



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Ciências Aplicadas**

**FELIPE MARRONI RASTEIRO**

**A PRÉ-ATIVAÇÃO DE MÚSCULOS INSPIRATÓRIOS POTENCIALIZA A FORÇA,  
VELOCIDADE E POTÊNCIA DE JOGADORES DE FUTEBOL? ANÁLISE DOS SINAIS  
MECÂNICOS E FISIOLÓGICOS POR MODELO COMPUTACIONAL**

**LIMEIRA - SP**  
**2022**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**Faculdade de Ciências Aplicadas**

**FELIPE MARRONI RASTEIRO**

**A PRÉ-ATIVAÇÃO DE MÚSCULOS INSPIRATÓRIOS POTENCIALIZA A FORÇA,  
VELOCIDADE E POTÊNCIA DE JOGADORES DE FUTEBOL? ANÁLISE DOS  
SINAIS MECÂNICOS E FISIOLÓGICOS POR MODELO COMPUTACIONAL**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo, na Área de Ciências do Esporte.

**Orientadora:** Profa. Dra. Fúlvia de Barros Manchado Gobatto

**Coorientador:** Prof. Dr. Ricardo da Silva Torres

Este trabalho corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Felipe Marroni Rasteiro, e orientada pela Profa. Dra. Fúlvia de Barros Manchado Gobatto.

**LIMEIRA – SP**

**2022**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas  
Ana Luiza Clemente de Abreu Valério - CRB 8/10669

R186p Rasteiro, Felipe Marroni, 1995-  
A pré-ativação de músculos inspiratórios potencializa a força, velocidade e potência de jogadores de futebol? Análise dos sinais mecânicos e fisiológicos por modelo computacional / Felipe Marroni Rasteiro. – Limeira, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Fúlvia de Barros Manchado Gobatto.

Coorientador: Ricardo da Silva Torres.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Futebol. 2. Treinamento intervalado de alta intensidade. 3. Redes complexas. I. Gobatto, Fúlvia de Barros Manchado, 1980-. II. Torres, Ricardo da Silva, 1977-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. IV. Título.

Informações Complementares

**Título em outro idioma:** Does pre-activation of inspiratory muscle enhance the force, velocity, and power of soccer players? Analysis of mechanical and physiological signs by computational model

**Palavras-chave em inglês:**

Soccer

High-intensity interval training

Complex networks

**Área de concentração:** Ciências do Esporte

**Titulação:** Doutor em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo

**Banca examinadora:**

Fúlvia de Barros Manchado Gobatto [Orientador]

Wladimir Rafael Beck

Daniel Alexandre Boullosa Álvarez

Leonardo Henrique Dalcheco Messias

Carolina Cirino

**Data de defesa:** 02-12-2022

**Programa de Pós-Graduação:** Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-1991-9004>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/9160983592131519>

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fúlvia de Barros Manchado-Gobatto  
(Presidente da Comissão Examinadora)

Prof. Dr. Wladimir Rafael Beck  
(Membro da Comissão Examinadora)

Prof. Dr. Daniel Alexandre Boullosa Álvarez  
(Membro da Comissão Examinadora)

Prof. Dr. Leonardo Henrique Dalcheco Messias  
(Membro da Comissão Examinadora)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carolina Cirino  
(Membro da Comissão Examinadora)

---

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Dedico este trabalho a meus pais, irmã, familiares, professores e a todos meus amigos que me auxiliaram nessa conquista com grande êxito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente e principalmente, aos meus pais, Amilton e Cláudia. Que sem dúvida alguma fizeram de tudo, e sacrificaram muitos sonhos para um dia ver o seu filho realizando os seus. Desde os tempos de natação, sempre fizeram de tudo para eu alcançar aquilo que mais almejava. Muitas broncas e muitas lições foram necessárias para eu chegar onde cheguei. Desde ensinamentos falados, até com ações e atitudes, eles me educaram a ser um ser humano melhor. Humilde, generoso e educado, mas que sabe que para conseguirmos algo na vida, temos que nos impor e não “largar o osso” até conquistar o que desejamos.

Em segundo lugar, eu agradeço a minha irmã e ao meu cunhado, Jéssica e Lucas. Esses dois são o mais alto nível de pessoas com as quais eu posso contar até a última hora. Sempre se preocupando com o caçula da família e fazendo de tudo para o vê-lo feliz. Como disse em seu casamento, eu fico muito feliz por ter uma irmã como a que eu tenho para dividir a vida, e mais feliz por ela ter encontrado alguém tão legal e gentil como o Lucas. Sem dúvida alguma, vocês tiveram uma grande participação nessa minha jornada de chegar até aqui.

Também agradeço a Professora Fúlvia, que abriu as portas do LAFAE para mim. Me lembro como se fosse ontem, eu estava animado para começar uma Iniciação Científica e investigar o efeito da música sobre o exercício. Só que, infelizmente, o número de bolsas já tinha sido preenchido. Mas em um dia, que estava sentado na “mesa dos ICs” sozinho, ela entrou animada dizendo que tinha conseguido uma oportunidade de realizar uma IC voluntária. Eu, como estava animado, aceitei sem titubear. No período de 2017/18 realizei a IC e consegui publicar meu primeiro artigo em 2020, esse momento foi uma gota d’água de felicidade em meio a turbulenta tempestade que estávamos vivendo com a tragédia ocasionada pela pandemia da COVID-19. Embora muitas coisas tenham acontecido ao longo dessa agitada trajetória, lembrarei da Professora Fúlvia com grande carinho, por ter acreditado e confiado a mim essa tarefa, e por ter me apoiado ao longo dessa jornada.

Gostaria de agradecer também ao meu coorientador, Professor Ricardo, por ter se disponibilizado e auxiliado com grande excelência nessa tese de doutorado, e em muitos trabalhos que estão por vim. Além disso, gostaria de agradecer também a todos os coordenadores a frente do projeto temático Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha, Prof. Dr. Ricardo da Silva Torres e Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto, suportado pela Fundação de Amparo

à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP Proc. nº 2016/50250-1), que confiaram a mim esse projeto e ao longo desse processo auxiliaram, por meio de reuniões, com opiniões que foram de grande valia para a elaboração desse documento. Também agradeço a FAPESP pelo suporte, através da bolsa de doutorado direto (Proc. nº 2019/10666-2), que garantiu a minha dedicação exclusiva com esse trabalho. Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Código de Financiamento 001) que, através do Programa de Pós Graduação (Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo), apoiou a execução desse trabalho.

Eu agradeço também aos meus companheiros de laboratório, Anita, Carol, Pedro, João e Emanuel, que sempre me ouviram e dividiram as angústias de levar o fardo de fazer doutorado e também as dificuldades da minha vida. Em especial, a Anita, que no início não nos dávamos tão bem, mas com o tempo fui percebendo que era eu quem não estava enxergando direito. Ao longo do tempo ela se demonstrou ser mais do que uma amiga. Sempre que eu precisava, deixava ciente que eu podia contar com ela. Compartilhamos muitos momentos e expedições de coletas juntos, e em muitos desses momentos nos estressamos um com o outro, brigamos um com o outro, mas no fim, nos desculpamos. Eu acredito que amizade seja isso, brigas, verdades na cara, sinceridade, e aceitação de que, mesmo errando, você sabe que o outro não fez por maldade. Sem dúvida, muito do amadurecimento que obtive ao longo desse trajeto foi por conta das conversas e trocas de experiência com ela.

Por fim, e claramente, não menos importante. Eu gostaria de agradecer com um enorme carinho ao Pedrão. Essa pessoa que ao longo da minha vida no laboratório nunca deixou de me ajudar, seja em conselhos pessoais ou profissionais. O Pedro, eu o considero como um irmão mais velho que preza pelos seus irmãos mais novos (ou seus “Filhinhos”), sempre cuidando e ajudando-os a serem alguém melhor no futuro. Inúmeras vezes, ele ficou comigo até mais tarde só para me ajudar na escrita dos trabalhos, nunca pediu nada em troca, sempre ensinou de bom grado, por gostar de ensinar e por se importar comigo. Enfim, acredito que, sem o Pedrão, provavelmente não seria o Marroni que sou hoje.

De modo geral, sou grato por todos que passaram pela minha vida e, de alguma forma, deixaram uma contribuição para me tornar alguém melhor.

Eu sei que onde eu estou hoje, eu não sou perfeito. Sei que tenho muito o que melhorar, e por conta disso tenho muito o que trabalhar. Mas eu também sei que, por mais que eu não seja 100%, eu dei o meu máximo para chegar onde cheguei, e por isso, me sinto orgulhoso.

Muitos atrelam a felicidade a momentos como o término de algo grandioso, como a conclusão de uma graduação, como encontrar um bom emprego, encontrar o amor da sua vida e se casar, e como nascimento de um filho. Então se isso, é o necessário para sermos felizes, todos nós vivemos uma vida infeliz.

Então, ao longo da minha jornada nesses últimos anos, eu percebi que preciso estar feliz com pequenas conquistas, independentes das minhas metas.

*“Eu sei que sou exatamente o que deveria ser. Hoje, se nada sou, por certo, daqui a pouco, tudo serei”*

*Sócrates Di Lima*

## RESUMO

O futebol é uma modalidade caracterizada por esforços intermitentes de alta intensidade, exigindo elevada demanda energética. Adicionalmente, o comportamento das variáveis fisiológicas como a frequência cardíaca, oxigenação muscular e concentração de lactato sanguíneo em avaliações físicas específicas e partidas de futebol está bastante relacionado ao bom desempenho dos atletas. Como estratégia para elevar o rendimento esportivo, estudos recentes vêm sinalizando os possíveis benefícios da pré-ativação (PA) de músculos inspiratórios (MI) na execução de *sprints* repetidos. De modo geral, a presente tese objetivou avaliar a força, velocidade e potência de jogadores de futebol em teste semi-atado de *sprints* repetidos realizado no próprio campo de futebol, investigando os possíveis efeitos da PA de MI sobre o desempenho desses atletas. Para isso, a presente tese foi dividida em dois estudos. No Estudo 1, foram analisados jogadores profissionais da série B do Campeonato Paulista ( $22 \pm 0$  anos), esse estudo propôs analisar, através da estatística convencional (ANOVA para medidas repetidas), o comportamento da oxigenação dos músculos mais (Vasto lateral) e menos (Bíceps braquial) ativos durante o *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) atados ao Carro de Resistência Variável (CRV). Enquanto que, no Estudo 2 foram avaliados jogadores de futebol da categoria sub-17 da primeira divisão do Campeonato Paulista ( $15 \pm 1$  anos), com o objetivo de investigar os efeitos da PA de MI sobre o RAST através das análises integrativas proporcionadas pela análise de redes complexas. Os avaliados foram submetidos a três (Estudo 1) e quatro (Estudo 2) sessões avaliativas, separadas por intervalos de 24 a 48 horas. Sessões essas destinadas ao preenchimento dos termos de consentimento e questionários propostos, avaliação da composição corporal, mensuração de variáveis referentes a músculos inspiratórios ( $PI_{max}$  e S-Index), e realização do protocolo RAST sem (Estudo 1 e 2) e com (Estudo 2) a PA de MI, com registros da força, velocidade e potência sendo efetuados ao longo do teste. Também foram registradas variáveis fisiológicas tais como, frequência cardíaca, e oxigenação de músculos mais ou menos ativos durante os testes, e medidas lactacidêmicas após o teste. Com o Estudo 1, através da análise estatística convencional, foi possível observar um comportamento divergente da oxigenação muscular de forma tecido-dependente, com o Bíceps braquial apresentando maior oxigenação do que o Vasto lateral ao longo, e após, o protocolo RAST. Em relação ao Estudo 2, através da análise integrativa dos parâmetros investigados por meio das métricas de centralidade *Degree* e *Eigenvector*, foi possível observar o enaltecimento de variáveis relacionadas a oxigenação do Bíceps braquial quando da aplicação do protocolo de PA de MI. Sugerindo que, quando a musculatura inspiratória passa pelo processo de pré-ativação, tecidos menos ativos apresentam maior destaque, dentro da rede complexa, frente ao esforço repetido de máxima intensidade. Desse modo, torna-se evidente a importância do músculo Bíceps braquial frente a um esforço de *sprints* repetidos, haja vista que a participação do metabolismo aeróbio é mais elevada em esforços de *sprints* repetidos, quando comparado com esforços máximos e contínuos.

**Palavras-chave:** futebol de campo; teste semi-atado; *sprints* repetidos; pré-ativação; músculos inspiratórios; análise de redes complexas

## ABSTRACT

Soccer is a modality characterized by high-intensity intermittent efforts, requiring high energy demand. Additionally, the behavior of physiological variables such as heart rate, muscle oxygenation and blood lactate concentration in specific physical assessments and soccer matches is closely related to the good performance of athletes. As a strategy to increase sports performance, recent studies have been signaling the possible benefits of pre-activation (PA) of inspiratory muscles (IM) in the execution of repeated sprints. In general, this thesis aimed to evaluate the force, velocity, and power of soccer players in a semi-tethered test of repeated sprints performed on the soccer field, investigating the possible effects of PA of IM on the performance of these athletes. For this, this thesis was divided into two studies. In Study 1, professional players from the B series of the Paulista Championship ( $22\pm 0$  years) were analyzed. This study proposed to analyze, through conventional statistics (ANOVA for repeated measures), the behavior of oxygenation of the muscles more (Vastus lateralis) and less (Biceps brachii) active during the Running-based Anaerobic Sprint Test (RAST) tethered to the Variable Resistance Car (CRV). Whereas, in Study 2 soccer players from the under-17 category of the first division of the Paulista Championship ( $15\pm 1$  years) were evaluated, with the objective of investigating the effects of the PA of IM on the RAST through the integrative analyzes provided by the analysis of complex networks. The subjects were submitted to three (Study 1) and four (Study 2) evaluation sessions, separated by intervals of 24 to 48 hours. These sessions were aimed at completing the proposed consent forms and questionnaires, assessing body composition, measuring variables related to inspiratory muscles ( $PI_{max}$  and S-Index), and performing the RAST protocol without (Study 1 and 2) and with (Study 2) the PA of IM, with records of force, velocity and power being performed throughout the test. Physiological variables such as heart rate and oxygenation of more or less active muscles during the tests, and lactacidemic measurements after the test were also recorded. With Study 1, through conventional statistical analysis, it was possible to observe a divergent behavior of muscle oxygenation in a tissue-dependent manner, with the Biceps brachii presenting greater oxygenation than the Vastus lateralis during, and after, the RAST protocol. Regarding Study 2, through the integrative analysis of the investigated parameters through the Degree and Eigenvector centrality metrics, it was possible to observe the enhancement of variables related to the oxygenation of the Biceps brachii when applying the PA of IM protocol. Suggesting that, when the inspiratory musculature undergoes the pre-activation process, less active tissues are more prominent within the complex network, in the face of repeated effort at maximum intensity. Thus, the importance of the biceps brachii muscle becomes evident in the face of repeated sprint efforts, given that the participation of aerobic metabolism is higher in repeated sprint efforts when compared to maximum and continuous efforts.

**Keywords:** soccer field; semi-tethered test; repeated sprints; pre-activation; inspiratory muscles; wearable technologies, computing.

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

[LAC] – Concentração de Lactato sanguíneo

$\mu\text{a}$  – Propriedade de absorção

$\mu\text{L}$  – Microlitro

$\mu\text{s}$  – Propriedade de espalhamento

CA – Corrida atada

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

cm – Centímetros

CRV – Carro de resistência variável

ENM – Esteira não motorizada

FC – Frequência cardíaca

HHb – Desoxihemoglobina

Hz – Hertz

Kg – Quilograma

LAFAE – Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte

LAn – Limiar anaeróbio

MI – Músculos inspiratórios

mL – Mililitro

mmol/L – milimol por litro

mV – Milivolts

N – Newton

NIRS – Near-Infrared Spectroscopy

O<sub>2</sub> – Oxigênio

O<sub>2</sub>Hb – Oxihemoglobina

PA – Pré-ativação

PI<sub>max</sub> – Pressão Inspiratória máxima

R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação

RAST – Running-based Anaerobic Sprint Test

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

tHb – Total de hemoglobina

TSI – Índice de saturação tecidual

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

V – Volts

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Predominância na utilização das fontes de energia absoluta durante o primeiro e o último *sprint* executados de modo repetido (BUCHHEIT *et al.*, 2009; HOLMYARD *et al.*, 1988). (Imagem adaptada de GIRARD *et al.* (2011)).

**Figura 2. Painel A** – Visão esquemática da quantidade necessária de transmissores para mensuração de um cromóforo. **Painel B** – Visão esquemática da quantidade necessária de transmissores para mensuração de três cromóforos. **Painel C** – Vista esquemática de uma medição TSI (medida baseada na razão entre oxihemoglobina e o total de hemoglobina). Luz através do tecido com três transmissores. (Imagem adaptada do manual de instruções da Artinis).

**Figura 3.** Imagem ilustrativa representando a relação integrativa entre coordenador (laranja), alunos de doutorado (vermelho), alunos de mestrado (amarelo) e alunos de iniciação científica (azul) de um laboratório. (Imagem elaborada pelo próprio autor).

**Figura 4.** Desenho experimental adotado para o estudo 1. Na figura, as siglas representam: TALE (Termo de Assentimento livre e Esclarecido); CRV (Carro de Resistência Variável); RAST (*Running-based Anaerobic Sprint Test*);  $PI_{max}$  (Pressão Inspiratória Máxima).

**Figura 5.** Desenho experimental adotado para o estudo 2. Na figura, as siglas representam: TALE (Termo de Assentimento livre e Esclarecido); CRV (Carro de Resistência Variável); RAST (*Running-based Anaerobic Sprint Test*);  $PI_{max}$  (Pressão Inspiratória Máxima); PA de MI (Pré-ativação dos Músculos Inspiratórios).

**Figura 6.** Protocolo do *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) atado ao Carro de Resistência Variável (CRV) composto por seis *sprints* de 35 metros, executados em intensidade máxima, separados por 10 segundos de recuperação passiva.

**Figura 7. Painel A** – Mostra uma vista superior do compartimento que contém os componentes responsáveis pela aquisição e armazenamento do sinal. Adicionalmente, ilustra uma visão traseira do aparelho de corrida atado, as setas vermelhas indicam a posição dos freios eletromagnéticos; **Painel B** – Aplicação da corrida semi-atada em campo de futebol com aquisição de sinais de força horizontal e velocidade. **A** - Microcomputador; **B** - Fonte de alimentação, responsável por fornecer tensão aos freios eletromagnéticos; **C** - Amplificador; **D** - Módulo de aquisição de sinal.

**Figura 8. Painel A** – Representação de um indivíduo realizando o protocolo avaliativo da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ). **Painel B** – Representação de um indivíduo realizando o protocolo avaliativo do *Strength Index* (S-Index). **Painel C** – Gráfico extraído do programa POWERbreathe, o qual ilustra a realização do protocolo de S-Index.

**Figura 9.** Equipamentos utilizados nas sessões caracterizadas por *Sprints* Repetidos (RAST) utilizando o carro de resistência variável (CRV), precedidos ou não pela pré-ativação de músculos inspiratórios.

**Figura 10.** A visão geral esquemática do protocolo experimental foi dividida em três momentos, representados pelos retângulos de três cores diferentes: Amarelo - indica o momento antes do RAST; Vermelho - expressa o período temporal durante o RAST, contendo os seis *sprints* (S) e intervalos (I); e Verde - exemplifica o momento após o RAST. As variáveis frequência cardíaca

(1Hz) e oxigenação muscular (10Hz) foram mensuradas durante todo o protocolo, sendo tratadas a cada *sprint* e intervalos. A velocidade e a força foram medidas diretamente (1000 Hz) ao longo do protocolo RAST pelo CRV. A potência de corrida desenvolvida foi calculada posteriormente em ambiente Matlab. Amostras da concentração de lactato sanguíneo foram coletadas no momento basal e após o RAST (a cada dois minutos durante dez minutos).

**Figura 11.** Gráfico representativo da potência e TSI nos músculos BB e VL ao longo dos seis *sprints*, após a obtenção do *slope* da regressão (dados obtidos de um atleta). O coeficiente angular (valor “a”) do ajuste linear foi calculado e considerado como um indicador de comportamento em cada *sprint*. Um *slope* negativo indica um decréscimo de desempenho ou TSI, enquanto um *slope* positivo indica um incremento de desempenho ou TSI.

**Figura 12.** Dados de oxigenação muscular obtidos por espectroscopia no infravermelho próximo e variáveis mecânicas (potência relativizada) obtidas pelo CRV. **Painel A** - A figura mostra os resultados dos músculos, mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente), na média e erro padrão da média. **Painel B** - Correlação não significativa entre o TSI (%) no Bíceps braquial e a potência média relativizada. **Painel C** - Correlação significativa entre o TSI (%) no Vasto lateral e a potência média relativizada.

**Figura 13.** Dados de oxigenação muscular obtidos por espectroscopia no infravermelho próximo e variáveis mecânicas (potência relativizada) obtidas pelo CRV. **Painel A** - mostra os resultados dos músculos mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente), em média e erro padrão da média. Correlações entre a potência relativizada média com o TSI (%) em BB (**painel B**) e TSI em VL (**painel C**).

**Figura 14.** A figura apresenta um gráfico contendo o índice de saturação tecidual do Bíceps braquial (BB) e do Vasto lateral (VL) dos cinco intervalos entre *sprints* previstos pelo RAST e o sexto intervalo, considerado para análise como os 10s iniciais da recuperação após o protocolo. **a, b, c, d:** diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) dentro do respectivo músculo em relação ao 1º intervalo (I1), 2º intervalo (I2), 3º intervalo (I3) e 4º intervalo (I4), respectivamente.

**Figura 15.** Variáveis [LAC], FC e TSI durante o momento de recuperação, e comparações relacionadas à condição de linha de base. **Painel A** - Comparações dos valores [LAC] dos períodos de recuperação com o de linha de base; **Painel B** - Comparações dos valores de FC dos períodos de recuperação com o de linha de base; **Painel C** - Comparações dos valores do TSI dos períodos de recuperação com o de linha de base. O valor da linha de base foi definido em 0% (os demais valores foram adquiridos em relação ao valor da linha de base) para observar o comportamento do TSI de ambos os músculos com o mesmo ponto de partida. A figura mostra os resultados dos músculos, mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente), na média e no erro padrão da média. O gráfico foi dividido em dois momentos: 1º) Antes do RAST (linha de base) e 2º) Após o RAST, compreendendo seis pontos de coleta de dados durante o período de recuperação (Imediatamente após o RAST, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos após o fim RAST). **[LAC]** - Concentração lactacidêmica; **FC** - frequência cardíaca; **TSI** - Índice de Saturação do Tecido; **IA** - Imediatamente após RAST; **2 min a 10 min** - Momentos pré-estabelecidos de coleta de dados no período de recuperação; **BB** - bíceps braquial; **VL** - Vasto lateral; **a** - Significativamente diferente da linha de base; **b** - Significativamente diferente de IA; **c** - Significativamente diferente de 2 min; **d** - Significativamente diferente de 4 min; \* - Indica uma diferença significativa entre os músculos dos membros no mesmo momento.

**Figura 16.** A visão geral esquemática do protocolo experimental do segundo estudo foi dividida em quatro momentos, representados pelos retângulos de quatro cores diferentes: Amarelo – indica o momento antes do RAST – dois minutos de Linha de base, seguidos por cinco minutos de aquecimento, e cinco minutos de repouso; Azul – indica momento da PA de MI – tempo indeterminado pois cada indivíduo possui sua velocidade de execução; Vermelho – expressa o período temporal durante o RAST, contendo os seis sprints (S) e intervalos (I); Verde – exemplifica o momento após o RAST – mensurações fisiológicas sendo realizadas a cada dois minutos. As variáveis frequência cardíaca (1Hz) e oxigenação muscular (10Hz) foram mensuradas durante todo o protocolo, sendo tratadas a cada *sprint* e intervalos. A velocidade e a força foram medidas diretamente (1000 Hz) ao longo do protocolo RAST pelo CRV. A potência de corrida desenvolvida foi calculada posteriormente em ambiente Matlab. Amostras da concentração de lactato sanguíneo foram coletadas no momento de linha de base e após o RAST (a cada dois minutos durante dez minutos).

**Figura 17.** Resumo dos números de nós e arestas reportados pela análise de redes complexas durante os sprints (A) e os intervalos (B), sem (laranja) e com (azul) a PA de MI. **S1 a S6** – *Sprint 1 a Sprint 6*; **I1 a I6** – Intervalo 1 a Intervalo 6; **PA** – Pré-ativação; **PI<sub>max</sub>** – Pressão inspiratório máxima.

**Figura 18.** Representação gráfica de um sprint de um avaliado, exemplificando a obtenção dos valores utilizados para a análise de redes complexas.

**Figura 19.** Imagem das variáveis de TSI e potência relativizada ao longo do protocolo RAST. **S1 a S6** – *Sprint 1 a sprint 6*; **I1 a I6** – Intervalo 1 a Intervalo 6; **BB** – Bíceps braquial; **VL** – Vasto lateral; **SPA** – Sem pré-ativação; **PA40** – Pré-ativação de 40%; **w/kg** – Watts relativizado por quilograma.

**Figura 20.** Redes complexas utilizando a métrica de *Degree* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 21.** Redes complexas utilizando a métrica de *Degree* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima;

**mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 22.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram conexões, analisados por meio da métrica *Degree* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) divido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) divido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em vermelho, referem-se a parâmetros biomecânicos. Variáveis em preto, parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

**Figura 23.** Redes complexas utilizando a métrica de *Degree* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 24.** Redes complexas utilizando a métrica de *Degree* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL.

mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 25.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram conexões, analisados por meio da métrica *Degree* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em preto, referem-se a parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

**Figura 26.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 27.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 28.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram importância com as demais variáveis, analisados através da métrica *Eigenvector* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis

referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em vermelho, referem-se a parâmetros biomecânicos. Variáveis em preto, parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

**Figura 29.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 30.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O<sub>2</sub>Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

**Figura 31.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram importância com as demais variáveis, analisados através da métrica *Eigenvector* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em preto, referem-se a parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Caracterização amostral dos jogadores profissionais avaliados ( $n = 10$ ).

**Tabela 2.** Dados dos parâmetros mecânicos adquiridos pelo CRV e medidas da frequência cardíaca durante os seis sprints.

**Tabela 3.** Índice de saturação tecidual (TSI, %), monitorado por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) nos seis sprints na condição de corrida atada.

**Tabela 4.** Caracterização amostral dos jogadores sub-17 avaliados ( $n = 10$ ).

**Tabela 5.** Valores máximo, médio e mínimo dos parâmetros mecânicos adquiridos pelo CRV durante o protocolo RAST.

# SUMÁRIO

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                            | <b>22</b> |
| <b>1.1 OBJETIVOS .....</b>                                                                                                            | <b>27</b> |
| 1.2. HIPÓTESES.....                                                                                                                   | 28        |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                                                  | <b>29</b> |
| 2.1. Futebol e suas características.....                                                                                              | 29        |
| 2.2. Metabolismo energético no contexto dos <i>sprints</i> repetidos .....                                                            | 30        |
| 2.2.1 <i>Running-based Anaerobic Sprint Test</i> : dos primeiros estudos a atualidade .....                                           | 35        |
| 3.2. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS): embasamento teórico sobre a técnica de espectroscopia .....            | 40        |
| 3.2.1. Oxigenação muscular em esforços físicos .....                                                                                  | 43        |
| 3.3. Pré-ativação de músculos inspiratórios.....                                                                                      | 47        |
| 3.4. Análise integrativa de esforços de alta intensidade.....                                                                         | 50        |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                                                                   | <b>53</b> |
| 4.1. Participantes.....                                                                                                               | 53        |
| 4.2. Local.....                                                                                                                       | 54        |
| 4.3. Desenho experimental .....                                                                                                       | 54        |
| 4.4. Detalhamentos das avaliações realizadas .....                                                                                    | 57        |
| 4.4.1. Caracterização da amostra .....                                                                                                | 57        |
| 4.4.2. Antropometria e Composição corporal .....                                                                                      | 57        |
| 4.4.3. <i>Running-based Anaerobic Sprint Test</i> (RAST) com atletas atados ao carro de resistência variável (CRV) .....              | 58        |
| 4.4.4. Mensuração da velocidade, força e potência de corrida.....                                                                     | 59        |
| 4.4.5. Resistência imposta pelo Carro de Resistência Variável (CRV).....                                                              | 60        |
| 4.4.6. Mensuração da pressão inspiratória máxima e protocolo de pré-ativação de músculos inspiratórios .....                          | 61        |
| 4.4.7. Mensurações cardiorrespiratórias, metabólica e percepção subjetiva de esforço durante e após os <i>sprints</i> repetidos ..... | 63        |
| 4.4.7.1. Frequência cardíaca.....                                                                                                     | 63        |
| 4.4.7.2. Oxigenação periférica muscular .....                                                                                         | 63        |
| 4.4.7.3. Determinação das concentrações de lactato sanguíneo .....                                                                    | 64        |
| 4.5. Análise estatística .....                                                                                                        | 65        |
| <b>5. Resultados .....</b>                                                                                                            | <b>66</b> |
| 5.1. Estudo 1 .....                                                                                                                   | 66        |
| 5.1.1. Registros mecânicos e obtenção de respostas fisiológicas.....                                                                  | 68        |
| 5.1.2. Análise do <i>Slope</i> no protocolo de RAST .....                                                                             | 68        |
| 5.1.3. Resultados do estudo 1 .....                                                                                                   | 70        |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.4. Discussão dos resultados do estudo 1 .....                          | 78         |
| 5.1.5. Considerações finais do estudo 1 .....                              | 81         |
| 5.2. Estudo 2 .....                                                        | 82         |
| 5.2.1. Registros mecânicos e obtenção de respostas fisiológicas .....      | 84         |
| 5.2.2. Análise integrativa dos esforços repetidos de alta intensidade..... | 84         |
| 5.2.3. Resultados do estudo 2 .....                                        | 86         |
| 5.2.4. Discussão dos resultados do estudo 2 .....                          | 100        |
| 5.2.5. Considerações finais estudo 2 .....                                 | 103        |
| <b>6. Considerações finais.....</b>                                        | <b>104</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>105</b> |
| <b>8. APÊNDICES.....</b>                                                   | <b>125</b> |
| 8. 1. APÊNDICE 1 – Anamnese .....                                          | 125        |
| 8. 2. APÊNDICE 2 – Histórico Esportivo-Competitivo .....                   | 126        |

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro de diversas modalidades presentes em nosso cotidiano, o futebol de campo atrai ampla atenção de praticantes e também de pesquisadores, por ser uma modalidade com alto número de espectadores. Desse modo, pesquisas científicas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de melhor entender esse esporte e buscar por estratégias que auxiliem os atletas a melhorar seu desempenho (DATSON *et al.*, 2014; GABBETT e MULVEY, 2008; MOHR *et al.*, 2003; NÉDÉLEC *et al.*, 2015; O'REILLY e WONG, 2012; RAVEN *et al.*, 1976). No caso específico do futebol, a modalidade caracteriza-se por esforços intermitentes de alta intensidade (ARSLAN *et al.*, 2017; GAUDINO *et al.*, 2014; GAUDINO *et al.*, 2013; SWEETING *et al.*, 2017), demandando do atleta elevados níveis de capacidade e potência, aeróbia e anaeróbia (BEKRIS *et al.*, 2021; JALILVAND *et al.*, 2019; KRAMER *et al.*, 2018; MCCORMICK *et al.*, 2015; STØLEN *et al.*, 2005). Além disso a força, velocidade e, por conseguinte, a potência, estão bastante relacionadas ao bom desempenho dos atletas (BRADLEY *et al.*, 2013; MOONEY *et al.*, 2011; YOUNG e PRYOR, 2007). Considerando que essas capacidades físicas e variáveis mecânicas estão extremamente atreladas ao desempenho no futebol, investigações científicas também estão estudando o efeito dos treinamentos físicos específicos destinados a elas (CRONIN *et al.*, 2008; LOCKIE *et al.*, 2003; SOUSA *et al.*, 2022b; SPINKS *et al.*, 2007; SUAREZ-ARRONES *et al.*, 2018).

Na prática esportiva, para tentar elevar o rendimento, sessões de treinamentos que utilizam um reboque ou trenó (também denominados treinos em condição atada), são realizadas com certa frequência. Cientificamente, atenção tem sido destinada à análise de parâmetros mecânicos em atividades “atadas” (COTTLE *et al.*, 2014; LUTEBERGET *et al.*, 2015; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; MARTÍNEZ-VALENCIA *et al.*, 2015; PETRAKOS *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2022a; SOUSA *et al.*, 2022b). No caso da corrida em alta intensidade, a quantificação da potência (LAKOMY, 1984; SOUSA *et al.*, 2022a; SOUSA *et al.*, 2022b; ZEMKOVÁ e HAMAR, 2004), bem como seus desdobramentos em velocidade e força nesse gesto motor, são uma inovação para a avaliação e prescrição de esforço no esporte de rendimento, inclusive com propostas inéditas de nosso grupo de pesquisa utilizando sistemas atados e semi-atados capazes de avaliar, com elevada frequência de captura de sinais, as variáveis mecânicas (DA CRUZ *et al.*, 2020; GAMA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2011; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; PEREIRA *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2022a; SOUSA *et al.*,

2022b; SOUSA *et al.*, 2017; ZAGATTO *et al.*, 2017).

Sousa e colaboradores (2015) desenvolveram um aparato denominado de Carro de Resistência Variável (CRV), capaz de registrar de maneira direta a força, velocidade e por conseguinte, a potência de corrida de atletas corredores de provas rápidas (e.g. 100 -, 200 -, 400 - metros) submetidos ao *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) em situação de teste e re-teste. O protocolo RAST (ZACHAROGIANNIS *et al.*, 2004; ZAGATTO *et al.*, 2009) baseia-se na execução de seis *sprints* de 35 metros em máxima intensidade, com intervalo de 10 segundos de recuperação passiva entre eles, objetivando analisar as potências máxima, média, mínima e índice de fadiga em corrida. No estudo de Sousa *et al.* (2015), as variáveis potência, força média e trabalho total apresentaram uma queda acentuada durante o protocolo RAST, demonstrando o processo da fadiga. Destaca-se que, embora de maneira livre o RAST seja aplicado ao futebol de campo (ANDRADE *et al.*, 2015; AQUINO *et al.*, 2017; BROCHERIE *et al.*, 2015), esse protocolo executado sob a forma semi-atada ainda não foi adotado para avaliar futebolistas e nem executado na grama, respeitando as ocorrências das partidas de futebol.

Adicionalmente, e muito atreladas ao desempenho físico, variáveis fisiológicas como a frequência cardíaca e concentração de lactato sanguíneo durante os esforços de alta intensidade e fase de recuperação vêm sendo bastante investigadas (DA CRUZ *et al.*, 2020; FERGUSON *et al.*, 2018; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2014; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; MESSIAS *et al.*, 2018; MESSIAS *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2015; ROBERGS *et al.*, 2004). O lactato sanguíneo, um metabólito subproduto da glicólise antes associado simplesmente à fadiga, atualmente é considerado como um forte marcador de intensidade de exercício (HILL e LUPTON, 1924) e significativo para a manutenção dos esforços físicos como um substrato energético (BROOKS, 2018), especialmente aproveitado por músculos menos ativos durante o exercício (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020). Em mesmo caminho destaca-se a oxigenação muscular (COSTES *et al.*, 1996; MANCINI *et al.*, 1991), oriunda das trocas gasosas teciduais, que hoje pode ser estimada pela espectroscopia na região do infravermelho próximo (*Near-Infrared Spectroscopy* - NIRS), inclusive por sistema *wireless*. Essa dinâmica fisiológica apresenta extrema importância para a realização do exercício e recuperação dos esforços (COSTES *et al.*, 1996; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; OSAWA *et al.*, 2017; TANAKA *et al.*, 2018). Ainda, recentemente, foi observado que essa variável apresenta

características de limiares semelhantes ao ponto de compensação respiratória, fenômeno esse que é caracterizado pelo momento em que se perde o equilíbrio ácido-base durante um exercício incremental (YOGEV *et al.*, 2022). Desse modo, buscar entender como ocorre a redistribuição de oxigênio ( $O_2$ ) entre as musculaturas mais e menos ativas durante um determinado esforço (LEGRAND *et al.*, 2007; TURNER *et al.*, 2013) pode ser de grande importância para os avanços frente aos estudos que buscam investigar o desempenho físico (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; PERREY, 2022; RICHARD e BILLAUT, 2018).

Como propostas para melhorar o desempenho de atletas, as atividades que precedem os movimentos específicos nas sessões de treinamento ou competições (aquecimento) também têm sido relatadas na literatura. Dependendo da forma como realizado, esse importante momento pode ir ao encontro do rendimento máximo ou até mesmo atrapalhar a *performance* (BISHOP, 2003). Uma estratégia que vem sendo recentemente investigada é a pré-ativação (PA) de músculos inspiratórios (MI) que, é caracterizada por uma restrição conhecida do fluxo de ar inspirado pelo indivíduo. Embora possa ser adotada de diferentes maneiras e por distintos protocolos, procura, de modo geral, aprimorar variáveis mecânicas e reduzir a fadiga durante os esforços subsequentes (CIRINO *et al.*, 2021; HARTZ *et al.*, 2017; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; MCBRIDE *et al.*, 2005; ÖZDAL, 2016). Nesse caso, atividades motoras acionando os MI são realizadas com dispositivos respiratórios, geralmente com a intensidade de esforço imposta pela restrição de ar tendo por base percentuais da pressão inspiratória máxima individual ( $PI_{max}$ ), medida essa equivalente a maior força inspiratória que o indivíduo é capaz de realizar em uma única inspiração, a partir do volume residual pulmonar (OHYA *et al.*, 2016). Dentro uma gama de restrições de fluxo de ar investigadas pela literatura científica, a restrição equivalente a 40% da  $PI_{max}$  demonstrou resultados interessantes diante diversas atividades (CIRINO *et al.*, 2021; MANCHADO-GAOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022). Além disso, estudos têm reportado efeitos positivos da PA de MI para a diminuição do tempo em provas de natação de 100m (WILSON *et al.*, 2014), acréscimo da força muscular inspiratória (AREND *et al.*, 2016; ÖZDAL, 2016; WILSON *et al.*, 2014), diminuição da sensação de cansaço em corrida intensa intervalada (TONG e FU, 2006), aumento de valores médios para força, velocidade e potência de corrida (MAROSTEGAN *et al.*, 2022), bem como aumento no número de conexões entre as variáveis investigadas por modelo de redes

complexas (CIRINO *et al.*, 2021; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022) quando a PA de MI é empregada.

A base fisiológica que tem fortalecido a ideia da pré-ativação da musculatura inspiratória previamente a esforços de alta intensidade está relacionada à diminuição da dispneia ao longo do incremento de intensidades de exercício (LIN *et al.*, 2007; TONG e FU, 2006), retardando o desencadeamento da fadiga muscular inspiratória e do mecanismo metaborreflexo (GUENETTE e SHEEL, 2007; HAJGHANBARI *et al.*, 2013), que será melhor explicado posteriormente. Além da funcionalidade gerada pelo aquecimento específico inspiratório, a modificação da resposta neural e o aumento do fornecimento de oxigênio para músculos exigidos especificamente pelo gesto motor do exercício podem contribuir para a sua função mais adequada e desempenho contrátil (ÖZDAL, 2016), o que justifica a maior contratilidade e menor sobrecarga para grupos musculares durante o esforço, tais quais os membros inferiores, no caso da corrida. A diminuição do fluxo sanguíneo periférico não é a causa, mas a consequência, da falta de O<sub>2</sub> na musculatura diafragmática, com o trabalho exacerbado do diafragma sendo gerado e a tentativa de suprir a redistribuição do fluxo sanguíneo para os membros inferiores (DARQUES *et al.*, 1998; HARMS *et al.*, 2000; ST CROIX *et al.*, 2000). Portanto, em esforços de alta intensidade a competição de demanda gerada entre esses músculos e os exigidos na locomoção/exercício, pode promover a vasoconstrição periférica e redução do fluxo sanguíneo da musculatura esquelética, com importantes impactos negativos para o desempenho físico (MAEDA *et al.*, 1997; ST CROIX *et al.*, 2000). Johnson *et al.* (1993) e Dempsey *et al.* (2006) observaram que, no processo de sinalização da fadiga, o diafragma contribui com a maior produção de metabólitos, acionando a descarga da via III e IV aferente do frênico, fenômeno conhecido como metaborreflexo.

Apesar da literatura sinalizar os impactos positivos da PA de MI para atividade subsequente (BARNES e LUDGE, 2021; LIN *et al.*, 2007; WILSON *et al.*, 2014), essa estratégia ainda não foi utilizada para investigar a possível potencialização do rendimento de jogadores de futebol, os quais necessitam realizar esforços repetidos de alta intensidade em momentos específicos. Entretanto, para que pesquisas dessa natureza sejam realizadas com robustez metodológica e levando em consideração o conjunto de fatores/respostas relacionados a atividade física (MITCHELL *et al.*, 2014; NOAKES, 2012), há necessidade de análises mais adequadas que relacionem todos os fatores envolvidos ao esforço físico para melhor identificar os efeitos da PA de MI. Nesse sentido, a aproximação das Ciências do Esporte à Computação pode agregar significativo avanço na fronteira do conhecimento,

especialmente para a compreensão de fenômenos associados ao desempenho esportivo. A análise de redes complexas tem sido fortemente utilizada no âmbito biológico e vem demonstrando resultados interessantes para diversas atividades relacionadas ao organismo humano (BASHAN *et al.*, 2012; BREDÁ *et al.*, 2022; CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020; JEONG *et al.*, 2001; MA'AYAN, 2011; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). Esse tipo de abordagem, possibilita uma análise integrativa de parâmetros relacionados ao exercício físico, através de diversas métricas de centralidade que objetivam analisar a topologia das redes complexas. As métricas de centralidade mais usuais dentro do contexto de desempenho esportivo são *Degree*, *Eigenvector*, *Pagerank* e *Betweenness*. A métrica *Degree* é uma medida direta, que representa o número de conexões que um nó possui dentro de uma determinada rede complexa (CHEN *et al.*, 2012; CIRINO *et al.*, 2021). Por outro lado, a métrica de centralidade *Eigenvector* destaca os nós considerando a importância das conexões que esse possui com seus “vizinhos” (BONACICH, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022). A métrica *Pagerank*, conhecida por ser utilizada como uma ferramenta de pesquisa do *Google*, reporta a influência de um nó com base nas conexões que ele estabelece (BREDÁ *et al.*, 2022; GOBATTO *et al.*, 2020). Por fim, a métrica *Betweenness* destaca a importância de um nó de acordo com a possibilidade de atuar como intermediário entre todos os nós (ALSAYED e HIGHAM, 2015).

Embora a maior inserção da análise de redes complexas para estudar o contexto esportivo, a maioria dos estudos que investigaram parâmetros fisiológicos, antropométricos e de desempenho frente a um exercício específico, consideraram apenas o cenário geral do protocolo investigado (CIRINO *et al.*, 2021; COTTA *et al.*, 2013; GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; PASSOS *et al.*, 2011; PEREIRA-FERRERO *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2019), ou seja não respeitando os efeitos de fadiga ao longo da atividade investigada, como por exemplo um exercício de *sprints* repetidos. Com isso, considerando a natureza de *sprints* repetidos, julgamos interessante analisar de forma integrativa os parâmetros fisiológicos, mecânicos e antropométricos, dentro do cenário de cada *sprint* e cada intervalo que compõe o protocolo RAST, e não apenas de seu contexto geral. Optamos por introduzir os parâmetros antropométricos por conta de sua importância dentro dessa análise em estudos anteriores (CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). Portanto, o modelo de redes complexas, poderia auxiliar na compreensão, não apenas na

natureza dinâmica que caracteriza o protocolo RAST, mas também dos impactos da PA de MI sobre os parâmetros investigados.

## 1.1 OBJETIVOS

De modo geral, a presente tese de doutorado objetivou avaliar a força, velocidade e potência de jogadores de futebol em teste semi-atado de *sprints* repetidos realizado no próprio campo de futebol, investigando os possíveis efeitos da pré-ativação de músculos inspiratórios sobre a potencialização do desempenho desses atletas. Ainda, por propor a captura de muitos sinais mecânicos e fisiológicos obtidos por tecnologias vestíveis, foi utilizado o modelo computacional de redes complexas capaz de tratar os dados a ponto de sinalizar os possíveis ajustes associados aos efeitos do método da pré-ativação dos músculos inspiratórios, como espera-se observar.

Especificamente, objetivou-se:

- I) Investigar os possíveis efeitos da PA de MI sobre a força, velocidade e potência em *sprints* máximos repetidos (por meio do Running-based Anaerobic Sprint Test – RAST) com Carro de Resistência Variável, executados em campo de futebol;
- II) Estudar os efeitos da PA de MI sobre respostas fisiológicas dos atletas, como a frequência cardíaca, oxigenação em músculos mais e menos ativos para a tarefa e lactacidemia, durante e *sprints* repetidos de corrida semi-atada utilizando o CRV;
- III) Comparar as respostas fisiológicas obtidas nos testes de *sprints* repetidos executados com e sem a restrição do fluxo de ar inspirado por meio da pré-ativação dos músculos inspiratórios.
- IV) Analisar, de forma integrativa, os dados mecânicos e fisiológicos adquiridos em dois diferentes cenários (i.e., com e sem a restrição do fluxo de ar inspirado durante pré-ativação dos músculos inspiratórios), buscando compreender os reais motivos do aumento (ou não) do desempenho esportivo por tal estratégia, bem como as inter-relações dos sinais e parâmetros analisados com o rendimento.
- V) Analisar, através das redes complexas, a interação entre os parâmetros mecânicos, fisiológicos e antropométricos durante a progressão dos esforços e intervalos no teste de *sprints* repetidos. Avaliar a relação entre esses parâmetros após a aplicação do protocolo da PA de MI, investigando os ajustes no comportamento dos grafos ao longo dos *sprints* e intervalos.

## 1.2. HIPÓTESES

Como hipóteses levantadas para a presente tese, elencamos que:

- I) Será possível observar diferença quando da oxigenação muscular do Bíceps braquial com o Vasto lateral, tanto durante o protocolo RAST (*sprints* e intervalos) como após a sua execução.
- II) A oxigenação do Bíceps braquial apresentará uma queda acentuada quando comparado ao Vasto lateral, ao longo do protocolo RAST.
- III) A utilização da PA de MI com carga inspiratória equivalente a 40% da  $PI_{max}$  (PA40) será capaz de promover maiores níveis de força, velocidade e consequentemente potência (mínima, média e máxima) em teste semi-atado de *sprints* repetidos de alta intensidade;
- IV) Com relação as variações dos parâmetros fisiológicos (oxigenação muscular, lactato sanguíneo e frequência cardíaca) essas serão atenuadas quando da adoção da PA de MI com carga inspiratória de 40% da  $PI_{max}$ .
- V) As respostas positivas, tanto mecânicas como fisiológicas, promovidas pela PA de MI estarão relacionadas à redistribuição de fluxo de  $O_2$  para musculatura mais acionada na corrida (membros inferiores), com menores níveis de  $O_2$  ofertados para a musculatura menos ativa (membros superiores) no esforço;
- VI) A topografia dos grafos gerados por modelo de redes complexas para ambos cenários, sem e com a pré-ativação de músculos inspiratórios (SPA e PA40, respectivamente), bem como as métricas de centralidade, *Degree* e *Eigenvector*, apresentarão características respectivas a cada cenário (SPA e PA40). Ainda, hipotetizamos que mudanças na configuração das redes será identificada quando da progressão de esforços repetidos e intervalos, bem como que a PA de MI será capaz de alterar os grafos e as variáveis destacadas como significantes para cada momento.

Por meio de sua execução, a presente tese de doutorado pretendeu avançar o conhecimento sobre a pré-ativação de músculos inspiratórios e os possíveis impactos dessa estratégia sobre o desempenho em múltiplos *sprints* de alta intensidade, curta duração e intervalo de recuperação. Em adição, compõe a expectativa da tese a possibilidade de compreender, de fato, se os potenciais efeitos positivos dessa estratégia estão relacionados à redistribuição de fluxo de  $O_2$  da musculatura menos exigida no exercício para os músculos

mais ativos na tarefa. Devido à aproximação da ciência à prática esportiva fomentada por meio dessa proposta, o nosso estudo poderá agregar conhecimento para aplicações potencialmente capazes de elevar o desempenho esportivo, com especial atenção ao futebol.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Futebol e suas características

Futebol é uma modalidade complexa, a qual requer energia provinda de ambos sistemas energéticos (aeróbio e anaeróbio). Desse modo, para que o atleta esteja apto a realizar todas as ações que caracterizam jogadas decisivas (*sprints* curtos, saltos, disputas pela posse de bola e finalizações), é necessário possuir um eficiente componente anaeróbio que combina força, velocidade e potência (SLIMANI *et al.*, 2016; STØLEN *et al.*, 2005). Além disso, para manter essas atividades de alta intensidade ao longo da partida sem que exista uma redução abrupta de desempenho, o jogador também necessita de um componente aeróbio que o auxilie nos períodos de recuperação entre esses esforços. Complementarmente, a qualidade do sistema cardiovascular é absolutamente importante no contexto do condicionamento físico para atletas de futebol (STØLEN *et al.*, 2005). Nesse sentido, a capacidade aeróbia bem desenvolvida contribui para que os atletas dessa modalidade mantenham as ações de alta intensidade dentro da partida de futebol, acelerando o processo de recuperação, bem como mantendo bom desempenho até o final da partida.

Estudos anteriores examinaram o desempenho físico, especialmente em atividades de alta intensidade, em partidas de futebol (BARNES *et al.*, 2014; CARLING *et al.*, 2012; DI SALVO *et al.*, 2010). Embora essas análises tenham sido influenciadas por diferentes variáveis, como local da partida (DI SALVO *et al.*, 2010) e nível competitivo dos jogadores (RAMPININI *et al.*, 2009), a capacidade dos atletas de futebol de repetir ações de alta intensidade foi considerada um fator chave para o desempenho no futebol de elite (RAMPININI *et al.*, 2009; STØLEN *et al.*, 2005). De fato, investigando atletas de elite dessa modalidade, CARLING *et al.* (2012) observaram que durante as partidas, mais ações de alta intensidade, intercaladas com tempos curtos, foram desempenhadas por jogadores que apresentaram decréscimos mais atenuados de desempenho em um teste que avaliou a habilidade de *sprints* repetidos (*Repeated-sprint ability* – RSA). De acordo com a literatura, a RSA é um dos mais importantes preditores do desempenho físico de atletas de futebol

(SLIMANI e NIKOLAIDIS, 2017). Além disso, essa habilidade (como denominada no termo em inglês) pode ser definida como a capacidade de realizar *sprints* repetidos com recuperação mínima (GIRARD *et al.*, 2011; STOJANOVIC *et al.*, 2012) ou a capacidade de produzir o melhor desempenho de tempo de *sprint* médio possível ao longo de uma série de *sprints*, separados por curtos períodos de recuperação (BISHOP *et al.*, 2011).

## 2.2. Metabolismo energético no contexto dos *sprints* repetidos

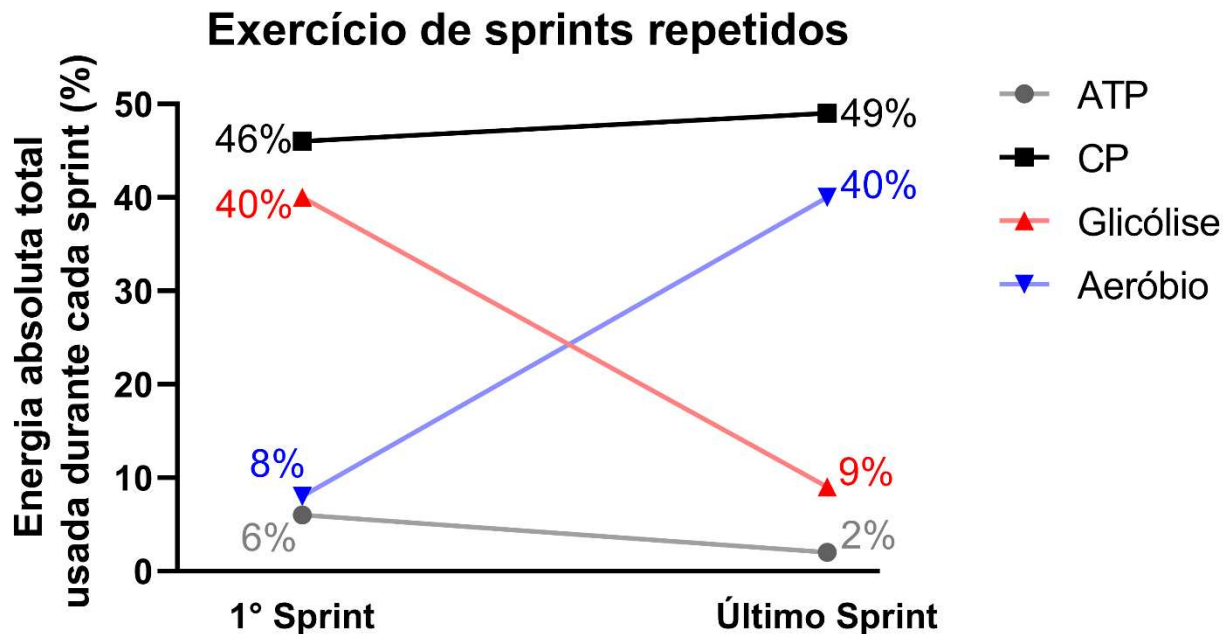
Atletas de diversas modalidades coletivas, assim como o futebol, precisam desempenhar múltiplos *sprints* de alta intensidade com curtos intervalos de descanso ao longo das partidas (GIRARD *et al.*, 2011). Durante uma partida, a somatória da distância percorrida em todos os *sprints* correspondem de 1 a 11% do total percorrido (MOHR *et al.*, 2003; STØLEN *et al.*, 2005). Em consonância com esse achado, BARNES *et al.* (2014) destacaram que a distância percorrida em alta intensidade durante uma partida apresentou um aumento de  $890 \pm 299\text{m}$  (~8,33% correspondente a distância total percorrida) para  $1151 \pm 337\text{m}$  (~10,58% correspondente a distância total percorrida) quando comparadas duas temporadas do campeonato Inglês *Premier League* (2006-07 vs 2012-13). Os dados obtidos por esses autores sugerem que as atividades de alta intensidades durante as partidas de futebol estão se tornando mais recorrentes. Ademais, por se tratarem de esforços de alta intensidade, demandam elevada energia de pronta-ação, que são provindas de fontes anaeróbias (sistema de fosfagênio e glicolítico) (AGUIAR *et al.*, 2015). Por outro lado, por ser o futebol uma modalidade caracterizada por partidas de longa duração, também há a necessidade de um sistema que auxilie na recuperação desses indivíduos (sistema aeróbio) (DELESTRAT *et al.*, 2018; TOMLIN e WENGER, 2001). Diante disso, se torna válido a importância das diferentes fontes energéticas para o desenvolvimento de um bom desempenho em atividades de alta intensidade, executadas de maneira repetida.

A capacidade de ressintetizar fosfocreatina foi considerada como um importante processo que auxilia na melhora do desempenho em exercícios de *sprints* repetidos (BOGDANIS *et al.*, 1996; BOGDANIS *et al.*, 1995), visto que a ressíntese dessa fonte de energia representa uma reserva para refosforilação imediata da adenosina trifosfato (ATP) (HULTMAN e SJÖHOLM, 1983). Consequentemente, a fosfocreatina possui um importante papel durante a execução de *sprints* repetidos, o qual é caracterizado pela alta taxa de uso e ressíntese de ATP (BOGDANIS *et al.*, 1995; DAWSON *et al.*, 1997; GAITANOS *et al.*, 1993; TOMLIN e WENGER, 2001). Entretanto, levando em consideração o tempo exigido para a

ressíntese completa dos estoques de fosfocreatina (aproximadamente 5 minutos em recuperação passiva) (BOGDANIS *et al.*, 1995; TOMLIN e WENGER, 2001), esse processo acaba sendo realizado de forma incompleta durante esforços de elevada intensidade, intercalados por curto espaço temporal, já que os períodos de intervalo, nesses casos, geralmente são compreendidos por menos de 60 segundos (BISHOP *et al.*, 2011; GIRARD *et al.*, 2011). Consequentemente, os estoques de fosfocreatina durante esses esforços, estarão parcialmente restaurados (BOGDANIS *et al.*, 1996; DAWSON *et al.*, 1997), acarretando na queda de desempenho para as próximas execuções (GAITANOS *et al.*, 1993; YOSHIDA e WATARI, 1993).

Seguindo essa linha de raciocínio, melhorar a velocidade de ressíntese de fosfocreatina está diretamente relacionado a potencializar o desempenho em *sprints* repetidos (MENDEZ-VILLANUEVA *et al.*, 2008). Ademais, atrelado ao fato de que o desenvolvimento da potência e a ressíntese de fosfocreatina seguem cursos de tempo semelhantes, autores propuseram que o desempenho durante esse tipo de esforço pode se tornar mais limitado de acordo com a disponibilidade de fosfocreatina, ou seja, uma queda na contribuição da fosfocreatina para a produção total de ATP a cada *sprint* (BOGDANIS *et al.*, 1995; MCGAWLEY e BISHOP, 2008). Gaitanos *et al.* (1993) observaram que, em esforços repetidos de alta intensidade (10 *sprints* de 6s com 30s de descanso), o fornecimento de energia por parte da fosfocreatina no último *sprint* apresentou uma significativa redução em relação ao primeiro *sprint*, equivalente a 19 mmol/kg de músculo seco (dm – *dry muscle*), já que no primeiro *sprint* foram utilizados 44,3 mmol/kg dm, e no último *sprint* 25,3 mmol/kg dm.

Embora exista a presença de uma queda no fornecimento de energia por parte da fosfocreatina, autores sugeriram que tal fonte de energia, por mais que reduzida, ainda é responsável pelo fornecimento da maior parcela, quando comparada com demais fontes energéticas durante um exercício de *sprints* repetidos (BUCHHEIT *et al.*, 2009; HOLMYARD *et al.*, 1988) (**Figura 1**).



**Figura 1.** Predominância na utilização das fontes de energia absoluta durante o primeiro e o último *sprint* (5º *sprint*) executados de modo repetido (BUCHHEIT *et al.*, 2009; HOLMYARD *et al.*, 1988). (Imagem adaptada de GIRARD *et al.* (2011)). **ATP** – trifosfato de adenosina; **CP** – fosfocreatina.

A importância da fosfocreatina para a realização de *sprints* repetidos foi observada por Dawson *et al.* (1997). Os autores verificaram uma utilização de 56 mmol/kg dm de fosfocreatina (equivalente a 72,6% do valor de linha de base) após a realização de um exercício de *sprints* repetidos composto por 5 *sprints* de 6 segundos com 30 segundos de intervalo (77,1 mmol/kg dm em repouso e 21,1 mmol/kg dm logo após o exercício), enquanto, durante apenas um esforço de 6 segundos, houve uma depleção correspondente a 36,1 mmol/kg dm de fosfocreatina (81 mmol/kg dm em repouso e 44,9 mmol/kg dm logo após o esforço), sendo essa uma queda equivalente a 44,6% do valor de linha de base. Esses achados sugerem que existe uma alta demanda dessa fonte energética para realização de sucessivos *sprints* e que, ao longo do protocolo, a participação do metabolismo glicolítico e aeróbio se torna mais essencial para a realização da ressíntese dos estoques de ATP-CP (**Figura 1**) (ULUPINAR *et al.*, 2021).

Utilizando quatro diferentes modelos de exercício de *sprints* repetidos, Ulupinar *et al.* (2021) estudaram a participação dos metabolismos anaeróbio (sistema de fosfagênio + glicolítico) e aeróbio. Os protocolos investigados foram:

- (1) 20 × 15 metros com intervalos de descanso de 30 segundos (15<sub>m</sub> 30<sub>seg</sub>)
- (2) 20 × 15 metros razão esforço-pausa 1:5 (15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub>)
- (3) 10 × 30 metros com intervalos de descanso de 30 segundos (30<sub>m</sub> 30<sub>seg</sub>)
- (4) 10 × 30 metros com 1:5 razão esforço-pausa (30<sub>m</sub> 22<sub>seg</sub>)

os autores observaram que durante a realização desses protocolos, a contribuição, em quilo jaules (kJ) por minuto, do sistema de fosfagênio foi estatisticamente superior nos que adotavam a razão esforço-pausa de 1:5 (15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub>: 61,0 ± 6,1 kJ/min; 30<sub>m</sub>22<sub>seg</sub>: 63,0 ± 6,9 kJ/min), quando comparado com os demais (15<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 44,3 ± 6,6 kJ/min; 30<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 54,05 ± 8,9 kJ/min). Além disso, também foi observado nos mesmos protocolos (razão esforço-pausa 1:5) que o consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) nos intervalos era superior nos 15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub>: 2,6 ± 0,2 L/min e 30<sub>m</sub>22<sub>seg</sub>: 2,5 ± 0,3 L/min ao VO<sub>2</sub> nas demais propostas (15<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 2,0 ± 0,3 L/min; 30<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 2,3 ± 0,4 L/min). Tais achados indicaram que os estoques de fosfocreatina foram reabastecidos na taxa mais alta no período inicial da recuperação (~15 – 20 s), e que essa taxa de síntese diminuiu, devido à redução no VO<sub>2</sub> com passar do tempo (intervalos de 30s). Corroborando com esses achados, foi observado que o sistema aeróbio também apresentou uma contribuição mais elevada nos protocolos de 15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub> (55,2 ± 5,6 kJ/min) e 30<sub>m</sub>22<sub>seg</sub> (52,7 ± 6,1 kJ/min) em relação aos demais (15<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 43,1 ± 6,2 kJ/min; 30<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 46,4 ± 7,8 kJ/min). Por outro lado, opondo-se aos resultados até então observados, o sistema glicolítico apresentou uma maior contribuição no protocolo 30<sub>m</sub>22<sub>seg</sub> (17,8 ± 4,8 kJ/min), em relação aos demais (15<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 3,3 ± 1,3 kJ/min; 15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub>: 12,6 ± 3,6 kJ/min; 30<sub>m</sub>30<sub>seg</sub>: 11,6 ± 3,4 kJ/min). Esse resultado, sugere que a participação do sistema glicolítico é dependente das características que compõe um protocolo de *sprints* repetidos, principalmente àquelas relacionadas a intensidade de esforço (DE POLI *et al.*, 2021; ROBERGS *et al.*, 2004), tais como a distância dos esforços, uma vez que o protocolo de 15<sub>m</sub>12<sub>seg</sub>, o qual possui a mesma razão esforço-pausa que o protocolo 30<sub>m</sub>22<sub>seg</sub>, apresentou valores mais baixos de contribuição do sistema glicolítico. Isso sugere que os esforços de 15 metros foram menos intensos, comparados com os de 30 metros, ao ponto de demandar menor quantidade de energia desse sistema.

Seguindo essa linha de raciocínio, nota-se o importante papel desempenhado pela fosfocreatina para o fornecimento de energia durante esforços repetidos. Contudo, como os estoques de fosfocreatina são altamente reduzidos em apenas um exercício de alta intensidade, o sistema glicolítico torna-se uma fonte crucial de energia quando a duração do

exercício é prolongada ou repetida (BOGDANIS *et al.*, 1995; DAWSON *et al.*, 1997; GAITANOS *et al.*, 1993). Adicionalmente, o desenvolvimento de potência de corrida, está intimamente relacionado ao sistema anaeróbio de fornecimento de energia (sistema fosfagênio + glicolítico), sendo esse de extrema relevância no desempenho no primeiro *sprint* (GAITANOS *et al.*, 1993; MENDEZ-VILLANUEVA *et al.*, 2008). Contudo, a dependência de vias não-oxidativas para a ressíntese de ATP prejudica a produção de força muscular (WESTERBLAD *et al.*, 2002; WEYAND *et al.*, 2006) por conta da acidose metabólica, ocasionada pela elevação na concentração de  $H^+$  presentes na corrente sanguínea (AMENT e VERKERKE, 2009; ROBERGS *et al.*, 2004), acarretando em uma queda abrupta de desempenho. MENDEZ-VILLANUEVA *et al.* (2008), observaram que indivíduos que possuíam maiores estoques de energia anaeróbia, apresentavam maiores quedas de desempenho durante *sprints* repetidos. Esse resultado pode estar atrelado ao fato de que ao final do exercício, a ressíntese de ATP estava sendo executada, majoritariamente, pela degradação de fosfocreatina e metabolismo glicolítico (GAITANOS *et al.*, 1993). Diante disso, estudos observaram que diversas adaptações fisiológicas relacionadas a uma dependência do metabolismo aeróbio para ressíntese de ATP (e.g., maior capacidade respiratória mitocondrial, taxa de re-oxigenação muscular pós-*sprint* acelerada, cinética de consumo de oxigênio mais rápida, limiar anaeróbio mais alto e  $VO_{2max}$  mais elevado), foram associados a uma capacidade aprimorada de resistir a fadiga durante *sprints* repetidos (BISHOP *et al.*, 2004; BISHOP e SPENCER, 2004; BUCHHEIT e UFLAND, 2011; DUPONT *et al.*, 2005; RAMPININI *et al.*, 2010).

Ao se destacar a importante participação do metabolismo aeróbio durante a execução de um exercício de *sprints* repetidos, ressalvas devem ser levantadas. À exemplo, Bishop e Edge (2006) observaram que indivíduos com maior  $VO_{2max}$  possuem uma capacidade mais elevada de resistir à fadiga durante esforços repetidos, especialmente durante os últimos estágios do teste (MCGAWLEY e BISHOP, 2008), o que sugere uma maior contribuição desse metabolismo na habilidade de *sprint* repetido. Por outro lado, autores também observaram que não há uma relação linear entre o  $VO_{2max}$  e os índices de fadiga de *sprints* repetidos (BISHOP *et al.*, 2003; HOFFMAN, 1997), indicando que a melhora no desempenho em um exercício com tais característica não será unicamente determinada pelo  $VO_{2max}$ . Desse modo, considerando a sua importância nesse exercício, seria aconselhável o desenvolvimento de um  $VO_{2max}$  “ideal”, em vez de um máximo.

Quando correlacionados ( $VO_{2max}$  e índice de fadiga) alguns autores encontraram significantes resultados entre esses parâmetros (BISHOP e EDGE, 2006; BISHOP e SPENCER, 2004; BROWN *et al.*, 2007; RAMPININI *et al.*, 2009), enquanto o mesmo não foi observado em outros estudos (AZIZ *et al.*, 2007; BISHOP *et al.*, 2003). Essa dicotomia envolvendo a correlação entre o  $VO_{2max}$  e índice de fadiga, pode estar atrelada a fatores que envolvem o nível de atividade física dos avaliados, assim como a heterogeneidade amostral. Além disso, também é sugerido que a ausência de correlações mais fortes entre  $VO_{2max}$  e a habilidade de *sprint* repetido pode estar relacionada a capacidade do sistema cardiorrespiratório e a função muscular (e.g., produção/acúmulo de metabólitos), fatores limitantes do  $VO_{2max}$  e da habilidade de *sprint* repetido (BASSETT e HOWLEY, 2000), respectivamente (GIRARD *et al.*, 2011). Essa sugestão é suportada pela observação de Thomas *et al.* (2004), os quais observaram que os índices de fadiga durante um exercício de *sprints* repetidos foram inversamente correlacionados com a respiração mitocondrial estimulada por ADP máxima medida diretamente nas fibras musculares.

Levando em consideração a participação periférica (músculos mais ativos) durante um exercício de *sprints* repetidos, a utilização da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (Near-Infrared Spectroscopy – NIRS) se torna de grande valia para estudos que envolvem a investigação desse tipo de esforço. Investigações apontaram a constância nos valores de desoxihemoglobina (hemoglobina não carregada de  $O_2$ ) durante um exercício de *sprints* repetidos, atingindo valores elevados e se mantendo ao longo da repetição dos esforços. Isso pode indicar a preservada capacidade dos indivíduos de usar o oxigênio disponível durante o exercício de *sprints* repetidos (GIRARD *et al.*, 2011; RACINAIS *et al.*, 2007; SMITH e BILLAUT, 2010). Adicionalmente, o parâmetro de re-oxigenação da musculatura durante os períodos de recuperação entre os *sprints* é um importante fator limitante para a habilidade de *sprints* repetidos, apontamento esse sugerido por Buchheit e Ufland (2011), os quais observaram uma forte correlação entre a melhora desse parâmetro e o índice de decaimento após um programa de treinamento de *endurance*.

### **2.2.1 Running-based Anaerobic Sprint Test: dos primeiros estudos a atualidade**

O protocolo *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) proposto por Zacharogiannis *et al.* (2004) e validado por Zagatto e colaboradores (2009), foi desenvolvido com o intuito de auxiliar na avaliação da potência de corrida, uma vez que, até então, a

potência era mensurada diretamente em um ciclo ergômetro (BAR-OR, 1987), que por muitas vezes não respeita a especificidade motora de uma determinada modalidade esportiva.

Conforme sinalizado no tópico anterior, durante os protocolos de esforços repetidos, existe uma dependência integrativa entre os diferentes metabolismos. A predominância do sistema fosfagênio é significativamente relevante ao longo do protocolo, sendo a maior porcentagem de participação. Adicionalmente, o sistema glicolítico também possui uma importante participação, como um dos responsáveis por auxiliar o desenvolvimento de potência durante o esforço. Por fim, embora a sua participação não esteja, percentualmente, tão relacionada ao esforço, o sistema aeróbio possui extrema relevância nos momentos de recuperação (intervalos), onde um melhor componente aeróbio reflete na mais rápida e adequada recuperação do organismo para o esforço subsequente. Ademais, a participação desses metabolismos é dependente das características dos esforços, tais como a intensidade, o volume e o tempo de descanso, por exemplo (GIRARD *et al.*, 2011; ULUPINAR *et al.*, 2021). Milioni *et al.* (2017) observaram que o metabolismo anaeróbio (sistema fosfagênio e glicolítico) representa uma participação de aproximadamente 62% durante o RAST, quando comparado com o sistema aeróbio (~38%). Utilizando o mesmo método de análise, Beneke *et al.* (2002) observaram uma participação equivalente a 18% do metabolismo aeróbio durante um teste de Wingate (30 segundos), aproximadamente duas vezes menor do que os achados de Milioni *et al.* (2017). Embora sejam exercícios que possuem a biomecânica diferente, os achados de Milioni *et al.* (2017) sugerem que a participação do metabolismo aeróbio é maior quando os esforços são separados por intervalos de descanso, mesmo sendo um intervalo curto (i.e., 10 segundos). Desse modo, se torna relevante a atenção destinada as características que compõe o protocolo de *sprints* repetidos no momento da avaliação.

Concordando com o mencionado anteriormente, a literatura científica é repleta de estudos que investigaram protocolos de esforços repetidos, com o intuito de estudar o comportamento das variáveis mecânicas e fisiológicas frente a exercícios dessa natureza. Contudo, existe uma divergência em relação a estrutura utilizada por esses estudos [e.g., 6x4 segundos com 21s de intervalo (BUCHHEIT *et al.*, 2009); 6x30 metros com 30s de intervalo (MUJIKI *et al.*, 2009); 10x10s com 30s de intervalo (SMITH e BILLAUT, 2010); 12x20m com 20s de intervalo (FORTIN e BILLAUT, 2019)]. Desse modo, esses protocolos não possuem a validação e confiabilidade de seus resultados referentes a avaliação da

potência desenvolvida, uma vez que não passaram pelo processo de validação construtiva, onde os indivíduos são avaliados em uma situação de teste e re-teste para que o protocolo estudado não apresente divergências quanto aos seus resultados. Diante disso, Zagatto *et al.* (2009), realizaram a validação do protocolo RAST (ZACHAROGLIANNIS *et al.*, 2004), o qual também está categorizado como um protocolo que avalia a habilidade de corrida repetida, possibilitando a análise da potência de corrida dos avaliados de forma indireta (ANDRADE *et al.*, 2015; AQUINO *et al.*, 2017; CIPRYAN e GAJDA, 2011; DA CRUZ *et al.*, 2020; KEIR *et al.*, 2013; MILIONI *et al.*, 2017; SALES *et al.*, 2018). Permitindo a comparação fidedigna entre indivíduos de diferentes níveis de treinamento e diferentes modalidades, uma vez que o mesmo possui a confiabilidade de sua utilização em uma situação de teste e re-teste (ZAGATTO *et al.*, 2009).

O RAST é composto por seis *sprints* de 35 metros realizados em intensidade máxima, com intervalos de dez segundos entre cada *sprint*. O protocolo calcula a potência média de cada *sprint*, obtendo a velocidade média de cada um deles a partir de um quociente entre o deslocamento e o tempo. A partir disso uma segunda derivada do deslocamento é utilizada obtendo a aceleração média para cada uma das corridas. Após isso, conhecendo a massa do indivíduo a força realizada para cada corrida é calculada. Em síntese, a **Equação 1** simplifica os cálculos utilizados para obtenção das potências médias de cada corrida.

$$\text{Potência} = (\text{massa} \times \text{distância}^2) / \text{tempo}^3 \text{ (Equação 1)}$$

Zagatto *et al.* (2009) validaram o RAST em forma de corrida livre, o que por sua vez, impossibilita a análise direta da potência desenvolvida durante o exercício. Dado que, a variável força, utilizada para o cálculo da potência, era obtida a partir da aceleração e da massa corporal total do atleta (força peso), e não pela força de fato desempenhada durante a corrida (força horizontal). Para implementar esse aspecto, com a inovação em utilizar um sistema que possibilita a análise direta dessas variáveis (e.g., força e velocidade) (CHEETHAM *et al.*, 1985; LAKOMY, 1984), SOUSA *et al.* (2015), desenvolveram o carro de resistência variável (CRV), o qual é capaz de impor uma resistência ajustável, a partir de freios eletromagnéticos e, por meio de uma célula de carga, atada ao atleta por um cabo de aço, e um sensor de efeito hall, mensurar diretamente a força e a velocidade, respectivamente, durante cada *sprint* do protocolo RAST. Por conseguinte, podendo assim, calcular a potência de cada corrida.

O CRV desenvolvido por Sousa *et al.* (2015) representa anos de evolução relacionados às propostas para avaliar de maneira robusta e direta a potência, velocidade e a força de corrida de atletas, respeitando a especificidade do ambiente ao qual os mesmos estão habituados a treinar e competir. Para tornar isso possível, a avaliação da potência mecânica por meio da corrida atada (CA) teve seu início na década de oitenta, a partir de um grupo de pesquisadores da Universidade de Loughborough na Inglaterra (CHEETHAM *et al.*, 1985; LAKOMY, 1987). Cheetham *et al.* (1985) investigaram a validade e reprodutibilidade de um teste de 30 segundos de CA em velocidade máxima em uma esteira não motorizada (ENM), a qual possibilitava o ajuste da velocidade de acordo com o desempenho do atleta, respeitando assim, a sua aceleração e desaceleração durante o protocolo avaliativo. Nesse estudo eles puderam observar que a velocidade desenvolvida pelos atletas com características predominantes de treinamento de potência, era maior do que os atletas que realizavam treinamentos voltados para resistência de corrida. Visando melhorar o sistema da ENM, Lakomy (1987) conectou na haste oposta à qual o avaliado estava atado, um transdutor de força. Dessa forma, o autor conseguiu avaliar, além da velocidade do atleta, a força horizontal aplicada durante a corrida máxima. Permitindo realizar o cálculo da potência média a partir do produto da força e da velocidade de corrida. Posteriormente, demais autores fortaleceram as inferências de Lakomy para a realização desse método (BAKER *et al.*, 1993; FALK *et al.*, 1996; FUNATO *et al.*, 2001; SOUSA *et al.*, 2022a; SOUSA *et al.*, 2022b).

Embora a ENM tenha avançado significativamente o conhecimento em relação aos exercícios caracterizados pela CA, por contar com a possibilidade de avaliar diretamente a potência de corrida desenvolvida pelo indivíduo, a mesma acaba por não respeitar a realidade vivenciada por muitos atletas. Dado que, a velocidade desempenhada é maior em corrida livre do que em ENM (CHELLY e DENIS, 2001). Dessa forma, com o intuito de aproximar o ambiente em que o atleta está habituado a treinar e competir, com a avaliação física, Lima *et al.* (2011) desenvolveram um equipamento capaz de avaliar em campo a velocidade, força, e, por conseguinte, a potência de corrida desses atletas. Os pesquisadores desenvolveram um aparato que era fixado ao chão e em sua ponta continha um carretel de cabo de aço ao qual o atleta era atado a uma cinta e a partir do comando ele executava em maior velocidade possível em 120 metros de corrida. Esse estudo avançou significativamente os conhecimentos que nosso grupo possuía em relação a atividades atadas, por propor um sistema semi-atado. Anos após, Sousa *et al.* (2015) iniciaram o processo de elaboração e

desenvolvimento do CRV para as análises mais sensíveis das mesmas variáveis de interesse (i.e., força, velocidade e potência) e que possibilitava uma leve alteração na direção para testes realizados em pista de atletismo (SOUSA *et al.*, 2015).

Com a alta demanda de atenção destinada para as investigações que buscavam avaliar a potência de corrida, utilizando métodos de corrida com resistência, investigadores passaram a utilizar desse recurso para estudar treinamentos de corrida com resistência (ou atado), a fim de observar se o mesmo, melhora, ou não, o desempenho dos atletas (ALCARAZ *et al.*, 2009; PETRAKOS *et al.*, 2016). Dessa forma, Kawamori *et al.* (2014) realizaram um treinamento em dois grupos com diferentes resistências (30% = resistência pesada e 10% = resistência leve) durante oito semanas. Os autores tiveram como objetivo investigar se a imposição da resistência surtiria algum efeito em um *sprint* de 10 metros, com marcações de velocidade média nos 5 e nos 10 metros. Os avaliados realizaram um *sprint* antes e um após o período de treinamento, diante disso os autores observaram que os atletas que utilizaram a resistência de 30% em seus treinamentos aumentaram as suas velocidades de ambas marcações (5 e 10 metros), enquanto que, os atletas que utilizaram apenas 10% de resistência, demonstraram valores significativamente maiores apenas para a marcação de 10 metros.

Complementarmente, por se tratar de um esporte que consiste em diversos esforços máximos repetidos durante uma partida, além de ser decidido por um momento (i.e., gol) (BANGSBO *et al.*, 1991; MOHR *et al.*, 2003; SPENCER *et al.*, 2005), o futebol demanda elevadas capacidades e potências aeróbia/anaeróbia (BEKRIS *et al.*, 2021; JALILVAND *et al.*, 2019; KRAMER *et al.*, 2018; MCCORMICK *et al.*, 2015), com isso, maior atenção tem sido destinada a investigação dos possíveis efeitos dos treinamentos caracterizados por esforços atados ou com resistência (GIL *et al.*, 2018; LOTURCO *et al.*, 2017; MCMORROW *et al.*, 2019; SPINKS *et al.*, 2007).

Diante desse cenário, McMorrow *et al.* (2019), em um desenho experimental semelhante ao de Kawamori *et al.* (2014), realizaram um estudo que visava investigar a utilização de treinamento de *sprints* com resistência em atletas de futebol durante seis semanas. Os autores dividiram os indivíduos participantes em dois grupos, um dos grupos realizaria um treinamento utilizando uma resistência de 30% equivalente à sua massa corporal. Já o outro grupo realizaria o mesmo treinamento, contudo, sem a imposição de uma resistência. Um *sprint* máximo de 20 metros foi realizado antes e após a intervenção de

treinamento, com marcações de velocidade nos 5, 10 e 20 metros. Embora Kawamori *et al.* (2014) tenham observado que, com maior resistência melhor era o resultado frente a um *sprint* máximo, McMorro *et al.* (2019) observaram que em atletas de futebol não houve diferença significativa entre todas as marcações de velocidade durante o *sprint* máximo de 20 metros. Analogamente, em uma meta-análise realizada por Alcaraz *et al.* (2018), os autores observaram que, dentro de uma gama de estudo que propuseram investigar o efeito do treinamento de *sprint* resistido, mostrou benefícios nos primeiros momentos do *sprint* (i.e., fase de aceleração), no entanto, não houve efeito significativo resultante do treinamento com *sprint* resistido para todo o *sprint*.

Por fim, embora a literatura aponte divergências dos resultados frente ao treinamento de *sprint* com resistência e/ou atados, a importância de tal característica (i.e., esforço atado) para a avaliação dos atletas ainda é indispensável, uma vez que são análises robustas e precisas de variáveis de suma importância para diversas modalidades esportivas, assim com indivíduos ativos (BUTTS *et al.*, 1991; CONLEY *et al.*, 1991; DA CRUZ *et al.*, 2020; GAMA *et al.*, 2017; KOHRT *et al.*, 1987; LIMMER *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; SOUSA *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2022a; SOUSA *et al.*, 2022b; SOUSA *et al.*, 2017; ZAGATTO *et al.*, 2017).

### **3.2. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS): embasamento teórico sobre a técnica de espectroscopia**

Segundo Colier (1995), em 1876, Karl von Vierordt publicou o primeiro trabalho no qual a espectroscopia foi utilizada para estudar a hemoglobina no sangue. Ele pôde observar a transição a partir da oxihemoglobina (O<sub>2</sub>Hb) para desoxihemoglobina (HHb) no tecido da ponta de um dedo após o braço estar totalmente ocluído. Já no início do século XX, as técnicas para mensurar a oximetria se desenvolveram rapidamente na Alemanha (KRAMER, 1934; NICOLAI, 1932). Após isso, muitos pesquisadores realizaram diversos experimentos ao longo dos anos a fim de melhorar a análise de oximetria (AOYAGI, 1974; BRINKMAN *et al.*, 1950; KELLEHER, 1989; MILLIKAN, 1942; NAKAJIMA *et al.*, 1975; WOOD e GERACI, 1949). Por fim, JOBSIS (1977) passou a adotar espectroscopia na região do infravermelho próximo (*Near-infrared spectroscopy* – NIRS) como uma técnica para investigações relacionadas à oxigenação em tecidos humanos.

Em seu trabalho, Jobsis (1977) propôs o uso da espectroscopia na região do infravermelho próximo como um método simples e não invasivo para monitorar as variações

de oxigenação cerebral em frente a situações de medidas de repouso. Atualmente essa técnica é utilizada para mensurar as alterações hemodinâmicas e as variações na concentração de O<sub>2</sub>Hb e HHb em diferentes regiões musculares (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; MCLEAN *et al.*, 2016) e cerebral (WOORONS *et al.*, 2019) durante exercícios físicos.

Essas medidas relativas às alterações na oxigenação tecidual apenas são possíveis em tecidos, graças às propriedades de absorção ( $\mu_a$ ) e espalhamento ( $\mu_s$ ) dos cromóforos (O<sub>2</sub>Hb e HHb) presentes nesses locais (YODH e CHANCE, 1995). Então, a luz no tecido se propaga e, parte dela é refletida e parte é transmitida. Essa luz transmitida que penetrou no meio se difunde, devido ao coeficiente de espalhamento ser maior que o de absorção no tecido. Porém, isso é dependente do comprimento de onda irradiada. O espalhamento é menor com comprimentos de onda maiores, propriedade esta que favorece a transmissão do infravermelho próximo. Seu espectro compreende a faixa de comprimento de onda entre 650 e 900 nm, sendo essa conhecida pela região do infravermelho próximo (NIR), com grande potencial de espalhamento no tecido humano (WAHR *et al.*, 1996).

A técnica do NIRS recai sobre a lei de Lambert-Beer (**Equação 2**), sendo ela:

$$OD_\lambda = \text{Log} \left( \frac{a_0}{a} \right) = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot L \quad (\text{Equação 2})$$

onde “**OD<sub>λ</sub>**” corresponde a um fator sem dimensão conhecido como a densidade óptica do meio, “**a<sub>0</sub>**” é a radiação incidente, “**a**” a radiação transmitida, “**ε<sub>λ</sub>**” o coeficiente de extinção do cromóforo (mM<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup>), “**c**” é a concentração (mM) do cromóforo, “**L**” a distância (cm) entre a entrada de luz e o ponto de saída de luz e “**λ**” o comprimento de onda (nm) usado. Neste caso, a lei de Lambert-Beer é dada para um sistema com um único componente.

A lei Lambert-Beer foi projetada para uso em um meio claro e sem espalhamento. Quando a lei é aplicada a um meio de dispersão, por exemplo, tecido biológico, um fator de correção de comprimento de caminho adimensional “**B**” deve ser incorporado. Este fator, chamado de “*Differential Pathlength Factor* (DPF)”, é responsável pelo aumento no comprimento de caminho óptico devido à dispersão no tecido. A lei de Lambert-Beer modificada (DELPY *et al.*, 1988) é dada por (**Equação 3**):

$$OD_\lambda = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot L \cdot B + OD_{\beta,\gamma} \quad (\text{Equação 3})$$

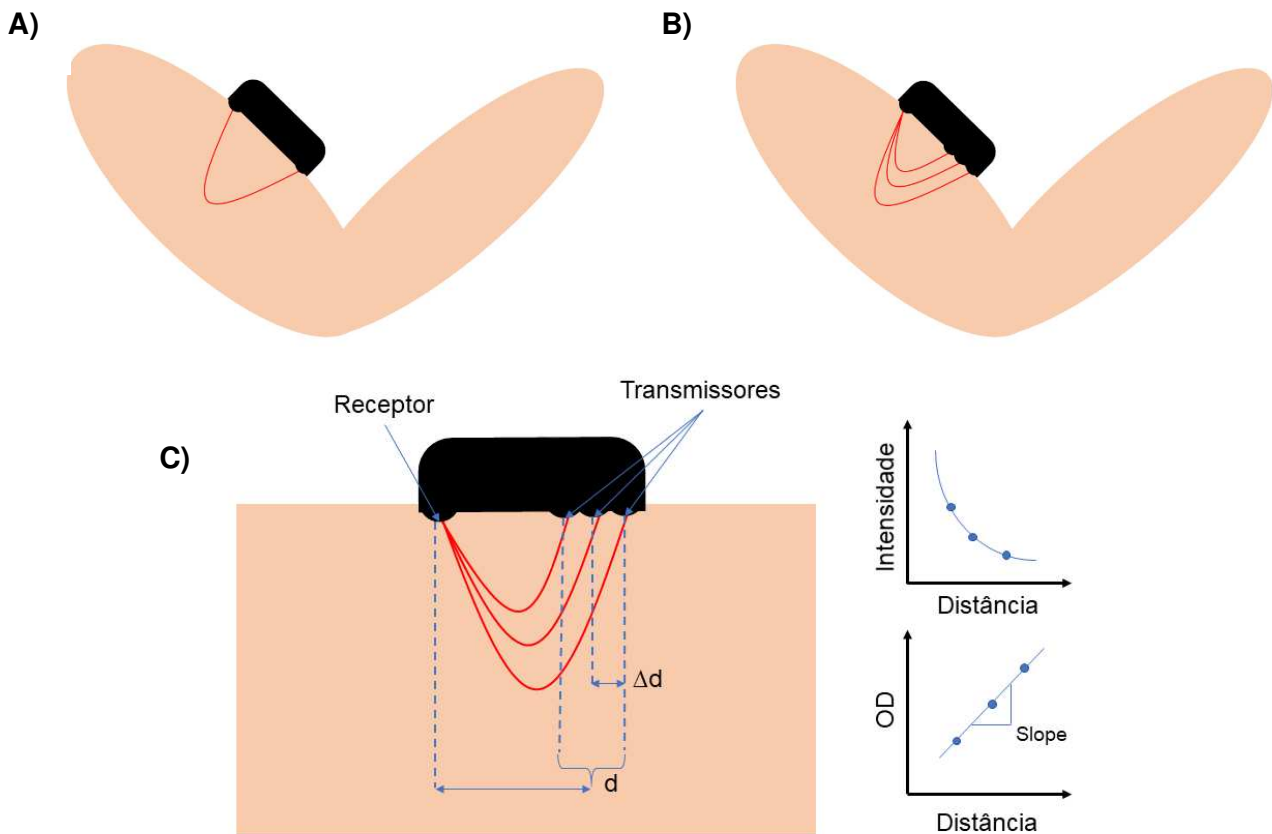
onde " $OD_{\beta,\lambda}$ " representa as perdas de luz independentes de oxigênio devido à dispersão no tecido. Assumindo que " $OD_{\beta,\lambda}$ " é constante durante uma medição, podemos converter uma mudança de densidade óptica em uma mudança de concentração (**Equação 4**):

$$\Delta c = \frac{\Delta OD_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda} * L * B} \text{ (Equação 4)}$$

Esta equação é válida para um meio com um cromóforo (**Figura 2A**). No caso de mais cromóforos, é preciso medir pelo menos tantos comprimentos de onda quantos os cromóforos presentes. Isso resulta em um conjunto de equações lineares. A solução deste conjunto leva ao algoritmo utilizado na maioria dos sistemas NIRS. No tecido biológico, existem pelo menos três cromóforos dependentes da oxigenação presentes:  $O_2Hb$ ,  $HHb$  e Cyt.Ox (citocromo oxidase) (**Figura 2B**). A soma de  $O_2Hb$  e  $HHb$  é uma medida do volume total de sangue (tHb) no tecido.

A partir da lei de Lambert-Beer modificada, podem ser obtidos valores para alterações de concentração de hemoglobina oxigenada e desoxigenada. Concentrações absolutas podem ser obtidas usando um método diferente: *Spatial Resolved Spectroscopy* (SRS). No SRS, a intensidade da luz refletida pelo transmissor é medida em função da distância do transmissor (d). A forma desta função está relacionada com o coeficiente de absorção ( $\mu_a$ ) do tecido, a partir do qual podem ser calculadas as concentrações absolutas de hemoglobina ( $\mu M$ ) e o índice de saturação tecidual (%) (**Figura 2C**).

Na **Figura 2C**, os gráficos ao lado demonstram que a intensidade da luz infravermelho próximo possui uma dependência inversamente proporcional com a distância entre os transmissores e o receptor. De maneira oposta, a densidade óptica (OD) possui uma relação diretamente proporcional com a distância entre os transmissores e o receptor de modo que, quanto mais distante os transmissores estiverem do receptor, maior será a densidade óptica daquele meio.



**Figura 2. Painel A** – Visão esquemática da quantidade necessária de transmissores para mensuração de um cromóforo. **Painel B** – Visão esquemática da quantidade necessária de transmissores para mensuração de três cromóforos. **Painel C** – Vista esquemática de uma medição TSI (medida baseada na razão entre oxihemoglobina e o total de hemoglobina). Luz através do tecido com três transmissores. (Imagem adaptada do manual de instruções da *Artinis*). **d** – Distância entre os transmissores e o receptor;  **$\Delta d$**  – distância entre um transmissor e outro; **OD** – densidade óptica.

A partir do avanço frente a utilização da técnica NIRS, hoje é possível mensurar as concentrações de oxihemoglobina ( $O_2Hb$ ), desoxihemoglobina ( $HHb$ ) e estimar o índice de saturação tecidual (TSI), além da soma de  $O_2Hb$  e  $HHb$  ser considerada o volume total de hemoglobina ( $tHb$ ) no sangue do tecido muscular esquelético analisado durante atividades físicas de baixa a máxima intensidade (FERRARI *et al.*, 2011; HAMAOKA *et al.*, 2011; HAMAOKA *et al.*, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022). Recentemente, foi observado uma relação das respostas periféricas de oxigenação muscular com marcadores fisiológicos já consolidados na literatura (e.g., ponto de compensação respiratória) (YOGEV *et al.*, 2022). Esses achados auxiliam na compreensão da importância da oxigenação muscular durante os esforços, independentes de sua natureza (PERREY, 2022).

### 3.2.1. Oxigenação muscular em esforços físicos

Mesmo após avanços tecnológicos terem sido obtidos ao longo da história da técnica de espectroscopia na região do infravermelho próximo, sua utilização no final do século XX e início do século XXI era predominantemente voltada a investigações clínicas e/ou envolvendo exercícios associados a patologias (HANADA *et al.*, 2000; MCCULLY *et al.*, 1994). Adicionalmente, por se tratar de uma técnica robusta para a compreensão de respostas de oxigenação muscular e, a fim de explorar a relação dessas respostas com demais tecidos e/ou demais variáveis de interesse, tal técnica tem atraído a atenção da comunidade científica que investiga as manifestações esportivas por ser uma ferramenta indolor e precisa para avaliar indivíduos saudáveis, ativos e atletas (FERRARI *et al.*, 2011; PERREY, 2022; PERREY e FERRARI, 2018).

Atualmente, a técnica NIRS é utilizada em diversos contextos envolvendo exercícios, como: prolongados de intensidade baixa a moderada (HWANG *et al.*, 2020; RAKOBOWCHUK *et al.*, 2018), incremental (RISSANEN *et al.*, 2012; YOGEV *et al.*, 2022), contínuo de alta intensidade (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022), exercícios resistidos (isométricos ou dinâmicos) (KOUNOUPIS *et al.*, 2022; MCNEIL *et al.*, 2015) e exercícios de esforços repetidos (BROCHERIE *et al.*, 2015; BUCHHEIT *et al.*, 2009; RACINAIS *et al.*, 2007; VASQUEZ-BONILLA *et al.*, 2021), dentre outras abordagens. No último caso citado, assim como abordado no **2.2.1.**, os protocolos utilizados para investigações em *sprints* repetidos não apresentam uma compatibilidade em relação a sua estrutura (i.e., número de *sprints*, duração de cada *sprint* e intervalo). No entanto, essa incompatibilidade se valida quando observado que, a diferença entre as estruturas propostas pelos diversos estudos proporciona diferentes comportamentos da oxigenação muscular.

Como descrito no tópico sobre o metabolismo energético no contexto dos *sprints* repetidos, a participação do sistema fosfagênio e glicolítico é de suma importância, não exclusiva, mas principalmente nos primeiros *sprints*. Vasquez-Bonilla *et al.* (2021) observaram que durante os primeiros quatro *sprints* de um protocolo composto por oito esforços de 20 metros, com 20 segundos de intervalo, a extração de oxigênio do gastrocnêmio foi mais atenuada em jogadoras de futebol. De acordo com os autores, do quinto ao oitavo *sprint* esses valores foram mais elevados, sugerindo que, no início do protocolo de *sprints* repetidos, a participação do metabolismo aeróbio ainda é baixa, quando comparada com as últimas etapas. Nessa mesma vertente, utilizando o protocolo RAST, Brocherie *et al.* (2015) observaram que a oxigenação do vasto lateral apresentava uma

queda acentuada logo após o primeiro *sprint* e que, ao longo dos demais cinco *sprints*, os valores de TSI apresentavam um comportamento de platô. Ainda, os autores observaram que a taxa de re-oxigenação se manteve inferior a taxa de de-oxigenação durante todo o protocolo. Isso se deu por conta dos curtos períodos de intervalo (i.e., 10 segundos) entre um esforço e outro, o que acabou por possibilitar apenas uma recuperação parcial do oxigênio muscular. Essa observação vai ao encontro do estudo de Ulupinar *et al.* (2021), os quais observaram que em exercícios onde a relação esforço-pausa era equivalente 1:5, a participação do metabolismo oxidativo era maior, por conta de um aumento no consumo de oxigênio. Por fim, os autores concluíram que os jogadores que apresentaram uma taxa mais rápida de re-oxigenação do vasto lateral, também apresentaram um melhor desempenho durante o RAST (BROCHERIE *et al.*, 2015).

Ademais, estudos que buscaram observar o comportamento da oxigenação muscular com base na relação dessa com a estrutura do protocolo, também observaram a importância do período de intervalo para a melhora do desempenho em *sprints* repetidos (BUCHHEIT e UFLAND, 2011; IHSAN *et al.*, 2013; ULUPINAR *et al.*, 2021). Essa variável se demonstrou de grande importância para a análise de *sprints* repetidos, pois reforçou que, para uma boa manutenção do esforço ao longo do protocolo, a necessidade de uma taxa de re-oxigenação mais elevada se torna evidente (BUCHHEIT e UFLAND, 2011).

Por mais que já tenha sido observado a participação da musculatura mais ativa (e.g., vasto lateral, gastrocnêmio) durante o esforço físico, também já foi constatado que demais musculaturas (i.e., inativas ou pouco ativas) também possuem uma participação durante a atividade. Osawa *et al.* (2017) observaram que o músculo menos ativo (Bíceps braquial – BB) apresentava uma queda da saturação, semelhante ao do músculo mais ativo (Vasto lateral – VL) durante um exercício extenuante realizado em um ciclo ergômetro, entretanto o BB demonstrou um retardo quando da recuperação dos níveis de oxigenação após o exercício. Analogamente, em nosso estudo, observamos que o músculo menos ativo (BB) também apresentou uma queda na saturação semelhante ao do VL no início do protocolo (*all-out* de 30 segundos – AO30), sendo que, da metade em diante (14 aos 30 segundos) os valores de saturação do BB foram significativamente menores do que no VL. Além disso, opondo-se ao estudo de Osawa *et al.* (2017), o BB apresentou maior velocidade de recuperação em respeito aos níveis de oxigenação após o AO30, quando comparado ao VL (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020). Essa diferença apresentada em ambos estudos, pode estar atrelada ao tipo de exercício realizado, dado que Osawa *et al.* (2017) avaliaram

os indivíduos em um ciclo ergômetro, enquanto Manchado-Gobatto *et al.* (2020) realizaram o experimento em uma esteira não motorizada. Ademais, em nosso estudo, pudemos observar a presença do redirecionamento do fluxo sanguíneo para o BB no período de recuperação, a partir da análise do volume total de hemoglobina (tHb). Sugerindo que, tal musculatura apresentou uma vasodilatação maior nesse momento, consequentemente, podendo estar atuando como um mecanismo de homeostase do organismo, reforçando a importância de se investigar os músculos menos ativos durante e após um exercício de intensidade máxima.

Seguindo a mesma linha, mas aprofundando a análise, Yogev *et al.* (2022) investigaram o comportamento de músculos locomotores e não-locomotores (Vasto lateral e Deltoide, respectivamente), durante um exercício incremental no ciclo ergômetro. Os autores buscaram investigar se, assim como de forma sistêmica (e.g., ponto de compensação respiratória, limiar ventilatório, limiar anaeróbio), a oxigenação muscular (parâmetro periférico) também apresenta um comportamento de “*break-point*”. Os autores observaram que tanto o músculo locomotor quanto o não-locomotor, existe a presença de *break-point* e o mesmo ocorre em momentos próximos ao ponto de compensação respiratória (PCR). Contudo, os autores não observaram um padrão quanto a sua ocorrência, sendo que esse fenômeno ocorria antes ou depois do PCR, dependendo do indivíduo. Dessa forma, eles concluíram que o fenômeno de *break-point* também está presente para a variável de oxigenação muscular, contudo ela apresenta uma variabilidade quanto ao indivíduo.

Uma vez estabelecida a importância de se investigar a relação entre diferentes grupos musculares frente a um exercício de alta intensidade, outro ponto de extrema importância que necessita de atenção, é a relação entre os músculos envolvidos na atividade locomotora e os músculos envolvidos com o sistema respiratório. Johnson *et al.* (1993) e Dempsey *et al.* (2006) apontaram que no processo de sinalização da fadiga, o diafragma contribui com a maior produção de metabólitos, acionando a descarga da via III e IV aferente do frênico, fenômeno conhecido como metaborreflexo. Portanto, em esforços de alta intensidade (causando uma hiperventilação), a competição de demanda gerada entre esses músculos e os exigidos na locomoção/exercício, pode promover a vasoconstrição periférica e redução do fluxo sanguíneo da musculatura esquelética, com importantes impactos negativos para o desempenho físico (RODRIGUEZ *et al.*, 2020; ST CROIX *et al.*, 2000).

Dessa forma, pesquisadores buscaram avaliar diferentes métodos para a melhoria de desempenho dos músculos inspiratórios (ARCHIZA *et al.*, 2018; AREND *et al.*, 2016; CIRINO *et al.*, 2021; LIN *et al.*, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; NAJAFI *et al.*, 2019; TONG e FU, 2006). No tópico a seguir, serão abordadas as técnicas de pré-ativação de músculos inspiratórios mediante a um exercício específico, e o treinamento crônico de tal musculatura, visando o aprimoramento da resistência desses músculos para evitar a fadiga da musculatura periférica.

### **3.3. Pré-ativação de músculos inspiratórios**

Os protocolos de aquecimento que antecedem a um exercício físico, são utilizados com o intuito de aumentar a circulação sanguínea, ao disponibilizar uma maior quantidade de sangue para a musculatura que está sendo trabalhada, com a intenção de prevenir uma possível lesão (NOSAKA *et al.*, 2004), ou até mesmo com a finalidade de potencializar o desempenho em um determinado exercício (GIL *et al.*, 2019; MALONEY *et al.*, 2014). Dito isso, uma técnica, que visa a melhora do desempenho, também vem sendo adotada por pesquisadores, com o objetivo de pré-ativar os músculos inspiratórios, e assim, promover uma melhora no desempenho esportivo (HAJGHANBARI *et al.*, 2013; LORCA-SANTIAGO *et al.*, 2020), já que a musculatura envolvida com o sistema respiratório utiliza cerca de 10 a 15% do consumo total de oxigênio (AARON *et al.*, 1992) e que, o diafragma, em específico, é um dos músculos responsáveis pela maior produção de metabólitos (DEMPSEY *et al.*, 2006; JOHNSON *et al.*, 1993) o que acarreta no desenvolvimento do processo de fadiga (KER e SCHULTZ, 1996; LOKE *et al.*, 1982; LOMAX e MCCONNELL, 2003). Dessa forma, diferentes grupos se propuseram a estudar a pré-ativação e/ou treinamento de músculos inspiratórios com o intuito de melhorar, de forma lícita, o desempenho de atletas (ARCHIZA *et al.*, 2018; CIRINO *et al.*, 2021; GUY *et al.*, 2014; LIN *et al.*, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; MCCONNELL, 2009; MCCONNELL e LOMAX, 2006; MCCONNELL e SHARPE, 2005; NAJAFI *et al.*, 2019; ROMER *et al.*, 2002; SPENGLER *et al.*, 1999; TONG e FU, 2006; VERGES *et al.*, 2007; WITT *et al.*, 2007).

Em virtude disso, a utilização do método de pré-ativação (PA) de músculos inspiratórios (MI) se diferenciou pelas suas características (i.e., treinamento e sessão aguda). Alguns estudos apontaram que, o treinamento de MI se dá pelo trabalho dessa musculatura ao longo do dia, durante semanas. Duas sessões são usualmente realizadas diariamente, uma pela manhã e outra à tarde, com 30 inspirações cada (ARCHIZA *et al.*, 2018; NAJAFI *et*

*al.*, 2019). Por outro lado, em estudos que utilizaram o método de pré-ativação (i.e., aguda) consistiam em duas sessões consecutivas de trinta respirações, realizadas em cada sessão, com um intervalo de um minuto entre as mesmas (LIN *et al.*, 2007; TONG e FU, 2006). Protocolos agudos são aplicados principalmente nos dias em que serão realizados treinos ou competições, e protocolos crônicos podem ser realizados em qualquer dia da semana. O estudo de ambos protocolos juntos também já foi alvo de pesquisa (TONG *et al.*, 2010).

Nesse contexto, com o objetivo de estudar o treinamento de MI, diversos autores vieram a observar resultados positivos para o desempenho dos atletas (ANTONELLI *et al.*, 2020; HARTZ *et al.*, 2018; KARSTEN *et al.*, 2018; MCGOWAN *et al.*, 2015; TONG *et al.*, 2016). Quando exercitado cronicamente, os MI mostraram adaptações positivas, tais como redução do metaborreflexo e redirecionamento do fluxo sanguíneo para os músculos mais ativos durante esforço físico (GUENETTE e SHEEL, 2007; HAJGHANBARI *et al.*, 2013; MCCONNELL e LOMAX, 2006; WITT *et al.*, 2007). O treinamento de MI também resultou na redução da fadiga de MI (MCCONNELL, 2009; ROMER *et al.*, 2002; VERGES *et al.*, 2007), e a diminuição da concentração lactacidêmica (BROWN *et al.*, 2008; GUY *et al.*, 2014; MCCONNELL e SHARPE, 2005; SPENGLER *et al.*, 1999). Adicionalmente, a utilização do método de PA de MI (i.e., de forma aguda) vem mostrando resultados positivos sobre as respostas fisiológicas (ÖZDAL, 2016; VOLIANITIS *et al.*, 2001) e performance dos atletas (BARNES e LUDGE, 2021; WILSON *et al.*, 2014). Dentre diversas modalidades avaliadas, a PA de MI apresentou efeito ergogênico em: natação (WILSON *et al.*, 2014), badminton (LIN *et al.*, 2007), judô (CIRINO *et al.*, 2021) e em corredores (BARNES e LUDGE, 2021), mostrando que tal método resultou em melhoras significativas quando aplicada previamente ao exercício (BARNES e LUDGE, 2021; LIN *et al.*, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022; WILSON *et al.*, 2014).

Para realização desses métodos (i.e., treinamento e pré-ativação de MI), autores propuseram uma restrição do fluxo de ar. Tal restrição é baseada na Pressão Inspiratória Máxima ( $PI_{max}$ ), a qual é definida como a pressão máxima que pode ser realizada pelos músculos inspiratórios em uma inspiração forçada, permitindo avaliar e comparar a força dos músculos inspiratórios. Em sua grande maioria, os autores optaram por utilizar uma restrição de fluxo de ar que variava de 40 a 50% da  $PI_{max}$  (LIN *et al.*, 2007; NUNES *et al.*, 2018; ROMER *et al.*, 2002; TONG e FU, 2006; TONG *et al.*, 2008; TONG *et al.*, 2010), haja vista que, uma resistência abaixo do ideal (i.e., 15%) não surtiria efeito algum (TONG e FU, 2006), e o contrário (e.g., resistência alta – 60%), poderia promover efeitos benéficos ao indivíduo

(AREND *et al.*, 2016) ou efeitos deletérios relacionados ao desempenho (KRAUSPENHAR MEROLA *et al.*, 2019).

Arend *et al.* (2016) buscaram avaliar se o treinamento com diferentes resistências (e.g., 15%, 40%, 60% e 80%) promoveriam o aumento da  $PI_{max}$ . Os autores utilizaram diferentes quantidades de repetições para cada resistência: 2 × 30 inspirações a 40%, 2 × 12 inspirações a 60%, 2 × 6 inspirações a 80%, e 2 × 30 inspirações a 15%. Durante quatro dias os avaliados realizaram um teste para averiguar a  $PI_{max}$  de repouso e outro teste era realizado após o treinamento para avaliar o aumento, ou não, da  $PI_{max}$  resultante do protocolo de treinamento. Os autores observaram que as resistências de 40% e 60% promoveram um aumento significativo da  $PI_{max}$ . Complementarmente, Lin *et al.* (2007) e Tong e Fu (2006), ao utilizar o protocolo de PA de MI de forma aguda (i.e., antes de tarefas importantes), observaram efeitos positivos ao utilizarem 40% de restrição do fluxo de ar inspirado, enquanto outros pesquisadores não observaram o mesmo (FAGHY e BROWN, 2017; JOHNSON *et al.*, 2014). Essa divergência de resultados pode estar relacionada ao tipo de exercício utilizado em cada estudo, como apontado pela revisão de Lorca-Santiago *et al.* (2020). Uma vez que, nos estudos de Lin *et al.* (2007) e Tong e Fu (2006) ambos grupos de pesquisa utilizaram exercícios caracterizados pela intermitência dos esforços, enquanto que nos estudos de Faghy e Brown (2017) e Johnson *et al.* (2014) os autores propuseram exercícios contínuos. Recentemente, dois trabalhos de nosso grupo que envolveram a realização do protocolo de PA de MI sugeriram, tanto através de análises convencionais (i.e., análise estatística) (MAROSTEGAN *et al.*, 2022) quanto por meio da análise integrativa (i.e., redes complexas) (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022), que o protocolo de PA de MI resulta em efeitos positivos durante e após um esforço máximo de 30 segundos de corrida.

Por fim, torna-se válido ressaltar nessa revisão de literatura que, embora alguns investigadores tenham estudado a PA de MI em jogadores de futebol (GUY *et al.*, 2014; OZMEN *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019), assim como a técnica de espectroscopia na região do infravermelho próximo (ARCHIZA *et al.*, 2018; BROCHERIE *et al.*, 2015) e a análise de variáveis biomecânicas (ANDRADE *et al.*, 2015), nenhum desses estudos realizaram todos esses experimentos com o intuito de avaliar se a PA de MI potencializa o desempenho de jogadores de futebol, a partir do redirecionamento do fluxo sanguíneo para a musculatura mais ativa em um protocolo de esforço máximo repetido (RAST), e acompanhe as respostas, durante e após o esforço, provenientes da oxigenação dos músculos mais e menos ativos (Vasto lateral e Bíceps braquial, respectivamente).

### 3.4. Análise integrativa de esforços de alta intensidade

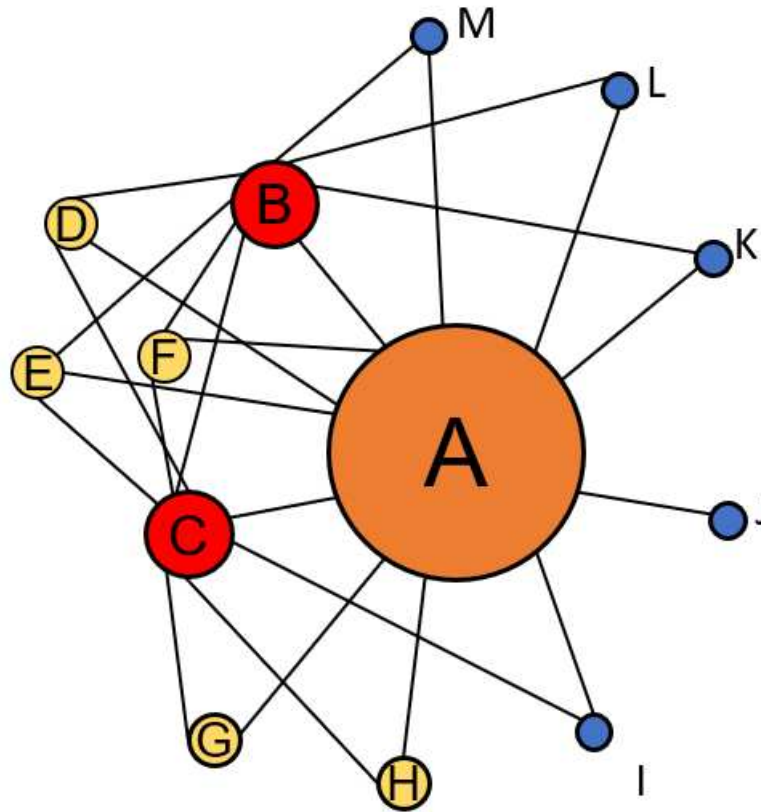
A análise de desempenho em uma modalidade esportiva coletiva, como o futebol, não é unicamente dependente da análise do técnico-tático ou de desempenho físico por si só. Esse tipo de modalidade abrange uma relação multifatorial que vai além da investigação de um único componente dentro de um contexto geral (DA CRUZ *et al.*, 2022), considerando não apenas a análise da variável de interesse, mas a relação dessa com as demais variáveis que podem exercer um efeito sobre ela (BREDA *et al.*, 2022; GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). Adicionalmente, investigações que buscam entender o efeito de uma intervenção também precisam levar em consideração esse efeito integrativo que uma ação tem sobre todo um conjunto de variáveis e não apenas uma (CIRINO *et al.*, 2021; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022). Desse modo, análises como as redes complexas estão ganhando evidência na literatura científica com a finalidade de visualizar a integração de todas as variáveis estudadas durante uma ação em específico (ALBERT e BARABÁSI, 2002; LEWIS, 2011; MATA, 2020; RUBINOV e SPORNS, 2010).

Esse tipo de análise é denominado por “complexa” pelo fato de não ser possível prever o seu comportamento coletivo a partir de um componente individual. Contudo, entendendo a descrição matemática desse tipo de análise, se torna possível prevê-lo e até mesmo controlá-lo (MATA, 2020). Uma rede complexa é estruturada por grafos que consistem em um conjunto de vértices (nós) e arestas (links), onde os vértices referem-se aos elementos de um sistema e as arestas correspondem às interações entre esses elementos (ALBERT e BARABÁSI, 2002; LEWIS, 2011). Desse modo, a topologia das redes complexas pode auxiliar as análises que abrangem os múltiplos parâmetros de desempenho de um exercício de *sprints* repetidos, contribuindo com informações integradas (i.e., parâmetros fisiológicos, biomecânicos e *performance*), ao contrário de algumas análises que fornecem dados fragmentados, passíveis de ocultar algumas informações relevantes para a compreensão do desempenho durante o exercício (BROCHERIE *et al.*, 2015; MILIONI *et al.*, 2017; SOUSA *et al.*, 2015).

Desse modo, para correta interpretação dos grafos, usualmente são aplicadas métricas de centralidade (e.g., *Degree*, *Eigenvector*, *Pagerank* e *Betweenness*) com a finalidade de analisar a topologia das redes complexas. A medida de centralidade, tem por função, atribuir um valor aos nós de acordo com um conceito específico (MATA, 2020), por serem propriedades essenciais das redes complexas que apresentam importantes

informações a respeito da organização de sistemas complexos (RODRIGUES, 2019). A métrica *Degree* é uma medida direta, que representa o número de conexões (arestas) que um nó possui dentro de uma determinada rede complexa (CHEN *et al.*, 2012; CIRINO *et al.*, 2021). Por outro lado, a métrica de centralidade *Eigenvector* destaca os nós considerando a importância das conexões que esse possui com seus “vizinhos” (BONACICH, 2007; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022). A métrica *Pagerank*, conhecida por ser utilizada como uma ferramenta de pesquisa do Google, reporta a influência de um nó com base nas conexões que ele estabelece (BREDA *et al.*, 2022; GOBATTO *et al.*, 2020). Por fim, a métrica *Betweenness* destaca a importância de um nó de acordo com a possibilidade de atuar como intermediário entre todos os nós (ALSAYED e HIGHAM, 2015).

Com o intuito de exemplificar uma análise de rede complexa, a **Figura 3** ilustra como seria uma integração dentro de um laboratório de uma universidade pública considerando as posições de coordenador, aluno de doutorado, aluno de mestrado e aluno de iniciação científica. O coordenador do laboratório (laranja), por deter todos os recursos necessários para a execução dos projetos em andamento, normalmente, é o nó que possui maior número de conexões (12 conexões), enquanto que alunos de doutorado (vermelho), por possuir mais experiência, normalmente apresentam mais conhecimento que os demais alunos e por conta disso são os segundos a apresentarem os maiores números de conexões (8 conexões). Ademais, alunos de mestrado (amarelo) usualmente apresentam um número menor de conexões que os alunos de doutorado, no entanto alguns apresentam mais conexões (3 conexões) que os demais (2 conexões). Por fim, alunos de iniciação científica, que majoritariamente são os recém chegados ao laboratório, são os que menos apresentam conexões dentro do laboratório, sendo muitas vezes coorientado por um aluno de doutorado (2 conexões) ou não (1 conexão).



**Figura 3.** Imagem ilustrativa representando a relação integrativa entre coordenador (laranja), alunos de doutorado (vermelho), alunos de mestrado (amarelo) e alunos de iniciação científica (azul) de um laboratório. (Imagem elaborada pelo próprio autor).

Complementarmente, as redes complexas têm sido uma importante ferramenta de análise para as ciências do esporte, contribuindo com a compreensão de diferentes respostas fisiológicas. Estudos envolvendo a análise da fadiga central e periférica (FROYD *et al.*, 2016), a exaustão em corrida atada em esteira não motorizada (PEREIRA *et al.*, 2015), diferentes cenários de corrida com atletas de alto rendimento (PEREIRA *et al.*, 2018), respostas em testes laboratoriais e de campo em atletas de basquete (GOBATTO *et al.*, 2020), e a performance, com base na análise técnico-tático, em um combate da modalidade de judô (CIRINO *et al.*, 2021), auxiliam na busca pela compreensão dos efeitos integrativos das variáveis de interesse investigadas para uma determinada modalidade. Esse tipo de análise também foi utilizado para investigar os parâmetros técnico-táticos de modalidades coletivas, com o intuito de observar as interações entre as ações do jogo e os jogadores (COTTA *et al.*, 2013; PASSOS *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2019) e para estudar o desempenho de nadadores em provas de 50m livre em jogos olímpicos (PEREIRA-FERRERO *et al.*, 2019).

Os estudos que utilizaram essas métricas de centralidade para analisar as interações entre os parâmetros investigados, encontraram resultados relevantes para as ciências do esporte. Gobatto *et al.* (2020), Pereira *et al.* (2015) e Pereira *et al.* (2018) observaram que medidas antropométricas apresentavam destaque em relação ao desempenho em esforço de alta intensidade, demonstrando a importância de um resultado que muitas vezes é negligenciado, e utilizado unicamente como caracterização amostral. Mais recentemente, também foi demonstrado, através da análise de redes complexas, que a pré-ativação de músculos inspiratórios, apresenta um benefício durante um combate no judô (CIRINO *et al.*, 2021). Em uma linha de pesquisa semelhante, em outro estudo do nosso grupo, também foi possível observar que a pré-ativação de músculos inspiratórios desempenhou um papel fundamental tanto em análise estatística convencional (i.e., análise de variância, test-t de *Student*, correlação de Pearson), demonstrando uma melhora na potência média e pico de corrida, quanto em relação as análises de redes complexas, as quais reportaram um aumento no número de conexões das variáveis relacionadas a oxigenação muscular quando a pré-ativação de músculos inspiratórios foi aplicada (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente tese de doutorado conta com dois estudos. Desse modo, os subtópicos da seção de Materiais e Métodos apresentam textos mais gerais destinados ao esclarecimento das atividades que foram realizadas em ambos estudos. A especificação de determinadas análises será explanada nos tópicos destinado a apresentação dos estudos.

### 4.1. Participantes

Ao total, foram avaliados 20 jogadores de futebol, sendo dez atuantes na segunda divisão do Campeonato Paulista (**Estudo 1**) e dez atletas da categoria sub-17 de uma equipe participante da primeira divisão do Campeonato Paulista de Futebol (**Estudo 2**) (caracterização amostral está apresentada nos tópicos destinados a cada estudo), todos do sexo masculino. Os participantes foram informados a respeito do desenho experimental do presente estudo e então assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (CAAE - 15544719.0.0000.5404).

Em ambos estudos, foi adotado como critério de inclusão a participação em competições regulares da modalidade nos últimos dois anos (em nível regional, no mínimo), estarem aptos à realização de esforços de alta intensidade e com liberação médica para a execução de esforços físicos. Por outro lado, foram excluídos da amostra participantes que

não atenderam todos os critérios de inclusão, que não tenham autorização médica para realização de esforço e que, por meio de anamnese, relataram ser tabagistas, estejam fazendo uso de medicamentos contínuos, esteroides anabólicos ou apresentem dores articulares. Não foi necessário a exclusão de nenhum participante.

Os participantes foram instruídos a manter uma dieta já estabelecida pela nutricionista do clube e hidratação, realizar a última refeição pelo menos duas horas antes dos testes, não consumir bebidas contendo álcool pelo menos 24 horas antes dos procedimentos e cafeína pelo menos quatro horas antes dos testes, além de não poderem praticar exercícios extenuantes durante o período experimental (GAMA *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2015). Tais instruções objetivaram evitar que diferenças em termos de desempenho em cada teste sejam provocadas por mudanças bruscas na dieta, no consumo de estimulantes ou pela prática de exercícios físicos extenuantes.

#### 4.2. Local

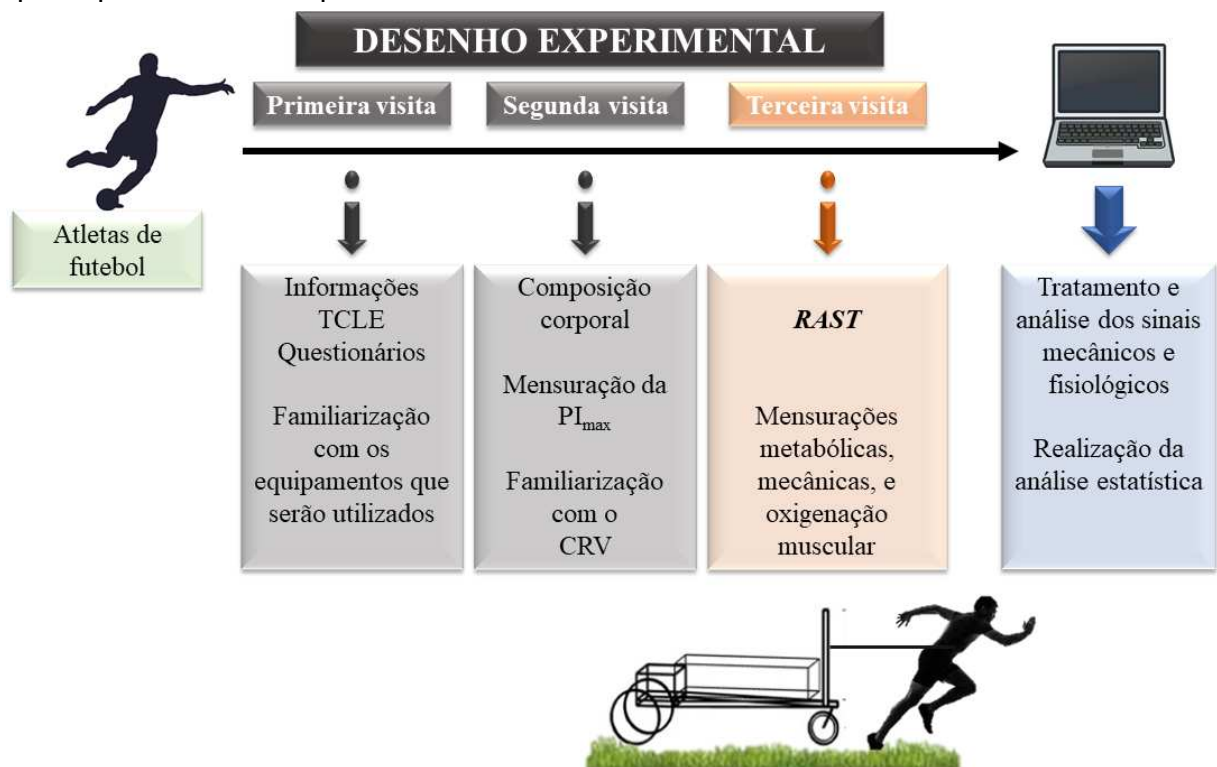
As avaliações propostas para a presente tese foram conduzidas em campo de futebol usualmente utilizado para o treinamento da equipe, onde foram aplicados protocolos avaliativos como o *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) de modo semi-atado, em condições ambientais naturais e mesmo horário do dia, visando uma aproximação com o ambiente vivenciada pelos jogadores durante os treinos e jogos oficiais. Os questionários de anamnese, histórico esportivo-competitivo, mensurações referentes à composição corporal, familiarização com os equipamentos, medida individual da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ) e a pressão inspiratória máxima dinâmica (S-Index) foram aplicados em sala restrita aos avaliadores e avaliados, nos próprios clubes onde as equipes de futebol realizam o programa de treinamento. As análises do material biológico, testes estatísticos e modelagem computacional foram conduzidas em ambiente laboratorial.

#### 4.3. Desenho experimental

Três sessões foram necessárias para o desenvolvimento do **estudo 1**, enquanto que, quatro sessões foram realizadas para o **estudo 2**. Informações referentes as atividades realizadas na presente tese de doutorado estão explanadas no tópico 4.3. (Desenho experimental). Em uma primeira visita ao clube, os participantes foram informados sobre os detalhes da pesquisa e foram convidados a assinar o TCLE e/ou TALE (Termo de Assentimento Livre e Esclarecido). Posteriormente, após confirmarem sua disponibilidade e consentimento em participarem do estudo, responderam os questionários de anamnese

(**APÊNDICE 1**) e questionário de histórico esportivo-competitivo (**APÊNDICE 2**), por fim passaram por uma familiarização aos equipamentos que foram utilizados no estudo (Manovacuômetro, exercitador respiratório, cardiófrequencímetro e NIRS). Na segunda visita, os avaliados foram então submetidos à avaliação da composição corporal e tiveram a  $PI_{max}$  mensurada. Após isso, foram familiarizados ao carro de resistência variável (CRV), conforme descrição posteriormente apresentada.

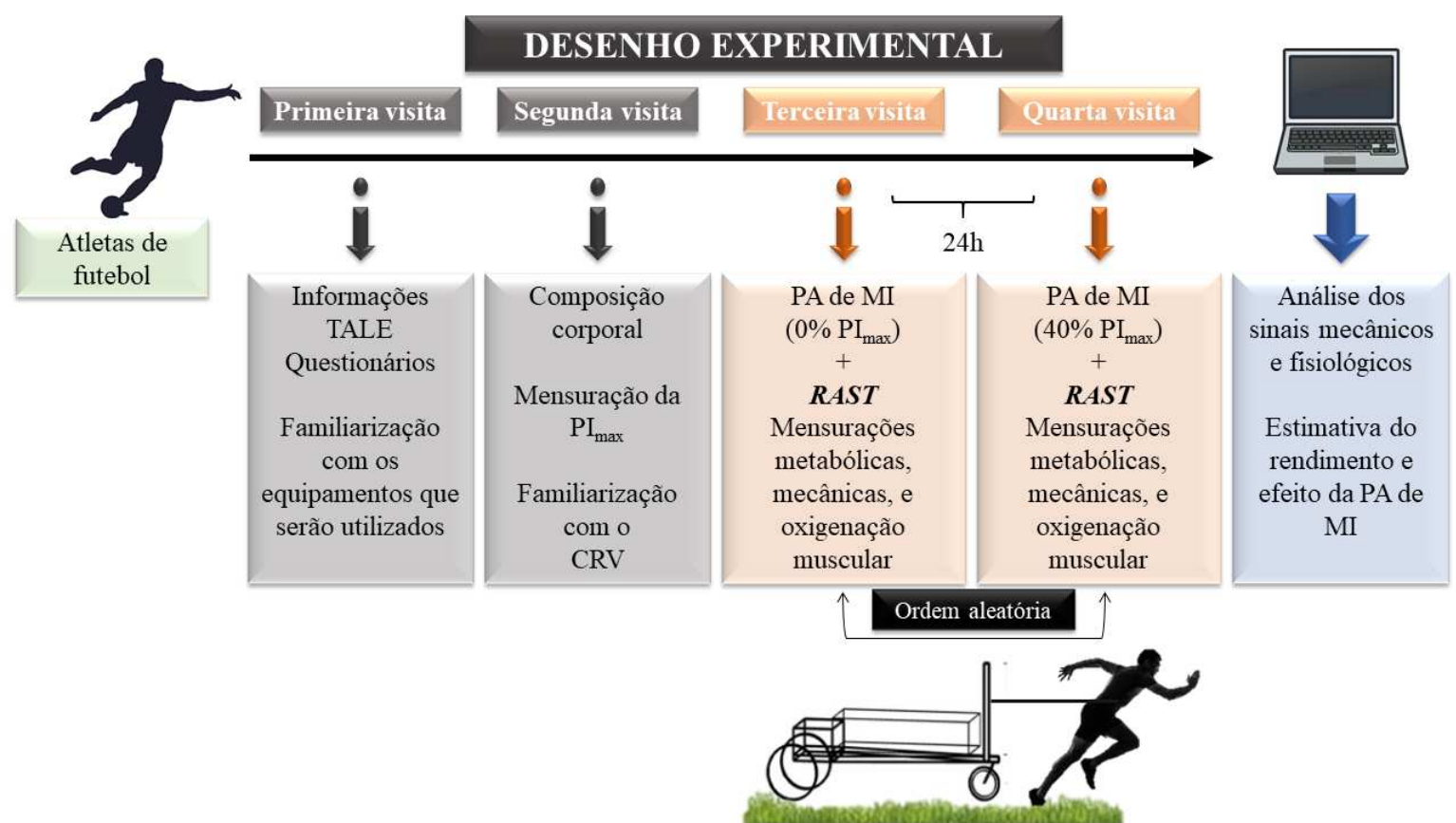
Para o estudo 1 (**Figura 4**), a terceira visita foi destinada a realização do protocolo RAST, com os avaliados atados ao CRV para determinação da força, velocidade e potência de corrida, além disso, também foram mensuradas respostas fisiológicas antes, durante e após a aplicação dos protocolos. Antes do teste, os participantes efetuaram um aquecimento corporal padrão em campo.



**Figura 4.** Desenho experimental adotado para o estudo 1. Na figura, as siglas representam: TCLE (Termo de Consentimento livre e Esclarecido); CRV (Carro de Resistência Variável); RAST (*Running-based Anaerobic Sprint Test*);  $PI_{max}$  (Pressão Inspiratória Máxima).

Para o estudo 2 (**Figura 5**), a terceira e quarta visita foram realizadas de modo randomizado e controlado, separadas por 24 horas, nas quais os avaliados foram submetidos ao protocolo RAST atados ao CRV para determinação da força, velocidade e potência de corrida, bem como tiveram mensurações de respostas fisiológicas antes, durante e após a aplicação dos protocolos. A diferença entre essas duas intervenções foi caracterizada pela

imposição, ou não, de esforços para os MI com restrição de fluxo de ar inspirado por meio do uso de um dispositivo (40% da  $PI_{\max}$  ou 0% da  $PI_{\max}$ ), antes da execução imediata do protocolo RAST. De forma randomizada controlada, os avaliados realizaram o RAST atados ao CRV, com a PA de MI executada sem restrição de fluxo de ar inspirado (placebo, 0% da  $PI_{\max}$ ) e, na outra intervenção realizaram o protocolo após a execução da PA de MI com carga respiratória equivalente à 40% de sua  $PI_{\max}$ . Em ambos os casos, a atividade prévia ao teste de RAST foi executada com a utilização do exercitador muscular inspiratório POWERbreathe® (modelo K5).



**Figura 5.** Desenho experimental adotado para o estudo 2. Na figura, as siglas representam: TALE (Termo de Assentimento livre e Esclarecido); CRV (Carro de Resistência Variável); RAST (*Running-based Anaerobic Sprint Test*);  $PI_{\max}$  (Pressão Inspiratória Máxima); PA de MI (Pré-ativação dos Músculos Inspiratórios).

Em todas as sessões envolvendo testes físicos, foram efetuados registros dos sinais de força, velocidade e potência de corrida, bem como foram extraídas amostras de sangue do lóbulo da orelha, antes e após o esforço para determinação da concentração de lactato sanguíneo. Além disso, também foram mensuradas a frequência cardíaca, a oxigenação em musculatura mais (Vasto lateral) e menos ativa (Bíceps braquial), sendo essas efetuadas durante todo o protocolo.

#### 4.4. Detalhamentos das avaliações realizadas

##### 4.4.1. Caracterização da amostra

Com a finalidade de assegurar os critérios de inclusão dos atletas, esses responderam a dois instrumentos estruturados, sendo eles: i) Ficha de Anamnese, na qual constam questões sobre o histórico pessoal e familiar de doenças e comportamento alimentar, dentre outras; e ii) Questionário sobre o histórico esportivo-competitivo, elaborado para obtenção de informações sobre o perfil atlético, tempo de prática esportiva geral e atuações específicas no futebol.

##### 4. 4. 2. Antropometria e Composição corporal

Para a análise da antropometria e estimativa da composição corporal foram mensuradas a massa corporal (Kg) (balança digital portátil da marca Carrion®, com capacidade máxima de 150Kg e precisão de 100g), estatura (cm), diâmetro biepicôndilo umeral (cm) e diâmetro biepicôndilo femoral (cm) (paquímetro ósseo da marca Precision®). Foram também mensuradas a circunferência da perna direita (cm) e circunferência do braço contraído direito (cm) (fita antropométrica flexível da marca Cardiomed®).

O percentual de gordura (% gordura) dos jogadores foi estimado seguindo a proposta de (FAULKNER, 1968), considerando a subsequente equação:

$$\% \text{ gordura} = 5,783 + (0,153 * \Sigma 4DC)$$

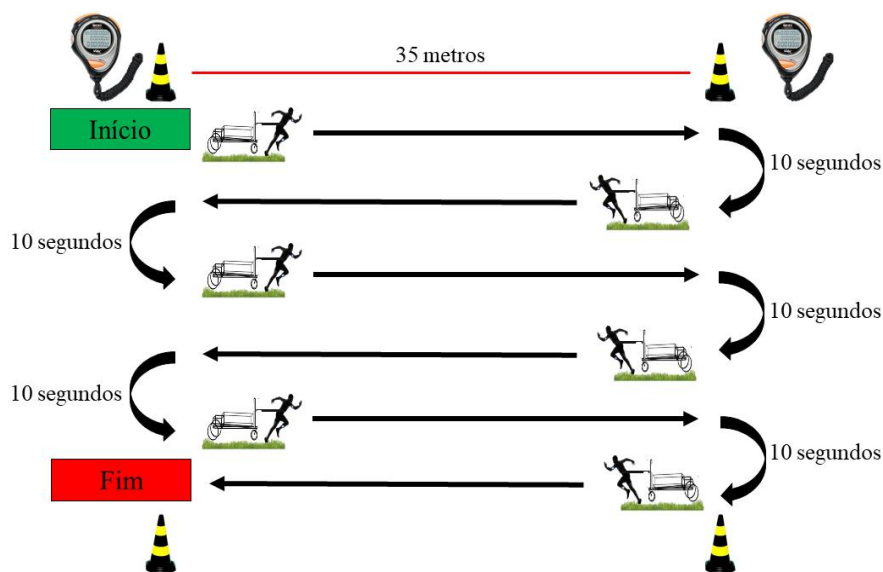
onde  $\Sigma 4DC$  refere-se à somatória das espessuras das dobras cutâneas, tríceps, subescapular, abdômen e supra ilíaca (mensuradas por um adipômetro da marca Lange®). Nossa escolha pela presente equação é pautada pela utilização da mesma em diversos estudos que avaliaram jovens jogadores de futebol e validaram a sua utilização para esse grupo amostral (DA SILVA *et al.*, 2010; GIL *et al.*, 2007a; GIL *et al.*, 2007b; LOZANO-BERGES *et al.*, 2019; NÚÑEZ *et al.*, 2020). Todas as dobras cutâneas foram mensuradas em triplicata pelo mesmo avaliador, sendo utilizada a média dos valores advindos das três mensurações. Para as medidas de todas as variáveis foram adotados os procedimentos da *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (STEWART *et al.*, 2016).

Além de caracterizarem a amostra, algumas medidas obtidas pelos métodos acima descritos foram adotadas para relativização de parâmetros abordados pela tese.

#### 4.4.3. *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) com atletas atados ao carro de resistência variável (CRV)

Todos os *sprints* do RAST (**Estudo 1 e 2**) foram realizados em um campo de futebol, com o atleta atado ao carro de resistência variável. Conforme sinalizado na descrição do desenho experimental, na segunda visita ao clube os avaliados foram submetidos ao processo de familiarização a essa tecnologia.

O *Running-based Anaerobic Sprint Test*, exemplificado na **Figura 6**, foi iniciado por meio de um comando verbal do avaliador e os avaliados foram estimulados a correr em máxima intensidade em todos os seis *sprints*, separados por dez segundos de recuperação passiva, estando atados pela cintura a uma célula de carga fixa à um poste, localizado na dianteira do CRV, por meio de um cinto de *nylon* comumente utilizado para treinamento contra resistência. Esse arranjo permitiu a regulação da altura do sensor de força, de maneira a tornar possível a manutenção do cabo de aço horizontal, independentemente da estatura do avaliado. A célula de carga mensurou a força resultante realizada pelo participante na orientação horizontal. As demarcações do espaço de 35 metros exigido pelo protocolo foram efetuadas por cones. Os tempos dos *sprints* e intervalos, foram mensurados por dois avaliadores através de cronômetros (VL237, VOLLO, Brasil), e a confirmação dos tempos foi realizada através de gravações feitas no dia da avaliação.



**Figura 6.** Protocolo do *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) atado ao Carro de Resistência Variável (CRV) composto por seis *sprints* de 35 metros executados em intensidade máxima, separados por 10 segundos de recuperação passiva.

#### 4.4.4. Mensuração da velocidade, força e potência de corrida

Para a mensuração da força de corrida, uma célula de carga emitiu um sinal referente à sua deformação, que foi amplificado e modulado para armazenamento em computador através de *software* específico (*LabView Signal Express 2.0*, *National Instruments*, EUA). O módulo de aquisição de sinais registra um sinal em Volts (V), que uma vez coletado precisa ser convertido para unidades de força (Newton – N). Esse processo aconteceu analogamente à calibração do sistema de frenagem, onde utilizando um sistema de polias é possível realizar a medição do sinal registrado pelo posicionamento de massas conhecidas.

A mensuração da velocidade pelo CRV tem como base a relação entre o deslocamento do CRV em uma escala de tempo. O aro da roda dianteira é equipado com quatro ímãs posicionados de maneira equidistante, e o sensor de efeito *Hall* está afixado ao seu garfo dianteiro, podendo assim capturar e enviar ao computador um pulso a cada vez que um dos ímãs passa por ele. Sinais eram enviados para um conversor o qual está programado para identificar os pulsos, provenientes do sensor de efeito *Hall*, alocados no garfo dianteiro. Cada pulso é equivalente a 31 cm de deslocamento. Com os valores de intervalo de tempo entre cada um dos pulsos identificados, a velocidade média foi calculada e atribuída ao instante médio entre cada pulso. Desse modo, os dados de velocidade foram interpolados através de uma função *spline* para adquirir uma frequência equivalente ao sinal de força, permitindo assim o cálculo da potência através do produto direto entre força e

velocidade. Ambos os sinais, o de deslocamento da roda dianteira e o de deformação da célula de carga foram convertidos para velocidade e força através de rotinas matemáticas construídas em ambiente MatLab (MatLab 7.0, Mathworks Inc, EUA).

A principal vantagem desse instrumento é a mensuração refinada e precisa da força, velocidade e potência da corrida do avaliado, em uma condição que permite aceleração e manutenção da velocidade a partir das capacidades do atleta.

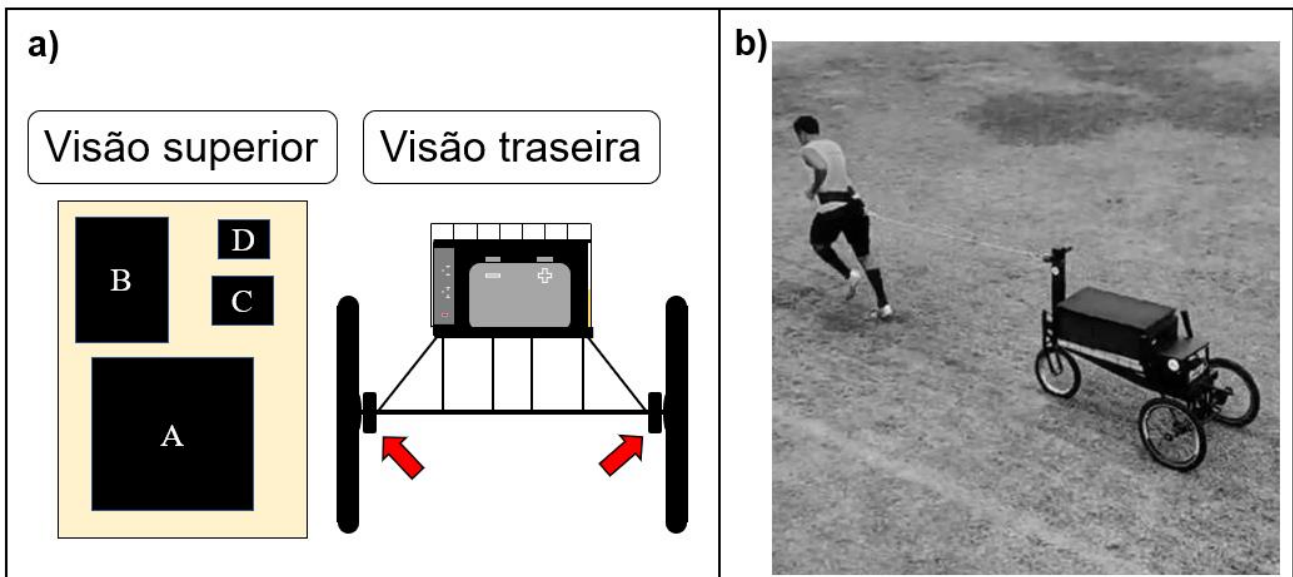
#### 4.4.5. Resistência imposta pelo Carro de Resistência Variável (CRV)

O CRV possui um sistema de frenagem eletromagnética nas duas rodas traseiras para a regulação da resistência a ser vencida pelo atleta. A carga definida para o teste é posicionada em um sistema de polia fixa que permite a calibração da resistência do freio. O sistema é ajustado à máxima resistência possível e o avaliador gradativamente libera a tensão nos discos até o momento em que o equipamento se desloca. A tensão anterior à necessária para deslocar o CRV é afixada no sistema de frenagem.

A resistência aplicada pelo CRV durante o teste se faz necessária para evitar que o equipamento adquira uma velocidade superior à do avaliado, comprometendo a mensuração dessa variável. Em caso de aceleração demasiada por parte do CRV ocasionaria no impedimento da mensuração contínua da força pelo sistema, uma vez que existe a necessidade de o cabo estar tensionado durante todo o teste.

Adotamos uma resistência equivalente a 19,07% da massa corporal do avaliado pois, SOUSA (2017) em um dos experimentos de sua tese de doutorado (experimento 4), observou que tal resistência era considerada como ideal para obter a maior potência desenvolvida pelos atletas em *sprints* de seis segundos ( $19,07 \pm 2,08\%$ ).

À título de exemplo, a **Figura 7A** exhibe os equipamentos que constituem o CRV e a **7B**, uma utilização prática do equipamento.



**Figura 7. Painel A** – Mostra uma visão superior do compartimento que contém os componentes responsáveis pela aquisição e armazenamento do sinal. Adicionalmente, ilustra uma visão traseira do aparelho de corrida atado, as setas vermelhas indicam a posição dos freios eletromagnéticos; **Painel B** – Aplicação da corrida semi-atada em campo de futebol com aquisição de sinais de força horizontal e velocidade. **A** - Microcomputador; **B** - Fonte de alimentação, responsável por fornecer tensão aos freios eletromagnéticos; **C** - Amplificador; **D** - Módulo de aquisição de sinal.

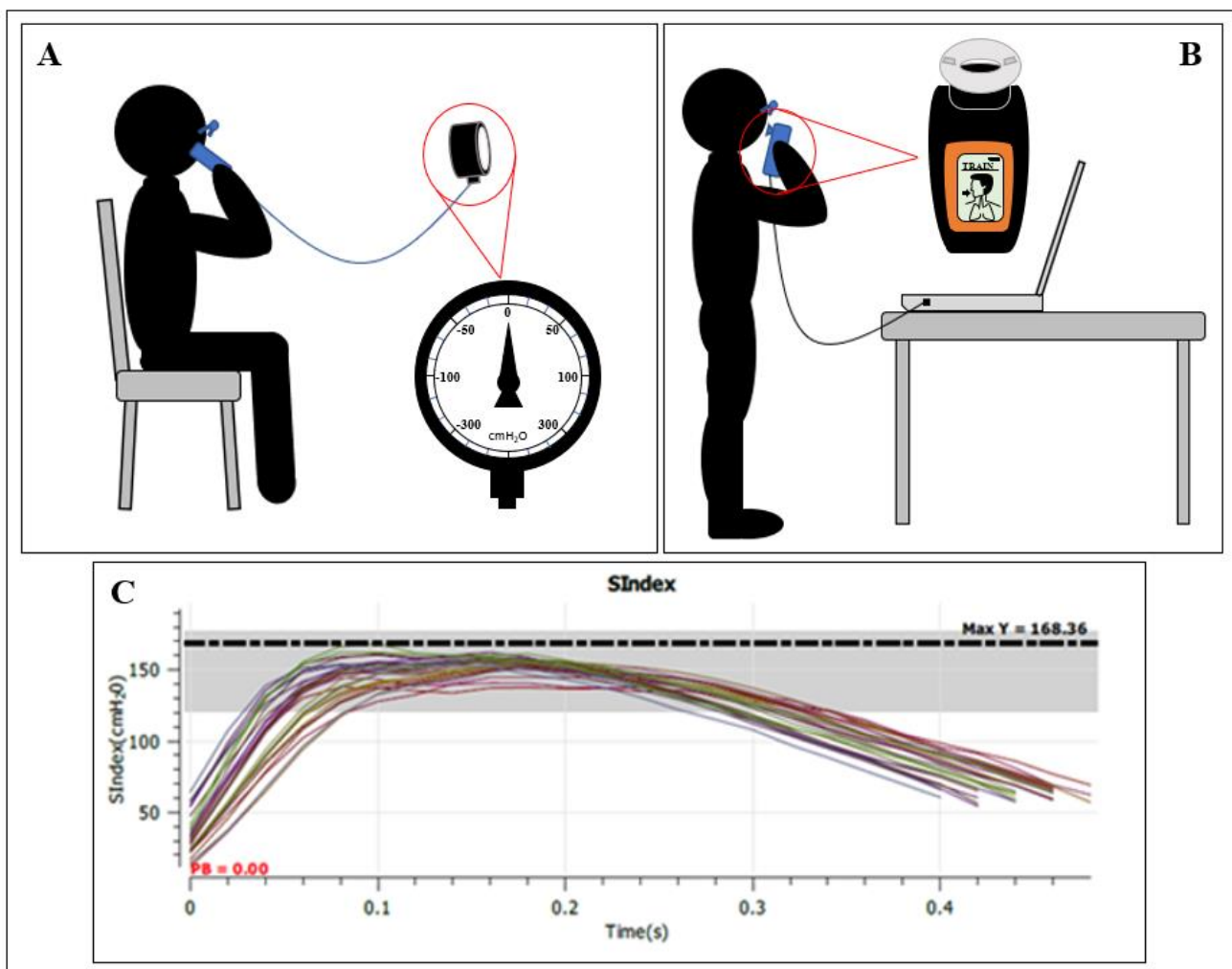
#### 4.4.6. Mensuração da pressão inspiratória máxima e protocolo de pré-ativação de músculos inspiratórios

A força dos músculos inspiratórios foi avaliada pela medida da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ) utilizando o manovacuômetro analógico (Ger-ar®, São Paulo, Brasil), com capacidade de - 300 cmH<sub>2</sub>O (centímetro de água) e bucais descartáveis (**Figura 8A**). As medidas foram coletadas pelo mesmo pesquisador e realizadas sob comando verbal homogêneo, com o atleta sentado, tendo encosto e assento fixos, proporcionando um ângulo de flexão de quadril de 90°. A cabeça do avaliado foi mantida em posição neutra e um clipe nasal evitou vazamento de ar pelas narinas. Além disso, o manovacuômetro possui um orifício de 2 milímetros de diâmetro com a finalidade de propiciar um pequeno vazamento de ar e prevenir a elevação da pressão da cavidade oral gerada pela contração da musculatura facial (ANTONELLI *et al.*, 2020; HARTZ *et al.*, 2017; HARTZ *et al.*, 2018; MAROSTEGAN *et al.*, 2022).

$PI_{max}$  foi mensurada durante esforço inspiratório iniciado a partir do volume residual e cada atleta executou, no mínimo três esforços e no máximo cinco, de inspiração máximo, tecnicamente satisfatórios, ou seja, sem vazamento de ar perioral, sustentados por pelo menos um segundo, e com valores próximos entre si ( $\leq 10\%$ ), sendo considerada para o estudo, a medida de maior valor (NEDER *et al.*, 1999). A manobra de Müller é padrão ouro

para se determinar a  $PI_{max}$  e autores mostram sua validade e confiabilidade (MCCONNELL e COPESTAKE, 1999; SACHS *et al.*, 2009).

O S-Index (*Strength Index*) dos músculos inspiratórios foi estimado pelo dispositivo POWERbreathe®, modelo K5 (IMT Technologies Ltd., Birmingham, Reino Unido) (**Figura 8B**). Esta medida, estimada por um algoritmo patenteado pela marca, também é baseada no volume pulmonar total, porém com uma proposta mais dinâmica, inspirando contra um fluxo aberto (AREIAS *et al.*, 2020; MINAHAN *et al.*, 2015). Os voluntários realizaram trinta inspirações dinâmicas (em pé com clipe nasal) expirando lentamente, com incentivo verbal para inspirar maior capacidade de ar. Durante a execução do protocolo, as curvas relativas às inspirações foram monitoradas por meio da visualização dos registros gráficos fornecidos pelo *software* do aparelho *Breathe-link*®, que, ao final do teste, forneceram os valores médio e máximo do S-Index, em unidades  $cmH_2O$  (**Figura 8C**).



**Figura 8. Painei A** – Representação de um indivíduo realizando o protocolo avaliativo da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ). **Painei B** – Representação de um indivíduo realizando o protocolo avaliativo da *Strength Index* (S-Index). **Painei C** – Gráfico extraído do programa POWERbreathe, o qual ilustra a realização do protocolo de S-Index.

As intervenções posteriores de PA de MI foram realizadas com um exercitador muscular inspiratório (POWERbreathe – modelo Plus Heavy Resistance Sports, K5). O protocolo utilizado está baseado nos estudos de CHENG *et al.* (2013), WILSON *et al.* (2014) e AREND *et al.* (2016), citado também no site oficial do POWERbreathe® recomendando que o aparelho esteja configurado no nível de aquecimento.

Os participantes realizaram duas séries de quinze inspirações máximas, com um minuto de intervalo entre cada série e encorajadas com manutenção do padrão muscular inspiratório diafragmático, na posição ortostática, utilizando a  $PI_{max}$  individual como premissa para estabelecer 40% ( $54 \pm 3,01 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) como PA experimental (CHENG *et al.*, 2013), para após 2 minutos do final da intervenção, executarem o RAST. Na sessão placebo, os indivíduos também utilizaram o equipamento, sendo que nessa sessão foi padronizado uma restrição de fluxo de ar inspirado mínima equivalente a 3  $\text{cmH}_2\text{O}$ .

#### **4.4.7. Mensurações cardiorrespiratórias, metabólica e percepção subjetiva de esforço durante e após os *sprints* repetidos**

Assim como já sinalizado no estudo, durante a execução dos testes e no período de recuperação, foram efetuadas mensurações de respostas cardíacas, metabólica e oxigenação muscular.

##### **4.4.7.1. Frequência cardíaca**

Para a obtenção das curvas individuais de frequência cardíaca antes, durante e após os esforços (até o 10º minuto da recuperação), um cardiofrequencímetro com GPS integrado (modelo POLAR V800) foi utilizado, sendo os dados armazenados com uma frequência de 1 Hz e posteriormente transferidos a um microcomputador com a utilização de uma interface *bluetooth*.

##### **4.4.7.2. Oxigenação periférica muscular**

As alterações na oxigenação em músculos mais ou menos ativos foram monitoradas continuamente, antes, durante e após o RAST, por espectroscopia do infravermelho próximo, utilizando dois dispositivos *wireless* PortaMon (Artinis Medical Systems, Elst, Holanda). Cada um desses equipamentos consiste de três emissores de luz infravermelha a 30, 35 e 40 mm de distância do receptor, que transmite os sinais em dois comprimentos de ondas, 750 nm e 850 nm, investigando as trocas na oxigenação tecidual,

especificamente a oxihemoglobina (O<sub>2</sub>Hb), desoxihemoglobina (HHb), total de hemoglobina (tHb) e o índice de saturação tecidual (TSI). Um dos dispositivos de NIRS foi posicionado na porção medial do músculo BB e o outro, no músculo VL, 15 cm acima da borda da patela e 5 cm no sentido lateral do músculo e paralelo às fibras musculares. Os dispositivos foram empacotados em plástico-filme transparente para evitar umidade (suor) e então fixados nos indivíduos com uma bandagem preta, para isolar os equipamentos da luz ambiente.

Os dados da concentração de O<sub>2</sub>Hb, HHb e tHb foram registrados e filtrados no *software Oxysoft* (versão 3.0.52, Artinis Medical Systems, Elst, Holanda). A frequência de aquisição dos sinais foi de 10 Hz. Os dados foram suavizados usando um filtro passa-baixa *Butterworth* de 10<sup>a</sup> ordem (frequência de corte de 0,1 Hz) (MANCHADO-GOBATTO et al., 2020; MANCHADO-GOBATTO et al., 2022; MAROSTEGAN et al., 2022; WOORONS et al., 2019). Após a aquisição dos sinais, os dados foram também tratados em ambiente MatLab (MatLab 7.0®, MathWorks Inc).

Conforme informado no manual de instruções disponibilizado pela Artinis, o equipamento NIRS conta com uma medida da qual informa a qualidade da mensuração das variáveis de oxigenação (*TSI Fit Factor*). No manual, o fabricante informa que um valor de 100% dessa medida indica uma qualidade de mensuração perfeita, e que valores ~99% ou maiores, possuem uma boa qualidade de mensuração. Desse modo, levando essas informações em consideração, durante a realização das coletas de dados, o protocolo avaliativo não iniciava enquanto o ajuste do *TSI Fit Factor* não fosse maior ou igual a 99%.

#### **4.4.7.3. Determinação das concentrações de lactato sanguíneo**

Para obtenção das concentrações de lactato sanguíneo antes e após a intervenção (imediatamente após a corrida e nos minutos 2, 4, 6, 8, e 10, da recuperação), amostras de sangue (25 µL) foram extraídas do lóbulo da orelha (após assepsia e com a utilização de capilares heparinizados), sendo depositadas em microtubos (Eppendorf) de 1,5 mL contendo 400 µL de ácido tricloroacético a 4%. As amostras foram imediatamente armazenadas a uma temperatura entre 2 e 8°C. As análises de concentração de lactato sanguíneo foram realizadas em um leitor de microplaca (EPOCH, BioTek *Instuments*) pelo método enzimático, conforme descrito anteriormente (ENGEL e JONES, 1978). As absorbâncias foram medidas a 340 nm e foram normalizadas contra uma curva de calibração.

A **Figura 9** sumariza, de maneira esquemática, as intervenções e/ou mensurações realizadas antes, durante e após o teste de *sprints* repetidos (RAST).



**Figura 9.** Equipamentos utilizados nas sessões caracterizadas por *Sprints* Repetidos (RAST) utilizando o carro de resistência variável (CRV), precedidos ou não pela pré-ativação de músculos inspiratórios.

#### 4.5. Análise estatística

Os dados estão apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Os testes de Shapiro-Wilk e Levene foram aplicados para verificar a normalidade e homogeneidade dos dados, respectivamente. Quando confirmadas, a estatística paramétrica foi adotada. Os sinais fisiológicos e mecânicos obtidos com elevada frequência de captura foram tratados por meio de rotinas criadas em ambiente MatLab, com o intuito de identificar alterações na linha do tempo e possíveis ocorrências propiciadas pela PA de MI.

Para cada um dos cenários de exercício (0% e 40% da  $PI_{max}$ ) foi realizada uma análise comparativa para todos os parâmetros mecânicos e fisiológicos por meio da ANOVA para medidas repetidas, adotando nível de significância de 5%. O *test-t* de *Student* foi adotado para comparar os valores máximo, médio e mínimo dos parâmetros mecânicos referentes a cada cenário de exercício. O tamanho do efeito considerando a aplicação de PA de MI sobre os parâmetros mecânicos e fisiológicos foi analisado pelo teste de *partial eta-squared* ( $\eta^2_p$ ). Adicionalmente, as correlações foram efetuadas pelo teste produto x momento de Pearson.

## 5. Resultados

### 5.1. Estudo 1

O primeiro estudo objetivou investigar a força, a velocidade e a potência de jogadores de futebol em teste de *Sprints* repetidos (*Running-based Anaerobic Sprint Test*), bem como a relação do decaimento dos resultados mecânicos ao longo dos *sprints* com a oxigenação da musculatura mais e menos ativa (Vasto lateral e Bíceps braquial, respectivamente) durante os esforços e as pausas passivas. Adicionalmente, foram analisadas as respostas de oxigenação muscular, frequência cardíaca e lactacidemia após a execução do protocolo de *sprints* repetidos.

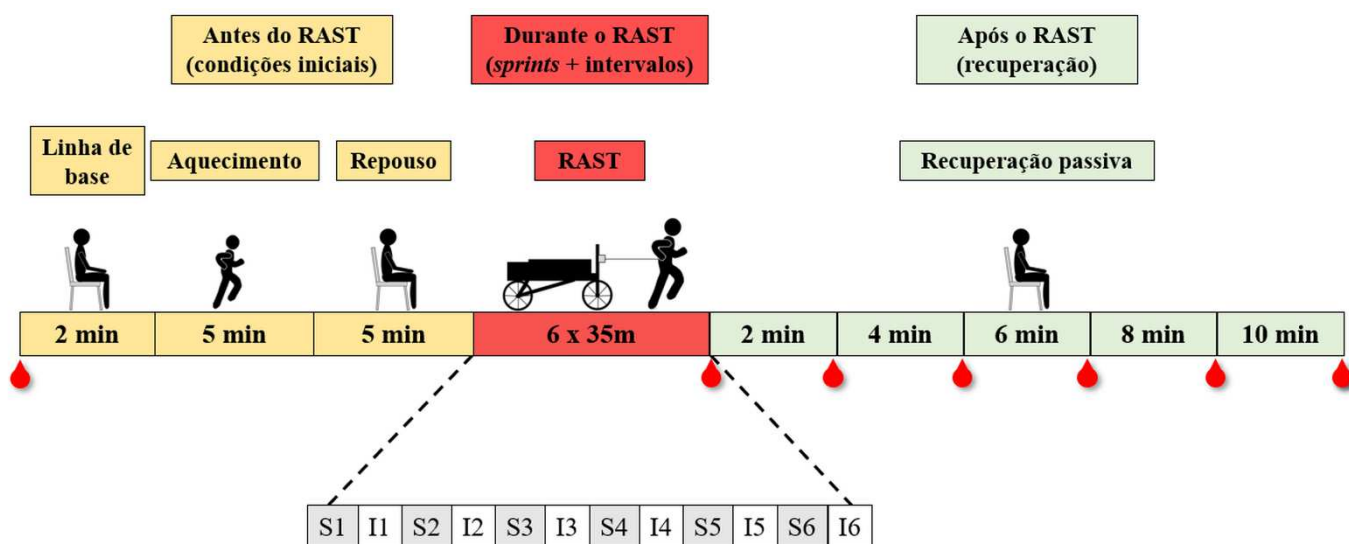
O desenho experimental foi composto por três sessões, incluindo uma com a execução do RAST em campo de futebol, com os atletas atados ao carro de resistência variável (CRV) e registros mecânicos e fisiológicos ocorrendo durante o protocolo e recuperação. Nessa primeira abordagem, a PA de MI não foi executada, devido ao calendário de competição estar se reajustando por consequência da pandemia da COVID-19.

A amostra foi composta por dez jogadores de futebol atuantes na segunda divisão do Campeonato Paulista (**Tabela 1**). Três sessões foram necessárias para o desenvolvimento do estudo. Na primeira, os participantes foram informados a respeito do desenho experimental do presente estudo e então assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Posteriormente, preencheram os questionários necessários para inclusão no grupo amostral (anamnese e histórico esportivo-competitivo). Em uma segunda sessão, os atletas foram submetidos aos procedimentos para caracterização da amostra, os quais incluíram a avaliação antropométrica, estimativa da composição corporal e protocolo para obtenção da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ). Na terceira sessão, os participantes realizaram o protocolo RAST atados ao CRV, portando dispositivos NIRS para a análise contínua do índice de saturação tecidual nos músculos Vasto Lateral (VL) e Bíceps braquial (BB), aqui consideramos mais e menos ativos para a tarefa da corrida (VL e BB). Também nessa sessão, houve o monitoramento de outras respostas fisiológicas. A sessão experimental conduzida em campo de futebol, bem como as faixas temporais analisadas no presente estudo estão exemplificadas na **Figura 10**.

**Tabela 1.** Caracterização amostral dos jogadores profissionais avaliados (n = 10).

| Caracterização amostral                |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Idade (anos)                           | 22 ± 0      |
| Massa corporal (kg)                    | 76,9 ± 0,3  |
| Estatura (m)                           | 1,80 ± 0    |
| % de gordura                           | 11,1 ± 0,1  |
| PI <sub>max</sub> (cmH <sub>2</sub> O) | 109,5 ± 0,6 |

kg – quilogramas; m – metros; cmH<sub>2</sub>O – centímetros de água



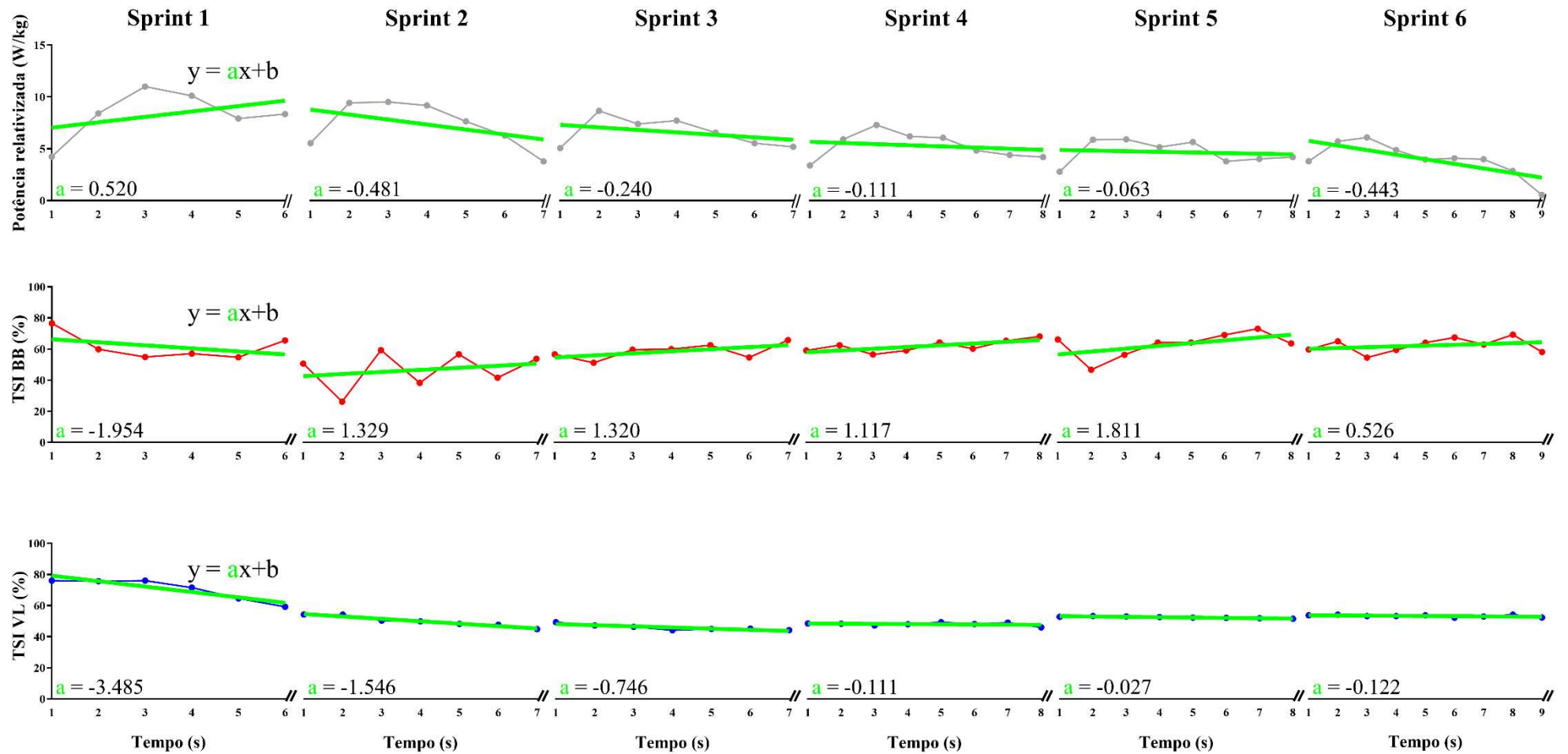
**Figura 10.** A visão geral esquemática do protocolo experimental foi dividida em três momentos, representados pelos retângulos de três cores diferentes: Amarelo - indica o momento antes do RAST; Vermelho - expressa o período temporal durante o RAST, contendo os seis *sprints* (S) e intervalos (I); e Verde - exemplifica o momento após o RAST. As variáveis frequência cardíaca (1Hz) e oxigenação muscular (10Hz) foram mensuradas durante todo o protocolo. A velocidade e a força foram medidas diretamente (1000 Hz) ao longo do protocolo RAST pelo CRV. A potência de corrida desenvolvida foi calculada posteriormente em ambiente Matlab. Amostras da concentração de lactato sanguíneo foram coletadas no momento basal e após o RAST (a cada dois minutos durante dez minutos).

### 5.1.1. Registros mecânicos e obtenção de respostas fisiológicas

Os registros mecânicos e a obtenção das respostas fisiológicas obedeceram às descrições metodológicas descritas nos itens **4.4.3** e **4.4.7** do presente documento. Essas informações foram suprimidas nesse trecho a fim de evitar duplicidade no documento.

### 5.1.2. Análise do *Slope* no protocolo de RAST

As medidas obtidas pelo CRV durante o RAST foram utilizadas para investigar o comportamento da força, velocidade e potência (segundo a segundo) em cada *sprint*, e o NIRS forneceu os registros de TSI em cada evento (i.e., em cada *sprint* e intervalo). Em mesma linha, análises de oxigenação muscular utilizando apenas as médias de cada evento (por exemplo, *sprint* a *sprint*) não podem fornecer um valor confiável que represente o comportamento das variáveis de oxigenação muscular dentro de cada evento (RODRIGUEZ *et al.*, 2018). Assim, seguindo propostas anteriores, consideramos nesse estudo a análise da inclinação (i.e., *slope*) a partir dos dados de segundo a segundo de cada *sprint* (IHSAN *et al.*, 2013), para ambos os parâmetros (mecânicos e de oxigenação), a fim de obter um único valor para cada *sprint*, que melhor representasse os comportamentos das respostas durante a corrida. Conforme apresentado na **Figura 11**, para a análise intra-*sprint* foi considerada a inclinação das respostas durante todo o *sprint*, totalizando, portanto, seis corridas (S1, S2, S3, S4, S5 e S6). O mesmo ocorreu para os intervalos entre *sprints* (I1, I2, I3, I4, I5 e I6). Para a análise após o último *sprint*, consideramos os 10 s logo após esse evento como o sexto intervalo (I6).



**Figura 11.** Gráfico representativo da potência e TSI nos músculos BB e VL ao longo dos seis *sprints*, após a obtenção do *slope* da regressão (dados obtidos de um atleta). O coeficiente angular (valor “a”) do ajuste linear foi calculado e considerado como um indicador de comportamento em cada *sprint*. Um *slope* negativo indica um decréscimo de desempenho ou TSI, enquanto um *slope* positivo indica um incremento de desempenho ou TSI.

### 5.1.3. Resultados do estudo 1

As variáveis mecânicas obtidas pelo CRV e resultados de ANOVA estão descritos na **tabela 2**. A potência ( $r = -0,721$ ;  $p < 0,001$ ), força ( $r = -0,533$ ;  $p < 0,001$ ) e velocidade ( $r = -0,811$ ;  $p < 0,001$ ) foram significativamente correlacionados com o tempo de *sprint* e apresentaram um decréscimo acentuado de desempenho ao longo dos seis *sprints*, mostrando que o processo de fadiga foi aumentando ao longo do RAST. Por serem derivadas desses resultados, outras variáveis mecânicas como impulso e trabalho também foram menores nos *sprints* finais quando comparados aos *sprints* iniciais.

De acordo com a análise ANOVA *One-Way* para medidas repetidas, o *slope* da velocidade, força e potência dentro de cada *sprint* apresentou uma diferença significativa ao longo de todo o protocolo. O *slope* dos dados de potência no primeiro *sprint* foi significativamente maior, sendo o único *slope* a apresentar valor positivo, em comparação com os *sprints* subsequentes. Foram observadas diferenças entre o *slope* dos dados de velocidade do S3 à S6 em comparação com o S1. Por outro lado, o *slope* dos dados de força apresentou o maior decréscimo de desempenho apenas em S2. Conforme descrito na **tabela 2**, a frequência cardíaca (FC) aumentou durante o RAST, com o primeiro e o segundo *sprints* registrando os valores mais baixos em comparação com os *sprints* subsequentes.

**Tabela 2.** Dados dos parâmetros mecânicos adquiridos pelo CRV e medidas da frequência cardíaca durante os seis *sprints*.

|                                      | <i>Running-based Anaerobic Sprint Test</i> |                             |                              |                              |                              |                                 | <b>ANOVA</b>  |                  |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------|------------------|
|                                      | <i>Sprint 1</i>                            | <i>Sprint 2</i>             | <i>Sprint 3</i>              | <i>Sprint 4</i>              | <i>Sprint 5</i>              | <i>Sprint 6</i>                 | <b>F</b>      | <b>p</b>         |
| <b>Tempo(s)</b>                      | 6,39±0,14                                  | 6,87±0,13 <sup>a</sup>      | 7,08±0,11 <sup>a</sup>       | 7,58±0,15 <sup>abc</sup>     | 8,32±0,24 <sup>abcd</sup>    | 8,44±0,25 <sup>abcde</sup>      | <b>57,052</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Velocidade média (km/h)</b>       | 18,98±0,21                                 | 18,49±0,40                  | 17,63±0,32 <sup>ab</sup>     | 16,15±0,29 <sup>abc</sup>    | 15,00±0,42 <sup>abcd</sup>   | 14,56±0,54 <sup>abcd</sup>      | <b>40,043</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Slope da Velocidade</b>           | 0,82±0,05                                  | 0,72±0,02                   | 0,97±0,09 <sup>ab</sup>      | 0,48±0,05 <sup>abc</sup>     | 0,32±0,06 <sup>abcd</sup>    | 0,32±0,04 <sup>abcd</sup>       | <b>33,694</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Força média (N)</b>               | 145,24±4,65                                | 131,66±5,55 <sup>a</sup>    | 118,51±4,39 <sup>ab</sup>    | 115,13±4,48 <sup>ab</sup>    | 108,34±3,31 <sup>abc</sup>   | 95,26±3,89 <sup>abcde</sup>     | <b>48,629</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Força relativizada (N/kg)</b>     | 1,90±0,06                                  | 1,72±0,06 <sup>a</sup>      | 1,55±0,06 <sup>ab</sup>      | 1,51±0,05 <sup>ab</sup>      | 1,42±0,04 <sup>abc</sup>     | 1,25±0,05 <sup>abcde</sup>      | <b>50,634</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Slope da Força</b>                | -0,21±0,01                                 | -0,27±0,03 <sup>a</sup>     | -0,22±0,02 <sup>b</sup>      | -0,20±0,02 <sup>b</sup>      | -0,18±0,02 <sup>b</sup>      | -0,22±0,01 <sup>b</sup>         | <b>3,886</b>  | <b>0,005</b>     |
| <b>Impulso (N/s)</b>                 | 922,74±30,27                               | 905,01±42,39                | 838,30±30,65 <sup>a</sup>    | 873,02±37,60                 | 899,80±34,48                 | 824,13±29,79 <sup>abe</sup>     | <b>4,453</b>  | <b>0,002</b>     |
| <b>Impulso relativizado (N/kg/s)</b> | 12,13±0,54                                 | 11,84±0,53                  | 11,00±0,49 <sup>a</sup>      | 11,44±0,53                   | 11,82±0,57                   | 10,80±0,43 <sup>abe</sup>       | <b>4,391</b>  | <b>0,002</b>     |
| <b>Potência média (W)</b>            | 719,43±29,71                               | 620,59±29,06 <sup>a</sup>   | 539,73±22,31 <sup>ab</sup>   | 477,65±18,64 <sup>abc</sup>  | 427,55±23,61 <sup>abcd</sup> | 365,45±27,02 <sup>abcde</sup>   | <b>63,672</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Potência relativizada (W/kg)</b>  | 9,39±0,32                                  | 8,08±0,26 <sup>a</sup>      | 7,05±0,27 <sup>ab</sup>      | 6,24±0,21 <sup>abc</sup>     | 5,58±0,28 <sup>abcd</sup>    | 4,77±0,35 <sup>abcde</sup>      | <b>66,165</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Slope da Potência</b>             | 0,56±0,06                                  | -0,03±0,17 <sup>a</sup>     | -0,04±0,09 <sup>a</sup>      | -0,09±0,11 <sup>a</sup>      | -0,20±0,12 <sup>a</sup>      | -0,40±0,07 <sup>ab</sup>        | <b>11,203</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Trabalho (J)</b>                  | 4563,18±169,88                             | 4257,88±202,74 <sup>a</sup> | 3814,36±146,48 <sup>ab</sup> | 3618,06±147,09 <sup>ab</sup> | 3531,22±166,54 <sup>ab</sup> | 3148,07±197,68 <sup>abcde</sup> | <b>23,953</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Trabalho relativizado (J/kg)</b>  | 59,85±2,57                                 | 55,52±2,06 <sup>a</sup>     | 49,95±2,00 <sup>ab</sup>     | 47,34±1,89 <sup>ab</sup>     | 46,22±2,20 <sup>ab</sup>     | 41,10±2,49 <sup>abcde</sup>     | <b>22,886</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>Frequência cardíaca (bpm)</b>     | 151±5                                      | 171±3 <sup>a</sup>          | 177±3 <sup>ab</sup>          | 178±3 <sup>ab</sup>          | 180±3 <sup>ab</sup>          | 179±3 <sup>ab</sup>             | <b>43,016</b> | <b>&lt;0,001</b> |

Valores expressos em média e EPM. **N** = Newtons; **N/kg** = Newtons relativizado pela massa corporal; **km/h** = Quilômetros por hora; **W** = Watts; **W/kg** = Watts relativizado pela massa corporal; Análise estatística: **a,b,c,d,e**: diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação ao 1° sprint (S1), 2° sprint (S2), 3° sprint (S3), 4° sprint (S4) e 5° sprint (S5).

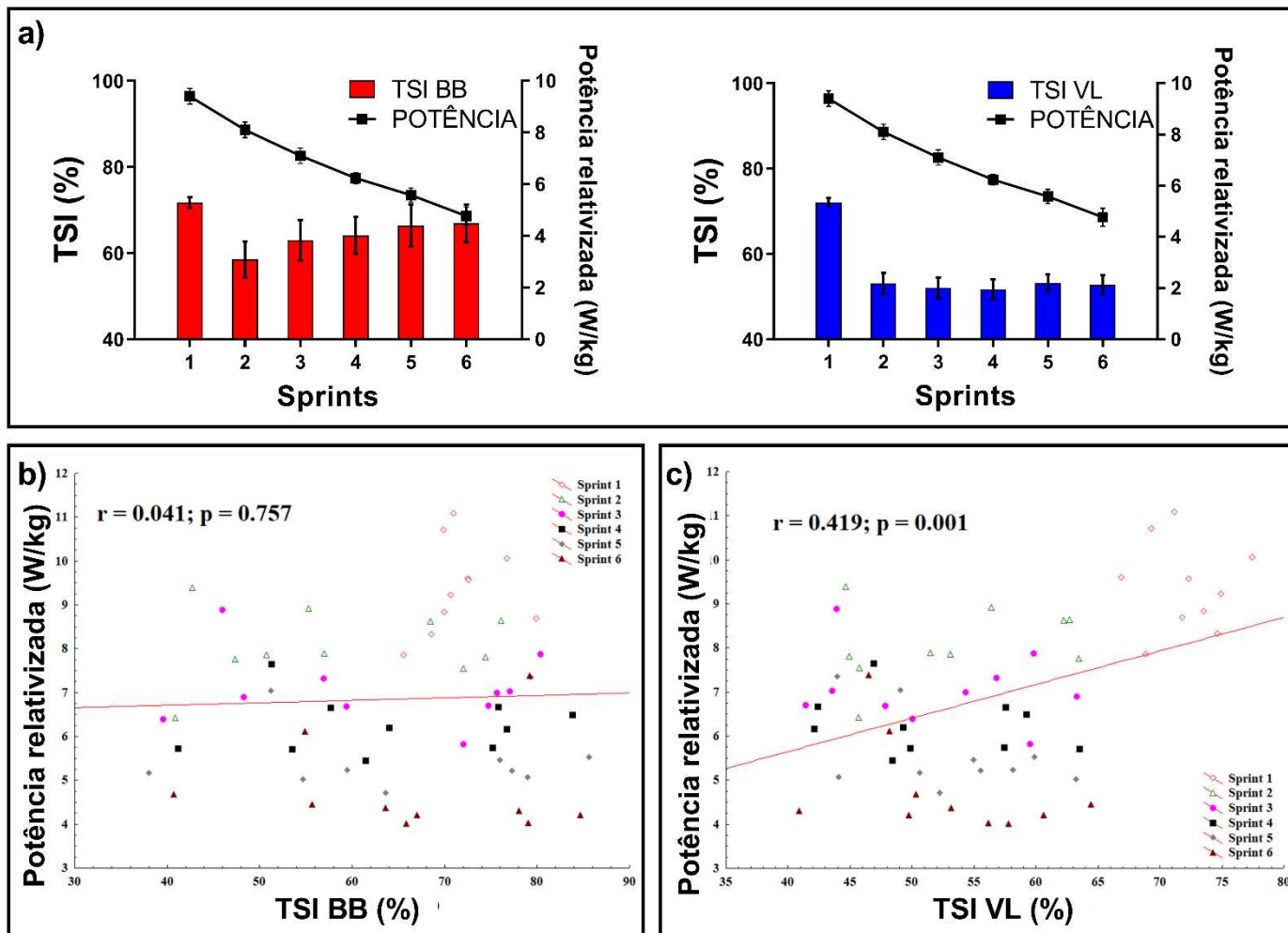
Em relação aos dados do TSI (**Tabela 3**), observou-se diferença entre BB e VL, evidenciada pelo efeito significativo do músculo ( $F = 4,612$ ;  $p = 0,046$ ;  $BB > VL$ ), bem como no TSI ao longo do RAST, considerando o efeito significativo dos *sprints* ( $F = 38,422$ ;  $p < 0,001$ ). Apesar do teste *post hoc* não revelar diferenças estatisticamente significativas entre BB e VL em mesmos tempos, a ANOVA *two-way* para medidas repetidas detectou uma interação significativa entre o músculo e os *sprints* ( $F = 9,034$ ;  $p < 0,001$ ). Essa interação demonstra que o TSI sofre uma flutuação divergente ao longo dos *sprints* quando os músculos BB e VL são comparados. O primeiro *sprint* registrou o maior valor de TSI (para ambos os músculos) em comparação aos demais *sprints* (**Tabela 3**). Além disso, o TSI BB apresentou o nível mais baixo no segundo *sprint*. Em relação à análise de *slope* do TSI, a ANOVA *two-way* para medidas repetidas mostrou um efeito significativo do *sprint* ( $F = 14,448$ ,  $p < 0,001$ ). Em linha com isso, as análises *post hoc* revelaram um *slope* negativo significativamente maior do TSI no primeiro *sprint* em comparação aos demais. Nenhum efeito significativo do músculo ( $F = 3,115$ ,  $p = 0,095$ ) e interação ( $F = 0,501$ ,  $p = 0,774$ ) no *slope* do TSI foi observado.

**Tabela 3.** Índice de saturação tecidual (TSI, %), monitorado por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) nos seis *sprints* na condição de corrida atada.

| <i>Running-based Anaerobic Sprint Test</i> |                 |           |                   |                   |                    |                   |                    |                   |                    |                   |                    |                   |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                                            | <i>Sprint 1</i> |           | <i>Sprint 2</i>   |                   | <i>Sprint 3</i>    |                   | <i>Sprint 4</i>    |                   | <i>Sprint 5</i>    |                   | <i>Sprint 6</i>    |                   |
|                                            | <b>BB</b>       | <b>VL</b> | <b>BB</b>         | <b>VL</b>         | <b>BB</b>          | <b>VL</b>         | <b>BB</b>          | <b>VL</b>         | <b>BB</b>          | <b>VL</b>         | <b>BB</b>          | <b>VL</b>         |
| <b>TSI (%)</b>                             | 71,75±          | 72,11±    | 58,53±            | 53,07±            | 63,03±             | 52,08±            | 64,11±             | 51,71±            | 66,44±             | 53,20±            | 66,92±             | 52,81±            |
|                                            | 1,29            | 1,01      | 4,22 <sup>a</sup> | 2,46 <sup>a</sup> | 4,69 <sup>ab</sup> | 2,46 <sup>a</sup> | 4,29 <sup>ab</sup> | 2,32 <sup>a</sup> | 4,87 <sup>ab</sup> | 2,03 <sup>a</sup> | 4,36 <sup>ab</sup> | 2,24 <sup>a</sup> |
| <b>Slope TSI</b>                           | -2,08±          | -2,57±    | -0,96±            | -1,02±            | -0,04±             | -0,78±            | -0,09±             | -0,72±            | 0,30±              | -0,55±            | 0,03±              | -0,83±            |
|                                            | 0,55            | 0,60      | 0,50 <sup>a</sup> | 0,22 <sup>a</sup> | 0,39 <sup>a</sup>  | 0,27 <sup>a</sup> | 0,34 <sup>a</sup>  | 0,29 <sup>a</sup> | 0,24 <sup>a</sup>  | 0,28 <sup>a</sup> | 0,17 <sup>a</sup>  | 0,23 <sup>a</sup> |

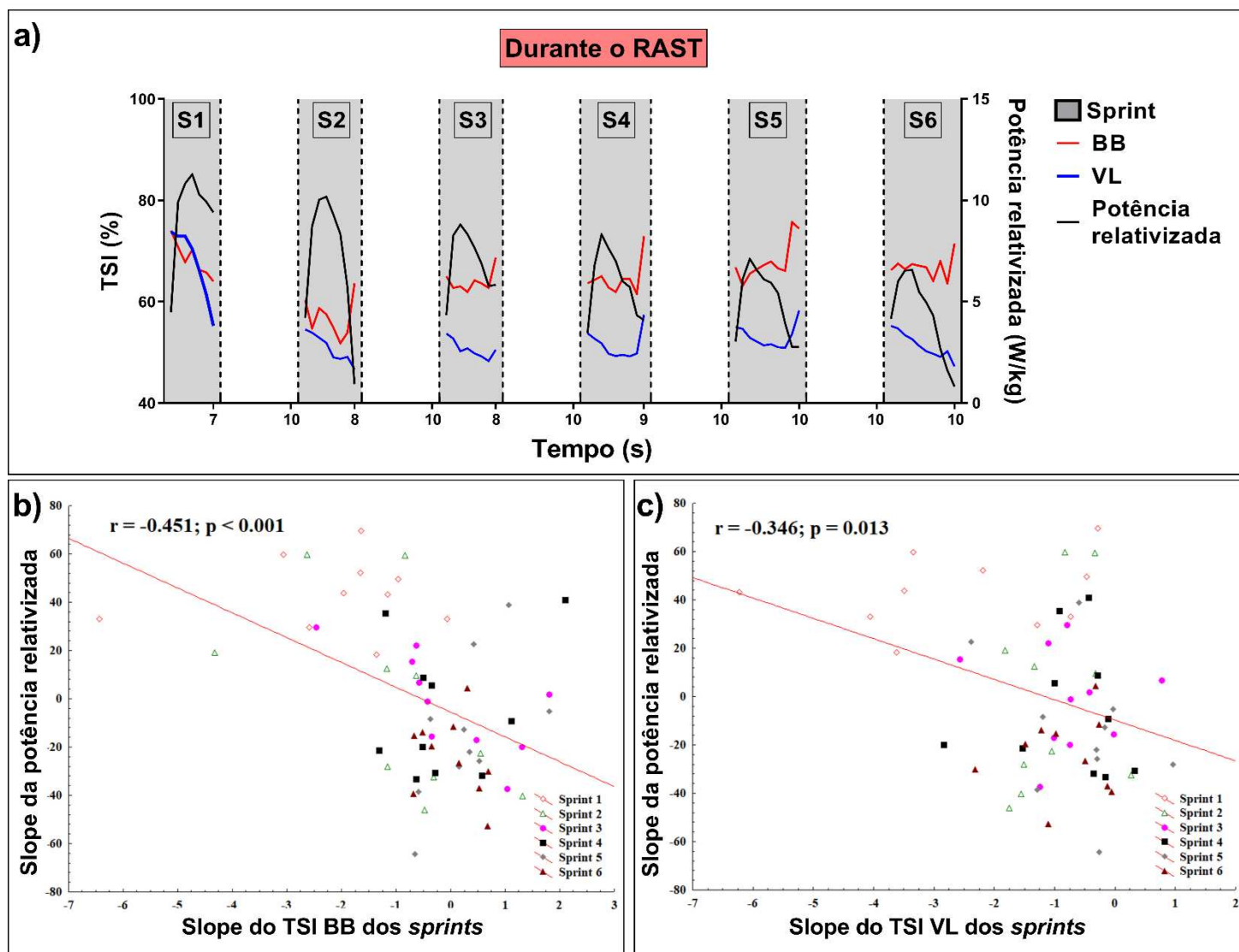
Valores expressos em média e EPM. **BB** – Bíceps braquial; **VL** – Vasto lateral. Análise estatística: **a**, **b**: diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação ao 1º *sprint* e 2º *sprint*, dentro do respectivo músculo.

A correlação entre potência de corrida média relativizada e a média do TSI VL foi moderada e positiva durante os *sprints* ( $r = 0,419$ ;  $p = 0,001$ ) (**Figura 12C**), o que não foi observado no caso da potência média com o TSI BB ( $r = 0,041$ ;  $p = 0,757$ ) (**Figura 12B**).



**Figura 12.** Dados de oxigenação muscular obtidos por espectroscopia no infravermelho próximo e variáveis mecânicas (potência relativizada) obtidas pelo CRV. **Painel A** - A figura mostra os resultados dos músculos, mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente), na média e erro padrão da média. **Painel B** - Correlação não significativa entre os valores médios de TSI (%) no Bíceps braquial e a potência média relativizada. **Painel C** - Correlação significativa entre os valores médios de TSI (%) no Vasto lateral e a potência média relativizada.

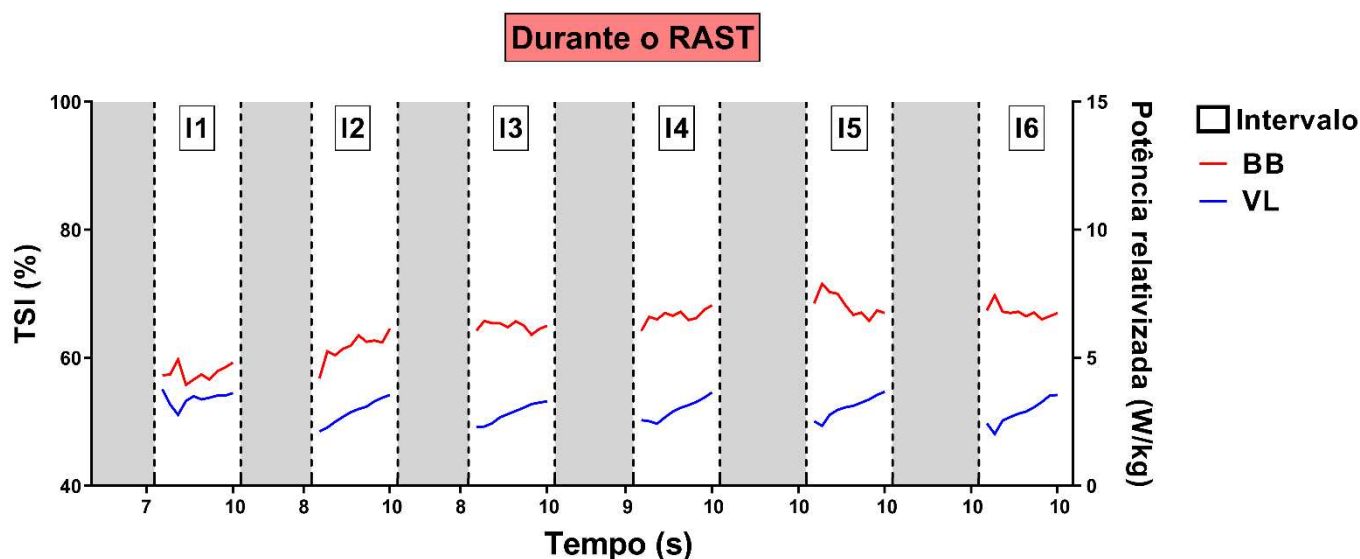
Houve também correlação significativa e inversa entre o *slope* da potência relativizada e o *slope* do TSI BB ( $r = -0,451$ ;  $p < 0,001$ ) e do TSI VL ( $r = -0,346$ ;  $p = 0,013$ ) (**Figura 13B e C**, respectivamente), demonstrando que o decaimento do TSI durante os *sprints* está relacionado ao incremento da potência relativizada na corrida.



**Figura 13.** Dados de oxigenação muscular obtidos por espectroscopia no infravermelho próximo e variáveis mecânicas (potência relativizada) obtidas pelo CRV. **Painel A** - Mostra o comportamento (*slope*) da oxigenação dos músculos mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente). Correlações entre o *slope* da potência relativizada com o *slope* do TSI (%) em BB (**painel B**) e TSI em VL (**painel C**).

As análises dos dez segundos de intervalo passivo entre os *sprints* (I) reportam um efeito significativo do músculo ( $F = 5,905$ ,  $p = 0,026$ ;  $BB > VL$ ). Foram observadas diferenças no TSI ao longo dos intervalos no RAST, sinalizado por um efeito significativo do intervalo ( $F = 9,022$ ,  $p < 0,001$ ). A ANOVA *two-way* para medidas repetidas detectou uma interação significativa entre o músculo e o intervalo ( $F = 25,085$ ,  $p < 0,001$ ), sendo os resultados de TSI em BB nos dois primeiros intervalos (I1 e I2) menores em comparação aos demais. Além disso, o TSI VL no primeiro intervalo foi significativamente superior aos demais (**Figura 14**). Por meio de análises de *slope* nos intervalos, não foi observado efeito significativo do

músculo ( $F = 3,314$ ,  $p = 0,085$ ), do intervalo ( $F = 1,878$ ,  $p = 0,106$ ) e interação ( $F = 1,877$ ,  $p = 0,106$ ).



*Running-based Anaerobic Sprint Test*

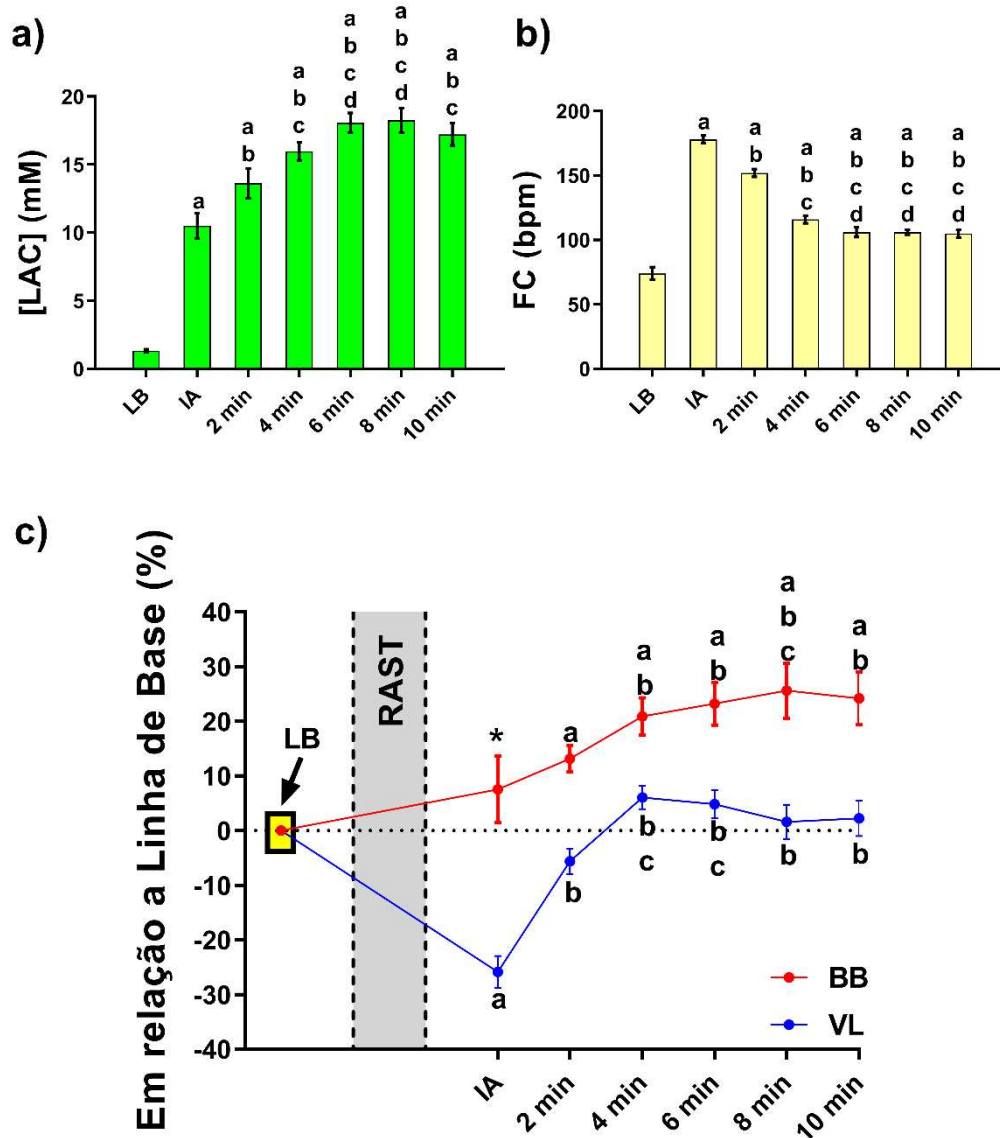
|                     | Intervalo 1 (10s) |                | Intervalo 2 (10s) |                             | Intervalo 3 (10s)            |                             | Intervalo 4 (10s)            |                             | Intervalo 5 (10s)              |                             | Intervalo 6 (10s)             |                             |
|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|                     | BB                | VL             | BB                | VL                          | BB                           | VL                          | BB                           | VL                          | BB                             | VL                          | BB                            | VL                          |
| <b>TSI (%)</b>      | 60,53±<br>3,75    | 56,94±<br>2,12 | 60,29±<br>4,81    | 50,93±<br>2,81 <sup>a</sup> | 64,04±<br>4,66 <sup>ab</sup> | 50,35±<br>2,36 <sup>a</sup> | 65,48±<br>4,73 <sup>ab</sup> | 50,82±<br>2,43 <sup>a</sup> | 67,85±<br>4,69 <sup>abcd</sup> | 51,59±<br>2,31 <sup>a</sup> | 67,27±<br>4,31 <sup>abc</sup> | 50,98±<br>2,60 <sup>a</sup> |
| <b>Slope do TSI</b> | 0,12±<br>0,33     | 0,12±<br>0,30  | 0,59±<br>0,38     | 0,64±<br>0,18               | -0,08±<br>0,28               | 0,50±<br>0,17               | 0,25±<br>0,32                | 0,51±<br>0,14               | -0,46±<br>0,16 <sup>b</sup>    | 0,55±<br>0,20               | -0,20±<br>0,33                | 0,61±<br>0,20               |

**Figura 14.** A figura apresenta um gráfico contendo o índice de saturação tecidual do Bíceps braquial (BB) e do Vasto lateral (VL) dos cinco intervalos entre *sprints* previstos pelo RAST e o sexto intervalo, considerado para análise como os 10s iniciais da recuperação após o protocolo. **a, b, c, d:** diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) dentro do respectivo músculo em relação ao 1º intervalo (I1), 2º intervalo (I2), 3º intervalo (I3) e 4º intervalo (I4), respectivamente.

Após a conclusão do RAST, a ANOVA revelou um efeito significativo do momento para [LAC] ( $F = 123,43$ ,  $p < 0,001$ ) e FC ( $F = 167,89$ ,  $p < 0,001$ ), sendo que ambas as variáveis fisiológicas apresentaram valores mais elevados logo após o teste em relação à linha de base (**Figura 15A e 15B**). Observou-se estabilização da FC no sexto minuto e estabilização da [LAC] no mesmo período, a qual também apresentou diferença não significativa entre o sexto, oitavo e décimo minuto.

Seguindo a mesma análise, foi encontrado um efeito significativo do músculo no TSI ( $F = 7,054$ ;  $p = 0,016$ ; BB > VL). Além disso, foram observadas diferenças nos resultados de TSI ao longo do período de recuperação, conforme indicado por um efeito significativo do momento ( $F = 24,204$ ;  $p < 0,001$ ). A ANOVA *two-way* para medidas repetidas detectou uma

interação significativa entre o músculo e momento ( $F = 8,059$ ;  $p < 0,001$ ). O VL apresentou o menor valor do TSI imediatamente após a realização do RAST, no mesmo momento foi observada diferença significativa entre os dois músculos (**Figura 15C**). Enquanto o TSI VL retornou à condição de linha de base após dois minutos de recuperação, o TSI BB apresentou valores mais elevados nesse período.



**Figura 15.** Variáveis [LAC], FC e TSI durante o momento de recuperação, e comparações relacionadas à condição de linha de base. **Painel A** - Comparações dos valores [LAC] dos períodos de recuperação com o de linha de base; **Painel B** - Comparações dos valores de FC dos períodos de recuperação com o de linha de base; **Painel C** - Comparações dos valores do TSI dos períodos de recuperação com o de linha de base. O valor da linha de base foi definido em 0% (os demais valores foram adquiridos em relação ao valor da linha de base) para observar o comportamento do TSI de ambos os músculos, mais (Azul) e menos (Vermelho) ativos (VL e BB, respectivamente), na média e no erro padrão da média. O gráfico foi dividido em dois momentos: 1º) Antes do RAST (linha de base) e 2º) Após o RAST, compreendendo seis pontos de coleta de dados durante o período de recuperação (imediatamente após o RAST, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos após o fim RAST). **[LAC]** - Concentração lactacidêmica; **FC** - frequência cardíaca; **TSI** - Índice de Saturação do Tecido; **LB** - Linha de base;

**IA** - Imediatamente após RAST; **2 min a 10 min** - Momentos pré-estabelecidos de coleta de dados no período de recuperação; **BB** - bíceps braquial; **VL** - Vasto lateral; **a** - Significativamente diferente da linha de base; **b** - Significativamente diferente de IA; **c** - Significativamente diferente de 2 min; **d** - Significativamente diferente de 4 min; \* - Indica uma diferença significativa entre os músculos dos membros no mesmo momento.

A [LAC] e a FC apresentaram comportamentos opostos durante o período de recuperação, em consonância com a correlação significativa entre essas variáveis ( $r = -0,618$ ,  $p < 0,001$ ). Foi observada correlação significativa e positiva entre [LAC] e TSI BB ( $r = 0,267$ ,  $p = 0,039$ ) e VL ( $r = 0,490$ ,  $p < 0,001$ ). Por outro lado, foi observada uma relação negativa entre FC e TSI (BB:  $r = -0,430$ ,  $p = 0,001$ ; VL:  $r = -0,683$ ,  $p < 0,001$ ).

#### 5.1.4. Discussão dos resultados do estudo 1

Até onde sabemos, este é o primeiro estudo que: 1) mensurou direta e simultaneamente os parâmetros mecânicos e fisiológicos durante o *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST); e 2) investigou a oxigenação em músculos mais e menos ativos, durante e após o RAST. Nossos principais achados sugerem que a oxigenação muscular (durante *sprints* e intervalos no RAST) variou de maneira tecido-dependente, com o Bíceps braquial apresentando maior TSI do que o Vasto lateral. Com relação às análises após a execução do protocolo de *sprints* repetidos (após RAST), observamos um importante papel da oxigenação no músculo menos ativo no processo de recuperação.

Os resultados obtidos por meio do RAST apresentam um decréscimo acentuado de desempenho (por exemplo, tempo de *sprint* e variáveis mecânicas), conforme já observado por outros grupos de pesquisa (BISHOP *et al.*, 2004; DA CRUZ *et al.*, 2020). Na maioria dos estudos envolvendo o RAST tradicional (sem o uso do CRV), a potência de corrida é calculada a partir da massa corporal do sujeito (ZAGATTO *et al.*, 2009), o que representa uma limitação quando não se considera a força horizontal desenvolvida pelo indivíduo. Outra limitação do RAST tradicional é que este teste não é apropriado para analisar o desempenho de uma forma mais detalhada (por exemplo, segundo a segundo). Tentamos superar essas limitações e aumentar a consistência do RAST na identificação de parâmetros mecânicos usando o CRV. Com isso, o desempenho pode ser registrado inteiramente durante cada *sprint*, garantindo assim a consistência dos dados e permitindo novas formas de investigá-los em uma abordagem consistente (por exemplo, análises de *slope*) (IHSAN *et al.*, 2013; RODRIGUEZ *et al.*, 2018). Destacamos que os dados precisos e individualizados como observados no teste semi-atado aqui aplicado, podem direcionar programas de treinamento no futebol por indicar a valência que, para aquele atleta, necessita de maior atenção (força

ou velocidade, por exemplo). Ainda, a utilização de trenós para o treino na modalidade pode ser fortalecida caso haja a possibilidade de registrar os dados, bem como implementar diferentes resistências. Nesse sentido, encorajamos outros grupos de pesquisa a usarem medidas diretas de parâmetros mecânicos durante um teste e sessões de *sprints* repetidos.

Os resultados das variáveis mecânicas apresentadas neste estudo foram comparados com os obtidos por SOUSA *et al.* (2015), o qual foi o único estudo que mensurou diretamente os parâmetros mecânicos durante o RAST (mas naquele estudo, em pista de atletismo). SOUSA *et al.* (2015) observaram diminuição significativa das variáveis mecânicas ao longo do protocolo. De fato, potência de corrida, trabalho total e força média foram sensíveis à fadiga. Nossos resultados corroboram com o estudo de SOUSA *et al.* (2015), no qual a potência, força e velocidade de corrida se correlacionaram significativamente com o tempo de *sprint*, destacando o processo de fadiga durante o RAST. Além disso, nossos resultados mecânicos (**Tabela 2**) corroboram com os de SOUSA *et al.* (2015), com força média variando de 1,75 a 1,51 N/kg e potência média variando de 8,44 a 6,33 W/kg ao longo do protocolo. No entanto, uma particularidade a referir, é que na investigação conduzida por SOUSA *et al.* (2015), o decréscimo de desempenho foi menor do que o observado em nosso estudo. Essas diferenças devem estar relacionadas ao tipo de modalidade treinada por cada grupo avaliado, uma vez que aqueles autores avaliaram atletas de *sprint* treinados para competir em modalidades que geralmente apresentam maior resistência à fadiga (ADAMCZYK, 2011). Em essência, os achados referentes às variáveis mecânicas obtidas neste estudo são semelhantes aos já apresentados na literatura científica.

Em relação aos parâmetros fisiológicos relevantes para performance em *sprints* repetidos, MCGAWLEY e BISHOP (2008) sugeriram que o metabolismo oxidativo desempenha um papel importante durante esforços dessa natureza, contribuindo com até 40% do fornecimento total de energia nos *sprints* finais. Em consonância, já se sabe que a presença de um platô dos níveis de TSI no músculo mais ativo costuma ser observada a partir do segundo *sprint* (BROCHERIE *et al.*, 2015; SMITH e BILLAUT, 2010), o que está de acordo com os nossos resultados (**Tabela 3**). Há estudos que sugerem que esse platô no TSI indica uma extração muscular máxima de oxigênio (O<sub>2</sub>) (BAE *et al.*, 2000; ESAKI *et al.*, 2005; TRAN *et al.*, 1999). Isso, junto com nossos dados, reforça a ideia de que os níveis de O<sub>2</sub> (e, portanto, o metabolismo aeróbio) são importantes para o músculo mais ativo, mesmo para um exercício de *sprints* repetidos (BUCHHEIT e UFLAND, 2011).

No presente estudo, por meio da análise de médias e *slopes* nos *sprints*, observamos uma relação significativa e positiva entre a potência de corrida e o TSI VL (**Figura 12 e 13**). No entanto, essa relação provavelmente foi fortemente afetada pelo primeiro *sprint*, que geralmente registra a maior potência de corrida e níveis de TSI, por meio da análise de médias (provavelmente devido às condições mais preservadas dos atletas nessa primeira corrida) (BROCHERIE *et al.*, 2015). Além disso, encontramos níveis aumentados de TSI em músculos menos ativos (ou seja, BB) após o segundo *sprint* (**Tabela 3**), contradizendo os baixos níveis de TSI em BB observados em exercícios de alta intensidade e contínuos (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; RISSANEN *et al.*, 2012).

Usando medidas diretas para avaliar o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), bem como a oxigenação muscular por NIRS (ou seja, TSI), BAE *et al.* (2000) constataram que em um exercício intermitente de alta intensidade caracterizado por 10 s de esforço e 20 s de intervalo, o  $VO_2$  foi aumentado durante os períodos de intervalo, assim como o TSI da musculatura mais ativa (Vasto lateral). Embora esse aumento do  $VO_2$  nos períodos de intervalo possa estar relacionado a uma maior captação de  $O_2$  pelos músculos mais ativos, os autores teorizaram que esse aumento do  $VO_2$  se deve, em partes, ao débito de  $O_2$  indicando uma quantidade imperceptível de captação de  $O_2$  pelos músculos menos ativos durante o exercício, reservas de  $O_2$  e músculos não exercitados (CAMUS e THYS, 1991; DI PRAMPERO, 1981). Esta teoria está de acordo com nossos achados mostrando aumento dos níveis de  $O_2$  (TSI) no músculo menos ativo (BB) (mas não no músculo mais ativo - VL) ao longo dos períodos de intervalo (interação:  $F = 25,085$ ,  $p < 0,001$ ) no RAST (**Figura 14**). Contudo, mais estudos são necessários para agregar conhecimento sobre esse tema. Nesse ponto, é oportuno comentar que os intervalos passivos, promovendo recuperação parcial entre os *sprints*, sugerindo uma possível participação do Bíceps braquial no processo de recuperação, o que pode ser um ajuste divergente do que é observado em exercício contínuo. Assim, com base em nossos achados, mas também em um caminho especulativo, acreditamos que treinamentos aeróbios para músculos menos ativos poderiam contribuir ainda mais para que esses músculos participem no intervalo entre *sprints*. Para fortalecer essa ideia, seria significativa a condução de mais estudos agudos e crônicos, usando métodos contínuo ou intervalado, direcionados aos grupos musculares menos ativos na tarefa principal. Também destacamos a atenção que deve ser destinada aos intervalos entre *sprints*, em especial no que se refere às mensurações de oxigenação muscular. Nossos dados sugerem que um intervalo muito curto, de apenas 10 segundos em recuperação

passiva, é suficiente para provocar uma recuperação fisiológica interessante (especialmente em músculos menos ativos). No que diz respeito à aplicação ao contexto de treino, os treinadores devem estar mais atentos “à forma como os indivíduos se recuperam entre os *sprints*”.

Nossos achados sugerem que a oxigenação muscular sofre flutuação divergente após RAST (recuperação) quando comparados os músculos BB e VL (interação:  $F = 8,059$ ;  $p < 0,001$ ) (MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020). Corroborando com o exposto, foi possível observar um aumento dos níveis de  $O_2$  no BB durante todo o momento de recuperação, em relação à condição de linha de base. Por outro lado, o VL após dois minutos de recuperação, retornou à condição inicial e assim permaneceu durante todo o período. Além disso, a [LAC] aumentou significativamente durante a recuperação, com estabilização no sexto minuto e um indício de diminuição da [LAC] no décimo minuto. Por outro lado, a FC diminuiu significativamente até o sexto minuto do período de recuperação. Curiosamente, [LAC] apresentou uma relação significativa com o TSI de ambos os músculos. Diante disso, e considerando que o  $O_2$  desenvolve um papel essencial nas vias oxidativas para obtenção de energia, através da oxidação do lactato (BROOKS, 2018; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020), um aumento significativo no TSI BB sugere que o músculo menos ativo pode ser importante durante o período de recuperação.

#### **5.1.5. Considerações finais do estudo 1**

Nossos resultados confirmam a redução da força, velocidade e potência de corrida em *sprints* repetidos e que há correlação positiva entre esse decaimento com a saturação de oxigenação em músculos mais ativo durante o esforço. Além disso, a oxigenação muscular nos *sprints*, e também dos intervalos do RAST, sofrem uma flutuação divergente de forma tecido-dependente, com o Bíceps braquial apresentando maior TSI do que o Vasto lateral. Ainda, foi observado que após a execução do RAST, houve a re-oxigenação pronunciada no Bíceps braquial, mas não no Vasto lateral (mais ativo), indicando um possível papel do músculo menos ativo no processo de recuperação, em especial na oxidação do lactato sanguíneo.

## 5.2. Estudo 2

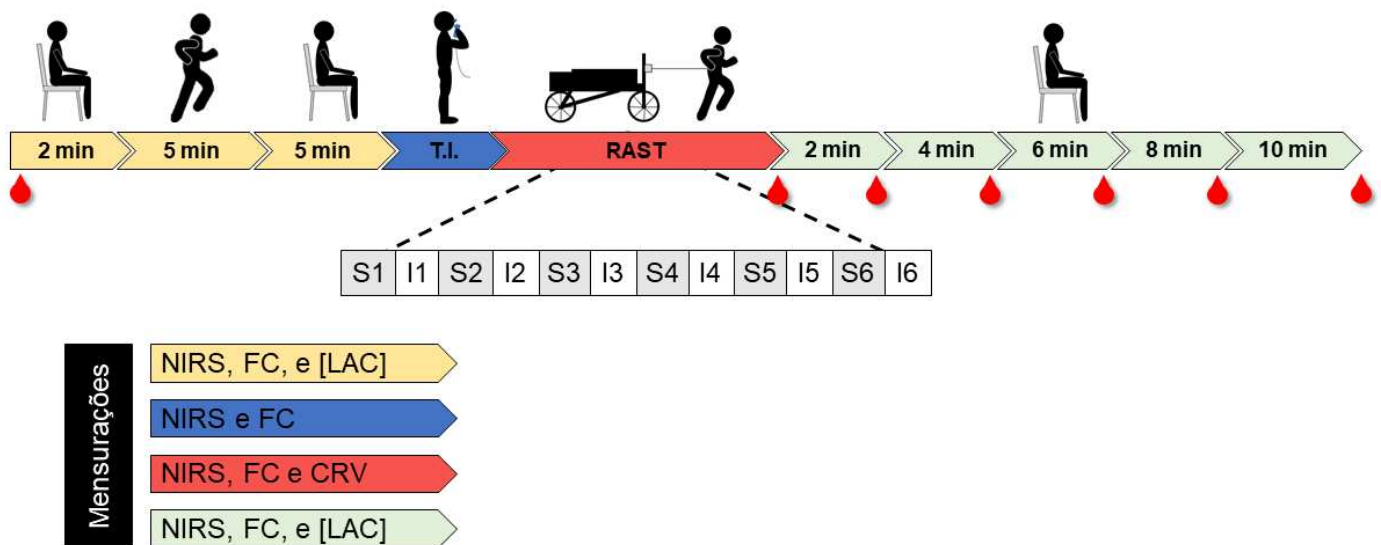
O segundo estudo objetivou investigar o efeito da pré-ativação de músculos inspiratórios nas variáveis de força, velocidade e a potência de jogadores de futebol em teste de *sprints* repetidos (*Running-based Anaerobic Sprint Test*), bem como a relação dos resultados mecânicos ao longo dos *sprints* com a oxigenação na musculatura mais e menos ativa (Vasto lateral e Bíceps braquial, respectivamente) ao longo do protocolo RAST. Para isso, o desenho experimental foi composto por quatro sessões, incluindo duas com a execução do RAST em campo de futebol, com os atletas atados ao carro de resistência variável (CRV) para registros mecânicos, e fisiológicos ocorrendo durante o protocolo e recuperação.

A amostra foi composta por dez jogadores de futebol participantes do Campeonato Paulista sub-17. Quatro sessões foram necessárias para o desenvolvimento do estudo. Na primeira, os participantes foram informados a respeito do desenho experimental do presente estudo e então assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido. Posteriormente, preencheram os questionários destinados a pesquisa (anamnese e histórico esportivo-competitivo). Em uma segunda sessão, os atletas foram submetidos aos procedimentos para caracterização da amostra, os quais incluíram a avaliação antropométrica, estimativa da composição corporal, protocolo para obtenção da pressão inspiratória máxima ( $PI_{max}$ ), e protocolo para obtenção da força dinâmica da musculatura inspiratória (S-Index). Na terceira e quarta sessão, os participantes realizaram a pré-ativação de músculos inspiratórios, seguido do protocolo RAST atados ao CRV. A PA de MI foi realizada de forma randomizada e balanceada, onde em uma sessão o avaliado realizaria a PA de MI com zero restrição de fluxo de ar (SPA) e na outra uma restrição de 40% referente a  $PI_{max}$  era aplicada (PA40). Os participantes realizaram o procedimento portando dispositivos NIRS para a análise contínua do índice de saturação tecidual (TSI) nos músculos Vasto Lateral (VL) e Bíceps braquial (BB), aqui consideramos mais e menos ativos para a tarefa da corrida (VL e BB). Também nessa sessão, houve o monitoramento de outras respostas fisiológicas (frequência cardíaca e lactacidemia). A sessão experimental conduzida em campo de futebol, bem como as faixas temporais analisadas no presente estudo estão exemplificadas na **Figura 16**.

**Tabela 4.** Caracterização amostral dos jogadores sub-17 avaliados (n = 10).

| Caracterização amostral                      |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| Idade (anos)                                 | 15 ± 1      |
| Massa corporal (kg)                          | 68,2 ± 2,3  |
| Estatura (m)                                 | 1,81 ± 2,4  |
| % de gordura                                 | 9,7 ± 0,2   |
| PI <sub>max</sub> (cmH <sub>2</sub> O)       | 135,0 ± 7,9 |
| S-Index <sub>méd</sub> (cmH <sub>2</sub> O)  | 123,7 ± 5,4 |
| S-Index <sub>pico</sub> (cmH <sub>2</sub> O) | 138,4 ± 3,9 |
| PA40 (cmH <sub>2</sub> O)                    | 54,0 ± 3,2  |

PI<sub>max</sub> – Pressão inspiratória máxima; **S-Index** – Pressão inspiratória máxima dinâmica; **PA40** – Pré-ativação de músculos inspiratórios com 40% de restrição de fluxo de ar; **kg** – quilogramas; **m** – metros; **cmH<sub>2</sub>O** – centímetros de água



**Figura 16.** A visão geral esquemática do protocolo experimental do segundo estudo foi dividida em quatro momentos, representados pelos retângulos de quatro cores diferentes: Amarelo – indica o momento antes do RAST – dois minutos de Linha de base, seguidos por cinco minutos de aquecimento, e cinco minutos de repouso; Azul – indica momento da PA de MI – tempo indeterminado pois cada indivíduo possui sua velocidade de execução; Vermelho – expressa o período temporal durante o RAST, contendo os seis sprints (S) e intervalos (I); Verde – exemplifica o momento após o RAST – mensurações fisiológicas sendo realizadas a cada dois minutos. As variáveis frequência cardíaca (1Hz) e oxigenação muscular (10Hz) foram mensuradas durante todo o protocolo, sendo tratadas a cada *sprint* e intervalos. A velocidade e a força foram medidas diretamente (1000 Hz) ao longo do protocolo RAST pelo CRV. A potência de corrida desenvolvida foi calculada posteriormente em ambiente Matlab. Amostras da concentração de lactato sanguíneo foram coletadas no momento de linha de base e após o RAST (a cada dois minutos durante dez minutos).

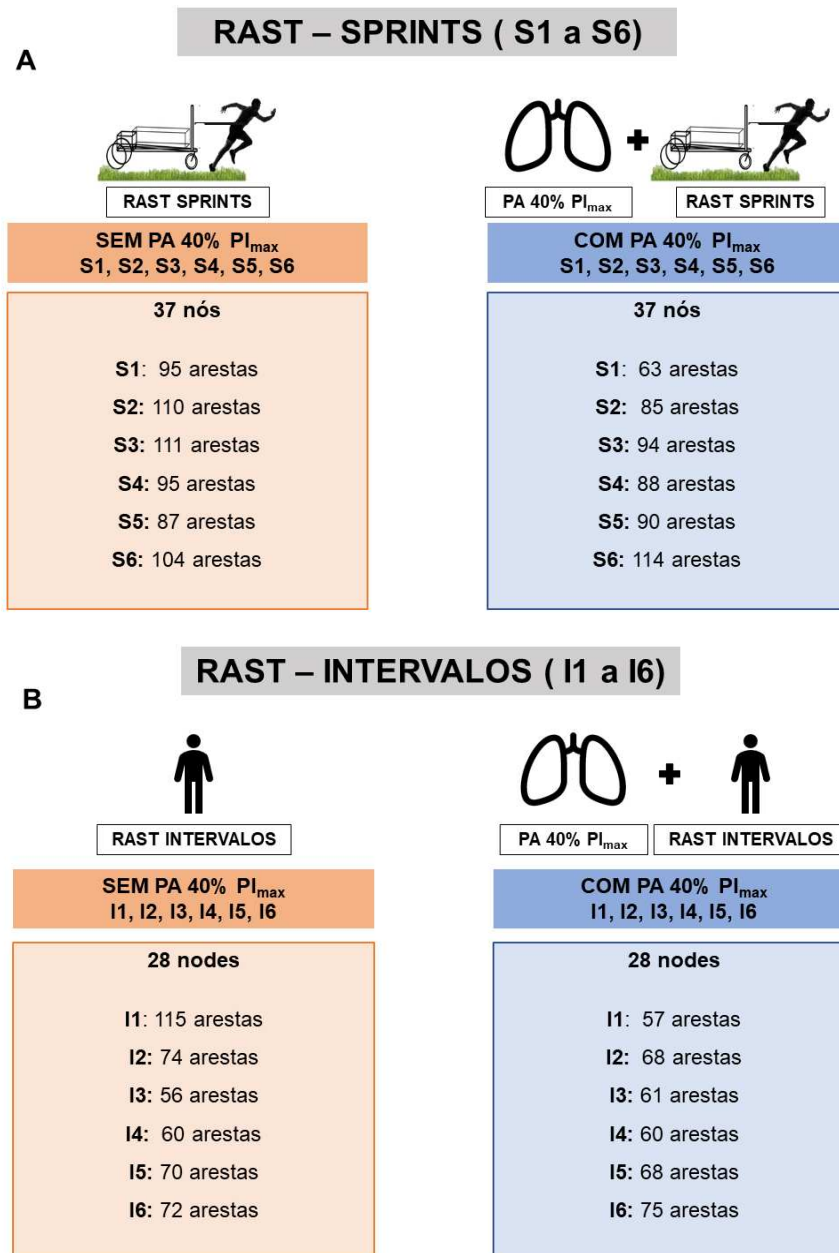
### 5.2.1. Registros mecânicos e obtenção de respostas fisiológicas

Os registros mecânicos e a obtenção das respostas fisiológicas obedeceram às descrições metodológicas descritas nos itens **4.4.3** e **4.4.7** do presente documento. Essas informações foram suprimidas nesse trecho a fim de evitar duplicidade no documento.

### 5.2.2. Análise integrativa dos esforços repetidos de alta intensidade

A título de analisar de maneira mais integrativa as variáveis antropométricas, mecânicas e fisiológicas na linha do tempo, tanto durante quanto após a execução do RAST, nos dois diferentes cenários (SPA e PA40), bem como suas relações com o desempenho esportivo, foi utilizado a análise de métricas de centralidade por modelos de redes complexas (BASHAN *et al.*, 2012; CIRINO *et al.*, 2021; D'AGOSTINO e SCALA, 2014; GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018).

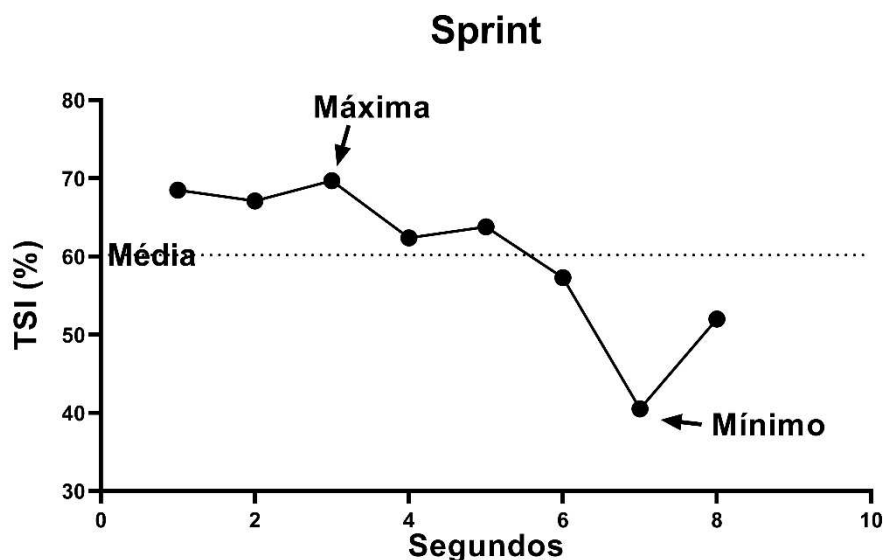
As análises das interações entre os parâmetros antropométricos, mecânicos e fisiológicos do RAST sob intervenção da PA de MI foram obtidas a partir de 12 modelos de redes complexas (seis *sprints* e seis intervalos), uma para cada cenário (SPA e PA40), totalizando 24 grafos. Cada rede complexa foi composta por um conjunto de grafos não direcionados  $G = (V, A, p)$ , onde os 37 vértices  $V$  (nós) correspondem aos parâmetros antropométricos, mecânicos e fisiológicos dos *sprints* que compõe o RAST (**Figura 17A**), totalizando seis grafos. Enquanto que os 28 vértices  $V$  (nós) correspondem aos parâmetros antropométricos e fisiológicos dos intervalos que compõe o RAST (**Figura 17B**), totalizando seis grafos. As arestas ( $A$ ) representam as interações mediadas pelos valores de " $r$ " estatisticamente significantes das correlações de Spearman ( $p \leq 0,05$ ); e  $p$  é a função de peso (HUA *et al.*, 2019). As métricas de centralidade *Degree* e *Eigenvector* foram aplicadas aos 24 modelos de redes complexas, com base em estudos anteriores (CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). A métrica *Degree* representa o número de arestas de um nó que se conecta a outros nós. O *Eigenvector* é uma métrica que mostra a importância de um nó em relação aos outros nós de sua vizinhança (CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020). O processamento dos dados para a elaboração de redes complexas foi realizado utilizando um algoritmo específico em ambiente MATLAB. As análises foram obtidas por *software* Gephi (versão 0.9.2), aplicando-se o *layout* Fruchterman-Reingold (FRUCHTERMAN e REINGOLD, 1991) para a construção dos grafos.



**Figura 17.** Resumo dos números de nós e arestas reportados pela análise de redes complexas durante os sprints (A) e os intervalos (B), sem (laranja) e com (azul) a PA de MI. **S1 a S6** – *Sprint* 1 a *Sprint* 6; **I1 a I6** – Intervalo 1 a Intervalo 6; **PA** – Pré-ativação;  **$PI_{max}$**  – Pressão inspiratório máxima.

Foram considerados os valores máximo, médio e mínimo para os parâmetros mecânicos (força, velocidade e potência) e fisiológicos ([LAC], FC e NIRS) durante a execução de cada *sprint*, além de também serem analisados os parâmetros antropométricos (massa corporal, estatura e % de gordura) para a elaboração dos múltiplos grafos. Desse modo, para os parâmetros mecânicos e fisiológicos, foi considerado a análise de segundo a

segundo durante os *sprints* (**Figura 18**). Adicionalmente, para o parâmetro fisiológico, essa análise também foi utilizada para os intervalos de dez segundos entre os *sprints*.



**Figura 18.** Representação gráfica de um *sprint* de um avaliado, exemplificando a obtenção dos valores utilizados para a análise de redes complexas.

### 5.2.3. Resultados do estudo 2

As análises dos parâmetros mecânicos referentes aos resultados obtidos a partir do protocolo RAST estão apresentadas na **tabela 5**. Para os valores absolutos, não foi possível identificar diferença significativa quando comparados apenas as condições de PA de MI.

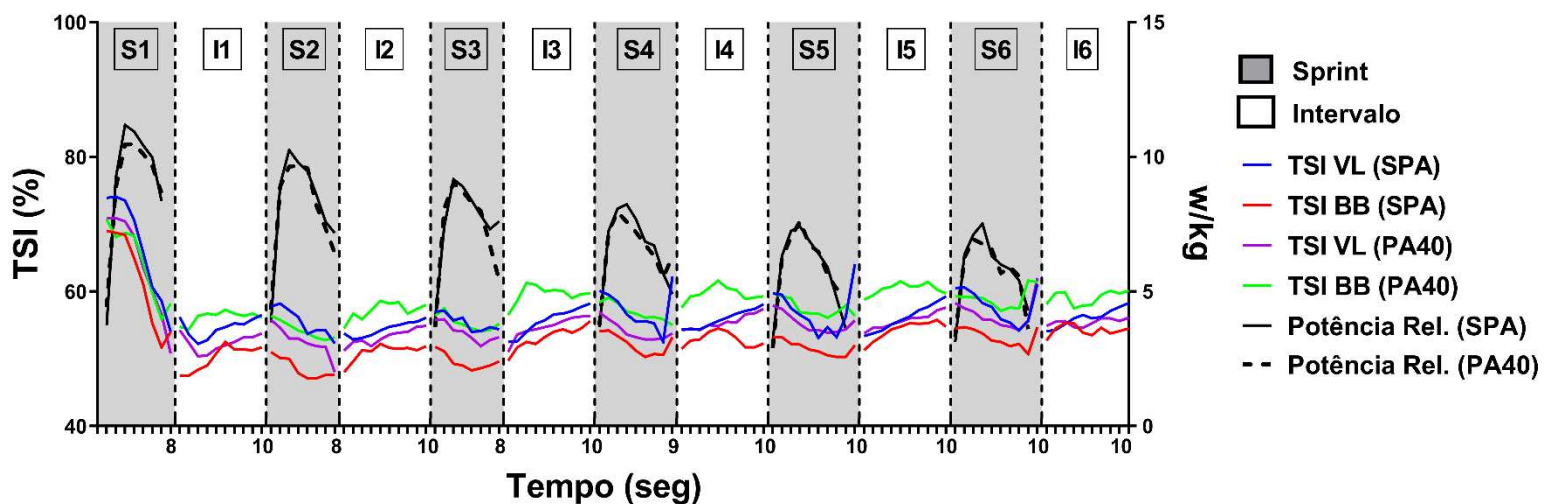
**Tabela 5.** Valores máximo, médio e mínimo dos parâmetros mecânicos adquiridos pelo CRV durante o protocolo RAST.

|                          |        | SPA         | PA40        | t      | p     |
|--------------------------|--------|-------------|-------------|--------|-------|
| <b>Tempo (s)</b>         | Máximo | 9,02±0,21   | 8,70±0,16   | 1,577  | 0,150 |
|                          | Médio  | 7,78±0,11   | 7,73±0,10   | 0,438  | 0,671 |
|                          | Mínimo | 6,74±0,12   | 6,78±0,10   | -0,262 | 0,799 |
| <b>Velocidade (km/h)</b> | Máximo | 18,28±0,28  | 18,54±0,26  | -1,737 | 0,116 |
|                          | Médio  | 16,19±0,24  | 16,31±0,24  | -0,754 | 0,470 |
|                          | Mínimo | 14,02±0,30  | 14,26±0,37  | -0,161 | 0,876 |
| <b>Força (N)</b>         | Máximo | 132,15±2,38 | 132,33±4,62 | -0,041 | 0,968 |
|                          | Médio  | 115,99±2,21 | 113,66±2,54 | 0,693  | 0,506 |
|                          | Mínimo | 102,72±2,70 | 101,03±2,82 | 0,451  | 0,663 |
|                          | Máximo | 1,97±0,05   | 1,97±0,07   | -0,005 | 0,996 |

|                        |        |              |              |       |       |
|------------------------|--------|--------------|--------------|-------|-------|
| <b>Força (N/kg)</b>    | Médio  | 1,73±0,04    | 1,70±0,06    | 0,608 | 0,558 |
|                        | Mínimo | 1,53±0,05    | 1,51±0,06    | 0,393 | 0,704 |
| <b>Potência (W)</b>    | Máximo | 609,92±13,13 | 606,12±14,58 | 0,220 | 0,831 |
|                        | Médio  | 484,74±12,56 | 474,66±12,39 | 0,727 | 0,486 |
|                        | Mínimo | 384,66±14,96 | 379,51±12,93 | 0,313 | 0,761 |
| <b>Potência (W/kg)</b> | Máximo | 9,11±0,26    | 9,08±0,36    | 0,133 | 0,897 |
|                        | Médio  | 7,23±0,16    | 7,09±0,24    | 0,635 | 0,541 |
|                        | Mínimo | 5,72±0,14    | 5,66±0,20    | 0,224 | 0,828 |

Valores expressos em média  $\pm$  EPM. **N** = Newtons; **N/kg** = Newtons relativizado pela massa corporal; **km/h** = Quilômetros por hora; **W** = Watts; **W/kg** = Watts relativizado pela massa corporal. **SPA** – Sem pré-ativação de músculos inspiratórios; **PA40** – Com pré-ativação de músculos inspiratórios.

A **Figura 19** conta com os resultados gerais plotados de segundo a segundo das variáveis de TSI, nos momentos de *sprints* e intervalos e potência relativizada pela massa corporal, no momento de *sprint* apenas, para as duas condições sem (SPA) e com (PA40) PA de MI. Nota-se nesse gráfico o comportamento de queda da oxigenação muscular nos momentos de *sprints*, e uma modesta tentativa de retorno nos intervalos. Concomitantemente, é possível observar a queda no desempenho dos avaliados, uma vez que as curvas de potência atingem picos menores ao longo do protocolo RAST.



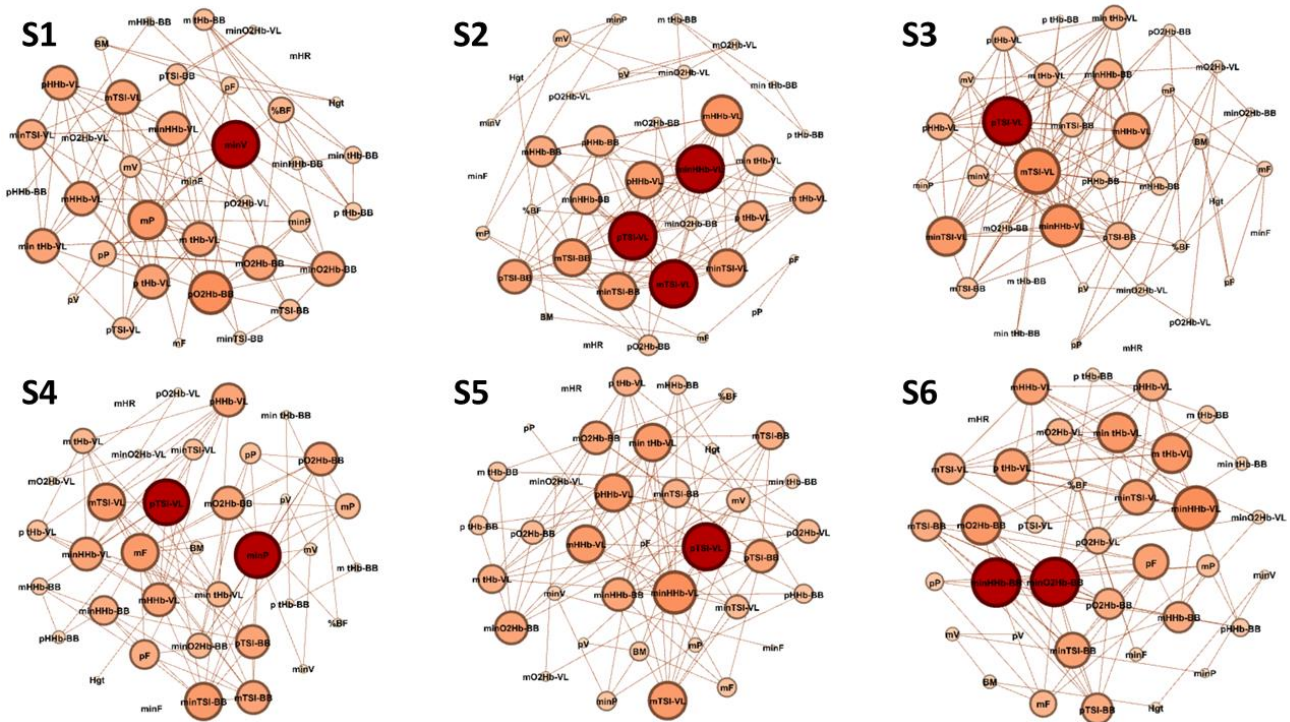
**Figura 19.** Imagem das variáveis de TSI e potência relativizada ao longo do protocolo RAST. **S1 a S6** – *Sprint 1 a sprint 6*; **I1 a I6** – *Intervalo 1 a Intervalo 6*; **BB** – Bíceps braquial; **VL** – Vasto lateral; **SPA** – Sem pré-ativação; **PA40** – Pré-ativação de 40%; **w/kg** – Watts relativizado por quilograma.

Considerando os três efeitos estudados: oxigenação muscular (TSI BB e TSI VL), momento (*sprints* e intervalos) e condição (SPA e PA40), uma análise de variância para medidas repetidas foi utilizada para analisar os resultados médios de cada momento (S1 a S6 e I1 a I6). Através dessa análise foi possível observar um efeito significativo do momento ( $F = 24,000$ ;  $p = 0,000$ ), assim como uma interação significativa entre o momento e a condição ( $F = 1,826$ ;  $p = 0,048$ ). Reportando valores de oxigenação muscular mais elevados para a condição com pré-ativação de músculos inspiratórios. Por outro lado, não foi possível observar uma interação entre os três efeitos analisados ( $F = 0,460$ ;  $p = 0,927$ ).

Utilizando a mesma análise, no entanto considerando apenas os efeitos de condição (SPA e PA40) e momento (*sprints*), a variável de potência relativizada demonstrou um efeito significativo do momento ( $F = 183,69$ ;  $p = 0,000$ ). Contudo, não foi observado uma significância no efeito de condição ( $F = 0,202$ ;  $p = 0,658$ ) e a interação entre esses efeitos ( $F = 0,247$ ;  $p = 0,940$ ). Esses resultados demonstram que a variável relacionada ao desempenho não é impactada pela aplicação do protocolo de PA de MI.

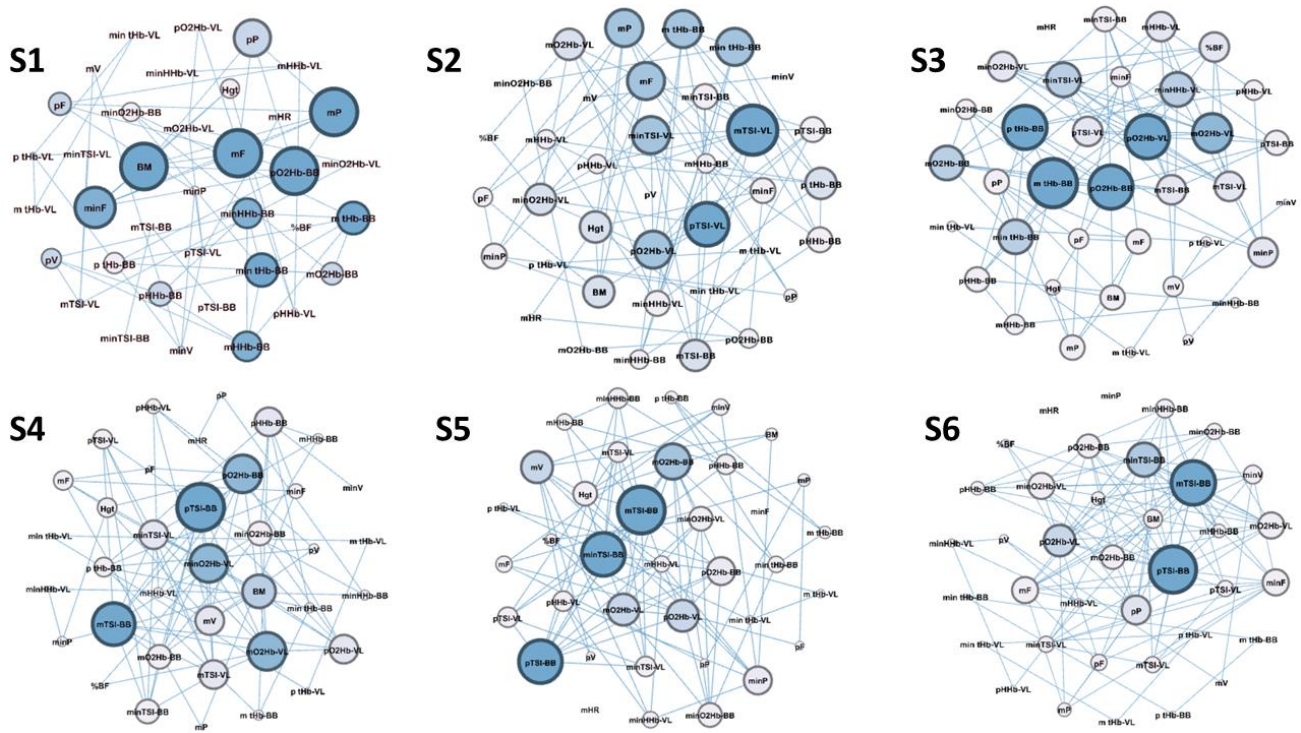
Em relação às análises das redes complexas, para cada métrica de centralidade foram destacados os três primeiros resultados (*ranking*) em cada cenário, considerando a igualdade entre os parâmetros que apresentaram métricas com o mesmo valor. A topologia das redes está apresentada na **Figura 17**.

Através da métrica de centralidade degree, para o cenário de *sprints* SPA, é possível observar, através das **Figuras 20 e 22**, apenas os *sprints* 1 e 4 (S1 e S4) apresentaram variáveis mecânicas no Top 3 em número de conexões. Adicionalmente, nota-se também a predominância de variáveis relacionadas a oxigenação do VL até o último *sprint*. De modo geral, o número de conexões não sofreu alterações ao longo do protocolo.



**Figura 20.** Redes complexas utilizando a métrica de *degree* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

Para o cenário PA40 (**Figura 21**), observa-se um maior número de variáveis presentes no Top 3 no *sprint* 1, contudo, um baixo número de conexões (**Figura 22**). Os *sprints* 1 e 2 (S1 e S2) foram os únicos que apresentaram parâmetros mecânicos no Top 3, e apenas o S1 contou com a presença do parâmetro antropométrico (Massa corporal), presente no Top 1 desse grafo.



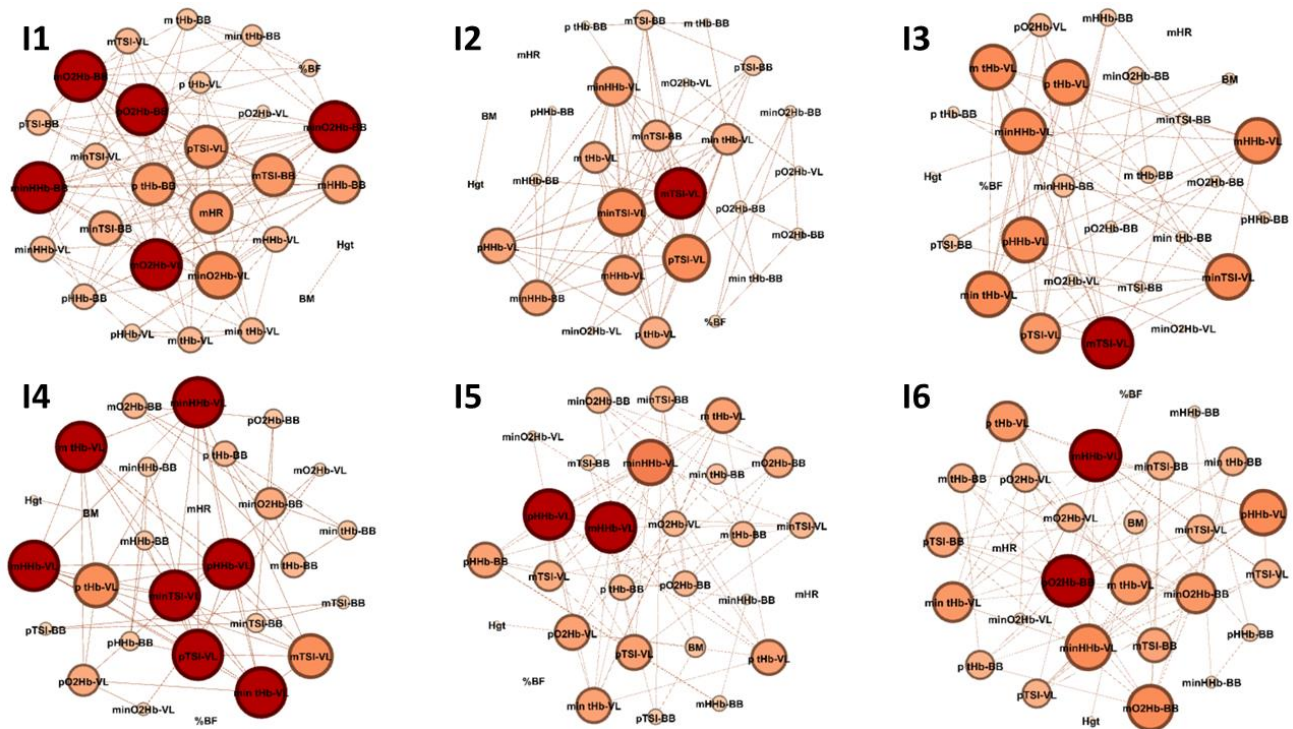
**Figura 21.** Redes complexas utilizando a métrica de *degree* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **pHb-BB** – tHb máximo do BB; **mHb-BB** – tHb médio do BB; **minHb-BB** – tHb mínimo do BB; **pHb-VL** – tHb máximo do VL; **mHb-VL** – tHb médio do VL; **minHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

Ao longo do protocolo RAST, o conjunto de variáveis que compõe o Top 3 diminuiu (**Figura 22**), no entanto o número de conexões aumentou consideravelmente (3 vezes maior em relação ao Top 1 do S1). Contrapondo o cenário de *sprints* SPA, com a PA de MI houve uma sobressalência na quantidade de variáveis relacionadas a oxigenação do BB presentes no Top 3, principalmente nos dois últimos *sprints* (S5 e S6).

|      | SPA                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                    |                                                                                 |                                                                                     |                                                                                          |                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Sprint 1                                                                                                                                                                                                                                                                        | Sprint 2                                                                                                                           | Sprint 3                                                                        | Sprint 4                                                                            | Sprint 5                                                                                 | Sprint 6                                                                                                  |
| SPA  | 1st <b>minV</b> 11<br>2nd pO2Hb-BB 10<br>3rd <b>mP</b> 9                                                                                                                                                                                                                        | 1st pTSI-VL 14<br>1st mTSI-VL 14<br>minHHb-VL 14<br>2nd mHHb-VL 12<br>mTSI-BB 11<br>3rd minTSI-BB 11<br>minTSI-VL 11<br>pHHb-VL 11 | 1st pTSI-VL 16<br>2nd mTSI-VL 15<br>3rd minHHb-VL 14                            | 1st <b>minP</b> 11<br>2nd pTSI-VL 11<br><b>mF</b> 9<br>3rd minTSI-BB 9<br>mTSI-VL 9 | 1st pTSI-VL 10<br>2nd minHHb-VL 9<br>mTSI-VL 8<br>pHHb-VL 8<br>mHHb-VL 8<br>min tHb-VL 8 | 1st minHHb-BB 11<br>1st minO2Hb-BB 11<br>2nd minHHb-VL 10<br>mO2Hb-BB 9<br>3rd m tHb-VL 9<br>min tHb-VL 9 |
| PA40 | <b>BM</b> 6<br><b>mP</b> 6<br><b>mF</b> 6<br>1st pO2Hb-BB 6<br>min tHb-BB 6<br>m tHb-BB 6<br><b>minF</b> 5<br>2nd mHHb-BB 5<br>minHHb-BB 5<br><b>pP</b> 4<br><b>pF</b> 4<br><b>minV</b> 4<br>pTSI-VL 4<br>3rd mTSI-VL 4<br><b>pV</b> 4<br>pHHb-BB 4<br>p tHb-VL 4<br>mO2Hb-BB 4 | 1st mTSI-VL 9<br>2nd pTSI-VL 8<br><b>mP</b> 7<br><b>mF</b> 7<br>3rd minTSI-VL 7<br>pO2Hb-VL 7<br>m tHb-BB 7<br>min tHb-BB 7        | 1st m tHb-BB 10<br>pO2Hb-BB 9<br>2nd pO2Hb-VL 9<br>p tHb-BB 9<br>3rd mO2Hb-VL 8 | 1st pTSI-BB 11<br>2nd mTSI-BB 10<br>pO2Hb-BB 9<br>3rd mO2Hb-VL 9<br>minO2Hb-VL 9    | 1st mTSI-BB 12<br>2nd pTSI-BB 11<br>minTSI-BB 11<br>3rd mO2Hb-BB 9                       | 1st pTSI-BB 18<br>2nd mTSI-BB 17<br>3rd minTSI-BB 13                                                      |
|      | Mecânicos                                                                                                                                                                                                                                                                       | Fisiológicos                                                                                                                       | Antropométricos                                                                 |                                                                                     |                                                                                          |                                                                                                           |

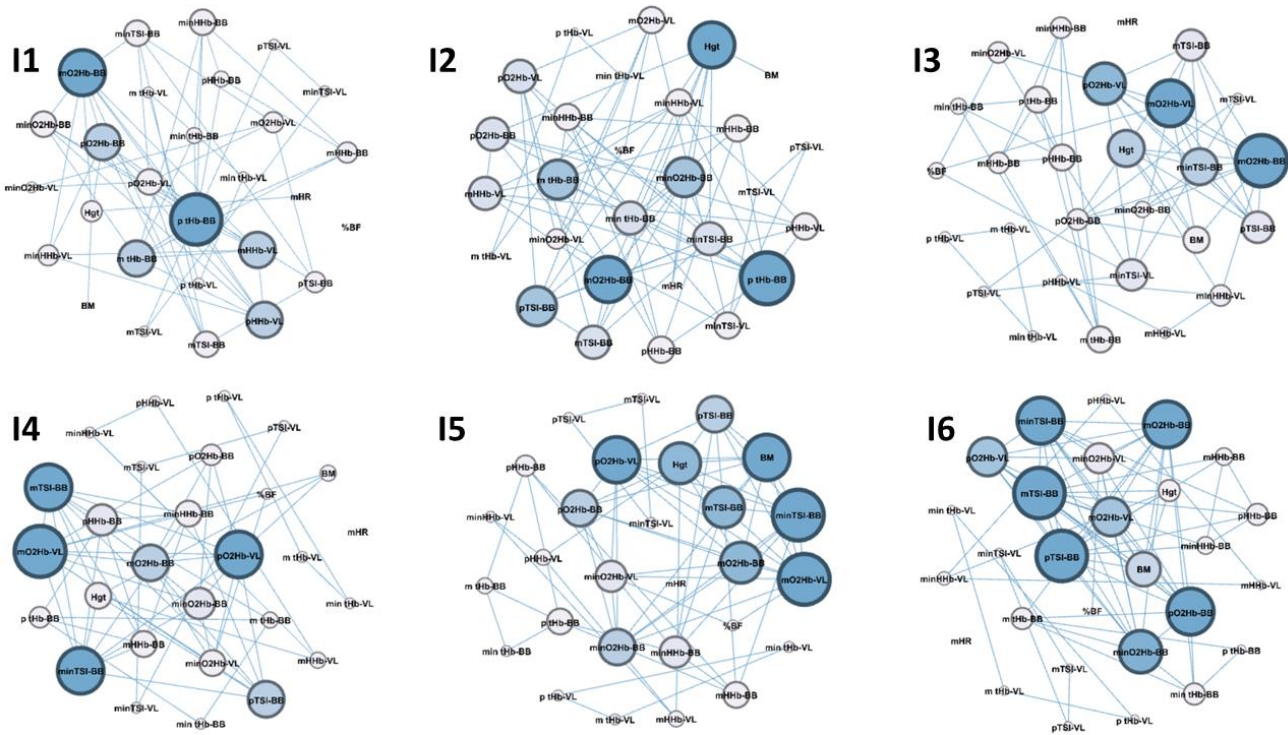
**Figura 22.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram conexões, analisados através da métrica *degree* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em vermelho, referem-se a parâmetros biomecânicos. Variáveis em preto, parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

Considerando os mesmos cenários (SPA e PA40) e a mesma métrica de centralidade (*degree*), também foram analisados os intervalos de dez segundos entre os *sprints*. Desse modo, é possível observar a predominância de variáveis relacionadas a oxigenação do BB apenas no intervalo 1 (**Figuras 23 e 25**). Adicionalmente, o número de conexões diminuiu consideravelmente ao longo do protocolo RAST (I1 TOP 1 – 13 conexões; I6 TOP 1 – 9 conexões).



**Figura 23.** Redes complexas utilizando a métrica de *degree* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** – % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **pthb-BB** – thb máximo do BB; **mthb-BB** – thb médio do BB; **minthb-BB** – thb mínimo do BB; **pthb-VL** – thb máximo do VL; **mthb-VL** – thb médio do VL; **minthb-VL** – thb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **thb** – hemoglobina total.

Opondo-se a considerável redução no número de conexões ao longo do protocolo RAST (SPA), com a PA de MI, apresentou uma estabilização nesse parâmetro de análise (**Figura 25**). Ademais, foi observado também a presença de variáveis antropométricas no Top 3 nos intervalos 2 (estatura) e 5 (estatura e massa corporal). Além disso, em um comportamento semelhante ao cenário com *sprints*, quando da aplicação do protocolo de PA de MI, houve um aumento na presença de parâmetros relacionados a oxigenação do BB (**Figuras 24 e 25**).



**Figura 24.** Redes complexas utilizando a métrica de *degree* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint 1*; **S2** – *Sprint 2*; **S3** – *Sprint 3*; **S4** – *Sprint 4*; **S5** – *Sprint 5*; **S6** – *Sprint 6*. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **minthb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **minthb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

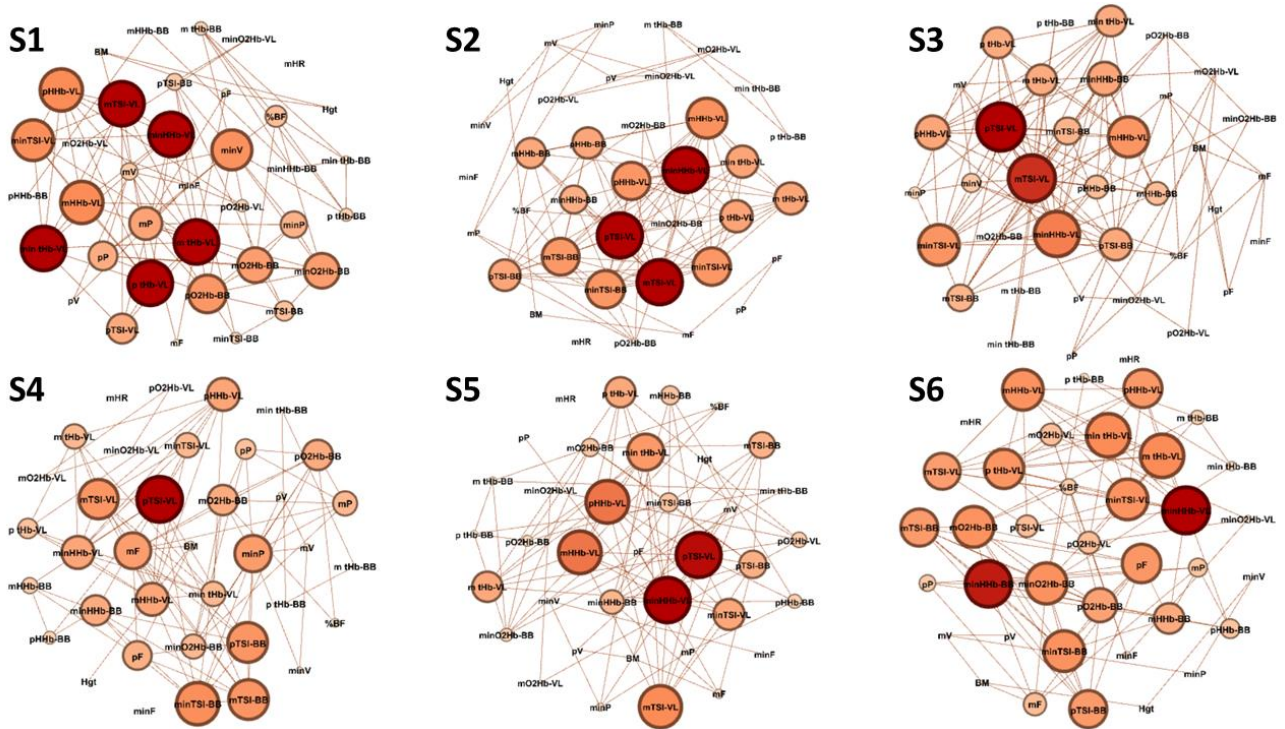
|      | SPA               |                  |                 |                  |                  |                   |
|------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
|      | Intervalo 1       | Intervalo 2      | Intervalo 3     | Intervalo 4      | Intervalo 5      | Intervalo 6       |
| SPA  | 1st minHHb-BB 13  | 1st mTSI-VL 13   | 1st mTSI-VL 9   | pTSI-VL 8        | 1st pHHb-VL 10   | 1st mHHb-VL 9     |
|      | pO2Hb-BB 13       | pTSI-VL 12       | minTSI-VL 8     | minTSI-VL 8      | mHHb-VL 10       | pO2Hb-BB 9        |
|      | 1st mO2Hb-BB 13   | 2nd minTSI-VL 12 | pHHb-VL 8       | pHHb-VL 8        | 2nd minHHb-VL 9  | pHHb-VL 8         |
|      | minO2Hb-BB 13     | 3rd mHHb-VL 10   | mHHb-VL 8       | 1st mHHb-VL 8    | pTSI-VL 7        | 2nd minHHb-VL 8   |
|      | mO2Hb-VL 13       | minHHb-VL 10     | 2nd minHHb-VL 8 | minHHb-VL 8      | pHHb-BB 7        | mO2Hb-BB 8        |
|      | 2nd minO2Hb-VL 12 |                  | p tHb-VL 8      | m tHb-VL 8       | pO2Hb-VL 7       | minO2Hb-BB 7      |
|      | mHR 11            |                  | m tHb-VL 8      | min tHb-VL 8     | 3rd p tHb-VL 7   | 3rd p tHb-VL 7    |
|      | 3rd mTSI-BB 11    |                  | min tHb-VL 8    | 2nd mTSI-VL 7    | m tHb-VL 7       | m tHb-VL 7        |
|      | pTSI-VL 11        |                  | 3rd pTSI-VL 7   | p tHb-VL 7       | min tHb-VL 7     | min tHb-VL 7      |
|      | p tHb-BB 11       |                  |                 | 3rd minO2Hb-BB 5 |                  |                   |
|      |                   |                  |                 | pO2Hb-VL 5       |                  |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |
| PA40 | 1st p tHb-BB 10   | 1st p tHb-BB 9   | 1st mO2Hb-BB 10 | 1st mO2Hb-VL 10  | 1st minTSI-BB 10 | 1st pTSI-BB 12    |
|      | 2nd mO2Hb-BB 9    | 2nd Hgt 8        | 2nd mO2Hb-VL 9  | mTSI-BB 9        | mO2Hb-VL 10      | mTSI-BB 12        |
|      | pHHb-VL 7         | mO2Hb-BB 8       | 3rd pO2Hb-VL 8  | 2nd minTSI-BB 9  | 2nd BM 9         | minTSI-BB 11      |
|      | 3rd mHHb-VL 7     | pTSI-BB 7        |                 | pO2Hb-VL 9       | pO2Hb-VL 9       | 2nd pO2Hb-BB 11   |
|      | pO2Hb-BB 7        | 3rd minO2Hb-BB 7 |                 | pTSI-BB 7        | Hgt 8            | mO2Hb-BB 11       |
|      | m tHb-BB 7        | m tHb-BB 7       |                 | 3rd mO2Hb-BB 7   | 3rd mTSI-BB 8    | 3rd minO2Hb-BB 10 |
|      |                   |                  |                 |                  | mO2Hb-BB 8       |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |
|      |                   |                  |                 |                  |                  |                   |

## Fisiológicos

## Antropométricos

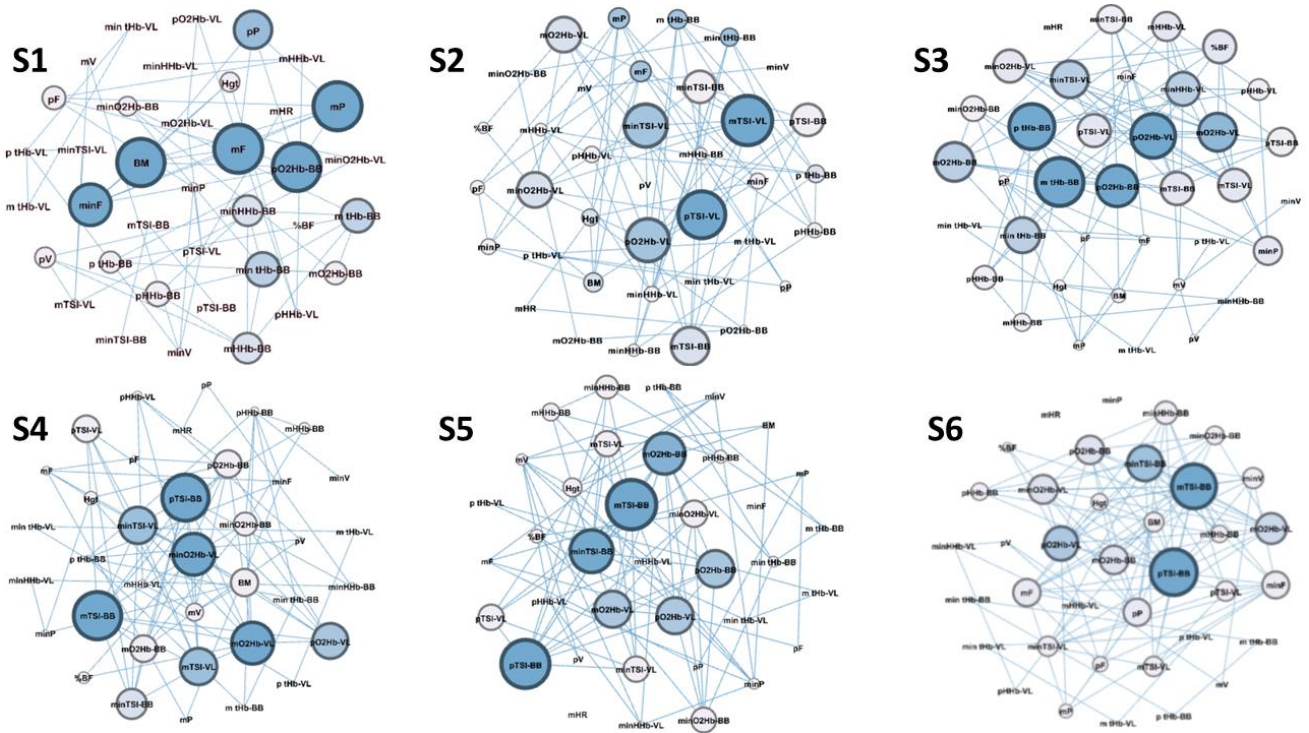
**Figura 25.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram conexões, analisados através da métrica *Degree* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em preto, referem-se a parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

Utilizando a métrica de centralidade de *Eigenvector*, foi possível observar que, para o cenário SPA nos eventos de *sprints*, houve uma predominância de variáveis relacionadas a oxigenação do VL (**Figura 26**) as quais compunham o Top 3 desse cenário (**Figura 27**).



**Figura 26.** Redes complexas utilizando a métrica de *eigenvector* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

Quando observado o cenário PA40 nos eventos de *sprints*, nota-se a presença de variáveis relacionadas ao parâmetro mecânico (mP e mF) e antropométrico (BM) apenas no *sprint* 1 (**Figuras 27 e 28**). Concomitantemente ao comportamento já apresentado quando analisado a métrica de centralidade *Degree*, quando da aplicação do protocolo da PA de MI observa-se um aumento na presença de parâmetros relacionados a oxigenação do BB ao longo do protocolo RAST (**Figura 27**), principalmente nos dois últimos *sprints* (**Figura 28**).



**Figura 27.** Redes complexas utilizando a métrica de *eigenvector* dos seis *sprints* que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **pP** – potência máxima; **mP** – potência média; **minP** – potência mínima; **pF** – força máxima; **mF** – força média; **minF** – força mínima; **pV** – velocidade máxima; **mV** – velocidade média; **minV** – velocidade mínima; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **mintHb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **mintHb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

|      | SPA                                                                                                                                                       |                                                                                                                      |                                                                |                                                                                  |                                                                                |                                                                                      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Sprint 1                                                                                                                                                  | Sprint 2                                                                                                             | Sprint 3                                                       | Sprint 4                                                                         | Sprint 5                                                                       | Sprint 6                                                                             |
| SPA  | mTSI-VL 1,000<br>minHHb-VL 1,000<br>1st p tHb-VL 1,000<br>m tHb-VL 1,000<br>min tHb-VL 1,000<br>2nd pHHb-VL 0,954<br>mHHb-VL 0,954<br>3rd minTSI-VL 0,922 | minHHb-VL 1,000<br>1st pTSI-VL 1,000<br>mTSI-VL 1,000<br>2nd mHHb-VL 0,890<br>3rd minTSI-BB 0,835<br>minTSI-VL 0,835 | 1st pTSI-VL 1,000<br>2nd mTSI-VL 0,979<br>3rd minHHb-VL 0,943  | 1st pTSI-VL 1,000<br>2nd minTSI-BB 0,931<br>3rd pTSI-BB 0,875<br>mTSI-BB 0,875   | 1st minHHb-VL 1,000<br>2nd pTSI-VL 0,995<br>3rd pHHb-VL 0,948<br>mHHb-VL 0,948 | 1st minHHb-VL 1,000<br>2nd minHHb-BB 0,987<br>m tHb-VL 0,934<br>3rd min tHb-VL 0,934 |
| PA40 | 1st mP 1,000<br>mF 1,000<br>2nd pO2Hb-BB 0,993<br>3rd BM 0,985                                                                                            | 1st mTSI-VL 1,000<br>2nd pTSI-VL 0,953<br>3rd minTSI-VL 0,867<br>pO2Hb-VL 0,867                                      | 1st m tHb-BB 1,000<br>2nd p tHb-BB 0,941<br>3rd pO2Hb-VL 0,916 | 1st mTSI-BB 1,000<br>2nd pTSI-BB 0,977<br>3rd mO2Hb-VL 0,879<br>minO2Hb-VL 0,879 | 1st mTSI-BB 1,000<br>2nd pTSI-BB 0,974<br>3rd minTSI-BB 0,862                  | 1st pTSI-BB 1,000<br>2nd mTSI-BB 0,961<br>3rd minTSI-BB 0,759                        |

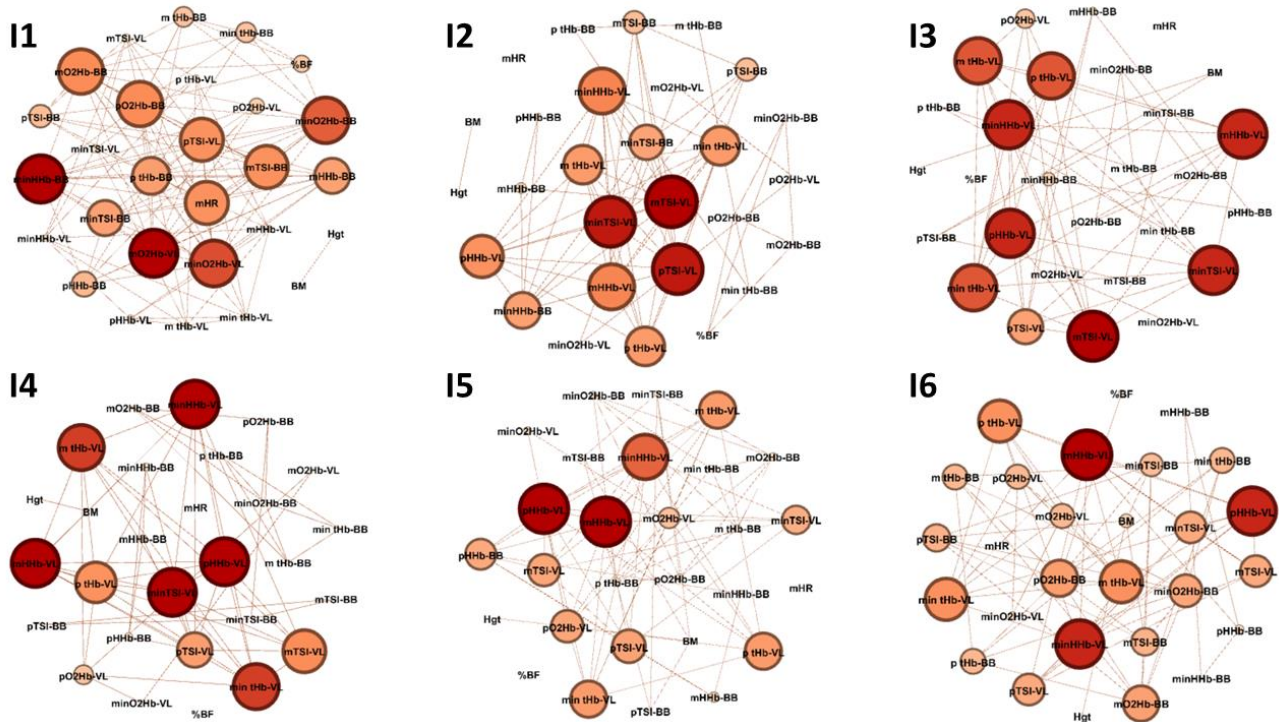
Mecânicos

Fisiológicos

Antropométricos

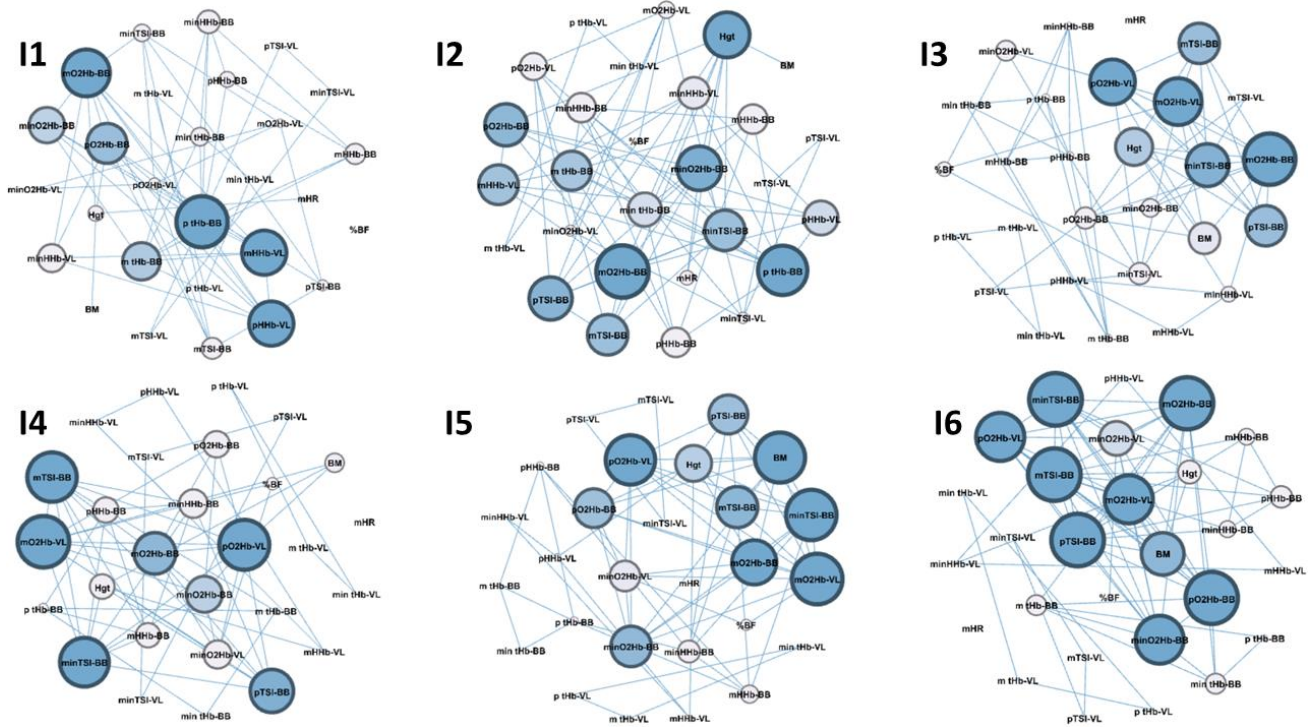
**Figura 28.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram importância com as demais variáveis, analisados através da métrica *Eigenvector* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis *sprints*, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em vermelho, referem-se a parâmetros biomecânicos. Variáveis em preto, parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

Analisando os eventos de intervalo, a partir da métrica de centralidade *Eigenvector*, nota-se que, no cenário SPA existe uma predominância na presença de variáveis relacionadas a oxigenação do VL (**Figura 29**).



**Figura 29.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST sem a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** – % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **minthb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **minthb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

Enquanto que, no cenário PA40, observa-se a presença de variáveis antropométricas no Top 3 dos intervalos 2 (estatura) e 5 (massa corporal). Além disso, nota-se também a maior ocorrência (mas não prevalência) dos parâmetros relacionados a oxigenação do BB. Exceto no intervalo 6 (dez segundos logo após o RAST) que demonstrou unanimidade dessa variável (**Figuras 30 e 31**).



**Figura 30.** Redes complexas utilizando a métrica de *Eigenvector* dos seis intervalos que compõe o protocolo RAST com a aplicação da pré-ativação de músculos inspiratórios. **S1** – *Sprint* 1; **S2** – *Sprint* 2; **S3** – *Sprint* 3; **S4** – *Sprint* 4; **S5** – *Sprint* 5; **S6** – *Sprint* 6. **BM** – massa corporal; **Hgt** – estatura; **%BF** - % de gordura; **mHR** – frequência cardíaca média; **pTSI-BB** – TSI máximo do BB; **mTSI-BB** – TSI médio do BB; **minTSI-BB** – TSI mínimo do BB; **pTSI-VL** – TSI máximo do VL; **mTSI-VL** – TSI médio do VL; **minTSI-VL** – TSI mínimo do VL; **pHHb-BB** – HHb máximo do BB; **mHHb-BB** – HHb médio do BB; **minHHb-BB** – HHb mínimo do BB; **pHHb-VL** – HHb máximo do VL; **mHHb-VL** – HHb médio do VL; **minHHb-VL** – HHb mínimo do VL; **pO2Hb-BB** – O2Hb máximo do BB; **mO2Hb-BB** – O2Hb médio do BB; **minO2Hb-BB** – O2Hb mínimo do BB; **pO2Hb-VL** – O2Hb máximo do VL; **mO2Hb-VL** – O2Hb médio do VL; **minO2Hb-VL** – O2Hb mínimo do VL; **ptHb-BB** – tHb máximo do BB; **mtHb-BB** – tHb médio do BB; **minthb-BB** – tHb mínimo do BB; **ptHb-VL** – tHb máximo do VL; **mtHb-VL** – tHb médio do VL; **minthb-VL** – tHb mínimo do VL. **TSI** – Índice de saturação tecidual; **HHb** – deoxihemoglobina; **O2Hb** – oxihemoglobina; **tHb** – hemoglobina total.

|      | Intervalo 1                             | Intervalo 2                             | Intervalo 3                              | Intervalo 4                              | Intervalo 5                               | Intervalo 6                          |
|------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| SPA  | 1st minHHb-BB 1,000<br>mO2Hb-VL 1,000   | 1st mTSI-VL 1,000<br>pTSI-VL 0,980      | 1st mTSI-VL 1,000<br>minTSI-VL 0,968     | minTSI-VL 1,000<br>pHHb-VL 1,000         | 1st pHHb-VL 1,000<br>mHHb-VL 1,000        | 1st mHHb-VL 1,000<br>pHHb-VL 0,975   |
|      | 2nd minO2Hb-VL 0,973                    | 2nd minTSI-VL 0,980<br>mHHb-VL 0,894    | 2nd pHHb-VL 0,968<br>mHHb-VL 0,968       | 1st mHHb-VL 1,000<br>minHHb-VL 1,000     | 2nd minHHb-VL 0,921<br>pThb-VL 0,746      | 2nd minHHb-VL 0,975<br>pThb-VL 0,856 |
|      | 3rd minO2Hb-BB 0,967                    | 3rd minHHb-VL 0,894                     | 3rd minHHb-VL 0,968<br>pThb-VL 0,931     | 2nd mThb-VL 0,960<br>minThb-VL 0,960     | 3rd mThb-VL 0,746<br>minThb-VL 0,746      | 3rd mThb-VL 0,856<br>minThb-VL 0,856 |
| PA40 | 1st pThb-BB 1,000<br>2nd mO2Hb-BB 0,918 | 1st mO2Hb-BB 1,000<br>2nd pThb-BB 0,945 | 1st mO2Hb-BB 1,000<br>2nd mO2Hb-VL 0,911 | 1st mO2Hb-VL 1,000<br>2nd pO2Hb-VL 0,971 | 1st mO2Hb-VL 1,000<br>2nd minTSI-BB 0,997 | 1st minTSI-BB 1,000<br>pTSI-BB 0,998 |
|      | 3rd pHHb-VL 0,868<br>mHHb-VL 0,868      | 3rd <b>Hgt</b> 0,864                    | 3rd pO2Hb-VL 0,873                       | 3rd mTSI-BB 0,960                        | 3rd <b>BM</b> 0,990                       | 2nd mTSI-BB 0,998<br>pO2Hb-BB 0,992  |
|      |                                         |                                         |                                          |                                          |                                           | 3rd mO2Hb-BB 0,992                   |

**Fisiológicos** **Antropométricos**

**Figura 31.** Ranqueamento das três variáveis (Top 3) que mais apresentaram importância com as demais variáveis, analisados através da métrica *Eigenvector* com as demais variáveis dentro da rede complexa. Na parte superior (laranja) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST sem a pré-ativação de músculos inspiratórios. Na parte inferior (azul) dividido por seis intervalos, estão as Top 3 variáveis referentes ao protocolo de RAST com a pré-ativação de músculos inspiratórios. As variáveis em preto, referem-se a parâmetros fisiológicos. Variáveis em amarelo, parâmetros antropométricos.

#### 5.2.4. Discussão dos resultados do estudo 2

Até onde tomamos ciência, esse estudo é pioneiro em acompanhar, através do uso da análise de redes complexas, o protocolo RAST, considerando a sua característica de *sprints* repetidos. Até o momento, estudos envolvendo análises integrativas, foram majoritariamente aplicadas a desenhos experimentais que investigaram um determinado efeito em diferentes cenários, sem considerar a repetitiva sucessão de eventos aqui investigada. Nossos principais achados desse estudo, sugerem que a topografia dos grafos sofreu alterações ao longo do protocolo RAST, com maior destaque sendo observado para os *sprints* com a PA de MI, o qual aumentou consideravelmente o número de arestas com o passar dos *sprints*. Além disso, quando da aplicação da PA de MI, também foi observado um aumento na presença no Top 3 de variáveis relacionadas a oxigenação do Bíceps braquial ao final dos *sprints*, e também dos intervalos, para ambas as métricas de centralidade (*Degree* e *Eigenvector*). Indicando um possível aumento da importância de participação desse tecido, de forma integrativa, durante um exercício de *sprints* repetidos.

Opondo-se as hipóteses do estudo, quando analisados os valores de máxima, média

e mínima para parâmetros relacionados ao desempenho durante o RAST, não foi observado diferença significativa que indicasse a melhora do desempenho após a aplicação da PA de MI, contrariando achados prévios pelo nosso grupo (CIRINO *et al.*, 2021; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; MAROSTEGAN *et al.*, 2022). Esses resultados, demonstram que, um protocolo majoritariamente anaeróbio, mas que ainda assim possui uma maior parcela de utilização do componente aeróbio (MILIONI *et al.*, 2017), quando comparado a um teste máximo de 30 segundos (BENEKE *et al.*, 2002), a PA de MI não foi suficiente para melhorar o desempenho dos jogadores sub-17.

Acreditávamos que, por possuir característica de intermitência dos esforços, a PA de MI, surtiria em efeitos positivos para o desempenho dos jogadores, como demonstrado em outros estudos (LIN *et al.*, 2007). Uma vez que, essa técnica auxiliaria na melhor coordenação intra- e intermuscular (CIRINO *et al.*, 2021), melhorando a funcionalidade dessa musculatura e, conseqüentemente reduzindo a produção exacerbada de metabólitos que ocasionariam no efeito de metaborreflexo (DEMPSEY *et al.*, 2006; JOHNSON *et al.*, 1993). Além disso, demais fatores também podem estar relacionados aos devidos resultados, por exemplo, a idade média dos participantes nos trabalhos de CIRINO *et al.* (2021), MANCHADO-GOBATTO *et al.* (2022) e MAROSTEGAN *et al.* (2022), estava em torno de  $22\pm 1$  anos,  $23\pm 1$  anos e  $23\pm 1$  anos, respectivamente, enquanto que, no presente estudo, a idade média dos avaliados é de  $15\pm 1$  anos. Desse modo, levando em consideração o amadurecimento tardio do componente anaeróbio nos indivíduos (ARMSTRONG *et al.*, 2015), e por este, estar intimamente relacionado ao desempenho físico durante um exercício de *sprints* repetidos (BISHOP *et al.*, 2011; GIRARD *et al.*, 2011; ULUPINAR *et al.*, 2021), existe a possibilidade de que, durante a execução do protocolo RAST a participação do metabolismo aeróbio para efetuar a ressíntese de ATP foi exacerbada, comprometendo a rápida geração de energia por parte do metabolismo glicolítico, impossibilitando assim, o benefício por parte da PA de MI durante o período de recuperação passiva.

Com relação aos parâmetros de desempenho (força, velocidade e potência), é possível observar a presença majoritariamente no Top 3 do primeiro *sprint*. Isso por conta do melhor desempenho ser realizado nesse momento. Variáveis relacionadas a características de composição corporal (massa corporal, estatura e % de gordura) também apareceram em poucos momentos tanto nos *sprints*, quanto nos intervalos. Sendo que, a massa corporal foi a variável Top 1 a apresentar mais conexões dentro do grafo do *sprint* 1

PA40, sugerindo que, para esse momento, a massa corporal, assim como demonstrado anteriormente pela literatura (CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018), pode ser um fator importante para o desempenho desse único *sprint*.

Uma vez que o organismo humano é formado por um conjunto de fatores que atuam em diferentes cenários para manter o corpo em equilíbrio, principalmente durante exercícios físicos afim de evitar a fadiga (MITCHELL *et al.*, 2014; NÉDÉLEC *et al.*, 2015), percebe-se da importância de observarmos, e considerarmos, não apenas uma vertente quando estudamos um ser humano durante um esforço físico. Desse modo, abordagens multidimensionais têm sido fortemente recomendadas para entender fenômenos biológicos não isolados (BASHAN *et al.*, 2012; JEONG *et al.*, 2001; MA'AYAN, 2011). Pensando nisso, no presente estudo, optamos por realizar a análise de redes complexas devido a sua importante constatação dentro da literatura científica (BREDA *et al.*, 2022; CIRINO *et al.*, 2021; FROYD *et al.*, 2016; GOBATTO *et al.*, 2020; MANCHADO-GOBATTO *et al.*, 2022; PEREIRA-FERRERO *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). A qual demonstrou interessantes achados frente a execução de exercícios físicos, que observaram relevância em variáveis que antes, eram apenas consideradas como caracterização amostral (CIRINO *et al.*, 2021; GOBATTO *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018). É importante ressaltar que, esse tipo de análise não substitui testes estatísticos convencionais já consolidados pela literatura científica, no entanto, nos proporciona uma possibilidade de observar um conjunto de dados através de uma perspectiva mais integrativa.

Conforme apontado por estudos anteriores, a fadiga e a resposta ao exercício dependem de muitos fatores, e acreditamos que os efeitos da PA de MI também seguem esse caminho. Durante a execução de um esforço de alta intensidade de 30 segundos, MANCHADO-GOBATTO *et al.* (2022) observaram um aumento na presença de variáveis relacionadas a oxigenação muscular no Top 5, com maior destaque para a oxigenação do Vasto lateral. Principalmente, quando da aplicação do protocolo de PA de MI. No presente trabalho, observamos um comportamento semelhante para a condição sem PA do estudo de MANCHADO-GOBATTO *et al.* (2022). Contudo, curiosamente, quando da aplicação do protocolo de PA de MI, as variáveis presentes no Top 3 foram majoritariamente ocupadas por parâmetros relacionados a oxigenação do Bíceps braquial. Esses resultados foram

apresentados tanto para a métrica *degree*, quanto para *eigenvector*. Sugerindo que existe um padrão de comportamento em que, quando a musculatura inspiratória é pré ativada, a oxigenação do músculo menos ativo se torna uma importante ferramenta dentro desse conjunto de fatores relacionados ao exercício de *sprints* repetidos.

Pouco ainda se sabe sobre a participação dos músculos menos ativos durante a realização de um exercício em específico. Em um estudo envolvendo a análise de um exercício intermitente de alta intensidade, caracterizado por 10s de esforço e 20s de intervalo, BAE *et al.* (2000) observaram que, houve um aumento no  $\text{VO}_2$  durante os períodos de intervalo, assim como a oxigenação do Vasto lateral. Os autores sugeriram que, esse aumento se deve em partes ao débito de  $\text{O}_2$ , indicando uma quantidade imperceptível de captação de  $\text{O}_2$  pelos músculos menos ativos durante o exercício, reservas de  $\text{O}_2$  e músculos não exercitados (CAMUS e THYS, 1991; DI PRAMPERO, 1981). Complementarmente e mais recentemente, YOGEV *et al.* (2022), observaram que, durante a execução de um protocolo incremental, tanto o músculo mais ativo, quanto o menos ativo, apresentaram características semelhantes ao ponto de compensação respiratória. Sugerindo que, o organismo humano, apresenta limiares para cada variável em diferentes tecidos e não apenas os já conhecidos com características sistêmicas (e.g., limiar anaeróbio, ponto de compensação respiratória, consumo máximo de oxigênio). Reforçando a ideia de que, o processo de fadiga não está estritamente relacionado a um único fator, mas sim ao conjunto de processos que estão ocorrendo ao longo do esforço físico.

#### **5.2.5. Considerações finais estudo 2**

Nossos resultados confirmam que, através da análise integrativa, foi possível observar o enaltecimento de variáveis relacionadas a oxigenação do Bíceps braquial quando da aplicação desse protocolo. Sugerindo que, quando a musculatura inspiratória passa pelo processo de pré-ativação, tecidos menos ativos ganham mais destaque frente ao esforço repetido de máxima intensidade. Por outro lado, a PA de MI não foi eficaz em melhorar o desempenho em *sprints* repetidos.

## 6. Considerações finais

Por se tratar de um estudo sobre a cinética e integração das respostas mecânicas e fisiológicas no *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST), algumas limitações devem ser abordadas. Não utilizamos analisador de gases para investigar o consumo de oxigênio, mesmo sabendo da relevância do  $\text{VO}_2$ . Devido ao papel interessante das necessidades de oxigênio mesmo durante o RAST, está claro que análises adicionais são essenciais para determinar a relação entre a oxigenação sistêmica e local, examinando simultaneamente a dinâmica do oxigênio usando o analisador de gás e espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) em diferentes tecidos.

Diante dos resultados apresentados nos estudos 1 e 2, é possível concluir que a oxigenação muscular apresenta grande relevância mesmo para atividades com predominância anaeróbia. No estudo 1, o enfoque maior foi destinado a investigação referente ao comportamento de parâmetros mecânicos e a oxigenação dos músculos mais e menos ativos durante a realização de um protocolo de alta intensidade de *sprints* repetidos, nesse pudemos observar indícios referente a possível participação da musculatura menos ativa quando da realização de um esforço do qual existe a intermitência entre as atividades de alta intensidade. O estudo 2 veio a reforçar esses achados. Utilizando análises integrativas, as quais consideram todo o cenário e não apenas variáveis pré selecionadas a serem analisadas, nesse estudo foi possível observar que quando aplicado o protocolo de pré-ativação da musculatura inspiratória, existe uma tendência em reportar maiores graus de importância para variáveis que estão relacionadas a oxigenação do Bíceps braquial. Desse modo, torna-se evidente a importância de tal musculatura frente a um esforço de *sprints* repetidos, haja vista que a participação do metabolismo aeróbio é mais elevada nesse contexto.

## 7. REFERÊNCIAS

- AARON, E.; SEOW, K.; JOHNSON, B.; DEMPSEY, J. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. **Journal of Applied Physiology**, 72, n. 5, p. 1818-1825, 1992.
- ADAMCZYK, J. The estimation of the RAST test usefulness in monitoring the anaerobic capacity of sprinters in athletics. **Polish Journal of Sport Tourism**, 18, n. 3, p. 214-218, 2011.
- AGUIAR, R.; TURNES, T.; CRUZ, R.; SALVADOR, A.; CAPUTO, F. Repeated sprint performance and metabolic recovery curves: effects of aerobic and anaerobic characteristics. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, 40, n. 5, p. 433-440, 2015.
- ALBERT, R.; BARABÁSI, A. Statistical mechanics of complex networks. **Reviews of modern physics**, 74, n. 1, p. 47, 2002.
- ALCARAZ, P. E.; CARLOS-VIVAS, J.; OPONJURU, B. O.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, 48, n. 9, p. 2143-2165, 2018.
- ALCARAZ, P. E.; PALAO, J. M.; ELVIRA, J. L. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 23, n. 2, p. 480-485, 2009.
- ALSAYED, A.; HIGHAM, D. J. Betweenness in time dependent networks. **Chaos, Solitons & Fractals**, 72, p. 35-48, 2015.
- AMENT, W.; VERKERKE, G. Exercise and fatigue. **Sports medicine**, 39, n. 5, p. 389-422, 2009.
- ANDRADE, V.; ZAGATTO, A.; KALVA-FILHO, C.; MENDES, O.; GOBATTO, C.; CAMPOS, E.; PAPOTI, M. Running-based anaerobic sprint test as a procedure to evaluate anaerobic power. **International journal of sports medicine**, 36, n. 14, p. 1156-1162, 2015.
- ANTONELLI, C. B.; HARTZ, C. S.; DA SILVA SANTOS, S.; MORENO, M. A. Effects of Inspiratory Muscle Training With Progressive Loading on Respiratory Muscle Function and Sports Performance in High-Performance Wheelchair Basketball Athletes: A Randomized Clinical Trial. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 15, n. 2, p. 238-242, 2020.
- AOYAGI, T. Improvement of the earpiece oximeter. **Abstracts of the Japanese Society of Medical Electronics Biological Engineering**, p. 90-91, 1974.
- AQUINO, R.; LH, P. V.; DE PAULA OLIVEIRA, L.; LG, C. G.; PR, P. S. Relationship between field tests and match running performance in high-level young Brazilian soccer players. **The journal of sports medicine and physical fitness**, 58, n. 3, p. 256-262, 2017.
- ARCHIZA, B.; ANDAKU, D. K.; CARUSO, F. C. R.; BONJORNO JR, J. C.; OLIVEIRA, C. R.; RICCI, P. A.; AMARAL, A. C.; MATTIELLO, S. M.; LIBARDI, C. A.; PHILLIPS, S. A. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 7, p. 771-780, 2018.

AREIAS, G. S.; SANTIAGO, L. R.; TEIXEIRA, D. S.; REIS, M. S. Concurrent Validity of the Static and Dynamic Measures of Inspiratory Muscle Strength: Comparison between Maximal Inspiratory Pressure and S-Index. **Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery**, 35, p. 459-464, 2020.

AREND, M.; KIVASTIK, J.; MÄESTU, J. Maximal inspiratory pressure is influenced by intensity of the warm-up protocol. **Respiratory Physiology Neurobiology**, 230, p. 11-15, 2016.

ARMSTRONG, N.; BARKER, A. R.; MCMANUS, A. M. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? **British journal of sports medicine**, 49, n. 13, p. 860-864, 2015.

ARSLAN, E.; ALEMDAROGLU, U.; KOKLU, Y.; HAZIR, T.; MUNIROGLU, S.; KARAKOC, B. Effects of passive and active rest on physiological responses and time motion characteristics in different small sided soccer games. **Journal of Human Kinetics**, 60, p. 123, 2017.

AZIZ, A. R.; MUKHERJEE, S.; CHIA, M.; TEH, K. C. Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 47, n. 4, p. 401, 2007.

BAE, S.; HAMAOKA, T.; KATSUMARA, T.; SHIGA, T.; OHNO, H.; HAGA, S. Comparison of muscle oxygen consumption measured by near infrared continuous wave spectroscopy during supramaximal and intermittent pedalling exercise. **International Journal of Sports Medicine**, 21, n. 03, p. 168-174, 2000.

BAKER, J.; RAMSBOTTOM, R.; HAZELDINE, R. Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. **British Journal of Sports Medicine**, 27, n. 4, p. 228-232, 1993.

BAKER, W. B.; LI, Z.; SCHENKEL, S. S.; CHANDRA, M.; BUSCH, D. R.; ENGLUND, E. K.; SCHMITZ, K. H.; YODH, A. G.; FLOYD, T. F.; MOHLER III, E. R. Effects of exercise training on calf muscle oxygen extraction and blood flow in patients with peripheral artery disease. **Journal of Applied Physiology**, 123, n. 6, p. 1599-1609, 2017.

BANGSBO, J.; NØRREGAARD, L.; THORSØ, F. Activity profile of competition soccer. **Canadian Journal of Sport Sciences**, 16, n. 2, p. 110-116, 1991.

BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test an update on methodology, reliability and validity. **Sports Medicine**, 4, n. 6, p. 381-394, 1987.

BARNES, C.; ARCHER, D.; HOGG, B.; BUSH, M.; BRADLEY, P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. **International journal of sports medicine**, 35, n. 13, p. 1095-1100, 2014.

BARNES, K. R.; LUDGE, A. R. Inspiratory muscle warm-up improves 3,200-m running performance in distance runners. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 35, n. 6, p. 1739-1747, 2021.

BASHAN, A.; BARTSCH, R. P.; KANTELHARDT, J. W.; HAVLIN, S.; IVANOV, P. C. Network physiology reveals relations between network topology and physiological function. **Nature Communications**, 3, n. 1, p. 1-9, 2012.

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and science in sports and exercise**, 32, n. 1, p. 70-84, 2000.

BEKRIS, E.; PIDOULAS, G.; PIDOULAS, P.; GISSIS, I.; KATIS, A.; KOMSIS, S. Examination of Physical Fitness Parameters Between Professional and Amateur Greek Soccer Players During the Transition Period. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 35, n. 3, p. 776-781, 2021.

BENEKE, R.; POLLMANN, C.; BLEIF, I.; LEITHÄUSER, R.; HÜTLER, M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? **European journal of applied physiology**, 87, n. 4, p. 388-392, 2002.

BISHOP, D. Warm up II. **Sports Medicine**, 33, n. 7, p. 483-498, 2003.

BISHOP, D.; EDGE, J. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. **European journal of applied physiology**, 97, n. 4, p. 373-379, 2006.

BISHOP, D.; EDGE, J.; GOODMAN, C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. **European journal of applied physiology**, 92, n. 4, p. 540-547, 2004.

BISHOP, D.; GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A. Repeated-sprint ability—Part II. **Sports medicine**, 41, n. 9, p. 741-756, 2011.

BISHOP, D.; LAWRENCE, S.; SPENCER, M. Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 6, n. 2, p. 199-209, 2003.

BISHOP, D.; SPENCER, M. Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 44, n. 1, p. 1, 2004.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; LAKOMY, H. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **Journal of applied physiology**, 80, n. 3, p. 876-884, 1996.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; LAKOMY, H.; NEVILL, A. M. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. **The Journal of physiology**, 482, n. 2, p. 467-480, 1995.

BONACICH, P. Some unique properties of eigenvector centrality. **Social networks**, 29, n. 4, p. 555-564, 2007.

BRADLEY, P. S.; CARLING, C.; DIAZ, A. G.; HOOD, P.; BARNES, C.; ADE, J.; BODDY, M.; KRUSTRUP, P.; MOHR, M. Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. **Human Movement Science**, 32, n. 4, p. 808-821, 2013.

BREDA, F. L.; MANCHADO-GOBATTO, F. B.; DE BARROS SOUSA, F. A.; BECK, W. R.; PINTO, A.; PAPOTI, M.; SCARIOT, P. P. M.; GOBATTO, C. A. Complex networks analysis reinforces centrality hematological role on aerobic-anaerobic performances of the Brazilian Paralympic endurance team after altitude training. **Scientific Reports**, 12, n. 1, p. 1-15, 2022.

BRINKMAN, R.; ZIJLSTRA, W.; KOOPMANS, R. A method for continuous observation of percentage oxygen saturation in patients. **Arch Chir Neerl**, 1, p. 333-344, 1950.

BROCHERIE, F.; MILLET, G. P.; GIRARD, O. Neuro-mechanical and metabolic adjustments to the repeated anaerobic sprint test in professional football players. **European Journal of Applied Physiology**, 115, n. 5, p. 891-903, 2015.

BROOKS, G. A. The science and translation of lactate shuttle theory. **Cell Metabolism**, 27, n. 4, p. 757-785, 2018.

BROWN, P. I.; HUGHES, M. G.; TONG, R. J. Relationship between  $\dot{V}O_2^{\text{max}}$  and repeated sprint ability using non-motorised treadmill ergometry. **Journal of sports medicine and physical fitness**, 47, n. 2, p. 186, 2007.

BROWN, P. I.; SHARPE, G. R.; JOHNSON, M. A. Inspiratory muscle training reduces blood lactate concentration during volitional hyperpnoea. **European Journal of Applied Physiology**, 104, n. 1, p. 111-117, 2008.

BUCHHEIT, M.; CORMIE, P.; ABBISS, C. R.; AHMAIDI, S.; NOSAKA, K. K.; LAURSEN, P. Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. **International journal of sports medicine**, 30, n. 06, p. 418-425, 2009.

BUCHHEIT, M.; UFLAND, P. Effect of endurance training on performance and muscle reoxygenation rate during repeated-sprint running. **European journal of applied physiology**, 111, n. 2, p. 293-301, 2011.

BUTTS, N.; HENRY, B.; MCLEAN, D. Correlations between  $\dot{V}O_2\text{max}$  and performance times of recreational triathletes. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, 31, n. 3, p. 339-344, 1991.

CAMUS, G.; THYS, H. An evaluation of the maximal anaerobic capacity in man. **International Journal of Sports Medicine**, 12, n. 04, p. 349-355, 1991.

CARLING, C.; LE GALL, F.; DUPONT, G. Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. **Journal of sports sciences**, 30, n. 4, p. 325-336, 2012.

CHEETHAM, M. E.; WILLIAMS, C.; LAKOMY, H. A laboratory running test: metabolic responses of sprint and endurance trained athletes. **British Journal of Sports Medicine**, 19, n. 2, p. 81-84, 1985.

CHELLY, S. M.; DENIS, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. **Medicine and Science in sports and Exercise**, 33, n. 2, p. 326-333, 2001.

CHEN, D.; LÜ, L.; SHANG, M.-S.; ZHANG, Y.-C.; ZHOU, T. Identifying influential nodes in complex networks. **Physica a: Statistical mechanics and its applications**, 391, n. 4, p. 1777-1787, 2012.

CHENG, C.-F.; TONG, T. K.; KUO, Y.-C.; CHEN, P.-H.; HUANG, H.-W.; LEE, C.-L. Inspiratory muscle warm-up attenuates muscle deoxygenation during cycling exercise in women athletes. **Respiratory Physiology Neurobiology**, 186, n. 3, p. 296-302, 2013.

CIPRYAN, L.; GAJDA, V. The influence of aerobic power on repeated anaerobic exercise in junior soccer players. **Journal of human kinetics**, 28, p. 63, 2011.

CIRINO, C.; GOBATTO, C. A.; PINTO, A. S.; TORRES, R. S.; HARTZ, C. S.; AZEVEDO, P. H.; MORENO, M. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Complex network model indicates a positive effect of inspiratory muscles pre-activation on performance parameters in a judo match. **Scientific Reports**, 11, n. 1, p. 1-11, 2021.

COLIER, W. N. J. M. **Near infrared spectroscopy: toy or tool?: an investigation on the clinical applicability of near infrared spectroscopy**. [SI: sn], 1995. 9090086706.

CONLEY, D. S.; CURETON, K. J.; DENGEL, D. R.; WEYAND, P. G. Validation of the 12-min swim as a field test of peak aerobic power in young men. **Medicine and science in sports and exercise**, 23, n. 6, p. 766-773, 1991.

COSTES, F.; BARTHELEMY, J.-C.; FEASSON, L.; BUSO, T.; GEYSSANT, A.; DENIS, C. Comparison of muscle near-infrared spectroscopy and femoral blood gases during steady-state exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, 80, n. 4, p. 1345-1350, 1996.

COTTA, C.; MORA, A. M.; MERELO, J. J.; MERELO-MOLINA, C. A network analysis of the 2010 FIFA world cup champion team play. **Journal of Systems Science and Complexity**, 26, n. 1, p. 21-42, 2013.

COTTLE, C. A.; CARLSON, L. A.; LAWRENCE, M. A. Effects of sled towing on sprint starts. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 28, n. 5, p. 1241-1245, 2014.

CRONIN, J.; HANSEN, K.; KAWAMORI, N.; MCNAIR, P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. **Sports Biomechanics**, 7, n. 2, p. 160-172, 2008.

D'AGOSTINO, G.; SCALA, A. **Networks of networks: the last frontier of complexity**. Springer, 2014.

DA CRUZ, J. P.; DOS SANTOS, F. N.; RASTEIRO, F. M.; MAROSTEGAN, A. B.; MANCHADO-GOBATTO, F. B.; GOBATTO, C. A. A Metabolomic Approach and Traditional Physical Assessments to Compare U22 Soccer Players According to Their Competitive Level. **Biology**, 11, n. 8, p. 1103, 2022.

DA CRUZ, J. P.; MESSIAS, L. H. D.; CETEIN, R. L.; RASTEIRO, F. M.; GOBATTO, C. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Anaerobic and Agility Parameters of Salonists in Laboratory and Field Tests. **International journal of sports medicine**, 41, n. 07, p. 450-460, 2020.

DA SILVA, J. F.; GUGLIELMO, L. G.; BISHOP, D. Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 24, n. 8, p. 2115-2121, 2010.

DARQUES, J. L.; DECHERCHI, P.; JAMMES, Y. Mechanisms of fatigue-induced activation of group IV muscle afferents: the roles played by lactic acid and inflammatory mediators. **Neuroscience Letters**, 257, n. 2, p. 109-112, 1998.

DATSON, N.; HULTON, A.; ANDERSSON, H.; LEWIS, T.; WESTON, M.; DRUST, B.; GREGSON, W. Applied physiology of female soccer: an update. **Sports Medicine**, 44, n. 9, p. 1225-1240, 2014.

DAWSON, B.; GOODMAN, C.; LAWRENCE, S.; PREEN, D.; POLGLAZE, T.; FITZSIMONS, M.; FOURNIER, P. Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, 7, n. 4, p. 206-213, 1997.

DE POLI, R.; B, A.; MIYAGI, W.; ZAGATTO, A. Anaerobic Capacity is Associated with Metabolic Contribution and Mechanical Output Measured During the Wingate Test. **Journal of Human Kinetics**, 79, n. 1, p. 65-75, 2021.

DELESTRAT, A.; GRUET, M.; BIEUZEN, F. Effects of small-sided games and high-intensity interval training on aerobic and repeated sprint performance and peripheral muscle oxygenation changes in elite junior basketball players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 32, n. 7, p. 1882-1891, 2018.

DEMPSEY, J. A.; ROMER, L.; RODMAN, J.; MILLER, J.; SMITH, C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. **Respiratory Physiology Neurobiology**, 151, n. 2-3, p. 242-250, 2006.

DI PRAMPERO, P. E. Energetics of muscular exercise. **Reviews of Physiology**, 89, n. Biochemistry Pharmacology, p. 143-222, 1981.

DI SALVO, V.; BARON, R.; GONZÁLEZ-HARO, C.; GORMASZ, C.; PIGOZZI, F.; BACHL, N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. **Journal of sports sciences**, 28, n. 14, p. 1489-1494, 2010.

DUPONT, G.; MILLET, G. P.; GUINHOYA, C.; BERTHOIN, S. Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. **European journal of applied physiology**, 95, n. 1, p. 27-34, 2005.

ENGEL, P. C.; JONES, J. B. Causes and elimination of erratic blanks in enzymatic metabolite assays involving the use of NAD<sup>+</sup> in alkaline hydrazine buffers: improved conditions for the assay of L-glutamate, L-lactate, and other metabolites. **Analytical Biochemistry**, 88, n. 2, p. 475-484, 1978.

ESAKI, K.; HAMAOKA, T.; RÅDEGRAN, G.; BOUSHEL, R.; HANSEN, J.; KATSUMURA, T.; HAGA, S.; MIZUNO, M. Association between regional quadriceps oxygenation and blood oxygen saturation during normoxic one-legged dynamic knee extension. **European Journal of Applied Physiology**, 95, n. 4, p. 361-370, 2005.

FAGHY, M. A.; BROWN, P. I. Whole-body active warm-up and inspiratory muscle warm-up do not improve running performance when carrying thoracic loads. **Applied Physiology, Nutrition, Metabolism**, 42, n. 8, p. 810-815, 2017.

FALK, B.; WEINSTEIN, Y.; DOTAN, R.; ABRAMSON, D.; MANN-SEGAL, D.; HOFFMAN, J. A treadmill test of sprint running. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, 6, n. 5, p. 259-264, 1996.

FAULKNER, J. A. **Physiology of swimming and diving**. Exercise Physiology. Baltimore: Academic Press, 1968.

FERGUSON, B. S.; ROGATZKI, M. J.; GOODWIN, M. L.; KANE, D. A.; RIGHTMIRE, Z.; GLADDEN, L. B. Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. **European Journal of Applied Physiology**, 118, n. 4, p. 691-728, 2018.

FERRARI, M.; MUTHALIB, M.; QUARESIMA, V. The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical Engineering Sciences**, 369, n. 1955, p. 4577-4590, 2011.

FORTIN, J.-F.; BILLAUT, F. Blood-flow restricted warm-up alters muscle hemodynamics and oxygenation during repeated sprints in American football players. **Sports**, 7, n. 5, p. 121, 2019.

FROYD, C.; BELTRAMI, F. G.; MILLET, G. Y.; NOAKES, T. D. Central regulation and neuromuscular fatigue during exercise of different durations. **Med Sci Sports Exerc**, 48, n. 6, p. 1024-1032, 2016.

FRUCHTERMAN, T. M.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. **Software: Practice and experience**, 21, n. 11, p. 1129-1164, 1991.

FUNATO, K.; YANAGIYA, T.; FUKUNAGA, T. Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. **European journal of applied physiology**, 84, n. 3, p. 169-173, 2001.

GABBETT, T. J.; MULVEY, M. J. Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 22, n. 2, p. 543-552, 2008.

GAITANOS, G. C.; WILLIAMS, C.; BOOBIS, L. H.; BROOKS, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **Journal of applied physiology**, 75, n. 2, p. 712-719, 1993.

GAMA, M.; SOUSA, F.; DOS REIS, I.; GOBATTO, C. Reliability of the three-minute all-out test for non-motorized treadmill tethered running. **International journal of sports medicine**, 38, n. 08, p. 613-619, 2017.

GAMA, M. C. T.; DOS REIS, I. G. M.; SOUSA, F. A. D. B.; GOBATTO, C. A. The 3-min all-out test is valid for determining critical power but not anaerobic work capacity in tethered running. **PLoS One**, 13, n. 2, p. e0192552, 2018.

GAUDINO, P.; ALBERTI, G.; IAIA, F. M. Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. **Human Movement Science**, 36, p. 123-133, 2014.

GAUDINO, P.; IAIA, F.; ALBERTI, G.; STRUDWICK, A.; ATKINSON, G.; GREGSON, W. Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. **International Journal of Sports Medicine**, 34, n. 11, p. 963-968, 2013.

GIL, M. H.; NEIVA, H. P.; GARRIDO, N. D.; AIDAR, F. J.; CIRILO-SOUSA, M. S.; MARQUES, M. C.; MARINHO, D. A. The effect of ballistic exercise as pre-activation for 100 m sprints. **International Journal of Environmental Research Public Health**, 16, n. 10, p. 1850, 2019.

GIL, S.; BARROSO, R.; CRIVOI DO CARMO, E.; LOTURCO, I.; KOBAL, R.; TRICOLI, V.; UGRINOWITSCH, C.; ROSCHEL, H. Effects of resisted sprint training on sprinting ability and change of direction speed in professional soccer players. **Journal of sports sciences**, 36, n. 17, p. 1923-1929, 2018.

GIL, S.; RUIZ, F.; IRAZUSTA, A.; GIL, J.; IRAZUSTA, J. Selection of young soccer players in terms of anthropometric and physiological factors. **Journal of Sports Medicine Physical Fitness**, 47, n. 1, p. 25, 2007a.

GIL, S. M.; GIL, J.; RUIZ, F.; IRAZUSTA, A.; IRAZUSTA, J. Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 21, n. 2, p. 438-445, 2007b.

GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BISHOP, D. Repeated-sprint ability—Part I. **Sports medicine**, 41, n. 8, p. 673-694, 2011.

GOBATTO, C.; TORRES, R.; MOURA, F.; CUNHA, S.; GIOMETTI, C.; ARAUJO, G.; SOUSA, F.; MANCHADO-GOBATTO, F. Corresponding assessment scenarios in laboratory and on-court tests: centrality measurements by complex networks analysis in young basketball players. **Scientific Reports**, 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

GUENETTE, J. A.; SHEEL, A. Physiological consequences of a high work of breathing during heavy exercise in humans. **Journal of Science Medicine in Sport**, 10, n. 6, p. 341-350, 2007.

GUY, J. H.; EDWARDS, A. M.; DEAKIN, G. B. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer-specific fitness. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 28, n. 2, p. 483-491, 2014.

HAJGHANBARI, B.; YAMABAYASHI, C.; BUNA, T. R.; COELHO, J. D.; FREEDMAN, K. D.; MORTON, T. A.; PALMER, S. A.; TOY, M. A.; WALSH, C.; SHEEL, A. W. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 27, n. 6, p. 1643-1663, 2013.

HAMAOKA, T.; MCCULLY, K. K.; NIWAYAMA, M.; CHANCE, B. The use of muscle near-infrared spectroscopy in sport, health and medical sciences: recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical Engineering Sciences**, 369, n. 1955, p. 4591-4604, 2011.

HAMAOKA, T.; MCCULLY, K. K.; QUARESIMA, V.; YAMAMOTO, K.; CHANCE, B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. **Journal of Biomedical Optics**, 12, n. 6, p. 062105, 2007.

HANADA, A.; OKITA, K.; YONEZAWA, K.; OHTSUBO, M.; KOHYA, T.; MURAKAMI, T.; NISHIJIMA, H.; TAMURA, M.; KITABATAKE, A. Dissociation between muscle metabolism and oxygen kinetics during recovery from exercise in patients with chronic heart failure. **Heart**, 83, n. 2, p. 161-166, 2000.

HARMS, C. A.; WETTER, T. J.; ST. CROIX, C. M.; PEGELOW, D. F.; DEMPSEY, J. A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, 89, n. 1, p. 131-138, 2000.

HARTZ, C. S.; FERREIRA, C. R.; MORENO, M. A. Effects of the application of an inspiratory muscular warm-up protocol in the physical performance of handball athletes. **Journal of Exercise Physiology**, 20, n. 5, p. 12-22, 2017.

HARTZ, C. S.; SINDORF, M. A.; LOPES, C. R.; BATISTA, J.; MORENO, M. A. Effect of inspiratory muscle training on performance of handball athletes. **Journal of Human Kinetics**, 63, p. 43, 2018.

HILL, A. V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **QJM: An International Journal of Medicine**, n. 62, p. 135-171, 1923.

HOFFMAN, J. R. The relationship between aerobic fitness and recovery from high-intensity exercise in infantry soldiers. **Military medicine**, 162, n. 7, p. 484-488, 1997.

HOLMYARD, D.; CHEETHAM, M.; LAKOMY, H.; WILLIAMS, C. Effect of recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. **Science and football**, p. 134-142, 1988.

HUA, J.; HUANG, M.; HUANG, C. Centrality Metrics' Performance Comparisons on Stock Market Datasets. **Symmetry**, v. 11, n. 7, p. 916, 2019.

HULTMAN, E.; SJÖHOLM, H. Energy metabolism and contraction force of human skeletal muscle in situ during electrical stimulation. **The Journal of physiology**, 345, n. 1, p. 525-532, 1983.

HWANG, H.; MIZUNO, S.; KASAI, N.; KOJIMA, C.; SUMI, D.; HAYASHI, N.; GOTO, K. Muscle oxygenation, endocrine and metabolic regulation during low-intensity endurance exercise with blood flow restriction. **Physical activity and nutrition**, 24, n. 2, p. 30, 2020.

IHSAN, M.; ABBISS, C. R.; LIPSKI, M.; BUCHHEIT, M.; WATSON, G. Muscle oxygenation and blood volume reliability during continuous and intermittent running. **International Journal of Sports Medicine**, 34, n. 07, p. 637-645, 2013.

JALILVAND, F.; BANOOCY, N. K.; RUMPF, M. C.; LOCKIE, R. G. Relationship between body mass, peak power, and power-to-body mass ratio on sprint velocity and momentum in high-school football players. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 33, n. 7, p. 1871-1877, 2019.

JEONG, H.; MASON, S. P.; BARABÁSI, A.-L.; OLTVAI, Z. N. Lethality and centrality in protein networks. **Nature**, 411, n. 6833, p. 41-42, 2001.

JOBSIS, F. F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. **Science**, 198, n. 4323, p. 1264-1267, 1977.

JOHNSON, B. D.; BABCOCK, M. A.; SUMAN, O. E.; DEMPSEY, J. A. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. **The Journal of Physiology**, 460, n. 1, p. 385-405, 1993.

JOHNSON, M. A.; GREGSON, I.; MILLS, D.; GONZALEZ, J.; SHARPE, G. Inspiratory muscle warm-up does not improve cycling time-trial performance. **European Journal of Applied Physiology**, 114, n. 9, p. 1821-1830, 2014.

KARSTEN, M.; RIBEIRO, G. S.; ESQUIVEL, M. S.; MATTE, D. L. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. **Physical Therapy in Sport**, 34, p. 92-104, 2018.

KAWAMORI, N.; NEWTON, R. U.; HORI, N.; NOSAKA, K. Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 28, n. 10, p. 2738-2745, 2014.

KEIR, D. A.; THÉRIAULT, F.; SERRESSE, O. Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate-level soccer players. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 27, n. 6, p. 1671-1678, 2013.

KELLEHER, J. F. Pulse oximetry. **Journal of Clinical Monitoring**, 5, n. 1, p. 37-62, 1989.

- KER, J.; SCHULTZ, C. Respiratory muscle fatigue after an ultra-marathon measured as inspiratory task failure. **International Journal of Sports Medicine**, 17, n. 07, p. 493-496, 1996.
- KOHR, W. M.; MORGAN, D. W.; BATES, B.; SKINNER, J. S. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. **Medicine Science in Sports Exercise**, 19, n. 1, p. 51-55, 1987.
- KOUNOUPIS, A.; DIPLA, K.; TSABALAKIS, I.; PAPADOPOULOS, S.; GALANIS, N.; BOUTOU, A.; VRABAS, I.; SMILIOS, I.; ZAFEIRIDIS, A. Muscle Oxygenation, Neural, and Cardiovascular Responses to Isometric and Workload-matched Dynamic Resistance Exercise. **International Journal of Sports Medicine**, 43, n. 02, p. 119-130, 2022.
- KRAMER, K. Fortlaufende Registrierung der Sauerstoffsättigung im Blute an uneröffneten Blutgefäßen. **Journal of Molecular Medicine**, 13, n. 10, p. 379-380, 1934.
- KRAMER, M.; DU RANDT, R.; WATSON, M.; PETTITT, R. W. Oxygen uptake kinetics and speed-time correlates of modified 3-minute all-out shuttle running in soccer players. **PLoS One**, 13, n. 8, p. e0201389, 2018.
- KRAUSPENHAR MEROLA, P.; ANDRADE ZACCANI, W.; CARVALHO FARIA, C.; CORTOZI BERTON, D.; VERGES, S.; FRANCHINI, E. High load inspiratory muscle warm-up has no impact on Special Judo Fitness Test performance. **Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology**, 19, n. 1, p. 66-74, 2019.
- LAKOMY, H., 1984, **An ergometer for measuring the power generated during sprinting**. CAMBRIDGE UNIV PRESS 40 WEST 20TH STREET, NEW YORK, NY 10011-4211. P33-P33.
- LAKOMY, H. The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. **Ergonomics**, 30, n. 4, p. 627-637, 1987.
- LEGRAND, R.; PRIEUR, F.; MARLES, A.; NOURRY, C.; LAZZARI, S.; BLONDEL, N.; MUCCI, P. Respiratory muscle oxygenation kinetics: relationships with breathing pattern during exercise. **International Journal of Sports Medicine**, 28, n. 02, p. 91-99, 2007.
- LEWIS, T. G. **Network science: Theory and applications**. John Wiley & Sons, 2011. 1118211014.
- LIMA, M.; RIBEIRO, L.; PAPOTI, M.; SANTIAGO, P.; CUNHA, S.; MARTINS, L.; GOBATO, C. A semi-tethered test for power assessment in running. **International Journal of Sports Medicine**, 32, n. 07, p. 529-534, 2011.
- LIMMER, M.; BERKHOLZ, A.; DE MARÉES, M.; PLATEN, P. Reliability and validity of a new portable tethered sprint running test as a measure of maximal anaerobic performance. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 34, n. 8, p. 2197-2204, 2020.
- LIN, H.; TONG, T. K.; HUANG, C.; NIE, J.; LU, K.; QUACH, B. Specific inspiratory muscle warm-up enhances badminton footwork performance. **Applied Physiology, Nutrition, Metabolism**, 32, n. 6, p. 1082-1088, 2007.
- LOCKIE, R. G.; MURPHY, A. J.; SPINKS, C. D. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 17, n. 4, p. 760-767, 2003.

LOKE, J.; MAHLER, D. A.; VIRGULTO, J. A. Respiratory muscle fatigue after marathon running. **Journal of Applied Physiology**, 52, n. 4, p. 821-824, 1982.

LOMAX, M.; MCCONNELL, A. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. **Journal of Sports Sciences**, 21, n. 8, p. 659-664, 2003.

LORCA-SANTIAGO, J.; JIMÉNEZ, S. L.; PAREJA-GALEANO, H.; LORENZO, A. Inspiratory muscle training in intermittent sports modalities: a systematic review. **International Journal of Environmental Research Public Health**, 17, n. 12, p. 4448, 2020.

LOTURCO, I.; KOBAL, R.; KITAMURA, K.; CAL ABAD, C. C.; FAUST, B.; ALMEIDA, L.; PEREIRA, L. A. Mixed training methods: effects of combining resisted sprints or plyometrics with optimum power loads on sprint and agility performance in professional soccer players. **Frontiers in Physiology**, 8, p. 1034, 2017.

LOZANO-BERGES, G.; MATUTE-LLORENTE, Á.; GÓMEZ-BRUTON, A.; GONZÁLEZ-AGÜERO, A.; VICENTE-RODRÍGUEZ, G.; CASAJÚS, J. A. Accurate prediction equation to assess body fat in male and female adolescent football players. **International Journal of Sport Nutrition Exercise Metabolism**, 29, n. 3, p. 297-302, 2019.

LUTEBERGET, L. S.; RAASTAD, T.; SEYNNES, O.; SPENCER, M. Effect of traditional and resisted sprint training in highly trained female team handball players. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 10, n. 5, p. 642-647, 2015.

MA'AYAN, A. Introduction to network analysis in systems biology. **Science signaling**, 4, n. 190, p. tr5-tr5, 2011.

MAEDA, S.; MIYAUCHI, T.; SAKANE, M.; SAITO, M.; MAKI, S.; GOTO, K.; MATSUDA, M. Does endothelin-1 participate in the exercise-induced changes of blood flow distribution of muscles in humans? **Journal of Applied Physiology**, 82, n. 4, p. 1107-1111, 1997.

MALONEY, S. J.; TURNER, A. N.; FLETCHER, I. M. Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: a review of the literature and practical applications. **Sports Medicine**, 44, n. 10, p. 1347-1359, 2014.

MANCHADO-GOBATTO, F.; MAROSTEGAN, A.; RASTEIRO, F.; CIRINO, C.; CRUZ, J.; MORENO, M.; GOBATTO, C. New insights into mechanical, metabolic and muscle oxygenation signals during and after high-intensity tethered running. **Scientific Reports**, 10, n. 1, p. 1-14, 2020.

MANCHADO-GOBATTO, F.; VIEIRA, N. A.; MESSIAS, L. D.; FERRARI, H.; BORIN, J.; DE CARVALHO ANDRADE, V.; TEREZANI, D. Anaerobic threshold and critical velocity parameters determined by specific tests of canoe slalom: Effects of monitored training. **Science Sports**, 29, n. 4, p. e55-e58, 2014.

MANCHADO-GOBATTO, F. B.; TORRES, R. S.; MAROSTEGAN, A. B.; RASTEIRO, F. M.; HARTZ, C. S.; MORENO, M. A.; PINTO, A. S.; GOBATTO, C. A. Complex Network Model Reveals the Impact of Inspiratory Muscle Pre-Activation on Interactions among Physiological Responses and Muscle Oxygenation during Running and Passive Recovery. **Biology**, 11, n. 7, p. 963, 2022.

MANCINI, D. M.; FERRARO, N.; NAZZARO, D.; CHANCE, B.; WILSON, J. R. Respiratory muscle deoxygenation during exercise in patients with heart failure demonstrated with near-infrared spectroscopy. **Journal of the American College of Cardiology**, 18, n. 2, p. 492-498, 1991.

MAROSTEGAN, A. B.; GOBATTO, C. A.; RASTEIRO, F. M.; HARTZ, C. S.; MORENO, M. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Effects of different inspiratory muscle warm-up loads on mechanical, physiological and muscle oxygenation responses during high-intensity running and recovery. **Scientific reports**, 12, n. 1, p. 1-13, 2022.

MARTÍNEZ-VALENCIA, M. A.; ROMERO-ARENAS, S.; ELVIRA, J. L.; GONZÁLEZ-RAVÉ, J. M.; NAVARRO-VALDIVIELSO, F.; ALCARAZ, P. E. Effects of sled towing on peak force, the rate of force development and sprint performance during the acceleration phase. **Journal of Human Kinetics**, 46, p. 139, 2015.

MATA, A. S. D. Complex networks: a mini-review. **Brazilian Journal of Physics**, 50, n. 5, p. 658-672, 2020.

MCBRIDE, J. M.; NIMPHIUS, S.; ERICKSON, T. M. The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 19, n. 4, p. 893-897, 2005.

MCCONNELL, A.; COPESTAKE, A. Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: issues of reproducibility and interpretation. **Respiration**, 66, n. 3, p. 251-258, 1999.

MCCONNELL, A. K. Respiratory muscle training as an ergogenic aid. **Journal of Exercise Science Fitness**, 7, n. 2, p. S18-S27, 2009.

MCCONNELL, A. K.; LOMAX, M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. **The Journal of Physiology**, 577, n. 1, p. 445-457, 2006.

MCCONNELL, A. K.; SHARPE, G. R. The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. **European Journal of Applied Physiology**, 94, n. 3, p. 277-284, 2005.

MCCORMICK, A.; MEIJEN, C.; MARCORA, S. Psychological determinants of whole-body endurance performance. **Sports Medicine**, 45, n. 7, p. 997-1015, 2015.

MCCULLY, K. K.; HALBER, C.; POSNER, J. D. Exercise-induced changes in oxygen saturation in the calf muscles of elderly subjects with peripheral vascular disease. **Journal of Gerontology**, 49, n. 3, p. B128-B134, 1994.

MCGAWLEY, K.; BISHOP, D., 2008, **Anaerobic and aerobic contribution to two, 5 x 6-s repeated-sprint bouts**. 52.

MCGOWAN, C. J.; PYNE, D. B.; THOMPSON, K. G.; RATTRAY, B. Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. **Sports Medicine**, 45, n. 11, p. 1523-1546, 2015.

MCLEAN, S.; KERHERVÉ, H.; LOVELL, G. P.; GORMAN, A. D.; SOLOMON, C. The effect of recovery duration on vastus lateralis oxygenation, heart rate, perceived exertion and time motion descriptors during small sided football games. **PLoS One**, 11, n. 2, p. e0150201, 2016.

MCMORROW, B. J.; DITROILO, M.; EGAN, B. Effect of heavy resisted sled sprint training during the competitive season on sprint and change-of-direction performance in professional soccer players. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 14, n. 8, p. 1066-1073, 2019.

MCNEIL, C.; ALLEN, M.; OLYMPICO, E.; SHOEMAKER, J.; RICE, C. Blood flow and muscle oxygenation during low, moderate, and maximal sustained isometric contractions. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 309, n. 5, p. R475-R481, 2015.

MENDEZ-VILLANUEVA, A.; HAMER, P.; BISHOP, D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. **European Journal of Applied Physiology**, 103, n. 4, p. 411-419, 2008.

MESSIAS, L. H. D.; POLISEL, E. E. C.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Advances of the reverse lactate threshold test: Non-invasive proposal based on heart rate and effect of previous cycling experience. **PLoS One**, 13, n. 3, p. e0194313, 2018.

MESSIAS, L. H. D.; VIEIRA, N. A.; FERRARI, H. G.; TEREZANI, D. R.; CESAR, M. D. C.; MANCHADO-GOBATTO, F. D. B. Determinação do limiar anaeróbio por dois ajustes matemáticos em teste específico para canoagem Slalom1. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, 36, p. 87-101, 2014.

MILIONI, F.; ZAGATTO, A. M.; BARBIERI, R. A.; ANDRADE, V. L.; DOS SANTOS, J. W.; GOBATTO, C. A.; DA SILVA, A. S.; SANTIAGO, P.; PAPOTI, M. Energy systems contribution in the running-based anaerobic sprint test. **International Journal of Sports Medicine**, 38, n. 03, p. 226-232, 2017.

MILLIKAN, G. A. The oximeter, an instrument for measuring continuously the oxygen saturation of arterial blood in man. **Review of Scientific Instruments**, 13, n. 10, p. 434-444, 1942.

MINAHAN, C.; SHEEHAN, B.; DOUTREBAND, R.; KIRKWOOD, T.; REEVES, D.; CROSS, T. Repeated-sprint cycling does not induce respiratory muscle fatigue in active adults: measurements from the powerbreathe® inspiratory muscle trainer. **Journal of Sports Science Medicine**, 14, n. 1, p. 233, 2015.

MITCHELL, J. B.; ROGERS, M. M.; BASSET, J. T.; HUBING, K. A. Fatigue during high-intensity endurance exercise: the interaction between metabolic factors and thermal stress. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 28, n. 7, p. 1906-1914, 2014.

MOHR, M.; KRUSTRUP, P.; BANGSBO, J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. **Journal of Sports Sciences**, 21, n. 7, p. 519-528, 2003.

MOONEY, M.; O'BRIEN, B.; CORMACK, S.; COUTTS, A.; BERRY, J.; YOUNG, W. The relationship between physical capacity and match performance in elite Australian football: a mediation approach. **Journal of Science Medicine in Sport**, 14, n. 5, p. 447-452, 2011.

MUJICA, I.; SPENCER, M.; SANTISTEBAN, J.; GOIRIENA, J. J.; BISHOP, D. Age-related differences in repeated-sprint ability in highly trained youth football players. **Journal of Sports Sciences**, 27, n. 14, p. 1581-1590, 2009.

NAJAFI, A.; EBRAHIM, K.; AHMADIZAD, S.; GR, J. G. G.; JAVIDI, M.; HACKETT, D. Improvements in soccer-specific fitness and exercise tolerance following 8 weeks of inspiratory muscle training in adolescent males. **The Journal of Sports Medicine Physical Fitness**, 59, n. 12, p. 1975-1984, 2019.

NAKAJIMA, S.; HIRAI, Y.; TAKASE, H.; KUSE, A.; AOYAGI, S.; KISHE, M.; YAMAGUCHI, K. Performances of new pulse wave earpiece oximeter. **Respir Circ**, 23, p. 41-45, 1975.

NÉDÉLEC, M.; HALSON, S.; ABAIDIA, A.-E.; AHMAIDI, S.; DUPONT, G. Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. **Sports Medicine**, 45, n. 10, p. 1387-1400, 2015.

NEDER, J. A.; ANDREONI, S.; LERARIO, M. C.; NERY, L. E. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. **Brazilian Journal of Medical Biological Research**, 32, p. 719-727, 1999.

NICOLAI, L. Fortgesetzte Untersuchungen über den Verlauf der Oxyhämoglobinreduktion in der menschlichen Haut. **Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere**, 230, n. 1, p. 238-245, 1932.

NOAKES, T. D. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. **Frontiers in physiology**, 3, p. 82, 2012.

NOSAKA, K.; SAKAMOTO, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Influence of pre-exercise muscle temperature on responses to eccentric exercise. **Journal of Athletic Training**, 39, n. 2, p. 132, 2004.

NUNES, A. D. O.; DONZELI, M. A.; SHIMANO, S. G. N.; OLIVEIRA, N. M. L. D.; RUAS, G.; BERTONCELLO, D. Effects of high-intensity inspiratory muscle training in rugby players. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 24, p. 216-219, 2018.

NÚÑEZ, F. J.; MUNGUÍA-IZQUIERDO, D.; SUÁREZ-ARRONES, L. Validity of field methods to estimate fat-free mass changes throughout the season in elite youth soccer players. **Frontiers in Physiology**, 11, p. 16, 2020.

O'REILLY, J.; WONG, S. H. The development of aerobic and skill assessment in soccer. **Sports Medicine**, 42, n. 12, p. 1029-1040, 2012.

OHYA, T.; HAGIWARA, M.; CHINO, K.; SUZUKI, Y. Maximal inspiratory mouth pressure in Japanese elite male athletes. **Respiratory physiology & neurobiology**, 230, p. 68-72, 2016.

OSAWA, T.; SHIOSE, K.; TAKAHASHI, H. Delayed onset of reoxygenation in inactive muscles after high-intensity exercise. In: **Oxygen Transport to Tissue XXXIX**: Springer, 2017. p. 255-260.

ÖZDAL, M. Acute effects of inspiratory muscle warm-up on pulmonary function in healthy subjects. **Respiratory Physiology Neurobiology**, 227, p. 23-26, 2016.

OZMEN, T.; GUNES, G. Y.; UCAR, I.; DOGAN, H.; GAFUROGLU, T. U. Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 57, p. 507-513, 2017.

PASSOS, P.; DAVIDS, K.; ARAÚJO, D.; PAZ, N.; MINGUÉNS, J.; MENDES, J. Networks as a novel tool for studying team ball sports as complex social systems. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 14, n. 2, p. 170-176, 2011.

PEREIRA-FERRERO, V. H.; LEWIS, T. G.; FERRERO, L. G. P.; DUARTE, L. T. Complex networks models and spectral decomposition in the analysis of swimming athletes' performance at Olympic games. **Frontiers in physiology**, 10, p. 1134, 2019.

- PEREIRA, V. H.; GAMA, M. C. T.; SOUSA, F. A. B.; LEWIS, T. G.; GOBATTO, C. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Complex network models reveal correlations among network metrics, exercise intensity and role of body changes in the fatigue process. **Scientific Reports**, 5, n. 1, p. 1-11, 2015.
- PEREIRA, V. H.; GOBATTO, C. A.; LEWIS, T. G.; RIBEIRO, L. F.; BECK, W. R.; DOS REIS, I. G.; SOUSA, F. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B. Computational and complex network modeling for analysis of sprinter athletes' performance in track field tests. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 843, 2018.
- PERREY, S. Muscle Oxygenation Unlocks the Secrets of Physiological Responses to Exercise: Time to Exploit it in the Training Monitoring. **Frontiers in Sports and Active Living**, 4, 2022.
- PERREY, S.; FERRARI, M. Muscle oximetry in sports science: a systematic review. **Sports Medicine**, 48, n. 3, p. 597-616, 2018.
- PETRAKOS, G.; MORIN, J.-B.; EGAN, B. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: a systematic review. **Sports Medicine**, 46, n. 3, p. 381-400, 2016.
- RACINAIS, S.; BISHOP, D.; DENIS, R.; LATTIER, G.; MENDEZ-VILLANEUVA, A.; PERREY, S. Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. **Medicine and science in sports and exercise**, 39, n. 2, p. 268, 2007.
- RAKOBOWCHUK, M.; ISACCO, L.; RITTER, O.; REPRESAS, A. G.; BOUHADDI, M.; DEGANO, B.; TORDI, N.; MOUROT, L. Muscle oxygenation responses to low-intensity steady rate concentric and eccentric cycling. **International Journal of Sports Medicine**, 39, n. 03, p. 173-180, 2018.
- RAMPININI, E.; SASSI, A.; AZZALIN, A.; CASTAGNA, C.; MENASPA, P.; CARLOMAGNO, D.; IMPELLIZZERI, F. M. Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players. **European Journal of Applied Physiology**, 108, n. 2, p. 401-409, 2010.
- RAMPININI, E.; SASSI, A.; MORELLI, A.; MAZZONI, S.; FANCHINI, M.; COUTTS, A. J. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, 34, n. 6, p. 1048-1054, 2009.
- RAVEN, P.; GETTMAN, L.; POLLOCK, M.; COOPER, K. A physiological evaluation of professional soccer players. **British Journal of Sports Medicine**, 10, n. 4, p. 209-216, 1976.
- RIBEIRO, J.; DAVIDS, K.; ARAÚJO, D.; SILVA, P.; RAMOS, J.; LOPES, R.; GARGANTA, J. The role of hypernetworks as a multilevel methodology for modelling and understanding dynamics of team sports performance. **Sports Medicine**, 49, n. 9, p. 1337-1344, 2019.
- RICHARD, P.; BILLAUT, F. Combining chronic ischemic preconditioning and inspiratory muscle warm-up to enhance on-ice time-trial performance in elite speed skaters. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 1036, 2018.
- RISSANEN, A.-P. E.; TIKKANEN, H. O.; KOPONEN, A. S.; AHO, J. M.; HÄGGLUND, H.; LINDHOLM, H.; PELTONEN, J. E. Alveolar gas exchange and tissue oxygenation during incremental treadmill exercise, and their associations with blood O<sub>2</sub> carrying capacity. **Frontiers in Physiology**, 3, p. 265, 2012.

ROBERGS, R.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 2004.

RODRIGUES, F. A. Network centrality: an introduction. *In: A mathematical modeling approach from nonlinear dynamics to complex systems*: Springer, 2019. p. 177-196.

RODRIGUEZ, R.; TOWNSEND, N.; AUGHEY, R.; BILLAUT, F. Influence of averaging method on muscle deoxygenation interpretation during repeated-sprint exercise. **Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports**, 28, n. 11, p. 2263-2271, 2018.

RODRIGUEZ, R. F.; AUGHEY, R. J.; BILLAUT, F. The Respiratory System during Intermittent-Sprint Work: Respiratory Muscle Work and the Critical Distribution of Oxygen. *In: Respiratory Physiology*: IntechOpen, 2020.

ROMER, L. M.; MCCONNELL, A. K.; JONES, D. A. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. **Medicine Science in Sports Exercise**, 34, n. 5, p. 785-792, 2002.

RUBINOV, M.; SPORNS, O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. **Neuroimage**, 52, n. 3, p. 1059-1069, 2010.

SACHS, M. C.; ENRIGHT, P. L.; STUKOVSKY, K. D. H.; JIANG, R.; BARR, R. G. Performance of maximum inspiratory pressure tests and maximum inspiratory pressure reference equations for 4 race/ethnic groups. **Respiratory Care**, 54, n. 10, p. 1321-1328, 2009.

SALES, M. M.; MACIEL, A. P.; AGUIAR, S. D. S.; ASANO, R. Y.; MOTTA-SANTOS, D.; MORAES, J. F. V. N. D.; ALVES, P. M.; SANTOS, P. A.; BARBOSA, L. P.; ERNESTO, C. Vertical Jump Is Strongly Associated to Running-Based Anaerobic Sprint Test in Teenage Futsal Male Athletes. **Sports**, 6, n. 4, p. 129, 2018.

SILVA, R. L. C.; HALL, E.; MAIOR, A. S. Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional soccer players. **Journal of Bodywork Movement Therapies**, 23, n. 3, p. 452-455, 2019.

SLIMANI, M.; CHAMARI, K.; MIARKA, B.; DEL VECCHIO, F. B.; CHÉOUR, F. Effects of plyometric training on physical fitness in team sport athletes: a systematic review. **Journal of human kinetics**, 53, n. 1, p. 231-247, 2016.

SLIMANI, M.; NIKOLAIDIS, P. T. Anthropometric and physiological characteristics of male Soccer players according to their competitive level, playing position and age group: a systematic review. **J Sports Med Phys Fitness**, 59, n. 1, p. 141-163, 2017.

SMITH, K. J.; BILLAUT, F. Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. **European Journal of Applied Physiology**, 109, n. 5, p. 989-999, 2010.

SOUSA, F.; DOS REIS, I.; RIBEIRO, L.; MARTINS, L.; GOBATTO, C. Specific measurement of tethered running kinetics and its relationship to repeated sprint ability. **Journal of Human Kinetics**, 49, p. 245, 2015.

SOUSA, F. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B.; DE A RODRIGUES, N.; DE ARAUJO, G. G.; GOBATTO, C. A. Comparison of physiological responses of running on a nonmotorized and conventional motor-propelled treadmill at similar intensities. **Scientific reports**, 12, n. 1, p. 1-9, 2022a.

SOUSA, F. A.; MANCHADO-GOBATTO, F. B.; RODRIGUES, N. A.; GOBATTO, C. A. Comparison of parameters derived from a three-minute all-out test with classical benchmarks for running exercise. **Plos one**, 17, n. 3, p. e0266012, 2022b.

SOUSA, F. A. B.; VASQUE, R. E.; GOBATTO, C. A. Anaerobic metabolism during short all-out efforts in tethered running: Comparison of energy expenditure and mechanical parameters between different sprint durations for testing. **PLoS One**, 12, n. 6, p. e0179378, 2017.

SOUSA, F. A. D. B. **Validade e reprodutibilidade de parâmetros de capacidade e potência aeróbias e anaeróbias obtidas por meio de uma sessão de avaliação em corrida atada: Validity and reliability of anaerobic power and capacity parameters derived from one test session in tethered running.** 2017. -, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

SPENCER, M.; BISHOP, D.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. **Sports Medicine**, 35, n. 12, p. 1025-1044, 2005.

SPENGLER, C. M.; ROOS, M.; LAUBE, S. M.; BOUTELLIER, U. Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans. **European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology**, 79, n. 4, p. 299-305, 1999.

SPINKS, C. D.; MURPHY, A. J.; SPINKS, W. L.; LOCKIE, R. G. The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 21, n. 1, p. 77-85, 2007.

ST CROIX, C. M.; MORGAN, B. J.; WETTER, T. J.; DEMPSEY, J. A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. **The Journal of Physiology**, 529, n. 2, p. 493-504, 2000.

STEWART, A.; MARFELL-JONES, M.; OLDS, T.; DE RIDDER, H. **International Standards for Anthropometric Assessment (2011).** ISAK, International Society for the Advancement of Kinanthropometry, 2016. 841604581X.

STOJANOVIC, M.; OSTOJIC, S.; CALLEJA-GONZÁLEZ, J.; MILOSEVIC, Z.; MIKIC, M. Correlation between explosive strength, aerobic power and repeated sprint ability in elite basketball players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 52, n. 4, p. 375, 2012.

STØLEN, T.; CHAMARI, K.; CASTAGNA, C.; WISLØFF, U. Physiology of soccer. **Sports medicine**, 35, n. 6, p. 501-536, 2005.

SUAREZ-ARRONES, L.; SAEZ DE VILLARREAL, E.; NÚÑEZ, F. J.; DI SALVO, V.; PETRI, C.; BUCCOLINI, A.; MALDONADO, R. A.; TORRENO, N.; MENDEZ-VILLANUEVA, A. In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. **PLoS One**, 13, n. 10, p. e0205332, 2018.

SWEETING, A. J.; CORMACK, S. J.; MORGAN, S.; AUGHEY, R. J. When is a sprint a sprint? A review of the analysis of team-sport athlete activity profile. **Frontiers in Physiology**, 8, p. 432, 2017.

TANAKA, T.; BASOUDAN, N.; MELO, L. T.; WICKERSON, L.; BROCHARD, L. J.; GOLIGHER, E. C.; REID, W. D. Deoxygenation of inspiratory muscles during cycling, hyperpnoea and loaded breathing in health and disease: a systematic review. **Clinical Physiology Functional Imaging**, 38, n. 4, p. 554-565, 2018.

TERAKADO, S.; TAKEUCHI, T.; MIURA, T.; SATO, H.; NISHIOKA, N.; FUJIEDA, Y.; KOBAYASHI, R.; IBUKIYAMA, C. Early occurrence of respiratory muscle deoxygenation assessed by near-infrared spectroscopy during leg exercise in patients with chronic heart failure. **Japanese Circulation Journal**, 63, n. 2, p. 97-104, 1999.

TOMLIN, D. L.; WENGER, H. A. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. **Sports Medicine**, 31, n. 1, p. 1-11, 2001.

TONG, T. K.; FU, F. H. Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. **European Journal of Applied Physiology**, 97, n. 6, p. 673-680, 2006.

TONG, T. K.; FU, F. H.; CHUNG, P. K.; ESTON, R.; LU, K.; QUACH, B.; NIE, J.; SO, R. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. **Applied Physiology, Nutrition, Metabolism**, 33, n. 4, p. 671-681, 2008.

TONG, T. K.; FU, F. H.; ESTON, R.; CHUNG, P.-K.; QUACH, B.; LU, K. Chronic and acute inspiratory muscle loading augment the effect of a 6-week interval program on tolerance of high-intensity intermittent bouts of running. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 24, n. 11, p. 3041-3048, 2010.

TONG, T. K.; MCCONNELL, A. K.; LIN, H.; NIE, J.; ZHANG, H.; WANG, J. "Functional" inspiratory and core muscle training enhances running performance and economy. **Journal of Strength Conditioning Research**, 30, n. 10, p. 2942-2951, 2016.

TRAN, T.-K.; SAILASUTA, N.; KREUTZER, U.; HURD, R.; CHUNG, Y.; MOLE, P.; KUNO, S.; JUE, T. Comparative analysis of NMR and NIRS measurements of intracellular PO<sub>2</sub> in human skeletal muscle. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative Comparative Physiology**, 276, n. 6, p. R1682-R1690, 1999.

TURNER, L. A.; TECKLENBURG-LUND, S.; CHAPMAN, R. F.; STAGER, J. M.; DUKE, J. W.; MICKLEBOROUGH, T. D. Inspiratory loading and limb locomotor and respiratory muscle deoxygenation during cycling exercise. **Respiratory Physiology Neurobiology**, 185, n. 3, p. 506-514, 2013.

ULUPINAR, S.; HAZİR, T.; KIN İŞLER, A. The Contribution of Energy Systems in Repeated-Sprint Protocols: The Effect of Distance, Rest, and Repetition. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, p. 1-7, 2021.

VASQUEZ-BONILLA, A. A.; CAMACHO-CARDEÑOSA, A.; TIMÓN, R.; MARTÍNEZ-GUARDADO, I.; CAMACHO-CARDEÑOSA, M.; OLCINA, G. Muscle oxygen desaturation and re-saturation capacity limits in repeated sprint ability performance in women soccer players: a new physiological interpretation. **International journal of environmental research and public health**, 18, n. 7, p. 3484, 2021.

VERGES, S.; LENHERR, O.; HANER, A. C.; SCHULZ, C.; SPENGLER, C. M. Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative Comparative Physiology**, 292, n. 3, p. R1246-R1253, 2007.

VOLIANITIS, S.; MCCONNELL, A. K.; JONES, D. A. Assessment of maximum inspiratory pressure. **Respiration**, 68, n. 1, p. 22-27, 2001.

WAHR, J. A.; TREMPER, K. K.; SAMRA, S.; DELPY, D. T. Near-infrared spectroscopy: theory and applications. **Journal of Cardiothoracic Vascular Anesthesia**, 10, n. 3, p. 406-418, 1996.

WESTERBLAD, H.; ALLEN, D. G.; LANNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **Physiology**, 17, n. 1, p. 17-21, 2002.

WEYAND, P. G.; LIN, J. E.; BUNDLE, M. W. Sprint performance-duration relationships are set by the fractional duration of external force application. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative Comparative Physiology**, 2006.

WILSON, E. E.; MCKEEVER, T. M.; LOBB, C.; SHERRIFF, T.; GUPTA, L.; HEARSON, G.; MARTIN, N.; LINDLEY, M. R.; SHAW, D. E. Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. **British Journal of Sports Medicine**, 48, n. 9, p. 789-791, 2014.

WITT, J. D.; GUENETTE, J. A.; RUPERT, J. L.; MCKENZIE, D. C.; SHEEL, A. W. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. **The Journal of Physiology**, 584, n. 3, p. 1019-1028, 2007.

WOOD, E. H.; GERACI, J. Photoelectric determination of arterial oxygen saturation in man. **The Journal of Laboratory Clinical Medicine**, 34, n. 3, p. 387-401, 1949.

WOORONS, X.; DUPUY, O.; MUCCI, P.; MILLET, G. P.; PICHON, A. Cerebral and muscle oxygenation during repeated shuttle run sprints with hypoventilation. **International Journal of Sports Medicine**, 40, n. 06, p. 376-384, 2019.

YODH, A.; CHANCE, B. Spectroscopy and imaging with diffusing light. **Physics Today**, 48, n. 3, p. 34-40, 1995.

YOGEV, A.; ARNOLD, J.; CLARKE, D.; GUENETTE, J. A.; SPORER, B. C.; KOEHLE, M. S. Comparing the Respiratory Compensation Point With Muscle Oxygen Saturation in Locomotor and Non-locomotor Muscles Using Wearable NIRS Spectroscopy During Whole-Body Exercise. **Frontiers in Physiology**, p. 483, 2022.

YOSHIDA, T.; WATARI, H. <sup>31</sup>P-nuclear magnetic resonance spectroscopy study of the time course of energy metabolism during exercise and recovery. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, 66, n. 6, p. 494-499, 1993.

YOUNG, W. B.; PRYOR, L. Relationship between pre-season anthropometric and fitness measures and indicators of playing performance in elite junior Australian Rules football. **Journal of Science Medicine in Sport**, 10, n. 2, p. 110-118, 2007.

ZACHAROGIANNIS, E.; PARADISIS, G.; TZIORTZIS, S. An evaluation of tests of anaerobic power and capacity. **Medicine Science in Sports Exercise**, 36, n. 5, p. S116, 2004.

ZAGATTO, A. M.; BECK, W. R.; GOBATTO, C. A. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. **The Journal of Strength Conditioning Research**, 23, n. 6, p. 1820-1827, 2009.

ZAGATTO, A. M.; MIYAGI, W. E.; SOUSA, F. A. B.; GOBATTO, C. A. Relationship between anaerobic capacity estimated using a single effort and 30-s tethered running outcomes. **PLoS One**, 12, n. 2, p. e0172032, 2017.

ZEMKOVÁ, E.; HAMAR, D. "All-out" tethered running as an alternative to Wingate anaerobic test. **Kinesiology**, 36, n. 2, p. 165-172, 2004.

## 8. APÊNDICES

### 8. 1. APÊNDICE 1 – Anamnese

#### Anamnese

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Idade que iniciou os treinos: \_\_\_\_\_

1 – Quantos litros de água você toma por dia? \_\_\_\_\_ L/dia

2 – Quantas horas você dorme por noite? \_\_\_\_\_ hr/noite

3 – Você faz acompanhamento médico? Quantas vezes no mês? \_\_\_\_\_/mês

4 – Com que frequência você consome álcool? \_\_\_\_\_/semana ou \_\_\_\_\_/mês

5 – Possui algum problema respiratório? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, qual o medicamento utilizado e a frequência?

\_\_\_\_\_

6 – Faz o uso de tabaco (cigarro)? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, com que frequência? \_\_\_\_\_/semana ou \_\_\_\_\_/mês

7 – Faz o uso de algum medicamento? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, qual medicamento e a frequência?

\_\_\_\_\_

8 – Faz ou já fez uso de esteroide anabolizante? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, qual, e o tempo total que utilizou?

9 – Costuma sentir algum desconforto quando pratica atividades intensas? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, qual desconforto?

10 – Possui algum problema ortopédico? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, qual?

\_\_\_\_\_

11 – Já passou por algum processo cirúrgico? ( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, quantas vezes e quais cirurgias?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\* Toda informação aqui escrita, será de total sigilo entre pesquisador e avaliado. Nenhuma informação será utilizada para outros fins, além da segurança do avaliado. Após o termino do estudo, todas informações serão descartadas, afim de assegurar total sigilo.

## 8. 2. APÊNDICE 2 – Histórico Esportivo-Competitivo

### Histórico Esportivo-Competitivo

Prezado Sr.

Este documento, chamado Histórico Esportivo - Competitivo, visa identificar o seu histórico de competições assim como a frequência de treinamento referente a sua preparação para campeonatos.

Nome: \_\_\_\_\_

Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_

Cidade de origem: \_\_\_\_\_

1- Há quanto tempo joga profissionalmente? \_\_\_\_\_

2- Qual a frequência semanal de treinos? \_\_\_\_\_ dias/semana

3- Qual é o volume (horas) semanal médio de treinos? \_\_\_\_\_ horas/semana.

4- Quanto tempo dura em média uma sessão de treinamento? \_\_\_\_hora(s)\_\_\_\_minuto(s).

5- Quantos vezes ao dia você treina? ( ) 1 período ( ) 2 períodos ( ) 3 períodos

6- Em qual período do dia treina? ( ) manhã ( ) tarde ( ) noite ( ) horário de almoço ( )

outros: \_\_\_\_\_

7- Compete em qual nível?

Regional ( ) Estadual ( ) Nacional ( ) Internacional ( )

8- Você participa de quantos campeonatos por ano? \_\_\_\_\_

Cite o mais importante e o resultado mais recente do mesmo:

9- Atualmente, em qual posição você joga?

9.1- Você já atuou em mais de uma posição ao longo de sua carreira? ( ) Sim ( ) Não

Se sim, quais?

9.2- De todos os campeonatos disputados, você atuou predominantemente como:

Titular ( ) Reserva ( )

10- Quais foram suas competições nos últimos dois anos? E o nível da competição e lugar da qualificação?

---



---



---

---

---

11- Você faz controle da frequência cardíaca quando treina ou compete? ( ) Sim ( ) Não

11.1- Caso sim, qual o valor máximo atingido no treino? \_\_\_\_\_bpm. E em competição?  
\_\_\_\_\_bpm ou

( ) Não controlo a frequência cardíaca em competições.

12- Você segue alguma planilha de treino (periodização) orientada por algum profissional de Educação Física? ( ) Sim ( ) Não

13- Você já sofreu algum tipo de lesão? ( ) Sim ( ) Não

Se sim, onde e qual? \_\_\_\_\_

13.1- Em que condições? ( ) Treinando ( ) Competições?

14- Você também pratica outras modalidades esportivas regularmente? ( ) Sim. ( ) Não.

14.1- Qual(is) é(são) a(s) modalidade(s) esportiva(s) praticada(s)?  
\_\_\_\_\_.

14.1- Há quanto tempo você pratica a(s) modalidade(s) citada(s) acima? \_\_\_\_\_anos.

14.2- Com qual frequência você pratica essa(s) modalidade(s)? \_\_\_\_\_vezes/semana.

14.3- Quanto tempo dura em média os treinos dessa(s) modalidade(s)? \_\_\_\_\_horas.

Eu, \_\_\_\_\_, portador do RG: \_\_\_\_\_, estou ciente de que as informações pessoais e dados obtidos neste questionário serão empregados para fins de pesquisa científica, e que somente os profissionais responsáveis pelo projeto, terão acesso com meu direito de privacidade resguardado. Assinatura do atleta:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_de \_\_\_\_\_de 20\_\_\_\_.