



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA – FEF

PRISCILA FALEIRO DE BIASE

**PROTÓCOLOS DE PRÉ-ATIVAÇÃO NEUROMUSCULAR SIMPLES E
COMBINADO: EFEITOS SOBRE A FORÇA, A VELOCIDADE E A
POTÊNCIA DE FUTEBOLISTAS EM CORRIDA ATADA DE ALTA
INTENSIDADE**

CAMPINAS

2021

PRISCILA FALEIRO DE BIASE

**PROTÓCOLOS DE PRÉ-ATIVAÇÃO NEUROMUSCULAR SIMPLES E
COMBINADO: EFEITOS SOBRE A FORÇA, A VELOCIDADE E A
POTÊNCIA DE FUTEBOLISTAS EM CORRIDA ATADA DE ALTA
INTENSIDADE**

Tese apresentada à Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutora em Educação Física, na área de Biodinâmica do Movimento e Esporte.

Orientadora: Profa. Dra. Fulvia de Barros Manchado-Gobatto

Este trabalho corresponde à versão final da tese defendida pela aluna Priscila Faleiro de Biase e orientada pela Prof. Dra. Fulvia de Barros Manchado Gobatto

CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Educação Física
Dulce Inês Leocádio - CRB 8/4991

B470p Biase, Priscila Faleiro, 1985-
Protocolos de pré-ativação neuromuscular simples e combinado : efeitos sobre a força, a velocidade e a potência de futebolistas em corrida atada de alta intensidade / Priscila Faleiro de Biase. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Fulvia de Barros Manchado Gobatto.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física.

1. Futebol. 2. Aptidão física. 3. Fadiga. 4. Teste de esforço. 5. Atletas. I. Gobatto, Fulvia de Barros Manchado. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação Física. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Simple and combined neuromuscular preactivation protocol : effects on force, velocity and power of soccer players in high intensity tethered run

Palavras-chave em inglês:

Soccer

Physical performance

Fatigue performance

Exercise test

Athletes

Área de concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte

Titulação: Doutora em Educação Física

Banca examinadora:

Fulvia de Barros Manchado Gobatto [Orientador]

Pamela Roberta Gomes Gonelli

Ana Lorena Marche

Ivan Gustavo Masselli dos Reis

Nathalia Arnosti Vieira

Data de defesa: 02-07-2021

Programa de Pós-Graduação: Educação Física

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

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-9901-7272>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/5167296039202198>

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Fulvia de Barros Manchado Gobatto

(Presidente da Comissão Examinadora)

Profa. Dra. Pamela Roberta Gomes Gonelli

(Membro da Comissão Examinadora)

Profa. Dra. Ana Lorena Marche

(Membro da Comissão Examinadora)

Prof. Dr. Ivan Gustavo Masselli dos Reis

(Membro da Comissão Examinadora)

Profa. Dra. Nathalia Arnosti Vieira

(Membro da Comissão Examinadora)

DEDICATÓRIA

À minha família, meu bem mais precioso. Minha mãe e minha irmã, mulheres fortes que me enchem de orgulho todos os dias, dedico-me a ser um orgulho para vocês também. Ao meu saudoso e maravilhoso pai, obrigada pelo apoio, pelo ombro amigo, pelo carinho e dedicação conosco durante toda sua vida. Sinto você comigo todos os dias, e a você sempre dedicarei todas as minhas conquistas. À minha companheira de vida, quem escolhi a dedo para me acompanhar nessa jornada, Bruna, dedico meu presente e meu futuro. À minha irmã da vida, Carolina Cirino, agradeço a amizade e parceria de vida e de profissão, temos uma bela história e ainda muitos capítulos a escrever juntas. Agradeço imensamente ao professor Cláudio Gobatto e à Carolina Gama pelo imenso auxílio com a pesquisa e por bons momentos de amizade. Dedico a todos que de certa forma estiveram ao meu lado nessa trajetória. Por fim, dedico com muito carinho e agradeço de todo o coração à minha orientadora Fúlvvia, que de todas as formas contribuiu para o ser humano que sou hoje e para a profissional que almejo ser.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP por meio do projeto regular (Proc 2018/05821-6) para aquisição de equipamentos.

RESUMO

Estratégias agudas para melhorar o desempenho de atletas vêm sendo investigadas, como é o caso da pré-ativação neuromuscular (PA). Apesar de diversos fatores impactarem na indução da potenciação pós-ativação causada pela PA, há uma lacuna de conhecimento sobre a influência da combinação de diferentes tipos de exercícios como pré-ativação na corrida. O objetivo da presente tese foi comparar os efeitos de dois modelos de pré-ativação neuromuscular, um simples (saltos) e outro combinado (saltos + agachamento), sobre a força, a velocidade, a potência e a concentração de lactato de jogadores de futebol em corrida atada de alta intensidade e curta duração. Em adição, aplicamos aqui uma análise computacional baseada nas métricas de centralidade Grau e *Eigenvector* retornadas do modelo de redes complexas para comparar os efeitos desses protocolos de PA. Dezesesseis atletas do sexo masculino, categoria sub 17 (16 ± 0 anos, $64,7 \pm 1,5$ kg, 174 ± 0 cm, $7,3 \pm 0,8\%$ de gordura corporal), foram submetidos a três sessões avaliativas, separadas por 48 horas. Nas condições experimentais, realizaram, randomicamente, dois protocolos de PA anteriormente ao teste de corrida atada máxima de 30 segundos (AO30) em esteira não motorizada. No protocolo simples (PPS), eles executaram 3 saltos verticais e, após 2 minutos, foram submetidos à corrida. A PA combinada foi composta por 2 séries de 6 repetições de agachamento (70% de 1RM), realizadas previamente aos saltos. A PPC elevou a potência, a força, a velocidade de corrida no AO30 em relação aos PPS, sem modificar a resposta lactacidêmica. A análise por modelo de redes complexas reforçou a superioridade do PPC, o qual elevou a densidade da rede e destacou como nós principais aqueles relacionados à potência e força na corrida atada. Nossos resultados sugerem o protocolo de PA combinando séries de saltos e agachamento como uma estratégia aguda para melhorar o desempenho em corrida de atletas de futebol.

Palavras chave: Aptidão Física; Atletas; Fadiga; Futebol; Teste de esforço

ABSTRACT

Acute strategies to improve the performance of athletes have been investigated, as is the case of neuromuscular pre-activation (PA). Although several factors impact the induction of post-activation potentiation caused by PA, there is a lack of knowledge about the influence of the combination of different types of exercises as pre-activation in running. This study aimed to compare the effects of two protocols of neuromuscular pre-activation – a simple one (jumps) and a combined one (jumps + back squats) – on the force, velocity, power, and lactate concentration of soccer players in high-intensity and short-duration tethered running. In addition, we apply here a computational analysis based on the Degree and Eigenvector centrality metrics returned from the complex network model, to compare the effects of these PA protocols. Sixteen male athletes, sub 17 category (16 ± 0 years, 64.7 ± 1.5 kg, 174 ± 0 cm, $7.3 \pm 0.8\%$ of body fat), were submitted to three evaluation sessions, each separated by 48 hours. Under experimental conditions, they performed, randomly, two PA protocols before the All-Out Test 30s (AO30) on a non-motorized treadmill. In the simple pre-activation protocol (SPP), they performed 3 vertical jumps and, after 2 minutes, they proceeded to running. The combined pre-activation protocol (CPP) consisted of 2 sets of 6 repetitions of back squats (70% of 1RM), performed previously to the jumps. CPP increased the running power, force, and velocity in the AO30 compared to the SPP, without modifying the lactacidemic response. The analysis by complex network models reinforced the superiority of the CPP, which increased the density of the network and highlighted as main nodes those related to power and force in the tethered running. Our results suggest the CPP protocol combining series of jumps and back squats as an acute strategy to improve the running performance of soccer athletes.

Keywords: Exercise Test; Fatigue Performance; Physical Performance Test; Soccer; Athletes

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Procedimentos metodológicos ao longo de três sessões de experimentos. **a.** Teste de 1RM de agachamento BS; **b.** Protocolo de Pré-ativação Simples (PPS); **c.** Protocolo de Pré-ativação Combinado (PPC). **TCLE:** termo de consentimento livre e esclarecido; **BS:** agachamento back squat; **AT:** aquecimento tradicional na esteira motorizada; **1RM:** teste de uma repetição máxima de agachamento; **AO30:** teste máximo de 30 segundos na ENM. 24
- Figura 2. Representação da posição do avaliado no sistema de corrida atada na esteira não motorizada. **a.** cinto de nylon; **b.** Cabo de aço; **c.** Célula de carga para mensuração da força horizontal; **d.** Vista lateral do poste de altura regulável. 27
- Figura 3. Representação da aquisição dos dados mecânicos na esteira rolante não-motorizada. **a.** Vista superior do trilho de ferro de rolamento independente onde o avaliado realizou o teste; **b.** Célula de carga para obtenção dos dados de força horizontal; **c.** Células de carga posicionadas na parte inferior do trilho de ferro; **d.** Módulos e amplificadores dos sinais elétricos da ENM; **e.** Rede de comunicação entre a ENM e o software de leitura dos sinais no computador; **f.** Sistema composto por sensor de efeito hall e imã para obtenção dos dados de velocidade..... 29
- Figura 4. Concentrações de lactato sanguíneo (mmol.L⁻¹) em média e erro padrão da média (EPM) nos momentos de repouso, cinco e sete minutos após AO30 e comparação entre as duas condições de pré-ativação (PPS e PPC). **PPS:** protocolo de pré-ativação simples; **PPC:** protocolo de pré-ativação combinada; ^a diferente de repouso, ^b diferente de após 5 min, ^c diferente de após 7. (p≤0,05) (n=16). 35
- Figura 5. Representação gráfica dos parâmetros mecânicos (média e EPM) obtidos a partir dos protocolos combinado e simples de PA no desempenho de AO30. Barras azuis expressam os valores de PPS e barras laranjas de PPC. **PPS:** protocolo de pré-ativação simples; **PPC:** protocolo de pré-ativação combinado; **Pmáx:** potência máxima; **Pméd:** potência média; **Fmáx:** força máxima; **Fméd:** força média; **Vmáx:** velocidade máxima; **Vméd:** velocidade média; **IF:** índice de fadiga; **G:** goleiros (n=2); **L:** laterais (n=3); **M:** meias (n=5); **A:** atacantes (n=3); **Z:** zagueiros (n=3). 38
- Figura 6. Representação gráfica dos resultados obtidos (média e EPM) realizados com (PPC) e sem (PPS) a execução prévia dos exercícios de agachamento sobre os parâmetros mecânicos do salto vertical (SV). As barras azuis expressam os valores na condição PPS e barras laranjas, após a aplicação de PPC. **PPS:** protocolo de pré-ativação simples; **PPC:** protocolo de pré-ativação combinado; **G:** goleiros (n=2); **L:** laterais (n=3); **M:** meias (n=5); **A:** atacantes (n=3); **Z:** zagueiros (n=3) 41
- Figura 7. Resultados obtidos nos dois cenários de pré-ativação neuromuscular, considerando a métrica de centralidade Grau. Os painéis A e B representam o grafo e as cinco primeiras classificações para o cenário de pré-ativação simples (PPS), respectivamente; os painéis C e D representam o grafo e as cinco primeiras classificações do cenário de pré-ativação combinada (PPC), respectivamente. **Age:** idade; **BM:** massa corpora; **Hgt:** altura; **%BF:** percentual de gordura corporal; **1RM:** 1 repetição máxima; **aPmax:** potência máxima (valor absoluto); **aPmean:** potência média (valor absoluto); **aPmin:** potência mínima (valor absoluto); **PFI:** índice de fadiga

da potência; **aFmax**: força máxima (valor absoluto); **aFmean**: força média (valor absoluto); **aFmin**: força mínima (valor absoluto); **FFI**: índice de fadiga da força; **Vmax**: velocidade máxima; **Vmean**: velocidade média, **Vmin**: velocidade mínima; **VFI**: índice de fadiga da velocidade; **rPmax**: potência máxima (valor relativo); **rPmean**: potência média (valor relativo); **rPmin**: potência mínima (valor relativo); **rFmax**: força máxima (valor relativo); **rFmean**: força média (valor relativo); **rFmin**: força mínima (valor relativo); **VJ-H**: altura do salto vertical, **VJ-T**: trabalho do salto vertical; **VJ-aW**: potência do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rW**: potência do salto vertical (valor relativo); **VJ-aF**: força do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rF**: força do salto vertical (valor relativo); **VJ-aImp**: impulso do salto vertical (valor absoluto); **VJ-tFmax**: tempo de salto vertical; **VJ-rImp**: impulso do salto vertical (valor relativo); **VJ-RFD**: taxa pico de desenvolvimento de força do salto; **VJ-TFD**: tempo de desenvolvimento de força do salto; **Lac**: lactato sanguíneo (repouso); **LacPeak**: pico do lactato sanguíneo; **D-Lac**: delta do lactato sanguíneo..... 43

Figura 8. Resultados obtidos nos dois cenários de pré-ativação neuromuscular, considerando a métrica de centralidade Eigenvector. Os painéis A e B representam o grafo e as cinco primeiras classificações para o cenário de pré-ativação simples (PPS), respectivamente; os painéis C e D representam o grafo e as cinco primeiras classificações do cenário de pré-ativação combinada (PPC), respectivamente. **Age**: idade; **BM**: massa corpora; **Hgt**: altura; **%BF**: percentual de gordura corporal; **1RM**: 1 repetição máxima; **aPmax**: potência máxima (valor absoluto); **aPmean**: potência média (valor absoluto); **aPmin**: potência mínima (valor absoluto); **PFI**: índice de fadiga da potência; **aFmax**: força máxima (valor absoluto); **aFmean**: força média (valor absoluto); **aFmin**: força mínima (valor absoluto); **FFI**: índice de fadiga da força; **Vmax**: velocidade máxima; **Vmean**: velocidade média, **Vmin**: velocidade mínima; **VFI**: índice de fadiga da velocidade; **rPmax**: potência máxima (valor relativo); **rPmean**: potência média (valor relativo); **rPmin**: potência mínima (valor relativo); **rFmax**: força máxima (valor relativo); **rFmean**: força média (valor relativo); **rFmin**: força mínima (valor relativo); **VJ-H**: altura do salto vertical, **VJ-T**: trabalho do salto vertical; **VJ-aW**: potência do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rW**: potência do salto vertical (valor relativo); **VJ-aF**: força do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rF**: força do salto vertical (valor relativo); **VJ-aImp**: impulso do salto vertical (valor absoluto); **VJ-tFmax**: tempo de salto vertical; **VJ-rImp**: impulso do salto vertical (valor relativo); **VJ-RFD**: taxa pico de desenvolvimento de força do salto; **VJ-TFD**: tempo de desenvolvimento de força do salto; **Lac**: lactato sanguíneo (repouso); **LacPeak**: pico do lactato sanguíneo; **D-Lac**: delta do lactato sanguíneo..... 44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultados mecânicos de potência, força e velocidade do desempenho em corrida máxima de 30 segundos e comparação entre os dados mecânicos de potência, força, velocidade e índice de fadiga obtidos por meio de dois protocolos distintos de pré-ativação.....33
- Tabela 2. Resultados do desempenho em salto vertical, comparação e correlação entre os dados mecânicos obtidos após a aplicação dos protocolos de pré-ativação simples (PPS) e combinado (PPC) (n=16).....34
- Tabela 3. Valores descritivos dos dados mecânicos de AO30 nas condições PPS e PPC, considerando as posições dos jogadores e o n amostral.....36
- Tabela 4. Diferença entre os dois protocolos considerando os valores mínimos, médios, máximos e os índices de fadiga da potência, força e velocidade, representados pelos deltas calculados pela subtração dos resultados obtidos por meio do PPC dos valores de PPS no AO30.....37
- Tabela 5. Descrição dos resultados do melhor salto vertical nas condições após PPS e PPC, considerando as posições dos jogadores e o n amostral.....40
- Tabela 6. Diferenças entre os dois protocolos considerando os valores mínimos, médios, máximos e os índices de fadiga das variáveis mecânicas, representadas pelos deltas calculados pela subtração dos resultados obtidos por meio do PPC dos valores de PPS no SV.....40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- %GC – Percentual de gordura corporal
- 1RM – Teste de força de 1 repetição máxima
- AC – Atividade condicionante
- aFmín – Força mínima de corrida (valores absolutos)
- aFméd – Força média de corrida (valores absolutos)
- aFmáx – Força máxima de corrida (valores absolutos)
- AN – Aquecimento na esteira motorizada
- AO30 – All Out (corrida máxima) de 30 segundos de duração
- aPmín – Potência mínima de corrida (valores absolutos)
- aPméd – Potência média de corrida (valores absolutos)
- aPmáx – Potência máxima de corrida (valores absolutos)
- AT – Aquecimento tradicional
- aVmín – Velocidade mínima de corrida (valores absolutos)
- aVméd – Velocidade média de corrida (valores absolutos)
- aVmáx – Velocidade máxima de corrida (valores absolutos)
- BS – Agachamento back squat
- D-Lac – Delta do lactato sanguíneo
- ENM – Esteira não-motorizada
- FM – Força máxima
- Fmín – Força mínima
- Fméd – Força média
- Fmáx – Força máxima
- IFF – Índice de fadiga da força na corrida
- IFP – Índice de fadiga da potência na corrida
- IFV – Índice de fadiga da velocidade na corrida
- LAC – Lactato sanguíneo
- LacPico – Pico de lactato sanguíneo
- MC – Massa corporal
- PA – Pré-ativação
- Pmín – Potência mínima

P_{méd} – Potência média
P_{máx} – Potência máxima
PPA – Potenciação pós-ativação
PPC – Protocolo de pré-ativação combinado
PPS – Protocolo de pré-ativação simples
Pré-ativação neuromuscular (PA)
rF_{mín} – Força mínima de corrida (valores relativos)
rF_{méd} – Força média de corrida (valores relativos)
rF_{máx} – Força máxima de corrida (valores relativos)
rP_{mín} – Potência mínima de corrida (valores relativos)
rP_{méd} – Potência média de corrida (valores relativos)
rP_{máx} – Potência máxima de corrida (valores relativos)
SV – Salto Vertical
SV- aP – Potência do salto vertical (valores absolutos)
SV- rP – Potência do salto vertical (valores relativos)
SV-A – Altura do salto vertical
SV-aF – Força do salto vertical (valores absolutos)
SV-aImp – Impulso do salto vertical (valores absolutos)
SV-rF – Força do salto vertical (valores relativos)
SV-RFD – Taxa de pico de desenvolvimento de força de salto
SV-rImp – Impulso do salto vertical (valores relativos)
SV-T – Trabalho do salto vertical
SV-TFD – Tempo de desenvolvimento da força de salto
SV-tF_{máx} – Tempo para força máxima do salto vertical
TCLE – Termo de consentimento livre e esclarecido
Teste all-out de 30 segundos (AO30) – 30s All Out Test (AO30)
V_{mín} – Velocidade mínima
V_{méd} – Velocidade média
V_{máx} – Velocidade máxima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Objetivos.....	21
1.2. Hipóteses.....	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.1. Amostra.....	22
2.2. Local	23
2.3. Delineamento do Estudo.....	23
2.4. Procedimentos Metodológicos.....	24
2.4.1. Medidas antropométricas.....	24
2.4.2. Teste de 1RM	24
2.4.3. Protocolos de pré-ativação	25
2.4.3.1. Protocolo de pré-ativação simples (PPS): salto vertical.....	25
2.4.3.2. Protocolo de pré-ativação combinado (PPC): salto vertical e back squat	25
2.4.4. All out 30 segundos (AO30) em esteira não motorizada (ENM).....	26
2.4.5. Obtenção e análise dos dados	27
2.4.5.1. Sinais mecânicos em ENM durante o AO30	27
2.4.5.2. Cálculo da força, velocidade e potência de corrida em ENM	28
2.4.5.3. Cálculo das variáveis mecânicas do salto vertical.....	30
2.4.5.4. Amostras sanguíneas e determinação das concentrações de lactato sanguíneo.....	30
2.5. Análise dos Dados	30
2.5.1. Análise estatística	30
2.5.2. Métricas de centralidade por modelo de redes complexas	31
3. RESULTADOS	31
4. DISCUSSÃO.....	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
6. REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, investigações acerca de meios e métodos capazes de aprimorar o desempenho esportivo vêm despertando o interesse de pesquisadores e treinadores. Em decorrência dessa inquietação, constantemente são propostos novos recursos, com a finalidade de prover aos praticantes, o aumento da performance atlética. O resultado esportivo depende de inúmeros fatores, intrínsecos e extrínsecos e, portanto, pequenos detalhes podem interferir no desempenho individual. Nesse contexto, o diagnóstico preciso, efetuado por meio de avaliações físicas e fisiológicas, é capaz de fornecer as informações necessárias para investigar possíveis ajustes do treinamento, bem como os potenciais efeitos de ferramentas e estratégias ergogênicas, proporcionando a melhora do desempenho físico. Em termos metabólicos e mecânicos, parâmetros aeróbios e anaeróbios precisam ser individualmente identificados, possibilitando implementar a prescrição e monitoramento do treinamento (ROBBINS & GOODALE, 2012).

Em 1987, Bar-Or propôs um teste capaz de determinar a potência anaeróbia por meio de um esforço máximo de 30 segundos, denominado protocolo de Wingate. Inicialmente, esse protocolo foi realizado e validado em cicloergometro, evidenciando a potência anaeróbia por meio do valor da potência pico (Ppico), que ocorre geralmente nos primeiros cinco segundos de teste. Embora bastante empregado, esse modelo avaliativo apenas respeita a especificidade do gesto motor do ciclismo. Por esse motivo, a ideia do esforço máximo com a duração de 30 segundos como avaliação anaeróbia passou a ser difundida em outras modalidades ou ergômetros (SOUSA et al., 2017), já que esforços dessa natureza, também conhecidos como all-out 30 segundos (AO30), são capazes de identificar a potência anaeróbia e estimar a capacidade do organismo em ressintetizar rapidamente os estoques de ATP.

Nesse modelo avaliativo, os dados fisiológicos e mecânicos são altamente específicos à modalidade na qual o teste é realizado. Portanto, o ergômetro escolhido para a realização do teste de desempenho deve ser levado em consideração (MANCHADO et al., 2006), visto que quanto mais próximo o gesto motor específico, a validade ecológica é respeitada e mais confiável se torna o critério avaliado (DAVIES et al., 1984). Similar ao que ocorre em cicloergometro, tão adotado para avaliação da potência (BERTUZZI et al., 2015), esforços atados têm sido amplamente empregados em testes all-out, como o de 30 s (ČULAR et al., 2018; McKIE et al., 2018; SOUSA et al., 2017; ZAGATTO et al. 2017). Esses protocolos avaliativos vêm sendo conduzidos, inclusive

devido a esse meio de treinamento amarrado ou com trenó configurar a rotina de atletas e indivíduos submetidos a programas de exercício físico (McMORROW et al., 2019; BOLGER et al., 2015).

Dentre as possibilidades para avaliar a corrida, destaca-se a esteira não motorizada (ENM), sendo esse um ergômetro que possibilita o avaliado realizar o gesto da corrida de forma próxima às situações livres e em campo (CHEETHAM et al., 1985; LAKOMY, 1987; GOBATTO et al., 2020). A ENM, como a que foi confeccionada em nosso laboratório (SOUSA et al., 2017; GAMA et al., 2018) é capaz de mensurar a potência da corrida, uma vez que esse equipamento registra, com elevada frequência de captura, os sinais de forças horizontal e vertical, além da velocidade nesse gesto motor específico. Ademais, devido à alta correlação entre os parâmetros anaeróbios mecânicos e metabólicos, a aplicabilidade do ergômetro se torna ainda maior (MCLAIN et al., 2015; ZAGATTO et al., 2017, MANCHADO-GOBATTO et al., 2020).

Força, velocidade e potência são capacidades fundamentais para grande parte das modalidades esportivas coletivas, considerando os fundamentos físicos, técnicos e táticos e o alto grau de exigência física durante o treinamento e as partidas (MOLA et al., 2014). O desempenho técnico e físico de atletas de alto rendimento demanda o desenvolvimento constante e progressivo das habilidades neuromusculares relacionadas às atividades de alta intensidade e curta duração, como sprints e saltos (BARNES et al., 2014; LOTURCO et al., 2015). Desse modo, a otimização desses parâmetros é fundamental no processo de formação e preparação do atleta para diferentes modalidades (CHIU et al., 2003; ULRICH & PARSTORFER, 2017).

Especificamente no futebol de campo, o caráter intermitente da partida e do treinamento físico evidencia numerosas ações de alta intensidade, o que exige elevada capacidade e potência anaeróbia, consideradas fundamentais para o alcance do alto rendimento (HAUGEN et al., 2014). Tal característica estabelece que o atleta busque por constante aperfeiçoamento das ações explosivas, consideradas cruciais para a modalidade (DELLO IACONO et al., 2018). Durante as partidas, os jogadores realizam elevada quantidade de *sprints*, demandando alta capacidade de aceleração, a qual deve ser desenvolvida adequadamente a partir de exercícios de condicionamento apropriados (SHARMA et al., 2018). Dessa forma, considerando que as ações de alta intensidade, como os sprints e os saltos, apresentam extrema significância para o futebol (GUGGENHEIMER

et al., 2009), esses devem ser avaliados e monitorados ao longo do treinamento, uma vez que são altamente correlacionados com o desempenho específico.

Os programas de treinamento são estruturados durante as temporadas a fim de aprimorar o desempenho a médio e longo prazo. Entretanto, ajustes agudos também podem beneficiar os atletas durante as sessões ou partidas. Responsável pela elevação da temperatura corporal (BISHOP, 2003), maior recrutamento das fibras musculares (TOWLSON, MIDGLEY & LOVELL, 2013) e prevenção de lesões (MCGOWAN et al., 2015), o aquecimento é caracterizado por ações prévias ao exercício principal e utilizado por praticantes de diversos níveis de aptidão física com a finalidade de preparar o organismo para o esforço posterior. Os exercícios tradicionais de aquecimento são compostos por atividades aeróbias de baixa intensidade, exercícios de alongamento dos principais músculos e movimentos específicos da modalidade, sendo sua duração bastante variada (HAMMAMI et al., 2018). Entretanto, nesse contexto de esforços prévios à tarefa principal, incluem-se os exercícios realizados como pré-ativação (PA).

A PA refere-se à contração prévia de uma musculatura que será solicitada em um exercício específico, no entanto, com o intuito de estimular a maior capacidade contrátil do músculo, culminando na potencialização do desempenho no exercício realizado posteriormente (HAMADA, SALE & MCDUGALL et al., 2000; LIM & KONG, 2013; MCBRIDE, NIMPHIUS & ERICKSON, 2005). Tal fenômeno, denominado potenciação pós ativação (PPA), é descrito como um aumento agudo no desempenho ou dos fatores que determinam ações explosivas seguidas de um estímulo prévio (WHELAN et al., 2014; GOŁAŚ et al., 2016; SHARMA et al., 2018). A definição de PPA aponta para um aumento na força de contração muscular que se segue após uma contração voluntária máxima ou quase máxima (SMITH et al., 2014). A PPA é considerada um fenômeno fisiológico lícito e seguro, potencialmente capaz de aumentar o desempenho muscular durante exercícios de alta intensidade e sua manifestação vem sendo explorada em diversos estudos (GOŁAŚ et al., 2016; PETISCO et al., 2019; SANCHEZ-SANCHEZ et al., 2018). Para induzir a PPA, as atividades de curta duração com aplicação de esforços em percentuais da força máxima ou potência muscular são realizadas minutos antes da atividade principal (BORBA et al., 2017).

Apesar da PPA ser observada em atividades posteriores de longa duração (BOULLOSA et al., 2018), a pré-ativação parece gerar maior potenciação em fibras de contração rápida, durante contrações concêntricas e em comprimentos musculares mais curtos (MACINTOSH, 2010;

VANDENBOOM et al., 2013), portanto quando adotada de forma prévia a uma ação de alta intensidade e curta duração. Neste tipo de esforço, comumente observado em diversas modalidades esportivas, a literatura científica oferece uma base sólida no que se refere ao comportamento das variáveis fisiológicas, como o lactato sanguíneo e o consumo de oxigênio. Posteriormente ao exercício extenuante, o período de recuperação favorece a condução do lactato e íons H^+ para a corrente sanguínea e o transporte ao fígado e músculos menos ativos para sua oxidação, o que gera um aumento concomitante do consumo de oxigênio na musculatura inativa (VAN HALL et al., 2003). Ademais, por meio das alterações neuromusculares, a PA pode contribuir para melhorar o desempenho em exercícios que exijam força, velocidade e potência (XENOFONDOS et al., 2010; MACINTOSH, ROBILLARD, & TOMARAS, 2012). O fator que determina qual efeito prevalecerá sobre a eficiência muscular após a estimulação da PA é resultado do equilíbrio entre a fadiga e a potenciação (LOCKIE et al., 2017; SHARMA et al., 2018). Grande parte dos estudos acerca do mecanismo responsável pelo fenômeno da PPA sugere, como fatores determinantes para sua ocorrência, a fosforilação das cadeias leves regulatórias de miosina, o aumento no recrutamento de unidades motoras de ordem superior e velocidade de condução do impulso nervoso ao músculo, além de, provavelmente, as alterações no ângulo de penação do músculo (HODGSON, DOCHERTY & ROBBINS, 2005; LOCKIE et al., 2017; SALE, 2002; SHARMA et al., 2018; TILLIN & BISHOP, 2009; WILSON et al., 2013).

Atualmente, diversos tipos de protocolos de PA para indução de PPA são aplicados para melhorar o desempenho físico agudo. Estudos conduzidos utilizando agachamento (SUCHOMEL, LAMONT & MOIR, 2015; ESFORMES & BAMPOURAS, 2013), salto (KARAMPATSOS et al., 2013; SMITH et al., 2014; TURNER et al., 2015) e *sprints* (KARAMPATSOS et al., 2013; SMITH et al., 2014; HANCOCK, SPARKS & KULLMAN, 2015) encontraram diferenças significativas no desempenho após o protocolo de pré-ativação. No entanto, a PPA apresenta grande variabilidade individual, o que sugere que seu efeito dependa de diferentes fatores relacionados às características da amostra e aos tipos de exercícios (CHATZOPOULOS et al., 2007; CHIU et al., 2003; MACINTOSH et al., 2012; PETRELLA et al., 1989; RADCLIFFE & RADCLIFFE, 1996; SMILIOS et al., 2005).

Entre as variáveis de interferência, lista-se principalmente a tipagem das fibras musculares (SALE, 2002), o nível de condicionamento físico (GOURGOULIS et al., 2003), o método

empregado como protocolo de indução da PPA (BEHM et al., 2004), o sexo dos avaliados (JENSEN & EBBEN, 2003), o nível de familiarização com o gesto motor (MCBRIDE et al., 2005) e o intervalo entre o estímulo condicionante e o exercício principal ou teste de desempenho (KILLDUFF et al., 2008). Entretanto, não há evidências que apontem para a combinação ideal dos fatores a fim de otimizar o desempenho (SHARMA et al., 2018).

De forma geral, os métodos dinâmicos de PA para induzir a PPA consistem em movimentos que envolvam alto nível de força e baixa velocidade como exercícios de agachamento ou supino (HKYSOMALLIS & KIDGELL, 2001; JENSEN & EBBEN, 2003) ou movimentos de elevada velocidade e força rápida (MASAMOTO et al., 2003; RADCLIFFE & RADCLIFFE, 1996) como os saltos e *sprints*. O uso de protocolos associando dois modelos diferentes de exercícios para ganhos físicos e fisiológicos foi inicialmente sugerido por Verkhoshanski & Tatyán (1983) inserindo, na mesma sessão de treinamento, exercícios resistidos e de pliometria. O treinamento complexo, combinado ou misto, como denominado, compreende o uso de exercícios resistidos executados previamente a exercícios pliométricos com similar exigência biomecânica (DOCHERTY & HODGSON, 2007). O treinamento resistido e o pliométrico têm se mostrado mais eficazes quando combinados em uma mesma sessão do que realizados separadamente (KOTZAMANIDIS et al., 2005) e fundamentais para o condicionamento de atletas cujo desempenho explosivo é determinante para a modalidade (MITCHELL & SALE, 2011). Por esse motivo, muitos profissionais utilizam o treinamento combinado, aplicando exercícios resistidos antes de um movimento de alta intensidade e específicos da modalidade esportiva, com características biomecânicas semelhantes (TITTON & FRANCHINI, 2017).

O modelo combinado sugere que o aumento no torque de contração, a taxa de desenvolvimento de força e o desempenho balístico podem ser aprimorados após ativação prévia (TSIMAHIDIS et al., 2010). A abordagem combinada, quando utilizada no planejamento do treinamento, parece resultar em adaptações crônicas de aumento na potência muscular superiores quando comparadas com os treinamentos tradicionais de força e potência, o que gera efeitos positivos sobre o desempenho esportivo (MOLA et al., 2014). Entretanto, pouco se conhece sobre os impactos agudos de um protocolo que envolva exercícios resistidos e pliométricos combinados realizados previamente ao esforço principal.

Em nosso entendimento, considerando as demandas exigidas em partidas de futebol, bem como as características das atividades desempenhadas por jogadores de diferentes posições, a seleção de jogadores em fase de especialização como transição para a vida esportiva no alto rendimento (VIEIRA et al., 2019) e os potenciais efeitos de estratégias agudas no desempenho físico-esportivo, investigações sobre diferentes estratégias de PA neuromuscular, especialmente a combinada, podem ser de grande valia científica e prática aplicada ao futebol.

Por fim e não menos importante, ao melhor do nosso conhecimento, todos os estudos que propuseram avaliar os efeitos da PA neuromuscular sobre esforços de alta intensidade utilizaram a estatística convencional, baseada em análises causa-efeito, para a comparação de resultados obtidos com ou sem essa intervenção. Entretanto, assim como recentemente sinalizado na literatura (BARRON et al., 2018), análises multidimensionais são capazes de melhorar a compreensão sobre fenômenos que não se expressam de maneira simples, mas complexa. Nosso grupo vem, ao longo dos últimos anos, aplicando uma análise computacional baseada no modelo de redes complexas sugerida para investigações biológicas (BARABASI et al., 2011), como uma ferramenta para implementar a compreensão sobre fadiga (PEREIRA et al., 2015), desempenho (PEREIRA et al., 2018), para comparar cenários avaliativos em laboratório e campo (GOBATTO et al., 2020) e recentemente, para investigar as conexões promovidas pela aplicação de uma estratégia de pré-ativação de músculos inspiratórios sobre o desempenho na luta de judô (CIRINO et al., 2021). De maneira mais específica, dentre as várias métricas de centralidade observadas na literatura (OLDHAM et al., 2019), destaque tem sido dado ao Grau e ao *Eigenvector*, cada qual com suas particularidades na análise de redes, mas que podem contribuir para interpretações mais integrativas, a fim de investigar os efeitos das PAs que aqui serão propostas.

Desse modo, considerando: i) a importância em desenvolver e aprimorar a potência anaeróbia em jogadores de futebol, ii) a diversidade de protocolos agudos utilizados a fim de potencializar o esforço subsequente sob forma de pré-ativação neuromuscular; iii) a lacuna de estudos na literatura destinados a investigar os possíveis efeitos da aplicação aguda de um modelo combinado, composto por exercícios resistidos e pliométricos, como estratégia para elevar o desempenho e iv) a carência de investigações utilizando abordagens mais integradas para a análise de fenômenos complexos, como é o caso dos efeitos da PA simples e combinada sobre aspectos fisiológicos e mecânicos, a presente tese foi estruturada.

1.1. Objetivos

O objetivo geral da presente tese foi comparar os efeitos de dois protocolos de pré-ativação neuromuscular, sendo um simples composto por saltos verticais (PPS) e outro combinado, associando saltos verticais com agachamento *Back Squat* (PPC), sobre parâmetros mecânicos e fisiológicos em corrida atada de alta intensidade realizada por jogadores de futebol em esteira não motorizada. Adicionalmente, a tese objetivou investigar medidas de centralidade retornadas do modelo de redes complexas para auxiliar a interpretação integrada sobre os dois diferentes cenários aqui empregados, sendo eles o esforço físico de alta intensidade e curta duração precedido pela PA simples ou combinada. Especificamente, pretendeu-se:

- Investigar os efeitos de dois protocolos de pré-ativação neuromuscular, um simples composto por saltos verticais (SV) e outro combinado (SV + duas séries de BS) sobre os resultados de força, velocidade e potência em corrida atada realizada por jogadores de futebol;
- Comparar os resultados mecânicos do SV realizados sem e com as duas séries de agachamento prévio;
- Descrever os resultados mecânicos da corrida atada de alta intensidade (*all-out* de 30 segundos - AO30) nas condições de PPS e PPC considerando as diferentes posições dos jogadores,
- Descrever os resultados mecânicos de SV nas condições de PPS e PPC considerando as diferentes posições dos jogadores.
- Aplicar o modelo de redes complexas para investigar as métricas de centralidade Grau e *Eigenvector* observadas em dois cenários de corrida atada de alta intensidade (um precedido por PPS e outro por PPC), ampliando a compreensão sobre os reais efeitos dessas intervenções sobre o desempenho de jogadores de futebol nesse esforço.

1.2. Hipóteses

A principal hipótese desse estudo é que o protocolo de PA combinado, associando esforços de agachamento e salto, será mais efetivo para melhorar a força, velocidade e potência de jogadores de futebol. Acreditamos ainda que o modelo de redes complexas será capaz de identificar com mais

precisão, as modulações ocasionadas pelos diferentes protocolos de PA, sendo também por essa análise, destaque emitido ao protocolo PPC em relação ao PPS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Amostra

Participaram do estudo dezesseis jogadores de futebol do sexo masculino, pertencentes à categoria sub-17 de uma equipe de futebol de nível regional (16 ± 0 anos, $64,7 \pm 1,5$ kg, 174 ± 0 cm, $7,3 \pm 0,8$ de gordura corporal). Os participantes treinavam regularmente, com frequência de 5 a 6 vezes por semana, de acordo com o calendário esportivo. No momento em que ocorreram as avaliações descritas na tese, os atletas estavam inseridos no âmbito da preparação geral dentro da periodização estabelecida, sendo submetidos a 6-8 sessões com característica técnico/tática e 3 sessões de força semanais. Os estímulos eram distribuídos em dois treinos diários. Os participantes foram classificados de acordo com a posição em que atuavam na partida, sendo eles dois goleiros (G), três atacantes (A), três zagueiros (Z), cinco meio-campistas (M) e três laterais (L).

De acordo com as informações obtidas por meio de uma anamnese estruturada, os atletas não faziam uso de nenhuma medicação ou suplemento alimentar e foram instruídos a manter uma dieta leve e hidratação durante o período experimental, bem como realizar a última refeição ao menos duas horas antes dos testes, não consumir cafeína pelo menos quatro horas antes dos protocolos e não praticar exercícios extenuantes durante o período em que estivessem participando do experimento.

Os procedimentos metodológicos apenas foram iniciados após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas (CAAE: 61934516.5.0000.5404 – CEP/UNICAMP). De acordo com as instruções éticas, em conformidade com a Declaração de Helsinque, todos os participantes receberam explicação verbal e por escrito sobre os objetivos, riscos e benefícios do projeto e foram informados sobre a possibilidade de desistir da participação no estudo a qualquer momento e por quaisquer motivos. Após concordância, os avaliados, seus tutores e o técnico foram convidados a assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

2.2. Local

O estudo foi conduzido no Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte (LFAFE – Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/UNICAMP) em condições ambientais controladas, com os testes sendo realizados no mesmo horário do dia a fim de minimizar os efeitos do ciclo circadiano. A temperatura do laboratório foi mantida em 23°C (controlada por ar condicionado central), umidade relativa do ar entre 40 e 50% e luminosidade controlada em ~300 luxes (Multímetro Digital Thermo Hygro Decibelimeter Lux, THDL 400, Instrutherm).

2.3. Delineamento do Estudo

Previamente ao início dos procedimentos, os avaliados realizaram uma familiarização com os equipamentos utilizados. Ademais, foram submetidos a avaliação antropométrica e ao teste de 1RM no exercício de agachamento *Back Squat* (BS). Nos dois encontros subsequentes, foram realizados dois protocolos distintos de pré-ativação: protocolo de pré-ativação simples (PPS) e protocolo de pré-ativação combinado (PPC), os quais foram aplicados randomicamente. Todos os avaliados realizaram os dois protocolos em dias diferentes, separados por 48 horas (Figura 1).

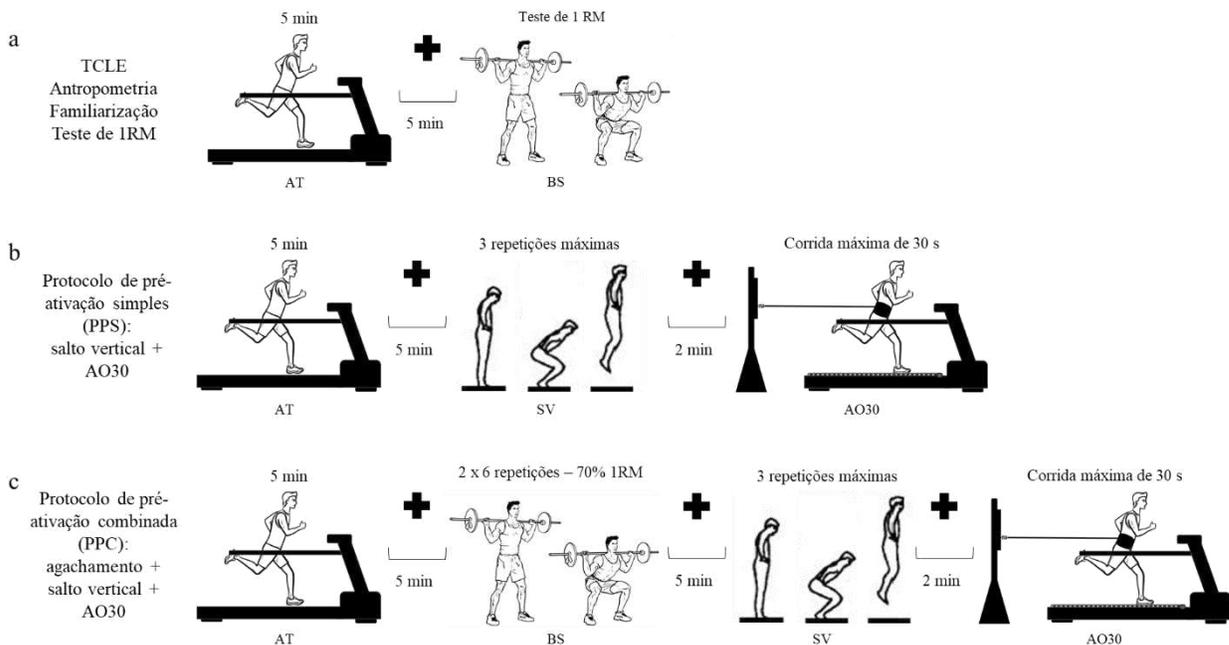


Figura 1. Procedimentos metodológicos ao longo de três sessões de experimentos. **a.** Teste de 1RM de agachamento BS; **b.** Protocolo de Pré-ativação Simples (PPS); **c.** Protocolo de Pré-ativação Combinado (PPC). **TCLE:** termo de consentimento livre e esclarecido; **BS:** agachamento *Back Squat*; **AT:** aquecimento tradicional na esteira motorizada; **1RM:** teste de uma repetição máxima de agachamento; **AO30:** teste máximo de 30 segundos na ENM.

2.4. Procedimentos Metodológicos

2.4.1. Medidas antropométricas

Para a análise da antropometria e composição corporal foram mensuradas a massa corporal (kg) (balança TOLEDO®, modelo 2098 coluna 1,0m), estatura (cm) (estadiômetro vertical) e percentual de gordura (% gordura) estimado por meio do protocolo de sete dobras de Jackson e Pollock (1978). Todas as dobras cutâneas foram medidas com adipômetro científico (CESCORF®, precisão 1mm) em triplicata pelo mesmo avaliador, com experiência na realização dos procedimentos, sendo utilizada a mediana dos valores advindos das três medições.

2.4.2. Teste de 1RM

O teste de uma repetição máxima (1RM) ocorreu com a finalidade de determinar a mais alta carga que cada avaliado era capaz de sustentar para a realização de uma repetição de agachamento com a barra apoiada nos ombros na base posterior do pescoço, denominado *Back Squat* (BS). Como critério para considerar o movimento válido os joelhos deveriam se flexionar até que atingissem 90 graus de angulação (VANDERKA et al., 2016), isto é, até que a cabeça do fêmur atingisse o mesmo plano horizontal da borda superior da patela (RAHIMI, 2007) e posteriormente, retornassem à posição inicial de extensão completa dos membros inferiores e tronco. A carga referente a 1RM foi considerada aquela na qual o participante não fosse capaz de executar duas repetições seguidas.

Após aquecimento tradicional com duração de cinco minutos a 7 km.h⁻¹ em esteira motorizada (Inbramed, Modelo Super ATL, Brasil), o avaliado realizou um aquecimento específico de agachamento que consistiu em uma série de 15 repetições com a barra posicionada na parte

posterior dos ombros, sem carga adicional. Passados três minutos do término do aquecimento específico, o protocolo foi iniciado com uma carga próxima ao 100% sugerida pelo avaliado. Em cada execução, o avaliado foi instruído a realizar duas repetições máximas e se necessário, ajustar a carga com incrementos de 0,5 a 2,5 kg com três minutos de intervalo passivo entre cada tentativa até que a carga de repetição máxima fosse encontrada, totalizando no máximo cinco séries (Figura 1a).

2.4.3. Protocolos de pré-ativação

2.4.3.1. Protocolo de pré-ativação simples (PPS): salto vertical

O protocolo de PPS consistiu em executar uma condição de pré-ativação já conhecida na literatura científica (VANDERKA et al., 2016), composta por uma série de saltos verticais previamente ao teste máximo de 30 s. Primeiramente, os participantes realizaram um aquecimento tradicional de cinco minutos na esteira motorizada a 7 km.h^{-1} . Após cinco minutos de descanso, os avaliados foram submetidos a três saltos verticais máximos, com intervalos de 15 s de repouso entre eles. Após a execução dessa sequência, os participantes permaneceram em pausa passiva por 2 min, sendo posteriormente submetidos ao teste de corrida máxima atada por 30 s (AO30) na esteira não motorizada (ENM) (Figura 1b).

Para a realização do SV, os atletas foram posicionados no centro da base sensorizada da ENM e instruídos a realizarem três saltos verticais na maior altura possível, com as mãos posicionadas na cintura. Para isso, realizaram o salto a partir de um movimento descendente seguido de uma rápida extensão das articulações dos membros inferiores e aterrissagem no mesmo espaço que iniciaram o exercício. Após cada execução, os avaliados foram instruídos a permanecer no mesmo lugar até que fosse emitido o sinal para a realização do próximo salto.

2.4.3.2. Protocolo de pré-ativação combinado (PPC): salto vertical e back squat

A potencialização pós-ativação foi também investigada após a aplicação do protocolo de PA combinado, composto pela execução de três saltos verticais máximos seguidos de duas séries de

BS, separados por cinco minutos de intervalo passivo entre os dois exercícios e realizados previamente ao teste AO30 (Figura 1c).

No caso do PPC, os avaliados foram inicialmente submetidos a um aquecimento tradicional de cinco minutos em esteira motorizada, correndo a 7 km.h^{-1} . A diferença entre o PPS e o PPC se deu de forma que no segundo caso, previamente a execução dos saltos, os atletas foram submetidos a duas séries de *BS*. Após 5 min de pausa passiva, foram posicionados na base da plataforma de salto e realizaram três saltos verticais máximos, seguindo as mesmas orientações e características do protocolo simples. Como critério para considerar o movimento válido nos esforços de *BS*, os joelhos deveriam se flexionar até que atingissem 90 graus de angulação (VANDERKA et al., 2016). Foram realizadas duas séries de seis repetições, com a aplicação da carga equivalente à 70% de 1RM individual, sendo esse percentual justificado por ser considerado uma carga moderada capaz de gerar efeitos de PPA (WILSON et al., 2013) e ainda preservar fisicamente os avaliados, uma vez que o teste de AO30 é caracterizado por um esforço de elevada intensidade.

2.4.4. All out 30 segundos (AO30) em esteira não motorizada (ENM)

Os esforços de corrida máxima em ENM duraram 30 s com os atletas atados a um poste especificamente construído para esse ergômetro. As condições laboratoriais foram mantidas ao longo de todos os procedimentos. Assim como anteriormente explanado, todos os participantes realizaram dois testes de AO30 idênticos, mas precedidos por duas diferentes condições de PA.

O avaliado foi atado em sua cintura por um cinto de nylon fixado por um cabo de aço à célula de carga localizada no poste de altura regulável situado posteriormente a ENM (Figura 2). O AO30 se iniciou por meio de sinal verbal do avaliador, estimulando o participante a realizar a corrida em sua máxima intensidade durante os 30 segundos de teste. No repouso e ao final do procedimento e nos momentos cinco e sete minutos após teste, extrações de amostras sanguíneas foram realizadas para posterior análise da concentração de lactato.

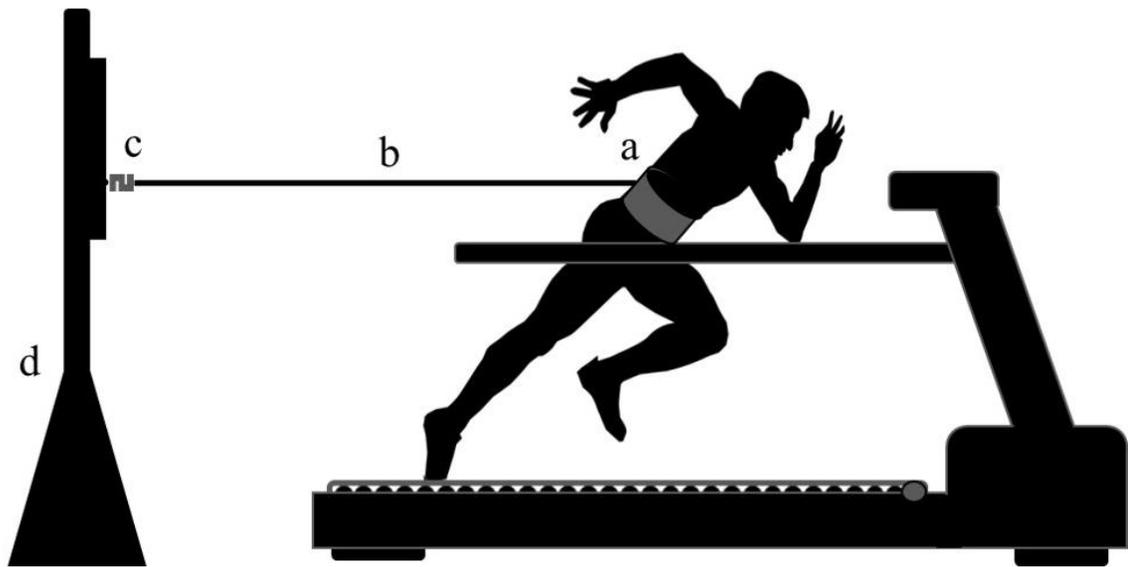


Figura 2. Representação da posição do avaliado no sistema de corrida atada na esteira não motorizada. a. cinto de nylon; b. Cabo de aço; c. Célula de carga para mensuração da força horizontal; d. Vista lateral do poste de altura regulável.

2.4.5. Obtenção e análise dos dados

2.4.5.1. Sinais mecânicos em ENM durante o AO30

Os testes de AO30 foram executados na ENM instalada em laboratório (SOUSA et al., 2017), a qual teve seu motor removido para que o tapete rolante pudesse ser movido pelo esforço do próprio avaliado. A estrutura original de madeira pelo qual o tapete rolante girava, foi substituída por 37 rolos, os quais formaram um trilho de ferro de rolamento independente (Figura 3a). Essa substituição foi realizada com a finalidade de minimizar o atrito causado pela força peso do avaliado, passando a exercer um atrito equivalente a $7,59 \pm 0,43\%$ da força peso de sua massa corporal.

Uma vez que é o avaliado quem move a esteira, esse ergômetro possibilita o controle de força, velocidade e conseqüentemente potência de corrida, admitindo as acelerações, desacelerações e manutenção da velocidade de acordo com as capacidades físicas individuais.

2.4.5.2. Cálculo da força, velocidade e potência de corrida em ENM

Cinco células de carga (dinamômetros) foram utilizadas para obter os dados de força realizados durante o AO30. Uma das células de carga se encontrava atrelada ao poste de altura regulável e atada ao participante por um cabo de aço, mensurando a força resultante realizada na orientação horizontal (Figura 3b). Os outros quatro dinamômetros foram alocados na parte inferior do piso da esteira, sustentando a superfície na qual o avaliado executa o exercício (Figura 3c), o que possibilitou a mensuração da força vertical e da resultante de força associada ao vetor horizontal (MANCHADO-GOBATTO, et al., 2020).

Os sinais em alta frequência foram capturados em miliVolts (mV) pelos sensores de força, sendo amplificados (Figura 3d) e enviados ao computador utilizando o software Labview SignalExpress® 2009 (*National Instruments*, Austin, TX, EUA) (Figura 3e). Previamente aos procedimentos, foram realizadas calibrações diárias dos sinais de força com uma série de pesos conhecidos, com a finalidade de converter os sinais obtidos em mV durante os testes para unidades de força, em Newtons (N) (GAMA et al, 2017).

Para a obtenção dos sinais de velocidade, um sensor de efeito *hall* captava a presença de um ímã fixado ao rolo dianteiro da esteira (Figura 3f), marcando cada volta completa do rolo. Sendo o deslocamento linear para cada giro do rolo determinado pela equação $\Delta S=2\pi r$, foi observado, pelas dimensões da ENM, que a cada sinal do sensor a distância linear percorrida era de 0,24 m. Assim, foi possível determinar a velocidade de corrida por meio da razão desse valor pelo tempo de intervalo entre cada pulso marcado pelo sensor e pelo ímã, em $m.s^{-1}$ ($m.s^{-1}$) (CHEETAM et al., 1985; GAMA et al, 2017; SOUSA et al, 2017). Assim como os valores de força, os dados de velocidade foram capturados a uma frequência de 1000 Hertz (Hz).

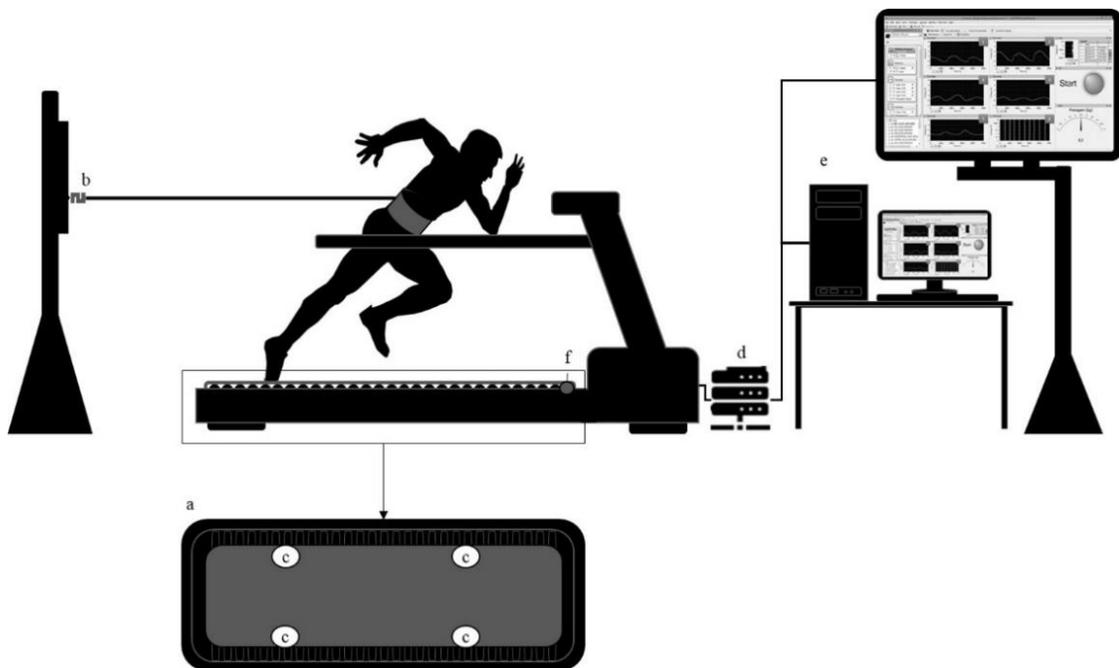


Figura 3. Representação da aquisição dos dados mecânicos na esteira rolante não-motorizada. **a.** Vista superior do trilho de ferro de rolamento independente onde o avaliado realiza o teste; **b.** Célula de carga para obtenção dos dados de força horizontal; **c.** Células de carga posicionadas na parte inferior do trilho de ferro; **d.** Módulos e amplificadores dos sinais elétricos da ENM; **e.** Rede de comunicação entre a ENM e o software de leitura dos sinais no computador; **f.** Sistema composto por sensor de efeito hall e ímã para obtenção dos dados de velocidade.

A partir do produto dos dados de força e velocidade registrados em cada avaliação, foi possível obter o valor de potência mecânica (em watts) realizada pelo indivíduo. Posteriormente a cada teste na ENM, os dados foram enviados para ambiente computacional (*software Matlab*[®] R2008a, MathWorks, Natick, MA, EUA) para os cálculos referentes à obtenção dos dados mínimos, médios e máximos de cada variável (potência, força e velocidade). O índice de fadiga (IF), que representa o percentual de decaimento para cada variável ao longo do teste, foi também determinado por meio da equação $[(VALOR_{max} - VALOR_{min}) / VALOR_{max} \times 100]$, onde VALOR simboliza o dado calculado para as variáveis potência, força e velocidade (BERTUZZI et al., 2015).

2.4.5.3. Cálculo das variáveis mecânicas do salto vertical

Os saltos verticais foram realizados na plataforma da própria ENM, uma vez que abaixo do tapete da esteira ficam posicionadas as quatro células de carga. Os dados mecânicos provenientes das células de carga, foram processados pelo software LabView SignalExpress® (National Instruments) para conversão dos sinais e posteriormente enviados para ambiente *Matlab* para o cálculo dos parâmetros mecânicos do salto (altura do salto, tempo para o atingimento da força máxima, força máxima e impulso).

2.4.5.4. Amostras sanguíneas e determinação das concentrações de lactato sanguíneo

Para a análise das concentrações de lactato sanguíneo (LAC) no repouso e após 5 e 7 minutos dos testes AO30, precedidos por duas diferentes PAs, foram coletados 25µL de sangue do lóbulo da orelha, com a utilização de lancetas descartáveis e capilares calibrados e heparinizados. As amostras foram depositadas em micro tubos (Eppendorf 1,5mL) contendo 50µL de Fluoreto de Sódio (NaF) a 1%, sendo congeladas para posterior análise em equipamento eletroquímico (Lactímetro, modelo YSI 2300 STATPLUS, Yellow Springs, OH, United States).

2.5. Análise dos Dados

2.5.1. Análise estatística

Os testes de Shapiro-Wilks e Levene foram aplicados, respectivamente, para identificar as características dos dados. Após confirmação da normalidade e homogeneidade, a estatística paramétrica foi adotada. Os testes t de Student para amostras pareadas e a correlação de Pearson acessaram os resultados estatísticos das possíveis diferenças mecânicas e as correlações entre as respostas obtidas após aplicação dos dois métodos de pré-ativação (simples e combinado). Para comparar o comportamento fisiológico após as duas diferentes intervenções, as amostras de repouso e após 5 e após 7 minutos ao final do AO30 foram analisados por Anova two-way para medidas repetidas. Os valores dos limiares para o teste de tamanho de efeito de *Cohen* (ES) foram calculados e usados para comparação entre as intervenções. Nesse caso, foram considerados os

respectivos valores para os limiares de ES de Cohen: $> 0,2$ (pequeno), $> 0,6$ (moderado) e $> 1,2$ (grande) (HOPKINS et al., 2009). Os dados foram expressos em média e erro padrão da média. As análises estatísticas foram realizadas no *Statistica 7.0* (StatSoft, OK, EUA). Para todos os testes realizados, foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$.

3.5.2. Métricas de centralidade por modelo de redes complexas

Para as análises por modelo de redes complexas, os resultados referentes às características físicas e parâmetros mecânicos (como os obtidos no protocolo de saltos e na corrida atada em esteira não motorizada) foram alocados em dois diferentes cenários de acordo como o desenho experimental (PPS e PPC). Para a construção dos grafos ($G = V, E, w$), os nós foram obtidos a partir das variáveis mensuradas como vértices (V) e as arestas (E) unidirecionais representando as interações entre essas variáveis. O peso dessas interações considerou o valor de “r” significativo, obtido por teste produto-momento de Pearson ($p \leq 0,05$) para construção dos grafos.

A partir dos nós inseridos, das conexões retornadas dos grafos e com base em estudos anteriores de nosso grupo (PEREIRA et al., 2015; PEREIRA et al., 2018; GOBATTO et al., 2020; CIRINO et al., 2021), foram determinadas as seguintes métricas de centralidade das redes: Grau (*Degree*) e Autovetor (*Eigenvector*). A primeira métrica, o Grau, é representativa do número de conexões observadas em cada nó. No caso do *Eigenvector*, essa métrica considera a expressão dos nós de acordo com o valor de importância calculado para os seus nós vizinhos.

As interações entre os nós foram obtidas por rotina especificamente construída para esse fim em ambiente MatLab. Os grafos foram projetados pelo software Gephi (version 0.9.2), implementado em programação por linguagem Java (version 0.9.2) e o layout selecionado para a distribuição gráfica foi o Fruchterman-Reingold (FRUCHTERMAN & REINGOLD, 1991).

3. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir são referentes às análises comparativas entre os efeitos dos dois modelos de pré-ativação, adicionadas as medidas de centralidade por modelo de redes

complexas. A apresentação dos resultados respeita a sequência de análises comparativas, inicialmente considerando os efeitos dos protocolos PPS e PPC sobre os parâmetros de corrida atada de alta intensidade (PPS e PPC sobre o AO30) e sobre o salto vertical (PPS e PPC sobre o SV) analisados por estatística convencional, seguidos por apresentação descritiva de resultados considerando as posições dos jogadores. Por fim, os grafos e análises de métricas de centralidade são disponibilizados para a interpretação mais integrada por modelo de redes complexas.

A tabela 1 apresenta os dados mecânicos (valores máximos, médios e mínimos) de força, velocidade e potência em corrida atada de alta intensidade, realizada por jogadores de futebol após a execução dos dois protocolos de pré-ativação. Nessa tabela, constam também as comparações entre esses resultados, obtidas por estatística convencional, assim como a análise produto x momento de Pearson entre os mesmos parâmetros mecânicos de corrida após as diferentes intervenções de PA. Como é possível observar, grande parte das variáveis mecânicas relativizadas pela massa corporal apresentaram resultados mais elevados após a aplicação do protocolo de pré-ativação que combinou uma sequência de saltos com a execução de duas séries de seis repetições de BS, com carga à 70% de 1RM (PPC). Esses resultados sugerem o efeito mais pronunciado do protocolo de pré-ativação combinado sobre o desempenho mecânico em corrida de alta intensidade em relação ao protocolo simples (PPS).

Adicionalmente, o percentual de redução da força, velocidade e potência ao longo do AO30 foi investigada por meio da análise dos índices de fadiga (IF), calculados para os três parâmetros mecânicos. Essa análise revelou que o IF da força e da potência observados após PPC foram inferiores, apresentando diferença estatística entre os dois modelos de PPA, com valor limite do ES considerado grande (Tabela 1). Esses resultados apontam, para esse parâmetro, um melhor desempenho no AO30 quando executada após PPC, visto que a queda do rendimento ao longo da corrida pareceu atenuada.

Tabela 1. Resultados mecânicos de potência, força e velocidade do desempenho em corrida máxima de 30 segundos e comparação entre os dados mecânicos de potência, força, velocidade e índice de fadiga obtidos por meio de dois protocolos distintos de pré-ativação

Parâmetros Mecânicos		PPS	PPC	p	r	CV	ES
Potência (W.kg⁻¹)	Máx	27,08 ± 1,12	29,59 ± 0,92	0,02	0,55 (0,03)	16,5	0,6
	Méd	21,02 ± 0,81	23,70 ± 0,66	0,00	0,55 (0,03)	15,5	0,9
	Mín	15,35 ± 1,03	19,29 ± 0,60	0,00	0,41 (0,11)	27,0	1,2
	IF (%)	47,8 ± 3,7	34,4 ± 1,8	0,07	-0,41 (0,88)	34,9	0,7
Força (N.kg⁻¹)	Máx	6,02 ± 0,10	6,27 ± 0,12	0,02	0,68 (0,00)	6,4	0,6
	Méd	5,23 ± 0,08	5,50 ± 0,08	0,00	0,86 (0,00)	6,1	0,8
	Mín	4,27 ± 0,17	4,93 ± 0,10	0,00	0,28 (0,29)	16,1	1,2
	IF (%)	29,1 ± 2,6	21,2 ± 1,1	0,01	0,08 (0,78)	35,5	1,0
Velocidade (m.s⁻¹)	Máx	4,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	0,24	0,28 (0,29)	10,0	0,4
	Méd	4,0 ± 0,1	4,3 ± 0,1	0,02	0,18 (0,51)	11,1	0,8
	Mín	3,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1	0,00	0,31 (0,25)	15,3	1,3
	IF (%)	31,6 ± 2,6	23,9 ± 1,4	0,01	0,24 (0,38)	32,6	0,9

Dados expressos em média ± erro padrão da média. **PPS**: protocolo de pré-ativação simples, **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **Méd**: média; **IF**: índice de fadiga; **ES**: effect size. $p \leq 0,05$.

Posteriormente, ainda com o intuito de investigar os efeitos dos dois protocolos distintos de PPA, os dados do salto vertical foram analisados considerando o efeito do agachamento prévio nos parâmetros de altura do salto, potência de salto, força máxima, tempo para atingimento da força máxima e impulso. No PPS o SV foi realizado após aquecimento tradicional, enquanto no PPC, o agachamento foi realizado previamente ao SV. Os resultados sugerem que o agachamento apenas interferiu no parâmetro de tempo para o atingimento da Fpico (Tempo Fpico) do SV, confirmando que a PA por protocolo combinado (PPC) diminuiu o tempo para que a força máx fosse alcançada no momento do melhor salto (Tabela 2). Por outro lado, observamos correlações positivas e significantes entre a altura do salto, potência do salto e impulso entre as duas condições experimentais.

Tabela 2. Resultados do desempenho em salto vertical, comparação e correlação entre os dados mecânicos obtidos após a aplicação dos protocolos de pré-ativação simples (PPS) e combinado (PPC) (n=16)

Parâmetros Mecânicos	PPS	PPC	p	r (p)	ES
Altura (m)	0,38 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,61	0,79 (0,00)	0,1
Potência (W.kg⁻¹)	13,30 ± 0,12	13,35 ± 0,17	0,63	0,82 (0,00)	0,8
Força Pico (N.kg⁻¹)	18,94 ± 0,83	20,75 ± 0,88	0,06	0,45 (0,08)	0,5
Tempo Força Pico (s)	0,76 ± 0,06	0,53 ± 0,04	0,00	0,28 (0,30)	1,1
Impulso (N.s.kg⁻¹)	3,72 ± 0,06	3,75 ± 0,06	0,62	0,67 (0,00)	0,1

Dados expressos em média e erro padrão da média. **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **ES**: effect size. $p \leq 0,05$.

Ainda, a fim de investigar os efeitos dos diferentes protocolos de PA (PPA) sobre uma variável fisiológica, o lactato sanguíneo (LAC) foi mensurado antes e após os esforços. A figura 4 exprime os resultados de LAC no repouso e após cinco e sete minutos de recuperação (após o término do AO30). A figura representa as diferenças entre os momentos de coleta, evidenciando resultados significantes entre os três momentos. Os resultados apresentaram diferença estatística entre os momentos repouso, após 5 e após 7 tanto no PPS (1,12±0,06 mmol.L⁻¹; 13,87±0,52 mmol.L⁻¹; 15,09±0,58 mmol.L⁻¹, respectivamente) como no PPC (0,95±0,09 mmol.L⁻¹; 13,24±0,33 mmol.L⁻¹; 14,03±0,32 mmol.L⁻¹, respectivamente). Entretanto, não foram observadas diferenças nos três momentos entre os dois protocolos. O pico de lactato sanguíneo foi obtido, em ambos os casos, após 7 minutos de recuperação passiva para 87% dos avaliados.

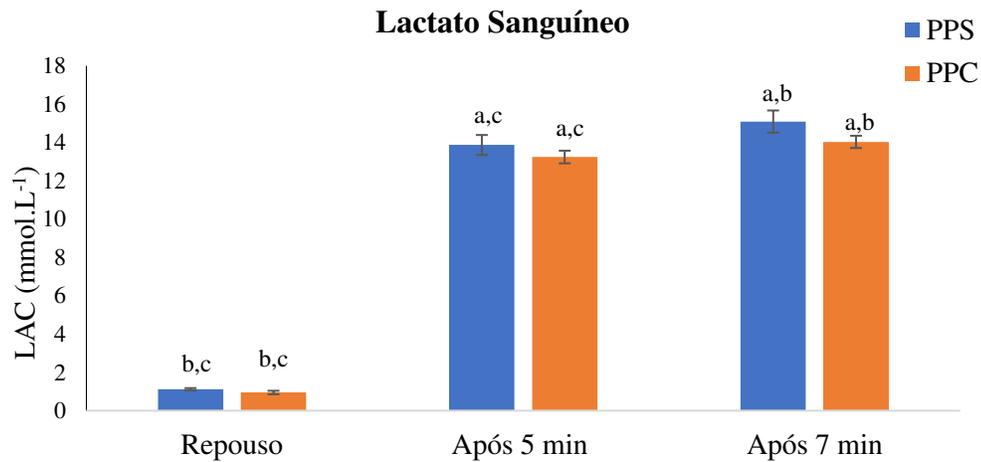


Figura 4. Concentrações de lactato sanguíneo (mmol.L⁻¹) em média e erro padrão da média (EPM) nos momentos de repouso, cinco e sete minutos após AO30 e comparação entre as duas condições de pré-ativação (PPS e PPC). **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinada; ^a diferente de repouso, ^b diferente de após 5 min, ^c diferente de após 7. ($p \leq 0,05$) ($n=16$).

Os resultados estratificados por posições dos jogadores na partida, estão apresentados nas tabelas e figuras subsequentes. As tabelas 3 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados mecânicos do AO30 e do SV obtidos a partir das duas condições de indução da PPA (PPS e PPC). Adicionalmente, foram calculados os deltas (PPC-PPS) dos parâmetros mecânicos tanto do AO30 como do SV ao adicionar o protocolo combinado como atividade condicionante a fim de investigar os efeitos das diferentes PAs (tabelas 4 e 6).

Tabela 3. Valores descritivos dos dados mecânicos de AO30 nas condições PPS e PPC, considerando as posições dos jogadores e o n amostral.

Posição	PA	P _{máx} (W.kg ⁻¹)	P _{méd} (W.kg ⁻¹)	IF-P (%)	F _{máx} (N.kg ⁻¹)	F _{méd} (N.kg ⁻¹)	IF-F (%)	V _{máx} (m.s ⁻¹)	V _{méd} (m.s ⁻¹)	IF-V (%)
G (n=2)	PPS	23,70 ± 0,10	17,94 ± 1,46	39,1 ± 1,1	5,68 ± 0,17	4,92 ± 0,39	23,4 ± 2,7	4,6 ± 0,2	3,7 ± 0,4	36,1 ± 4,7
	PPC	29,72 ± 2,20	24,31 ± 1,59	31,5 ± 3,6	6,34 ± 0,31	5,41 ± 0,22	23,7 ± 0,2	5,1 ± 0,3	4,5 ± 0,2	18,5 ± 3,1
L (n=3)	PPS	29,74 ± 3,86	21,96 ± 3,10	50,4 ± 8,3	6,36 ± 0,37	5,47 ± 0,37	31,9 ± 7,8	4,9 ± 0,4	4,0 ± 0,4	35,5 ± 7,5
	PPC	33,54 ± 4,02	26,46 ± 2,52	39,5 ± 2,8	6,65 ± 0,29	5,87 ± 0,17	21,0 ± 2,3	5,3 ± 0,3	4,5 ± 0,2	28,5 ± 1,6
M (n=5)	PPS	26,20 ± 1,71	21,32 ± 1,26	37,9 ± 8,5	5,99 ± 0,23	5,30 ± 0,19	28,8 ± 3,9	4,7 ± 0,2	4,0 ± 0,2	25,0 ± 5,9
	PPC	29,01 ± 1,06	23,20 ± 0,66	33,1 ± 4,7	6,06 ± 0,19	5,48 ± 0,11	18,7 ± 3,3	4,9 ± 0,2	4,2 ± 0,1	22,3 ± 1,8
A (n=3)	PPS	29,32 ± 2,68	22,65 ± 1,82	50,0 ± 7,2	6,05 ± 0,38	5,28 ± 0,29	32,5 ± 5,7	5,1 ± 0,4	4,3 ± 0,3	37,2 ± 6,8
	PPC	28,08 ± 0,49	23,01 ± 0,36	35,0 ± 2,0	6,09 ± 0,12	5,45 ± 0,09	20,6 ± 1,9	4,9 ± 0,1	4,2 ± 0,1	25,6 ± 2,7
Z (n=3)	PPS	25,91 ± 2,61	20,00 ± 1,41	38,5 ± 10,2	5,95 ± 0,24	5,05 ± 0,13	27,2 ± 7,1	4,8 ± 0,2	4,0 ± 0,1	30,0 ± 4,4
	PPC	28,05 ± 1,45	22,03 ± 1,74	32,7 ± 4,8	6,35 ± 0,20	5,29 ± 0,22	24,5 ± 3,0	4,9 ± 0,2	4,1 ± 0,2	23,8 ± 2,8

Dados expressos em média e erro padrão da média. **P_{máx}**: potência máxima; **P_{méd}**: potência média; **IF**: índice de fadiga da potência; **F_{máx}**: força máxima; **F_{méd}**: força média; **IF**: índice de fadiga da força; **V_{máx}**: velocidade máxima; **V_{méd}**: velocidade média; **IF**: índice de fadiga da velocidade; **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **P**: posição do jogador em campo; **n**: amostra de cada posição; **PPA**: protocolo de pré-ativação **G**: goleiros; **L**: laterais; **M**: meias; **A**: atacantes; **Z**: zagueiro.

As variações (tabelas 3 e 4) e a representação gráfica (figura 5) dos protocolos considerando as posições dos jogadores exprimem resultados expressivos no que tange a atenuação do decaimento do desempenho ao longo do AO30 (IF) para os parâmetros de potência, força e velocidade, indicando maiores efeitos para os laterais e atacantes no PPC (tabela 4). Quando observado o IF da velocidade (VIF), o desempenho dos goleiros apresentou significativa redução no percentual (17,5%) de decaimento ao longo do AO30. Adicionalmente, após o PPC os goleiros apresentaram os maiores deltas para os três parâmetros mecânicos (P, F e V) máximos e médios. Os atacantes exibiram os menores deltas calculados para os parâmetros mecânicos, entretanto, expressivos deltas para os IF da P, F e V. Isso indica que, nos atacantes os parâmetros analisados em AO30 após PPC não diferiram expressivamente do PPS, mas quando verificados os IF no PPC, o desempenho mecânico decaiu menos ao longo do AO30 nos três parâmetros.

Tabela 4. Diferença entre os dois protocolos considerando os valores mínimos, médios, máximos e os índices de fadiga da potência, força e velocidade, representados pelos deltas calculados pela subtração dos resultados obtidos por meio do PPC dos valores de PPS no AO30.

Posição	P_{máx} (W.kg ⁻¹)	P_{méd} (W.kg ⁻¹)	PIF (%)	F_{máx} (N.kg ⁻¹)	F_{méd} (N.kg ⁻¹)	FIF (%)	V_{máx} (m.s ⁻¹)	V_{méd} (m.s ⁻¹)	VIF (%)
G (n=2)	6,02	6,36	-7,5	0,66	0,49	0,3	0,5	0,8	-17,5
L (n=3)	3,79	4,50	-10,9	0,28	0,40	-10,8	0,3	0,6	-7,0
M (n=5)	2,81	1,88	-4,8	0,07	0,18	-10,1	0,2	0,2	-2,8
A (n=3)	-1,24	0,37	-15,0	0,04	0,17	-11,8	-0,2	0,0	-11,7
Z (n=3)	2,13	2,03	-5,8	0,40	0,24	-2,8	0,1	0,2	-6,2

PPS: protocolo de pré-ativação simples; **PPC:** protocolo de pré-ativação combinado; **P:** posição do jogador em campo; **P_{máx}:** potência máxima; **P_{méd}:** potência média; **PIF:** índice de fadiga da potência; **F_{máx}:** força máxima; **F_{méd}:** força média; **FIF:** índice de fadiga da força; **V_{máx}:** velocidade máxima; **V_{méd}:** velocidade média; **VIF:** índice de fadiga da velocidade; **G:** goleiros; **L:** laterais; **M:** meias; **A:** atacantes; **Z:** zagueiro

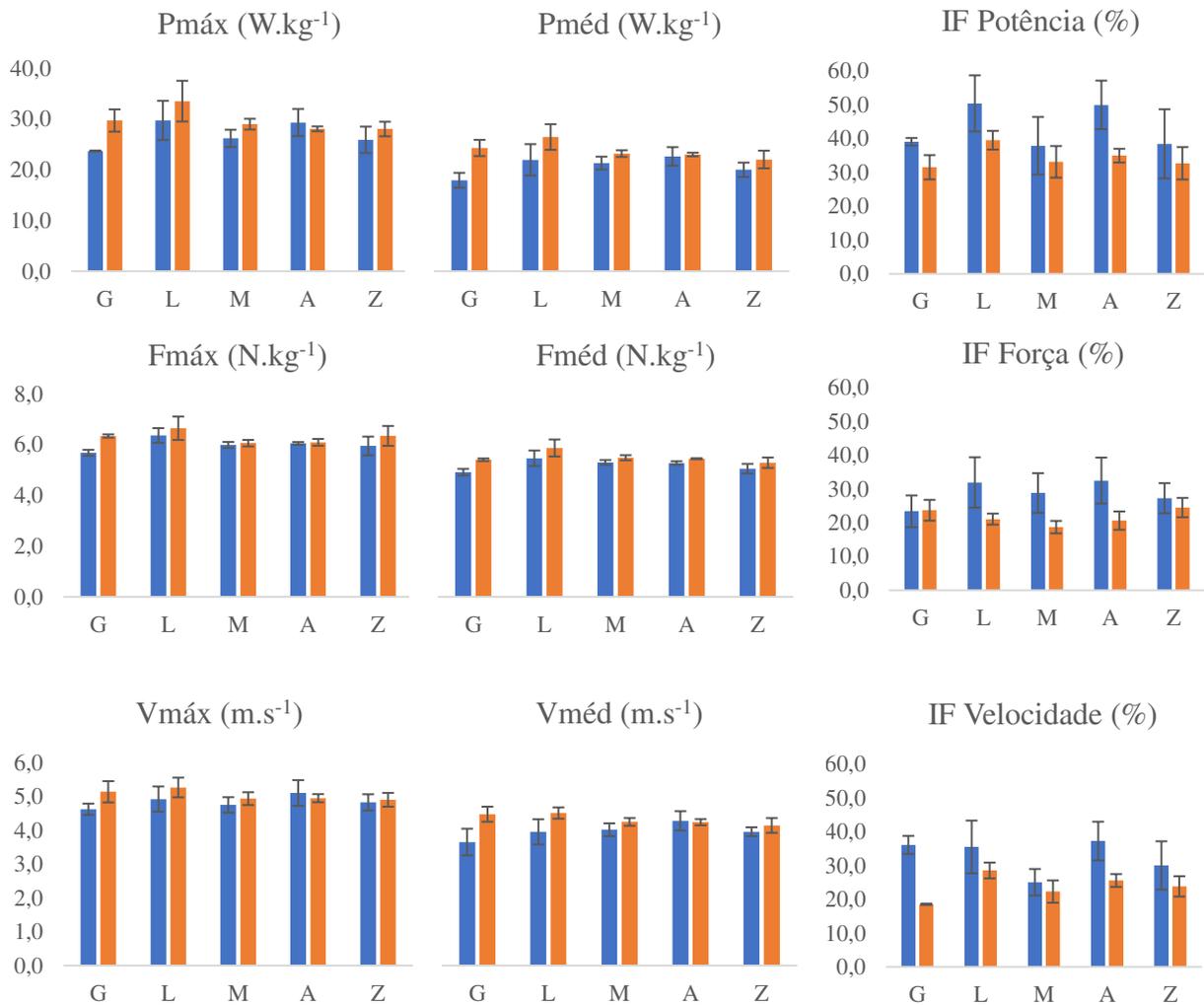


Figura 5. Representação gráfica dos parâmetros mecânicos (média e EPM) obtidos a partir dos protocolos combinado e simples de PA no desempenho de AO30. Barras azuis expressam os valores de PPS e barras laranjas de PPC. **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **Pmáx**: potência máxima; **Pméd**: potência média; **Fmáx**: força máxima; **Fméd**: força média; **Vmáx**: velocidade máxima; **Vméd**: velocidade média; **IF**: índice de fadiga; **G**: goleiros (n=2); **L**: laterais (n=3); **M**: meias (n=5); **A**: atacantes (n=3); **Z**: zagueiros (n=3).

Embora sem a possibilidade de análises mais refinadas devido ao reduzido n amostral por posições, algumas sinalizações podem ser sugeridas (tabela 3 e figura 5). De forma esperada, os goleiros foram os jogadores menos potentes na corrida de alta intensidade, enquanto atacantes apresentaram maiores valores para essa variável. Curiosamente, esse resultado foi evidenciado

após PPS. Após o PPC, os laterais se mostraram mais potentes enquanto os zagueiros e atacantes, apresentaram os menores resultados. Observamos ainda, que os jogadores que ocupam a posição de laterais detiveram maiores níveis de força (méd e máx) tanto após o PPS quanto o PPC. Os atacantes foram os mais velozes ($V_{máx}$ e $V_{méd}$) quando realizado o AO30 após PPS e os laterais após o PPC. Zagueiros e goleiros são menos velozes e menos potentes no PPC e PPS, respectivamente.

Referente aos índices de fadiga, os laterais e atacantes exibiram notável decaimento no desempenho ao longo do AO30 realizado após PPS e apresentaram os maiores deltas calculados quando considerados os resultados de PPC. Isso sugere o efeito do PPC no desempenho do AO30, observado por meio da atenuação dessa queda ao longo do teste para essas posições. De maneira geral, os resultados da caracterização dos jogadores de acordo com as posições revelam que após o PPC, nos laterais foram observados efeitos mecânicos de potência, força e velocidade mais expressivos, entretanto com maior decaimento ao longo do AO30.

Quando observados os resultados tabelados do SV dos jogadores de acordo com suas posições, os parâmetros de Força (F_{pico} e $T-F_{pico}$) parecem mais elevados após o PPC para os laterais (tabela 5). Por outro lado, a análise de deltas entre os protocolos (tabela 6), sugere que a força do SV ($Tempo-F_{máx}$ e $Força Máxima$) para atacantes e laterais foi mais pronunciada após PPC no parâmetro de $F_{máx}$.

Tabela 5. Descrição dos resultados do melhor salto vertical nas condições após PPS e PPC, considerando as posições dos jogadores e o n amostral.

Posição	PPA	Altura (m)	Potência (W.kg ⁻¹)	Força Pico (N.kg ⁻¹)	Tempo-Fp (s)	Impulso (N.s.kg ⁻¹)
G (n=2)	PPS	0,38 ± 0,03	13,38 ± 0,47	15,27 ± 0,82	0,81 ± 0,06	4,00 ± 0,19
	PPC	0,38 ± 0,03	13,44 ± 0,60	16,96 ± 0,56	0,64 ± 0,07	4,04 ± 0,37
L (n=3)	PPS	0,38 ± 0,01	13,38 ± 0,23	18,95 ± 2,10	0,68 ± 0,11	3,82 ± 0,08
	PPC	0,38 ± 0,02	13,38 ± 0,37	23,93 ± 1,42	0,54 ± 0,06	3,76 ± 0,14
M (n=5)	PPS	0,37 ± 0,01	13,19 ± 0,13	20,79 ± 1,56	0,66 ± 0,07	3,77 ± 0,08
	PPC	0,38 ± 0,02	13,39 ± 0,28	20,03 ± 0,82	0,46 ± 0,05	3,76 ± 0,06
A (n=3)	PPS	0,39 ± 0,03	13,48 ± 0,49	20,12 ± 1,71	0,88 ± 0,20	3,65 ± 0,11
	PPC	0,38 ± 0,03	13,41 ± 0,57	24,22 ± 1,81	0,39 ± 0,07	3,72 ± 0,15
Z (n=3)	PPS	0,37 ± 0,02	13,15 ± 0,29	17,13 ± 1,58	0,86 ± 0,23	3,44 ± 0,14
	PPC	0,38 ± 0,03	13,35 ± 0,17	20,75 ± 0,88	0,53 ± 0,04	3,75 ± 0,06

Dados expressos em média e erro padrão da média. **P**: posição do jogador em campo; **n**: amostra de cada posição; **PPA**: protocolo de pré-ativação; **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **G**: goleiro; **L**: lateral; **M**: meia-atacante; **A**: atacante; **Z**: zagueiro.

Tabela 6. Diferenças entre os dois protocolos considerando os valores mínimos, médios, máximos e os índices de fadiga das variáveis mecânicas, representadas pelos deltas calculados pela subtração dos resultados obtidos por meio do PPC dos valores de PPS no SV.

Posição	Altura (m)	Potência (W.kg ⁻¹)	Força Pico (N.kg ⁻¹)	Tempo-Fp (s)	Impulso (N.s.kg ⁻¹)
G (n=2)	0,00	0,06	1,7	-0,17	0,04
L (n=3)	0,00	0,00	5,0	-0,14	-0,06
M (n=5)	0,01	0,20	-0,8	-0,19	-0,01
A (n=3)	-0,01	-0,07	4,1	-0,49	0,07
Z (n=3)	0,01	-0,04	0,7	-0,16	0,12

PPS: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **P**: posição do jogador em campo; **G**: goleiros; **L**: laterais; **M**: meias; **A**: atacantes; **Z**: zagueiros

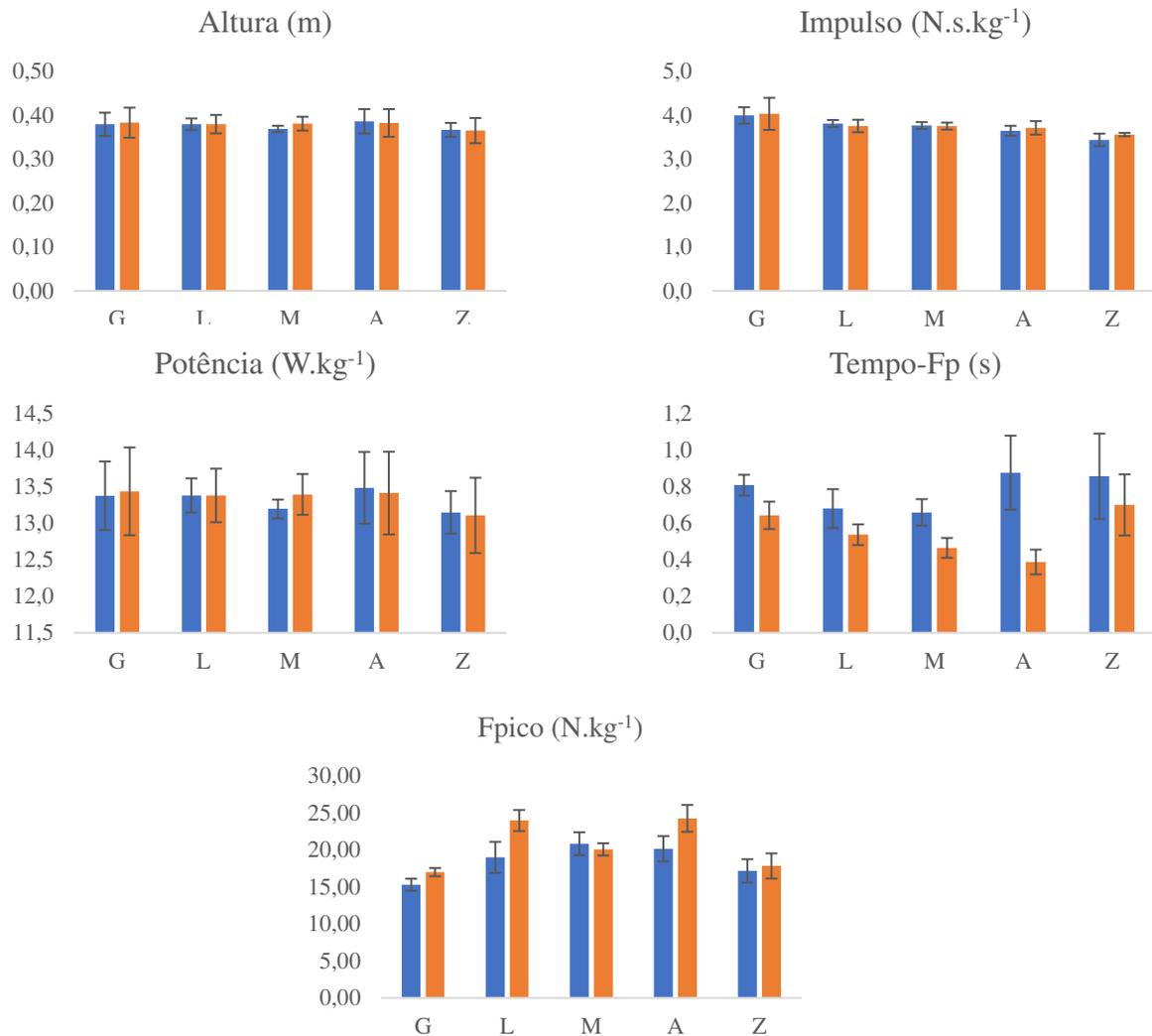


Figura 6. Representação gráfica dos resultados obtidos (média e EPM) realizados com (PPC) e sem (PPS) a execução prévia dos exercícios de agachamento sobre os parâmetros mecânicos do salto vertical (SV). As barras azuis expressam os valores na condição PPS e barras laranjas, após a aplicação de PPC. **PPS**: protocolo de pré-ativação simples; **PPC**: protocolo de pré-ativação combinado; **G**: goleiros (n=2); **L**: laterais (n=3); **M**: meias (n=5); **A**: atacantes (n=3); **Z**: zagueiros (n=3)

As figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, os resultados de métricas de centralidade Grau e *Eigenvector* obtidas pelo modelo de redes complexas. Ambos os cenários (PPS, cor azul e PPC, cor laranja) foram construídos com base em 37 nós, caracterizados por resultados antropométricos, mecânicos (saltos e corrida atada) e repostas lactacidêmicas. A análise de redes retornou 110 conexões no cenário configurado para o protocolo PPS e 158 conexões no cenário

PPC, sugerindo uma maior densidade de rede quando da aplicação do protocolo de pré-ativação combinado. Com relação à métrica Grau (Figura 7), os painéis A e C apresentam os grafos obtidos para cada condição e os painéis B e D, os nós ranqueados nas 5 melhores colocações (top-5) para essa métrica dentro dos dois cenários. Como é possível observar, no cenário PPS, o nó referente à potência média em valor absoluto (aPmean) foi o que apresentou o maior número de conexões (12), valor esse equivalente aos classificados como quinto colocados no cenário PPC. Após a pré-ativação combinada, as conexões entre nós foram mais estimuladas, sendo a potência mínima absoluta (aPmin) o top-one desse cenário, com 17 conexões.

Para a métrica *Eigenvector*, que considera como os nós importantes àqueles próximos de outros nós também significantes para a rede, os mesmos primeiros colocados foram observados (assim como na figura 7). A principal diferença na classificação top-5 entre os dois cenários se refere aos nós de velocidade e força. A PPS destacou parâmetros de velocidade (média e máxima) de corrida, enquanto a PPC enfatizou as forças média, máxima e mínima como destacada nos grafos.

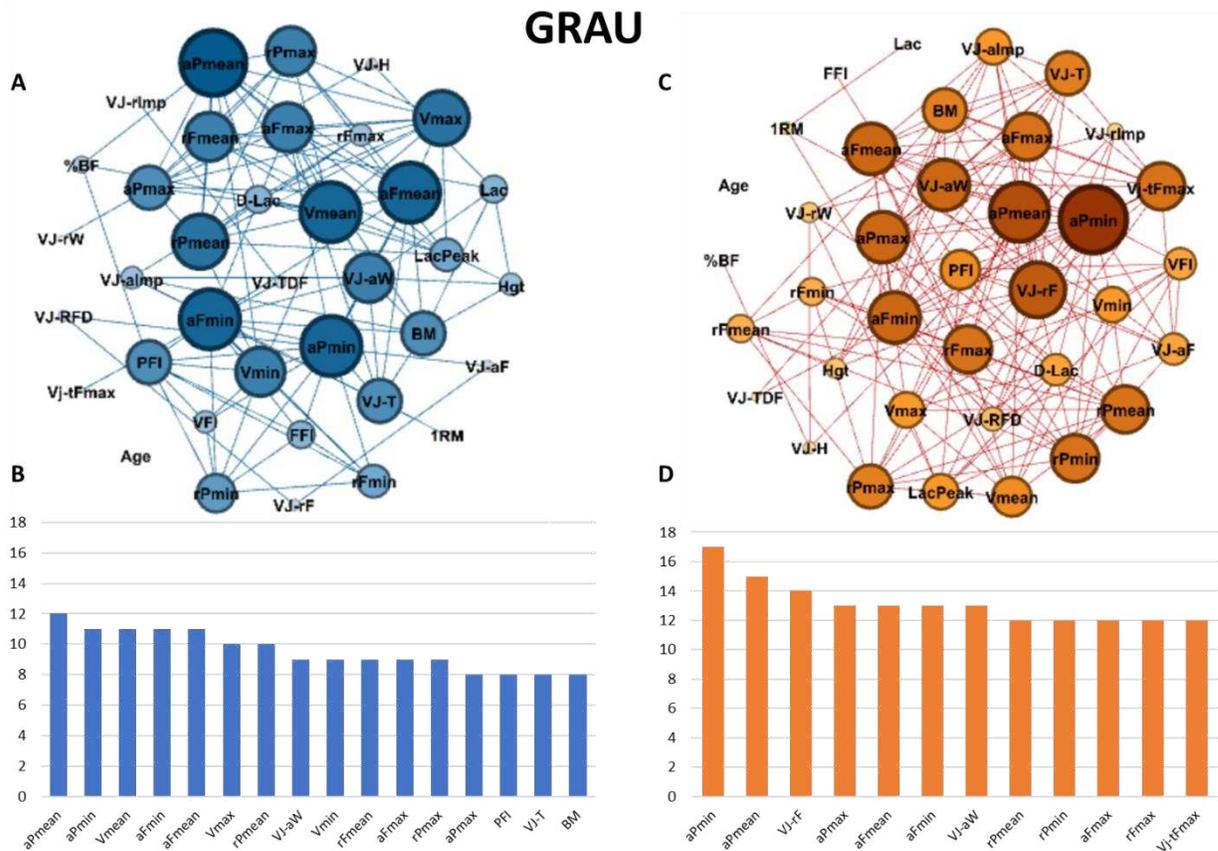


Figura 7. Resultados obtidos nos dois cenários de pré-ativação neuromuscular, considerando a métrica de centralidade Grau. Os painéis A e B representam o grafo e as cinco primeiras classificações para o cenário de pré-ativação simples (PPS), respectivamente; os painéis C e D representam o grafo e as cinco primeiras classificações do cenário de pré-ativação combinada (PPC), respectivamente. **Age**: idade; **BM**: massa corpora; **Hgt**: altura; **%BF**: percentual de gordura corporal; **1RM**: 1 repetição máxima; **aPmax**: potência máxima (valor absoluto); **aPmean**: potência média (valor absoluto); **aPmin**: potência mínima (valor absoluto); **PFI**: índice de fadiga da potência; **aFmax**: força máxima (valor absoluto); **aFmean**: força média (valor absoluto); **aFmin**: força mínima (valor absoluto); **FFI**: índice de fadiga da força; **Vmax**: velocidade máxima; **Vmean**: velocidade média; **Vmin**: velocidade mínima; **VFI**: índice de fadiga da velocidade; **rPmax**: potência máxima (valor relativo); **rPmean**: potência média (valor relativo); **rPmin**: potência mínima (valor relativo); **rFmax**: força máxima (valor relativo); **rFmean**: força média (valor relativo); **rFmin**: força mínima (valor relativo); **VJ-H**: altura do salto vertical, **VJ-T**: trabalho do salto vertical; **VJ-aW**: potência do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rW**: potência do salto vertical (valor relativo); **VJ-aF**: força do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rF**: força do salto vertical (valor relativo); **VJ-aImp**: impulso do salto vertical (valor absoluto); **VJ-tFmax**: tempo de salto vertical; **VJ-rImp**: impulso do salto vertical (valor relativo); **VJ-RFD**: taxa pico de desenvolvimento de força do salto; **VJ-TFD**: tempo de desenvolvimento de força do salto; **Lac**:

lactato sanguíneo (repouso); **LacPeak**: pico do lactato sanguíneo; **D-Lac**: delta do lactato sanguíneo.

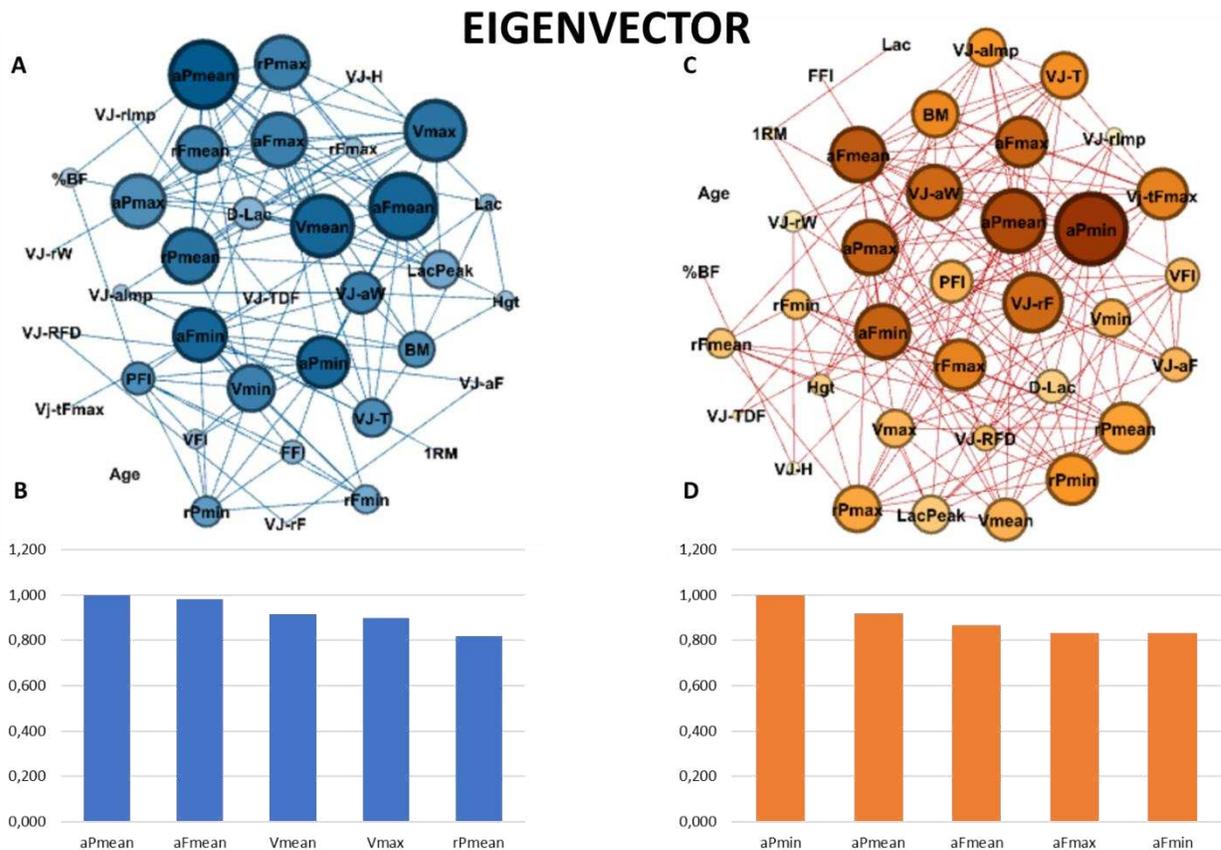


Figura 8. Resultados obtidos nos dois cenários de pré-ativação neuromuscular, considerando a métrica de centralidade Eigenvector. Os painéis A e B representam o grafo e as cinco primeiras classificações para o cenário de pré-ativação simples (PPS), respectivamente; os painéis C e D representam o grafo e as cinco primeiras classificações do cenário de pré-ativação combinada (PPC), respectivamente. **Age**: idade; **BM**: massa corpora; **Hgt**: altura; **%BF**: percentual de gordura corporal; **1RM**: 1 repetição máxima; **aPmax**: potência máxima (valor absoluto); **aPmean**: potência média (valor absoluto); **aPmin**: potência mínima (valor absoluto); **PFI**: índice de fadiga da potência; **aFmax**: força máxima (valor absoluto); **aFmean**: força média (valor absoluto); **aFmin**: força mínima (valor absoluto); **FFI**: índice de fadiga da força; **Vmax**: velocidade máxima; **Vmean**: velocidade média; **Vmin**: velocidade mínima; **VFI**: índice de fadiga da velocidade; **rPmax**: potência máxima (valor relativo); **rPmean**: potência média (valor relativo); **rPmin**: potência mínima (valor relativo); **rFmax**: força máxima (valor relativo); **rFmean**: força média (valor relativo); **rFmin**: força mínima (valor relativo); **VJ-H**: altura do salto vertical, **VJ-T**: trabalho do salto vertical; **VJ-aW**: potência do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rW**: potência do salto vertical (valor relativo); **VJ-aF**: força do salto vertical (valor absoluto); **VJ-rF**: força do salto

vertical (valor relativo); **VJ-aImp**: impulso do salto vertical (valor absoluto); **VJ-tFmax**: tempo de salto vertical; **VJ-rImp**: impulso do salto vertical (valor relativo); **VJ-RFD**: taxa pico de desenvolvimento de força do salto; **VJ-TFD**: tempo de desenvolvimento de força do salto; **Lac**: lactato sanguíneo (repouso); **LacPeak**: pico do lactato sanguíneo; **D-Lac**: delta do lactato sanguíneo.

4. DISCUSSÃO

A presente tese objetivou comparar as respostas mecânicas e fisiológicas promovidas por dois protocolos distintos de pré-ativação neuromuscular, sendo um composto por saltos e classicamente aplicado na literatura (PPS) e outro baseado na combinação de saltos e agachamentos. Para uma refinada análise sobre os efeitos da PA, jovens jogadores de futebol foram submetidos às intervenções agudas precedendo esforços de alta intensidade e curta duração, sob a forma de corrida atada com registros precisos de força, velocidade e potência. A ideia central que motivou a realização do estudo se refere à possibilidade de intervenções neuromusculares agudas serem potencialmente capazes de aprimorar o desempenho dos jogadores em *sprints* e tarefas absolutamente significantes para o futebol de campo. Os principais achados desse estudo confirmam nossa hipótese, sugerindo maior efetividade do protocolo de pré-ativação combinado (SV e BS) sobre os parâmetros mecânicos em corrida atada de alta intensidade.

De maneira interessante, isso ocorreu por ajustes mecânicos e não metabólicos, já que os resultados de lactato sanguíneo, um importante metabólito indicador da intensidade de exercício, não foram diferentes entre essas duas condições, em especial após a execução do AO30. Ainda, utilizando uma abordagem inovadora para o estudo de diferentes protocolos de pré-ativação neuromuscular, confirmamos, por métricas de centralidade retornadas do modelo de redes complexas, a superioridade da PPC em relação à PPS. Essa análise integrada reforçou que a estratégia combinada aqui adotada aumentou a densidade da rede, sendo o cenário PPC expressivamente mais conectado e com métricas de centralidade Grau e Eigenvector em valores mais elevados.

No intuito de verificar os efeitos das PAs sobre aspectos fisiológicos, analisamos a concentração de lactato em repouso e após o teste de corrida atada (aos cinco e sete minutos após a finalização do AO30) (Figura 2). A utilização desse metabólito como indicador de intensidade

de esforço, utilização da via anaeróbia para produção de energia e impactos fisiológicos é justificada pela relação inversa entre o aumento na taxa de aparecimento do metabólito e o pH sanguíneo, o que gera aumento na acidez sanguínea, considerada um limitador do desempenho físico em esforços de curta duração (SHARMA et al., 2018).

Os resultados encontrados sugerem semelhantes condições iniciais dos participantes, com a concentração de repouso baixa para as duas sessões. Após a aplicação dos protocolos de PA e AO30, o aparecimento de LAC na corrente sanguínea foi expressivo (valores superiores a 13 mmol.L⁻¹), como classicamente observado após estímulos *all-out* com a duração de 30s (MANCHADO-GOBATTO et al., 2020; GOBATTO et al., 2020; SHARMA et al., 2018; SOUSA et al., 2017; ZAGATTO et al., 2017). Adicionalmente, não observamos diferenças na concentração de LAC entre os dois protocolos nos primeiros sete minutos de recuperação. Assim, reforçamos que as modificações positivas promovidas pela PPC sobre os parâmetros mecânicos de corrida em relação à PPS podem estar relacionadas a alterações mecânicas, e não metabólicas (ao menos por análise lactacidêmica, uma medida classicamente utilizada para mensurar a intensidade do esforço, bem como a recuperação do organismo após exercícios com predominância anaeróbia).

Como é possível observar na tabela 1, significantes diferenças e correlações entre os parâmetros de corrida analisados (potência, força, velocidade e índice de fadiga) foram observadas entre os dois protocolos de PA empregados com os tamanhos dos efeitos apontando grande magnitude dessas diferenças ($\geq 0,9$) entre as médias amostrais. Assim como verificado em estudos envolvendo protocolos simples de exercícios prévios comparados com o aquecimento normal (CHIU et al., 2003; FRENCH KRAEMER & COOKE, 2003), os resultados da presente investigação indicam efeitos agudos superiores quando o protocolo é composto por séries combinadas envolvendo exercícios de diferentes características, mas com gestos biomecânicos semelhantes, como é o caso do salto vertical e do agachamento. Entretanto, é interessante enfatizar que a intenção do presente estudo não foi comparar os resultados obtidos com programas já avaliados, e sim testar uma nova categoria de protocolo, composta por dois tipos distintos de exercícios na mesma sessão de pré-ativação, a fim de verificar se o desempenho do protocolo combinado é aprimorado quando comparado ao protocolo simples.

Os efeitos do treinamento combinado envolvendo exercícios resistidos e pliometria já foram estudados previamente, evidenciando significantes melhoras no desempenho de salto (EBBEN,

2002; LEPHART et al., 2005; MATTHEWS, MATTHEWS, & SNOOK, 2004). Entretanto, aos efeitos agudos de protocolos de pré-ativação com essa característica combinada permanecem inexplorados. Há na literatura evidências científicas sobre o aumento no desempenho da corrida após protocolos simples de exercícios prévios, tanto por meio de agachamento como de saltos, observados a partir da comparação com protocolos tradicionais de aquecimento (TURNER et al., 2015; VANDERKA et al., 2016; ESFORMES et al., 2010; YETTER & MOIR, 2008).

Quanto aos efeitos de protocolos simples em testes máximos de 30 s, Parry et al. (2008) não observaram aumento da $P_{\text{máx}}$ e $P_{\text{méd}}$ quando duas intensidades distintas de agachamento (30% e 90% de 1RM) foram realizadas previamente ao teste de Wingate (teste máximo de 30s no cicloergometro). A ausência de efeitos de PPA do estudo citado pode estar atrelada ao intervalo de vinte minutos adotado entre a PA e a atividade principal, uma vez que a literatura, apesar de não estabelecer um consenso quanto ao tempo ótimo entre os exercícios resistidos e as atividades explosivas subsequentes, reporta metodologias que utilizaram períodos que variaram de esforços imediatos até 18,5 minutos (KILDUFF et al., 2008). Por outro lado, a pré-ativação foi investigada na corrida de alta intensidade (AO30) por meio da utilização de exercícios de força, evidenciando aumento no desempenho após a realização de exercícios de agachamento (CHATZOPOULOS et al., 2007; LINDER et al., 2010; MCBRIDE et al., 2005; VANDERKA et al., 2016; YETTER & MOIR, 2008), o que demonstra a dependência do protocolo para apresentar os efeitos desejados.

Exercícios de pliometria isolados também já foram estudados como esforços prévios para investigar os efeitos de PPA em corrida de alta intensidade, observando efeitos de potenciação da corrida a partir de 2 minutos da atividade condicionante, com diferenças significativas do controle aos 4 e 8 minutos após a PA (TURNER et al., 2015). Da mesma maneira que o agachamento, o aumento do desempenho após esforços pliométricos parece ser protocolo-dependente, sendo observadas diferenças quanto ao volume, nível de treinamento e o intervalo entre a atividade condicionante e a principal (PIPER et al., 2020; TURNER et al., 2015).

Ademais, considerando que ambos os protocolos aqui testados continham uma série de saltos verticais, comparamos o melhor resultado de SV nas duas condições a fim de identificar possíveis influências do agachamento no desempenho do salto (Tabela 2). A comparação entre os resultados realizados com e sem a execução prévia do agachamento foi importante para verificarmos, especialmente, a influência do protocolo combinado na corrida de alta intensidade.

De acordo com nossos achados, as duas séries de BS não aprimoraram o desempenho do salto vertical de forma isolada, visto que os parâmetros de salto avaliados no PPS e no PPC não apresentaram diferenças entre as intervenções. O único parâmetro do salto que foi potencializado pela sequência de agachamento foi o tempo para o atingimento da força máxima, sendo esse menor na condição combinada.

Uma vez que adicionar o BS no protocolo não interferiu no resultado do salto, o efeito positivo demonstrado nos parâmetros mecânicos de AO30 podem ser provenientes apenas do BS ou da combinação dos dois movimentos. Corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, Piper et al (2020) testaram quatro diferentes modelos de exercícios prévios e os resultados demonstraram aumento do desempenho na corrida de alta intensidade, porém não foi capaz de identificar efeito da PPA sobre a potência do salto vertical. Dessa forma podemos sugerir que o agachamento no modelo testado parece ser fator fundamental para o aumento do desempenho da corrida atada, quando comparado com a execução somente do SV como exercício prévio.

Gourgoulis et al. (2003), Jensen & Ebben (2003) e Young, Jenner & Griffiths (1998) utilizaram o BS com diferentes cargas para verificar a manifestação da PPA no salto vertical. Nesses casos, todos os estudos identificaram efeitos sobre o desempenho na atividade principal, o que não foi identificado no presente estudo. Uma hipótese para essa ausência de interferência do agachamento no desempenho do salto pode ser o protocolo para a manifestação da PPA na amostra analisada, como o tempo de intervalo entre as intervenções e/ou o volume e intensidade da carga atribuída. Em jogadores de rugby, por exemplo, Crewther et al. (2011) sugeriram intervalos individualizados entre a PA e a atividade principal. Recentemente, Bauer et al. (2019), obtiveram resultados expressivos no desempenho do salto vertical realizado após a PA em intensidade de agachamento moderada (60% de 1RM) e alta (90% de 1RM), entretanto com o volume de ambos os protocolos consideravelmente maiores do que os realizados em nossa proposta.

No caso específico do futebol de campo, são bem definidas as funções e atividades desempenhadas por jogadores que atuam em diferentes posições. Tanto do ponto de vista físico, como fisiológico e mecânico, as distintas demandas caracterizam as posições defensivas e ofensivas dentro do campo. Esses aspectos específicos de cada posição vêm sendo bastante investigados no âmbito científico e, de fato, precisam ser atentados durante a execução de programas de treinamento. À exemplo, Vieira et al. (2019) mostraram, em uma interessante revisão

sistemática, que o desempenho da corrida em partidas é dependente da posição em jovens jogadores de futebol. Os autores confirmaram que zagueiros apresentaram menor valor para distância total percorrida e número de ações de alta intensidade, enquanto os meio campistas são os que cobrem maior distância total percorrida. Já os atacantes e laterais demonstraram maiores picos de velocidade e números de ações de alta intensidade.

Duthie et al. (2018), utilizando um dispositivo baseado no sistema global de posicionamento (GPS), investigaram a velocidade, a aceleração e desaceleração e a potência de jovens jogadores de elite. Corroborando com nossos achados, os autores identificaram que os defensores (zagueiros) são mais lentos e menos potentes do que os laterais e meio-campistas, sendo esses últimos mais velozes que os atacantes. Adicionalmente, atacantes e laterais exibiram redução da velocidade e potência máxima ao longo da partida de modo mais expressiva do que os meio-campistas. De acordo com Lagos-Peñas et al. (2011), os meio-campistas cobrem uma distância significativamente maior do que um defensor ou um atacante, enquanto o atacante executa significativamente mais sprints do que um defensor ou meio-campista. Além das diferentes demandas fisiológicas, jogadores de futebol profissional atuantes em distintas posições na partida apresentam variações em relação aos aspectos antropométricos, como massa corporal, estatura e índice de massa corporal (LAGOS-PEÑAS et al., 2011).

Na presente tese, mesmo sem a possibilidade de aplicação de análise estatística tradicional devido ao reduzido número amostral por posições, apresentamos a caracterização das respostas mecânicas após a aplicação das estratégias de PA neuromuscular simples e combinada, estratificadas por posições (Tabelas 3 a 6 e figuras 5 e 6). Essa apresentação com descrição dos dados por posição sugere a protocolo dependência para a variação do desempenho após os diferentes protocolos de PA, o que poderia ser considerado em futuras aplicações, dado o objetivo e demanda de cada jogador dentro da partida. Por exemplo, os goleiros apresentaram maiores variações dos três parâmetros mecânicos e do IF com efeitos expressivos após o PPC em relação à PPS e curiosamente, os atacantes e laterais, as diferenças menos expressivas.

Por fim e de modo absolutamente inovador, aplicamos uma análise computacional mais integrada para comparar os efeitos da PA simples ou combinada sobre as variáveis mecânicas de salto, corrida atada e respostas de lactato sanguíneo. As métricas de centralidade Degree e Eigenvector retornadas pelo modelo de redes complexas já haviam sido aplicadas por nosso grupo

para o estudo da fadiga (PEREIRA et al., 2015) e de desempenho esportivo, incluindo análises de corrida atada e semi-atada de alta intensidade e curta duração (GOBATTO et al., 2020; PEREIRA et al., 2018). Entretanto, a adoção desse modelo complexo para estudar diferentes PAs neuromusculares ainda não havia sido realizada. De acordo com os resultados apresentados nas figuras 7 e 8, ambos os protocolos de PA aqui adotados destacaram, nas métricas de rede, variáveis de potência de corrida como as mais importantes na análise complexa. Entretanto, o modelo PPC foi responsável por elevar a densidade das redes, com aumento expressivo do número de conexões entre os nós principais (48 conexões entre os nós foram implementadas no modelo PPC em relação ao PPS).

No top-5 ranking, observamos que tanto para o Grau como para o Eigenvector, métricas apontadas como significantes quando do emprego dessa ferramenta (OLDHAM et al., 2019), o cenário PPC proveu melhores resultados, bem como destacou variáveis de potência na corrida como significantes nesse cenário (Figura 7 e 8). Do mesmo modo que a estatística convencional, em nenhuma das aplicações houve o destaque para o lactato sanguíneo, sugerindo o baixo impacto das PAs neuromusculares aqui empregadas sobre a via anaeróbia láctica. Nossos achados envolvendo modelo de análise mais holística reforçam a superioridade da PA combinada em relação à PA simples, sugerindo ser essa aplicação mais efetiva para potencializar a corrida de alta intensidade e curta duração para atletas de futebol.

Embora muito bem executado e com a utilização de ferramentas robustas, capazes de determinar parâmetros mecânicos da corrida atada com alta frequência de sinais, nosso estudo possui algumas limitações. A primeira é a não existência de uma condição controle, sem a execução de atividade prévia à corrida, ou de uma sessão caracterizada por apenas a PA com séries de agachamento. Entretanto, é importante mencionar que a literatura já aponta o uso dos saltos ou BS como pré-ativações capazes de elevar o desempenho na corrida de alta intensidade. Considerando que os avaliados pertenciam a uma equipe de futebol, a dificuldade em incluir testes de alta intensidade no planejamento do treinamento e ao calendário competitivo, não foi viável acrescentar um número maior de visitas ao laboratório. Assim, optamos pela comparação entre duas PAs, enfatizando nosso interesse em investigar a PA combinada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de nosso estudo sugerem que o protocolo de pré-ativação combinada, que associou BS e SV, foi capaz de implementar a força, velocidade e potência de corrida atada de máxima intensidade executada por jovens jogadores de futebol em relação ao protocolo de PA simples (aqui executado apenas por SV). De maneira interessante, o PPC promoveu essas alterações positivas, as quais foram advindas de ajustes mecânicos e não metabólicos, já que os resultados de lactato sanguíneo não foram diferentes nas duas condições experimentais.

A análise por modelo de redes complexas reforçou a superioridade do modelo combinado, já que elevou a densidade da rede e destacou como nós principais aqueles relacionados à potência e força na corrida atada. Em termos práticos, nossos resultados sugerem a aplicação de protocolo de PA combinado como uma interessante estratégia para proporcionar a PPA, visando o aumento do desempenho esportivo em corridas de alta intensidade, como as executadas por futebolistas em sessões de treino e partidas.

Esse é um aspecto relevante que reforça a necessidade de um olhar mais direcionado às tarefas exigidas quando da aplicação de um meio de treinamento para implementar o desempenho, em especial no futebol. De fato, como os protocolos empregados nessa tese possuem a versatilidade de aplicação em próprio local de treino e competições, acreditamos ser o caminho da PA algo relevante para elevar, de modo agudo e lícito, o desempenho dos atletas dessa modalidade

6. REFERÊNCIAS

- Barabási AL, Gulbahce N, & Loscalzo J. Network medicine: A network-based approach to human disease. *Nat Rev Gen*, 12:56–68, 2011. doi: 10.1038/nrg2918
- Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, & Bradley PS. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med*, 35:1095–1100, 2014. doi: 10.1055/s-0034-1375695
- Bar-Or O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*, 4(6):381–94, 1987.
- Barron D, Ball G, Robins M & Sunderland C. Artificial neural networks and player recruitment in professional soccer. *PLoS ONE*, 13(10):e0205818, 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0205818
- Bauer P, Sansone P, Mitter B, Makivic B, Seitz LB, & Tschan H. Acute effects of back squats on countermovement jump performance across multiple sets of a contrast training protocol in resistance-trained males. *J Strength Cond Res*, 33(4):995–1000, 2019. doi: 10.1519/jsc.0000000000002422
- Behm DG, Button DC, Barbour G, Butt JC & Young WB. Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *J Strength Cond Res*, 18(2):365–372, 2004. doi: 10.1519/R-12982.1
- Bertuzzi R, Kiss MAPDM, Damasceno M, Oliveira RSF & Lima-Silva AE. Association between anaerobic components of the maximal accumulated oxygen deficit and 30-second Wingate test. *Braz J Med Biol Res*, 48(3):261–266, 2015.
- Bishop D. Warm-up II: Performance changes following active warm-up and how to structure warm-up. *Sports Med*, 33(7):483–498, 2003.
- Bolger R, Lyons M, Harrison AJ & Kenny IC. Sprinting performance and resistance-based training interventions: A systematic review. *J Strength Cond Res*, 29(4):1146–1156, 2015. doi:10.1519/JSC.0000000000000720

Borba DA, Ferreira-Júnior JB, Santos LA, Carmo MC, & Coelho LGM. Effect of post-activation potentiation in athletics: A systematic review. *Rev Bras Cineantropom Hum*, 19(1):128–138, 2017.

Boullousa D, Del Rosso S, Behm DG, & Foster C. Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *Eur J Sport Sci*, 18(5):595–610, 2018. doi: 10.1080/17461391.2018.1438519

Chatzopoulos DE, Michailidis CJ, Giannakos AK, Alexiou KC, Patikas DA, Antonopoulos CB, & Kotzamanidis CM. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *J Strength Cond Res*, 21(4):1278–1281, 2007.

Cheetham ME, Williams C, & Lakomy HK. A laboratory running test: Metabolic responses of sprint and endurance trained athletes. *Br J Sports Med*, 19(2):81–84, 1985.

Chiu LZ, Fry AC, Weiss LW, Schilling BK, Brown LE, & Smith SL. Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res*, 17(4):671–677, 2003.

Cirino C, Gobatto CA, Pinto AS, Torres RS, Hartz CS, Azevedo PHSM, Moreno MA, & Manchado-Gobatto FB. Complex network model indicates a positive effect of inspiratory muscles pre-activation on performance parameters in a judo match. *Scientific Reports*, 11:11148, 2021. doi: 10.1038/s41598-021-90394-1.

Crewther BT, Kilduff LP, Cook CJ, Middleton MK, Bunce PJ, & Yang GZ. The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *J Strength Cond Res*, 25(12):3319–3325, 2011. doi: 10.1519/jsc.0b013e318215f560

Čular D, Ivančev V, Zagatto AM, Milić M, Beslija T, Sellami M, & Padulo J. Validity and reliability of the 30-s continuous jump for anaerobic power and capacity assessment in combat sport. *Front Physiol*, 9:543, 2018. doi: 10.3389/fphys.2018.00543

Davies B, Daggett A, Jakeman P, Mulhall J. Maximum oxygen uptake utilizing different treadmill protocols. *Br J Sports Med*, 18(2):74–79, 1984.

Dello Iacono A, & Seitz LB. Hip thrust-based PAP effects on sprint performance of soccer players: Heavy-loaded versus optimum-power development protocols. *J Sports Sci*, 36(20):2375–2382, 2018. doi: 10.1080/02640414.2018.1458400

Docherty D, & Hodgson MJ. The application of post-activation potentiation to elite sport. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(4):439–444, 2007.

Duthie GM, Thornton HR, Delaney JA, Connolly DR, & Serpiello FR. Running intensities in elite youth soccer by age and position. *J Strength Cond Res* 32(10): 2918–2924, 2018.

Ebben WP. Complex training: A brief review. *J Sports Sci Med*, 1(2):42-46, 2002.

Esformes JI, & Bampouras TM. Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *J Strength Cond Res* 27(11):2997–3000, 2013.

Esformes JI, Cameron N & Bampouras TM. Postactivation potentiation following different modes of exercise. *J Strength Cond Res*, 24(7):1911–1916, 2010.

French DN, Kraemer WJ, & Cooke CB. Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 17:678-685, 2003. PMID:14636092. doi: 10.1519/1533- 4287(2003)017<0678:cidepf> 2.0.co;2.

Fruchterman TMJ, & Reingold EM. Graph drawing by force-directed placement. *Software Practice and Experience* 21:1129–1164, 1991.

Gama MCT, dos Reis IGM, Sousa FAB, & Gobatto CA. The 3-min test is valid for determining critical power but not anaerobic work capacity in tethered running. *PLoS One*, 13(2):e0192552, 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0192552

Gama MCT, Sousa FAB, dos Reis IGM, & Gobatto C. Reliability of the three-minute all-out test for non-motorized treadmill tethered running. *Int J Sports Med*, 38(08):613–619, 2017. doi: 10.1055/s-0035-1565238

Gobatto CA, Torres RS, Moura FA, Cunha SA, Giometti CB, Araujo GG, FAB Sousa & Manchado-Gobatto FB. Corresponding assessment scenarios in laboratory and on-court tests:

Centrality measurements by complex networks analysis in young basketball players. *Scientific Reports*, 10(1):8620, 2020.

Gołaś A, Maszczyk A, Zajac A, Mikołajec K, & Stastny P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J Hum Kinet*, 52:96–106, 2016.

Gourgoulis VN, Aggeloussis N, Kasimatis P, Mavromatis G, & Garas A. Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J Strength Cond Res*, 17(2):342–344, 2003.

Guggenheimer JD, Dickin DC, Reyes GF, & Dolny DG. The effects of specific preconditioning activities on acute sprint performance. *J Strength Cond Res*, 23(4):1135–1139, 2009.

Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, & Tarnopolsky MA. Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol*, 88(6):2131–2137, 2000. doi:10.1152/jappl.2000.88.6.2131

Hammami A, Zois J, Slimani M, Russel M & Bouhlel E. The efficacy and characteristics of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness*, 58(1-2):135–149, 2018. doi:10.23736/S0022-4707.16.06806-7

Hancock AP, Sparks KE, & Kullman EL. Postactivation potentiation enhances swim performance in collegiate swimmers. *J Strength Cond Res*, 29(4):912–917, 2015. doi:10.1519/jsc.0000000000000744

Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J & Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *International J Sports Physiol Perform*, 9(3):432–441, 2014. doi:10.1123/ijsp.2013-0121

Hkysomallis C, & Kidgell D. Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper-body power. *J Strength Cond Res*, 15:426–430, 2001.

Hodgson M, Docherty D, & Robbins D. Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med* 35(7):585–595, 2005.

Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, & Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41:3-13, 2009. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278

Jackson AS, & Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*, 40(3):497–504, 1978.

Jensen RL, & Ebben WP. Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 17:345–349, 2003.

Karampatsos BG, Terzis G, Polychroniou C, & Georgiadis G. Acute effects of jumping and sprinting on hammer throwing performance. *J Phys Educ Sport*, 13(1):3–5, 2013.

Kilduff LP, Owen N, Bevan H, Bennett M, Kingsley MIC, & Cunningham D. Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J Sports Sci*, 26(8):795–802, 2008. doi: 10.1080/02640410701784517

Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaiakevou G, Patikas D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res*, 19:369-375, 2005.

Lago-Peñas C, Casais L, Dellal A, Rey E, & Domínguez E. Anthropometric and physiological characteristics of young soccer players according to their playing positions: Relevance for competition success. *J Strength Cond Res*, 25(12):3358-3367, 2011. doi:10.1519/jsc.0b013e318216305d

Lakomy HKA. The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. *Ergonomics*, 30(4):627–636, 1987.

Lephart SM, Abt JP, Ferris CM, Sell TC, Nagai T, Myers JB, Irrgang JJ. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: Plyometric versus basic resistance program. *Br J Sports Med*, 39(12):932–938, 2005.

Lim JJH, & Kong PW. Effects of isometric and dynamic post-activation potentiation protocols on maximal sprint performance. *J Strength Cond Res*, 27(10):2730–2736, 2013. doi: 10.1519/jsc.0b013e3182815995

Linder EE, Prins JH, Murata NM, Derenne C, Morgan CF, & Solomon JR. Effects of preload 4 repetition maximum on 100-m sprint times in collegiate women. *J Strength Cond Res* 24:1184–1190, 2010.

Lockie R, Lazar A, Davis D, & Moreno, M. The effects of post-activation potentiation on linear and change-of-direction speed: Analysis of the current literature and applications for the strength and conditioning coach. *Strength Cond J*, 40(1):1, 2017. doi:10.1519/SSC.0000000000000277

Loturco I, Pereira LA, Kobal R, Zanetti V, Kitamura K, Abad CCC, & Nakamura FY. Transference effect of vertical and horizontal plyometrics on sprint performance of high-level U-20 soccer players. *J Sports Sci*, 33(20):2182–2191, 2015. doi: 10.1080/02640414.2015.1081394

Macintosh BR, Robillard ME, & Tomaras EK. Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *J Appl Physiol Nutr Metab*, (37):546–550, 2012.

Macintosh BR. Cellular and whole muscle studies of activity dependent potentiation. *Adv Exp Med Biol*, 682:315–342, 2010.

Manchado FB, Gobatto CA, Voltarelli FA, & Rostom De Mello MA. Non-exhaustive test for aerobic capacity determination in swimming rats. *Appl Physiol Nutr Metab*, 31(6):731–736, 2006.

Manchado-Gobatto FB, Marostegan AB, Rasteiro FM, Cirino C, Cruz JP, Moreno MA & Gobatto CA. New insights into mechanical, metabolic and muscle oxygenation signals during and after high-intensity tethered running. *Scientific Reports*, 10(1):6336, 2020. doi: 10.1038/s41598-020-63297-w

Masamoto N, Larson R, Gates T, & Faigenbaum A. Acute effects of plyometric exercise on maximum squat performance in male athletes. *J Strength Cond Res*, 17(1):68–71, 2003.

MATTHEWS et al., 2004

Matthews MJ, Matthews HP & Snook B. The acute effects of a resistance training warmup on sprint performance. *Res Sports Med*, 12:151–159, 2004.

McBride JM, Nimphius S, & Erickson TM. The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *J Strength Cond Res*, 19(4):893–897, 2005.

McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, & Rattray B. Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports Med*, 45:1523–46, 2015.

McKie GL, Islam H, Townsend LK, Howe GJ & Hazell TJ. Establishing a practical treadmill sprint as an alternative to the Wingate anaerobic test. *Measurement Phys Edu Exerc Sci*, 22(2):138–144, 2018. doi: 10.1080/1091367X.2017.1400974

Mclain TA, Wright GA, Camic CL, Kovacs AJ, Hegge JM, & Brice GA. Development of an anaerobic sprint running test using a nonmotorized treadmill. *J Strength Cond Res*, 29(8):2197–2204, 2015.

McMorrow BJ, 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. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 14:1066–1073, 2019. doi: 10.1123/ijsp.2018-0592.

Mitchell CJ, & Sale DG. Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *Eur J Appl Physiol*, 111:1957-1963, 2011.

Mola JN, Bruce-Low SS, & Burnet SJ. Optimal recovery time for postactivation potentiation in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(6):1529–1537, 2014.

Oldham S, Fulcher B, Parkes L, Arnatkevic Iūtè A, Suo C, & Fornito A. Consistency and differences between centrality measures across distinct classes of networks. *PLoS One*, 14, 2019. e0220061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220061>

Parry S, Hancock S, Shiells M, Passfield L, Davies B, & Baker JS. Physiological effects of two different post-activation potentiation training loads on power profiles generated during high intensity cycle ergometer exercise. *Res Sports Med*, 16(1):56–67, 2008. doi: 10.1080/15438620701878998

Pereira VH, Gama MC, Sousa FA, Lewis TG, Gobatto CA, & Manchado-Gobatto FB. Complex network models reveal correlations among network metrics, exercise intensity and role of body changes in the fatigue process. *Sci Rep*, 5:10489, 2015. doi:10.1038/srep10489

Pereira VH, Gobatto CA, Lewis TG, Ribeiro LFP, Beck WR, dos Reis IGM, Sousa FAB & Manchado-Gobatto FB. computational and complex network modeling for analysis of sprinter athletes' performance in track field tests. *Front. Physiol.* 9:843, 2018.

Petisco C, Ramirez-Campillo R, Hernández D, Gonzalo-Skok O, Nakamura FY & Sanchez-Sanchez J. Post-activation potentiation: Effects of different conditioning intensities on measures of physical fitness in male young professional soccer players. *Frontiers in Psychol*, 10:1167, 2019. doi:10.3389/fpsyg.2019.01167

Petrella RJ, Cunningham DA, Vandervoort AA, Paterson DH. Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol*, 58:395–399, 1989.

Piper AD, Joubert DP, Jones EJ, & Whitehead MT. Comparison of post-activation potentiating stimuli on jump and sprint performance. *International J Exerc Sci*, 13(4):539-553, 2020.

Radcliffe JC, & Radcliffe JL. Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task. *Med Sci Sports Exerc*, 28:S189, 1996.

Rahimi R. The acute effects of heavy versus light-load squats on sprint performance. *Facta Univ Ser Phys Educ Sport*, 5(2):163–9, 2007.

Robbins DW, & Goodale T. Evaluation of the Physical Test Battery Implemented at the National Football League Combine. *Strength Cond J*, 34(5):1–10, 2012.

Sale DG. Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 30(3):138–143, 2002.

Sanchez-Sanchez J, Rodriguez A, Petisco C, Ramirez-Campillo R, Martínez C, & Nakamura FY. Effects of different post-activation potentiation warm-ups on repeated sprint ability in soccer players from different competitive levels. *J Human Kinetics*, 61(1):189–197, 2018. doi: 10.1515/hukin-2017-0131

Sharma SK, Raz S, Moiz JA, Verma S, Naqvi IH, Anwer S, & Alghadir AH. Postactivation potentiation following acute bouts of plyometric versus heavy resistance exercise in collegiate soccer players. *Biomed Res Int*, 2018:3719039, 2018. doi:10.1155/2018/371903

Smilios I, Pilianidis T, Sotiropoulos K, Antonakis M, & Tokmakidis S. Short term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 19:135–139, 2005.

Smith CE, Hannon JC, McGladrey B, Shultz B, Eisenman P, & Lyons B. The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance. *Hum Mov*, 15(1):36–44, 2014.

Sousa FAB, Vasque RE, & Gobatto CA. 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(6):e0179378, 2017. ISSN 1932-6203

Suchomel TJ, Lamont HS & Moir GL. Understanding vertical jump potentiation: A deterministic model. *Sports Medicine*, 46(6):809–828, 2015. doi:10.1007/s40279-015-0466-9

Tillin NA, & Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med* 39(2):147–166, 2009.

Titton A, & Franchini E. Postactivation potentiation in elite young soccer players. *J Exerc Rehab*, 13(2):153-159, 2017.

Towlson C, Midgley AW, & Lovell RJ. Warm-up strategies of professional soccer players: Practitioners' perspectives. *Sports Sci*, 31(13):1393-1401, 2013.

Tsimahidis K, Galazoulas C, Skoufas D, Papaiakovou G, Bassa E, Patikas D, & Kotzamanidis C. The effect of sprinting after each set of heavy resistance training on the running speed and jumping performance of young basketball players. *J Strength Cond Res* 24(8):2102–2108, 2010.

Turner AP, Bellhouse S, Kilduff LP, & Russell M. Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *J Strength Cond Res*, 29(2):343–350, 2015. doi:10.1519/jsc.0000000000000647

Ulrich G, & Parstorfer M. Effects of plyometric vs concentric and eccentric conditioning contractions on upper body Postactivation. *International J Sports Physiol Perform*, 12(6):736–741, 2017.

Van Hall G, Jensen-Urstad M, Rosdahl H, Holmberg HC, Saltin B, & Calbet JA. Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 284(1):e193–205, 2003.

Vandenboom R, Gittings W, Smith IC, Grange RW, & Stull JT. Myosin phosphorylation and force potentiation in skeletal muscle: evidence from animal models. *J Muscle Res Cell Motil*, 34:317–332, 2013.

Vanderka M, Kr ˇcma ´ r M, Longova ´ K, & Walker S. Acute effects of loaded half-squat jumps on sprint running speed in track and field athletes and soccer players. *J Strength Cond Res*, 30(6):1540–1546, 2016.

Verkhoshanski T, & Tatyana V. Speed-strength preparation of future champions. *Sov Sports Rev*, 18:166–170, 1983.

Vieira LHP, Carling C, Barbieri FA, Aquino R, & Santiago PRP. Match running performance in young soccer players: a systematic review. *Sports Med*, 49(2):289-318, 2019. doi:10.1007/s40279-018-01048-8

Whelan N, O’Regan C, & Harrison AJ. Resisted Sprints do not acutely enhance sprinting Performance. *J Strength Cond Res*, 28(7):1858–1866, 2014.

Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, Wilson SM, Jo E, Lowery RP, & Ugrinowitsch C. Meta-analysis of post-activation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res*, 27(3):854–859, 2013.

Xenofondos A, Laparidis K, Kyranoudis A, Galazoulas CH, Bassa E, & Kotzamanidis C. Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *J Physical Education Sport*, 28(3):32–38, 2010.

Yetter M, & Moir GL. The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *J Strength Cond Res*, 22(1):159–165, 2008.

Young WB, Jenner A, & Griffiths K. Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J Strength Cond Res*, 12:82–84, 1998.

Zagatto AM, Miyagi WE, Sousa FAB, & Gobatto CA. Relationship between anaerobic capacity estimated using a single effort and 30-s tethered running outcomes. *PLoS One*. 12(2):e0172032, 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0172032