA MÁXIMA, FREQUÊNCIA MEDIANA, ESCALAS SUBJETIVAS

ABSTRACT

Neuromuscular fatigue occurs when the ability to produce force or power is impaired. It may also be related to the decrease in the ability to generate force during an isometric contraction. 22 players were tested after a soccer game, aged between 17 and 25 years (19.18 ± 2.89). The tests consisted of a maximum isometric contraction (leg extension) and response to the subjective scales of effort and physical status (Hooper and Index), during 3 moments (before the game, immediately after and after 48h). The problem of the study was to verify if the FFT allows to identify subjects in fatigue, and the objective was to understand how the recovery occurs, after the game. In addition, it was also intended to deduce whether the use of the median frequency allows studying the athlete's state. The results indicated that the RFD presented, at moment 1, statistical differences between the control (GC) and experimental (GE) groups in RFD 30 ($GE < GC$). At moment 2, statistical differences were observed between groups at RFD 90, 100 and 150 ms ($GE < GC$). There seemed to be a tendency for the GE values to increase in an initial phase, up to 150 ms. At moment 3, the results showed a downward trend in the GE. At the peak, there were no significant differences, and there seems to be a tendency for the GE to decrease the peak after the game, with a recovery after 48h. In the analysis of peak times and RC, no differences were observed either. In the GE, the S gradient showed statistically significant differences, when compared to the GC, at moment 2. There was a tendency for the S gradient to decrease after 48h in the GE, although in the GC it also decreased. In gradient A there were no differences, with a tendency for the values to fall over time (GE). In the median frequency, there were no differences. The values obtained showed an undefined pattern. In the scales, there were significant differences between groups: higher fatigue level and RPE in the GE, at moment 2. Regarding the moments, the results indicated that the GE increased the levels of fatigue and muscle pain, after the game, recovering the baseline values after 48h.

Keywords: FATIGUE, FOOTBALL, MAXIMUM ISOMETRIC CONTRACTION, MEDIAN FREQUENCY, SUBJECTIVE SCALES

LISTA DE ABREVIATURAS

CAE – Ciclo Alongamento-Encurtamento

CK – Creatina quinase

CMJ – *Countermovement Jump*

CVM – Contração Voluntária Máxima

FFT - *Fast Fourier Transform* / Transformada Rápida de Fourier

Fmax – Força Máxima

GE – Grupo experimental

GP – Grupo de controlo

HI - Hooper Index (HI)

M - Média

Mdn - Mediana

PSE - Perceção Subjetiva do Esforço

RFD - *Rate of force development*

SD – Desvio padrão

1. INTRODUÇÃO

O desporto é uma área bastante vasta e complexa que tem vindo a ganhar cada vez mais o seu espaço e visibilidade, quer através de novos recordes e melhoria da *performance*, quer através da inovação de novos materiais ou, ainda, pelo impacto crescente que tem na sociedade. Uma “prova” desse crescimento social é o constante desenvolvimento dos *mídia* em torno do desporto. Horky (2021) defende que esta quase obsessiva atenção decorre das paixões e ódios que gera em milhões de espectadores à escala global, o que influencia capitais de consumo, investimentos financeiros, receitas e perda de avultadas quantidades de dinheiro e contratos. Este autor mostrou o impacto do COVID-19 no desporto, onde se deu o cancelamento de eventos desportivos de várias modalidades e consequentemente, diminuição das transmissões televisivas, percebendo-se a falta que o desporto faz à sociedade, a diversos níveis.

O futebol é uma atividade com grande impacto nessa cultura desportiva a nível mundial, daí ser designado por muitos o “desporto rei”, onde o valor cultural e social desde cedo se traduziu em profissionalismo dos mais variados intervenientes. A grande pressão competitiva que tipicamente envolve, nos vários domínios de prática federada, implica uma grande preocupação com a preparação e recuperação dos jogadores, numa perspetiva mais individual, e da equipa no seu todo, nomeadamente através de uma gestão inteligente do plantel. Não obstante, de uma forma geral, objetiva-se que jogadores estejam treinados e preparados para dar a melhor resposta às exigências desta modalidade, sem correrem o risco de se lesionarem por sobrecarga ou má gestão da recuperação após esforço/competição. Assim, um dos grandes desafios é gerir a recuperação dos jogadores, assumindo que o jogo/competição é sempre uma carga máxima e que, em período competitivo, pode ocorrer uma ou duas vezes por semana. Além disso, o futebol tem a particularidade de ter um limite de substituições a serem realizadas durante o jogo, o que não acontece noutras modalidades, sendo que esse fator implica uma gestão inteligente das cargas de treino e jogo.

É assim evidente que para que os jogadores estejam bem preparados para os momentos competitivos, torna-se essencial que a sua recuperação seja

controlada e otimizada para que sejam capazes de treinar com um nível de exigência elevado e obter adaptações positivas. Além disso, pode ser uma mais-valia para os treinadores usarem na programação do treino, na seleção de exercícios, ou ainda para calcularem intensidades e intervalos de recuperação. Dito de outra forma, parece inevitável que a fadiga do atleta seja avaliada de forma individual, dado que é exposto a uma carga de jogo, seguramente, diferente, por força da especificidade da função, estratégia adotada, tempo de jogo efetivo, e resposta do adversário, além das questões individuais no domínio da capacidade de resposta e recuperação. Assim, monitorizar a carga de treino e jogo dos atletas parece ser essencial para determinar se há uma adaptação ao programa de treino, que permita perceber as respostas individuais, avaliando a fadiga e a necessidade de recuperação, minimizando o risco de sobre-treino, lesão ou doença (Bourdon et al., 2017).

Apesar desta problemática ser um tema de grande interesse e investigação nas Ciências do Desporto, no terreno é ainda de difícil operacionalização, pela ausência de mecanismos e processos de fácil aplicação, interpretação e baixo custo. Desde logo, pela complexidade e desafio que os completos entendimentos das formas de manifestação da fadiga colocam, a sua origem (fatores) e mecanismos. Assim, os treinadores, preparadores/recuperadores físicos e fisiologistas do desporto têm o desafio diário de avaliar, quantificar, dar significado e tomar decisões com base em avaliações, mais ou menos, subjetivas do grau de esforço e estado de recuperação de cada atleta; o que recorrentemente acontece com ausência de informação fidedigna.

É inequívoco que nos últimos anos a tecnologia aplicada ao futebol tem evoluído bastante e muito rapidamente. Disto são exemplo a introdução de novos sensores e equipamento que permitem aceder a indicadores de esforço externos (esforço mecânico) e internos (frequência cardíaca, lactato, oximetria, entre outros). Os sensores mais vulgares e de fácil utilização permitem conhecer as distâncias totais, distâncias percorridas a alta intensidade, batimento cardíaco, entre muitas outras. Além de tudo isso, também foram criadas escalas subjetivas de esforço, que de forma prática e sem custos, permitem aceder à perceção do

atleta relativamente ao esforço despendido ou estado de recuperação. No entanto, apesar deste avanço tecnológico e da ciência, a avaliação do estado de fadiga do atleta é ainda um desafio em aberto. É difícil perceber, de forma objetiva, se o atleta está preparado e completamente recuperado para as exigências dos próximos treinos e jogos, bem como se encontra o risco de lesão muscular ou ligamentar. Assim, este estudo exploratório visa estudar a fadiga neuromuscular após um jogo futebol, com recurso a técnicas inovadoras (através da avaliação de parâmetros relacionados com a curva força-tempo) e tradicional (como sejam as escalas subjetivas).

Assim sendo, este trabalho apresenta uma revisão da literatura com 10 capítulos, onde numa primeira fase se refere o que é a fadiga e como se avalia. Depois segue-se a atual exigência do desporto, mais concretamente do futebol, falando-se um pouco do dano muscular associado ao futebol e de que forma isso afeta o rendimento do jogador e o seu estado de fadiga. Neste seguimento, torna-se importante estudar a eletromiografia (EMG) e a sua relação com a fadiga, para que se percebam alguns conceitos fundamentais desta temática. Posteriormente, são referidos vários parâmetros afetados pela fadiga dos atletas, parâmetros esses que iremos ter em conta neste trabalho. Apresentamos ainda uma forma de avaliar a carga interna, através das escalas subjetivas de esforço, uma vez que serão usadas, de forma complementar, para avaliar o estado dos jogadores. O problema, objetivos e hipóteses aparecem adiante, para que seja possível perceber, de uma forma mais simples, a ideia deste teste experimental, sendo que seguidamente prosseguimos para o estudo propriamente dito, com o material e métodos, resultados, discussão e conclusão. Por último, apresentamos as principais limitações e sugestões para futuros estudos, com o objetivo de clarificar algumas questões relacionadas com a fadiga, desenvolvendo novas formas de avaliação e melhorando a intervenção prática.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. DEFINIÇÃO DE FADIGA NEUROMUSCULAR

A fadiga é um tema que tem vindo a ser debatido há muitos anos, sendo alvo de vários estudos para que se perceba como ocorre este fenómeno e as suas implicações na prática desportiva. É um tema bastante complexo e multifatorial, mas de uma forma simples podemos dizer que a fadiga neuromuscular ocorre quando a capacidade de um indivíduo produzir força ou potência são prejudicadas (Collins et al., 2018), ou seja, quando o atleta não consegue manter a intensidade de um dado exercício, fazendo com que o mesmo termine a tarefa ou diminua a intensidade. Allman e Rice (2002) definem a fadiga como qualquer comprometimento agudo da capacidade de exercer força, independentemente da tarefa ser executada com sucesso ou não. Muitas vezes, a fadiga também é caracterizada pelo tempo em que a força ou potência pode ser sustentada (isto é, tempo de resistência), ou a extensão em que força ou potência são reduzidos num determinado período. Um outro estudo descreve, ainda, a fadiga neuromuscular como um decréscimo na capacidade de gerar força durante uma contração isométrica (Collins et al., 2018).

Westerblad et al. (2010) referem que a ativação intensa dos músculos esqueléticos geralmente resulta numa diminuição da função contrátil que é revertida após um período de repouso. Os autores referem, então, que esse declínio no desempenho induzido pela atividade é a designada fadiga e na maioria dos casos é altamente dependente da capacidade do sistema metabólico aeróbio, isto porque, normalmente, as fibras musculares oxidativas lentas são mais resistentes à fadiga do que as fibras glicolíticas rápidas.

A fadiga neuromuscular pode ter uma origem mais central ou periférica (ou uma combinação de ambos os mecanismos), sendo que a primeira diz respeito ao sistema nervoso central e a segunda à junção neuromuscular e músculo (distal do motoneurónio, ou seja, no sarcolema e fibras musculares) (Collins et al., 2018). Através de um estudo de *sprints* repetidos, constatou-se que a fadiga periférica se desenvolve mais precocemente e persiste ao longo do exercício, podendo ter um papel mais significativo na redução do desempenho

numa fase inicial e a fadiga central tende a ocorrer mais tarde no exercício, sendo que também pode influenciar o desempenho, uma vez que pode aumentar a fadiga periférica (Pearcey et al., 2015).

Neste seguimento, Ascensão et al. (2003, pp. 108-109) referem que a “fadiga muscular pode resultar de alterações da homeostasia no próprio músculo esquelético, ou seja, o resultado do decréscimo da força contráctil independentemente da velocidade de condução do impulso neural, habitualmente designada de fadiga com origem predominantemente periférica. Pode também ser o resultado de alterações do input neural que chega ao músculo, traduzida por uma redução progressiva da velocidade e frequência de condução do impulso voluntário aos motoneurónios durante o exercício, normalmente denominada de fadiga com origem predominantemente central”. Estes autores ainda dizem “parecer razoável associar, pelo menos em parte, a fadiga de origem predominantemente central com a variação das concentrações de glicose sanguínea, de aminoácidos de cadeia ramificada e da síntese de alguns neurotransmissores. Em relação à fadiga periférica, as evidências experimentais têm mostrado que reduções nas concentrações mioplasmáticas de cálcio comprometem a tensão gerada pelas fibras durante contrações musculares induzidas por estimulações de frequência elevada”.

Place et al. (2009) estudaram a fadiga central durante o exercício e concluíram que, de uma maneira geral, a fadiga central é de maior importância durante atividades prolongadas de baixa intensidade, onde as alterações metabólicas nas células musculares provavelmente são limitadas, enquanto os fatores intramusculares parecem dominar durante atividades de maior intensidade. Assim, o desempenho numa corrida de 400 m (menos de 1 min) seria limitado principalmente por processos intramusculares, enquanto correr uma maratona (mais de 2 h) resultaria numa maior extensão da fadiga central. Em resumo, estes autores defendem que enquanto os processos intramusculares parecem limitar a duração das contrações isométricas prolongadas realizadas em intensidade relativamente alta, fatores centrais contribuem para a falha na manutenção de contrações contínuas em intensidades mais baixas. No entanto, o desempenho em eventos de resistência

não depende apenas do sistema neuromuscular, mas também é muito influenciado pelos processos cardíacos e ventilatórios, bem como pela técnica, o que torna difícil induzir que a diminuição do desempenho se deve apenas à fadiga muscular.

De outro modo, Enoka e Duchateau (2016) e Kluger et al. (2013) defendem que a fadiga pode ser conhecida a partir de dois grandes mecanismos: fadigabilidade do desempenho (redução numa medida objetiva ao longo de um determinado período) e fadigabilidade percebida (mudanças nas sensações do atleta). A fadigabilidade por desempenho depende das capacidades contráteis dos músculos envolvidos e da capacidade que o sistema nervoso tem para fornecer um sinal de ativação adequado e derivado de comandos descendentes e *feedback* aferente para a tarefa pré-estabelecida. A fadigabilidade percebida deriva do valor inicial e da taxa de variação das sensações que regulam a integridade do atleta. A maioria das ações voluntárias realizados pelos humanos envolvem interações significativas entre os dois domínios. Por exemplo, vários fatores que contribuem para a fadigabilidade percebida, como níveis de glicose no sangue, temperatura central, excitação e humor, podem influenciar a capacidade de um indivíduo gerar a ativação voluntária máxima, que é um fator que está relacionado com a fadigabilidade do desempenho. Da mesma forma que o *feedback* aferente, gerado durante um exercício de alta intensidade, pode influenciar os ajustes necessários para manter a homeostase e, assim, contribuir para a fadiga percebida. Assim, a fadiga também pode ser definida como um sintoma incapacitante no qual a função física e cognitiva é limitada pela interação entre fadigabilidade de desempenho e fadigabilidade percebida.

2.2. COMO AVALIAR A FADIGA NEUROMUSCULAR

Tal como é difícil definir o conceito de fadiga devido à sua complexidade, também se torna difícil avaliá-la, uma vez que não existe uma forma de quantificar o cansaço físico de um atleta, de forma direta. No entanto, a literatura apoia o estudo da fadiga a partir de contrações isométricas voluntárias máximas, havendo uma avaliação pré e pós-carga, para que seja possível estudar este

mecanismo que afeta o desempenho, através da falha do cérebro, medula espinal, músculo ou uma combinação dos mesmos (Collins et al., 2018). Uma outra razão para se usar quase exclusivamente as contrações isométricas máximas voluntárias como índice de fadiga é, provavelmente, a simplicidade desta medida, pois as avaliações isométricas são mais acessíveis e menos caras que as dinâmicas. Millet et al. (2011) confirmam esta ideia referindo que, ao longo dos anos, diversos métodos têm sido usados para avaliar a função neuromuscular, em particular as contrações isométricas voluntárias máximas. Estes autores referem que é aceite que o uso de contrações voluntárias máximas e EMG fornecem informações muito interessantes sobre a fatigabilidade da função neuromuscular. Mais abaixo, iremos abordar melhor a EMG e a sua relação com a fadiga. Há mais autores que defendem o uso deste tipo de contrações para a avaliação do estado do atleta, como é o exemplo de Place et al. (2009), que defendem que as contrações isométricas sustentadas ou repetidas são comumente usadas para caracterizar a fadiga muscular porque 1) os experimentos são relativamente fáceis de realizar; 2) pode-se induzir fadiga seletiva no grupo muscular de interesse; e 3) a medida do tempo de resistência constitui um índice confiável de fatigabilidade muscular.

Relativamente à intensidade da avaliação, Taylor e Gandevia (2008) compararam as contrações máximas com as submáximas para estudarem a fadiga central. Assim, os autores referem que, se o exercício for submáximo, a fadiga pode ocorrer sem um decréscimo no desempenho da tarefa, pois outras unidades motoras ou músculos são recrutados para compensar aqueles que estão fatigados. Os mesmos defendem ainda que as contrações voluntárias máximas têm vantagens para o estudo da fadiga central: 1) ele testa toda a via motora; 2) a fadiga desenvolve-se em segundos; 3) a fadiga central só pode ser medida durante esforços máximos, pois a contração sobreposta representa uma falha em conduzir o músculo ao máximo; 4) a tarefa para o sistema nervoso é “máxima” durante todo o exercício (isto é, conduzir todas as unidades motoras para produzir força máxima). Em comparação, uma tarefa submáxima permite que o sistema nervoso compense a falha muscular aumentando o impulso; 5)

todos os motoneurónios passam por processos semelhantes, ou seja, todos são recrutados em altas taxas desde o início.

Em síntese, uma redução na força máxima que uma pessoa pode produzir durante uma contração voluntária máxima (CVM) isométrica fornece a demonstração mais direta de fadiga (Carroll et al., 2017). Assim, as tarefas que envolvem uma CVM sustentada fornecem um modelo conveniente para estudar fadiga e recuperação, porque há uma medida contínua de fadiga durante o protocolo (ou seja, força instantânea de CVM) e porque a recuperação pode ser facilmente rastreada com o mesmo aparelho usado para induzir fadiga (ou seja, sem a necessidade de reposicionar o sujeito ou alternar entre tarefas).

2.3. MAGNITUDE DA FADIGA E TEMPO DE RECUPERAÇÃO

Parece haver uma grande diversidade de fatores que influenciam a acumulação de fadiga, bem como a sua recuperação, o que torna extremamente difícil quantificar a fadiga de um determinado atleta após o esforço físico (magnitude da fadiga). Nesta linha de pensamento, Nedelec et al. (2012) referem que a magnitude do jogo relaciona-se com a acumulação desta fadiga, sendo que esta é influenciada por fatores extrínsecos, como resultado do jogo (alterando o humor e fadiga mental), qualidade do adversário, localização e superfície do jogo e/ou fatores intrínsecos tais como estado de treino, idade, sexo, tipologia da fibra muscular. Todos estes fatores condicionam de forma muito individualizada o tempo de recuperação dos atletas. Neste seguimento, também Rampinini et al. (2007) obtiveram informações bastante relevantes para treinadores e cientistas do futebol de alto nível, já que mostraram que o desempenho durante um jogo está muito relacionado com a atividade realizada pelas equipas adversárias, bem como os seus níveis competitivos, mostrando assim que a qualidade e condição do adversário são fatores extremamente importantes a ter em conta, numa tentativa de quantificar a fadiga presente no jogador após a atividade. No ponto 2.4 iremos aprofundar outros influenciadores da fadiga, relacionados com o futebol.

A participação intensa e prolongada num jogo de futebol leva, inevitavelmente, a uma fadiga aguda, caracterizada por um declínio no desempenho físico nas horas e dias seguintes. Isto pode ser visto, por exemplo, no estudo de Ispirlidis et al. (2008), onde os autores realçam que esta fadiga se pode manifestar até 72h após o momento competitivo, sendo que só após este tempo o atleta poderá estar totalmente recuperado e atingir o seu estado pré-jogo, recuperando a sua função muscular e resolvendo o dano e inflamação musculares. No alto nível de rendimento desportivo, estas questões são ainda mais críticas e revelantes, pelo que é necessário gerir e otimizar o processo de recuperação, visto que os jogadores têm vários jogos num espaço de tempo muito curto, o que pode ser insuficiente para restaurar a homeostase física dos jogadores.

Carroll et al. (2017) referem que, após breves exercícios de alta intensidade, há normalmente uma restituição rápida de força devido à essencialmente à recuperação da fadiga central, sendo que esta demora cerca de 2 minutos. Já a recuperação da fadiga periférica associada ao acoplamento excitação-contração e reperfusão dos músculos, pode demorar 3–5 minutos. No entanto, a recuperação completa da função muscular pode demorar algumas horas, ou até dias, devido ao comprometimento na libertação do cálcio intracelular ou na sua sensibilidade, fundamental para a contração. Por sua vez, depois do exercício de baixa intensidade de longa duração, a força voluntária tipicamente é recuperada parcialmente nos primeiros minutos, devido maioritariamente à recuperação da componente central. No entanto, a capacidade de ativar músculos voluntariamente pode não recuperar completamente 30 minutos após o exercício.

2.4. EXIGÊNCIA FÍSICA DO FUTEBOL

O futebol é uma atividade física intermitente em que as sequências das ações exigem uma variedade de habilidades de intensidades variadas. A corrida é a atividade predominante, mas os esforços do tipo explosivo, como *sprints*, saltos, duelos e remates, são fatores importantes para um desempenho bem-

sucedido no futebol. Esses esforços dependem da força máxima e potência anaeróbica do sistema neuromuscular, mais particularmente do membro inferior (Cometti et al., 2001). Carling et al. (2010) referem que estas ações de alta intensidade durante um jogo de futebol têm um grande impacto no atleta, causando fadiga neuromuscular e aumentando por sua vez o risco de lesão. Behan et al. (2018) defendem precisamente que este risco de lesão é uma consequência da fadiga neuromuscular, uma vez que os atletas normalmente se lesionam nos últimos 15 minutos de cada parte, coincidindo com as fases de maior fadiga.

Nesta linha de pensamento, Clarke e Noon (2019) referem que esta modalidade é praticada de uma forma coletiva e intermitente, onde estão presentes eventos de alta e baixa intensidade, não esquecendo também os momentos de paragem e de pouca atividade que podem ocorrer durante uma partida, fruto das contingências próprias do futebol e de cada confronto. Cabe aqui referir que a fadiga causada durante e após esta prática depende de vários fatores contextuais tais como posição em campo, capacidade física, qualidades técnicas, função tática, carga de treino, importância do jogo e fase da época em que o atleta se encontra (*op. cit.*). Gregson et al. (2010) procuraram aprofundar os fatores ou parâmetros que influenciam e diferenciam as exigências físicas, técnicas e táticas a que os jogadores de futebol são sujeitos em contexto de competição. Estes autores observaram que defesas centrais e avançados têm menor volume e intensidade de jogo quando comparados com as restantes posições (distância percorrida a alta velocidade, distância de corrida, distância total de sprint, corrida a alta velocidade com equipa em posse de bola, total corrida em alta velocidade sem a equipa com posse de bola). Além disso, os jogadores que jogam contra equipas de um nível superior tendem a ter uma exigência maior, quer na distância percorrida, quer nas distâncias percorridas em limites de alta velocidade (>5.5 m/s) (Russell et al., 2013). Também, Barrett et al. (2018) retiraram conclusões face à perceção de esforço do atleta consoante espaço ocupado em campo: centrais relatam valores de esforço percebido substancialmente maiores do que qualquer outra posição e acresce ainda que os jogadores relatam maior esforço técnico/cognitivo ao jogarem contra equipas

que estão melhor classificadas. Os autores referem que este tipo de estudos e avaliações podem ajudar os profissionais a monitorizar as respostas da carga interna e apoiar a prescrição de sessões de treino e recuperação.

Análises e medições fisiológicas revelam que o futebol moderno é altamente exigente energeticamente e que a capacidade de realizar repetidos trabalhos de alta intensidade é importante para os jogadores, pois as equipas que têm mais sucesso realizam mais atividades de alta intensidade durante um jogo (Iaia et al., 2009; Mohr et al., 2003). Iaia et al. (2009) agregaram informação decorrente de vários estudos para afirmar ainda que os atletas são sujeitos a aproximadamente 1200 mudanças acíclicas e imprevisíveis, 30 a 40 sprints, mais de 700 giros e 30/40 duelos físicos e saltos. Além disso, análises de movimento e sistemas de seguimento de jogadores semiautomáticos, baseados em vídeo, permitiram constatar que jogadores de alto nível realizam 2 a 3 km de corrida de alta intensidade (acima de 15 km/h) e aproximadamente 0.6 km de *sprint* (acima dos 20 km/h). Tudo isto leva a que o futebol seja um desporto altamente exigente do ponto de vista fisiológico, motivando os jogadores a melhorarem a sua condição física para que consigam lidar com as exigências do jogo (*op. cit*). Nedelec et al. (2012) referem ainda que os movimentos específicos do futebol levam a uma fadiga pós-jogo, que pode estar relacionada com:

- desidratação;
- depleção de glicogénio, substrato extremamente importante para a produção de energia. Quando existe esta depleção em algumas fibras, várias ações como o *sprint* estão comprometidas, sendo que a reposição deste substrato após um jogo de futebol de alto nível, pode demorar 2 a 3 dias;
- danos musculares, associados às ações de alongamento-encurtamento, onde a utilização das contrações excêntricas leva a um maior dano muscular;
- fadiga mental/cognitiva, associada à elevada concentração e tomadas de decisão em contexto de elevado stress competitivo, o próprio stress associado à viagem, em especial de longa duração, entre outros.

Deste modo, as demandas do movimento desportivo associado ao futebol sugerem um aumento do esforço cardiovascular e do esforço percebido dos jogadores (Tang et al., 2018). Os autores anteriormente citados referem que a especificidade do esforço físico desta modalidade faz aumentar a fadiga e deve ser tido em conta para quantificar a carga, implicando cuidados na seleção de estratégias de recuperação e intensidades das sessões de treino.

2.5. DANO MUSCULAR INDUZIDO PELO FUTEBOL

Como já foi referido anteriormente, podemos considerar que os jogadores de futebol sofrem substancial dano muscular, devido essencialmente às ações de alta intensidade, e com grande solicitação de trabalho excêntrico, propiciando o aparecimento e acumulação da fadiga neuromuscular e dano muscular. Howatson e van Someren (2008) referem que este dano muscular se relaciona com a rutura das fibras, causando alterações na membrana e/ou ruturas miofibrilares. Os referidos autores defendem que pode afetar desde um pequeno número de fibras até ao músculo inteiro, em caso de uma rutura de maior gravidade e que este dano muscular é caracterizado por uma diminuição da função temporária, aumento das proteínas intracelulares no sangue e aumento da dor/inchaço muscular.

Proske e Morgan (2001) referem que este dano muscular acontece devido à agressão do sistema de acoplamento excitação-contração e rutura ao nível dos sarcómeros. A agressão muscular depende do tipo de contração que o músculo sofre, ou seja, o exercício excêntrico provoca mais dano pois leva a uma queda na tensão ativa, mudança no comprimento ideal para a tensão ativa e um aumento na tensão passiva. Além do dano poder ser maior nas contrações excêntricas e proporcionar a uma maior fadiga, acredita-se que a fadiga originada por este tipo de contrações seja atingida apenas 48h depois do exercício (*op. cit.*).

Portanto, o jogo de futebol típico induz deficiências nos valores de força de contração e ativação voluntária, podendo estes valores demorar 48 h para voltarem à linha de base, enquanto a diminuição de força de contração voluntária

máxima pode demorar 72 h para ser recuperada (Brownstein et al., 2017). Os decréscimos na função contrátil mostram um tempo de recuperação semelhante e que provavelmente pode ser atribuído a distúrbios no acoplamento excitação-contracção como resultado do dano muscular ocorrido durante o jogo (*op. cit.*).

2.6. COMO SE COMPORTA A FADIGA NO FUTEBOL

Alguns artigos estudaram a fadiga neuromuscular no contexto da prática do futebol. Robineau et al. (2012) avaliaram o torque dos grupos musculares do *quadriceps* e isquiotibiais em associação à eletromiografia, velocidade de *sprint* e altura do salto vertical em momentos distintos (antes, no intervalo e imediatamente após o jogo). Com efeito, estes autores concluíram que a maioria das qualidades físicas diminuíram ao longo do jogo, sendo a sua redução mais acentuada no final do jogo (queda mais significativa nos *quadriceps*). Também observaram que a altura do *squat jump* e a *performance* do *sprint* diminuíram, sendo que esta segunda revelou estar associada essencialmente à redução na frequência de passada. Os autores (*op. cit.*) concluíram que ocorreu uma diminuição da atividade do músculo devido à fadiga neuromuscular acumulada durante o jogo, levando a reduções de *performance* em contrações isométricas, concêntricas e excêntricas. Neste sentido, recomenda-se que além de habilidades técnicas específicas da modalidade e da potência anaeróbia, os jogadores devem ter uma boa capacidade aeróbia para manter o esforço e não acumular tanta fadiga, ou pelo menos retardar o seu aparecimento, para não comprometer fases decisivas dos jogos.

Thomas et al. (2017) recorreram ao *countermovement jump* (CMJ), índice de força reativa e desempenho de *sprint* para avaliar o impacto da fadiga em jogadores de futebol, tendo procedido às respetivas avaliações 24h, 48h e 72h após um jogo de futebol. Os jogadores tiveram ainda de realizar uma contração isométrica do extensor do joelho. O jogo provocou decréscimos na contração máxima que permaneceram sem alterações significativas 72h após o jogo. Fadiga central era proeminente logo após o exercício (redução de 9% na ativação) e permaneceu deprimida em 48h. Para a medição após o exercício, a

fadiga neuromuscular central e periférica foi medida através do nervo motor e estimulação cortical motora. Os autores observaram que a força de contração dos quadricéps diminuiu 14 % após o jogo, permaneceu reduzida durante 24h e ao fim de 72h ainda não havia recuperação completa. Após esta análise, o estudo conclui que os processos centrais (redução da ativação voluntária) contribuem significativamente para a fadiga neuromuscular nos dias após o jogo e a recuperação mais lenta da fadiga periférica fazem-nos questionar relativamente ao tempo necessário para a recuperação. Quando se respeita o tempo necessário para que a fadiga neuromuscular seja superada, há uma melhoria da função muscular da *performance*.

Um outro estudo analisou atletas de alto nível imediatamente após o jogo, 24h e 48h após o jogo (Rampinini et al., 2011). Imediatamente após o término do momento competitivo, ocorreu uma redução evidente dos valores de força voluntária máxima (extensão do joelho: força isométrica a 90 graus), uma redução dos valores de *sprint* e também um aumento da dor muscular. Em jogadores profissionais de alto nível da primeira liga italiana, a fadiga induzida por uma partida de futebol ocorre em menor grau do que em atletas de nível inferior e parece ser recuperada de forma mais rápida. Mesmo assim, os atletas não voltaram a ter os valores basais até 48h após o jogo. Apenas ocorreu uma recuperação parcial dos parâmetros em estudo. A fadiga central parece ser a principal causa do declínio da força máxima e capacidade de corrida, enquanto a fadiga periférica parece estar relacionada com o aumento da dor muscular e poderá relacionar-se com os danos musculares e inflamação (*op. cit*).

Numa vertente mais bioquímica, Hagstrom e Shorter (2018) realizaram vários saltos para perceberem como a creatina quinase (CK) se manifesta. Esta foi usada para avaliar a fadiga, verificando-se que esta permanece no corpo bastantes horas após o esforço. Deste modo, os valores desta enzima tendem a aumentar após o esforço, a par com a redução da *performance* nos testes de saltos. Andersson et al. (2008) recorrem também à realização de um protocolo de avaliações, numa equipa de futebol feminina, sendo que foram realizados dois jogos num período de 4 dias, separados por 2 dias de recuperação ativa ou passiva (divisão da equipa em 2 grupos). Foi observada uma diminuição

significativa dos valores no desempenho do *sprint*, CMJ, pico de torque na extensão e flexão do joelho, e ainda um aumento de ureia, ácido úrico e dor muscular. A capacidade de *sprint* foi a primeira a retornar aos valores basais (5h), seguindo-se os valores de ureia e ácido úrico (21h), níveis de força na extensão isocinética do joelho (27h) e flexão (51h), CK e dor muscular (69h), enquanto a performance no CMJ estava ainda reduzida no início da segunda partida. Assim, a carga de treino e competição podem prejudicar o desempenho do jogador e a recuperação inadequada pode predispor alguns jogadores a lesões por sobrecarga. Deste modo, é inequívoca importância da recuperação completa para permitir que os jogadores tenham rendimento máximo e menor risco de lesão por sobrecarga. Estes autores referem ainda que a recuperação ativa melhora o processo de recuperação, acelerando o retorno à homeostase após um jogo de futebol. Isso envolve aumentar a taxa de remoção de lactato sanguíneo, reduzir a gravidade e a duração da lesão muscular induzida pelo exercício e a dor muscular retardada, a restauração dos níveis de energia no músculo esquelético e a normalização mais rápida dos parâmetros de desempenho, como por exemplo nos saltos, *sprints* e força muscular.

Reilly et al. (2008) relatam que uma das consequências da intensidade e especificidade do esforço decorrente da realização de um jogo de futebol é a diminuição da capacidade do músculo gerar força, devido ao aparecimento da fadiga. Este autor referiu que este défice é refletido na diminuição da taxa de trabalho na parte final do jogo. As reservas de glicogénio muscular podem reduzir consideravelmente até o fim do jogo, especialmente se não houver um cuidado na redução da carga de treino. Também é possível observar que a queda no desempenho físico pode estar associada à tensão termorreguladora e à redução da condução central do sistema nervoso. Este défice da força muscular pode aumentar a predisposição a lesões. Além disso, a fadiga central pode trazer implicações para o desempenho muscular. As estratégias típicas acessíveis à equipa técnica para gerir e compensar a fadiga incluem o uso de substituições, uma preparação nutricional adequada e o desenvolvimento da resistência para que o atleta seja capaz de otimizar o gasto de energia durante o jogo.

2.7. COMO SE COMPORTA A FADIGA NO RUGBY

Também no rugby foi possível encontrar alguma literatura pertinente acerca da temática aqui em estudo, onde a fadiga é avaliada após o esforço dos atletas. O esforço físico que envolve esta modalidade tem algumas semelhanças com o futebol, como seja a sua natureza intermitente, uso do ciclo alongamento-encurtamento (CAE), travagens, acelerações e mudanças de direção. Farthing e Chilibeck (2003) e Friden e Lieber (2001), que abordam mais especificamente o rugby, referem que as principais causas da fadiga neste desporto estão associadas às colisões e à alta frequência e intensidade de contrações excêntricas, visto que estas apresentam mais dano/agressão muscular, tal como já foi referido. Isto porque as pontes cruzadas são quebradas devido às altas forças de contração associadas ao alongamento muscular, levando a uma interrupção das proteínas contráteis e outras proteínas estruturais das células. Sendo o futebol uma modalidade muito idêntica ao rugby no ponto de vista das ações de alta intensidade e duelos físicos, podemos concluir que a causa da fadiga no futebol e outros desportos coletivos pode ser semelhante.

McLellan et al. (2011) demonstraram que houve decréscimos significativos na *rate of force development* (RFD) e potência máxima até 24 horas após o jogo, com a força máxima a diminuir significativamente imediatamente após o jogo. Os resultados revelaram que a função neuromuscular é comprometida até 48 horas após o jogo. Durante uma ação excêntrica, um músculo em contração é forçado a alongar enquanto produz tensão e vários estudos vêm demonstrar que a tensão gerada durante essa ação excêntrica é maior do que para qualquer uma das outras ações, embora menos unidades motoras sejam recrutadas (Friden & Lieber, 2001). Daqui se infere que a especificidade desta modalidade leva a danos musculares após treino e competição. Alterações no desempenho neuromuscular e relatórios de percepção de fadiga foram descritos até 48h e 4 dias após o jogo, respetivamente. Assim, a prontidão neuromuscular pode estar comprometida e levar à acumulação de fadiga ao longo da semana e, conseqüentemente, no dia de competição (Pointon & Duffield, 2012; Webb et al., 2013).

2.8. EMG E FADIGA

A eletromiografia (EMG) é outra solução para que seja possível perceber melhor a fadiga e como ela se comporta no contexto desportivo. Através dela, conseguimos estudar alguns parâmetros relacionados com a fadiga, tal como a frequência mediana. Basmajian e Deluca (1985) referem que as frequências mediana e média são as frequências preferidas para monitorizar a mudança de frequência: a frequência média representa o valor médio, tal como o nome indica; a frequência mediana é a frequência na qual o espectro de densidade de potência é dividido em duas regiões com igual potência. Os autores acima citados deduziram ainda que ambas as frequências diminuiriam em função do tempo durante uma contração sustentada (podem diminuir mais de 50 % do início ao fim de uma contração de força isométrica). Stulen e De Luca (1981) mostraram que esta frequência fornece uma estimativa confiável, consistente e relativamente imparcial de um parâmetro do espectro relacionado com a velocidade de condução da fibra.

Neste seguimento, Kranz et al. (1983) sugeriram que a mudança na velocidade de condução pode ser responsável por quase todo o deslocamento espectral visto no sinal e revela que todos os achados apresentados apontam para que as alterações elétricas sejam de origem intrínseca do músculo e são consistentes com a hipótese de que essas alterações refletem uma desaceleração na velocidade de condução do potencial de ação muscular. Mills (1982) e Merletti et al. (1984) referem que, após o término de uma contração sustentada, observou-se que as frequências mediana e média monitorizadas num músculo recuperaram (aumentam em direção ao valor inicial) num intervalo de 4-5 minutos.

Basmajian e Deluca (1985) referem ainda que a frequência mediana, assim como outras frequências características do espectro da densidade de potência, parecem fornecer uma representação apropriada de eventos bioquímicos no músculo. Ao que parece, quando a força permanece relativamente constante, a frequência mediana está continuamente a diminuir. Estes autores referem que, normalmente, a mudança espectral é mais dramática no início de uma contração sustentada, enquanto a amplitude do sinal EMG

mostra um aumento mais pronunciado no final da contração. Esse comportamento divergente dessas duas medidas parece indicar que elas podem ter origens distintas, não fosse o facto de que as taxas de disparo das unidades motoras diminuem, mesmo durante contrações de força constantes. Esta diminuição na taxa de disparo é mais pronunciada perto do início da contração, sendo que as taxas de disparo decrescentes diminuirão a amplitude do sinal EMG e, assim, compensarão o aumento induzido pela mudança de frequência (*op. cit.*).

Com base no estudo de Basmajian e DeLuca (1985), três explicações foram propostas para explicar o aumento na amplitude e a mudança de frequência do sinal durante uma contração isométrica sustentada de força constante: recrutamento de unidades motoras, sincronização de unidades motoras e mudança na velocidade de condução das fibras musculares. Tal como vimos, o aumento da amplitude pode estar relacionado com o recrutamento de unidades motoras adicionais, para que seja possível manter a produção de força constante. Este aumento tem sido usado como medida empírica da fadiga muscular localizada (amplitude como reflexo da mudança de frequência). Por outro lado, as componentes de frequência do sinal EMG podem variar durante as contrações de força variável, devido ao recrutamento de unidades motoras que têm formas de potencial de ação significativamente diferentes (*op. cit.*).

Uma aplicação interessante da mudança de frequência do sinal EMG foi na avaliação da fadiga do diafragma. Neste caso particular, a fadiga contrátil é “inconveniente” de medir e, além disso, fornece uma avaliação bastante tardia da capacidade funcional do diafragma. Outro exemplo desta análise pode ser observado durante uma sessão de fisioterapia, avaliando-se a resposta do(s) músculo(s) comprometido(s) ao tratamento medindo mudança de frequência. Se uma frequência obtida no músculo comprometido diminui, então o músculo está realmente sendo exercitado e está passando por um processo de fadiga. Assim, podemos concluir, com base no estudo acima, que a técnica de monitorização da mudança de frequência do sinal EMG com a finalidade de medir a fadiga muscular localizada apresenta várias vantagens para a testagem dos atletas:

- não é invasiva;

- pode ser realizada no músculo in situ;
- pode ser realizada em tempo real;
- fornece informações relativas a eventos que ocorrem dentro do músculo.

2.9. ANÁLISE DOS DADOS NAS AVALIAÇÕES FÍSICAS

Para que seja possível avaliar a condição física dos atletas e, neste caso, a força máxima, parece ser relevante analisar alguns parâmetros que serão usados no presente estudo. A partir do estudo da curva força-tempo, é possível avaliar alguns desses parâmetros que permitirão perceber até que ponto um jogador poderá estar fatigado.

Apesar da escassa literatura, podemos referir que a *fast Fourier transform* (FFT) é uma ferramenta que permite analisar a curva através da potência do sinal gerado e inferir se o atleta se encontra num bom estado físico ou se, pelo contrário, se encontra fatigado. Permite a análise de sinais, como a análise do espectro da potência e simulação de filtros por meio de computadores digitais. É um método usado para calcular eficientemente a *discrete Fourier transform* (DFT) de uma amostra de dados. Usa a curva força-tempo, com aplicação no vetor força (obtenção de valores de força) e é usada para descrever a relação entre o domínio tempo e a representação do domínio da frequência de sinais discretos, ou seja, passa os dados do domínio do tempo para o domínio da frequência (Cochran et al., 1967; Nussbaumer, 1981). A partir desse tratamento da curva força-tempo, é possível estudar o valor médio FFT e a frequência mediana, tal como foi descrito no ponto anterior, e perceber até que ponto esta variável está relacionada com a fadiga e perceber se os valores diminuem quando o atleta se encontra mais fatigado

O pico de força, tal como o nome indica, refere-se ao valor máximo atingido pelo atleta na realização de uma avaliação voluntária máxima. Associado a esta medida, poderá ser também interessante perceber qual o momento em que atleta atingiu esse pico de força e quanto tempo demorou a atingi-lo, para ser possível realizar uma análise ao longo dos dias e comparar dados.

Uma outra variável a ter em conta é a RFD, que está muito associada à força explosiva. Segundo os estudos de Aagaard et al. (2002) e Maffiuletti et al. (2016), a força explosiva é a capacidade de produzir força o mais rapidamente possível durante uma contração voluntária rápida. A RFD, que é derivada da curva de força-tempo ou torque-tempo registadas durante contrações voluntárias explosivas, é cada vez mais usada para caracterizar a força de atletas. Isso deve-se principalmente ao facto de que, em comparação com a força de contração voluntária máxima pura (CVM), a RFD parece estar melhor relacionada com a maioria dos desempenhos de tarefas diárias específicas e funcionais do desporto. O seu ponto mais negativo é que varia bastante consoante exercício, músculo e até mesmo de repetição para repetição, mas é mais sensível para detetar alterações agudas e crónicas na função neuromuscular e é potencialmente governada por diferentes mecanismos fisiológicos.

Várias linhas de evidência sugerem que o exercício envolvendo contrações musculares do tipo explosiva (ou seja, ações musculares realizadas com RFD intencional máxima) é o tipo de ação mais eficiente, independentemente da carga de treino utilizada, para induzir ganhos máximos na RFD e ativação muscular no início da contração. Os estudos presentes acima referem ainda que a capacidade de quantificar e interpretar adequadamente a RFD obtido durante as contrações isométricas voluntárias é de extrema importância, não apenas para pesquisadores da área de fisiologia humana e do exercício, mas também para profissionais das áreas de treino físico e reabilitação. A rápida ativação muscular - provavelmente através do papel crítico da taxa de descarga da Unidade Motora (UM) - pode ser considerada o principal determinante da RFD na fase inicial da contração (primeiros 50-75 ms). Haff et al. (2015) defendem que, para maximizar a confiabilidade nos testes que avaliem a RFD, a curva força-tempo das contrações isométricas máximas deve ser analisada nos seguintes intervalos de tempo: 0-30, 0-50, 0-90, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250 ms. De facto, essas medidas parecem oferecer uma maior confiabilidade para este tipo de estudos.

Zatsiorsky e Kraemer (2006) vêm corroborar novamente a importância da força explosiva no mundo desportivo, afirmando que a RFD é tão ou mais importante que a força máxima, devido aos movimentos exigidos na maioria dos desportos, pois o importante é desenvolver um atleta capaz de mover o corpo/carga a velocidades elevadas. A RFD é o termo usado para descrever a capacidade de desenvolver força muscular rapidamente, e pode ser medida através da inclinação da curva força tempo obtida durante contrações isométricas (Andersen & Aagaard, 2006). Deste modo, quando o desempenho desportivo melhora, o tempo de movimento acaba por ser mais curto e, quanto melhor as classificações de um atleta, maior será o papel da RFD na obtenção de um desempenho de alto nível. Como vimos anteriormente, a força explosiva é a habilidade para recrutar a maior quantidade de força num curto espaço de tempo, sendo que são usados vários índices para estimar a força explosiva e a RFD:

O coeficiente de reatividade (RC) recorre ao máximo valor da força (pico de força) e ao peso, uma vez que se relaciona com a capacidade de transportar o corpo. Tipicamente está relacionado com o desempenho nos saltos, especialmente com a velocidade do corpo após o takeoff (primeira fase de um salto quando o atleta se prepara para sair do solo):

$$RC = F_m / (T_m W),$$

onde FM representa o pico de força, Tm o tempo até atingir pico e o W representa o peso atleta;

O gradiente S, também chamado de gradiente de força, caracteriza-se pela RFD na fase inicial do esforço muscular, ou seja, é estudado no início da curva força-tempo:

$$\text{Gradiente } S = F_{0.5} / T_{0.5},$$

sendo que F0.5 representa metade da força máxima (Fmax) e o T0.5 representa o tempo até atingi-lo;

Por fim, o gradiente A está relacionado com a aceleração e é usado para quantificar a RFD nos estágios finais de esforços musculares explosivos, ou seja, na segunda parte da curva força-tempo:

$$\text{Gradiente A} = F_{0.5} / (T_{\text{max}} - T_{0.5})$$

onde T_{max} representa o tempo até atingir a F_{max} , F representa metade da F_{max} e $T_{0.5}$ o tempo até atingi-lo.

Torna-se ainda importante ter em conta alguns aspetos tais como: (1) F_{max} e o gradiente S não estão correlacionados, ou seja, pessoas fortes não possuem necessariamente RFD elevada; (2) a análise é toda feita na primeira metade do gráfico força-tempo; (3) gradiente A é suposto ser maior do que o gradiente S devido ao declive da curva mais acentuado no primeiro.

2.10. CARGA INTERNA: ESCALAS SUBJETIVAS DE ESFORÇO

A avaliação da carga interna parece ser também uma boa estratégia para analisar a fadiga, a par com a análise do desempenho físico. Esta carga interna representa as respostas do atleta ao treino/jogo, tanto fisiológicas como psicológicas. Normalmente, é avaliada através da frequência cardíaca, lactato sanguíneo, consumo de oxigénio e classificações de esforço percebido (RPE) (Bourdon et al., 2017). Borg (1990) e Hooper et al. (1995) começaram a usar escalas de esforço percebido para avaliarem a carga interna de atletas: “Percepção Subjetiva do Esforço” (PSE) e Hooper Index (HI). Vieira (2020) criou uma adaptação destas escalas para o seu estudo, uma vez que as escalas de PSE e HI permitem facilmente aceder a informações relevantes acerca das cargas e do bem-estar dos jogadores, podendo auxiliar no controlo e planeamento das cargas de treino. Este estudo demonstrou ainda que a percepção do estado geral (HI), que engloba fadiga, dor muscular, etc. aumenta substancialmente um dia depois da carga de treino e que vai progressivamente diminuindo ao longo dos dias seguintes. No dia imediatamente a seguir à sessão em análise, observaram-se valores superiores a 50% de correlação, o que é bastante significativo. Estas avaliações através das escalas subjetivas de

esforço e estado físico permitem não só perceber o estado e recuperação do atleta, como também verificar se os relatos do mesmo acompanham os valores obtidos nos testes físicos. Tão importante quanto aplicar uma metodologia de treino que se aproxime das exigências físicas da competição, é monitorizar as respostas fisiológicas e psicológicas (Halsen, 2014).

Já no âmbito futebolístico, após o término do jogo, o atleta inicia o processo de recuperação, começando a restabelecer as capacidades físicas. Como já foi visto, a literatura defende que este é um processo mais demorado do que o esperado e, além disso, os atletas relatam que o seu estado físico fica alterado durante uns dias após o momento competitivo. Olhemos para o estudo de Fullagar et al. (2017), que avalia o tempo em que a recuperação percetual é afetada, com base nos valores referidos pelos atletas. Os dados vieram confirmar que o bem-estar percetivo demora mais de 4 dias para voltar aos níveis de pré jogo. Assim, parece que o estado percetual de fadiga pode coincidir com o real estado físico dos atletas, tornando-se pertinente inferir se esses dados coincidem ou, pelo contrário, não coincidem. Voltando novamente ao estudo de Thomas et al. (2017), a percepção de fadiga e dor muscular passiva foram afetados num jogo de futebol. Estes valores atingiram o pico imediatamente após o exercício e permaneceram alterados até 48h após o jogo, voltando apenas aos valores basais por volta das 72h.

3. PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1. PROBLEMA

Será que a FFT permite identificar sujeitos em estado de fadiga?

3.2. OBJETIVOS

Deste modo, o objetivo deste estudo passa por perceber de que forma a recuperação ocorre após um jogo de futebol, através da análise dos vários parâmetros que se relacionam com força. Além disso, pretende-se também deduzir se o uso da frequência mediana permite estudar o estado do atleta. Esta técnica poderá ser vista como algo inovador e uma alternativa para a avaliação EMG no estudo da fadiga neuromuscular, numa vertente mais prática. Paralelamente a esta avaliação prática, iremos ainda analisar o estado subjetivo do atleta através das escalas de esforço e estado físico, com o objetivo de analisar a carga interna e comparar com a performance nos testes físicos.

3.3. HIPÓTESES

Para a realização deste estudo exploratório, foi necessário desenvolver algumas hipóteses, conforme apresentadas abaixo:

- O momento competitivo é indutor de fadiga e os atletas não recuperam os valores basais ao fim de 48h após a atividade;
- Existe um decréscimo do valor da frequência mediana logo após o jogo, sendo que após 48h ainda não é possível restabelecer o valor inicial;
- As escalas subjetivas de esforço e estado físico permitem estudar, de forma fidedigna, o estado do atleta, após um jogo de futebol.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Para o desenvolvimento deste estudo, foram recrutados 33 jogadores de um clube que participa no campeonato distrital de Aveiro, onde recorreu-se ao plantel dos juniores e ao plantel dos seniores para a recolha dos dados, mais concretamente 15 seniores e 18 juniores. No entanto, a amostra ficou reduzida a 22 jogadores devido a faltas aos treino, lesões e estado de saúde (doença ou covid-19). Os 22 jogadores realmente utilizados para o estudo tinham idades compreendidas entre os 17 e 25 (19.18 ± 2.89), sendo eles todos do sexo masculino. A média (M) do peso era de 69.27 ± 6.05 kg a altura média de 176.05 ± 6.68 cm. Além disso, 4 atletas realizaram o teste com o membro esquerdo e 18 com o membro direito; 7 atletas fizeram parte do grupo de controlo (GC) e 15 do grupo experimental (GE). Na tabela abaixo apresenta-se uma breve descrição de todos os jogadores participantes neste estudo e a divisão realizada em GE e GC, com base no tempo de jogo realizado antes das avaliações.

Quadro 1 - Caracterização dos atletas que foram avaliados no presente estudo.

Atleta ID	Grupo	Idade	Escalão	Peso	Altura	Pé Dominante	Tempo Jogo
1	Experimental	17	júnior	79	185	direito	84 min
2	Experimental	18	júnior	67	171	esquerdo	84 min
3	Experimental	18	júnior	66	170	direito	65 min
4	Experimental	17	júnior	67	181	direito	84 min
5	Experimental	17	júnior	73	180	direito	90 min
6	Experimental	17	júnior	66	178	esquerdo	65 min
7	Experimental	18	júnior	67	176	direito	90 min
8	Experimental	18	júnior	69	178	direito	25 min
9	Experimental	17	júnior	62	171	direito	84 min
10	Experimental	17	júnior	63	171	esquerdo	90 min
11	Experimental	17	júnior	76	190	direito	90 min
12	Experimental	23	sénior	73	172	direito	80 min
13	Experimental	19	sénior	62	165	direito	90 min
14	Experimental	25	sénior	71	170	direito	60 min
15	Experimental	24	sénior	68	177	direito	90 min
16	Controlo	24	sénior	64	171	direito	0 min
17	Controlo	23	sénior	71	179	esquerdo	0 min
18	Controlo	17	júnior	86	177	direito	0 min
19	Controlo	18	júnior	64	165	Direito	6 min
20	Controlo	18	júnior	63	177	Direito	6 min
21	Controlo	17	júnior	74	181	Direito	90 min
22	Controlo	23	sénior	73	188	Direito	90 min

Importa ainda dizer que, para o GC, foram seleccionados os jogadores que não foram utilizados, os que jogaram menos de 10 minutos e os guarda-redes. Através da leitura de vários artigos que comparam fadiga com base na posição ocupada dentro de campo, conseguimos constatar que, na sua grande maioria, os guarda-redes não entram para o estudo. Isto faz levantar uma grande questão acerca do esforço destes jogadores já que, com base na nossa experiência futebolística, verificamos que não apresentam a mesma magnitude de fadiga após o jogo, devido essencialmente a estarem privados de muitas ações potenciadores da fadiga, como corrida a alta intensidade, acelerações e desacelerações, mudanças de direção intensas e constantes. A partir disso, deduzimos que o esforço dos mesmos é bastante diferente dos restantes jogadores, sendo por isso incluídos no GC.

4.2. DESENHO EXPERIMENTAL

Este estudo experimental foi desenhado utilizando dois instrumentos, sendo que um permitiu avaliar a capacidade do indivíduo produzir força através da uma contração isométrica máxima e outra esteve relacionada com a percepção do estado do atleta, através do uso de escalas a esse fim destinadas. As avaliações foram realizadas a meio da época, sendo que tive a autorização do clube (direção e treinadores) e dos jogadores testados, sendo-lhes explicado o objetivo da avaliação, procedimentos e riscos a ela associada.

4.2.1. MATERIAL UTILIZADO

Foi utilizada uma *leg extension* (fig. 1) instrumentada com célula de carga extensométrica, sendo que a resistência estava bloqueada, permitindo retirar dados pertinentes para o estudo. Em baixo encontra-se o instrumento que foi utilizado no presente estudo:



Figura 1 - *Acelleration leg curl/extension*.

Recorreu-se a uma balança digital e uma fita métrica para proceder à recolha dos dados relativos à altura e massa dos jogadores. Além disso, foi usado um ângulo de 60°, medido através de um goniómetro, via *Iphone*. Assim, o instrumento foi ajustado para cada atleta, de modo a garantir o ângulo pretendido para este estudo, aquando das avaliações (anexos). Na tabela abaixo, encontram-se alguns estudos que explicam o motivo da escolha do ângulo no presente estudo.

Quadro 2 - Uso do ângulo de 60° para avaliações em terreno.

Autor	Estudo
Pincivero et al. (2003)	Examinaram a EMG superficial do <i>quadriceps</i> durante uma contração isométrica máxima, sendo que os indivíduos foram solicitados para contrair o <i>quadriceps</i> ao máximo e manter a contração por 5 segundos, num ângulo de 60°.
Thorstensson et al. (1976)	Realizaram comparações através a força isométrica máxima, com ângulos do joelho de 90 75 60 45 30 e 15 graus, sendo que 60 graus parece ser o ângulo de geração de força isométrica máxima.
Ando et al. (2016)	Analisaram as mudanças do comprimento e penetração do fascículo do vasto intermédio e vasto lateral numa contração isométrica, onde ocorreu uma extensão do joelho isométrica submáxima a 60 e 110 graus, sendo que estes ângulos correspondem aproximadamente ao comprimento ideal do vasto lateral e intermédio, respetivamente. Testes isométricos máximos ocorreram também neste teste com o intuito de avaliar se ocorreu fadiga muscular com o protocolo utilizado.
Kong e Burns (2010)	Compararam a relação isométrica e isocinética dos isquiotibiais para <i>quadriceps</i> entre perna dominante e não dominante, entre homens e mulheres. Aqui, a força foi avaliada através da realização de contrações isométricas máximas em 6 ângulos (40 50 60 70 80 e 90 graus), estando aqui novamente presente o 60 como um valor intermédio. As avaliações tiveram uma duração aproximada de 5 segundos de extensão isométrica máxima do joelho. Justificaram a escolha do ângulo ou intervalo de ângulos, como sendo uma escolha segura e confortável. Os autores usaram 60 segundos de recuperação entre as tentativas para minimizar o impacto da fadiga.

Nos momentos de avaliação, foram também aplicadas duas ferramentas de autoanálise da carga interna, com escalas subjetivas: PSE e HI, respetivamente. O HI baseia-se na soma dos valores do questionário Hooper com quatro categorias de análise que estão relacionadas com o stress, fadiga, dor muscular tardia e qualidade do sono. É analisado o nível de stress (Q1), qualidade do sono da última noite (Q2), quantidade de fadiga (Q3), nível de dor muscular (Q4). A escala varia de 1 a 7, sendo que o 1 corresponde a “muito, muito baixo” e 7 a “muito, muito elevado”. Para a qualidade do sono a escala também varia de 1 a 7, porém com outras denominações, de “muito, muito boa” a “muito, muito má”.

ESTADO ATUAL						
Q1. NÍVEL DE STRESS						
1	2	3	4	5	6	7
Muito, muito baixa	Muito baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito elevada	Muito, muito elevada
Q2. QUALIDADE DO SONO NA ÚLTIMA NOITE						
1	2	3	4	5	6	7
Muito, muito boa	Muito boa	Boa	Média	Ruim	Muito ruim	Muito, muito ruim
Q3. NÍVEL DE FADIGA						
1	2	3	4	5	6	7
Muito, muito baixa	Muito baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito elevada	Muito, muito elevada
Q4. DOR MUSCULAR						
1	2	3	4	5	6	7
Muito, muito baixa	Muito baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito elevada	Muito, muito elevada

Figura 2 - Questionário Hooper Index adaptado (Vieira, 2020).

A Percepção Subjetiva de Esforço é utilizada com base na escala CR-10 de Borg (1990), onde 0 indica “repouso” e 10 indica “exaustão”. O jogador indica diretamente ao investigador, podendo consultar à tabela impressa, o nível de esforço que acompanha o atleta no dia de jogo, após o momento competitivo.

PERCEÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO	
0	REPOUSO
1	EXTREMAMENTE LEVE
2	MUITO LEVE
3	LEVE
4	MODERADO A LEVE
5	MODERADO
6	POUCO INTENSO
7	INTENSO
8	MUITO INTENSO
9	EXTREMAMENTE INTENSO
10	EXAUSTÃO

Figura 3 - Percepção subjetiva de esforço adaptada de Borg (Vieira, 2020).

4.3. PROCEDIMENTO DA RECOLHA DE DADOS

4.3.1. FAMILIARIZAÇÃO

Os atletas tiveram uma fase de familiarização ao instrumento, que teve lugar dois dias antes de iniciarem as avaliações, onde experimentaram a máquina, perceberam em que consistia o teste e retiraram todas as dúvidas relativamente aos procedimentos práticos, dados a obter e objetivo do estudo. Este momento foi acompanhado da obtenção dos valores físicos dos atletas: nome, data de nascimento, altura, peso e nacionalidade.

4.3.2. DESENHO EXPERIMENTAL

Todos os jogadores realizaram um breve aquecimento antes das avaliações, de forma a evitarem possíveis lesões e de modo a garantirem uma boa fiabilidade dos resultados, uma vez que se pretendia a melhor condição possível em cada momento de avaliação. Após o aquecimento, realizaram um teste físico de forma rápida e simples, onde foi avaliada a força dos membros inferiores, através da contração isométrica voluntária máxima, mais concretamente do *quadriceps femoral*. Para a recolha dos dados, recorreu-se a uma *leg extension* que estava a operar a uma frequência de 200 amostras por segundo.

Cada jogador realizou 2 repetições com a perna dominante (perna de remate), sendo que posteriormente apenas a melhor tentativa foi considerada na análise dos dados. O intervalo de recuperação entre cada contração foi de 3 minutos, para que o atleta fosse capaz de realizar uma nova avaliação, nas suas melhores condições físicas, tendo sido instruído para aplicar a máxima força, o mais rapidamente possível. Cada avaliação teve uma duração de aproximadamente 6/7 segundos. Além disso, os atletas relataram o seu estado subjetivo de esforço e estado físico imediatamente antes dos testes, sendo que este processo acompanhou todos os momentos de avaliação prática.

Para o desenvolvimento deste estudo, usámos 3 momentos de avaliação, para que fosse possível perceber o estado pré e pós-jogo de cada atleta: antes do jogo, imediatamente após o jogo e 48h após o jogo. Deste modo, a equipa sénior foi avaliada numa quarta-feira, dia esse onde foi realizado um jogo em atraso do campeonato, pois normalmente esta competição aos domingos. Estes foram testados antes da competição, depois da competição, 24 e 48h após o jogo. Os juniores foram avaliados da mesma forma, mas num sábado à tarde, não tendo sido proceder à sua avaliação 24 horas após o jogo por razões técnicas, decorrente das dinâmicas próprias da equipa. Isto levou a que o terceiro momento dos seniores (24h) fosse retirado do estudo, para que fosse possível ter as mesmas avaliações em ambos os escalões e assim proceder à correta análise dos atletas.

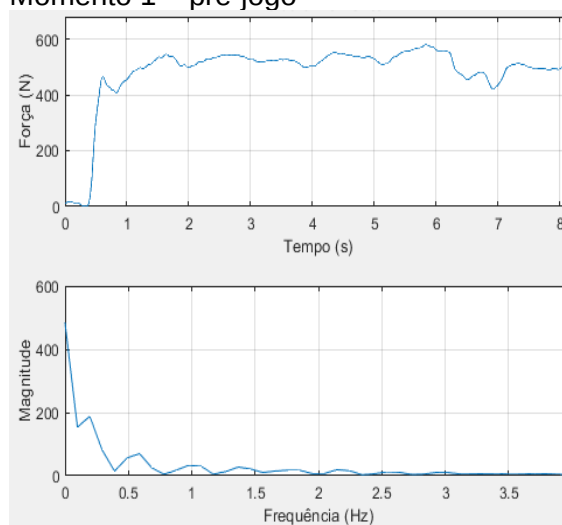
Realço que foram evitados todos os mecanismos de recuperação externos para não condicionarem os resultados. Os jogadores que não foram utilizados e que, portanto, não tiveram minutos de jogo, foram inseridos no GC para que fosse possível fazer a comparação com o GE, que foi, portanto, o grupo que jogou. Foram certificadas as melhores condições do espaço para garantir o bem-estar dos atletas, para que se sentissem confortáveis para a realização dos testes. Deste modo, estes foram realizados nas instalações do clube, onde se reuniram as ferramentas e equipamentos necessários para os testes, bicicletas estáticas para o aquecimento e, claro, os aparelhos para a testagem dos jogadores. Cabe aqui notar que o jogo dos juniores foi realizado em relva sintética e o dos seniores em relva natural, o que é uma limitação do estudo.

4.4. TRATAMENTO DOS DADOS

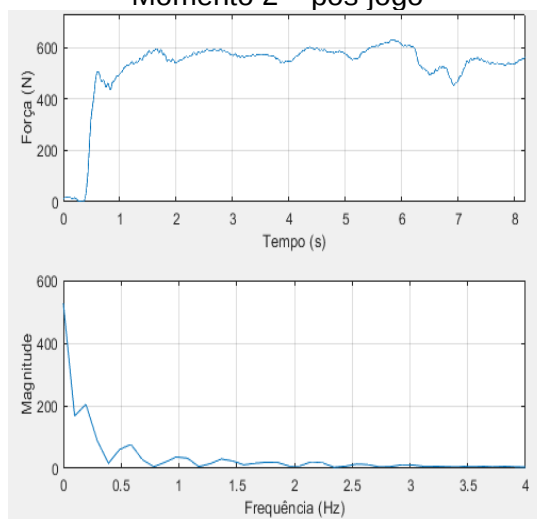
Relativamente ao tratamento dos dados provenientes *da leg extension* e das escalas, este estudo avaliou, numa primeira instância, a força isométrica máxima (o equipamento permitiu obter a curva força-tempo) e obtiveram-se os valores do estado de fadiga percebida. Numa segunda fase, os dados foram tratados através de uma rotina desenvolvida em ambiente Matlab (2020a). Por fim, recorreu-se ao *software* estatístico SPSS (versão 26) para a análise estatística.

Para a realização do tratamento dos dados, recorreremos a uma rotina desenvolvida em ambiente Matlab. Foram extraídos dos ficheiros .csv os valores de força e de tempo posteriormente guardados em duas matrizes. Do gráfico da força em função do tempo foi extraído o pico de força máximo, detetado o tempo de subida (até ao pico absoluto) e posteriormente foi feita a análise de sinal utilizando a FFT. Este valor de FFT foi o critério de seleção para que fosse possível escolher a melhor repetição de cada atleta. Neste mesmo programa, foi possível obter alguns gráficos tais como os presentes abaixo, que dizem respeito ao atleta nº 2:

Momento 1 – pré-jogo



Momento 2 – pós-jogo



Momento 3 – 48h após o jogo

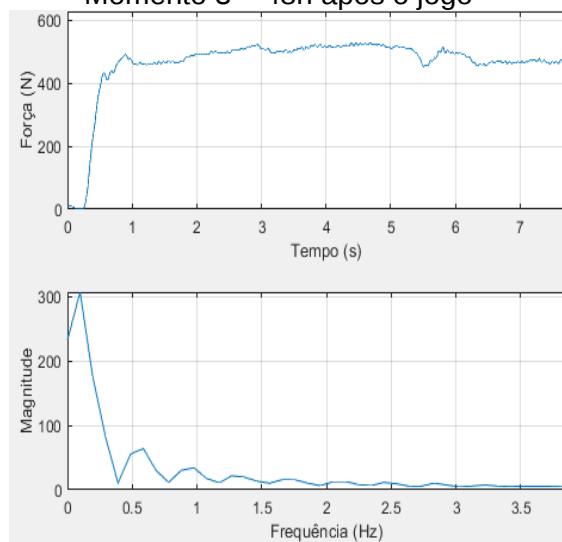


Figura 4 - Curva força-tempo e magnitude-frequência nos 3 momentos de avaliação.

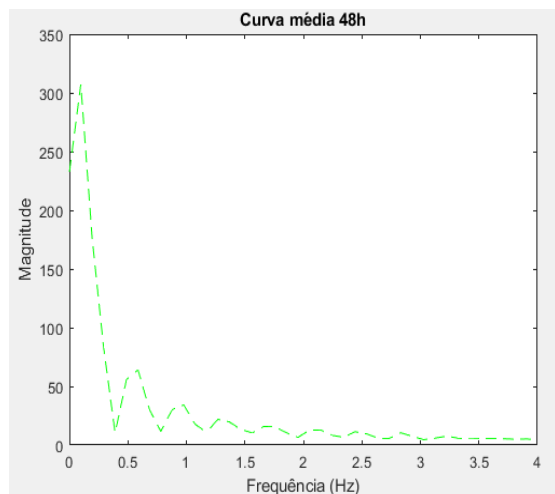
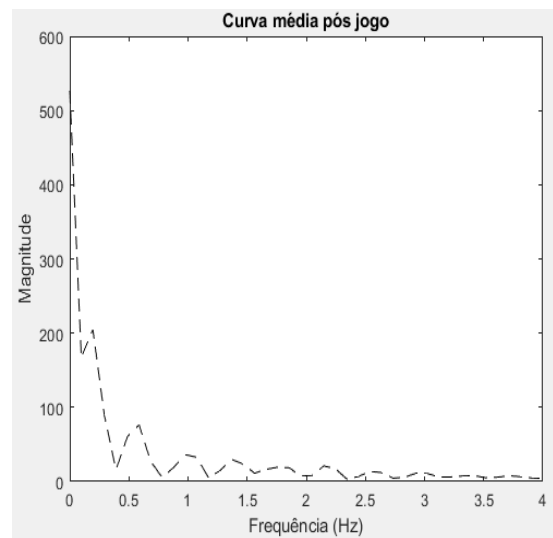
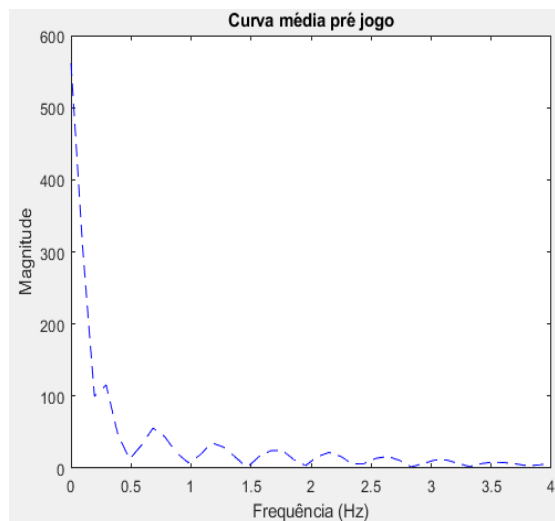


Figura 5 - Curva média magnitude-frequência, nos 3 momentos de avaliação.

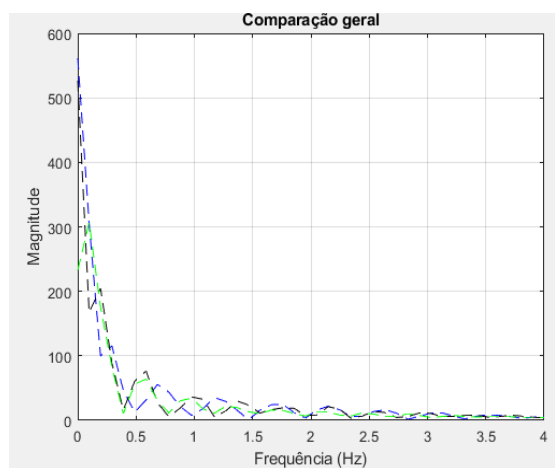


Figura 6 - Comparação geral dos 3 momentos de avaliação.

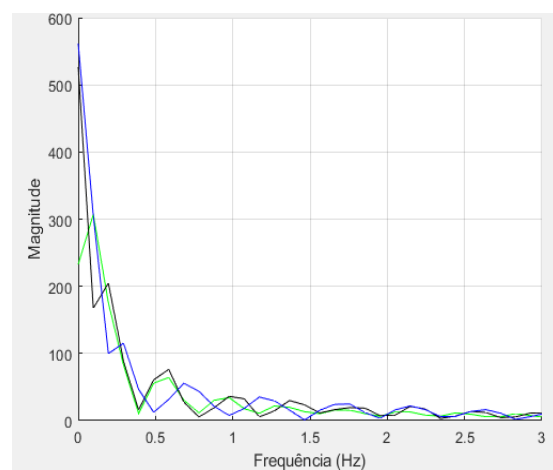
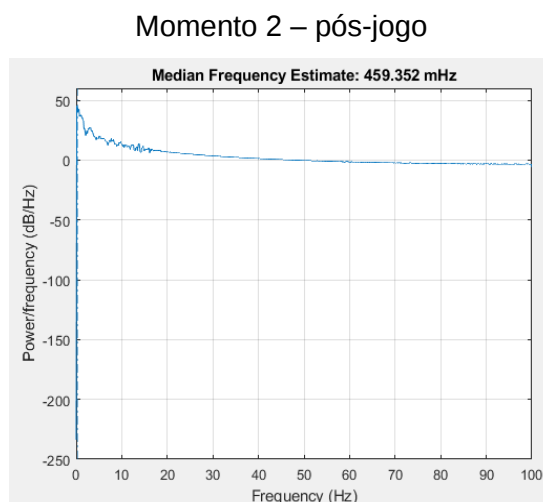
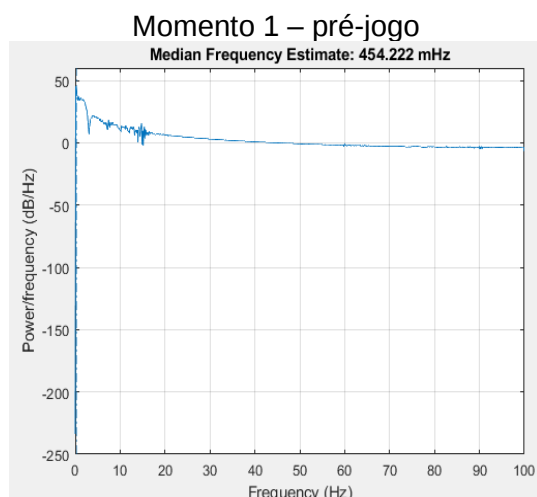


Figura 7 - Valores FFT dos 3 momentos de avaliação.



Momento 3 – 48h após o jogo

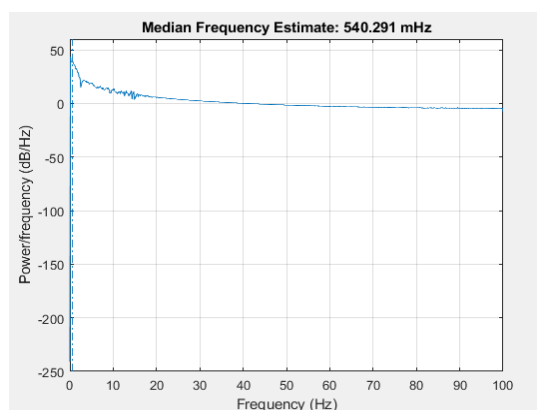


Figura 8 - Valores referentes à frequência mediana, nos 3 momentos de avaliação.

A partir dos gráficos acima, foi possível estudar alguns parâmetros da força, que influenciam a performance e a fadiga, tais como a RFD (N.M.S-1), pico (N), tempo de pico (s), tempo de subida (s), gradientes, RC (N/Kg.s) e o valor da frequência mediana (Hz).

Para a análise estatística, recorreu-se então ao *software* SPSS. Inicialmente, por meio da estatística descritiva, foi obtida as médias e desvios padrão da idade, peso e altura dos atletas para fazer uma breve apresentação da nossa amostra. Depois, foram feitos testes mais específicos, através deste *software*, para que fosse possível comparar os grupos e os momentos de avaliação, quer para os parâmetros relacionados com a força, quer para as escalas subjetivas do estado físico. A baixo está uma explicação sobre o que foi feito neste âmbito:

Apesar de ser um grupo pequeno (<30), fomos verificar a normalidade da amostra, a partir da análise do valor de significância, no Kolmogorov-Smirnov. Esta análise permitiu perceber quais os melhores testes a usar (paramétricos ou não paramétricos). No teste de normalidade, se o $p < 0.05$, a curva não é normal; se o $p > 0.05$, a curva é normal. Sendo normal, usa-se testes paramétricos. Se, por outro lado, a curva não é normal, usa-se testes não paramétricos. Foi usado um nível de significância (p) de 5 %, ou seja, se $p < 0.05$ = há diferenças estatisticamente significativas; se $p > 0.05$ = não há diferenças estatisticamente significativas.

Relativamente aos parâmetros estudados através da *leg extension*, numa primeira instância foi criada uma tabela com os valores descritivos: Média (M), desvio padrão (SD) e mediana (Mdn). Posteriormente, fomos verificar se havia diferenças entre o GP e GE, em cada momento de avaliação, onde foi usado o teste t de medidas independentes ou o teste Mann-Whitney, sendo o primeiro paramétrico e o segundo não paramétrico. Já a comparação de cada grupo ao longo dos 3 momentos foi realizada através da análise do teste de medidas repetidas (paramétrico) ou Friedman (não paramétrico). Para o teste de medidas repetidas, usamos o ajustamento de Bonferroni, analisando também a esfericidade.

Para o estudo das escalas, numa primeira fase, apresentámos os valores percentuais das respostas referentes ao estado do atleta, em cada momento das avaliações, através da estatística descritiva. Seguidamente, são apresentadas a moda e mediana de cada grupo, em cada momento, para cada uma das categorias abordadas. Por fim, tal como no estudo dos parâmetros associados à força, são comparados os grupos através do teste Mann-Whitney e a diferença entre cada momento, através do teste Friedman. A escolha dos testes não paramétricos deve-se ao facto de, nas escalas, estarmos a lidar com valores ordinais, que variam entre 1 e 7 (e de 0 a 10, no caso da RPE).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, iremos apresentar os resultados que foram obtidos no presente estudo. Inicialmente, as primeiras tabelas relatam os valores referentes aos parâmetros da força, através da realização da contração isométrica máxima, na *leg extension*. Posteriormente, estão apresentadas as tabelas associadas às respostas dos atletas, acerca da sua percepção do estado físico.

Assim sendo, o quadro 3 mostra os resultados globais relativos aos 3 momentos de avaliação, para o GE e GC. Esta tabela apresenta todos os parâmetros descritivos em estudo, relacionados com a força. No quadro 4, apresentamos os valores de significância (p), quando se comparou o GE com o GC. Além disso, é referido o teste estatístico que foi utilizado, com base na normalidade da amostra. Para finalizar esta primeira etapa, apresentamos, no quadro 5, a comparação entre os 3 momentos de avaliação, quer para o GE, quer para o GC.

No que diz respeito às escalas do estado físico, o quadro 7 mostra os valores percentuais das respostas referentes ao estado do atleta, em cada momento das avaliações. O quadro 8 apresenta os valores percentuais das respostas referentes à RPE, respondidos imediatamente após o jogo (momento 2). Por fim, a tabela 9 refere os valores da moda e da mediana referentes ao estado dos atletas, em cada momento das avaliações. Relativamente ao estudo das diferenças, o quadro 10 compara o GC com o GE e a quadro 11 faz uma comparação dos 3 momentos de avaliação, para cada grupo.

5.1. PARÂMETROS DA FORÇA EM ESTUDO

Quadro 3 -Valores descritivos referentes aos vários parâmetros em estudo, em cada momento das avaliações.

	Momento 1				Momento 2				Momento 3			
	G. Experimental		G. Controlo		G. Experimental		G. Controlo		G. Experimental		G. Controlo	
	Média ± DP	Mediana	Média ± DP	Mediana	Média ± DP	Mediana	Média ± DP	Mediana	Média ± DP	Mediana	Média ± DP	Mediana
RFD 30	247.0 ± 243.4	170.0	94.4 ± 71.3	68.7	280.8 ± 300.4	189.7	152.8 ± 159.7	75.2	229.6 ± 355.6	127.5	196.7 ± 269.6	78.5
RFD 50	388.9 ± 441.2	257.0	172.9 ± 165.4	141.3	443.9 ± 502.2	243.3	138.5 ± 103.5	92.2	329.6 ± 491.6	192.3	272.4 ± 393.6	102.0
RFD 90	693.5 ± 660.5	506.9	478.4 ± 500.0	408.8	788.9 ± 688.1	634.4	222.4 ± 154.1	219.1	601.0 ± 534.2	348.8	381.0 ± 462.0	228.9
RFD 100	794.7 ± 721.3	512.1	591.1 ± 625.8	480.7	895.6 ± 756.9	777.9	264.2 ± 190.1	227.6	699.0 ± 584.8	437.5	422.3 ± 483.5	232.5
RFD 150	1165.0 ± 737.0	1231.5	924.8 ± 941.7	715.5	1186.8 ± 519.8	1085.6	486.3 ± 427.0	409.4	1070.0 ± 788.1	981.0	596.7 ± 475.8	446.0
RFD 200	1243.6 ± 673.5	1320.9	1045.3 ± 835.3	866.2	1107.0 ± 653.7	1046.7	644.3 ± 541.7	496.4	1097.2 ± 641.0	1234.6	764.3 ± 395.0	688.2
RFD 250	1170.4 ± 617.8	1238.0	958.7 ± 688.9	945.3	1062.4 ± 537.5	953.9	807.6 ± 558.6	646.7	1136.0 ± 558.2	1103.0	740.8 ± 375.9	762.4
Pico (N)	514.6 ± 168.4	488.6	534.1 ± 226.6	557.4	490.0 ± 120.7	489.8	432.0 ± 179.7	361.8	544.8 ± 118.0	524.1	496.8 ± 204.3	481.8
Tempo Pico	3.9 ± 2.4	3.0	3.8 ± 1.6	4.1	4.1 ± 2.4	4.7	4.6 ± 1.8	4.5	4.2 ± 1.8	4.7	5.2 ± 1.4	5.8
Tempo Subida	3.8 ± 2.4	2.8	3.7 ± 1.6	3.9	3.9 ± 2.3	4.2	4.4 ± 1.7	4.2	3.9 ± 1.8	4.5	4.8 ± 1.3	5.4
RC	12.2 ± 9.3	11.2	10.1 ± 4.5	11.6	12.8 ± 9.1	9.7	5.5 ± 3.5	6.3	8.9 ± 5.5	8.9	7.1 ± 5.4	6.5
Gradiente S	575.7 ± 472.2	459.7	485.0 ± 252.5	461.3	685.1 ± 560.1	490.3	306.5 ± 132.9	293.0	431.9 ± 455.1	330.6	404.0 ± 486.7	269.5
Gradiente A	2846.4 ± 1697.1	3086.0	2505.9 ± 1952.0	2050.0	2278.1 ± 2011.6	1673.5	1264.0 ± 1226.0	1244.8	2317.7 ± 1453.8	1856.3	1340.7 ± 706.0	1263.3
Freq. mediana	0.4 ± 0.1	0.5	0.4 ± 0.1	0.4	0.5 ± 0.2	0.5	0.4 ± 0.2	0.4	0.4 ± 0.1	0.4	0.3 ± 0.1	0.3

Quadro 4 - Comparação entre o grupo de controlo e experimental, nos 3 momentos de avaliação.

	Momento 1		Momento 2		Momento 3	
	Teste usado	Sig	Teste usado	Sig	Teste usado	Sig
RFD 30	Med. Ind.	0.032 *	Mann-Whitney	0.210	Mann-Whitney	0.267
RFD 50	Med. Ind.	0.066	Mann-Whitney	0.066	Mann-Whitney	0.210
RFD 90	Med. Ind.	0.447	Med. Ind.	0.009 *	Mann-Whitney	0.332
RFD 100	Med. Ind.	0.861	Med. Ind.	0.008 *	Mann-Whitney	0.447
RFD 150	Med. Ind.	0.513	Med. Ind.	0.045 *	Med. Ind.	0.125
RFD 200	Med. Ind.	0.235	Med. Ind.	0.349	Med. Ind.	0.134
RFD 250	Med. Ind.	0.819	Med. Ind.	0.913	Med. Ind.	0.167
Pico (N)	Med. Ind.	0.271	Med. Ind.	0.132	Med. Ind.	0.114
Tempo Pico	Med. Ind.	0.113	Med. Ind.	0.181	Med. Ind.	0.269
Tempo Subida	Med. Ind.	0.076	Med. Ind.	0.204	Med. Ind.	0.171
RC	Mann-Whitney	0.680	Med. Ind.	0.080	Mann-Whitney	0.142
Gradiente S	Mann-Whitney	1.000	Med. Ind.	0.010 *	Mann-Whitney	0.267
Gradiente A	Med. Ind.	0.771	Med. Ind.	0.350	Mann-Whitney	0.078
Mediana freq	Med. Ind.	0.870	Mann-Whitney	0.447	Med. Ind.	0.457

(*) diferenças estatisticamente significativas entre o grupo de controlo e o grupo experimental

Quadro 5 - Comparação dos 3 momentos de avaliação, no grupo experimental e de controlo.

	Grupo	Teste usado	Momento 1 vs 2 (sig)	Momento 2 vs 3 (sig)	Momento 1 vs 3 (sig)
RFD 30	Experimental	Friedman	0.859		
	Controlo	Friedman	0.764		
RFD 50	Experimental	Friedman	0.344		
	Controlo	Friedman	0.565		
RFD 90	Experimental	Friedman	0.282		
	Controlo	Friedman	0.180		
RFD 100	Experimental	Med. Rep.	1.000	0.633	1.000
	Controlo	Friedman	0.368		
RFD 150	Experimental	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
	Controlo	Med. Rep.	0.666	1.000	1.000
RFD 200	Experimental	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
	Controlo	Med. Rep.	0.642	1.000	1.000
RFD 250	Experimental	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
	Controlo	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
Pico (N)	Experimental	Med. Rep.	1.000	0.102	0.670
	Controlo	Med. Rep.	0.487	1.000	1.000
Tempo pico	Experimental	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
	Controlo	Med. Rep.	0.659	1.000	0.526
Tempo subida	Experimental	Med. Rep.	1.000	1.000	1.000
	Controlo	Med. Rep.	0.731	1.000	0.637
RC	Experimental	Friedman	0.549		
	Controlo	Friedman	0.368		
Gradiente S	Experimental	Friedman	0.627		
	Controlo	Friedman	0.043 *	0.612	0.237
Gradiente A	Experimental	Friedman	0.766		
	Controlo	Med. Rep.	0.285	1.000	0.392
Mediana Freq	Experimental	Friedman	0.270		
	Controlo	Med. Rep.	1.000	0.980	0.585

(*) diferenças estatisticamente significativas entre momentos de avaliação

Rate of force development (N.M.S-1)

Quando se compara o GE com o GC, verificamos que, imediatamente antes do jogo (momento 1), apenas houve diferenças no RFD 30, onde o GE apresenta um valor significativamente maior que o GC (Mdn = 170.0 vs 68.7; $p=0.032$). Já depois do jogo (momento 2), houve diferenças no RFD 90 (M = 788.9 vs 222.4; $p = 0.009$), RFD 100 (M = 895.6 vs 264.2; $p = 0.008$) e RFD 150 (M = 1186.8 vs 486.3; $p = 0.045$), onde o GE apresenta novamente valores significativamente maiores do que o GC. Após 48h (momento 3), não foram encontradas diferenças entre os grupos. Quando se comparam os momentos de avaliação, constatamos que não ocorreram diferenças entre os mesmos, quer no GC, quer no GE. No entanto, após o jogo, apesar de não haver diferenças, há uma tendência para o GE aumentar a RFD, numa fase inicial da curva força-tempo (curva F-T). Ou seja, até aos 150 ms, os valores médios e da mediana parecem subir após o jogo, quando o esperado seria que diminuíssem. Os atletas ao estarem em estado de fadiga estariam menos explosivos e, consequentemente, esperava-se que existisse uma diminuição da RFD. Nos resultados obtidos, os jogadores que foram sujeitos a uma carga de jogo (GE) mostraram um declive da curva maior, em comparação com o GC. O esperado seria que a fadiga tornasse os atletas mais “lentos” quando produzem força, apresentando valores da RFD abaixo do GC. Também se esperava que os valores estivessem alterados depois do jogo e, possivelmente, 48h após o momento competitivo.

Através de um protocolo intermitente específico para futebol de pré-época, Greco et al. (2013) referem que os valores diminuíram significativamente após 0-50 e 0-100 ms para a flexão do joelho e para a extensão do joelho, sendo que a extensão teve uma diminuição de 14 % ($p < 0.05$), demonstrando que a RFD é prejudicada após um protocolo intermitente específico do futebol (fadiga), embora isso não tenha sido constatado no presente estudo.

Thorlund et al. (2009) avaliou a força isométrica máxima para extensores e flexores do joelho, antes e depois do jogo, onde se registou um desvio para a direita na curva F-T durante a extensão isométrica máxima. A RFD diminuiu 9 %

(0-200 ms) para os flexores do joelho ($p < 0.01$), enquanto houve uma tendência para uma diminuição da RFD de 7/8 %, no extensor do joelho, em 0-50 ms e 200 ms. Os restantes intervalos tiveram apenas uma ligeira diminuição. Tal como nesse estudo, também esperávamos encontrar mais diferenças na RFD, uma vez que apenas se verificaram tendências. O estudo defende que as ações explosivas e de alta intensidade podem não ter sido suficientes para alterar a RFD. O decréscimo observado na capacidade de força muscular parece ter um impacto negativo no desempenho explosivo durante o jogo (remates, sprints e acelerações). No entanto, os valores descem com a presença de fadiga, enquanto os resultados apresentados no presente estudo indicam o contrário.

Podemos ainda notar que, embora não fosse significativo, no momento 3, o GE tende a baixar os valores gerais da RFD, em comparação com o momento 1. Isto poderá induzir que os atletas não estejam recuperados, uma vez que não atingiram os valores pré-jogo, embora não seja muito evidente. Neste caso, esta ocorrência seria de esperar, uma vez que a recuperação completa da função muscular pode demorar algumas horas, ou até dias, devido ao comprometimento na libertação do cálcio intracelular ou na sua sensibilidade, fundamental para a contração (Carroll et al., 2017). Bangsbo et al. (2006) colocam ainda a possibilidade dessa quebra física estar associada à acumulação de potássio (K^+) e/ou redução da atividade da bomba de Na/K^+ (sódio/potássio). Quer o jogo, quer um protocolo específico de futebol, induzem um aumento significativo nos marcadores indiretos de dano muscular ao longo do período de recuperação de 48/72h (Magalhaes et al., 2010).

No estudo de Mohr et al. (2005), é relatada uma menor quantidade de sprints e corridas de alta intensidade nos últimos 15 minutos e uma redução do desempenho de sprints e saltos após o jogo. Estes autores referem que o decréscimo na última fase de um jogo pode, por exemplo, ser causado por uma depleção de glicogénio muscular em fibras individuais e desidratação, quando há condições de stress térmico. Nesse estudo, é referido que o comprometimento do RFD pode ser uma justificação válida para a explicação dessa redução da performance, embora os valores do presente estudo não demonstrassem essa quebra no final do jogo.

Deste modo, os resultados menos promissores obtidos neste estudo podem confirmar que este parâmetro é de difícil medição. É muito provável que a RFD voluntária numa fase inicial da contração muscular seja um fenómeno multifatorial, influenciado por diversas variáveis fisiológicas, como as propriedades contráteis do musculo, força muscular máxima e impulso neural (Andersen & Aagaard, 2006), reflexo da combinação de fatores periféricos e centrais, como vimos nesta revisão da literatura. A fadiga é ainda influenciada pelo tipo de contração envolvida, grupos musculares testados e duração e intensidade do exercício (Millet & Lepers, 2004). Como foi visto ao longo do presente estudo, a fadiga é um fenómeno que varia muito e a RFD parece ser um parâmetro bastante sensível a alterações.

Assim, torna-se difícil encontrar respostas que justifiquem os presentes resultados, sendo que não estamos imunes a erros metodológicos e de análise da curva F-T, isto devido à dificuldade em encontrar o ponto exato de subida da curva, embora isso não seja justificação para o aumento dos valores após o jogo. Uma explicação para este acontecimento poderá estar relacionada com a potenciação pós ativação (PAP). Hodgson et al. (2005) referem que a resposta de um músculo a estímulos é afetada pela história contrátil do mesmo. A fadiga é o efeito mais óbvio da história contrátil, refletida pela incapacidade de um músculo gerar um nível de força esperado. No entanto, a fadiga parece ser capaz de potenciar a performance, principalmente em exercícios de resistência e que envolvam velocidade e potência. As avaliações realizadas neste estudo testam a explosividade do atleta após o jogo, o que poderia justificar esse aumento do RFD, numa primeira instância. Tillin e Bishop (2009) apresentam ideias semelhantes à referida anteriormente, visto que o desempenho muscular pode ser melhorado como resultado do seu histórico de contração. No fundo, embora o sujeito esteja cansado, o corpo continua altamente estimulado. No entanto, esse fenómeno parece aumentar tanto a RFD, como o pico de força, o que nos deixa novamente com muitas dúvidas relativamente aos resultados obtidos, uma vez que o pico desceu e RFD subiu, no momento após o jogo (como iremos ver adiante).

Outro ponto interessante e que cria mais inquietações relaciona-se com a RFD aos 100 ms, pois o valor máximo da RFD deveria aproximar-se desse tempo, independentemente de ser jovem, adulto, atleta ou não atleta, homem ou mulher e, de facto, não chegámos a esse consenso. Vários estudos (Blazevich et al., 2008; Djordjevic & Uygur, 2018; Taube et al., 2007) referem que o RFD atinge o seu valor máximo perto dos 100 ms, independentemente do músculo testado, idade ou exercício. Este valor é muitas vezes avaliado para estudar a RFD nos valores próximos da força máxima. Zhang et al. (2021) referem ainda que a avaliação das capacidades de produção rápida de força durante os primeiros 100 ms de uma contração, com ou sem fadiga, é mais adequada para avaliar e preparar jogadores de futebol. A verdade é foi observada uma subida desse valor após os 100 ms, que pode relacionar-se novamente com a dificuldade de definir o ponto inicial de subida. Isto acontece em todos os grupos e todos os momentos. Além da determinação no início da curva F-T, outras razões podem estar relacionadas com esse fenómeno, tais como a falta de experiência na extração dos dados e/ou falta de trabalhos com este tipo de abordagem. Também pode relacionar-se com a possibilidade dos atletas serem atípicos e/ou não estarem habituados a realizar este tipo de trabalho muscular. A RFD é um parâmetro altamente neuromuscular, que depende das características dos sujeitos, mais ou menos explosivos. Neste sentido, levantam-se novas questões: se fizéssemos uma nova recolha com os mesmos atletas, os resultados seriam os mesmos? Possivelmente não. E se houvesse uma maior intensidade do treino / jogo ou um adversário mais forte? Haverá um problema do próprio instrumento? São perguntas que se poderão levantar, uma vez que algo deve ter conduzido a estes resultados menos esperados e satisfatórios.

Por fim, D'Emanuele et al. (2021) referem que a RFD parece ser um indicador válido de fadiga neuromuscular. A RFD de pico e a RFD numa fase inicial parecem ser ainda mais sensíveis para quantificar a fadiga neuromuscular, do que a força voluntária máxima e a RFD numa fase tardia. A RFD pode ser mais sensível ao dano muscular induzido por contrações excêntricas, sendo que recuperação do RFD parece mais lenta que a do pico de força.

Pico (N)

Comparando o GE com o GC, observamos que não existem diferenças entre eles, em nenhum momento de avaliação. Relativamente à comparação deste parâmetro ao longo dos momentos, verificou-se que, do pré-jogo para o pós-jogo, houve um aumento significativo do pico da força ($M = 490.0$ vs 544.8 ; $p = 0.034$), no GE. Apesar de se terem encontrado estas diferenças numa fase inicial da análise estatística, através do teste de medidas repetidas, quando foi aplicado o ajustamento de Bonferroni, essas diferenças mostraram-se não significativas, pelo que decidimos não considerar esse aumento no estudo da fadiga. Antes do jogo, não foram encontradas diferenças entre os grupos, sendo que este valor era esperado e poderá indicar que os jogadores estavam com condições físicas idênticas. No entanto, após o jogo, era esperado que o GE tivesse reduções consideráveis do pico de força, em comparação com o GC, devido às ações exigentes que tiveram durante o jogo (o que não se verificou). No entanto, após o jogo, o GE teve uma ligeira diminuição do valor médio, embora não tenha sido estatisticamente significativo ($M = 515$ N vs 490 N). Esta tendência parece ir de encontro com o que é dito na literatura, sobre a queda do pico de força.

Após a análise da literatura, Rahnama et al. (2003) relataram uma diminuição no pico de força em jogadores de futebol amador de 8-16 % para extensores do joelho e 15-17 % para os flexores, em ações dinâmicas, após análises laboratoriais, baseadas em exercícios específicos do futebol. Também Andersson et al. (2008), após análise isocinética de jogadoras de elite do futebol feminino, verificaram uma queda de 7 e 9 % dos torques de extensão e flexão do joelho, respetivamente, após um jogo de futebol. Além do estudo da RFD que foi vista anteriormente, Greco et al. (2013) avaliaram ainda o pico isométrico, através dos extensores e flexores do joelho, num dinamómetro isocinético, antes e após o esforço. O torque concêntrico e torque excêntrico foram significativamente reduzidos após o protocolo intermitente específico do futebol, em comparação com os valores do pré-exercício. Este trabalho também abordou a contração isométrica, que se assemelha ao presente estudo, onde o pico de força teve diferenças estatisticamente significativas, sendo que a extensão do

joelho teve uma queda de 14%, ($p < 0.01$) e a flexão do joelho um decréscimo de 18% ($p < 0.01$). Na extensão, os valores de pico desse estudo passaram de 285.2 N.m para 245.7 N.m, nas contrações isométricas máximas, num ângulo de 70 graus, durante 5 segundos. Repare-se que, após avaliar atletas profissionais, os valores obtidos pelos autores apresentam uma queda no pico de força. A magnitude dos valores é diferente ao presente estudo, embora não seja possível fazer comparações, devido ao uso de medidas diferentes. No entanto, pretende-se essencialmente verificar que ocorreu uma diminuição deste parâmetro, e não propriamente a magnitude dos valores. Thorlund et al. (2009) avaliaram a força isométrica máxima, antes e depois do jogo, para extensores e flexores do joelho e, após o jogo, o torque da contração voluntária máxima diminuiu 11 % para os extensores do joelho e 7% para os flexores ($p < 0.01$)

Através dos resultados apresentados neste estudo, podemos observar que, após 48h, o valor médio ainda ultrapassou o valor obtido previamente ao jogo, embora não seja novamente significativo, fazendo parecer que os atletas que jogaram recuperaram os valores basais ($M = 515 \text{ N}$ vs 545 N). Uma outra hipótese seria que os atletas não estavam totalmente recuperados antes do jogo, embora os atletas tivessem descanso no dia -1 e baixa carga no dia -2. Esperava-se que o pico de força diminuísse após o jogo, no GE, e que após 48h, ainda não estivesse recuperado. Como já tinha sido referido na revisão da literatura, Thomas et al. (2017) mostraram que um jogo provocou decréscimos na contração máxima que permaneceram sem alterações significativas 72h após o jogo. Os autores observaram que a força de contração do *quadriceps* diminuiu 14 % após o jogo, permaneceu reduzida durante 24h e ao fim de 72h ainda não havia recuperação completa. O estudo conclui que os processos centrais (redução da ativação voluntária) contribuem significativamente para a fadiga neuromuscular nos dias após o jogo e a recuperação mais lenta da fadiga periférica fazem-nos questionar relativamente ao tempo necessário para a recuperação.

Ainda relativamente à recuperação dos sujeitos, a capacidade de *sprint* parece ser a primeira a retornar aos valores basais (5h), seguindo-se outros valores como o da ureia e ácido úrico (21h), níveis de força na extensão

isocinética do joelho (27h) e flexão (51h), onde aqui a extensão do joelho parece recuperar num intervalo inferior a 48h (Andersson et al., 2008). Mais uma vez colocam-se algumas dúvidas. Numa primeira interpretação, pode haver uma tendência para que o pico seja recuperado mais rapidamente, embora isso possa estar também associado ao real esforço durante a competição. Como já foi visto, vários fatores podem influenciar a quantidade de fadiga acumulada, como a qualidade do adversário, resultado do jogo, exigência do terreno de jogo, entre outros. Deste modo, mesmo não havendo diferenças estatisticamente significativas, já se podem retirar algumas conclusões sobre como se comporta o pico de força, através da tendência dos resultados, visto parecer que os resultados deste estudo apontam para uma ligeira queda após o jogo e recuperação dos valores basais após 48h. Poderá ser uma conclusão a ter em conta, uma vez que o ambos os jogos foram ganhos por uma margem bastante confortável e podem não ter havido ações suficientemente exigentes para provocar uma fadiga mais pronunciada. Com a posterior análise das escalas, poderá ser possível complementar, ou não, esta ideia. Por outro lado, poder-se-ia questionar novamente sobre a possível veracidade, ou não, da extração dos dados, mas o pico de força é uma variável menos sensível e mais credível e, portanto, não olharemos nesse sentido. Podemos assim referir que o pico e o tempo até atingir esse pico são imunes a este tipo de problemas, ao contrário da RFD e análise dos declives da curva, uma vez que são sensíveis a pequenas alterações. Os tempos serão estudados de seguida.

Tempo pico e tempo subida (s)

Relativamente aos tempos, podemos concluir que não existem diferenças entre os grupos em estudo, em nenhum dos momentos de avaliação. A comparação entre os momentos apresenta resultados semelhantes, não havendo diferenças entre eles, em nenhum dos grupos testados. A não existência de diferenças no tempo de subida não vai de encontro ao que era esperado, uma vez que um atleta em estado de fadiga deveria demorar mais tempo até atingir o pico de força. Este valor relaciona-se bastante com a força

explosiva, e de facto, seria suposto ter mais dificuldades em movimentar a resistência de uma forma tão rápida como o GC, ou até mesmo quando se compara o momento pré-carga com o pós-carga, no GE.

Mesmo não sendo significativo, há um pequeno atraso até atingir o pico, ou seja, um aumento médio do tempo de subida de 3.8 para 3.9 segundos, sendo que este parâmetro não se alterou após 48h. Embora a diferença seja bastante pequena, podemos referir que poderá haver uma ligeira tendência para que o tempo até atingir o pico aumente, resultado da alteração da curva F-T, sendo esta influenciada pela presença de fadiga. Uma vez que estamos perante ações muito rápidas no tempo, uma pequena subida temporal poderá nos fazer considerar sobre a presença da fadiga e a sua relação com o maior tempo despendido até atingir valores de força mais elevados. Se assim for, esta tendência aponta no mesmo sentido da literatura. No entanto, após a sua análise, eram esperadas diferenças significativas ou, pelo menos, uma maior diferença entre os momentos. Talvez volte a fazer sentido referir a importância da magnitude do esforço físico da competição, pois um esforço de menor escala pode não alterar suficientemente o parâmetro em estudo.

Ora vejamos: Hakkinen e Komi (1986) estudaram precisamente a curva F-T, através de contrações isométricas, tendo constatado que a carga de fadiga resultou num aumento da ativação neural em níveis de força submáximos produzidos rapidamente, mas piorou as características da curva F-T correspondentes. Assim sendo, os autores acima sugerem que a fadiga presente nas referidas condições experimentais deve-se, essencialmente, aos processos contráteis que ocorrem no músculo.

Neste seguimento, também Cormie et al. (2009) relatam informações pertinentes sobre esta temática, através do estudo dos saltos (CMJ) e análise da curva F-T. Um exame longitudinal mostrou que o treino de potência provoca mudanças significativas nas variáveis de desempenho do pico, bem como mudanças significativas nas curvas de potência e da força-tempo, força-velocidade e tempo de deslocamento, em todo o CMJ. Além do pico, outros valores parecem ser essenciais para o estudo da *performance* e análise do treino

dos atletas, proporcionando um conhecimento robusto. Embora estejamos perante estratégias simples, o seu poder parece muito útil para percebermos as adaptações ao treino. Podemos então dizer que o tempo de pico é mais uma ferramenta ilustrativa da fadiga neuromuscular, fazendo-nos retirar ilações sobre o estado de recuperação dos atletas.

Um outro ponto a ter em conta é que no GC, não eram esperadas diferenças neste parâmetro, uma vez que os atletas não foram expostos à carga física. No entanto, ocorreu um leve aumento do tempo, até mais acentuado que no GE (3.7 vs 4.4 vs 4.8). Interessante que após 48h, há uma diferença, embora não significativa, de praticamente 1 segundo. Uma hipótese poderá estar relacionada com o facto dos jogadores que não costumam jogar tanto tempo baixarem os indicadores de *performance* durante o descanso. Talvez haja a necessidade de implementar treinos específicos e mais exigentes para aqueles que habitualmente não jogam, uma vez que esse ligeiro aumento do tempo não pode estar relacionado com a fadiga, mas poderá, por sua vez, estar associado com a falta de condição física.

Coeficiente de reatividade (N/Kg.s)

Não se verificaram diferenças no estudo deste parâmetro, quer quando se comparam grupos, quer quando se comparam momentos de avaliação. Além disso, parece haver uma tendência para que os valores deste parâmetro diminuam, uma vez que o GE apresenta valores da mediana de 11.2 vs 9.7 vs 8.9 ao longo dos 3 momentos. Estes resultados poderiam justificar a fadiga nos atletas que foram submetidos ao esforço físico, mas o GC também apresenta uma diminuição após o momento competitivo, sendo que manteve esse valor após 48h (11.6 vs 6.3 vs 6.5). Assim sendo, não é possível retirar conclusões acerca do RC no presente estudo, porque ambos os grupos se direccionam para o mesmo caminho. Segundo a literatura e, mais especificamente, após o estudo de Basmajian e DeLuca (1985), era de esperar essa diminuição, visto que esse valor recorre ao máximo valor da força (pico de força) e ao peso, e relaciona-se com a capacidade de transportar o corpo. Com a presença de fadiga, o pico de

força diminui e o tempo até atingi-lo aumenta, pelo que o valor do RC deveria diminuir (o peso do atleta não varia), havendo uma maior dificuldade em deslocar o corpo em condições da prática desportiva e, conseqüentemente, dificuldade em ter o mesmo rendimento no teste isométrico que foi efetuado.

Gradiente S e Gradiente A

Os resultados dos gradientes obtidos após análise estatística descrevem semelhanças com os dados observados na RFD numa fase inicial, como era de esperar. Por conseguinte, após o jogo, é possível observar que o GE apresenta um gradiente S estatisticamente superior ao GC ($M = 685.1$ vs 308.5 ; $p = 0.010$), o que não era novamente esperado, devido ao que foi referido na interpretação dos resultados na RFD. Os gradientes também se relacionam com os declives e, portanto, um atleta ao estar mais fatigado, deveria diminuir o valor. Através do estudo de Basmajian e Deluca (1985), podemos inferir que o gradiente S parece estar associado à RFD numa fase inicial do esforço muscular, estudado no início da curva F-T. Deste modo, esse resultado poderá ser associado a eventuais falhas na metodologia e recolha de dados (de quem testa e de quem é testado), instrumentação usada, entre outros fatores ou, eventualmente, à PAP, embora já tenhamos chegado à conclusão que é uma justificação de pouca credibilidade, uma vez que o pico não acompanha essa defesa metodológica.

Na análise entre momentos, também foi possível verificar que, do momento 1 para o momento 2, houve uma redução deste valor, no GC ($Mdn = 461.3$ vs 293.0 ; $p = 0.043$). Mesmo havendo essa diminuição do valor do gradiente, criam-se algumas inquietações, uma vez que o GC não deveria apresentar alterações nos parâmetros físicos, entre as avaliações.

No que diz respeito ao gradiente A, não foram encontradas diferenças. No entanto, parece haver uma tendência para a descida dos valores deste gradiente, que também poderia explicar a fadiga no GE ($Mdn = 3086$ vs 1674 vs 1856). Tais deduções não parecem ser possíveis de se fazer, visto que o GC também diminui estes valores, quando deveria mantê-los constantes ($M = 2506$ vs 1264 vs 1340). Tal como foi visto na revisão, o gradiente A está relacionado

com a aceleração e é usado para quantificar a RFD nos estágios finais de esforços musculares explosivos, ou seja, na segunda parte da curva F-T. De facto, poderiam ser retiradas conclusões interessantes, mas os resultados menos apelativos limitam essas conclusões. No entanto, podemos realçar um ponto referido na presente revisão. O gradiente A foi, em todos os momentos e grupos, superior ao Gradiente S, tal como era de esperar, devido ao declive da curva F-T, sendo esse declive mais acentuado no primeiro. A justificação relaciona-se com fatores meramente matemáticos, relacionados com funções (uma inclinação mais acentuada tem maior declive que outra mais plana).

Frequência mediana relacionada com a curva FFT (Hz)

Não se observaram diferenças estatisticamente significativas da frequência mediana entre grupos, nem entre os momentos de avaliação. Além disso não ser o esperado e comprometer o desenvolvimento do estudo, também parece ser extremamente difícil perceber a tendência deste valor e como ele varia, quer entre os grupos, quer entre os momentos. O GE apresenta medianas de 0.5 vs 0.5 vs 0.4, respetivamente, ao longo dos 3 momentos de avaliação. O GC apresenta médias de 0.4 vs 0.4 vs 0.3, respetivamente, ao longo das avaliações. Fazendo uma análise mais descritiva, podemos observar que tudo é muito semelhante, uma vez que não há diferenças no GE, do pré-jogo para o pós-jogo, o que torna difícil encontrar explicações para tais resultados.

Uma vez que a frequência mediana está relacionada com a FFT e com o estudo da curva F-T, este era dos parâmetros mais importantes em estudo, na tentativa de classificar os atletas relativamente ao seu estado físico e recuperação. O objetivo inicial passa por perceber se esta ferramenta pode ser usada para medir a fadiga, ou seja, se os pressupostos da FFT são os mesmos da EMG. Assim, era esperado que os valores do GE fossem bastante inferiores ao GC, a partir das avaliações pós-jogo. Além disso, este valor deveria ser significativamente mais baixo no momento 2, quando comparado com o momento 1, uma vez que os atletas foram submetidos a várias ações de alta intensidade, no jogo de futebol.

Supomos que a FFT e o estudo da frequência mediana estejam relacionados com a atividade elétrica muscular. Basmajian e Deluca (1985) referem que a frequência mediana tende a descer durante uma contração sustentada, sendo que parece fornecer uma representação apropriada de eventos bioquímicos no músculo. Ao que é indicado no seu estudo, mesmo quando a força permanece relativamente constante, a frequência mediana está continuamente a diminuir. Explicações podem-se relacionar com o aumento na amplitude e na mudança de frequência do sinal, com o recrutamento de unidades motoras, sincronização de unidades motoras e mudança na velocidade de condução das fibras musculares. Como vimos, estes autores referem que o aumento da amplitude pode estar associado ao recrutamento de unidades motoras adicionais, para que seja possível manter a produção de força constante. Em modo de síntese, se uma frequência obtida no músculo comprometido diminui, então o músculo está realmente sendo exercitado e está passando por um processo de fadiga. Com o presente estudo, parece não ser assim tão simples comprovar esse fenômeno, através das estratégias usadas.

Deste modo, ainda se poderá considerar que este parâmetro pode ajudar no estudo da fadiga, embora sejam necessários vários ajustes, bem como a implementação de cargas de treino intensas, capazes de causar dano suficiente para alterar os valores da frequência mediana. Este é um estudo preliminar e, provavelmente, pode ter havido erros. Há uma necessidade de melhorar o desenho experimental, bem como a forma de recolher os dados, para termos conclusões viáveis para a problemática que foi levantada.

Hollman et al. (2013) referem que frequências medianas diminuídas em sinais EMG caracterizam a fadiga muscular. Portanto, foram analisados os dados de EMG durante um teste isométrico submáximo, indutor de fadiga, que foram processados através de vários comprimentos de janela FFT. Os autores referem que, enquanto os achados para ambos os músculos testados indicarem que o comprimento da janela FFT tem influência mínima nas inclinações da frequência mediana, não se pode fazer generalizações para outros músculos ou para contrações máximas. Apesar dessas limitações, quando a fadiga muscular localizada é avaliada por meio de inclinações de frequência mediana durante

contrações isométricas, os comprimentos das janelas de FFT podem ter pouca influência nos resultados (*op. cit.*).

Quadro 6 - Valores da mediana frequência ao longo dos 3 momentos de avaliação, no grupo experimental.

Atleta (ID)	Momento 1	Momento 2	Momento 3
1	0,60	0,45	0,43
2	0,45	0,46	0,54
3	0,41	0,66	0,38
4	0,17	0,93	0,49
5	0,54	0,24	0,29
6	0,62	0,43	0,31
7	0,44	0,23	0,75
8	0,37	0,74	0,33
9	0,30	0,42	0,31
10	0,50	0,50	0,41
11	0,48	0,39	0,30
12	0,36	0,29	0,33
13	0,30	0,49	0,37
14	0,61	0,29	0,45
15	0,49	0,49	0,35

Isto revela que, apesar dos estudos serem escassos neste capítulo e ser ainda tudo muito precoce, pode começar a haver algum interesse em relacionar a FFT com a fadiga. Ainda assim, tivemos a necessidade de olhar para o ficheiro com todos os atletas, para notar se há, ou não, uma tendência dos valores obtidos, percebendo se todos os sujeitos tiveram um caminho semelhante.

Chegámos à conclusão este é um parâmetro que varia muito consoante o atleta, o que dificulta a interpretação deste valor, como podemos verificar no quadro 6.

5.2. ESCALAS REFERENTES AO ESTADO SUBJETIVO DOS ATLETAS

Quadro 7 - Valores percentuais das respostas referentes ao estado do atleta, em cada momento das avaliações.

			1	2	3	4	5	6	7
Momento 1	G. Experimental	Nível stress	13.3	26.7	20.0	26.7	6.7	6.7	0
		Qualidade sono	13.3	46.7	33.3	0	6.7	0	0
		Nível fadiga	40,0	13,3	26,7	20,0	0	0	0
		Dor muscular	40.0	20.0	13.3	13.3	13.3	0	0
	G. controlo	Nível stress	0	57.1	0	14.3	14.3	14.3	0
		Qualidade sono	0	57.1	14.3	14.3	0	14.3	0
		Nível fadiga	42,9	28,6	14,3	0	14,3	0	0
		Dor muscular	57.1	14.3	14.3	0	14.3	0	0
Momento 2	G. Experimental	Nível stress	20.0	13.3	53.3	6.7	6.7	0	0
		Nível fadiga	0	6.7	6.7	33.3	33.3	13.3	6.7
		Dor muscular	13.3	20.0	0	20.0	20.0	20.0	6.7
	G. controlo	Nível stress	57.1	28.6	0	14.3	0	0	0
		Nível fadiga	28.6	14.3	42.9	0	14.3	0	0
		Dor muscular	42.9	14.3	14.3	14.3	14.3	0	0
Momento 3	G. Experimental	Nível stress	13.3	60.0	26.7	0	0	0	0
		Qualidade sono	13.3	26.7	26.7	26.7	6.7	0	0
		Nível fadiga	26.7	46.7	13.3	6.7	6.7	0	0
		Dor muscular	26.7	33.3	26.7	6.7	6.7	0	0
	G. controlo	Nível stress	28.6	42.9	14.3	14.3	0	0	0
		Qualidade sono	28.6	42.9	14.3	0	0	14.3	0
		Nível fadiga	57.1	28.6	0	0	14.3	0	0
		Dor muscular	71.4	0	0	14.3	0	14.3	0

Quadro 8 - Valores percentuais das respostas referentes à RPE, respondidos imediatamente após o jogo (momento 2).

	Grupo Experimental	Grupo Controlo
0	0	42.9
1	0	28.6
2	0	0
3	0	14.3
4	13.3	14.3
5	20.0	0
6	26.7	0
7	6.7	0
8	20.0	0
9	13.3	0
10	0	0

Quadro 9 – Valores da moda e mediana referentes ao estado dos atletas, em cada momento das avaliações.

		Momento 1		Momento 2		Momento 3	
		Moda	Mediana	Moda	Mediana	Moda	Mediana
Nível stress	G. Experimental	2; 4	3	3	3	2	2
	G. Controlo	2	2	1	1	2	2
Qualidade sono	G. Experimental	2	2	-	-	2; 3; 4	3
	G. Controlo	2	2	-	-	2	2
Nível fadiga	G. Experimental	1	2	4; 5	5	2	2
	G. Controlo	1	2	3	3	1	1
Dor muscular	G. Experimental	1	2	2; 4; 5; 6	4	2	2
	G. Controlo	1	1	1	2	1	1
RPE	G. Experimental	-	-	6	6	-	-
	G. Controlo	-	-	0	1	-	-

Quadro 10 - Comparação entre o grupo de controlo e o grupo experimental, usando o teste não paramétrico (Mann-Whitney).

	Momento 1 (sig)	Momento 2 (sig)	Momento 3 (sig)
Nível stress	0.891	0.078	0.837
Qualidade sono	0.490	-	0.298
Nível fadiga	0.783	0.005 *	0.298
Dor muscular	0.535	0.078	0.332
RPE	-	< 0.001 *	-

(*) diferenças estatisticamente significativas entre o grupo de controlo e experimental

Quadro 11 - Comparação entre os 3 momentos de avaliação, para cada grupo, usando o teste não paramétrico (Friedman).

	Grupo	Momento 1 vs 2 (sig)	Momento 2 vs 3 (sig)	Momento 1 vs 3 (sig)
Nível stress	Experimental	0.315	0.201	0.022 *
	Controlo	0.011 *	0.504	0.061
Qualidade sono	Experimental	-	-	0.229
	Controlo	-	-	0.257
Nível fadiga	Experimental	< 0.001 *	< 0.001 *	0.927
	Controlo	0.092		
Dor muscular	Experimental	0.008 *	0.005 *	0.855
	Controlo	0.472		

(*) diferenças estatisticamente significativas entre momentos de avaliação

Nível stress

Não foram encontradas diferenças entre os grupos, em nenhum dos momentos de avaliação. No entanto, o nível de stress no GE baixou significativamente do momento 1 para o momento 3 (Mdn = 3 vs 2; $p = 0.022$) e o GC baixou o valor de stress do momento 1 para o momento 2 (Mdn = 2 vs 1; $p = 0.011$).

Os resultados sugerem que os atletas do GC apresentam maior stress antes do jogo, provavelmente devido ao facto de estarem a uns minutos do momento competitivo. Depois do término da partida, o nível de stress percebido baixou, talvez devido ao facto da equipa ter ganho. Imediatamente antes do jogo, era de esperar que o GE tivesse valores mais altos, quando comparados com o GC, embora isso não se tenha confirmado. Isto porque, embora não seja certo, os atletas conseguem, muitas vezes, perceber se serão usados a titular nos treinos imediatamente anteriores ao momento competitivo. Por outro lado, após 48h, o GE ao baixar esta categoria, em relação ao pré-jogo, indica que poderá haver algum stress acumulado antes do jogo.

Qualidade de sono

Após a avaliação da qualidade de sono, podemos concluir que não existem diferenças entre o GE e GC, nos 2 momentos de avaliação dos atletas. Também não se comprovaram diferenças entre os momentos de avaliação, em ambos os grupos. Acabámos por não dar grande ênfase aos resultados desta categoria, uma vez que o intuito do estudo passa um pouco ao lado da qualidade de sono (o que não significa que não seja uma categoria a ter em conta no estudo da fadiga). A seguir, serão apresentadas as categorias que achámos ser mais pertinentes para o presente estudo.

Nível fadiga

Os resultados obtidos antes do jogo fazem-nos deduzir que ambos os grupos estavam recuperados, do ponto de vista subjetivo, devido ao facto de não serem observadas diferenças entre os grupos. Após o jogo, o nível de fadiga mostrou diferenças entre o GC e o GE, sendo que o último grupo apresentou

valores significativamente maiores (Mdn= 5 vs 3; $p = 0.005$). Relativamente à análise dos momentos, não houve diferenças no GC, como era de esperar. No entanto, o GE aumentou significativamente o valor da fadiga do momento 1 para o momento 2 (Mdn = 2 vs 5; $p < 0.001$) e ocorreu uma diminuição significativa desse parâmetro do momento 2 para o momento 3 (Mdn = 5 vs 2; $p < 0.001$). Os resultados não relevaram diferenças entre o momento 1 e 3, mostrando que a percepção de fadiga foi, aparentemente, restabelecida.

Numa primeira fase, os resultados apresentados para o estudo da fadiga parecem ir de encontro ao que esperávamos. Isto porque, após o jogo, o GE apresentou um maior nível de fadiga percebido, visto que o questionário foi efetuado imediatamente após o esforço, sendo que este grupo de jogadores foi sujeito a muitos minutos de jogo e, conseqüentemente, várias ações potencializadoras de fadiga. A inexistência de diferenças entre grupos, no momento 3, pode sugerir que o GE recuperou a sua percepção da condição física que tinha previamente ao jogo. Esta informação diverge um pouco daquilo que procurávamos, até porque os estudos referem que esta percepção demora algumas horas a voltar ao estado pré-jogo.

Relativamente ao estudo longitudinal dos vários momentos, não existiram diferenças no GC, tal como imaginávamos, uma vez que estes atletas não tiveram minutos de jogo (ou tiveram muito poucos) e desempenhavam uma função em campo menos exigente (guarda-redes). Já no GE, os valores de fadiga percebida subiram do momento 1 para o momento 2, o que faz todo o sentido, pois estes foram expostos à carga do jogo. No entanto, os valores baixaram até aos valores basais ao fim de 48h, mostrando que eles se sentiam recuperados (inexistência de diferenças entre o momento 1 e 3). Tal como na comparação entre grupos, também aqui era esperado que esse tempo de recuperação não fosse suficiente para que os atletas se sentissem completamente recuperados.

Repare-se, através do quadro 7, que todos os atletas do GE relataram fadiga inferior a 4, na escala de 1 a 7, antes do jogo. Aproximadamente 87 % dos atletas relatou valores entre 4 e 7 após o jogo, sendo que aproximadamente 87 % deu repostas abaixo de 3, após 48h.

Dor muscular

Em relação à dor muscular, não existem diferenças entre os grupos em estudo, em nenhum momento. No entanto, no GE, os atletas relataram maiores dores musculares no momento 2, em comparação com o momento 1 (Mdn = 2 vs 4; $p = 0.008$). A dor muscular diminuiu significativamente do momento 2 para o 3, neste mesmo grupo (Mdn = 4 vs 2; $p = 0.005$). Não se observaram diferenças quando se comparou o momento 1 com o momento 3, no referido grupo, mostrando que a percepção da dor muscular foi restabelecida.

Os atletas relatam dores musculares após o jogo de futebol, sendo que se aceita este valor, possivelmente devido ao dano muscular acumulado durante o esforço físico. Este valor foi restabelecido após 48h, uma vez que não existem diferenças entre o momento 1 e 3. Aqui, levantam-se novamente algumas questões relacionadas com a intensidade do esforço, uma vez que estas dores musculares normalmente se prolongam mais no tempo, devido essencialmente às ações de alta intensidade e, acima de tudo, à presença de várias contrações do tipo excêntrico, durante a competição.

Olhando novamente para o quadro 7, verificámos que, após o jogo, quase 70 % dos jogadores do GE relatou valores entre o 4 e o 7, na escala de 1 a 7. No entanto, após 48h, aproximadamente 87 % deste grupo relatou valores de dor muscular abaixo de 3, o que poderá indicar que estes já se encontravam recuperados, na categoria descrita.

RPE

Após a análise da RPE, no momento 2, podemos concluir que o GE relatou valores maiores ou iguais a 4, numa escala de 0-10. Por outro lado, o GC concentrou os valores da RPE entre o 0 e o 4. Esta análise também permite justificar a divisão dos grupos. Assim, os resultados apresentados acima apresentam, claramente, diferenças estatisticamente significativas na RPE, onde o GE relatou valores bastante superiores, em comparação com o GC (Mdn = 6 vs 1; $p < 0.001$). Torna-se também interessante observar que ninguém classificou a carga de jogo exaustiva (10).

Literatura para a justificação dos resultados subjetivos do estado físico

Fessi e Moalla (2018) usaram os instrumentos do presente estudo, para que fosse possível avaliar o estado percebido do atleta (Hooper e Borg). Após uma derrota ou empate, os atletas parecem relatar um esforço percebido maior, em comparação com uma vitória. Assim, os resultados positivos em ambos os jogos do presente estudo podem ter influenciado as respostas dos atletas, mostrando aqui novamente a variedade de fatores que fazem alterar não só a fadiga muscular real, como também a fadiga percebida. Os autores acima referidos referem que o resultado do jogo afeta a classificação do esforço percebido, os sentimentos, qualidade de sono, stress e fadiga, sendo que só a dor muscular permanece inalterada, perante qualquer resultado. No entanto, vencer um jogo diminui a tensão e melhora o prazer e o bem-estar dos jogadores de futebol.

Silva et al. (2018) realizaram uma revisão sistemática que mostra que o jogo de futebol altera os níveis dos marcadores de lesão muscular, inflamação, prejudica o desempenho físico e exacerba as respostas perceptivas até pelo menos 72h após o jogo. Muitos artigos somam as categorias para tirarem algumas conclusões sobre a percepção do estado físico, embora isso não vá ser replicado no presente estudo, uma vez que o que nos interessa mais acaba por ser a fadiga e, eventualmente, a dor muscular. Os outros parâmetros, embora possam afetar a fadiga, acabam por “ocultar um pouco a vista”, não nos deixando ver a realidade, de uma forma tão clara. Ao se comparar a fadiga real muscular da máquina com as respostas dos sujeitos às escalas, convém existir um foco nos parâmetros que realmente abordam a percepção muscular.

Tal como já tínhamos visto na revisão, Fullagar et al. (2017) constataram, através do seu estudo, que o bem-estar percetivo demora mais de 4 dias para voltar aos níveis de pré jogo. Nesta linha de pensamento, também Thomas et al. (2017) referem que a percepção de fadiga e dor muscular passiva foram afetados num jogo de futebol, sendo que estes valores atingiram o pico imediatamente após o exercício e permaneceram alterados até 48h após o jogo, voltando apenas aos valores basais por volta das 72h.

Um outro estudo analisou atletas de alto nível imediatamente após o jogo, 24h e 48h após o jogo (Rampinini et al., 2011). Imediatamente após o término do momento competitivo, ocorreu uma redução evidente dos valores de força voluntária máxima (extensão do joelho: força isométrica a 90 graus), uma redução dos valores de *sprint* e também um aumento da dor muscular. Mesmo assim, os atletas não voltaram a ter os valores basais até 48h após o jogo. Estes relatos parecem incidir numa conclusão semelhante, sendo que, normalmente, a percepção do estado físico estende-se por um longo período do tempo, o que não se verificou nos nossos resultados. Várias hipóteses poderão estar associadas a este acontecimento, parecendo que a pouca intensidade dos jogos poderá ter influenciado as respostas. Os valores de RPE relatados poderão ir de encontro a esta ideia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de serem realizados os testes experimentais, foi necessário analisar a literatura, para tentar encontrar uma boa estratégia para avaliar a fadiga neuromuscular, de modo a permitir tirar conclusões fidedignas. Assim, juntei 2 instrumentos para avaliar a fadiga após um jogo de futebol: isometria e escalas subjetivas de esforço e estado físico (carga interna), para que fosse então possível perceber o estado geral dos atletas. Mais especificamente, um dos objetivos deste trabalho foi verificar se ambos os métodos permitem chegar a conclusões semelhantes. Como foi visto, também foi usada uma ferramenta inovadora, através da análise da frequência mediana da curva F-T, com bases de EMG fortes e capazes de sustentar este estudo.

Assim, um jogador pode sentir-se recuperado (apesar de não totalmente) e apto para jogar, mas pode não ter as suas capacidades físicas nas melhores condições, devido à fadiga. No entanto, a literatura é escassa sobre essa defesa, uma vez que relata tempos de recuperação reais e percebidos de longa duração, após o jogo. Através de novas ferramentas da avaliação muscular, tentou-se perceber se este estudo chegava à mesma conclusão sobre o tempo de recuperação necessário para voltar ao estado pré-jogo (tempo de recuperação igual ou superior a 48h). Claro que em muitos campeonatos e em níveis competitivos elevados, o jogador tenta minimizar o impacto da fadiga para poder competir. A exigência do calendário desportivo a esses níveis é mais exigente, devido à grande densidade de jogos. Neste seguimento, é provável que um jogador de nível superior tenha as suas capacidades de recuperação mais desenvolvidas e, portanto, possa recuperar mais rápido e/ou minimize o dano causado pela fadiga. Deve-se analisar se o atleta é capaz de suportar uma nova carga de treino e retirar adaptações positivas ou se, por outro lado, precisa de um trabalho mais específico, até que complete o seu processo de recuperação. Ou seja, pretendeu-se aliar a vertente teórica à vertente prática, utilizando a análise dos valores extraídos e processados na monitorização e planeamento das sessões de treino.

Relativamente à comparação dos instrumentos usados, as escalas de esforço mostraram que, após o jogo, existiu uma acumulação de fadiga nos

atletas utilizados (GE), visto ter ocorrido um aumento significativo da percepção de fadiga e dor muscular. Isso não foi completamente comprovado com a análise da frequência mediana (nem com os restantes parâmetros da força), havendo apenas uma tendência mais visível no pico de força, observando-se uma ligeira queda deste valor após o jogo.

Após 48h, as diferenças observadas mostraram que o GE tinha uma recuperação percebida total, uma vez que os valores baixaram no momento 3, não se verificando diferenças entre o pré-jogo e o pós-48h. Nos parâmetros da força, torna-se difícil tirar conclusões, devido à inexistência de diferenças significativas. Podemos apenas notar que o pico é recuperado, ultrapassando até o nível pré-jogo. Também o aumento da RFD após o esforço é difícil de explicar.

A grande diferença na RPE obtida após o jogo, entre os grupos, pode justificar que houve uma boa divisão da amostra. No entanto, a realização de um treino mais intenso, onde os atletas relatem valores de esforço percebido mais elevados, pode ser uma solução em vista, uma vez que não existiram valores de RPE máximos e apenas uma pequena percentagem do GE apresentou respostas “7” na fadiga e dor muscular. Como foi visto, a obtenção de resultados pouco promissores poderá estar relacionada com a amostra, com o instrumento de avaliação ou com o facto da atividade ser pouco intensa. Mais uma vez, é notória a dificuldade em medir e estudar a fadiga, pois é muito complexa e altamente influenciada por vários fatores. Tornou-se difícil comparar as escalas com os valores obtidos na *leg extension*, devido ao comportamento da força isométrica durante as avaliações.

Uma outra abordagem à FFT também deveria ser tida em conta para este tipo de estudos. Talvez fosse necessário outro tratamento estatístico, que não me era acessível, nesta fase da formação. A curva F-T parece sofrer oscilações, oscilações estas relacionadas com a incapacidade do nosso sistema produzir força, evidenciando-se assim a presença da fadiga. Deste modo, há a necessidade de estudar a curva de outra forma, com instrumentos mais robustos e não apenas usar as médias e medianas da frequência e de outros parâmetros.

7. CONCLUSÕES

O desporto cada vez mais se define pelos detalhes, e o futebol não é exceção. A preparação e recuperação dos atletas parece ter cada vez mais importância na delimitação do rendimento desportivo. Assim sendo, existe uma necessidade de calcular intensidades de treino adequadas, para permitir que os jogadores potencializem as suas qualidades físicas e técnicas. A fadiga sendo um dos temas que sempre causou inquietações no mundo desportivo, ocupa um lugar importante nas considerações que os preparadores e profissionais do desporto precisam ter em conta, rumo ao sucesso.

Como foi sendo visto ao longo deste estudo, a fadiga é um fenómeno de enorme complexidade, que é influenciado por uma diversidade de fatores, tornando assim difícil a sua compreensão. Mesmo não sendo possível estudar a fadiga de uma maneira simples e direta, o avanço tecnológico tem permitido resolver alguns problemas e formar atletas mais capazes, fortes e competentes, para lidarem com as exigências desportivas atuais. Através do conhecimento científico e das estratégias disponibilizadas, cabe aos profissionais da área selecionar os melhores instrumentos para serem implementadas estratégias válidas no terreno, essencialmente na monitorização das cargas de treino, fazendo com que a falta de condição física e/ou excesso de trabalho aplicado não sejam justificação para a queda na performance desportiva.

Os resultados obtidos neste estudo indicaram que a RFD apresentou no momento 1, diferenças estatísticas entre grupos na RFD 30 ($GE < GC$). No Momento 2, observaram-se diferenças estatísticas entre grupos na RFD 90, 100, 150 ms ($GE < GC$). No momento 2, pareceu existir uma tendência para subir valores do GE numa fase inicial, até 150 ms. Já no momento 3, os resultados mostraram uma tendência para baixar a RFD, no GE.

No pico, não se verificaram diferenças significativas. Pareceu haver uma tendência do GE para diminuir o pico após o jogo, assim como uma recuperação ao fim de 48h. Na análise dos tempos até atingir o pico, também não houve diferenças. Nota-se um ligeiro aumento quase insignificativo, mas o GC ainda aumentou mais esse tempo, sendo este achado de difícil explicação. Conclui-se

assim que talvez haja a necessidade de realizar ações mais intensas e suficientes para causar diferenças significativas na homeostase do atleta. O RC não evidenciou diferenças, havendo uma tendência para diminuir no GE após o jogo, sendo que no GC também ocorreu.

O gradiente S apresenta semelhanças com a RFD. No GE, o gradiente S mostrou ter diferenças estatisticamente significativas, quando comparado com o GC, no momento 2, tornando difícil a interpretação do seu valor, devido ao aumento pós jogo. Houve uma tendência para o gradiente S descer após 48h no GE, embora o GC também tenha descido. No gradiente A não se verificaram diferenças, havendo uma tendência para a queda dos valores ao longo do tempo (GE). Este valor indicaria uma informação que era pretendida, mas o GC também desceu esse valor. Foi ainda possível verificar o maior valor do gradiente A, relativamente ao gradiente S, devido declive da curva.

Por fim, na frequência mediana, não existiram diferenças. Os valores obtidos foram semelhantes, não havendo um padrão definido. Esta ferramenta mais inovadora seria vista como uma alternativa à EMG no estudo da fadiga, embora não se possa confirmar isso por enquanto, devido aos resultados apresentados.

Mesmo com esses dados menos satisfatórios, é possível observar algumas tendências, embora algumas sejam difíceis de explicar, uma vez que não estão de acordo com a literatura. A FFT que foi implementada para o estudo da fadiga continua a parecer ter bases fortes, devendo ser considerada em futuros estudos. Alterações metodológicas, da extração de dados, da experiência dos envolvidos nos testes e ainda na intensidade do esforço podem fazer com que talvez seja possível relatar conclusões mais apelativas. Com o presente estudo, torna-se difícil interpretar resultados dos testes físicos. Há necessidade de estudar melhor a curva F-T. Além disso, deverá se perceber melhor como funciona a PAP neste tipo de testes, bem como encontrar novas formas metodológicas para calcular estes parâmetros, para se seja possível estudar a fadiga, percebendo a influência dos impulsos neurais e da ativação muscular, bem como das alterações do ponto de vista contrátil - recrutamento

de unidades motoras, sincronização de unidades motoras e mudança na velocidade de condução das fibras musculares.

Nas escalas, a atenção foi direcionada para a dor muscular, fadiga e RPE. Assim, verificaram-se diferenças significativas entre os grupos, onde no momento 2, o nível de fadiga e a RPE foram mais elevados no GE. Relativamente aos momentos, os resultados indicaram que o GE aumentou significativamente os níveis de fadiga e dor muscular, imediatamente após o jogo. Estas categorias parecem ter sido rapidamente recuperadas, visto haver uma diminuição significativa 48h após o jogo. Este estudo complementar, apesar de útil, não pode ser comparado com os valores da força, devido à difícil interpretação desses parâmetros, tal como foi referido anteriormente. Ainda assim, podemos observar que o pico de força poderá indicar que o GE já tivesse recuperado após 48h, coincidindo com os valores subjetivos obtidos nas escalas. No entanto, tal dedução não parece ser suficientemente credível, devido à não significância desse valor, assim como dos restantes parâmetros físicos.

8. LIMITAÇÕES E FUTUROS ESTUDOS

Após o término deste estudo e após ter realizado uma reflexão sobre os resultados obtidos, foi possível identificar algumas lacunas e pontos que poderão ser melhor abordados e aprofundados em futuros estudos, como iremos ver abaixo:

Uma primeira recomendação seria realizar um treino extremamente intenso, com características semelhantes a um jogo de futebol e com a presença de várias ações de alta intensidade, indutoras de fadiga neuromuscular. Assim, poderíamos controlar melhor a carga de treino imposta aos jogadores, bem como igualar a exigência para todos eles, independentemente da posição ocupada dentro de campo. Portanto, era possível obter valores de percepção do estado físico mais elevados e o estudo da fadiga não seria tão influenciado pela posição do atleta em campo. Creio que, com um protocolo como o referido acima, seria possível obter resultados mais positivos nas avaliações isométricas máximas. Deste modo, talvez o estudo da fadiga após um esforço físico, bem como a sua recuperação, pudessem ser analisadas de um modo mais fiável e, eventualmente, com resultados mais apelativos.

Tal como foi visto acima, também parece ser pertinente realizar uma análise da curva F-T de forma diferente, com métodos mais robustos, métodos esses que não me eram disponíveis nesta fase da formação. O estudo da curva propriamente dito, bem como a observação das oscilações que ela sofre após o esforço, poderá ser vista como um passo futuro, no estudo da fadiga.

Uma outra sugestão seria avaliar o CMJ, paralelamente ao estudo da força isométrica, visto que a avaliação de um movimento dinâmico pode trazer informações relevantes para a análise da função muscular, uma vez que avalia o CAE, bastante presente num jogo de futebol. Um exemplo de um instrumento a usar é o “*My Jump*”, que poderá ser usado de uma forma complementar ao teste na *leg extension*. O CMJ é dos testes dinâmicos mais usados para avaliar vários parâmetros do salto, sendo uma estratégia muito referida na literatura atual, uma vez que é de fácil aplicação e nos dá informações muito úteis sobre o estado e recuperação do atleta.

Uma última sugestão poderá ser testar outros grupos musculares e/ou outras modalidades, para que se perceba como este fenómeno ocorre noutros contextos e verificar se são obtidos, ou não, valores semelhantes aos obtidos no futebol. Podemos considerar, como exemplo, a análise dos vários parâmetros delimitadores de *performance*, abordados neste estudo, mas no andebol, avaliando um músculo com um papel importante no remate.

Uma limitação importante deste estudo deveu-se ao facto da equipa júnior ter competido num campo de relva sintética e a equipa sénior num campo de relva natural, pelo que diferentes terrenos de jogo poderão induzir diferentes danos musculares e ligamentares e, conseqüentemente, influenciar os valores de *performance* avaliados. Portanto, uma sugestão seria realizar o treino/jogo no mesmo campo, para que fosse possível igualar as condições entre todos os atletas testados.

Para finalizar, parece poder haver uma continuidade interessante deste estudo, debruçado em mais estratégias para analisar a fadiga, que poderão ser implementadas em estudos futuros. Assim sendo, estudos futuros poderão ainda aprofundar esta temática através da EMG ou até análises sanguíneas/salivares para perceber como a fadiga se relaciona com as questões hormonais e inflamatórias. Sistemas GPS (distância percorrida e percentagem de corrida a alta intensidade para quantificar o esforço de cada atleta) também poderão sugerir resultados interessantes, se o objetivo for, efetivamente, estudar a fadiga após o jogo. Se assim fosse, poderia ainda ser pertinente avaliar o esforço e recuperação consoante posição em campo, visto que a exigência difere consoante o espaço ocupado no terreno de jogo, como vimos neste estudo. Podem ainda ser utilizadas plataformas de força ou outros instrumentos para avaliar o impacto da fadiga na queda, tempo de voo, entre outras.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326. doi:10.1152/jappphysiol.00283.2002
- Allman, B. L., & Rice, C. L. (2002). Neuromuscular fatigue and aging: Central and peripheral factors. *Muscle & Nerve*, 25(6), 785-796. doi:10.1002/mus.10116
- Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96(1), 46-52. doi:10.1007/s00421-005-0070-z
- Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., & Kadi, F. (2008). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: Effects of active recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2), 372-380. doi:10.1249/mss.0b013e31815b8497
- Ando, R., Nosaka, K., Inami, T., Tomita, A., Watanabe, K., Blazevich, A. J., & Akima, H. (2016). Difference in fascicle behaviors between superficial and deep quadriceps muscles during isometric contractions. *Muscle & Nerve*, 53(5), 797-802. doi:10.1002/mus.24905
- Ascensão, A., Magalhães, J., Oliveira, J., Duarte, J., & Soares, J. (2003). Fisiologia da fadiga muscular: Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 3(1), 108-123.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674. doi:10.1080/02640410500482529
- Barrett, S., McLaren, S., Spears, I., Ward, P., & Weston, M. (2018). The influence of playing position and contextual factors on soccer players' match differential ratings of perceived exertion: A preliminary investigation. *Sports*, 6(1). doi:10.3390/sports6010013

- Basmajian, J. V., & DeLuca, C. J. (1985). *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography* (5th ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Behan, F. P., Willis, S., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2018). Effects of football simulated fatigue on neuromuscular function and whole-body response to disturbances in balance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(12), 2547-2557. doi:10.1111/sms.13261
- Blazevich, A. J., Horne, S., Cannavan, D., Coleman, D. R., & Aagaard, P. (2008). Effect of contraction mode of slow-speed resistance training on the maximum rate of force development in the human quadriceps. *Muscle & Nerve*, 38(3), 1133-1146. doi:10.1002/mus.21021
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 16, 55-58. doi:10.5271/sjweh.1815
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 161-170. doi:10.1123/ijsp.2017-0208
- Brownstein, C. G., Dent, J. P., Parker, P., Hicks, K. M., Howatson, G., Goodall, S., & Thomas, K. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Frontiers in Physiology*, 8. doi:10.3389/fphys.2017.00831
- Carling, C., Gall, F. L., & Reilly, T. P. (2010). Effects of physical efforts on injury in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 180-185. doi:10.1055/s-0029-1241212
- Carroll, T. J., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2017). Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1068-1076. doi:10.1152/jappphysiol.00775.2016
- Clarke, N., & Noon, M. (2019). Editorial: Fatigue and recovery in football. *Sports*, 7(8). doi:10.3390/sports7080192
- Cochran, W. T., Cooley, J. W., Favin, D. L., Helms, H. D., Kaenel, R. A., Lang, W. W., Maling, G. C., Nelson, D. E., Rader, C. M., & Welch, P. D. (1967).

- What is fast fourier transform. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 55(10), 1664. doi:10.1109/proc.1967.5957
- Collins, B. W., Pearcey, G. E. P., Buckle, N. C. M., Power, K. E., & Button, D. C. (2018). Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 43(11), 1166-1175. doi:10.1139/apnm-2018-0080
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45-51. doi:10.1055/s-2001-11331
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177-186. doi:10.1519/JSC.0b013e3181889324
- D'Emanuele, S., Maffiuletti, N. A., Tarperi, C., Rainoldi, A., Schena, F., & Boccia, G. (2021). Rate of force development as an indicator of neuromuscular fatigue: A scoping review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15. doi:10.3389/fnhum.2021.701916
- Djordjevic, D., & Uygur, M. (2018). Methodological considerations in the calculation of the rate of force development scaling factor. *Physiological Measurement*, 39(1). doi:10.1088/1361-6579/aa9f51
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2228-2238. doi:10.1249/mss.0000000000000929
- Farthing, J. P., & Chilibeck, P. D. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 578-586. doi:10.1007/s00421-003-0842-2
- Fessi, M. S., & Moalla, W. (2018). Postmatch perceived exertion, feeling, and wellness in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 631-637. doi:10.1123/ijsp.2017-0725

- Friden, J., & Lieber, R. L. (2001). Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 321-326. doi:10.1046/j.1365-201x.2001.00834.x
- Fullagar, H. H. K., Govus, A., Hanisch, J., & Murray, A. (2017). The time course of perceptual recovery markers after match play in division I-A college american football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1264-1266. doi:10.1123/ijsp.2016-0550
- Greco, C. C., da Silva, W. L., Camarda, S. R. A., & Denadai, B. S. (2013). Fatigue and rapid hamstring/quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(1), 18-23. doi:10.1111/j.1475-097X.2012.01160.x
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G., & Salvo, V. D. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(4), 237-242. doi:10.1055/s-0030-1247546
- Haff, G. G., Ruben, R. P., Lider, J., Twine, C., & Cormie, P. (2015). A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midhigh clean pulls. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 386-395. doi:10.1519/jsc.0000000000000705
- Hagstrom, A. D., & Shorter, K. A. (2018). Creatine kinase, neuromuscular fatigue, and the contact codes of football: A systematic review and meta-analysis of pre- and post-match differences. *European Journal of Sport Science*, 18(9), 1234-1244. doi:10.1080/17461391.2018.1480661
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force-time and relaxation-time characteristics of human skeletal-muscle. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(6), 588-596. doi:10.1007/bf00423202
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44, S139-S147. doi:10.1007/s40279-014-0253-z
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation - Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595. doi:10.2165/00007256-200535070-00004

- Hollman, J. H., Hohl, J. M., Kraft, J. L., Strauss, J. D., & Traver, K. J. (2013). Does the fast Fourier transformation window length affect the slope of an electromyogram's median frequency plot during a fatiguing isometric contraction? *Gait & Posture*, 38(1), 161-164. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.10.028
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 106-112. doi:10.1249/00005768-199501000-00019
- Horky, T. (2021). No sports, no spectators - no media, no money? The importance of spectators and broadcasting for professional sports during COVID-19. *Soccer & Society*, 22(1-2), 96-102. doi:10.1080/14660970.2020.1790358
- Howatson, G., & van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38(6), 483-503. doi:10.2165/00007256-200838060-00004
- Iaia, F. M., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291-306. doi:10.1123/ijsp.4.3.291
- Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., Margonis, K., Chatzinikolaou, A., Kalistratos, E., Katrabasas, I., Alexiou, V., & Taxildaris, K. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(5), 423-431. doi:10.1097/JSM.0b013e3181818e0b
- Kluger, B. M., Krupp, L. B., & Enoka, R. M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses proposal for a unified taxonomy. *Neurology*, 80(4), 409-416. doi:10.1212/WNL.0b013e31827f07be
- Kong, P. W., & Burns, S. F. (2010). Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Physical Therapy in Sport*, 11(1), 12-17. doi:10.1016/j.ptsp.2009.09.004

- Kranz, H., Williams, A. M., Cassell, J., Caddy, D. J., & Silberstein, R. B. (1983). Factors determining the frequency content of the electromyogram. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 392-399. doi:10.1152/jappl.1983.55.2.392
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6
- Magalhaes, J., Rebelo, A., Oliveira, E., Silva, J. R., Marques, F., & Ascensao, A. (2010). Impact of loughborough intermittent shuttle test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *European Journal of Applied Physiology*, 108(1), 39-48. doi:10.1007/s00421-009-1161-z
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). Markers of postmatch fatigue in professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1030-1039. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cc22cc
- Merletti, R., Sabbahi, M. A., & De Luca, C. J. (1984). Median frequency of the myoelectric signal - effects of muscle ischemia and cooling. *European Journal of Applied Physiology*, 52(3), 258-265. doi:10.1007/bf01015206
- Millet, G. Y., & Lepers, R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine*, 34(2), 105-116. doi:10.2165/00007256-200434020-00004
- Millet, G. Y., Martin, V., Martin, A., & Verges, S. (2011). Electrical stimulation for testing neuromuscular function: from sport to pathology. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2489-2500. doi:10.1007/s00421-011-1996-y
- Mills, K. R. (1982). Power spectral-analysis of electromyogram and compound muscle action-potential during muscle fatigue and recovery. *Journal of Physiology-London*, 326(MAY), 401-409. doi:10.1113/jphysiol.1982.sp014201
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue.

- Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528.
doi:10.1080/0264041031000071182
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593-599.
doi:10.1080/02640410400021286
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer part I - Post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Medicine*, 42(12), 997-1015.
- Nussbaumer, H. J. (1981). *Fast fourier transform and convolution algorithms* (1 ed.). Berlin: Springer
- Pearcey, G. E. P., Murphy, J. R., Behm, D. G., Hay, D. C., Power, K. E., & Button, D. C. (2015). Neuromuscular fatigue of the knee extensors during repeated maximal intensity intermittent-sprints on a cycle ergometer. *Muscle & Nerve*, 51(4), 569-579. doi:10.1002/mus.24342
- Pincivero, D. M., Coelho, A. J., Campy, R. M., Salfetnikov, Y., & Suter, E. (2003). Knee extensor torque and quadriceps femoris EMG during perceptually-guided isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(2), 159-167. doi:10.1016/s1050-6411(02)00096-2
- Place, N., Bruton, J. D., & Westerblad, H. (2009). Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in mouse isolated single muscle fibres. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 36(3), 334-339. doi:10.1111/j.1440-1681.2008.05021.x
- Pointon, M., & Duffield, R. (2012). Cold water immersion recovery after simulated collision sport exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 206-216. doi:10.1249/MSS.0b013e31822b0977
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology-London*, 537(2), 333-345. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x
- Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A., & Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer.

- Journal of Sports Sciences*, 21(11), 933-942.
doi:10.1080/0264041031000140428
- Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2161-2170. doi:10.1249/MSS.0b013e31821e9c5c
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024. doi:10.1055/s-2007-965158
- Reilly, T., Drust, B., & Clarke, N. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*, 38(5), 357-367. doi:10.2165/00007256-200838050-00001
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., & Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 555-562. doi:10.1519/JSC.0b013e318220dda0
- Russell, M., Rees, G., & Kingsley, M. I. C. (2013). Technical demands of soccer match play in the english championship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2869-2873. doi:10.1519/JSC.0b013e318280cc13
- Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., & Hader, K. (2018). Acute and residual soccer match-related fatigue: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(3), 539-583. doi:10.1007/s40279-017-0798-8
- Stulen, F. B., & De Luca, C. J. (1981). Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction-velocity. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering*, 28(7), 515-523. doi:10.1109/tbme.1981.324738
- Tang, R., Murtagh, C., Warrington, G., Cable, T., Morgan, O., O'Boyle, A., Burgess, D., Morgans, R., & Drust, B. (2018). Directional change mediates the physiological response to high-intensity shuttle running in professional soccer players. *Sports*, 6(2). doi:10.3390/sports6020039
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., & Gollhofer, A. (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training

- in young elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 999-1005. doi:10.1055/s-2007-964996
- Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 542-550. doi:10.1152/jappphysiol.01053.2007
- Thomas, K., Dent, J., Howatson, G., & Goodall, S. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue after simulated soccer match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(5), 955-964. doi:10.1249/mss.0000000000001196
- Thorlund, J. B., Aagaard, P., & Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *International Journal of Sports Medicine*, 30(4), 273-278. doi:10.1055/s-0028-1104587
- Thorstensson, A., Grimby, G., & Karlsson, J. (1976). Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 40(1), 12-16. doi:10.1152/jappl.1976.40.1.12
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166. doi:10.2165/00007256-200939020-00004
- Vieira, I. C. R. (2020). *Preparação física numa equipa feminina de andebol da 1ª divisão em Portugal: Perceções e perspetivas*. Porto: Isabella Vieira. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Webb, N. P., Harris, N. K., Cronin, J. B., & Walker, C. (2013). The relative efficacy of three recovery modalities after professional rugby league matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2449-2455. doi:10.1519/JSC.0b013e31827f5253
- Westerblad, H., Bruton, J. D., & Katz, A. (2010). Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Experimental Cell Research*, 316(18), 3093-3099. doi:10.1016/j.yexcr.2010.05.019
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training* (2nd ed.). Champaign Human Kinetics.

Zhang, Q. S., Morel, B., Trama, R., & Hautier, C. A. (2021). Influence of fatigue on the rapid hamstring/quadiceps force capacity in soccer players. *Frontiers in Physiology*, 12. doi:10.3389/fphys.2021.627674

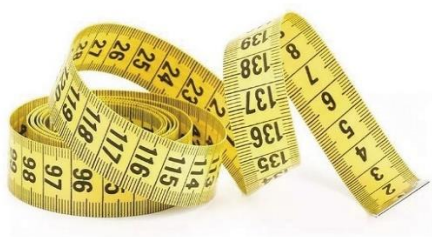
ANEXOS



Anexo 1 – Balança digital.



Anexo 2 – Goniometer.



Anexo 3 – Fita métrica.

Valor_Medio_FFT	Desvio_Padrão_FFT	RFD_30ms	RFD_50ms	RFD_90ms	RFD_100ms	RFD_150ms	RFD_200ms
4.090647e+01	7.014812e+01	3.008400e+02	5.395500e+02	9.025200e+02	1.014354e+03	1.379940e+03	1.419507e+03
4.881271e+01	9.982899e+01	1.962000e+02	3.041100e+02	9.406700e+02	1.153656e+03	2.045058e+03	2.008107e+03
5.150810e+01	1.101934e+02	1.013700e+02	1.883520e+02	5.580800e+02	7.131870e+02	1.826622e+03	2.276410e+03

RFD_250ms	Pico(em Newton)	Tempo_Pico	Tempo_Subida	RC	S_Gradient	A_Gradient	Med_Freq
1.458943e+03	5.283666e+02	4.685000e+00	4.450000e+00	9.501288e+00	3.885049e+02	1.761222e+03	5.402908e-01
1.982012e+03	6.320583e+02	5.810000e+00	5.470000e+00	9.725470e+00	3.550889e+02	3.950364e+03	4.593521e-01
2.195870e+03	6.599187e+02	3.310000e+00	3.150000e+00	1.563418e+01	5.892131e+02	4.713705e+03	4.542223e-01

Anexo 4— Valores do jogador 2 obtidos a partir do Matlab.