

MARCOS ROBERTO KUNZLER

**EFEITO AGUDO DO EXERCÍCIO FÍSICO EM DIFERENTES HORAS DO DIA
SOBRE O DESEMPENHO COGNITIVO EM HUMANOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa Multicêntrico de Pós Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Ciências Fisiológicas.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Pivetta Carpes

Uruguiana

2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

K96e	Kunzler, Marcos Roberto Efeito agudo do exercício físico em diferentes horas do dia sobre o desempenho cognitivo em humanos / Marcos Roberto Kunzler. 120 p. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Pampa, DOUTORADO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS, 2020. "Orientação: Felipe Pivetta Carpes". 1. Exercício físico . 2. Efeito agudo. 3. Cognição. 4. Hora do dia. I. Título.
------	--

MARCOS ROBERTO KUNZLER

**EFEITO AGUDO DO EXERCÍCIO FÍSICO EM DIFERENTES HORAS DO DIA
SOBRE O DESEMPENHO COGNITIVO EM HUMANOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa Multicêntrico de Pós Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Ciências Fisiológicas.

Tese de doutorado defendida e aprovada em: 26 de Junho de 2020.

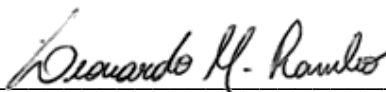
Banca examinadora:



Prof. Dr. Felipe Pivetta Carpes
Orientador
Unipampa



Prof. Dr. Fernando Diefenthaeler
UFSC



Prof. Dr. Leonardo Magno Rambo
Unipampa



Prof. Dr. Jose Ignacio Priego Quesada
Universidade de Valencia

Dedico este trabalho à minha família, minha companheira de vida Carla, sem ela não conseguiria, é uma conquista dela também, e meu filho Mathias, fonte de toda minha motivação e inspiração.

AGRADECIMENTO

Ao professor e amigo **Dr. Felipe Pivetta Carpes**, agradeço imensamente pelas orientações, conselhos, opiniões, soluções, cobranças e incentivo nos momentos mais difíceis do caminho, por ter aceitado o desafio de estudarmos algo até então novo em nosso grupo de pesquisa. Tenho certeza que esta tese não foi construída somente neste curso, mas sim ao longo dos 10 anos de parceria e trabalho na Universidade Federal do Pampa, e espero que isso perdure por muito mais tempo. Tenho nele uma inspiração, uma referência teórica, de liderança, de proatividade e de vida dedicada a ciência e construção de bons relacionamentos e amizades.

Aos **professores do Programa Multicêntrico de Pós Graduação em Ciências Fisiológicas da Unipampa**, especialmente a professora **Dra. Pâmela Billig Mello-Carpes** que foi coordenadora durante quase todo o meu doutoramento, pela dedicação, preocupação e comprometimento com todos os alunos, sendo a grande responsável pela existência desse programa em nossa Universidade. Agradeço também **professores da UFMG, Dr. Samuel Penna Wanner do LAFISE pelo acolhimento no estágio prático e Dr. André Gustavo Pereira de Andrade e membros do BIOLAB, UFRGS e UFRJ** com quem tive oportunidade de aprender muito sobre ciência, pesquisa e ação docente na universidade. Aos professores que compuseram a banca de qualificação desta tese, **Prof. Dr. Fernando Diefenthaler, Prof. Dr. Leonardo Magno Rambo e a professora Dra. Helen Lidiane Schimidt**, obrigado pelo debate e sugestões. As professoras **Dra. Eliane Celina Guadagnin e Dra. Mauren Assis de Souza** pela disponibilidade de serem membros suplentes das bancas.

À **Universidade Federal do Pampa**, pela estrutura no desenvolvimento dos estudos, aos **colegas Técnicos Desportivos** e aos **professores do curso de Educação Física** pela compreensão e apoio nas atividades. A **Sociedade Brasileira de Biomecânica** pelo auxílio financeiro para participação no Congresso Brasileiro de Biomecânica em Manaus 2019, aos prêmios concedidos pela **International Society of Biomechanics** e pela **International Brain Research Organization** por oportunizar uma futura viagem de estudos à Universidade de

Valencia, na Espanha. Quanto à isso agradeço também ao professor **Dr. Jose Ignacio Priego Quesada** pela ajuda e disponibilidade na elaboração da proposta de estudos, e que juntamente com os professores **Fernando** e **Leonardo** aceitou o convite para fazer parte da banca examinadora desta tese.

A **todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada**, atuais e antigos, companheiros de pós-graduação e ICs pela ajuda nos experimentos, pelas discussões sobre ciência, formais e informais, com ou sem café, que tornaram essa caminhada mais leve e prazerosa no dia-a-dia, sinto que minha formação acadêmica tem muito da experiência que este grupo proporcionou ao longo de 10 anos. Aos **colegas de pós-graduação**, especialmente aos ingressantes na primeira seleção do programa Letícia, Caroline, Cláudio, Daniel, Franciele, Janaina, Niége, Rafael e Rui, por encararem esse desafio também.

Obrigado também pelo apoio e auxílio nos experimentos e procedimentos de pesquisa aos **Profs. Joel Alvarez-Ruf e Carlos De la Fuente, ao Matheus D. Pereira, Caetano Lazzari e Jéssica Soares**, assim como a **todos os participantes** que aceitaram participar voluntariamente dos estudos.

À **minha família**, Carla (*Dada*) e Mathias já citados na dedicatória, incluindo meus pais Libório Kunzler e Célia Kunzler (*in memoriam, eternamente presente em meus pensamentos*), minha madrastra Ereci, meu mano Carlos, minha cunhada Nel, meus sobrinhos Matheus e Davi, minha madrinha Susana, meus sogros Carlinhos e Rosângela (Coca), meu cunhado Carlinhos, além de todos os meus **amigos de Jóia e de Uruguaiana**, que incentivaram muito minha caminhada acadêmica.

Agradeço imensamente!

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”

Ayrton Senna

RESUMO

O exercício físico pode apresentar alguns efeitos agudos acarretando alterações fisiológicas momentâneas no funcionamento do sistema cognitivo, refletindo alterações no desempenho de tarefas envolvendo tempo de reação a um estímulo, atenção seletiva e memória. O tipo de exercício praticado também pode resultar em respostas fisiológicas distintas de acordo com sua intensidade e associação ou não com outra tarefa combinada. Somado a estas questões, o horário em que o exercício é realizado também pode influenciar os efeitos agudos do exercício. Desse modo, a presente tese tem o objetivo de determinar os efeitos agudos de diferentes tipos de exercício físico sobre respostas cognitivas em momentos específicos do dia. Para alcançar esse objetivo três estudos experimentais foram construídos considerando a aplicação de testes cognitivos antes e depois de 1) diferentes intensidades de exercício (60%, 80 e 95% PMI); 2) exercícios de saltos verticais máximos em diferentes horas do dia (manhã-noite); 3) sessões de exercícios físicos combinados com dupla tarefa cognitiva. As descobertas principais foram de que 1) a variação da intensidade do exercício altera seu efeito agudo sobre respostas cognitivas, 2) o exercício de alta intensidade melhora o desempenho de uma tarefa cognitiva de atenção, 3) as respostas cognitivas agudas de tempo de reação simples e atenção seletiva são melhores à noite, e 4) quando o exercício físico é combinado com uma dupla tarefa cognitiva, há um efeito agudo positivo sobre tarefas envolvendo atenção. Estes achados projetam algumas aplicações práticas, dentro do esporte, na inserção deste conhecimento científico para a promoção e organização rotinas de treinamentos físicos, principalmente em modalidades que envolvam concentração e atenção seletiva. Na vida diária e profissional, atividades físicas para promoção da saúde em geral poderiam incluir sessões curtas de alta intensidade, ou uma dupla tarefa cognitiva em sessões mais longas e moderadas, antes de ações importantes que exijam respostas cognitivas rápidas e precisas, além de considerar o melhor momento do dia, potencializando resultados positivos.

Palavras-Chave: Exercício físico; Efeito agudo; Cognição; Hora do dia.

ABSTRACT

Physical exercise can have some acute effects causing transient physiological changes in the functioning of the cognitive system, reflecting changes in the performance of tasks involving reaction time to a stimulus, selective attention, and memory. The type of exercise can also result in different physiological responses according to its intensity and association or not with another task. In addition, the time of the day when exercise is performed can also influence its acute effects. Thus, the present thesis aims to determine the acute effects of different types of physical exercise on cognitive responses at specific times of day. To achieve this objective, three experimental studies were conducted considering the performance in cognitive tests conducted before and after 1) different exercise intensities (60%, 80 and 95% PMI); 2) maximum vertical jump exercise at different times of the day (morning-night); 3) physical exercise sessions combined or not with a cognitive dual task. The main results were that 1) the variation in exercise intensity alters its acute effect on cognitive responses, 2) the high-intensity exercise improves the performance of a cognitive task requiring attention, 3) the acute cognitive responses from simple reaction time and selective attention are better at the night, and 4) when the physical exercise is combined with a dual cognitive task, there is a positive acute effect on tasks involving attention. These findings have some practical applications to the sports, especially regarding the insertion of this scientific knowledge in the promotion and organization of physical training routines, mainly in modalities that involve concentration and selective attention. In daily and professional life, physical activities for health promotion in general could include short bouts of high-intensity exercise, or a dual cognitive task configuration in longer and moderate sessions performed before important actions requiring fast and accurate cognitive responses, in addition to considering the best time of day to enhance positive results.

Keywords: Physical exercise; Acute effect; Cognition; Time of day.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração do desenho experimental do estudo I.....	55
Figura 2 –	Ilustração dos dispositivos no guidão do cicloergômetro e posicionamento do participante para responder aos testes cognitivos.....	56
Figura 3 –	Ilustração do desenho experimental do estudo II.....	58
Figura 4 –	Ilustração do dispositivo com Joystick e posicionamento do participante para responder aos testes cognitivos.....	59
Figura 5 –	Ilustração do desenho experimental do estudo III.....	62
Figura 6 –	Resultados do tempo de reação simples (SRT) do experimento I.....	67
Figura 7 –	Resultados da atenção seletiva (AS) do experimento I.....	68
Figura 8 –	Resultados de memória (MEM) do experimento I.....	69
Figura 9 –	Resultados de tempo de reação simples (TRS) do experimento II.....	72
Figura 10 –	Resultados de atenção seletiva (AS) do experimento II.....	73
Figura 11 –	Resultados de tempo de reação simples (TRS) do experimento III.....	75
Figura 12 –	Resultados de atenção seletiva (AS) do experimento III.....	76
Figura 13 –	Variabilidade (coeficiente de variação) de acertos e erros na execução da dupla tarefa cognitiva durante os 30 minutos da sessão de exercício combinado (COMB) do experimento III....	77
Figura 14 –	Resultados de memória (MEM) do experimento III.....	78
Figura 15 –	Variáveis de controle de Percepção subjetiva do esforço (PSE), frequência cardíaca (FC) em repouso e seu aumento percentual (%FC) durante as sessões de exercício (EXE) e de exercício combinado (COMB) do experimento III.....	79
Figura 16 –	Correlações entre o índice da qualidade do sono de Pittsburgh e o desempenho cognitivo dos participantes nos testes do experimento III.....	80
Figura 17 –	Valores das pontuações nas subescalas de tensão, depressão, raiva, vigor, fadiga e confusão mental da escala de humor de Brunel nas sessões de repouso (REP), exercício (EXE) e exercício combinado (COMB) do experimento III.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Variáveis teóricas e operacionais para cada experimento.....	51
Tabela 2 –	Comparações entre os valores médios (desvio padrão) de carga de trabalho submáxima, duração do exercício, frequência cardíaca (FC) e percepção de esforço (PSE) do experimento I.....	70
Tabela 3 –	Comparações dos valores médios (desvio padrão) nos momentos manhã e noite, da temperatura da pele na coxa anterior e posterior (antes e após o exercício), potência do salto e altura dos saltos durante o exercício do experimento II	71

LISTA DE ABREVIATURAS

bpm – batimentos por minuto

Hz – Hertz

W – Watts

W/kg – Watts por quilograma

m – metro

cm - centímetro

h – hora

min – minuto

s – segundo

rpm – rotações por minuto

ms – milissegundo

kg – quilograma

°C – Graus Celsius

% - por cento

Fig – Figura

DP – desvio padrão

Un – Unidade

LISTA DE SIGLAS

MEQ - *Morningness - Eveningness Questionnaire*

QIQS - Questionário de Índice de Qualidade do Sono de Pittsburgh

EHB - Escala de Humor de Brunel

EB - Escala de Borg

PMI - Potência máxima individual

PMIN - Potência máxima individual normalizada

TRS - Tempo de Reação Simples

AS - Atenção Seletiva

MEM - Memória

PE - Percepção de esforço

FC - Frequência cardíaca

TP - Temperatura da pele

RIC - região de interesse do corpo

PSV - Potência do salto vertical

ASV - Altura do Salto Vertical

EXE - Sessão Exercício

COMB - Sessão Exercício Combinado

REP - Sessão Repouso

CV - Coeficiente de Variação

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	17
1.1 Contextualização do tema e justificativa.....	17
1.2 Objetivo geral	20
1.3 Estrutura do documento	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 Estratégia de busca e inclusão de artigos	23
2.2 Exercício físico e funções executivas	24
2.3 Efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas	25
2.3.1 Influência da intensidade do exercício sobre respostas cognitivas	27
2.3.2 Efeitos agudos sobre tarefas cognitivas específicas	30
2.3.2.1 Tempo de reação	30
2.3.2.2 Atenção seletiva	32
2.3.2.3 Memória	33
2.3.3 Mecanismos fisiológicos.....	35
2.4 Influência da hora do dia	37
2.4.1 Sobre o exercício físico	38
2.4.2 Sobre respostas cognitivas	40
2.5 Fatores adicionais	41
2.5.1 Fadiga	41
2.5.2 Idade	42
2.5.3 Sexo	43
2.5.4 Cronotipo.....	45
2.5.5 Sono.....	46
2.5.6 Condicionamento físico	47
2.5.7 Variação térmica corporal.....	48
2.6 Análise crítica da literatura	49
3 MÉTODOS	50
3.1 Participantes.....	50
3.2 Princípios éticos	50
3.3 Variáveis de interesse do estudo	51

3.4 Experimento I: Efeitos agudos de diferentes intensidades do exercício cíclico nas respostas cognitivas	52
3.5 Experimento II: Influência da hora do dia nos efeitos agudos do exercício de alta intensidade e curta duração no desempenho cognitivo em pessoas com diferentes cronotipos	56
3.6 Experimento III: Efeito de uma sessão de exercício prolongado, combinado ou não com uma dupla tarefa, nas respostas cognitivas agudas	60
3.7 Instrumentos de pesquisa	63
3.7.1 Questionários	63
3.7.2 Equipamentos	64
4 RESULTADOS	66
4.1 Experimento I	66
4.2 Experimento II	70
4.3 Experimento III	74
5 DISCUSSÃO	82
5.1 A variação da intensidade do exercício altera seu efeito agudo sobre respostas cognitivas?	82
5.2 A hora do dia influencia o efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas?	86
5.3 Uma dupla tarefa combinada com o exercício pode gerar um efeito agudo positivo sobre a cognição?	89
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
APÊNDICES.....	110
ANEXOS	113

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Contextualização do tema e justificativa

Há uma complexa relação entre exercício físico e cognição (LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010). Essa complexa relação vem sendo amplamente investigada em modelos de estudos com humanos e outros animais. Estudos sugerem que uma única sessão de exercício físico melhora a função cognitiva (DA SILVA DE VARGAS et al., 2017; KASHIHARA et al., 2009). No entanto, as melhorias na função cognitiva pelo exercício físico realizado com intensidade moderada não parecem diretamente associadas somente com alterações na oxigenação cerebral e no fluxo sanguíneo cerebral (MCMORRIS, 2016a). A intensidade do exercício parece ser um fator chave na regulação do desempenho cognitivo agudo (KASHIHARA et al., 2009).

Estudos mostram diferentes efeitos agudos do exercício físico sobre tarefas cognitivas (ALVES et al., 2014; KASHIHARA et al., 2009; LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010), mantendo a ideia de que o exercício físico moderado pode melhorar a função cognitiva, mas que a prática em alta intensidade diminui o desempenho em tarefas envolvendo cognição (ALVES et al., 2014; KASHIHARA et al., 2009). Uma sessão de exercício físico aeróbico, realizado de forma contínua e em intensidade moderada promoveu efeito agudo benéfico em importantes funções cognitivas, tais como a velocidade de processamento, atenção seletiva e controle inibitório (YANAGISAWA et al., 2010). Esse efeito agudo, contudo, pode perdurar apenas por um curto período de tempo em comparação com uma única sessão de exercícios anaeróbicos de alta intensidade (TSUKAMOTO et al., 2016). Apesar das muitas evidências agudas negativas induzidas por um exercício intenso sobre a cognição, há também resultados de melhora aguda na função cognitiva sustentados por períodos significativamente mais longos (TSUKAMOTO et al., 2017). Após o exercício em intensidade mais alta, há um efeito agudo que parece acelerar processos mentais, melhorar o armazenamento da de informações, e facilitar evocação de memórias (LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010).

No contexto diário do exercício físico, cada vez mais são indicados exercícios multicomponentes e que tem maior aderência quando realizados em grupos. Essas condições aumentam a participação em atividades que envolvem a execução conjunta de tarefas cognitivas e motoras, em situações chamadas de dupla tarefa. Muitas vezes essa condição é intrínseca às atividades diárias, como caminhar e conversar, e dirigir enquanto se deve prestar atenção à sinalização da via ou a um endereço (CORP et al., 2016). Há resultados contraditórios sobre o efeito agudo do exercício no desempenho cognitivo em situações de dupla tarefa (DIETRICH; AUDIFFREN, 2011). Uma revisão sobre o tema indicou que, especificamente indivíduos saudáveis, o exercício físico tem efeitos agudos no desempenho de tarefas motoras e cognitivas durante e também logo após o esforço (KASHIHARA et al., 2009). Em pessoas mais velhas, o exercício físico somado a uma tarefa cognitiva combinada evidenciou um efeito agudo positivo sobre a atenção seletiva (VASQUES et al., 2011). Em resumo, as maneiras pelas quais o exercício agudo atua sobre o desempenho cognitivo, como consequência da atividade física (GLIGOROSKA; MANCHEVSKA, 2012), ainda não estão bem definidas, e diversos outros fatores podem apresentar influência significativa. De toda forma, esses efeitos podem afetar diretamente as atividades realizadas pelo indivíduo após o exercício.

Dentre esses fatores de influência na capacidade de exercício é temperatura do corpo, que oscila durante o dia e é utilizada como indicador primário de desempenho também em processos cognitivos (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011). Essa oscilação da temperatura corporal também tem relação com o ritmo circadiano, ou ciclo claro/escuro ou vigília/sono, se estende ao longo de 24 horas (THUN et al., 2015). O cronotipo, que é a expressão da ritmicidade circadiana em um indivíduo, pela preferência em realizar determinadas atividades durante o dia ou noite, também mostra efeitos importantes sobre o desempenho fisiológico (HORNE; OSTBERG, 1976; VITALE; WEYDAHL, 2017). Mecanismos endógenos, como o treinamento e conhecimento dos mecanismos do ciclo circadiano, podem ser úteis na obtenção de adaptações positivas ao exercício (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011). O efeito agudo do exercício pode acarretar alterações neuromusculares amplas, como déficits de coordenação, equilíbrio, potência e senso de posição, que pode inclusive ser considerado um fator de risco para lesões e limitação em

atividades da vida diária (RACINAIS, 2010). Além disso, esses efeitos podem variar em função do nível de treinamento e familiarização com o exercício (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011).

É importante admitir que o conhecimento produzido em torno dessas temáticas se revela cada vez mais fundamental quando combinamos respostas do efeito agudo do exercício físico e cognitivo com a influência da hora do dia sobre o desempenho em tarefas cognitivas de atletas dos mais diferentes níveis. Respostas cognitivas desempenham um papel importante no esporte. A bicicleta é um exemplo de exercício onde atletas competem pedalando em turnos alternados em intensidades variadas (MENASPÀ et al., 2017). Além disso, a característica do ciclismo de variação do desempenho em diferentes intensidades pode influenciar respostas cognitivas, especialmente naquelas tarefas que exigem alta velocidade de processamento (WOHLWEND et al., 2017), bem como atenção e tomada de decisão (ALVES et al., 2014; BROWNE et al., 2017). Isso pode afetar a compreensão das instruções do diretor de corrida ou equipe durante uma competição, influenciar a atenção às condições da corrida, entre outras situações em que respostas reativas rápidas são importante para evitar acidentes e quedas. Foi sugerido anteriormente que a realização de um exercício incremental de ciclismo até a exaustão não tivesse efeito sobre o tempo de reação (SUDO et al., 2017), porém diferentes intensidades submáximas até a exaustão não foram consideradas, em um contexto de exercício de maior duração, e mais próximo das realidades encontradas no dia a dia.

Efeitos semelhantes aos observados entre os atletas também podem ganhar importância no contexto da vida diária, onde o ciclismo é uma prática esportiva popular e meio de transporte para pessoas de diferentes idades. Embora essas questões surjam como pertinentes no contexto do esporte há uma falta de evidências para mostrar os efeitos agudos do exercício intenso sobre a cognição. Tal perspectiva pode ser, portanto, um fator de interesse para praticantes, treinadores, técnicos e fisiologistas do esporte, pois pode ser um fator limitante ou potencializador do rendimento. No geral, poucos estudos foram capazes de medir vários elementos do desempenho cognitivo e físico simultaneamente e, além disso, a hora do dia raramente é levada em consideração, fazendo com que muitas generalizações sejam feitas em relação a horários e intensidades de esforço (FACER-CHILDS; BOILING; BALANOS, 2018). Dessa forma, este trabalho justifica-

se pela tentativa de determinar os efeitos agudos de diferentes tipos de exercício físico sobre respostas cognitivas em momentos específicos do dia considerando diferentes níveis de demandas físicas e cognitivas durante o exercício. Com isso poderemos compreender melhor quais variáveis cognitivas são as mais afetadas, por qual tipo de exercício, em que momento do dia e em quais indivíduos, e aplicar esse conhecimento em ações envolvendo treinamento físico ou em ações da vida diária.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral desta tese foi determinar o efeito agudo de uma única sessão de exercício físico com características variadas, sobre respostas cognitivas em diferentes horas do dia. Para alcançar esse objetivo, diferentes protocolos experimentais foram testados quanto à forma, duração, intensidade e hora de execução do exercício, assim como as características dos participantes.

1.3 Estrutura do documento

A presente tese está organizada em uma revisão de literatura sobre o tema, métodos e resultados dos experimentos I, II e III, discussão e considerações finais, seguida de referências bibliográficas apêndices e anexos. Nesta sequência, a revisão de literatura busca descrever o exercício físico e funções executivas, e o conhecimento prévio sobre o efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas de tempo de reação, atenção e memória. Procura também entender os possíveis mecanismos fisiológicos responsáveis por esses efeitos, a influência da hora do dia sobre o exercício físico e respostas cognitivas, e por fim fatores adicionais de interferência como a fadiga muscular, idade, sexo, cronotipo, sono e condicionamento físico.

A sequência de experimentos descreve as etapas experimentais desenvolvidas. Considerando que o exercício intenso pode resultar em efeitos agudos não claramente determinados para o desempenho cognitivo, esportes que envolvem tomada rápida de decisão podem ter importante influência nessa relação entre exercício físico e resposta cognitiva. Um exercício físico onde a condição de intensidade varia de esforços moderados a máximos faz parte de esportes como o ciclismo, em que a integridade cognitiva também é importante para a rápida tomada de decisões e processamento de informações. Assim, o experimento I determinou os efeitos agudos de diferentes intensidades do exercício cíclico nas respostas cognitivas. Os resultados desse experimento fazem parte de um artigo original aceito para publicação em 2020 no periódico *International Journal of Sports Medicine*, com o título “*Intense cycling exercise improves acute cognitive responses*” tendo como coautor o professor Felipe P. Carpes.

Compreendendo que os efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo dependem da intensidade e duração do exercício, nota-se que, pouca atenção é dada às flutuações destes efeitos no desempenho cognitivo de acordo com a hora do dia em que o exercício é realizado. Por isso, no experimento II investigamos se os efeitos agudos do exercício de curta duração de alta intensidade sobre o desempenho cognitivo são influenciados pela hora do dia. Os resultados encontrados compõem um artigo original submetido ao periódico internacional *Journal of Physical Activity and Health* com o título “*Acute effects of high intensity short duration exercise on cognitive responses depends on daytime*” tendo como co-autores Matheus Dotto Pereira, Joel Alvarez-Ruf e Felipe P. Carpes. (*No momento de apresentação da tese, este artigo estava sob revisão*).

Atualmente, cada vez mais importância tem sido dada também ao envolvimento de sistemas cognitivos durante o exercício. Uma estratégia para otimizar esse envolvimento é a inserção de uma dupla tarefa cognitiva junto ao exercício físico. Na tentativa de gerar um efeito agudo diferente de um exercício físico isolado sobre tarefas cognitivas, no experimento III investigamos os efeitos agudos do exercício físico de intensidade moderada sobre respostas cognitivas específicas e se a associação do exercício físico com uma dupla tarefa altera esses efeitos.

Por fim, discutimos os resultados encontrados nos experimentos I, II e III, promovendo algumas reflexões e críticas referentes ao conhecimento produzido, respondendo questões que propomos e também levantando algumas que ainda permanecem em aberto no que diz respeito ao efeito agudo do exercício físico em diferentes horas do dia sobre o desempenho cognitivo em humanos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estratégia de busca e inclusão de artigos

A base de dados escolhida para a revisão de literatura desta tese foi o MEDLINE, por ter grande cobertura da área biomédica e ser a mais utilizada no mundo (VOLPATO, 2013). A interface escolhida para o estudo foi o PubMed da própria *National Library of Medicine* – NLM (produtora da MEDLINE) que propicia o acesso aberto ao MEDLINE e pode ser consultada livremente por qualquer pessoa sem restrições e sem pagamento de taxas ou assinaturas (VOLPATO, 2013).

O idioma utilizado para a pesquisa foi o Inglês. As palavras chaves utilizadas foram: “*exercise*”, “*cognition*” e “*acute effect*” combinadas separadamente com “*reaction time*”, “*selective attention*”, “*memory*”, “*time of day*” e “*circadian rhythm*”. Foram incluídos artigos originais que consideraram participantes humanos e que foram publicados nos últimos 10 anos. Referências mais antigas foram utilizadas ao longo do texto quando consideradas obras fundamentais para questões pontuais. A partir dos resultados da busca, os artigos foram ainda filtrados primeiramente pela leitura do título e posteriormente do resumo. Artigos que não se enquadravam na temática central dessa tese foram desconsiderados.

O objetivo da revisão de literatura foi elaborar um texto narrativo descrevendo cientificamente o exercício físico e funções executivas, e o que já se sabe sobre o efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas de tempo de reação, atenção seletiva e memória. Também foi abordada a influência da intensidade do exercício na cognição e ainda possíveis mecanismos fisiológicos que expliquem esses efeitos. Além disso, entender a influência da hora do dia sobre o exercício físico e respostas cognitivas, considerando fatores adicionais de fadiga, idade, sexo, cronotipo, sono e condicionamento físico. Com isso, tentou-se traçar algumas reflexões e críticas referentes ao conhecimento corrente na temática.

2.2 Exercício físico e funções executivas

As funções executivas, também chamadas de funções de controle executivo ou controle cognitivo, referem-se a uma família de processos mentais necessários para ações que envolvam concentração e atenção (DIAMOND, 2013). As funções executivas podem ser definidas enquanto um conjunto complexo e integrado de habilidades cognitivas que permitem ao indivíduo executar comportamentos direcionados às finalidades previamente estabelecidas (LUDYGA et al., 2016). Elas também facilitam comportamentos direcionados a objetivos, incluindo componentes básicos de memória de trabalho, controle inibitório e a flexibilidade cognitiva (DIAMOND, 2013; LUDYGA et al., 2016; WENG et al., 2015), e mudar o foco de atenção entre aspectos relacionados, mas distintos, de uma determinada tarefa ou problema (BLAIR, 2017).

Em particular, o controle inibitório é um componente da função executiva que envolve a supressão ou rejeição de estímulos irrelevantes para alcançar um comportamento relacionado a objetivos (VONK et al., 2019; WENG et al., 2015). Ele envolve a capacidade de controlar a atenção, o comportamento, os pensamentos e as emoções para anular uma forte predisposição interna ou atração externa e, em vez disso, fazer o que for mais apropriado ou necessário naquele momento (DIAMOND, 2013). Isso envolve, por exemplo, inibir comportamentos arraigados, focar a atenção estrategicamente e organizar os pensamentos diante de uma distração, complexidade e estresse (BLAIR, 2017).

Nestes temas, os resultados de três meta-análises recentes indicam que uma única sessão de exercício físico produz um efeito agudo pequeno, mas significativo e positivo nas funções cognitivas (CHANG et al., 2012; LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010; MCMORRIS; HALE, 2012). Mas há também resultados que não mostram benefício significativo (MCMORRIS et al., 2015). A partir daí, estudos tentaram descobrir se os efeitos podem ser manipulados por diferentes tipos de exercício físico, diferentes intensidades, e se haveria uma duração ideal para promover um benefício agudo positivo de maior magnitude (CHANG et al., 2015a). Até o momento, nenhum protocolo padronizado de exercício físico foi estabelecido

para este fim (MEHREN et al., 2019). No entanto, grande parte desta pesquisa examinou a influência no desempenho cognitivo, avaliada durante o exercício e não após seu fim. Além disso, a pesquisa com exercícios físicos agudos, incluindo uma dupla tarefa de coordenação motora, pode ajudar a entender o papel desempenhado pela complexidade cognitiva das tarefas de exercício físico (PESCE, 2012). A exploração desses mecanismos combinados pode ajudar a otimizar os resultados da plasticidade cerebral por meio de intervenções com exercícios e estimulação cognitiva concomitantemente (WALSH; TSCHAKOVSKY, 2018). Embora existam evidências consideráveis de que a atividade física crônica afeta positivamente a saúde e a função cerebral, faltam estudos que examinem as alterações da excitabilidade cortical e o desempenho motor após uma única sessão de exercício (SINGH; STAINES, 2015).

2.3 Efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas

O exercício físico crônico melhora a função cognitiva (LI et al., 2017), enquanto efeitos agudos podem resultar em alterações transitórias nas respostas cognitivas com diferentes desfechos (KOŠČAK TIVADAR, 2017; LI et al., 2017). No entanto, o tempo de duração desses efeitos após o encerramento de uma sessão de exercícios ainda é incerta (NETZ et al., 2016). Essa relação é afetada também pela complexidade da tarefa cognitiva avaliada, onde tarefas de baixa demanda não são afetadas da mesma forma como é observado em tarefas mais complexas (MCMORRIS et al., 2011). Como o exercício físico regular é composto de repetidas sessões acumuladas ao longo do tempo, o exame dos efeitos transitórios após uma única sessão pode informar o entendimento sobre o processo pelo qual os benefícios duradouros do exercício regular na cognição são alcançados (WENG et al., 2015).

Diferentes abordagens são válidas para estimar o desempenho cognitivo, incluindo o tempo de reação simples, uma medida do tempo de resposta a um estímulo visual, auditivo ou tátil (JAIN et al., 2015), a atenção seletiva, definida como a priorização de informações para processamento adicional relacionados à escolha

e à tomada de decisão (STROOP, 1935), e as memórias de trabalho e de curto prazo, como a capacidade de reter e recuperar informações por um curto período de tempo (COWAN, 2017). Essas abordagens são importantes na avaliação de funções cognitivas, e os resultados podem depender de quando o desempenho é medido, o tipo de teste cognitivo empregado, e as condições do exercício físico realizado (LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010).

Os benefícios parecem ser maiores e mais consistentemente observados para elementos da função executiva, incluindo memória de trabalho, planejamento e controle inibitório (VONK et al., 2019). Uma única sessão de exercício aeróbico com intensidade moderada facilita respostas inibitórias, mas não o planejamento motor em adultos ativos saudáveis e de meia-idade (CHANG et al., 2014). Por outro lado, a duração da melhoria não é longa, podendo permanecer por cerca de 30 minutos (NETZ et al., 2016).

É fundamental considerar ainda que funções executivas podem mostrar desempenho baixo em sessões de alta intensidade, quando avaliadas durante o exercício (WANG et al., 2013). No entanto, após a interrupção do esforço o desempenho parece apresentar uma melhora aguda (SMITH; CLAYTOR, 2018; WOHLWEND et al., 2017). A diminuição da função de controle executivo durante o exercício físico pode ser explicada pela teoria da hipofrontalidade transitória (DEL GIORNO et al., 2010). Já o aprimoramento agudo imediatamente após o exercício físico de alta intensidade tem como provável justificativa a utilização do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) presente no plasma sanguíneo (SLUSHER et al., 2018). Mecanismos fisiológicos que podem explicar efeitos agudos do exercício físico sobre funções executivas serão discutidos mais adiante nesse capítulo. A forte relação entre a intensidade e a duração do exercício físico parece ser determinante para a exaustão e para seus efeitos na função cognitiva (ABD-ELFATTAH; ABDELAZEIM; ELSHENNAWY, 2015).

2.3.1 Influência da intensidade do exercício sobre respostas cognitivas

Um conjunto de evidências sugere que a intensidade do exercício físico influencia a magnitude dos seus possíveis benefícios no desempenho cognitivo na fase aguda após o exercício (LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010). Uma conhecida teoria diz que a intensidade do exercício influencia o desempenho cognitivo com um comportamento de “U” invertido, ou seja, um melhor desempenho cognitivo quando o exercício é de intensidade moderada (BRISSWALTER; COLLARDEAU; RENÉ, 2002). Uma única sessão de exercícios aeróbicos em intensidade moderada melhora a função executiva (LUDYGA et al., 2016). Esta teoria é suportada por uma meta-análise recente mostrando que o exercício físico aeróbico moderado acarreta melhoras significativas no desempenho cognitivo em comparação com exercícios em intensidade leve ou muito intensa (MCMORRIS et al., 2015). Chang et al. mostraram que uma sessão de exercícios curta, de 20 minutos, em intensidade moderada melhora a cognição, enquanto sessões mais curtas ou mais longas em intensidade moderada tem benefícios não significativos (CHANG et al., 2015a). Mas essa interação entre intensidade e desempenho cognitivo depende muito do que é avaliado. Recentemente, efeitos do exercício físico de alta intensidade foram associados com melhoria na velocidade de resposta e atenção (MEHREN et al., 2019). Portanto, o exercício físico parece ter um limiar de intensidade específico a ser superado para que então resulte em benefícios significativos (MCMORRIS; HALE, 2012).

A identificação desse limiar tem sido investigada, e estudos mais recentes mostram resultados contraditórios (ALVES et al., 2014; BARENBERG; BERSE; DUTKE, 2015; BYUN et al., 2014; LOPRINZI; KANE, 2015; LOWE et al., 2014). Lowe et al. sugerem que há um aumento do controle inibitório após 35 min de ciclismo em intensidade moderada em comparação com uma condição de controle em intensidade muito leve, enquanto que nenhuma alteração no controle inibitório foi observada após ciclismo em alta intensidade (LOWE et al., 2014). Em contraste, Loprinzi e Kane não observaram nenhum efeito de 30 min de exercício físico aeróbico desempenho em baixa, moderada, e alta intensidade nas respostas cognitivas em comparação com uma condição de controle em repouso (LOPRINZI;

KANE, 2015). Além disso, Byun et al. encontraram maior controle inibitório após uma curta sessão de exercício aeróbico em intensidade leve do que após o repouso (BYUN et al., 2014). Para Netz et al., uma única sessão de exercício aeróbico moderado facilitou a resposta de inibição em adultos de meia idade (NETZ et al., 2016).

Trabalhos experimentais indicam que exercícios aeróbicos de alta intensidade podem também trazer benefícios na função executiva. Barenberg, Berse e Dutke relataram melhora da flexibilidade cognitiva, que é relacionada com a capacidade de foco atencional, após dois protocolos de exercício físico intervalado, em que a intensidade foi aumentada a cada 10 segundos até a exaustão, em comparação com uma condição de repouso (BARENBERG; BERSE; DUTKE, 2015). Da mesma forma, o aumento do desempenho nas tarefas de controle inibitório foi encontrado após treinamento intervalado de alta intensidade, composto por 10 intervalos de 1 minuto (ALVES et al., 2014). Em contraste, os autores não encontraram alterações na memória de trabalho. A melhora na função executiva após o exercício foi sustentada por um período mais longo quando a sessão era feita com intensidade moderada, do que quando o exercício era feito em intensidade leve. Além disso, exercícios moderados com duração relativamente longa podem ter um efeito ligeiramente melhor em comparação com exercícios com duração relativamente curta (TSUKAMOTO et al., 2017). Uma revisão da literatura sobre o assunto concluiu que a intensidade do exercício atua como um moderador primário de efeitos do exercício aeróbico agudo no controle executivo, com intensidades moderadas sendo mais benéficas para promover benefícios na cognição (MCMORRIS; HALE, 2012).

O exercício físico de alta intensidade e curta duração tem ganho popularidade entre pessoas de diferentes idades, com o objetivo de melhorar a força, a potência e a velocidade, resultando em uma melhor condição física (FEITO et al., 2018). Ele é descrito como um exercício físico com breves e intermitentes ações de atividade vigorosa, intercaladas por períodos de descanso ou de atividade de baixa intensidade. Algumas evidências indicam que esse tipo de treino pode induzir rápidas alterações no sistema cardiovascular e que se assemelham aos de um treinamento tradicional de resistência (SMART; DIEBERG; GIALLAURIA, 2013).

Um esforço físico mínimo é necessário para obter melhorias na função executiva (VONK et al., 2019), mas se uma intensidade alta limita esses efeitos ainda é uma questão que intriga cientistas. Sessões curtas, com até menos de 10 minutos de duração já indicaram efeitos positivos (HEATH et al., 2018). No entanto, estudos que investigam a os efeitos do exercício de alta intensidade na função cognitiva são escassos (ALVES et al., 2014). Browne et al. revisaram a literatura sobre o efeito agudo do exercício físico de alta intensidade no desempenho cognitivo em indivíduos treinados. Eles descreveram que tarefas cognitivas simples, principalmente o tempo de reação, não foram afetadas pela intensidade, e os resultados em tarefas cognitivas mais complexas, que exigiram precisão nas respostas, foram ambíguos. A precisão da resposta cognitiva não pareceu ser influenciada pelo exercício de alta intensidade em comparação com as medidas de velocidade de resposta (BROWNE et al., 2017).

O fato que ajuda a explicar essa variabilidade de resultados e efeitos é que existem diversos mecanismos fisiológicos que atuam nessa relação entre estímulo de exercício e resposta cognitiva. Por exemplo, a excitação fisiológica e ansiedade, que aumentam à medida que a intensidade do exercício evolui (DUNCAN et al., 2017). A capacidade cognitiva envolvendo concentração, atenção e controle da ansiedade podem influenciar o desempenho no exercício (BRICK; MACINTYRE; CAMPBELL, 2016). O exercício intenso até a exaustão faz com que ocorra um maior número de erros no desempenho cognitivo (SCHMIT et al., 2015). Efeitos de uma sessão de exercícios aeróbicos de intensidade alta sobre a memória de trabalho não são relatados com frequência (LI et al., 2014).

Sabe-se que uma sessão aguda de exercícios físicos aeróbicos pode melhorar funções cognitivas específicas, como memória e atenção seletiva (LAMBOURNE; TOMPOROWSKI, 2010; MCMORRIS et al., 2011; YANAGISAWA et al., 2010). Embora esses efeitos sejam temporários, eles tem alta relevância prática (LUDYGA et al., 2016). A prescrição de uma única sessão de exercício físico tem uma vantagem significativa sobre efeitos crônicos do exercício, porque benefícios na cognição de ordem superior podem ser mostrados imediatamente e não requerem um período longo de treinamento (LUDYGA et al., 2016). Pensando além da questão do exercício e seus efeitos, esses resultados também podem servir como estratégias

para melhora da função cognitiva em condições específicas, como poderia ser o caso de uma turma escolar, ou ainda a busca por promover melhoras agudas no desempenho cognitivo que possam beneficiar o praticante em questões relacionadas ao trabalho e ou atividade do dia a dia. Contudo, a escolha da intensidade apropriada e o tipo de exercício físico que pode ter melhor resultado permanecem sem solução (KOŠČAK TIVADAR, 2017).

Em conclusão, os resultados dos estudos mostram uma melhora de desempenho em atividades que envolvam cognição após o exercício físico, mas a comparação dos efeitos em diferentes intensidades sobre a função executiva em comparação com uma condição de repouso são inconsistentes (ALVES et al., 2014; BARENBERG; BERSE; DUTKE, 2015; BYUN et al., 2014). Portanto, seguindo a teoria do U invertido, onde intensidades muito baixas ou muito altas geram um menor ganho cognitivo durante o exercício, investigar efeitos agudos sobre respostas cognitivas ao final de uma sessão de exercícios em intensidades mais altas, ainda é necessário. Até momento, não está claro como que exercícios físicos realizados em diferentes intensidades afetam o controle executivo, e se esses efeitos são ainda influenciados pelas características dos sujeitos como idade, condicionamento físico, cronotipo, entre outros aspectos relacionados com a configuração do exercício físico.

2.3.2 Efeitos agudos sobre tarefas cognitivas específicas

2.3.2.1 Tempo de reação

As interações entre a pressão para respostas rápidas e o desempenho cognitivo em atletas ainda são pouco estudadas e se concentram em testes específicos (CHIU; CHEN; MUGGLETON, 2017). Nesse sentido, o tempo de reação simples já é investigado há algum tempo, sendo considerado como uma variável que reflete uma característica inerente ao controle motor (MCMORRIS; KEEN, 1994). Movimentos mais lentos podem custar caro ao controle motor por várias razões,

incluindo atrasos na realização de tarefas, aquisição de recompensas, e potencial monopolização de uma quantidade significativa de recursos neurais e atencionais (BERRET; JEAN, 2016).

O aprimoramento transitório do tempo de reação é dependente da intensidade do exercício (WOHLWEND et al., 2017). Exemplos de estudos avaliando o efeito de uma sessão de exercícios físicos sobre o tempo de reação mostraram que a intensidade moderada melhorou o tempo médio de reação em comparação com uma condição de controle em repouso (SMITH; CLAYTOR, 2018). Diferentes tipos de exercícios mostraram respostas que parecem ser bastante específicas à configuração do exercício. Após uma sessão de corrida, houve melhora no tempo de reação com o aumento da intensidade do exercício, mas os valores já eram similares a condição pré exercício em 20 minutos após o término do exercício (WOHLWEND et al., 2017). Exercícios de ciclismo tiveram efeito agudo positivo na velocidade de resposta e tempo de reação para tarefa auditiva e visual em mulheres jovens e saudáveis em comparação com um grupo controle que permaneceu 30 minutos em repouso (ASHNAGAR; SHADMEHR; JALAEI, 2015). Porém, uma sessão de saltos contra movimento contínuos não mostrou efeito sobre o tempo de reação (ASHNAGAR; SHADMEHR; JALAEI, 2015). Contudo, percebe-se que o tempo de reação é muito utilizado quando estudos avaliam o processamento da informação de natureza simples (BROWNE et al., 2017), no entanto essa tarefa é testada de diferentes maneiras e muitas vezes os grupos musculares avaliados estão envolvidos no exercício, mas às vezes não. Esse ponto não está claro na literatura, pois os diferentes protocolos de exercício geram diferentes níveis de fadiga, mesmo não alcançando a exaustão. Pesquisas adicionais que examinem a duração dos efeitos no tempo de reação após uma sessão aguda de exercício são necessárias, além de determinar qual o tipo, duração e intensidade ideais do exercício para gerar um melhor desempenho nessa tarefa (SMITH; CLAYTOR, 2018).

2.3.2.2 Atenção seletiva

Tarefas de desempenho cognitivo que exigem respostas frequentes e contínuas podem permitir a avaliação de habilidades cognitivas específicas (VALDEZ, 2019). Um desses processos é o controle inibitório, um componente da função executiva que está envolvido no controle sobre os estímulos que são irrelevantes para o desempenho de uma tarefa alvo, e a inibição de respostas habituais, onde a atenção é fundamental (WENG et al., 2015). Para o controle cognitivo, a inibição pode ser conceituada como um processo que bloqueia a propagação da ativação, mantendo a atenção concentrada na tarefa principal (DIAMOND, 2013).

A atenção inclui quatro componentes principais: alerta tônico, alerta fásico, atenção seletiva e atenção sustentada (VALDEZ, 2019). Em particular, a atenção seletiva é muito estudada, sendo considerada uma importante função cognitiva implicada em várias atividades da vida diária (SCERIF, 2010) e esportivas (CHIU; CHEN; MUGGLETON, 2017), sendo definida como a priorização da informação para processamento adicional (SCERIF, 2010; STROOP, 1935). Ou seja, a capacidade de produzir uma resposta específica para um estímulo, e uma resposta diferente para outro estímulo, tem a ver também com a capacidade filtrar informações irrelevantes do ambiente (VALDEZ, 2019). Vários sistemas cerebrais participam desses componentes da atenção, principalmente os sistemas reticular, pré-frontal e parietal (PETERSEN; POSNER, 2012). O controle inibitório da atenção nos permite participar seletivamente, concentrando-se no que escolhemos e suprimindo a atenção a outros estímulos. Precisamos de atenção seletiva para escolher voluntariamente ou ignorar estímulos específicos e atender a outros com base em nossa meta ou intenção (DIAMOND, 2013).

A maioria dos estudos anteriores abordando os efeitos agudos do exercício físico aeróbico no controle inibitório relatam melhorias temporárias desse subcomponente após uma única sessão de exercício foram replicadas várias vezes (VERBURGH et al., 2014). O exercício agudo melhorou o tempo de resposta para condições de tarefas congruentes e incongruentes em testes de *Stroop*, com uma magnitude semelhante de melhora (CHANG et al., 2017). Por outro lado, o exercício

pode aumentar agudamente a variabilidade do desempenho cognitivo em humanos (KOŠČAK TIVADAR, 2017). A atenção seletiva pode ser avaliada por um teste de *Stroop*, também conhecido como teste *Stroop Color-Word*, um método popular de avaliação de uma variedade de funções cognitivas e é sensível aos efeitos agudo de um exercício físico (CHANG et al., 2014). Somos treinados para ler por significado e ignorar amplamente características superficiais de palavras como o estilo de fonte ou cor da tinta. Testes incongruentes na tarefa *Stroop* apresentam palavras coloridas (como "verde") escritas na cor de outra tinta ("vermelho"). Quando é necessário ignorar o significado da palavra (ou seja, inibir nossa resposta às palavras) e, em vez disso, prestar atenção e relatar a cor da tinta, as pessoas são mais lentas e cometem mais erros (DIAMOND, 2013). O teste de *Stroop* é um paradigma conhecido por permitir investigar aspectos de uma cognição superior que dependem da função executiva. Especificamente, a atenção seletiva requer o manejo de informações específicas e a inibição da resposta automatizada durante tarefas de tomada de decisão envolvendo estímulos e respostas (STROOP, 1935).

2.3.2.3 Memória

A memória desempenha um papel importante na vida. Sob o ponto de vista neurobiológico, memória significa aquisição, formação, conservação e evocação de informações (MEDEIROS, 2016). A memória declarativa nos permite conscientemente recordar fatos e eventos. Já a memória não declarativa é acessada sem a necessidade de envolvimento da consciência, como a habilidade motora em tarefas de um determinado esporte (MEDEIROS, 2016; SQUIRE; DEDE, 2015). A memória declarativa pode ser dividida em memória de curto ou longo prazo, e de trabalho. A memória de curto prazo é a capacidade de reter uma pequena quantidade de informações, não manipuláveis, e que são mantidas em um estado altamente acessível por um curto período de tempo durando de segundos a horas, enquanto que a memória de longo prazo é aquela que permite você recordar de algo ao longo de dias, meses ou anos após a sua aquisição (COWAN, 2017). A memória de trabalho possui similaridades com a memória de curta duração, e algumas diferenças entre elas referem ao fato de que na memória de trabalho permite a

manipulação da informação, ajudando em situações de tomada de decisão e controle inibitório, por exemplo (DIAMOND, 2013), como manter uma informação de um número de telefone ou um endereço desconhecido por alguns instantes até que ocorra o uso desta informação. Ao interrompermos a repetição ou o uso da informação, a sequência mental logo se perde (SQUIRE; DEDE, 2015).

A memória de trabalho parece ser temporariamente afetada pelos exercícios aeróbicos agudos (WENG et al., 2015). Possui quatro componentes: armazenamento fonológico, armazenamento visuoespacial, um *buffer* episódico e um sistema executivo central (VALDEZ, 2019). Como dito anteriormente, a memória de trabalho suporta o controle inibitório. Você deve manter seu objetivo em mente para saber o que é relevante ou apropriado, e o que precisa ser inibido. Ao se concentrar especialmente nas informações que tem em mente, você aumenta a probabilidade de que essas informações guiem seu comportamento, e diminui a probabilidade de um erro inibitório (DIAMOND, 2013).

A intensidade do exercício pode influenciar de maneira aguda a função da memória humana, e os efeitos variam com base no tempo do exercício e no tipo de memória considerada (LOPRINZI, 2018). De modo crônico, além de facilitar a memória através de mecanismos baseados na excitação, o exercício físico também pode melhorar a memória através da modulação da potenciação. Melhorias na memória após o exercício aeróbico agudo em intensidade moderada parecem ter maiores efeitos em condições de tarefas que exijam memória de trabalho (ZACH; SHALOM, 2016). Uma relação semelhante não foi observada como efeito agudo após uma sessão de exercício aeróbico ou uma condição de exercício anaeróbico, indicando uma relação seletivamente benéfica do exercício aeróbico agudo sobre a memória (ZACH; SHALOM, 2016). Sessões de exercícios com durações mais curtas (<20 minutos) e mais longas (>40 minutos) juntamente com um curto período de recuperação, foram vantajosas para aprimorar a memória (LOPRINZI, 2019). Em contraste com os estudos acima, uma revisão sistemática sobre o tema não evidenciou efeitos agudos do exercício físico sobre a memória de trabalho (RATHORE; LOM, 2017). O exercício crônico é eficaz para o aumento da capacidade da memória de trabalho, enquanto o efeito do exercício agudo na memória de trabalho é menos consistente (RATHORE; LOM, 2017).

Efeitos do exercício agudo na memória de curto prazo parecem ser maiores quando a sessão de exercício é relativamente curta (<20 min) e realizada em intensidades mais baixas (ROIG et al., 2013), enquanto que o exercício agudo de alta intensidade pode ser menos favorável à memória de trabalho, mas pode favorecer a memória episódica (LOPRINZI, 2018). A caminhada aguda melhorou a memória de curto prazo, comparada a exercícios baseados em ciclismo, que são mais vantajosos para a memória de longo prazo (ROIG et al., 2013). Exercícios que exigem movimentos inesperados, como luta livre, por exemplo, são mais eficazes para melhorar a memória de trabalho quando comparados a exercícios com uma padronização motora, como caminhada ou corrida (LOPRINZI et al., 2018). A memória de curto prazo apresenta melhor desempenho quando o exercício é realizado anteriormente à codificação da memória (HAYNES et al., 2019).

2.3.3 Mecanismos fisiológicos

Existem diferentes mecanismos fisiológicos que podem ajudar a explicar os efeitos agudos do exercício físico sobre melhorias transientes nas funções cognitivas durante e logo após o fim de uma sessão, porém, esses mecanismos ainda não estão totalmente definidos (GLIGOROSKA; MANCHEVSKA, 2012). Um deles se apoia no aumento da concentração sérica do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), uma proteína da família das neurotrofinas e que é necessária para o crescimento, sobrevivência e diferenciação de muitos neurônios (DINOFF et al., 2017), o que ocorre principalmente após o exercício aeróbico em uma intensidade específica (HWANG et al., 2016; WALSH; TSCHAKOVSKY, 2018), pelo aumento do fluxo sanguíneo cerebral e o estresse oxidativo (BORROR, 2017). Os mecanismos neurofisiológicos propostos subjacentes aos benefícios cognitivos do exercício agudo incluem aumentos nos níveis de excitação e catecolamina (CHANG et al., 2012). Esses mecanismos estão principalmente associados ao funcionamento do córtex pré-frontal, o que pode explicar porque as funções executivas parecem se beneficiar mais do exercício do que outras funções cognitivas (HIURA; MIZUNO; FUJIMOTO, 2010; MCMORRIS; HALE, 2012).

Como explicam McMorris et al. em relação ao aumento de intensidade do exercício, as alterações fisiológicas acontecem durante e mesmo imediatamente antes do exercício, seja pela liberação de catecolaminas nas células neuronais, pela liberação de adrenalina e noradrenalina no sangue ou pela interação desses neuroquímicos com as catecolaminas no cérebro, resultando na inibição da sensação e percepção durante exercícios mais intensos (MCMORRIS et al., 2015). Possíveis mecanismos subjacentes através dos quais o exercício agudo pode influenciar a função de memória episódica, podem incluir a estimulação do nervo vago e do fuso muscular, alterações nos neurotransmissores, marcação e captura sináptica, associatividade e atenção induzindo a ativação neuronal nas estruturas pré-frontal e parietal para preservar a atenção de cima para baixo (LOPRINZI; PONCE; FRITH, 2018).

Além disso, foram observados aumentos no fluxo sanguíneo cerebral pela prática do exercício físico (SEIFERT; SECHER, 2011; SMITH et al., 2010). Alguns autores especulam que o exercício físico pode elevar a proporção do fluxo nas regiões pré-frontais do cérebro em comparação com outras áreas (VERBURGH et al., 2014). Contudo, não esteja claro se essas alterações são específicas de regiões cerebrais pré-frontais ou bastante globais, bem como se resultam dos benefícios cognitivos ligados à resposta hemodinâmica do cérebro ao exercício (MOZOLIC; HAYASAKA; LAURIENTI, 2010; PONTIFEX et al., 2018; SMITH et al., 2010), do aumento do fluxo sanguíneo cerebral regional com maior suprimento de oxigênio e da absorção pelo cérebro (MOZOLIC; HAYASAKA; LAURIENTI, 2010). Quando alterações hemodinâmicas corticais na área pré-frontal foram monitoradas com espectroscopia durante uma sessão aguda de exercícios de baixa intensidade, foi verificada ativação cortical adicional nas sub-regiões pré-frontais relacionadas à tarefa cognitiva (BYUN et al., 2014). No entanto, estudos que medem o fluxo sanguíneo cerebral após um período agudo de exercício são escassos, inconsistentes e muitas vezes consideram populações com características bastante específicas (MACINTOSH et al., 2014; PONTIFEX et al., 2018; SMITH et al., 2010; VERBURGH et al., 2014).

Por fim, o modelo de hipofrontalidade de ativação considera que quando um indivíduo executa uma habilidade motora grossa, como a corrida, ciclismo ou

natação, seu cérebro deve deslocar recursos metabólicos limitados, como a glicose, às estruturas neurais que sustentam o movimento, o que deixa menos recursos para outras regiões do cérebro, como regiões pré-frontais. Habilidades motoras automatizadas armazenadas em procedimentos de memória são geralmente executadas com o máximo eficiência, ou seja, baixo custo energético e baixo custo atencional. Essas ações são controladas pelo sistema implícito e não requerem controle executivo. Por esse modelo, uma tarefa cognitiva complexa durante uma sessão de exercícios físicos que exija grandes recursos metabólicos pode ter o desempenho afetado (DIETRICH; AUDIFFREN, 2011). Há poucos anos, dois estudos de ressonância magnética relataram aumentos na ativação das regiões parietal e hipocampo induzidos pelo exercício físico (CHEN et al., 2016) e aumentos e diminuições na ativação nas regiões frontais durante o desempenho da memória de trabalho, avaliado por uma tarefa de regressão numérica (LI et al., 2014).

2.4 Influência da hora do dia

Os desempenhos fisiológicos e neurobiológicos dependem dos ritmos biológicos do corpo humano e isso também é conhecido como ritmo circadiano (SEO et al., 2013). Nos seres humanos, o núcleo supraquiasmático, localizado no hipotálamo, recebe informações diretas da retina sobre o ciclo solar. Essa estrutura cerebral opera como um relógio biológico e como um marcapasso que mantém todas as funções fisiológicas sincronizadas internamente (MOORE, 2013). Essas informações são usadas pelo sistema nervoso central para coordenar ritmos biológicos diários, secreção hormonal, flutuação da temperatura corporal e ativação neural, de acordo com o tempo solar e o ciclo sono-vigília (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011). Muitos organismos ajustam seu ritmo circadiano ao ciclo ambiental natural de 24 horas por meio de sincronizadores, como o ciclo claro-escuro, o ciclo da temperatura, o ciclo de alimentação e o ciclo de estímulo social (GOLOMBEK; ROSENSTEIN, 2010).

Existem efeitos do horário do dia sobre variáveis fisiológicas durante o exercício físico dependendo da sua duração, tipo e características do indivíduo (SEO

et al., 2013). As variáveis psicofisiológicas mostram picos máximos em diferentes momentos do dia, o que pode ter impactos positivos ou efeitos negativos no desempenho esportivo (THUN et al., 2015). No geral, muito poucos estudos foram capazes de medir vários elementos do desempenho cognitivo e físico simultaneamente, além disso, o ciclo circadiano raramente é levado em consideração, sugerindo a necessidade de investigar como várias medidas de desempenho são afetadas pela hora do dia (FACER-CHILDS; BOILING; BALANOS, 2018).

2.4.1 Sobre o exercício físico

Muitos cientistas investigaram diferentes tipos de exercícios, durações e intensidades no treinamento físico realizado em diferentes momentos do dia (SEO et al., 2013). A temperatura corporal é geralmente considerada o principal indicador endógeno do ritmo circadiano inato de indivíduos. Estudos anteriores observaram associação positiva dessa variável com o desempenho atlético, principalmente com atividades físicas de curta duração (THUN et al., 2015). O ritmo circadiano da temperatura corporal pode explicar parcialmente, mas não totalmente, as variações diurnas no desempenho máximo de força e potência muscular, por exemplo, onde a maioria dos autores propôs origens multifatoriais (SOUISSI et al., 2012). O treinamento físico de curta duração, que melhora o metabolismo anabólico, pode ser influenciado por vários fatores, sendo um deles também o horário do dia em que é realizado (SEO et al., 2013). As variações diurnas ou circadianas em exercícios de alta intensidade e curta duração variam de 3 a 21,2%, dependendo da população testada, dos grupos musculares envolvidos, e do desenho experimental da investigação (SOUISSI et al., 2012). O controle cardiovascular é prejudicado pela manhã em comparação com outros horários do dia, o que pode indicar que a reatividade da pressão arterial ao estresse é elevada pela manhã em comparação com a tarde (DUNN; TAYLOR, 2014). Quanto a isso, há variação diurna significativa na hipotensão pós-exercício em uma sessão aguda de exercício aeróbico, relatando reduções menos acentuadas na pressão arterial após o exercício da manhã em comparação com a tarde (DUNN; TAYLOR, 2014).

As adaptações ao treinamento são maiores na hora do dia em que é realizado regularmente do que em outros momentos (SOUISSI et al., 2012). Comparado ao exercício noturno, o exercício matinal produziu efeitos mais benéficos no desempenho anaeróbico após 6 semanas de treinamento resistido (SOUISSI et al., 2012). Chtourou et al. observaram que o desempenho muscular, determinado pelos testes de uma repetição, salto vertical e teste de Wingate, foi significativamente maior em indivíduos que treinavam pela manhã do que os que treinavam pela noite (CHTOUROU et al., 2012). Em contraponto, Edwards et al. mostraram que a força de preensão, flexão isocinética do joelho, pico de potência e torque eram melhores à noite do que pela manhã (EDWARDS et al., 2013). Também o tempo para concluir um teste de ciclismo contra-relógio (FERNANDES et al., 2014) com menor fadiga muscular (LERICOLLAIS et al., 2011) é menor à noite do que pela manhã. Diferenças modestas da manhã à noite na captação máxima de oxigênio, capacidade anaeróbica e cinética da captação de oxigênio se confundem para produzir um desempenho significativamente mais longo à noite do que pela manhã (HILL, 2014). Em relação ao recrutamento muscular, Chtourou et al. mediram a atividade eletromiográfica em participantes que realizaram o teste de Wingate, e não observaram diferenças significativas na atividade muscular durante os 30 segundos de exercício entre a manhã e a noite (CHTOUROU et al., 2011).

Por considerações práticas, os atletas que precisam competir em um determinado horário do dia podem ser aconselhados a coincidir as horas de treinamento com a hora do dia em que o desempenho será requerido. Se isso for impraticável, o programa de treinamento de resistência deve ser programado pela manhã para minimizar o efeito da hora do dia nos desempenhos físicos (SOUISSI et al., 2012). As diferenças relatadas entre os exercícios realizados pela manhã e pela noite sugerem que esses fatores devem ser considerados por cientistas, treinadores e atletas (SEO et al., 2013).

2.4.2 Sobre respostas cognitivas

O desempenho cognitivo de humanos em geral aumenta durante o dia e diminui durante a noite (VALDEZ, 2019). O tempo de reação, por exemplo, se correlaciona com o ritmo circadiano da temperatura corporal, de tal forma que o desempenho aumenta quando a temperatura corporal é mais alta e diminui quando a temperatura é mais baixa (WATERHOUSE, 2010). Porém, muitos estudos documentaram variações homeostáticas e circadianas em estado de alerta, usando tarefas pouco exigentes, como uma simples tarefa de reação (GOEL et al., 2013). A temperatura da pele mostra flutuações espontâneas ao longo do dia e já foram negativamente associadas a variações na velocidade de resposta cognitiva, portanto, do ponto de vista aplicado, especialmente a avaliação proximal da temperatura da pele pode ser útil no monitoramento da atenção (ROMEIJN; VAN SOMEREN, 2011). As principais alterações observadas são variações no tempo de reação ao longo do dia, como menor latência de resposta durante o dia e maior durante a noite (VALDEZ, 2019). Para uma pessoa que geralmente dorme das 23:00h às 07:00h e tem um cronotipo misto, os níveis de atenção melhoram entre 10:00h e 14:00h, mas depois diminuem até às 16h, e retomam melhores índices entre 16:00h às 22:00h, diminuindo novamente até a manhã seguinte (VALDEZ, 2019). Variações circadianas na inibição e flexibilidade cognitiva foram observadas por meio de tarefas do tipo Stroop, com menores valores por volta de 04:00h às 07:00h da manhã (GARCÍA et al., 2012). As oscilações da memória de trabalho se correlacionaram com o ritmo circadiano da temperatura corporal central, com um atraso de fase de 1 a 3 h, o que pode explicar as variações observadas durante o dia em tarefas como compreensão de leitura e aprendizado verbal (VALDEZ, 2019). Foi relatado que a precisão é melhor durante a manhã, juntamente com medidas como o controle motor fino e memória de curto prazo (FACER-CHILDS; BOILING; BALANOS, 2018). Contudo, a hora do dia influencia a variabilidade nas respostas cognitivas (ISKANDAR et al., 2016), mas o efeito ainda não é bem conhecido (CHANG et al., 2012; FACER-CHILDS; BOILING; BALANOS, 2018).

Os efeitos benéficos do exercício agudo no funcionamento executivo podem ser devidos a alterações na excitação, possivelmente moduladas pelos níveis

séricos de cortisol (TSAI et al., 2014). Os níveis de cortisol circulante variam muito ao longo do dia, assim como os níveis de melatonina (ADAN et al., 2012; REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011). O cortisol mostra maiores valores durante o dia enquanto a melatonina a noite (JAMES; CERMAKIAN; BOIVIN, 2007). Em uma situação de estresse, o cortisol é liberado pelo córtex adrenal e permite que o corpo continue em alerta máximo (THAU; SHARMA, 2020). A melatonina é um importante hormônio que ajuda no controle do sono e está associado a baixo desempenho cognitivo, quando em altos níveis (LOK et al., 2019). Porém, a exposição prolongada ao cortisol pode ser menos relevante para a cognição em adultos jovens e de meia idade do que se pensava anteriormente. As principais dimensões de memória, raciocínio indutivo, velocidade de processamento e os principais aspectos do funcionamento executivo, não foram significativamente relacionados aos níveis de cortisol circulante (MCLENNAN et al., 2016).

2.5 Fatores adicionais

2.5.1 Fadiga

A fadiga pode ser instigada por vários mecanismos, variando do acúmulo de metabólitos nas fibras musculares à geração de um comando motor inadequado no córtex (ENOKA; DUCHATEAU, 2008). Sabe-se que a fadiga prejudica o desempenho cognitivo, mas ainda não está claro se os estressores comuns ao sistema neuromuscular afetam o desempenho cognitivo da mesma forma (FOGT; KALNS; MICHAEL, 2010). Durante o exercício exaustivo há uma aparente diminuição da atenção da resposta, implicando que a fadiga, desempenho e atenção são interdependentes (ITAGI et al., 2018). A fadiga muscular parece ter um efeito sobre as funções cognitivas, pela relação entre a intensidade, a duração da atividade física e a função cognitiva (ABD-ELFATTAH; ABDELAZEIM; ELSHENNAWY, 2015). O exercício até a exaustão induz um declínio temporário no controle inibitório, pela desregulação autonômica cardíaca, hemodinâmica cerebral e consciência corporal, decorrentes de alterações na intensidade do exercício (DA

SILVA et al., 2017). Quando participantes completaram as tarefas cognitivas antes e após um exercício incremental até a exaustão a oxigenação pré-frontal mostrou correlação negativa com a função executiva após o final da sessão (SUDO et al., 2017). Moore et al. perceberam que ao se exercitar por um longo tempo em intensidade alta indivíduos treinados apresentaram decréscimos significativos no desempenho em tarefas complexas que envolviam discriminação perceptiva em comparação com os participantes que descansaram. O tempo de resposta também foi mais lento. No entanto, os efeitos da fadiga induzida pelo exercício podem ser específicos à tarefa, com maiores efeitos nas tarefas perceptivas, que envolvem processamento relativamente automático, em comparação com tarefas baseadas na memória (MOORE et al., 2012).

Por outro lado, a fadiga mental, resultante de períodos prolongados de atividade cognitiva exigente, prejudica o desempenho do exercício de resistência e o desempenho de algumas tarefas específicas do esporte. A aplicação de tais pesquisas no ambiente esportivo de elite, no entanto, é limitada (RUSSELL et al., 2019). A fadiga cognitiva afeta o desempenho físico subsequente ao induzir a depleção de energia no cérebro, depleção de neurotransmissores de catecolamina ou alterações na motivação (MCMORRIS et al., 2018a). A sensação de fadiga incorpora uma classificação elevada de esforço percebido durante tarefas submáximas, devido a uma combinação de entradas periféricas e superiores do sistema nervoso central (KNICKER et al., 2011).

2.5.2 Idade

Sabe-se que o funcionamento executivo difere entre as faixas etárias, pois há melhorias da infância para a adolescência, e perdas na terceira idade. o tamanho do efeito agudo de uma sessão de exercício sobre o funcionamento executivo ao longo da vida se assemelha a uma curva em forma de U invertido, o que indica menor desempenho nas tarefas de função executiva em crianças e adultos mais velhos que em adultos jovens (LUDYGA et al., 2016). Melhorias neste domínio cognitivo após uma única sessão de exercícios aeróbicos são consistentemente

encontrados em crianças (VERBURGH et al., 2014) e idosos (ALVES et al., 2012), enquanto a falta de alterações no tempo de reação ou precisão nas tarefas da função executiva é mais frequentemente relatada entre adultos jovens (LI et al., 2014; WANG et al., 2015). Porém, Labelle et al. sugerem que a idade parece não ter uma grande influência na relação entre exercício agudo e cognição (LABELLE et al., 2014). Independentemente da idade, a função cognitiva ligada a rápidas respostas acertadas é aprimorada durante o exercício (LUCAS et al., 2012).

Resultados de uma meta-análise apoiam o papel moderador da idade nos efeitos do exercício agudo na cognição. Os autores relataram que jovens adolescentes, em particular, e idosos melhoraram mais nas tarefas cognitivas após o exercício do que outros grupos etários (CHANG et al., 2012). Por outro lado, resultados de 19 estudos não suportam diferenças relacionadas à idade no tamanho do efeito relacionado com benefícios agudos do exercício em funções executivas em crianças, adolescentes e adultos jovens (VERBURGH et al., 2014). Em indivíduos saudáveis, a maioria dos testes apontam maior precisão envolvendo medidas de atenção, e maior variabilidade nos tempos de reação (LUDYGA et al., 2016).

Há escassez de meta-análises sobre a relação entre o exercício físico e cognição em adultos jovens e de meia idade. Vários estudos investigaram os efeitos da atividade física sobre cognição ao longo da vida adulta, mas as amostras foram ponderadas em adultos mais velhos ou incluíram indivíduos com distúrbios clínicos diversos. Dos poucos estudos relatados, os resultados foram variados para os efeitos da atividade física de intensidade moderada à vigorosa sobre a cognição, indicando a necessidade de pesquisas adicionais durante a idade jovem e média (ERICKSON et al., 2019).

2.5.3 Sexo

Em geral, mulheres tendem a ter tempos de reação mais lentos do que homens, mas sem diferenças no desempenho atencional (GRISSOM; REYES, 2019). Mulheres cometem mais erros por omissão, enquanto os homens por um

comportamento impulsivo, mas o tamanho do efeito dessas diferenças é bastante pequeno (GRISSOM; REYES, 2019). Já com respeito a resposta aguda ao exercício, uma revisão sistemática examinou funções executivas, memória episódica, função visuoespacial, fluência de palavras, velocidade de processamento e função cognitiva global quanto ao exercício e os efeitos dependentes do sexo. Os resultados sugeriram que os processos executivos em mulheres podem se beneficiar mais do exercício do que em homens. São discutidos possíveis mecanismos subjacentes, incluindo o papel do fator neurotrófico derivado do cérebro e de hormônios esteroides sexuais (BARHA et al., 2017). Reforçando esse achado, um estudo anterior com seis meses de exercício aeróbico de alta intensidade encontrou efeitos específicos do sexo na cognição, com melhora do desempenho em vários testes da função executiva apenas para as mulheres (BAKER et al., 2010). No entanto, recentemente, meta-análises abrangentes sobre diferenças de sexo e gênero para muitas tarefas cognitivas e testes psicológicos identificaram praticamente nenhuma ou apenas pequenas diferenças (HYDE, 2016; JÄNCKE, 2018).

Análises neurofuncionais demonstram redes consistentes de memória de trabalho funcionando da mesma forma nos dois sexos, mas também fornecem evidências para redes específicas, nas quais as mulheres ativam consistentemente estruturas mais límbicas e estruturas pré-frontais, e os homens ativam uma rede distribuída inclusive de regiões mais parietais (HILL; LAIRD; ROBINSON, 2014). Componentes individuais das funções executivas podem ser aprimorados em um sexo em relação a outro, mas não há vantagem sistemática. Esses efeitos dependem muito mais da modalidade de teste e dos parâmetros testados do que do sexo, sugerindo que diferenças aparentes nas habilidades nas funções executivas podem de fato refletir diferentes estratégias empregadas em cada sexo quando confrontadas com um desafio ou situação ambígua (GRISSOM; REYES, 2019).

2.5.4 Cronotipo

O cronotipo reflete o padrão de preferências de uma pessoa (VALDEZ, 2019), uma predisposição característica de um indivíduo em relação à manhã ou noite, e geralmente é avaliado usando questionários de auto avaliação (VITALE; WEYDAHL, 2017). O questionário mais utilizado é o “*Morningness – Eveningness Questionnaire (MEQ)*”, que identifica até três cronotipos diferentes, matutinos (tipos manhã), vespertinos (tipos noite) e neutros ou mistos (nenhum dos tipos) (HORNE; OSTBERG, 1976). A auto avaliação fornece informações confiáveis que distinguem estes cronotipos (LOUREIRO; GARCIA-MARQUES, 2015). Mudanças dos ritmos circadianos podem produzir dificuldades para aprender ou resolver os testes cognitivos à noite para matutinos e pela manhã para os vespertinos (VALDEZ, 2019). Foi observado que os indivíduos vespertinos obtêm escores mais baixos, em comparação com matutinos, quando testes foram aplicados no início do dia (VAN DER VINNE et al., 2015).

Estudos que investigam os ritmos circadianos das funções fisiológicas em repouso e após o exercício físico e buscam estabelecer seu possível efeito na variação diurna do desempenho esportivo tem atraído a atenção de diversos grupos de pesquisa. A variação circadiana significativa observada para o desempenho esportivo poderia ser mais provavelmente explicada pela alteração do movimento iônico e pela flutuação diurna de homocisteína, lactato, dano muscular, e marcadores antioxidantes (AMMAR; CHTOUROU; SOUISSI, 2017). Aqueles com cronotipo matutino ficam menos fadigados na primeira parte do dia do que os vespertinos, além disso, mostram melhor desempenho atlético, medido pelo tempo de corrida, pela manhã (VITALE; WEYDAHL, 2017). Kunorozva et al observaram que ciclistas com cronotipo matutino percebem que a mesma carga de intensidade relativa é mais difícil à noite em comparação com a manhã em resposta a uma sessão padronizada de exercícios (KUNOROZVA; RODEN; RAE, 2014).

Bonatto et al investigaram a influência da classificação do cronotipo na concentração de cortisol salivar em relação a uma sessão aguda de exercício intervalado de alta intensidade realizada em diferentes momentos do dia. Os tipos vespertinos mostraram um pico matinal mais alto de cortisol salivar em relação aos

tipos matutinos ao realizar um intenso no início da manhã, e produziram maiores concentrações de cortisol salivar após a interrupção do exercício. Aplicações práticas sugerem que é cada vez mais importante para os profissionais do exercício identificar a compatibilidade entre a hora do dia para o exercício e o cronotipo, de forma a encontrar o tempo circadiano favorável ao indivíduo para realizar um exercício intenso (BONATO et al., 2017).

2.5.5 Sono

A regulação homeostática do sono e do desempenho cognitivo refere-se ao fato de que, depois de dormir bem, as pessoas acordam alertas e ativas, mas, à medida que o dia avança, as pessoas relatam sentir-se menos alertas, sendo que no final do dia, a sonolência aumenta e eles adormecem (VALDEZ, 2019) muito pelo aumento da melatonina circulante (ADAN et al., 2012; REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011). O sono e o exercício físico influenciam-se mutuamente. A atividade física é geralmente considerada benéfica para ajudar no sono, embora essa ligação possa estar sujeita a vários fatores moderadores, como sexo, idade, nível de condicionamento físico, qualidade do sono e as características do exercício como intensidade, duração, hora do dia e ambiente (CHENNAOUI et al., 2015). O estado de alerta aumenta depois que a pessoa dorme eficientemente novamente (VALDEZ, 2019).

Claramente, a pressão do sono pode exercer uma forte influência no desempenho cognitivo, mas a influência da modulação circadiana do estado de alerta e função cognitiva é evidente mesmo quando a pressão para o sono é alta (REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011). A regulação circadiana do sono e do desempenho cognitivo refere-se ao ciclo de quase 24 horas presente no estado de alerta e sonolência. Durante o dia o estado de alerta é alto e a sonolência é baixa, enquanto o oposto ocorre durante a noite. Durante a noite a temperatura corporal central e a atividade cerebral diminuem, o que induz uma redução no processamento cognitivo que a pessoa interpreta como uma sensação de sonolência (VALDEZ, 2019). Evidências sugerem que o exercício agudo ou

contínuo, associado à privação do sono, tem efeito negativo no desempenho cognitivo (SLUTSKY et al., 2017).

O desalinhamento circadiano é a base de todos os distúrbios do sono no ritmo circadiano (REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011). Quando as pessoas não dormem bem, elas se sentem menos alertas e sofrem um aumento da sonolência diurna (CHENNAOUI et al., 2015). Uma única noite sem sono já prejudica o desempenho cognitivo (FOGT; KALNS; MICHAEL, 2010). Um estudo avaliou que o efeito do exercício agudo no desempenho cognitivo após a privação do sono afetou negativamente a vigilância (SLUTSKY et al., 2017). Quanto maior a privação do sono, maior a deterioração da execução em tarefas cognitivas ao longo do dia (VALDEZ, 2019). Esses distúrbios são frequentemente associados a prejuízos no desempenho cognitivo que podem ter efeitos adversos no desempenho escolar e profissional, qualidade de vida geral e segurança (REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011). Os distúrbios do sono também podem prejudicar o desempenho cognitivo de uma pessoa ou sua capacidade de exercício durante a prática esportiva (CHENNAOUI et al., 2015).

2.5.6 Condicionamento físico

Diversos estudos tentam entender se o condicionamento físico poderia ser um fator de impacto sobre a função executiva em todas as idades (CHANG et al., 2012, 2015a; DROLLETTE et al., 2014; HOGAN et al., 2013; HUANG et al., 2015). Sabe-se que uma maior aptidão aeróbica está relacionada a um melhor desempenho em diversas tarefas de controle executivo (HUANG et al., 2015). Poucos estudos abordaram o possível papel moderador do condicionamento físico nos efeitos do exercício agudo sobre funções cognitivas superiores. Hogan et al. relataram um tempo de reação mais lento, mas com maior precisão no desempenho executivo tarefas funcionais após o exercício em crianças sedentárias (HOGAN et al., 2013). O resultados de Chang et al. também apoiam um papel moderador do condicionamento físico, porque idosos com condicionamento físico elevado mostraram mais melhorias na função executiva após o exercício do que sedentários

(CHANG et al., 2015a). Por outro lado, os resultados de uma meta-análise anterior não confirmam que um efeito agudo de exercício aeróbico sobre algumas funções cognitivas são influenciadas pelo nível de condicionamento físico do participante (CHANG et al., 2012).

Os efeitos do teto, ou seja, de ter um alto nível de condicionamento, onde a intensidade do exercício físico seria melhor administrada e poderia diminuir a indução de benefícios na função executiva, assim pessoas com baixa aptidão aeróbica ou baixo desempenho cognitivo podem se beneficiar mais do exercício do que indivíduos de alto nível (DROLLETTE et al., 2014). Indivíduos com altos níveis de condicionamento físico podem melhorar a cognição, de forma aguda, com durações mais longas de exercício (CHANG et al., 2015a). Durante o exercício, indivíduos com pouco condicionamento quando comparados com condicionados mostram instabilidade no desempenho em uma tarefa de inibição pela alta variabilidade nos tempos de respostas corretas (LABELLE et al., 2013). Por outro lado, esses indivíduos com menor nível de condicionamento podem receber efeitos cognitivos benéficos do exercício agudo de menor duração (CHANG et al., 2015a).

2.5.7 Variação térmica corporal

O desempenho dos sistemas fisiológicos varia de acordo como ritmo circadiano (SEO et al., 2013). Informações coletadas na retina sobre o ciclo solar ajudam a mantêm todas as funções fisiológicas sincronizadas (MOORE, 2013). Assim o sistema nervoso central coordena a flutuação da temperatura corporal (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011). O ciclo da temperatura corporal oscila durante 24 horas do dia (GOLOMBEK; ROSENSTEIN, 2010).

Durante a noite a temperatura corporal central e a atividade cerebral diminuem, o que induz uma redução no processamento cognitivo que a pessoa interpreta como uma sensação de sonolência (VALDEZ, 2019). O desempenho no tempo de reação aumenta quando a temperatura corporal é mais alta, geralmente ao final do dia e início da noite e diminui quando a temperatura é mais baixa, à noite (WATERHOUSE, 2010). Essas flutuações espontâneas da temperatura da pele ao

longo do dia já foram negativamente associadas a variações na velocidade de resposta cognitiva (ROMEIJN; VAN SOMEREN, 2011). As oscilações da memória de trabalho se correlacionaram com o ritmo circadiano da temperatura corporal central, o que pode explicar as variações observadas durante o dia em tarefas como compreensão de leitura e aprendizado verbal (VALDEZ, 2019).

Um aumento na temperatura corporal, aumento por consequência a temperatura da pele que pode ser determinada pela termografia (EGGENBERGER et al., 2018), o que poderia ajudar a explicar diferenças no desempenho cognitivo mesmo em repouso (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011; WATERHOUSE, 2010).

2.6 Análise crítica da literatura

Com base nesta revisão de literatura, que revelou descobertas importantes a cerca do efeito agudo do exercício físico e a influência da hora do dia sobre respostas cognitivas, podemos encaminhar alguns pontos importantes sobre o tema que ainda estão sem uma resposta conclusiva. A variação da intensidade do exercício acima do nível moderado, onde foram encontrados os melhores resultados sobre a cognição durante a execução da sessão, pode propor um efeito agudo sobre respostas cognitivas após o final do exercício? A hora do dia influencia esse suposto efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas? Uma dupla tarefa combinada com o exercício moderado pode gerar um efeito agudo diferente sobre a cognição?

3 MÉTODOS

Neste capítulo descrevemos os procedimentos experimentais conduzidos nos três estudos que desenvolvemos para responder as perguntas propostas nesta tese. Os instrumentos, procedimentos e abordagem para as coletas de dados serão descritas, para que depois os resultados de cada experimento específico sejam apresentados.

3.1 Participantes

Considerando os três experimentos, foram avaliados 67 homens, de 18 a 56 anos de idade, que se auto consideraram saudáveis, recrutados na comunidade local. As médias de idade, massa corporal, estatura e características específicas dos participantes estão descritos em cada grupo de estudo dos experimentos.

3.2 Princípios éticos

Os participantes de todos os experimentos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido em que concordavam em participar deste estudo, de acordo com a Declaração de Helsinque e de acordo com as recomendações do comitê de ética da Universidade Federal do Pampa, onde este projeto foi aprovado (CAAE 79951917.9.0000.5323) (Apêndice B).

3.3 Variáveis de interesse do estudo

Tabela 1 - Variáveis teóricas e operacionais para cada experimento.

Experimento	Variável teórica	Variável operacional
1	Nível de condicionamento	Potência máxima individual normalizada
	Percepção de esforço	Escala de Borg e frequência cardíaca
	Resposta cognitiva	Tempo de reação simples e atenção seletiva
	Memória	Memorização e recordação
2	Cronotipo individual	<i>Morningness - Eveningness Questionnaire</i>
	Capacidade de salto	Potência e altura do salto vertical
	Variação térmica corporal	Temperatura da pele
	Resposta cognitiva	Tempo de reação simples e atenção seletiva
3	Cronotipo individual	<i>Morningness - Eveningness Questionnaire</i>
	Qualidade do sono	Índice de qualidade do sono de Pittsburgh
	Humor	Escala de Humor de Brunel
	Percepção de esforço	Escala de Borg e frequência cardíaca
	Resposta cognitiva	Tempo de reação simples e atenção seletiva
	Memória	Memorização e recordação

Fonte: Próprio autor.

Os detalhes das variáveis operacionais (Tabela 1) estão descritos nos procedimentos de cada experimento e nos instrumentos utilizados.

3.4 Experimento I: Efeitos agudos de diferentes intensidades do exercício cíclico nas respostas cognitivas

Grupo de estudo

Neste experimento participaram vinte homens, ciclistas amadores competitivos de estrada e / ou *mountain bike* (PRIEGO QUESADA et al., 2018) com idade média (desvio padrão) de 41 (9) anos, massa corporal 78 (11) kg e estatura 173 (8) cm, que foram recrutados das equipes locais de ciclismo da comunidade e se auto referiam como saudáveis. Antes de iniciar a participação, eles responderam a um questionário de anamnese e também sobre o sono da noite anterior (Apêndice A). Atendendo todos os critérios, foram incluídos no estudo.

Procedimentos

A Figura 1 ilustra o desenho experimental do estudo. Em resumo, os participantes visitaram o laboratório quatro vezes com 48 horas de intervalo entre as visitas. Na primeira visita, cada participante realizou um teste incremental máximo em um cicloergômetro para verificar a capacidade aeróbica máxima, determinada pela potência máxima individual (PMI) em exercício incremental. Nesse teste o exercício começou com um aquecimento de 10 minutos com carga entre 50 W e 100 W e então, a partir de 100W, eram adicionados consecutivos incrementos de 25 W a cada minuto até que o participante não conseguisse sustentar o exercício com uma cadência acima de 70 rpm. Nas três visitas seguintes, cada participante pedalou nas intensidades de 60%, 80% e 95% da PMI, e cadência média de pedalada de 90 rpm. A ordem das intensidades foi randomizada para cada participante.

Para todas as intensidades, cada sessão começou com um aquecimento de 10 minutos entre 50 e 100 W de potência. Nos 3 minutos seguintes, a carga de trabalho foi gradualmente aumentada na forma de rampa para a intensidade desejada, fosse ela de 60%, 80% ou 95% da PMI. Quando a carga de trabalho desejada fosse atingida, o exercício era mantido até a exaustão voluntária ou até um teto de tempo máximo de 60 minutos. A exaustão foi determinada quando o ciclista

não era mais capaz de sustentar a cadência de pedalada acima de 70 rpm ou relatou que não era mais capaz de manter o exercício. A percepção de esforço (PSE) também foi monitorada pela escala de Borg e pela frequência cardíaca (FC) e registradas continuamente durante as sessões de exercícios. Incentivo verbal foi usado durante todos os testes.

Antes e imediatamente após cada uma das sessões de exercício no cicloergômetro os participantes completaram uma bateria de testes para variáveis de resposta cognitiva e memória.

A resposta cognitiva considera os resultados obtidos pelos testes de Tempo de Reação Simples (TRS) e Atenção Seletiva (AS) utilizando um Software para testes cognitivos. Para o TRS, os participantes foram orientados a permanecer em silêncio e concentrados, sentados de forma ajustada no cicloergômetro com as mãos apoiadas no guidão sobre os dispositivos de botões para responder aos testes (Figura 2a). Cada participante deveria responder individualmente a qualquer tipo de estímulo visual que surgisse na tela do computador, posicionada 1 metro à sua frente ao nível dos olhos, o mais rápido possível, acionando com o dedo indicador um dos botões do referido dispositivo de medida, dependendo do experimento. A diferença de tempo entre a apresentação do referido estímulo na tela e o acionamento do botão de resposta indicou cada TRS. Cada sessão de teste contava com 10 estímulos. Para determinar a AS o mesmo dispositivo foi utilizado (Figura 2a). O teste foi baseado em uma tarefa de *Stroop* de cores e palavras, adaptado para computador. O estímulo visual se referiu à congruência ou incongruência entre a grafia e cor. Por exemplo, a palavra “VERDE” escrita na cor verde significava congruência e o interruptor deveria ser pressionado com o dedo indicador esquerdo. No entanto de a palavra “VERDE” estivesse escrita em qualquer outra cor, significava incongruência e o interruptor deveria ser pressionado com o dedo indicador direito. A diferença de tempo entre a apresentação do referido estímulo na tela, congruente ou incongruente, e o acionamento do botão da resposta correta indicou a AS. Respostas erradas não foram consideradas. As palavras foram apresentadas aleatoriamente na tela. Os estímulos foram apresentados aleatoriamente em intervalos de até 2000 ms. As cores dos caracteres e palavras utilizados como estímulo foram amarelo, azul, vermelho e verde com fundo preto, no idioma português. Cada sessão de teste contava com 10 estímulos sendo 5

congruentes e 5 incongruentes. Antes de cada teste, um sinal de alerta era apresentado na tela.

A Memória (MEM) foi avaliada usando uma tarefa de sequência de dígitos numéricos, apresentados em uma tela de computador enquanto o participante permanecia em posição confortável (Figura 2b). Primeiramente, um número aleatório era apresentado por 2 segundos. Ao desaparecer o participante deveria repeti-lo verbalmente. Após 10 segundos o mesmo número reaparecia por 2 segundos e na sequência outro, por mais 2 segundos, ao desaparecer o participante deveria repeti-los sequencialmente. A mesma dinâmica se repetia posteriormente, com a sequência numérica anterior acrescida de mais um número ao final. O teste era encerrado quando o participante cometia algum erro na verbalização da sequência numérica, não conseguia verbalizar ou desistia. O número máximo de algarismos numéricos recordados era registrado. Posteriormente as sessões de intervenção em momentos específicos de acordo com o experimento, foi requisitado que o participante recordasse e repetisse em voz alta a sequência numérica apresentada anteriormente. O número de algarismos recordados era registrado. O valor de MEM foi definido como o percentual de números recordados em relação à tarefa de memorização.

Todos os testes cognitivos foram realizados em um ambiente com temperatura e ruído controlados. Os resultados foram comparados antes e após o exercício nas diferentes sessões de pedalada.

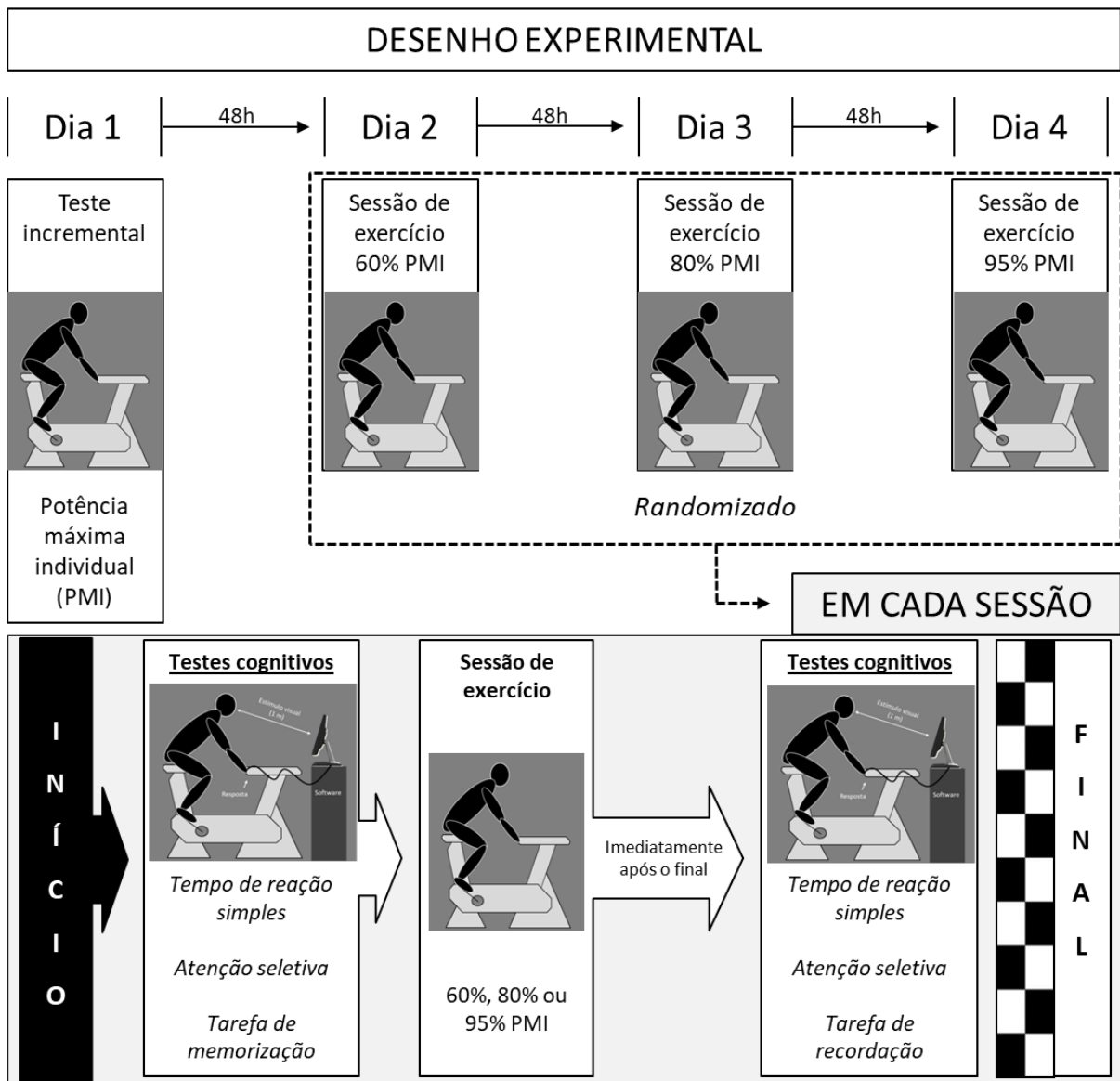
Processamento e análise dos dados

Para as comparações e correlações, a potência máxima individual (PMI) foi normalizada pela massa da cada participante, denominada potência máxima individual normalizada (PMIN) expressa em Watts por quilograma (W/kg).

A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. A média e o desvio padrão foram determinados para cada variável. Além disso, o coeficiente de variação foi determinado pela razão entre o desvio padrão e a média. Os principais efeitos e interações considerando as comparações entre as condições de repouso, e de suas médias com as diferentes intensidades (60%, 80%

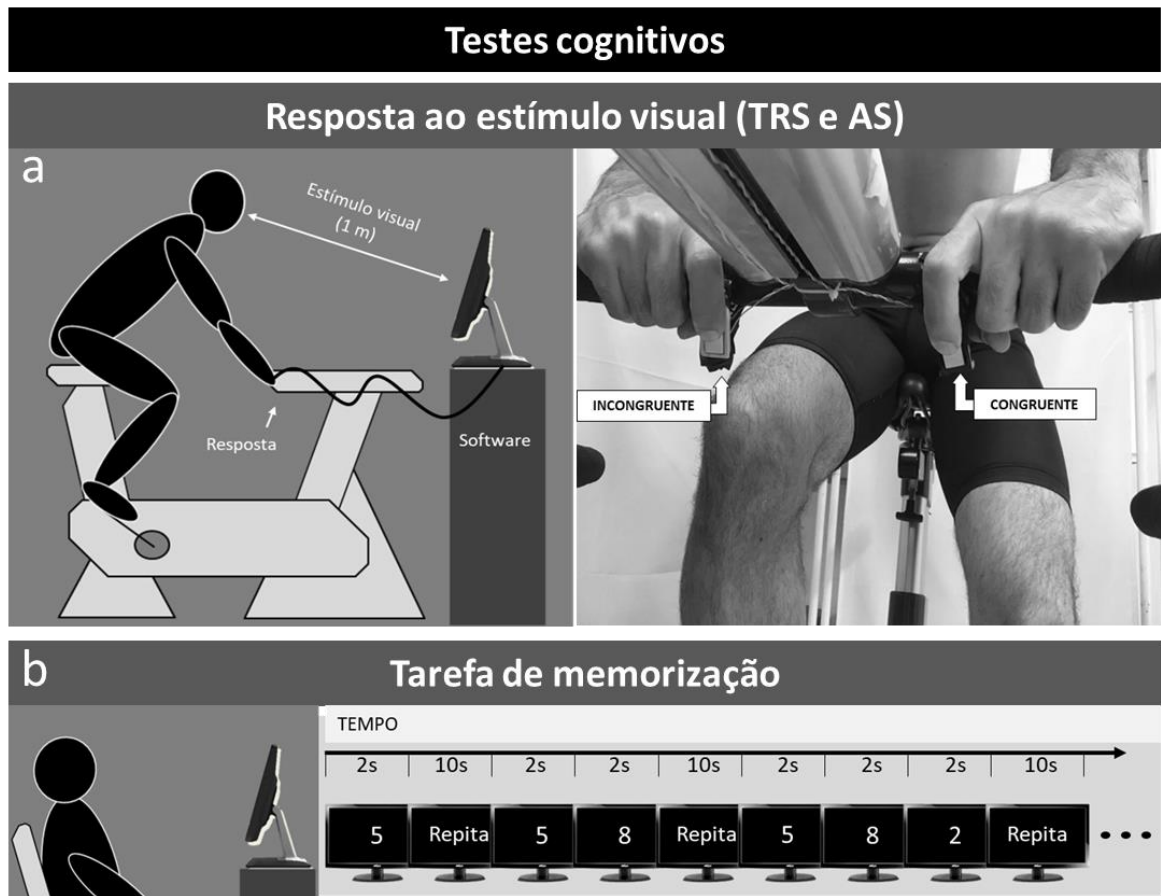
e 95% PMI) foram verificados por meio de ANOVAs. Quando uma diferença entre as sessões foi observada, comparações pareadas foram admitidas usando Tukey post-hoc. Para verificar correlações entre as principais variáveis cognitivas com o PMIN foi utilizado o teste de Pearson. O nível de significância foi de $p < 0,05$.

Figura 1 - Ilustração do desenho experimental do estudo I. PMI: potência máxima individual.



Fonte: Próprio autor.

Figura 2 – Ilustração dos dispositivos no guidão do cicloergômetro e posicionamento do participante para responder aos testes cognitivos. a) tempo de reação simples (TRS) e atenção seletiva (AS); b) tarefa de memorização. m=metro; s=segundos.



Fonte: Próprio autor.

3.5 Experimento II: Influência da hora do dia nos efeitos agudos do exercício de alta intensidade e curta duração no desempenho cognitivo em pessoas com diferentes cronotipos

Grupo de estudo

Os voluntários neste experimento foram 26 homens, com idade entre 18 e 35 anos, residentes na comunidade local, que se autodeclararam saudáveis. Eles responderam ao questionário de anamnese. Dois participantes relataram restrições

de sono na noite anterior antes de uma das sessões de teste e foram excluídos. Dados de 24 participantes foram incluídos nas análises (média (desvio padrão) da idade de 24 (5) anos, massa corporal de 75 (10) kg e estatura 1,74 (0,05) m).

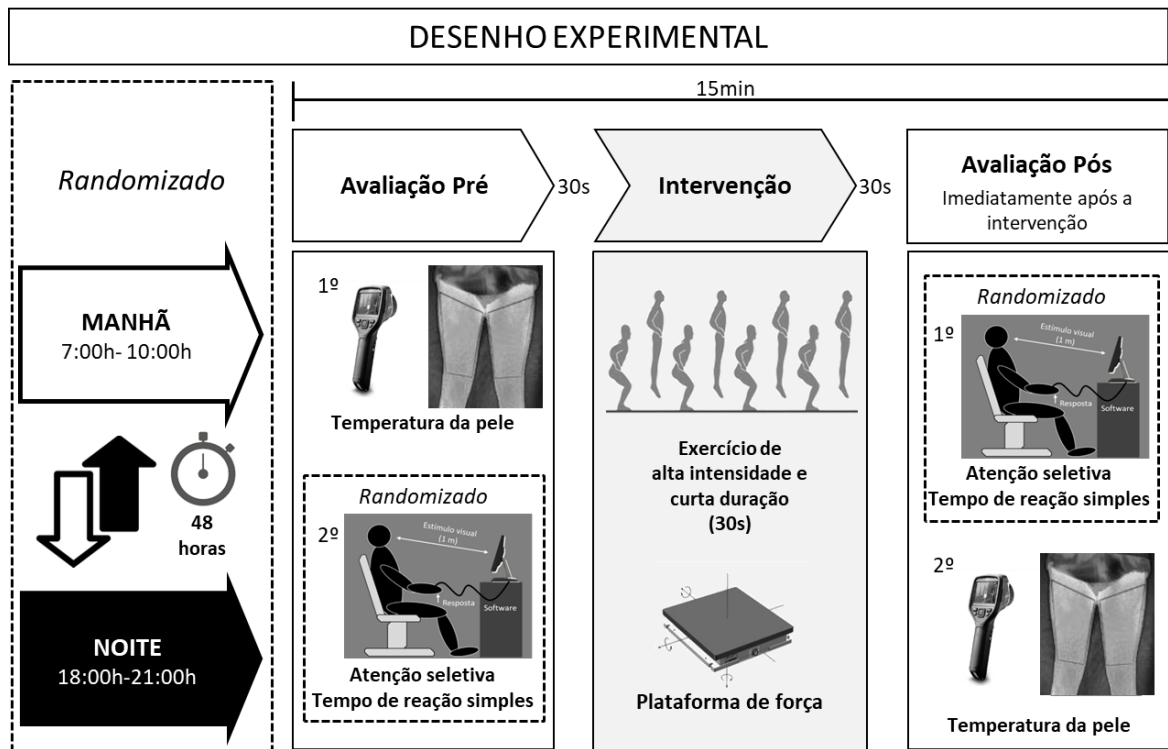
Procedimentos

A Figura 3 ilustra a abordagem experimental usada nesta pesquisa. Cada participante visitou o laboratório duas vezes, com 48 horas de intervalo entre as visitas. Uma vez pela manhã, entre 7:00h e 10:00h, e outra à noite, entre 18:00h e 21:00h. A primeira visita foi alternada entre manhã e noite para os participantes e também serviu para a aplicação do questionário de anamnese e determinação do cronotipo individual usando o *Morningness - Eveningness Questionnaire* (MEQ). Para a visita da manhã, eles deveriam reportar, para a noite anterior, pelo menos 5 horas de sono. Para a visita noturna, eles não poderiam ter dormido durante o dia. Em cada visita, os participantes realizaram uma sessão de exercícios de alta intensidade e curta duração.

O exercício consistiu em uma série de saltos verticais máximos com contramovimento, realizados de maneira contínua, durante 30 segundos. Os participantes foram orientados a saltar sempre o mais alto possível sem interrupções no movimento, com as mãos colocadas na cintura (DAL PUPO et al., 2014). Durante o exercício, a capacidade de salto (potência do salto vertical (PSV) e altura do salto vertical (ASV)) foi monitorada a partir da plataforma de força posicionada no nível do solo. Os participantes foram orientados a realizar o salto bilateralmente, o mais alto possível, a partir da posição ereta, mantendo os joelhos em extensão, com as mãos fixas no quadril, para evitar auxílio inercial dos membros superiores. Inicialmente faziam um movimento de flexão dos joelhos e quadril, seguido de uma troca rápida de direção, aproveitando a energia do ciclo alongamento-encurtamento, através da extensão dos segmentos, procurando impulsionar o corpo para o alto, na vertical. O tronco deveria ser mantido ereto na fase aérea. Os dados brutos coletados foram processados, filtrados e deles foram extraídos valores de potência do salto vertical (PSV) e altura do salto vertical (ASV) por uma rotina matemática desenvolvida em ambiente *Matlab*. A PSV foi calculada de acordo com o produto da força de reação do solo e a velocidade na fase de propulsão do salto (LINTHORNE, 2001). Os dados de PSV foram normalizados pela massa corporal de cada participante. A ASV foi

determinada pela considerando a gravidade e o tempo da fase aérea do salto (BOSCO et al., 1982), com os resultados normalizados pela estatura individual dos participantes.

Figura 3 - Ilustração do desenho experimental do estudo II.



Fonte: Próprio autor.

Antes e logo após a sessão de exercício, os testes de resposta cognitiva envolvendo Tempo de reação simples (TRS) e Atenção seletiva (AS) foram aplicados utilizando um Software para testes cognitivos. Os mesmos procedimentos descritos no experimento I foram administrados, porém com o participante confortavelmente sentado em uma cadeira segurando com ambas as mãos um *Joystick* para responder as tarefas (Figura 4).

Figura 4 – Ilustração do dispositivo com Joystick e posicionamento do participante para responder aos testes cognitivos de tempo de reação simples (TRS) e atenção seletiva (AS). m=metro; s=segundos.



Fonte: Próprio autor.

Para controle, a variação térmica corporal foi verificada medindo a temperatura da pele nas regiões do corpo envolvidas no exercício de salto proposto foi determinada antes e imediatamente após o exercício, usando termografia infravermelha. A câmera infravermelha foi ligada 10 minutos antes de registrar as imagens para garantir a estabilização dos componentes eletrônicos. Todos os procedimentos recomendados em relação ao controle ambiental e à preparação dos participantes foram seguidos para minimizar os fatores de influência sobre a medição (PRIEGO QUESADA; KUNZLER; CARPES, 2017). A câmera foi colocada a 1 metro de distância do participante e fixada perpendicular à região de interesse do corpo (RIC) na região anterior e posterior da coxa. As imagens foram gravadas enquanto o participante estava de pé e vestindo apenas roupa íntima. Pele seca e não suada foi exigida na região do exercício antes do registro da imagem. Um painel antirreflexo foi colocado atrás do participante para minimizar os efeitos da radiação infravermelha refletida na parede. Cada RIC foi selecionado com área semelhante para todos os participantes e mensuração. Os dados de temperatura foram analisados considerando um fator de emissividade de 0,98 com um software comercial. A temperatura da pele foi determinada considerando a temperatura média

da área escolhida. As condições ambientais dos ensaios foram de 22 ± 1 °C e $60 \pm 10\%$ de umidade relativa do ar.

Processamento e análise dos dados

Os dados foram comparados entre pré e pós exercício e entre os diferentes horários do dia. A altura do salto foi normalizada pela estatura do participante e a potência do salto pela massa corporal individual. A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Média e desvio padrão foram calculados para cada variável. Além disso, o coeficiente de variação foi determinado pela razão entre o desvio padrão e a média do grupo. Os principais efeitos e interações considerando a condição do exercício (pré e pós) e a hora do dia (manhã e noite) foram verificados usando ANOVA no modelo linear geral para medidas repetidas. O desempenho do salto e temperatura da pele foram comparados entre condições e horas do dia por um teste t dependente. Foi usado o teste de correlação de Pearson para verificar correlações entre as variáveis independentes (cronotipo) e dependentes (TRS e SA) em duas condições (pré-exercício e pós-exercício) para os momentos da manhã e da noite. O tamanho do efeito f^2 de Cohen [$f^2 = \eta^2p / (1 - \eta^2p)$] foi calculado para quantificar as diferenças entre as condições do exercício e entre as horas do dia (COHEN, 1988). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

3.6 Experimento III: Efeito de uma sessão de exercício prolongado, combinado ou não com uma dupla tarefa, nas respostas cognitivas agudas

Grupo de estudo

Vinte e três homens, universitários jovens, estudantes da área de ciências da saúde, com média (desvio padrão) de idade de 23 (4) anos, massa corporal de 83 (20) kg e estatura de 1,78 (0,05) m, participaram do estudo. Todos eram residentes na comunidade local, e se autodeclararam saudáveis.

Procedimentos

A Figura 5 ilustra o desenho experimental do estudo. Cada participante visitou o laboratório três vezes, com um mínimo de 48 horas de intervalo entre as visitas. Todas as avaliações foram realizadas no período da noite, entre 18:00h e 22:00h. No primeiro dia, antes do experimento, os participantes responderam aos questionários de anamnese, *Morningness - Eveningness Questionnaire* (MEQ), e do Índice de qualidade do sono e humor de Brumel. Em cada visita, um protocolo diferente foi testado, de maneira randomizada:

- Sessão Exercício (EXE): O participante realizava um exercício em intensidade moderada, no cicloergômetro, por 30 minutos.

- Sessão Exercício Combinado (COMB): O participante realizava um exercício em intensidade moderada combinada com uma dupla tarefa cognitiva, no cicloergômetro, por 30 minutos.

- Sessão Repouso (REP): Sessão de controle onde o participante permanecia em repouso por 30 minutos.

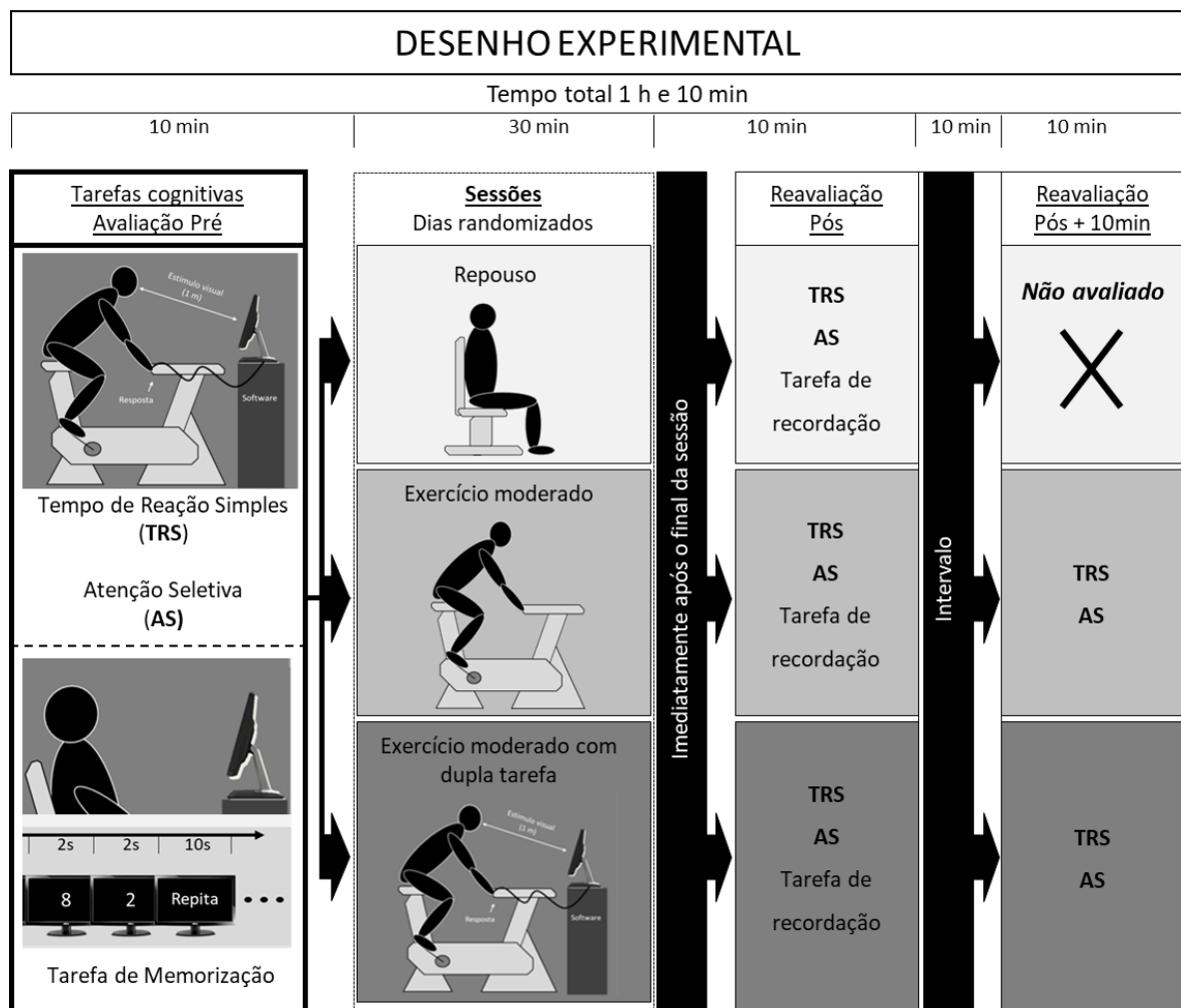
Os participantes relataram valores médios (desvio padrão) de horas dormidas na noite anterior às sessões de 7,48 (1,83), 7,26 (1,98) e 7,43 (1,65) horas para as sessões REP, EXE e COMB, respectivamente. Um tempo mínimo de 5 horas de sono era exigida para a realização dos testes.

Na sessão EXE, os participantes foram ajustados ao cicloergômetro de acordo com sua antropometria (SILBERMAN et al., 2005). Inicialmente os participantes realizavam um aquecimento de 5 minutos pedalando a 50 W mantendo uma cadência entre 70 e 80 rpm. Em seguida a carga era aumentada em forma da rampa até um valor de referência individual em *Watts*, que correspondia a 1,2 vezes a sua massa corporal (W/kg) (*índice obtido em experimento piloto*), e que deveria ser mantida por 30 minutos. A percepção de esforço (PSE) pela escala de Borg e frequência cardíaca (FC) foi monitorada a cada 3 minutos para o caso da intensidade exigir menos ou mais do que o esperado e deveria estar entre 11 e 14 na escala Borg (“Relativamente cansativo” ou “Um pouco cansativo”). A carga era corrigida para cima (+10 W) ou para baixo (-10 W) ao longo do exercício caso o participante indicasse um valor fora desta zona alvo. Era permitida a hidratação dos

participantes com água conforme desejassem durante as sessões, que foram realizadas em temperatura climatizada entre 20 e 23 graus Celsius.

Na sessão COMB o mesmo procedimento de exercício da sessão EXE foi executado. No entanto, ao mesmo tempo em que se exercitavam, os participantes tiveram que responder a uma dupla tarefa cognitiva envolvendo tomada de decisão. A tarefa tinha duração de 3 minutos com intervalo de 20 segundos, sendo repetida consecutivamente ao longo dos 30 minutos da sessão, utilizando o mesmo dispositivo ilustrado na figura 1 a. Eles foram orientados em manter a atenção no teste cognitivo até o fim do exercício, respondendo sempre o mais rápido possível. O desempenho e o percentual de erros na dupla tarefa foram medidos durante os 30 minutos da tarefa.

Figura 5 - Ilustração do desenho experimental do estudo III.



Antes, imediatamente após e 10 minutos após o final das sessões, os participantes completaram uma bateria de testes cognitivos para determinação das variáveis de tempo de reação simples (TRS), atenção seletiva (AS) e memória (MEM) (Figura 5) seguindo os mesmos procedimentos e dispositivos descritos no experimento I. Os resultados foram comparados entre os momentos nas diferentes sessões de EXE, COMB e REP.

Processamento e análise dos dados

A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. A média e o desvio padrão foram determinados para cada variável. Além disso, o coeficiente de variação foi determinado pela razão entre o desvio padrão e a média do grupo. Cada variável cognitiva (TRS, AS e MEM) foi comparada entre os três momentos (Pré, Pós e Pós 10 minutos) de cada sessão de avaliação por Anova One Way. Comparações de PSE e FC entre as sessões EXE e COMB nos momentos foram feitas com teste t pareado. Para verificar correlações entre as principais variáveis cognitivas com o cronotipo e índice de qualidade do sono foi utilizado o teste de Pearson. O nível de significância foi de 0,05.

3.7 Instrumentos de pesquisa

3.7.1 Questionários

Anamnese – Questionário com perguntas pessoais em relação a episódios de doenças, lesões, restrições motoras, daltonismo e observação do sono da noite anterior, além de ter espaço para registro de idade, massa corporal e estatura (Apêndice A).

Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) – Questionário traduzido livremente para o idioma português usado para determinar o cronotipo individual. Ele

possui 19 itens sobre preferências e hábitos diurnos e noturnos, e as opções de resposta incluem uma escala visual analógica e opções de escolha entre quatro ou cinco respostas. Uma pontuação final é atribuída definindo o cronotipo do indivíduo como do tipo matutino (preferência pela manhã), vespertino (preferência pela noite), ou misto (sem preferência), acordo com a referência original (HORNE; OSTBERG, 1976). Vide Anexo A.

Questionário de Índice de Qualidade do Sono de Pittsburgh (QIQS) – Questionário com 24 questões para auto-relato de acontecimentos do último mês e categorizadas em sete componentes, graduados em escores de zero (nenhuma dificuldade) a três (dificuldade grave), de acordo com a referência original (BUYSSE et al., 1989). Vide Anexo B.

Escala de Humor de Brunel (EHB) – Escala com 24 indicadores simples de humor, tais como as sensações de raiva, disposição, nervosismo e insatisfação que são perceptíveis pelo indivíduo que está sendo avaliado. Os avaliados respondem como se situam em relação às tais sensações, de acordo com a escala de 5 pontos. Os 24 itens da escala compõem seis subescalas: raiva, confusão mental, depressão, fadiga, tensão e vigor. Utiliza-se o valor de cada item com base no escore do teste e o resultado é representado em um gráfico, caracterizando o estado emocional atual do indivíduo (BRANDT et al., 2016). Vide Anexo C.

Escala de Borg (EB) – Escala visual para indicação da percepção de esforço pelo indivíduo durante o exercício. Tem um intervalo de 6 a 20, sendo 6 = nenhum esforço; 7 a 8 = muito fácil; 9 a 10 = fácil; 11 a 12 = relativamente cansativo; 13 a 14 = um pouco cansativo; 15 a 16 = cansativo; 17 a 18 = muito cansativo; 19 a 20 = esforço máximo (BORG, 1982). Vide Anexo D.

3.7.2 Equipamentos

Cicloergômetro – Simulador de ciclismo de alto desempenho (Excalibur Sport, Lode, Holanda) e que permite ajuste às características antropométricas do indivíduo, permitindo a manipulação da carga de trabalho e registrando o torque produzido, cadência e potência no ciclo de pedalada a cada dois graus de

deslocamento do pedivela. Utilizado nos experimentos para avaliar a potência máxima individual (PMI) nos testes incrementais e para simular testes submáximos de pedalada em ritmo e tempos específicos. Integrado a um monitor de frequência de batimentos cardíacos, marca FT1 (Polar, Finlândia), permite monitorar os batimentos cardíacos por minuto ao longo das sessões de exercícios (Anexo E).

Plataforma de força – instrumento biomecânico (AMTI OR6 2000, MA, EUA), instalado no nível do solo e que mede as forças e os momentos de reação do solo em três eixos. Utilizada nos experimentos para avaliar potência e altura de saltos verticais, amostrando dados na frequência de 500 Hz (Anexo F).

Câmera termográfica – Sistema de captura de informações de radiação infravermelha (FLIR Systems Inc. E-60, 320x240 pixels, Wilsonville, Oregon, EUA) com sensibilidade térmica $<0,05^{\circ}$ C e precisão de $\pm 2^{\circ}$ C ou 2%, sendo as imagens analisadas por um software comercial (Thermacam Researcher Pro 2.10, FLIR, Wilsonville, Oregon, EUA). Utilizada para avaliar a temperatura refletida pela pele (Anexo G).

Software para testes cognitivos – Software PsychoPy (PEIRCE, 2007) com código personalizado escrito em linguagem Python® que permite a medida exata das respostas motoras a estímulos visuais para quantificação do Tempo de Reação Simples (TRS) e Atenção Seletiva (AS). Os tempos de respostas de TRS e AS foram definidos pela diferença de tempo, em milissegundos, entre a apresentação do referido estímulo visual na tela do computador de 14" e a resposta dada com o pressionamento de interruptores adaptados ao guidão do cicloergômetro ou botões de um *Joystick* (Figuras 2 e 4). O programa registrou, calculou e armazenou cada tempo de resposta.

4 RESULTADOS

4.1 Experimento I

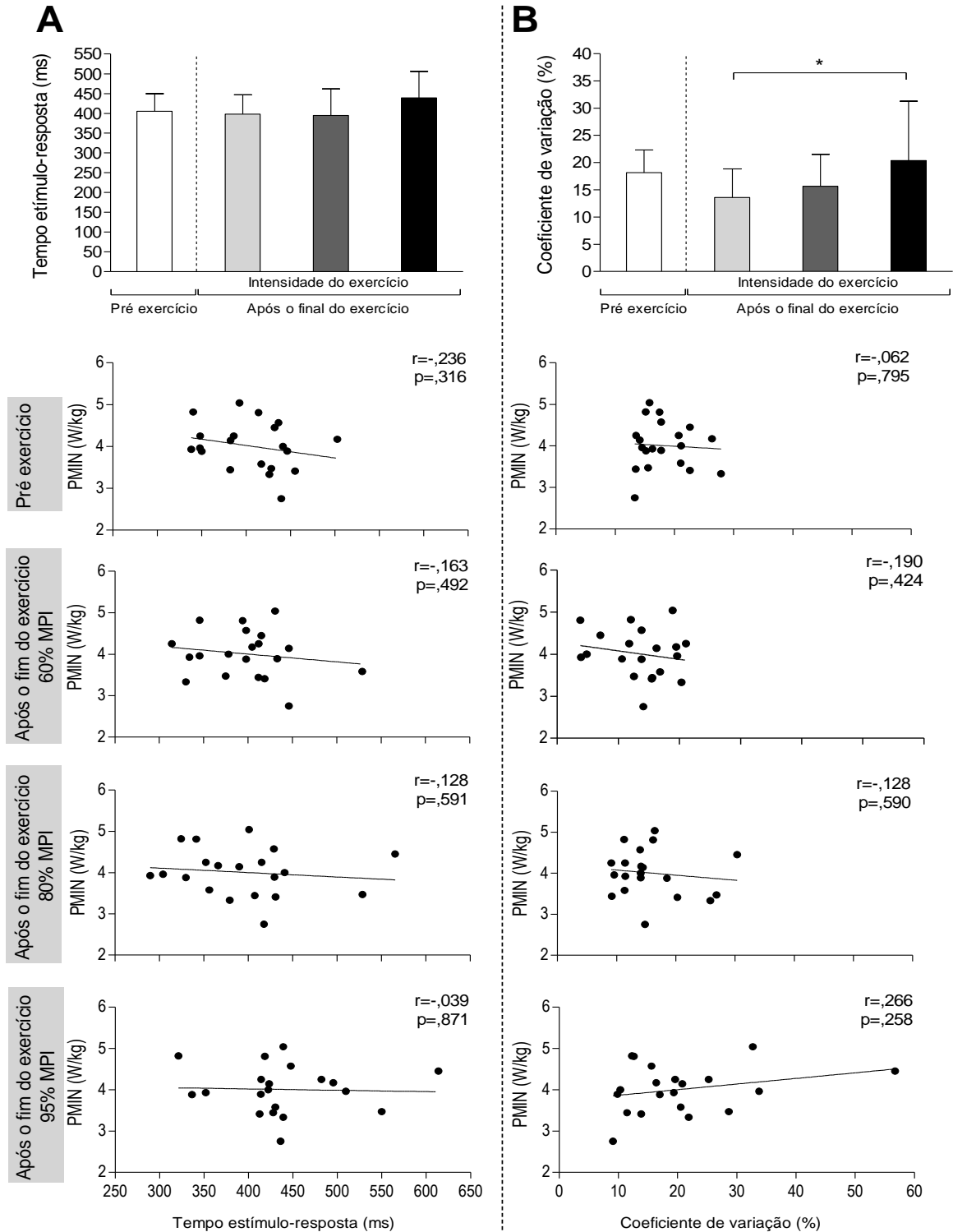
As diferentes intensidades do exercício não afetaram de forma aguda o tempo de reação simples (TRS) ($F=2,40$; $p=0,07$), mas a variabilidade no TRS foi maior após o exercício na intensidade mais alta (95% PMI) em comparação com a intensidade mais baixa (60% PMI) ($F=3,32$; $p=0,02$) (Figura 6). A maior intensidade melhorou o tempo de resposta na tarefas de AS em comparação com o basal ($F=2,84$; $p=0,04$, Figura 7), especialmente para respostas congruentes ($F=3,76$; $p=0,01$). A variabilidade ($F=1,65$; $p=0,18$) e o número de erros na tarefa de AS não foram influenciados pelas diferentes intensidades de exercício ($F=2,03$; $p=0,12$, Figura 7). A tarefa de recordação, envolvendo memória (MEM), não sofreu efeito agudo de nenhuma intensidade de exercício ($F=0,60$; $p=0,56$, Figura 8).

Não foi observada correlação significativa entre a potência máxima individual normalizada (P_{MIN}) e o desempenho nas tarefas cognitivas (SRT, SA e MEM) nas três sessões de exercício (Figuras 6, 7 e 8).

A frequência cardíaca (FC) máxima, observada no exercício incremental, foi de 182 (9) bpm. A FC foi menor na sessão a 60% MPI do que as outras intensidades ($F=6,70$, $p<0,01$ em 80% MPI e $p=0,03$ em 95% MPI, Tabela 2), mas a percepção do esforço (PSE) ao final dos exercícios não diferiu entre as intensidades ($F=0,895$; $p=0,41$, Tabela 2). A FC durante a realização dos testes cognitivos (após o final do exercício) não diferiu entre as sessões ($F=0,44$; $p=0,96$, Tabela 2). A carga de trabalho diferiu entre as sessões submáximas, como era esperado ($F=62,67$; $p<0,01$, Tabela 2), e a duração do exercício diminuiu com o aumento da intensidade ($F=177,30$; $p<0,01$, Tabela 2).

Figura 6 - Resultados do tempo de reação simples (SRT) do experimento I. A) A média de respostas e correlações entre PMIN (potência máxima individual normalizada pela massa corporal) e tempo de estímulo-resposta (na esquerda). **B)** O Coeficiente de variação (CV) das respostas intraindividuais e correlações entre PMIN e CV (na direita). MPI: potência máxima individual (W); ms: milissegundos; W/kg: Watts por quilograma. * Indica diferença significativa entre as condições; $p < 0,05$.

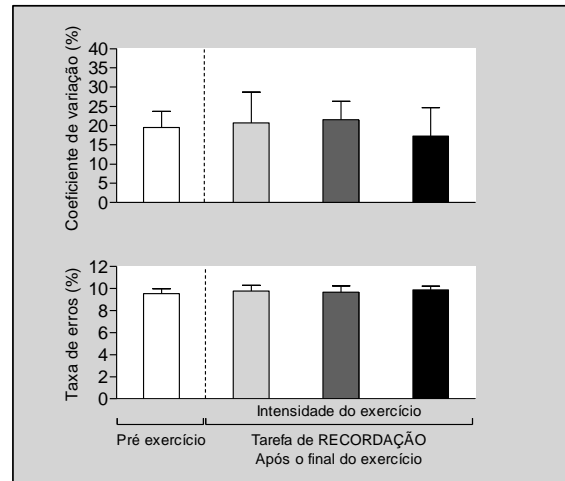
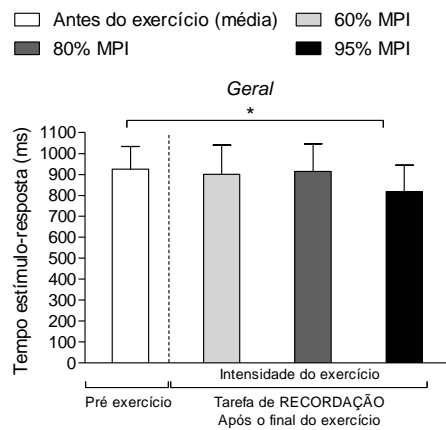
Antes do exercício (média)
 60% MPI
 80% MPI
 95% MPI



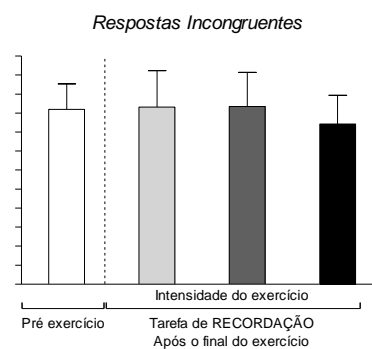
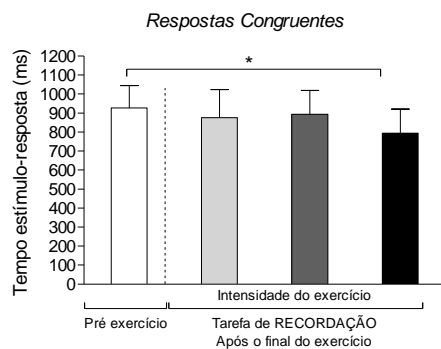
Fonte: Próprio autor.

Figura 7 - Resultados da atenção seletiva (AS) do experimento I. A) Tempo médio das respostas corretas. Na caixa sombreada o coeficiente de variação (CV) intraindividual e o número de erros na tarefa. **B)** Tempo médio das respostas corretas nas tentativas congruentes e incongruentes. **C)** Correlações entre PMIN (potência máxima individual normalizada pela massa corporal) e tempo de resposta ao estímulo. MPI: potência máxima individual (W); ms: milissegundos; W/kg: Watts por quilograma. * Indica diferença significativa entre as condições; $p < 0,05$.

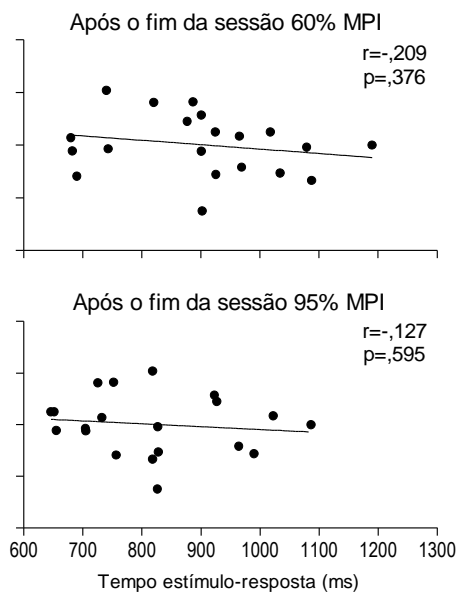
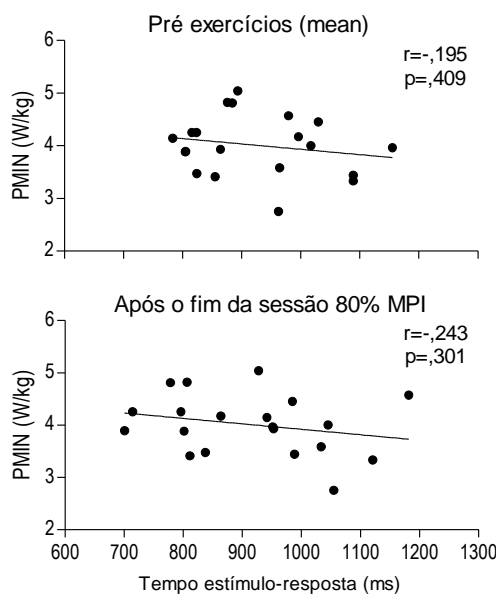
A



B

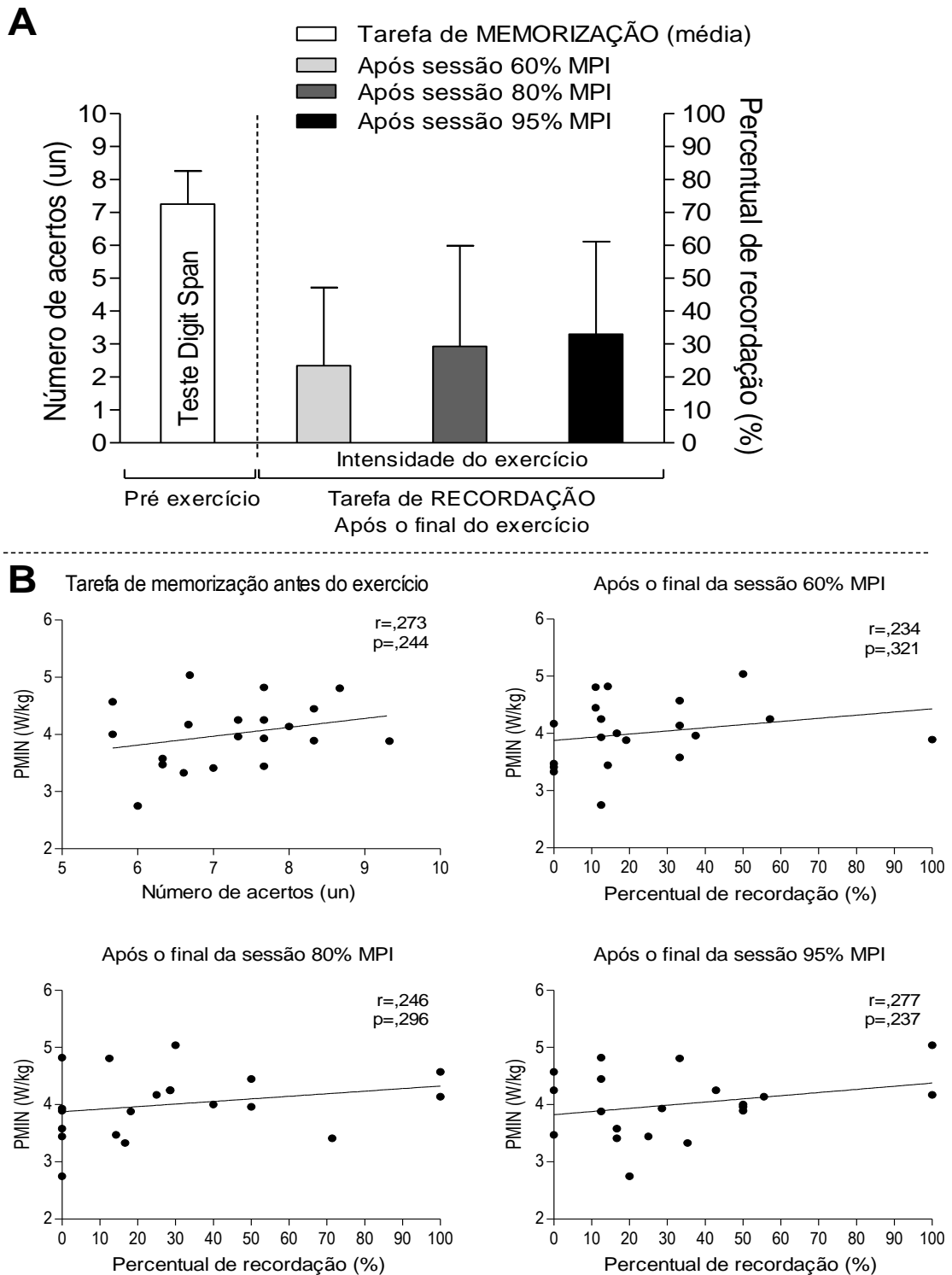


C



Fonte: Próprio autor.

Figura 8 - Resultados de memória (MEM) do experimento I. A) Média de números repetidos corretamente na tarefa de memorização antes das sessões (un) (na esquerda) e o percentual de recordação após cada sessão (%) (na direita). **B)** Correlações entre as performances da PMIN (potência máxima individual normalizada pela massa corporal) nas tarefas de memorização e recordação em cada intensidade. MPI: potência máxima individual (W); W/kg: Watts por quilograma. * indica diferença significativa entre as condições; $p < 0,05$.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 2. Valores médios (desvio padrão) de carga de trabalho submáxima, duração do exercício, frequência cardíaca (FC) e percepção de esforço (PSE) nas diferentes intensidades de esforço do experimento I. W: Watts, bpm: batimentos por minuto. MPI: potência máxima individual. * diferença significativa entre todas as intensidades do exercício, $p < 0,05$. # indica diferença significativa em comparação com 60% do MPI, $p < 0,05$.

Avaliações de Controle	60% MPI	80% MPI	95% MPI
Carga de trabalho submáxima (W)	189 (23)*	252 (31)*	299 (37)*
Duração do exercício (min)	49,6 (14,1)*	10,1 (3)*	3,5 (0,9)*
FC máxima (bpm)	170 (9)	179 (7)#	177 (10)#
FC após o final do exercício (bpm)	115 (10)	118 (10)	117 (9)
PSE (6-20)	17,8 (2)	18,6 (1,6)	18,3 (2,3)

Fonte: Próprio autor.

4.2 Experimento II

O desempenho de saltos verticais de alta intensidade e curta duração não afetou o tempo de reação simples (TRS) e sua variabilidade (Figura 9A). No entanto, teve um efeito agudo sobre a atenção seletiva (AS) ($F=10.699$; $p=0,003$; $f=0,68$), com uma diminuição de 8,5% nos tempos das respostas corretas após o exercício feito no turno da manhã e de 6,9% após o exercício no turno da noite (Figura 10A). A variabilidade da AS também diminuiu após o exercício ($F=4.550$; $p=0,044$; $f=0,44$), em 3,5% pela manhã e 2,6% à noite (Figura 10A).

A hora do dia mostrou influência sobre os resultados das tarefas cognitivas. Menores índices médios (melhor resultado) à noite foram encontrados para o TRS, que foi 5,6% mais rápido ($F=5,419$; $p=0,029$; $f=0,48$, Figura 9A), e para a AS, que foi 7,7% mais rápida ($F=5,528$; $p=0,028$; $f=0,49$, Figura 10A). Já a variabilidade não foi afetada pela hora do dia (Figuras 9A e 10A).

Os erros na tarefa de AS foram de 2,9% e 3,3% (pré e pós exercício, respectivamente) pela manhã e de 4,6% e 4,2% (pré e pós exercício, respectivamente) à noite, respectivamente, sem diferenças significativas ($t=-0,927$; $p=0,359$), assim como na variabilidade intraindividual entre as condições.

O cronotipo mostrou uma correlação inversa com o TRS. No turno da manhã, os indivíduos matutinos mostraram melhor TRS do que os vespertinos (Figura 9B). Todos os outros momentos não apresentaram nenhuma correlação significativa (Figuras 9B e 10B).

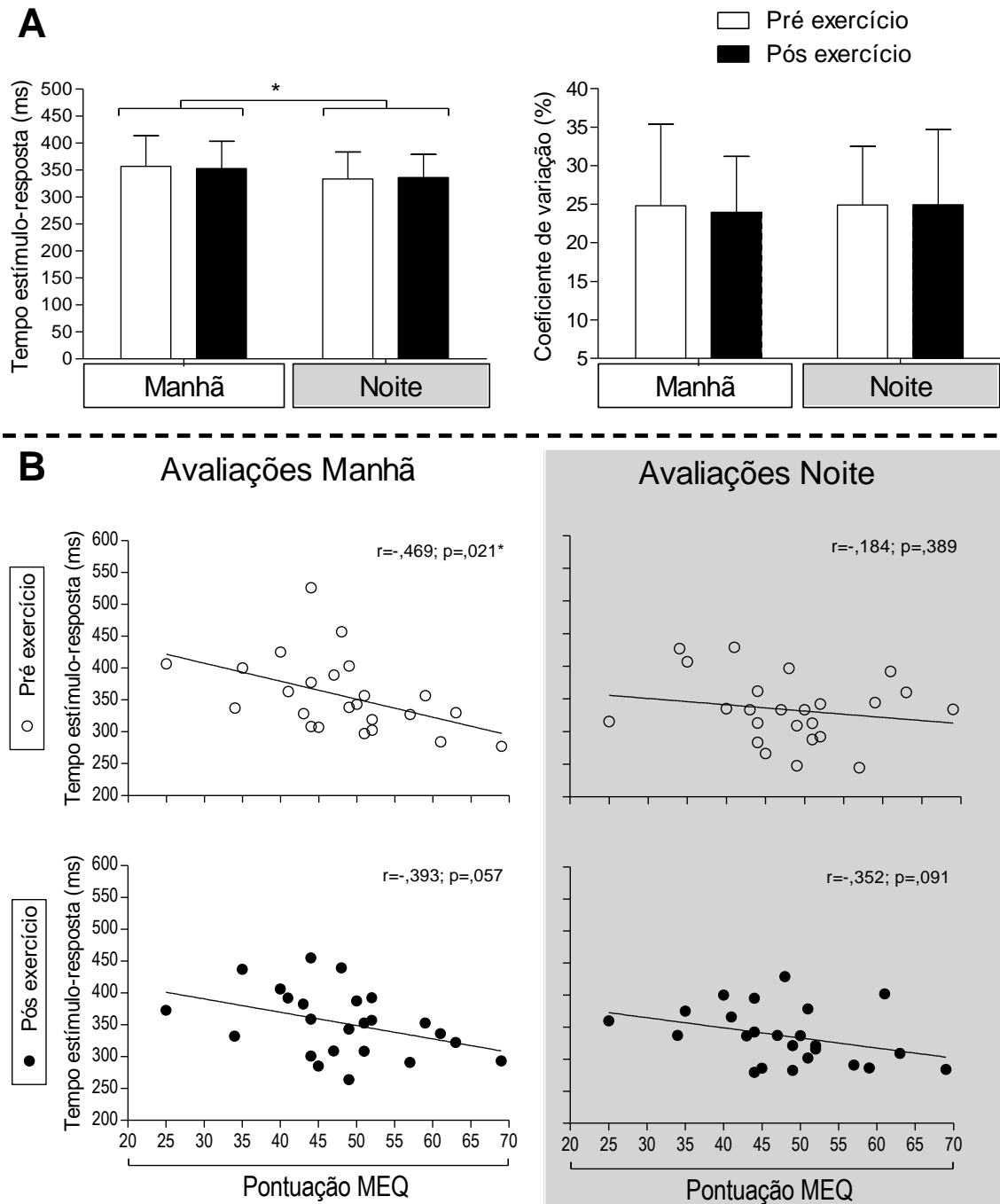
A temperatura da pele não sofreu efeito agudo do exercício ($F=0,455$; $p=0,507$ anterior da coxa; $F=3,424$; $p=0,077$ posterior da coxa) ou da hora do dia ($F=4,079$; $p=0,055$ anterior da coxa; $F=4,209$; $p=0,155$ posterior da coxa, Tabela 3). A altura do salto não diferiu entre manhã e a noite ($t=-0,825$; $p=0,418$, Tabela 3). Já a potência do salto foi maior à noite em comparação com a manhã ($t=-2,521$; $p=0,019$) (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios (desvio padrão) obtidos nos turnos da manhã e noite, da temperatura da pele na coxa anterior e posterior (antes e após o exercício), potência do salto e altura dos saltos durante o exercício do experimento II. °C: graus Celsius; W/kg: Watts por quilograma; %: Percentual normalizado pela estatura. * efeito da hora do dia; $p<0,05$.

	Manhã		Noite	
	<i>Pré exercício</i>	<i>Pós exercício</i>	<i>Pré exercício</i>	<i>Pós exercício</i>
Temperatura Anterior da coxa (°C)	31,3 (0,7)	31,4 (1,0)	31,9 (1,0)	31,7 (1,3)
Temperatura Posterior da coxa (°C)	31,9 (0,5)	31,8 (0,8)	32,4 (0,9)	32,1 (0,9)
Potência do salto (W/kg)	9,7 (1,2)		9,8 (1,4)*	
Altura do salto (%)	12,8 (2,1)		13,4 (2,1)	

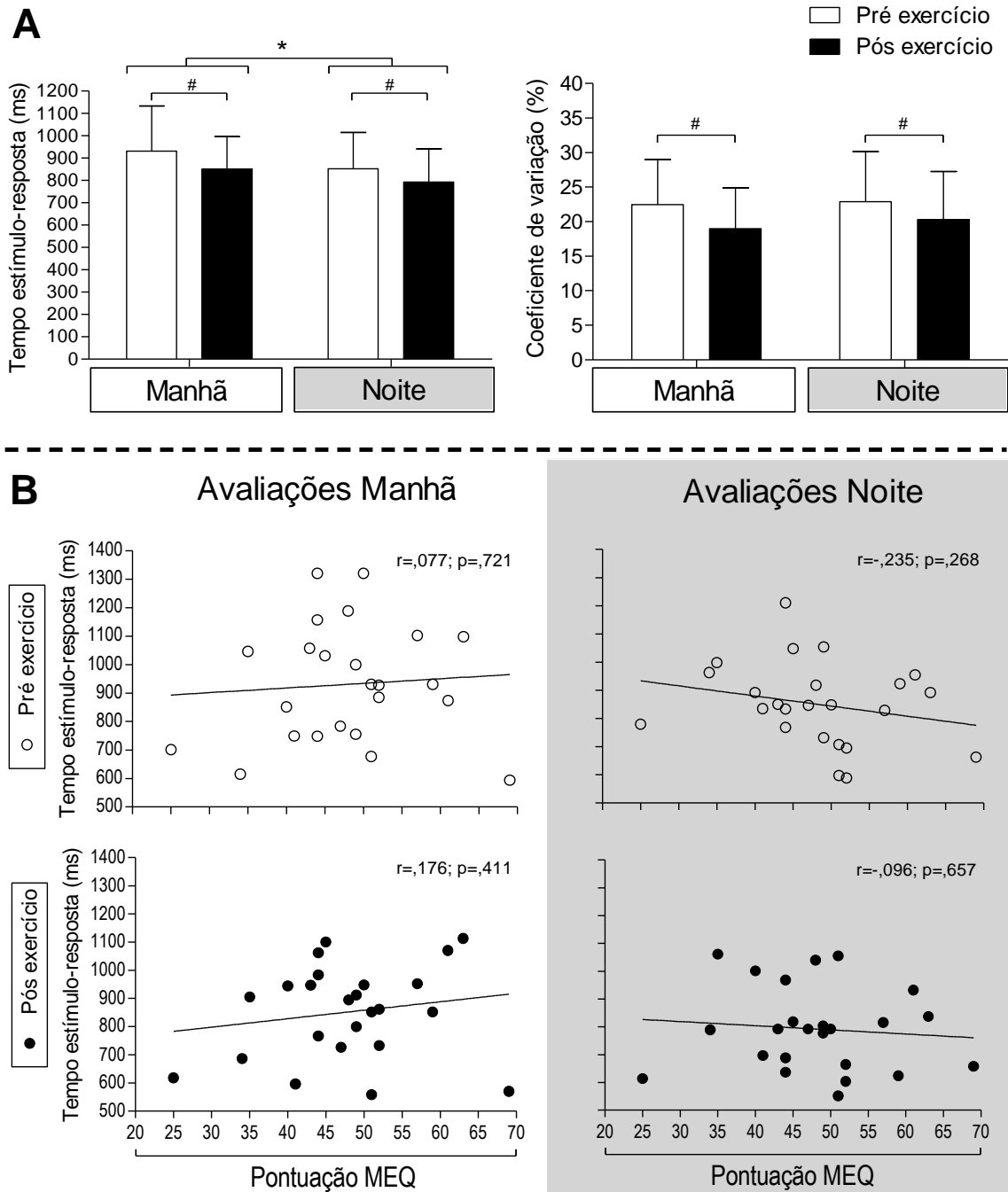
Fonte: Próprio autor.

Figura 9 – Resultado de tempo de reação simples (TRS) do experimento II. A) Tarefas cognitivas realizadas pela manhã e pela noite, antes (colunas brancas) e logo após o final do exercício (colunas pretas). Tempos médios das respostas em cada sessão e variabilidade individual (coeficiente de variação). **B)** Correlações com o cronotipo no Pré exercício (pontos brancos) e Após o exercício (pontos pretos), realizados pela manhã (na esquerda) e pela noite (na direita, hachurado). Nos eixos horizontais, a pontuação no Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) onde os valores mais baixos indicam indivíduos com cronotipo vespertino e os mais altos indicam indivíduos matutinos. ms: milissegundos. * indica efeito significativo $p < 0,05$.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 – Resultados de atenção seletiva (AS) do experimento II. A) Tarefas cognitivas realizadas pela manhã e noite, antes (colunas brancas) e logo depois do final do exercício (colunas pretas). Tempos médios das respostas corretas em cada sessão e variabilidade individual (coeficiente de variação). **B)** Correlações com o cronotipo no Pré exercício (pontos brancos) e Após o final do exercício (pontos pretos), realizados pela manhã (na esquerda) e pela noite (na direita, hachurado). Nos eixos horizontais, a pontuação no Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) onde os valores mais baixos indicam indivíduos com cronotipo vespertino e os mais altos indivíduos matutinos. ms: milissegundos. * e # indicam efeito significativo $p < 0,05$.



Fonte: Próprio autor.

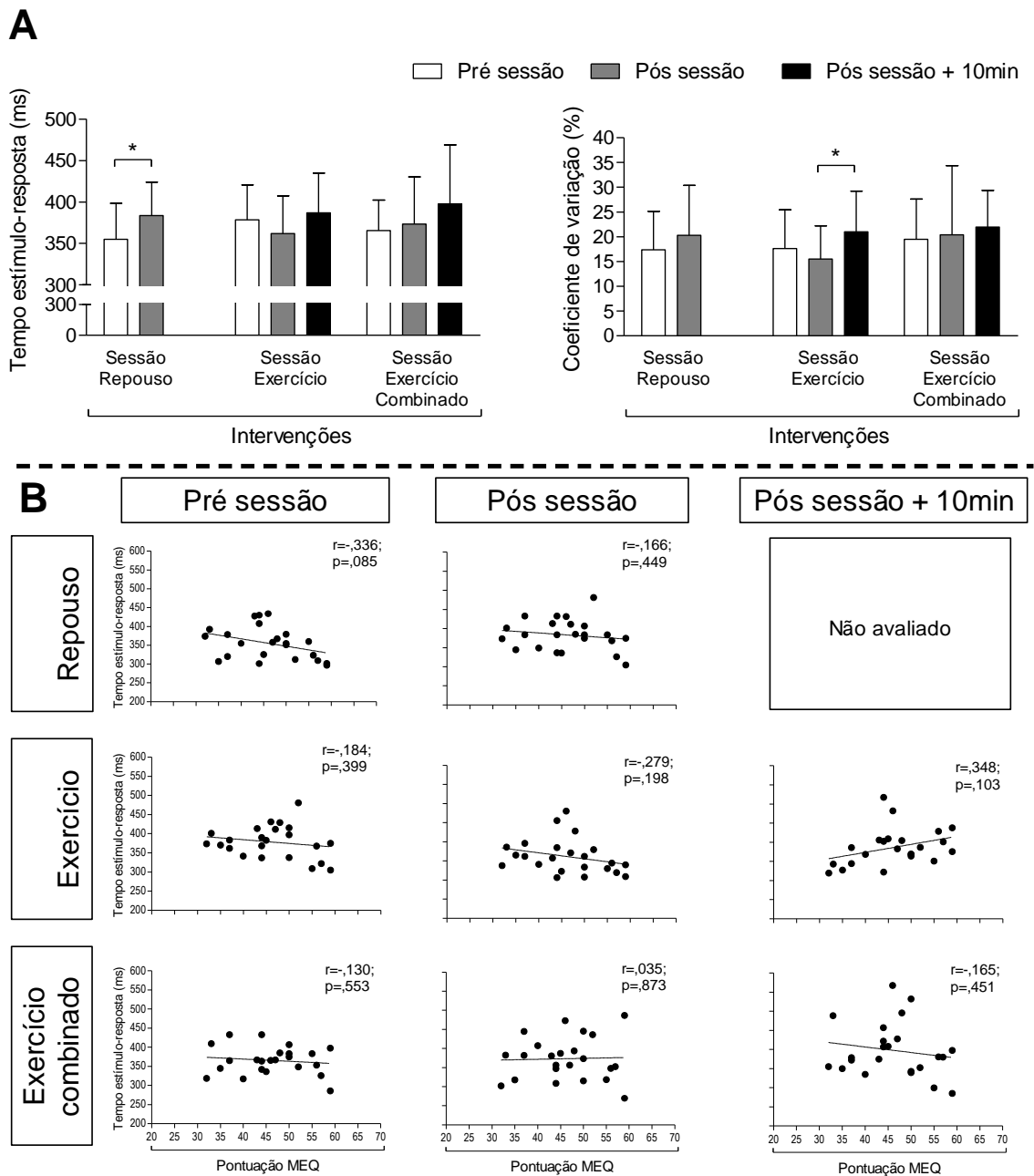
4.3 Experimento III

Não houve efeito agudo do exercício físico moderado sobre o tempo de reação simples (TRS), tanto nas sessões de exercício isolado (EXE) ($F=1,802$; $p=0,173$, Figura 11A) quanto exercício combinado com uma tarefa cognitiva (COMB) ($F=2,030$; $p=0,139$, Figura 11A). O período de 30 minutos em repouso (REP) piorou o TRS ($F=5,252$; $p=0,027$, Figura 11A). A variabilidade no TRS aumentou 10 minutos após o fim da sessão EXE ($F=3,012$; $p=0,046$, Figura 11A), sem diferenças nas condições de REP ($F=1,209$; $p=0,278$, Figura 11A) e COMB ($F=0,339$; $p=0,714$, Figura 11A). Não houve correlação significativa entre o TRS e o cronotipo, identificado pelo *Morning-Evening Questionnaire* (MEQ) nas diferentes sessões de exercício (Figura 11B).

Porém, o principal resultado deste experimento foi o efeito agudo do exercício físico moderado combinado com uma tarefa cognitiva (COMB). Esta sessão COMB resultou, após seu término, em menores tempos para respostas corretas na tarefa de atenção seletiva (AS) ($F=9,949$; $p=0,02$) imediatamente após ($p=0,008$) e por pelo menos 10 minutos após o término da sessão ($p=0,004$, Figura 12A). Esse efeito foi observado tanto para respostas congruentes ($F=10,175$; $p<0,001$) quanto para incongruentes ($F=3,163$; $p=0,049$), sem diferenças na variabilidade e número de erros (Figura 12A). Assim como para o TRS, o cronotipo não apresentou correlação significativa com os resultados de AS (Figura 12B). A variabilidade e o percentual de erro no desempenho da dupla tarefa cognitiva durante a sessão COMB, avaliada em 9 momentos (a cada ± 3 minutos), podem ser visualizadas na Figura 13.

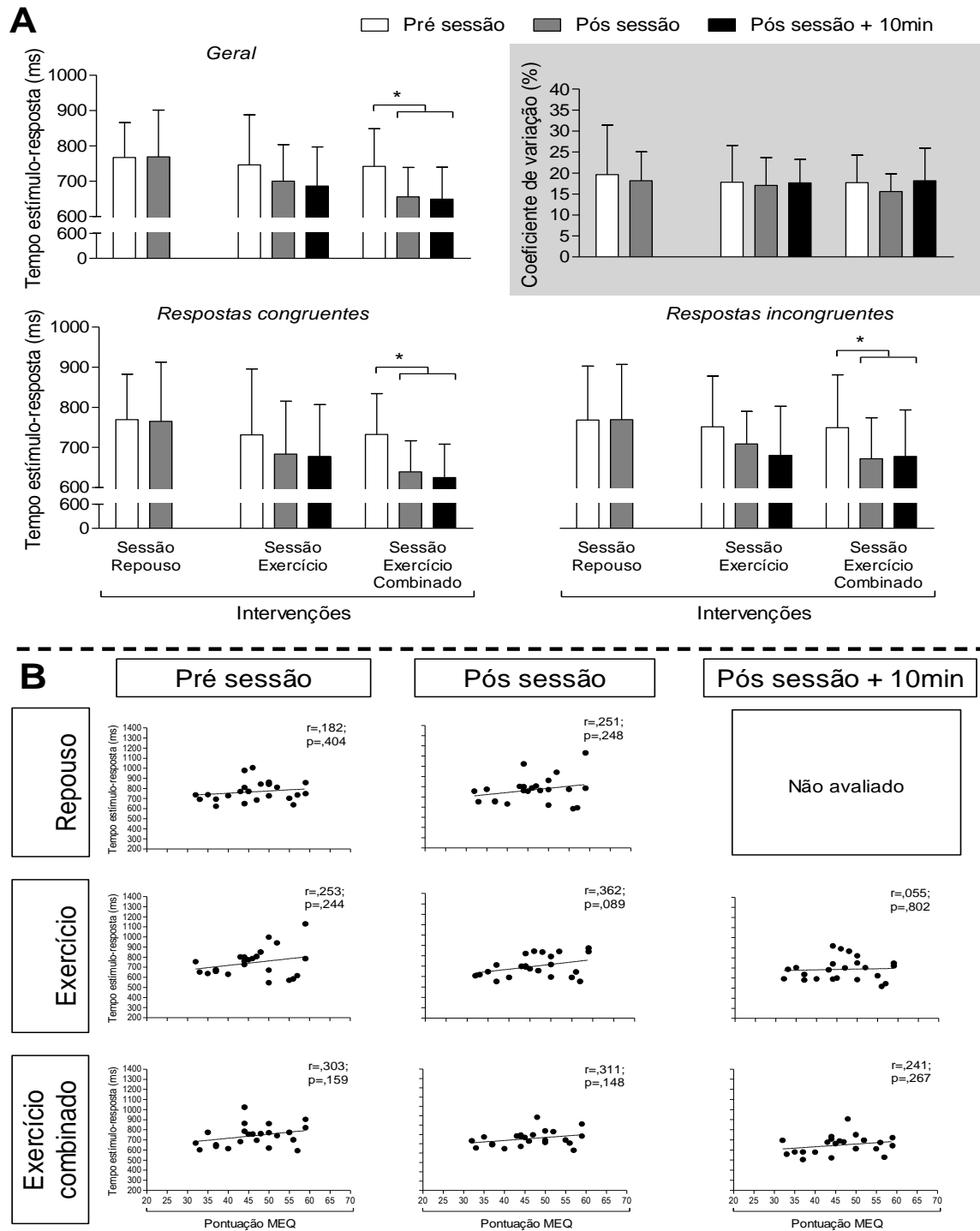
Nenhuma das três sessões afetou de forma aguda a memória (MEM), considerando os valores médios nas tarefas de memorização e de recordação (Figura 14A). Porém, a tarefa de recordação mostrou uma correlação inversa com a pontuação no MEQ ($r=-0,473$; $p=0,023$, Figura 14B) após o período de repouso (REP), onde indivíduos matutinos tiveram pior desempenho de recordação do que os vespertinos.

Figura 11 – Resultados de tempo de reação simples (TRS) do experimento III. A) Comparações dos valores médios dos tempos das respostas e respectiva variabilidade intraindividual antes, após e 10 minutos após o final das sessões de repouso, exercício e exercício combinado, **B)** Correlações entre o cronotipo e os valores médios dos tempos das respostas, nos três momentos das três sessões, Nos eixos horizontais, a pontuação no Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) onde os valores mais baixos indicam indivíduos com cronotipo vespertino e os mais altos matutinos, * indica efeito significativo $p < 0,05$.



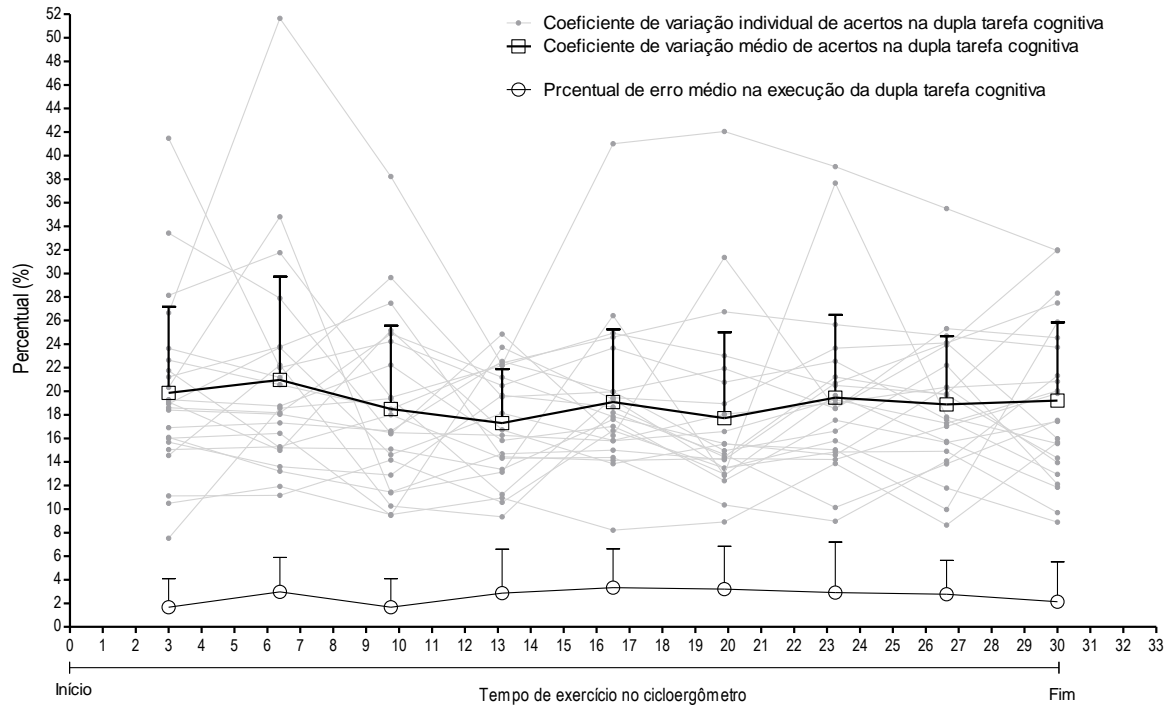
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Resultados de Atenção seletiva (AS) do experimento III: A) Acima, comparações dos valores médios dos tempos das respostas corretas e respectiva variabilidade intraindividual antes, após e 10 minutos após o final das sessões de repouso, exercício e exercício combinado, e o mesmo para tentativas congruentes e incongruentes, **B)** Correlações entre o cronotipo e tempos das respostas corretas no geral, nos três momentos das três sessões. Na pontuação no Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) os valores mais baixos indicam cronotipo vespertino e os mais altos matutinos, * indica efeito significativo $p < 0,05$.



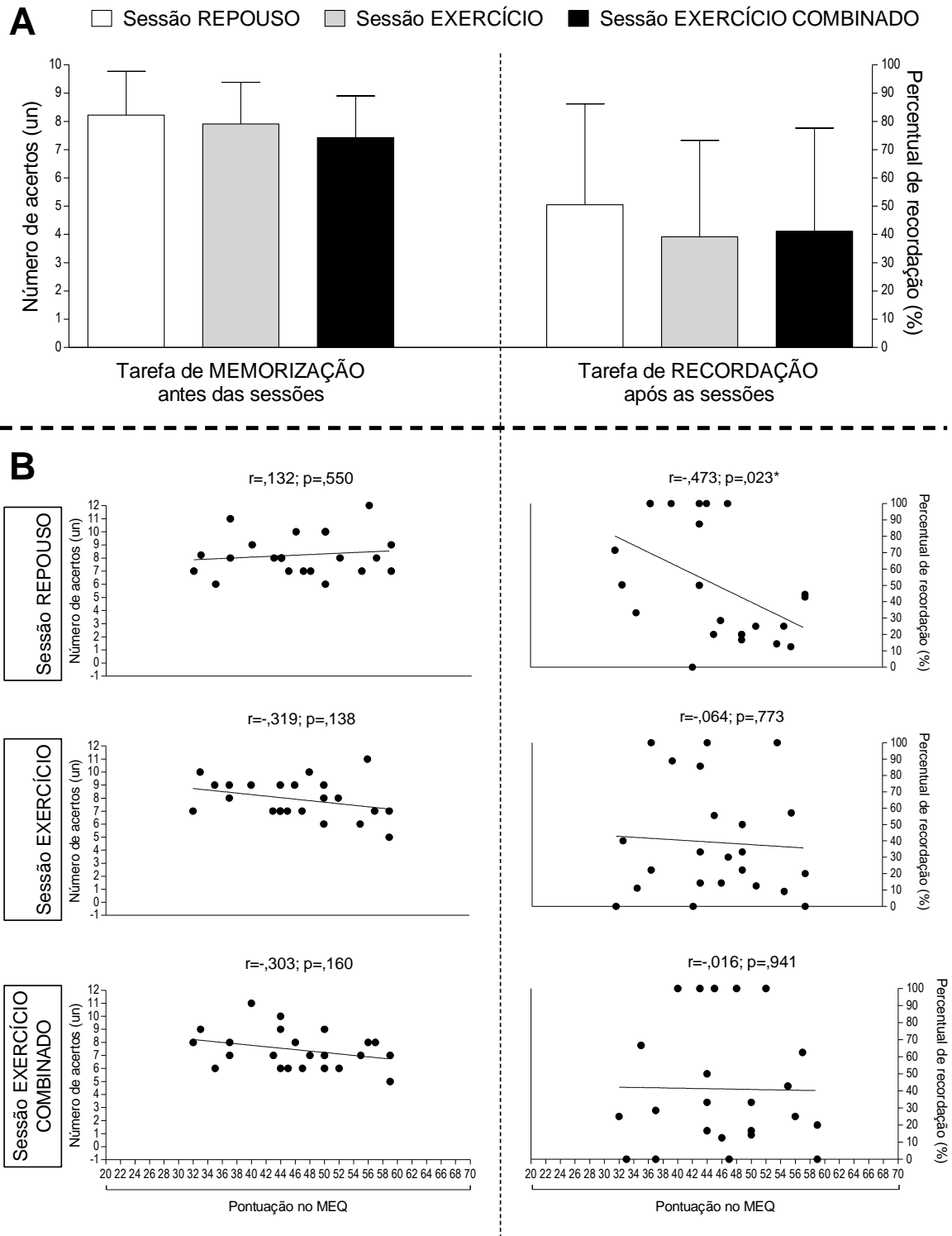
Fonte: Próprio autor.

Figura 13 – Variabilidade (coeficiente de variação) de acertos e erros na execução da dupla tarefa cognitiva durante os 30 minutos da sessão de exercício combinado (COMB) do experimento III.



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Resultados de memória (MEM) do experimento III: A) Comparações dos valores médios de memorização numérica (*Teste Digit Span*) expressos em unidades antes das sessões de repouso, exercício e exercício combinado (na esquerda) e recordação como porcentagem do índice memorizado após as sessões (na direita), **B)** Correlações entre o cronotipo e os valores médios de memorização e recordação, Nos eixos horizontais, a pontuação no Morningness - Eveningness Questionnaire (MEQ) onde os valores mais baixos indicam indivíduos com cronotipo vespertino e os mais altos indicam cronotipo matutinos, * indica efeito significativo $p < 0,05$.

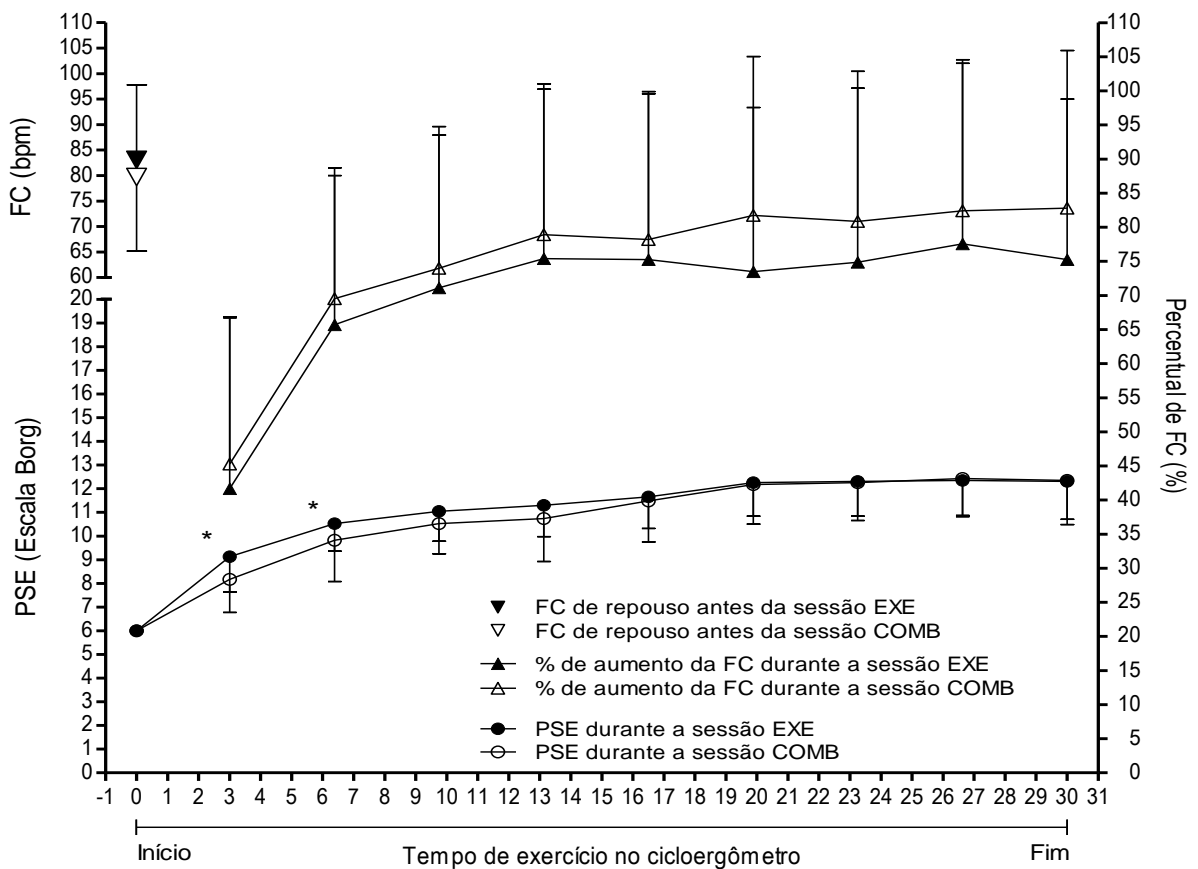


Fonte: Próprio autor.

Como controle, observamos que nas sessões que envolveram 30 minutos de exercício físico (EXE e COMB), a percepção de esforço (PSE) apresentou menores valores significativos durante a sessão COMB apenas para o minuto 3 ($t=2,256$; $p=,034$) e 6 ($t=2,577$; $p=,017$, Figura 15). A frequência cardíaca (FC), apesar de apresentar valores médios distintos entre as sessões, não diferiu entre os momentos (Figura 15).

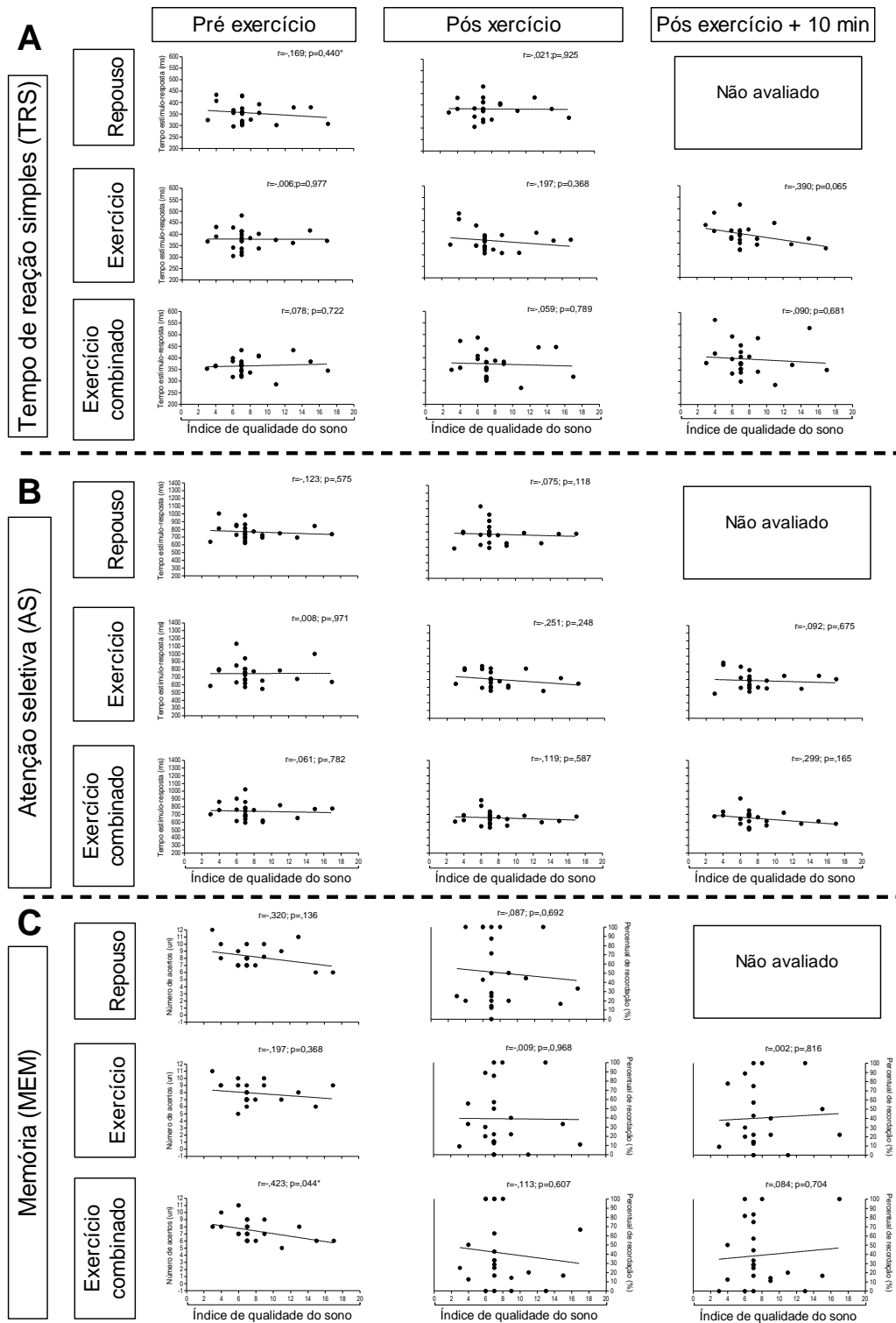
As correlações do TRS, AS e MEM nas sessões REP, EXE e COMB, com o índice de qualidade de sono do mês anterior estão apresentadas na Figura 16. Os níveis de tensão, depressão, raiva, fadiga e confusão mental medida pela escala de humor apresentaram índices semelhantes nas três sessões (Figura 17).

Figura 15 – Variáveis de controle de Percepção subjetiva do esforço (PSE), frequência cardíaca (FC) em repouso e seu aumento percentual (%FC) durante as sessões de exercício (EXE) e de exercício combinado (COMB) do experimento III. Valores indicados a cada ± 3 minutos durante os 30 minutos de cada sessão. bpm: batimentos por minuto.



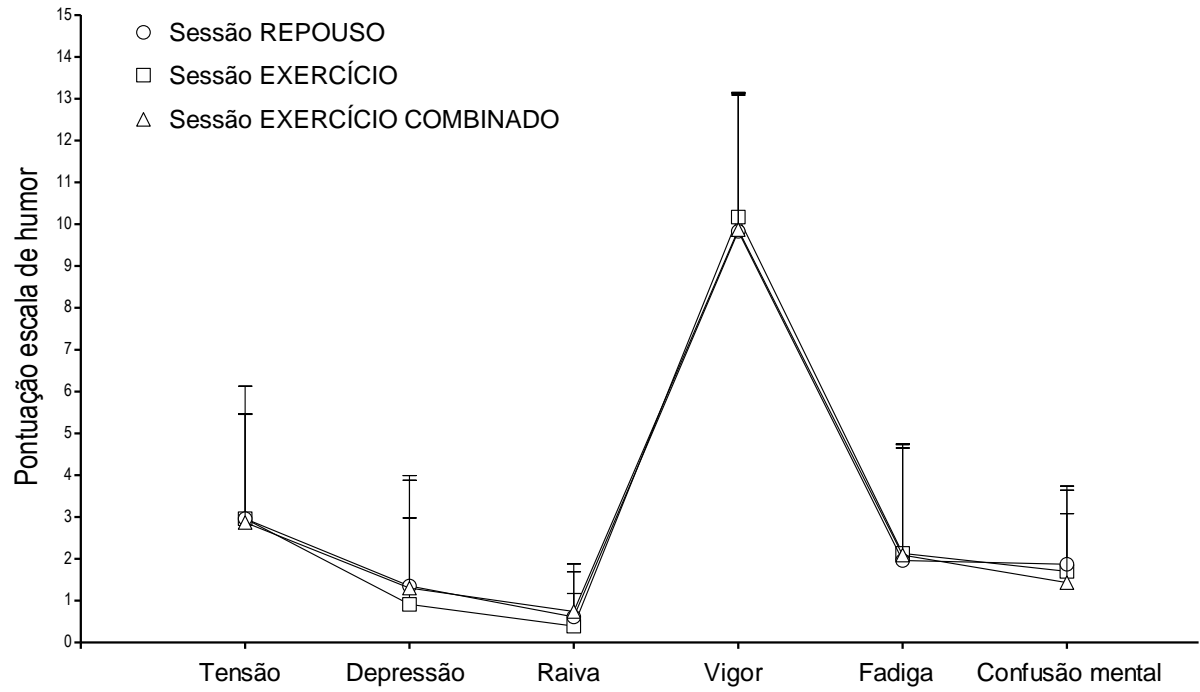
Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Correlações entre o índice da qualidade do sono de Pittsburgh e o desempenho cognitivo dos participantes nos testes do experimento III: A) Tempo de reação simples (TRS); B) Atenção seletiva (AS) e C) Memória (MEM). No eixo X de cada gráfico o índice mostra uma boa qualidade do sono quanto mais próxima a zero e uma presença de distúrbio do sono quanto mais próxima de dez. * Indica diferença significativa. ms: milissegundos.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17 – Valores das pontuações nas subescalas de tensão, depressão, raiva, vigor, fadiga e confusão mental da escala de humor de Brunel nas sessões de repouso (REP), exercício (EXE) e exercício combinado (COMB) do experimento III.



Fonte: Próprio autor.

5 DISCUSSÃO

5.1 A variação da intensidade do exercício altera seu efeito agudo sobre respostas cognitivas?

No experimento I determinamos os efeitos agudos de um exercício físico cíclico, de intensidade moderada à alta, nas respostas cognitivas agudas consideradas importantes no contexto do esporte competitivo e da rotina da vida diária. Observamos que após uma única sessão de exercício físico de alta intensidade, houve uma melhora na atenção seletiva (AS) em estímulos congruentes e aumento da variabilidade no tempo de reação simples (TRS). O tempo médio de reação simples e a memória de curta duração não foram afetados pelas diferentes intensidades de exercício. Os resultados do experimento I são reforçados pelos experimentos II e III, onde um exercício de alta intensidade e curta duração também mostrou melhoras apenas na AS, e que um exercício isolado mais longo com carga moderada, não resulta em melhora significativa aguda em nenhuma tarefa cognitiva testada.

Juntando os resultados, fica claro que o exercício físico de alta intensidade, mesmo de curta duração, melhora respostas cognitivas em tarefas envolvendo respostas rápidas de escolha. Isso tem aplicação prática importante para ciclistas. Durante o desempenho, eles são solicitados a tomar decisões rápidas, reagir a situações inesperadas e manter a concentração em instantes específicos de uma sessão de treinamento ou evento competitivo, onde a capacidade de pedalar em alta intensidade é importante (MENASPÀ et al., 2017). Deste ponto de vista, momentos de maior potência no ciclismo também são decisivos em relação aos resultados das corridas, por exemplo, durante passagens de montanha e durante os *sprints* nas competições de ciclismo. Os resultados aqui apresentados sugerem que esses ciclistas tenham melhorado o desempenho cognitivo quando foi necessário um nível mais alto de atenção (devido aos melhores resultados na AS após o exercício com 95% de MPI), mas quando a complexidade da tarefa cognitiva foi baixa, eles mostraram maior variabilidade no desempenho (devido ao pior desempenho no CV

de TRS após o exercício a 95% MPI). Quando maior dificuldade foi adicionada à AS (incluindo estímulos incongruentes), as respostas cognitivas não foram afetadas.

Podemos ainda aprofundar esse relacionamento analisando a atenção seletiva em condições de estímulos congruentes e incongruentes (ALVES et al., 2014). Em nosso experimento, a maior intensidade e menor duração do exercício resultaram em melhor atenção seletiva para estímulos congruentes. Mais especificamente, o exercício com estas características melhora a atenção seletiva de forma aguda. A intensidade desempenhou um papel de melhoria nas condições de estímulos congruentes, mas o efeito foi perdido ao se considerar respostas incongruentes, o que sugere uma maior dificuldade nessa tarefa. Do ponto de vista prático, a capacidade de controlar a ação frente à uma condição inesperada pode afetar significativamente a atenção seletiva e neutralizar o efeito agudo positivo do exercício. Isso também é suportado pela variabilidade nas respostas envolvendo a tarefa de tempo de reação simples após o exercício de alta intensidade. Essas relações entre os efeitos do exercício e a complexidade da tarefa podem ter implicações importantes para indivíduos com déficit de atenção na execução de tarefas que requerem processamento rápido de informações (FEIGE et al., 2013). A duração do exercício é outra característica de uma sessão de exercício físico a ser considerada quando se busca melhoria em tarefas de tempo de reação e atenção (DAVRANCHE et al., 2018). Contudo, a interação entre intensidade e duração em relação ao efeito sobre a função cognitiva ainda não está clara (ALVES et al., 2014; BYUN et al., 2014; CHANG et al., 2015b).

Ao encontrar efeitos positivos apenas em condições de estímulos congruentes após exercício de ciclismo intenso, podemos considerar que decisões rápidas e corretas após exercícios intensos podem ser mais eficazes em tarefas que remetam a associações lógicas do que em condições de incongruência que podem aumentar a complexidade da tarefa. Em um estudo anterior, o exercício de ciclismo de alta intensidade melhorou a atenção seletiva em tarefas incongruentes (ALVES et al., 2014), mas o exercício foi administrado em sessões consecutivas de 1 minuto (10 sessões), enquanto que aqui o exercício que administramos foi contínuo e realizado até a exaustão. O papel da exaustão provocada por diferentes intensidades de exercício permanece como um tópico para futuras investigações.

O mecanismo mais popular atribuído às melhorias na cognição observadas após um período de atividade física é a excitação, que está associada à ativação do sistema nervoso simpático, avaliada, por exemplo, através da frequência cardíaca e da condução do estímulo nervoso (PONTIFEX et al., 2018). Os efeitos benéficos do exercício físico na atenção seletiva podem ser atribuídos ao aumento da ativação dos sistemas de neurotransmissores, que por sua vez induzem a alocação de recursos aos processos de atenção (CHANG et al., 2012; MCMORRIS et al., 2015). Uma das hipóteses para explicar esse efeito agudo positivo do exercício nas funções executivas centrais é a maior liberação de catecolamina na corrente sanguínea, resultando em maior ativação do córtex pré-frontal, que pode explicar a facilitação no desempenho da percepção / atenção e tarefas autônomas (MCMORRIS, 2016b). O exercício diminui a participação das funções de ordem superior do córtex pré-frontal para impedir que processos inúteis comprometam o funcionamento implícito do sistema durante a execução motora simultânea (PONTIFEX et al., 2018).

Nas tarefas cognitivas dos nossos experimentos, um baixo número de tentativas para cada teste foi selecionado para impedir que os resultados fossem mascarados pelo efeito do aprendizado gerado pela repetição da tarefa cognitiva avaliada, uma vez que um número maior de tentativas poderia levar ao treinamento, melhorando o desempenho apenas por esse motivo (MCMORRIS et al., 2011). A atenção seletiva também pode ser treinada quando a tarefa é executada repetidamente (ABD-ELFATTAH; ABDELAZEIM; ELSHENNAWY, 2015). Buscamos evitar também a fadiga cognitiva pela repetição das tarefas cognitivas ao longo do tempo (FEIGE et al., 2013; MCMORRIS et al., 2018b). As três intensidades consideradas no experimento I objetivaram reproduzir parte do desempenho competitivo do ciclismo, em que os ciclistas mantêm o desempenho na maioria das vezes em intensidade moderada à baixa, por longos períodos, mas também experimentam períodos de alta intensidade sustentados durante um curto período de tempo (EBERT et al., 2006; MENASPÀ et al., 2017).

A menor duração do exercício de maior intensidade poderia ter um impacto na memória de curta duração. A memória verbal já mostrou uma deterioração significativa nas tarefas de recuperação imediata e tardia após a intervenção do exercício físico (ABD-ELFATTAH; ABDELAZEIM; ELSHENNAWY, 2015). No entanto, os resultados na memória de curta duração não diferiram entre as

intensidades. Anteriormente, a falta de efeito do exercício intenso na memória episódica já foi descrita, com exercícios de alta intensidade sendo menos favoráveis para a memória de trabalho, favorecendo a memória episódica, e não afetando a memória de longo prazo (LOPRINZI, 2018). Essa diminuição no desempenho da memória de trabalho pode ser explicada pela desidratação, ou ainda alterações na atividade cortical no cérebro e hipóxia provocadas pelo exercício (ABD-ELFATTAH; ABDELAZEIM; ELSHENNAWY, 2015). Estudos que avaliam os efeitos do exercício na memória sugerem resultados positivos (LOPRINZI, 2018) ou neutros (ALVES et al., 2014) dependendo das características dos testes e do tipo de memória considerado. Realmente, um exercício agudo aeróbico curto pode criar um impacto positivo na memória, no entanto, parece que os benefícios cognitivos podem não atingir todos os indivíduos de forma igual (ZUNIGA et al., 2019). Essa relação entre exercício agudo e memória é também mediada pela intensidade e duração do exercício, além do tipo de memória avaliada (LOPRINZI, 2018). Se a intensidade e duração do exercício tem um efeito sobre as respostas de memória, o condicionamento físico dos participantes pode ser uma variável de confusão. Em nosso experimento I consideramos que os resultados não foram influenciados pela condição física ou nível de treinamento dos participantes, uma vez que todos apresentaram similares níveis de condicionamento físico, evidenciado pelos dados de potência e frequência cardíaca máxima. O nível de condicionamento físico influencia a função executiva em adultos e sugere que os melhores desempenhos observados em indivíduos altamente aptos são mediados pelo controle autonômico cardíaco (DUPUY et al., 2018). No entanto, a falta de correlação positiva entre o nível de condição física dos participantes e seu desempenho nas tarefas cognitivas, testadas no experimento I, indica que esse fator não é fundamental como covariável em estudos com esse tipo de desenho, ao menos quando considerando participantes que não são sedentários. O cuidado em normalizar as cargas de trabalho nas sessões de acordo com o desempenho máximo individualizado aumenta a confiabilidade nas comparações intragrupo.

5.2 A hora do dia influencia o efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas?

Sabendo que o exercício de alta intensidade e curta duração parece ser o que mais afeta de forma aguda tarefas cognitivas, desenvolvemos o experimento II. A nossa principal descoberta com este experimento foi que as respostas de tempo de reação simples e atenção seletiva são influenciados pela hora do dia, mas sem interferir no efeito agudo do exercício. Com esse experimento, concluímos que o exercício corrobora a observação de melhores respostas cognitivas, e que tanto nas condições de exercício ou na condição controle de repouso, o melhor desempenho cognitivo acontece à noite.

Um exercício físico de alta intensidade e curta duração, composto por saltos verticais máximos contínuos, provocou menor variabilidade nas respostas para atenção seletiva, tanto nos períodos da manhã quanto da noite. Isso sugere que tarefas diárias que envolvem reação rápida e acertada são beneficiadas pelo exercício agudo, em qualquer momento do dia. Esse achado pode ter implicações importantes para indivíduos com déficit de atenção, assim como para a execução de tarefas que requerem rápido processamento de informações (FEIGE et al., 2013). Também poderíamos elaborar a hipótese de que tais efeitos podem repercutir no desempenho esportivo em modalidades que requerem atenção (SCHÜCKER et al., 2013). Nesses casos, a adoção de uma estratégia de aquecimento, por exemplo, que breves estímulos de alta intensidade podem beneficiar o desempenho cognitivo subsequente. Também podemos supor que o exercício físico de curta duração e alta intensidade teria um efeito agudo que influencie o desempenho em tarefas de maior exigência, auxiliando nos processos de preparação da 'resposta' pelo aumento da ativação neural (FERNANDES M. DE SOUSA et al., 2019). Sobre essas possíveis relações, a hora do dia parece ainda não ter um efeito claramente compreendido sobre esse efeito agudo (CHANG et al., 2012), e nosso experimento tampouco a hora do dia influenciou a variabilidade nas respostas cognitivas testadas.

A aplicação desses achados ainda requer algumas comprovações e testes adicionais, pois existem outras características que podem modular os resultados. Por exemplo, os efeitos do exercício no desempenho cognitivo dependem do nível

de complexidade da tarefa cognitiva a ser realizada e do nível de raciocínio exigido (MOORE, 2013). Nós encontramos um efeito significativo do exercício apenas para as tarefas de atenção seletiva, que podem ser consideradas mais complexas que o tempo de reação simples. Em nosso estudo consideramos pessoas saudáveis, mas é importante observar que efeitos agudos do exercício intenso podem ser observados com efeitos menos evidentes entre indivíduos com melhor condicionamento físico, provavelmente devido ao melhor controle motor desses indivíduos (COLZATO, S. et al., 2013). Os efeitos benéficos do exercício agudo no funcionamento executivo podem ser devidos a alterações na excitação, possivelmente moduladas pelos níveis séricos de cortisol (TSAI et al., 2014). Os níveis de cortisol circulante variam muito ao longo do dia, assim como os níveis de melatonina (ADAN et al., 2012; REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011; THAU; SHARMA, 2020). Os níveis de cortisol são maiores durante o dia e diminuem a noite (SELMAOUI; TOUITOU, 2003), diminuindo o estado de alerta (THAU; SHARMA, 2020). Supomos então que os melhores resultados do experimento II encontrados à noite podem também ser resultado do fato de que o exercício foi capaz de exercer um efeito agudo compensador aos menores níveis de cortisol nesse período. No entanto, nós não tivemos condições de medir os níveis de cortisol no estudo.

Independentemente das condições, de repouso ou imediatamente após o exercício, as melhores respostas cognitivas foram observadas à noite. Nesse período, a potência do salto também foi maior. Considerando que a intensidade do exercício é fundamental para obter melhorias cognitivas (MCMORRIS; HALE, 2012), a melhor resposta cognitiva à noite pode depender do desempenho físico quando uma tarefa mais complexa é necessária. Ao contrário desta descoberta, estudos anteriores relataram melhor desempenho no tempo de reação e tarefas de atenção pela manhã (BLATTER; CAJOCHEN, 2007; REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011; WATERHOUSE, 2010). Essa divergência pode ser interpretada de algumas formas: a) encontramos maior potência do salto à noite, o que sugere maior intensidade de esforço realizada, e sabe-se que a intensidade influencia as respostas cognitivas (MCMORRIS; HALE, 2012), b) também porque, após um exercício anaeróbico máximo, há redução na velocidade sanguínea cerebral, o que pode contribuir para déficits no desempenho cognitivo visual (SIECK et al., 2016), e c) a maioria dos estudos anteriores encontrou vantagem dos efeitos agudos da atenção quando

exercícios aeróbicos moderados de duração média foram realizados (CHANG et al., 2012, 2015b), enquanto aqui consideramos um exercício intenso e de curta duração. As sessões de exercício com intensidade moderada a vigorosa, de 10 a 30 minutos, não mostraram efeitos agudos na atenção seletiva e no desempenho da memória de trabalho em adolescentes, nem efeitos diferenciais na duração do exercício, medidos imediatamente após as sessões de exercício (VAN DEN BERG et al., 2018).

No experimento II observamos que quando avaliados no período da manhã sem a realização de exercício físico os indivíduos matutinos tiveram melhor desempenho do que os vespertinos na tarefa de TRS, o que era esperado (VALDEZ, 2019; VAN DER VINNE et al., 2015). No entanto, o exercício físico, quando realizado, removeu a influência do cronotipo e na tarefa cognitiva mais complexa após o exercício o cronotipo não mostrou qualquer correlação com respostas envolvendo atenção.

Não foram identificadas diferenças na temperatura da pele na área da coxa, onde os principais músculos envolvidos na tarefa de salto vertical estão concentrados, nos diferentes momentos avaliados. Essas informações foram consideradas porque um aumento na temperatura corporal, acarretando aumento na temperatura da pele determinada pela termografia (EGGENBERGER et al., 2018), poderia ajudar a explicar a melhora nas respostas cognitivas à noite (TEO; NEWTON; MCGUIGAN, 2011; WATERHOUSE, 2010). Flutuações espontâneas da temperatura da pele ao longo do dia já foram negativamente associadas a variações na velocidade de resposta cognitiva (ROMEIJN; VAN SOMEREN, 2011), o que não foi encontrado nesse estudo. Finalizando a discussão deste ponto, podemos dizer que a hora do dia influencia as respostas cognitivas de tempo de reação simples e atenção seletiva que tem melhores resultados à noite. Porém, o efeito agudo do exercício físico sobre estas respostas independe do horário considerado.

5.3 Uma dupla tarefa combinada com o exercício pode gerar um efeito agudo positivo sobre a cognição?

O principal resultado do experimento III foi a melhora aguda na atenção seletiva após uma sessão de exercício físico moderado combinado com uma dupla tarefa cognitiva. A falta de efeito significativo da sessão de exercício em intensidade moderada sem dupla tarefa é reforçada pelo resultado semelhante encontrado no experimento I. A combinação de exercício físico e cognitivo na forma de treinamento simultâneo parece sempre produzir melhores resultados no desempenho cognitivo do que qualquer tipo de treinamento isolado (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016). Dimitrova et al (2017) encontraram melhora na tarefa de *Stroop* em jovens adultos e idosos após exercício moderado em cicloergômetro com e sem dupla tarefa, sem diferenças entre as duas sessões. Eles perceberam ainda uma atividade cerebral aumentada logo após os exercícios (DIMITROVA et al., 2017). Em idosos os exercícios combinados são bastante testados, e geralmente mostram melhora na função cognitiva quando comparados a um exercício tradicional isolado com mesmo nível de esforço, sugerindo que o exercício cognitivo e físico simultâneo tem maior potencial para prevenir o declínio cognitivo (ANDERSON-HANLEY et al., 2012; JI et al., 2019). A alteração na oxigenação do córtex pré-frontal pode ser um possível mecanismo benéfico associado ao efeito agudo do exercício agudo sobre o desempenho na tarefa de *Stroop* (JI et al., 2019).

Os achados do experimento III são consistentes com pesquisas anteriores demonstrando que o exercício físico em geral acarreta melhora no desempenho cognitivo (YANAGISAWA et al., 2010). Encontramos que durante a sessão de exercício combinada com uma tarefa cognitiva, os indivíduos mantiveram a concentração, com foco na dupla tarefa, pois a variabilidade nos tempos de respostas e o percentual de erros permaneceram estáveis durante todo o exercício. A natureza da dupla tarefa proposta durante o exercício pode ter uma influência fundamental nos resultados (DIMITROVA et al., 2017). Sob certas condições de teste, efeitos positivos podem desaparecer logo após a sessão, pela carga cognitiva ser muito alta (ROBERT J. HOCKEY, 1997). Portanto, é importante que a combinação do treinamento físico com a atividade cognitiva em uma intervenção seja dosado (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016). Justamente para

permitir uma melhor definição dessa configuração do treinamento é que é importante conhecer os efeitos das diferentes características e configurações como as que testamos neste projeto.

O exercício aeróbico agudo melhora o desempenho subsequente na dupla tarefa, onde o nível de dificuldade de execução do exercício pode determinar a magnitude desse efeito (OBERSTE et al., 2019). Essa dificuldade pode ser imposta durante a sessão pela frequência, duração, intensidade do exercício e também do nível de complexidade da tarefa (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016). Efeitos neurobioquímicos e fisiológicos se traduzem em melhor desempenho cognitivo somente em circunstâncias mentalmente desafiadoras, o que significa que a influência positiva do exercício sob condições cognitivamente exigentes como as desencadeadas em um treinamento físico e cognitivo combinado (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016). Assim como nos experimentos I e II, mais uma vez nenhum efeito agudo do exercício foi observado sobre o TRS, uma tarefa menos complexa. Isso reforça o conceito de que somente tarefas com maior nível de complexidade e raciocínio rápido são afetadas e de forma positiva logo após a sessão de exercício. O diferencial do experimento III foi mostrar que esse efeito é duradouro, já que foi mantido por pelo menos dez minutos depois do exercício encerrar. Estudos longitudinais anteriores falharam em detectar quaisquer efeitos duradouros de manutenção da atenção após o exercício físico (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016).

Quanto à preferência dos participantes por um período específico do dia, avaliada pelo cronotipo, os resultados envolvendo TRS e AS não mostraram nenhuma correlação com o desempenho nos testes do experimento III. Após um período de repouso os indivíduos com características matutinas apresentaram pior desempenho na tarefa de recordação numérica, o que já era esperado, pois os testes foram realizados no período noturno (VALDEZ, 2019). No entanto, quando uma sessão de exercício foi administrada esse efeito desapareceu. Mesmo percebendo poucas correlações, identificamos que a compatibilidade entre a hora do dia para o exercício físico e o cronotipo continua sendo fundamental para encontrar o tempo circadiano favorável a fim de gerar um efeito agudo benéfico (BONATO et al., 2017).

Apesar de evidências anteriores mostraram que exercícios agudos e crônicos podem aprimorar vários parâmetros relacionados à memória (LOPRINZI, 2018; ZACH; SHALOM, 2016), as avaliações envolvendo essa tarefa cognitiva no experimento III não mostraram nenhum efeito agudo, positivo ou negativo, do exercício com ou sem dupla tarefa. Isso vai ao encontro aos resultados de uma revisão sistemática concluindo que atividades físicas agudas não conferiram nenhum resultado significativo na memória (RATHORE; LOM, 2017). No entanto, era esperado que a alta demanda cognitiva da sessão combinada pudesse prejudicar a recordação após o exercício. A simples manutenção do desempenho nos sugere a implementação de um exercício físico combinado com dupla tarefa cognitiva melhora a atenção sem interferir em tarefas de memorização, o que é, no geral, muito positivo.

A falta de correlações fortes entre os resultados dos testes cognitivos de TRS, AS e MEM nas sessões REP, EXE e COMB, com o índice de qualidade de sono do mês anterior descrito pelos participantes, indica que a qualidade do sono (boa ou ruim) não influenciou os nossos resultados. Uma noite de sono anterior às sessões descrita como boa mostrou-se suficiente para uma melhora aguda na atenção após o exercício físico combinado. Podemos supor que se todos os participantes indicassem ótimos níveis de qualidade do sono, os resultados cognitivos poderiam ter sido ainda melhores já que a pressão provocada pelo sono pode exercer uma forte influência no desempenho cognitivo (REID; MCGEE-KOCH; ZEE, 2011), e uma única noite sem sono pode prejudicar o desempenho cognitivo (FOGT; KALNS; MICHAEL, 2010). Um dos fatores que fortalece nossos resultados do experimento III é a similaridade dos níveis de tensão, depressão, raiva, fadiga e confusão mental medidas pela escala de humor nas três sessões. Essa foi uma forma eficaz de avaliar o estado emocional dos participantes nos dias dos testes. Altos níveis de estresse podem prejudicar o desempenho cognitivo (BRANDT et al., 2016; MCLENNAN et al., 2016).

O impacto do exercício físico e cognitivo combinados sobre benefícios agudos gerados em populações de idosos ou com comprometimento cognitivo, tem sido reportado na literatura científica (JOUBERT; CHAINAY, 2018). Nesse estudo, podemos perceber que um efeito agudo importante sobre a atenção também ocorre para jovens saudáveis. Consideramos que um exercício físico com intensidade alta

combinado com uma dupla tarefa cognitiva por um longo período de tempo, é na prática inviável para a maioria das pessoas. É necessário que o treinamento físico tenha um nível submáximo entre de 65 e 80% da frequência cardíaca máxima, para que seja sustentado por um maior período de tempo (LAUENROTH; IOANNIDIS; TEICHMANN, 2016). No experimento III utilizamos uma carga de trabalho considerada moderada pelos participantes. O objetivo foi testar uma faixa de esforço considerada mínima para melhoria da saúde (LANG et al., 2018).

Considerando o coletivo de resultados podemos concluir que uma sessão de exercício físico com carga moderada, combinada com uma dupla tarefa cognitiva pode gerar um efeito agudo positivo sobre tarefas envolvendo atenção.

Analisando todos os estudos descritos nesta tese, reconhecemos algumas limitações. A participação de indivíduos com diferentes características, principalmente de idade e condição física, pode ser um fator de influência. Contudo, consideramos essa população com o objetivo de ter resultados que permitissem inferir sobre pessoas fisicamente ativas. Não realizamos algumas medidas de marcadores bioquímicos que poderiam ter reforçado nossas conclusões quanto ao cronotipo. As sessões de exercício tiveram, certamente, diferentes níveis de fadiga para os participantes, e esse efeito não pôde ser controlado. Por fim, optamos por avaliar tarefas que se identificassem como atividades físicas que as pessoas comumente praticam e não consideramos uma condição de esporte competitivo, onde talvez o envolvimento cognitivo durante a tarefa seja maior e possa ter efeito sobre as respostas agudas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais resultados descritos nesta tese são interpretados da seguinte forma:

- A variação da intensidade do exercício altera o efeito agudo sobre respostas cognitivas, onde somente um exercício de alta intensidade melhora a capacidade de gerenciar uma tarefa cognitiva de atenção seletiva após o exercício;

- A memória de curta duração não é afetada de forma aguda por qualquer intensidade de exercício físico;

- O nível de condicionamento físico não teve relação com os efeitos da variação da intensidade do exercício físico sobre respostas cognitivas;

- Há influência da hora do dia sobre respostas cognitivas de tempo de reação simples e atenção seletiva com melhores resultados observados à noite, sem alterar o efeito agudo positivo gerado por um exercício de alta intensidade e curta duração;

- Uma sessão de exercício físico com intensidade moderada, combinado com uma dupla tarefa cognitiva, pode gerar um efeito agudo positivo no desempenho de tarefas envolvendo atenção;

- O cronotipo individual não apresenta influência sobre o efeito agudo do exercício físico sobre respostas cognitivas.

Estes achados, sobre respostas cognitivas agudas a diferentes formatos de uma única sessão de exercício físico em momentos específicos do dia, projetam algumas aplicações práticas. Dentro da prática esportiva, clubes, treinadores, atletas e demais profissionais envolvidos podem acrescentar este conhecimento científico à sua prática para a promoção e organização de rotinas de treinamentos físicos, tanto para esportistas iniciantes quanto em atletas profissionais, principalmente em modalidades que envolvam concentração e atenção seletiva. Planejamentos para tarefas da vida diária e sessões de exercício que buscam melhorias na saúde física geral podem passar a considerar esses resultados para prescrição de sessões que

possam repercutir em melhorias também na capacidade cognitiva, como pela inclusão de exercício físico com alta intensidade em sessões curtas, e a inserção de uma dupla tarefa cognitiva em sessões mais longas e de intensidades moderadas. Outro ponto importante diz respeito a identificação do melhor momento do dia para que um tipo específico de exercício cognitivo ou de esforço físico seja realizado, para potencializar resultados.

Por fim, consideramos algumas perspectivas importantes para futuras investigações que aqui não foram contempladas, como a investigação em diferentes populações, principalmente em idosos com declínio cognitivo e pessoas com déficit de atenção, que poderiam ser beneficiadas de acordo com resultados positivos que encontramos em jovens saudáveis. Investigar estes efeitos em mulheres também seria fundamental, visto que poucos estudos consideram diferenças entre os sexos. Os protocolos administrados neste trabalho ainda poderiam ser aplicados com atletas em outras modalidades esportivas específicas, para entender se os efeitos agudos são os mesmos em esportes sem movimentos cíclicos, por exemplo, adicionando ainda protocolos de fadiga muscular e cognitiva. Considerando que o estudo com humanos tem uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos que são incontroláveis, uma pesquisa em modelo animal com maior rigidez experimental poderia ajudar entender e elucidar os mecanismos fisiológicos envolvidos e consolidar nossos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELFATTAH, H. M.; ABDELAZEIM, F. H.; ELSHENNAWY, S. Physical and cognitive consequences of fatigue: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, n. 3, p. 351–358, maio 2015.

ADAN, A. et al. Circadian typology: a comprehensive review. **Chronobiology International**, v. 29, n. 9, p. 1153–1175, nov. 2012.

ALVES, C. R. et al. Effects of acute physical exercise on executive functions: a comparison between aerobic and strength exercise. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 34, n. 4, p. 539–549, ago. 2012.

ALVES, C. R. R. et al. Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. **Perceptual and Motor Skills**, v. 118, n. 1, p. 63–72, fev. 2014.

AMMAR, A.; CHTOUROU, H.; SOUISSI, N. Effect of Time-of-Day on Biochemical Markers in Response to Physical Exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 1, p. 272–282, jan. 2017.

ANDERSON-HANLEY, C. et al. Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 42, n. 2, p. 109–119, fev. 2012.

ASHNAGAR, Z.; SHADMEHR, A.; JALAEI, S. The effects of acute bout of cycling on auditory & visual reaction times. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 19, n. 2, p. 268–272, abr. 2015.

BAKER, L. D. et al. Effects of aerobic exercise on mild cognitive impairment: a controlled trial. **Archives of Neurology**, v. 67, n. 1, p. 71–79, jan. 2010.

BARENBERG, J.; BERSE, T.; DUTKE, S. Ergometer cycling enhances executive control in task switching. **Journal of Cognitive Psychology**, v. 27, n. 6, p. 692–703, 18 ago. 2015.

BARHA, C. K. et al. Sex differences in exercise efficacy to improve cognition: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in older humans. **Frontiers in Neuroendocrinology**, v. 46, p. 71–85, 2017.

BERRET, B.; JEAN, F. Why Don't We Move Slower? The Value of Time in the Neural Control of Action. **Journal of Neuroscience**, v. 36, n. 4, p. 1056–1070, 27 jan. 2016.

BLAIR, C. Educating executive function. **Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science**, v. 8, n. 1–2, jan. 2017.

- BLATTER, K.; CAJOCHEN, C. Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. **Physiology & Behavior**, Includes a Special Section on Chronobiology Aspects of the Sleep--Wake Cycle and Thermoregulation. v. 90, n. 2, p. 196–208, 28 fev. 2007.
- BONATO, M. et al. Salivary cortisol concentration after high-intensity interval exercise: Time of day and chronotype effect. **Chronobiology International**, v. 34, n. 6, p. 698–707, 2017.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, n. 5, p. 377–381, 1982.
- BORROR, A. Brain-derived neurotrophic factor mediates cognitive improvements following acute exercise. **Medical Hypotheses**, v. 106, p. 1–5, set. 2017.
- BOSCO, C. et al. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 114, n. 4, p. 557–565, abr. 1982.
- BRANDT, R. et al. The Brunel Mood Scale Rating in Mental Health for Physically Active and Apparently Healthy Populations. **Health**, v. 8, n. 2, p. 720–726, 28 jan. 2016.
- BRICK, N. E.; MACINTYRE, T. E.; CAMPBELL, M. J. Thinking and Action: A Cognitive Perspective on Self-Regulation during Endurance Performance. **Frontiers in Physiology**, v. 7, p. 159, 2016.
- BRISSWALTER, J.; COLLARDEAU, M.; RENÉ, A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. **Sports Medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 32, n. 9, p. 555–566, 2002.
- BROWNE, S. E. et al. Effects of acute high-intensity exercise on cognitive performance in trained individuals: A systematic review. **Progress in Brain Research**, v. 234, p. 161–187, 2017.
- BUYSSE, D. J. et al. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. **Psychiatry Research**, v. 28, n. 2, p. 193–213, maio 1989.
- BYUN, K. et al. Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. **NeuroImage**, v. 98, p. 336–345, set. 2014.
- CHANG, Y. K. et al. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. **Brain Research**, v. 1453, p. 87–101, 9 maio 2012.

CHANG, Y.-K. et al. Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: general or specific cognitive improvement? **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 17, n. 1, p. 51–55, jan. 2014.

CHANG, Y.-K. et al. Dose-response relation between exercise duration and cognition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 1, p. 159–165, jan. 2015a.

CHANG, Y.-K. et al. Dose-response relation between exercise duration and cognition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 1, p. 159–165, jan. 2015b.

CHANG, Y.-K. et al. Acute exercise has a general facilitative effect on cognitive function: A combined ERP temporal dynamics and BDNF study. **Psychophysiology**, v. 54, n. 2, p. 289–300, 2017.

CHEN, A.-G. et al. Neural Basis of Working Memory Enhancement after Acute Aerobic Exercise: fMRI Study of Preadolescent Children. **Frontiers in Psychology**, v. 7, p. 1804, 2016.

CHENNAOUI, M. et al. Sleep and exercise: a reciprocal issue? **Sleep Medicine Reviews**, v. 20, p. 59–72, abr. 2015.

CHIU, C. N.; CHEN, C.-Y.; MUGGLETON, N. G. Chapter 6 - Sport, time pressure, and cognitive performance. In: WILSON, M. R.; WALSH, V.; PARKIN, B. (Eds.). . **Progress in Brain Research**. Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part B. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 234p. 85–99.

CHTOUROU, H. et al. Diurnal variation in Wingate-test performance and associated electromyographic parameters. **Chronobiology International**, v. 28, n. 8, p. 706–713, out. 2011.

CHTOUROU, H. et al. The effect of training at the same time of day and tapering period on the diurnal variation of short exercise performances. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 3, p. 697–708, mar. 2012.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

COLZATO, S., L. et al. The impact of physical exercise on convergent and divergent thinking. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 7, 2 dez. 2013.

CORP, D. T. et al. The effect of dual-task difficulty on the inhibition of the motor cortex. **Experimental Brain Research**, v. 234, n. 2, p. 443–452, fev. 2016.

COWAN, N. The many faces of working memory and short-term storage. **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 24, n. 4, p. 1158–1170, ago. 2017.

DA SILVA DE VARGAS, L. et al. One-single physical exercise session after object recognition learning promotes memory persistence through hippocampal noradrenergic mechanisms. **Behavioural Brain Research**, v. 329, p. 120–126, 30 2017.

DA SILVA, W. Q. A. et al. Affect during incremental exercise: The role of inhibitory cognition, autonomic cardiac function, and cerebral oxygenation. **PloS One**, v. 12, n. 11, p. e0186926, 2017.

DAL PUPO, J. et al. Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic fitness evaluation. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 17, n. 6, p. 650–655, nov. 2014.

DAVRANCHE, K. et al. Impact of Physical and Cognitive Exertion on Cognitive Control. **Frontiers in Psychology**, v. 9, 27 nov. 2018.

DEL GIORNO, J. M. et al. Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 32, n. 3, p. 312–323, jun. 2010.

DIAMOND, A. Executive Functions. **Annual Review of Psychology**, v. 64, n. 1, p. 135–168, 2 jan. 2013.

DIETRICH, A.; AUDIFFREN, M. The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 35, n. 6, p. 1305–1325, maio 2011.

DIMITROVA, J. et al. Comparing the effects of an acute bout of physical exercise with an acute bout of interactive mental and physical exercise on electrophysiology and executive functioning in younger and older adults. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 29, n. 5, p. 959–967, out. 2017.

DINOFF, A. et al. The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: a meta-analysis. **The European Journal of Neuroscience**, v. 46, n. 1, p. 1635–1646, jul. 2017.

DROLLETTE, E. S. et al. Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: an ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. **Developmental Cognitive Neuroscience**, v. 7, p. 53–64, jan. 2014.

DUNCAN, M. J. et al. The influence of cycling intensity upon cognitive response during inferred practice and competition conditions. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 19, p. 1865–1871, out. 2017.

DUNN, J. S.; TAYLOR, C. E. Cardiovascular reactivity to stressors: effect of time of day? **Chronobiology International**, v. 31, n. 2, p. 166–174, mar. 2014.

DUPUY, O. et al. Higher cardiovascular fitness level is associated to better cognitive dual-task performance in Master Athletes: Mediation by cardiac autonomic control. **Brain and Cognition**, v. 125, p. 127–134, 2018.

EBERT, T. R. et al. Power output during a professional men's road-cycling tour. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 1, n. 4, p. 324–335, dez. 2006.

EDWARDS, B. J. et al. Does raising morning rectal temperature to evening levels offset the diurnal variation in muscle force production? **Chronobiology International**, v. 30, n. 4, p. 486–501, maio 2013.

EGGENBERGER, P. et al. Prediction of Core Body Temperature Based on Skin Temperature, Heat Flux, and Heart Rate Under Different Exercise and Clothing Conditions in the Heat in Young Adult Males. **Frontiers in Physiology**, v. 9, 2018.

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **The Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 11–23, 1 jan. 2008.

ERICKSON, K. I. et al. Physical Activity, Cognition, and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical Activity Guidelines. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 51, n. 6, p. 1242–1251, 2019.

FACER-CHILDS, E. R.; BOILING, S.; BALANOS, G. M. The effects of time of day and chronotype on cognitive and physical performance in healthy volunteers. **Sports Medicine - Open**, v. 4, 24 out. 2018.

FEIGE, B. et al. On the Temporal Characteristics of Performance Variability in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, 2 out. 2013.

FEITO, Y. et al. High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. **Sports (Basel, Switzerland)**, v. 6, n. 3, 7 ago. 2018.

FERNANDES, A. L. et al. Effect of time of day on performance, hormonal and metabolic response during a 1000-M cycling time trial. **PloS One**, v. 9, n. 10, p. e109954, 2014.

FERNANDES M. DE SOUSA, A. et al. The influence of exercise and physical fitness status on attention: A systematic review. **International Review of Sport and Exercise Psychology**, v. 12, n. 1, p. 202–234, 2019.

FOGT, D. L.; KALNS, J. E.; MICHAEL, D. J. A comparison of cognitive performance decreases during acute, progressive fatigue arising from different concurrent stressors. **Military Medicine**, v. 175, n. 12, p. 939–944, dez. 2010.

GARCÍA, A. et al. Circadian rhythms in two components of executive functions: cognitive inhibition and flexibility. **Biological Rhythm Research**, v. 43, n. 1, p. 49–63, 1 fev. 2012.

GLIGOROSKA, J. P.; MANCHEVSKA, S. The effect of physical activity on cognition - physiological mechanisms. **Materia Socio-Medica**, v. 24, n. 3, p. 198–202, 2012.

GOEL, N. et al. Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. **Progress in Molecular Biology and Translational Science**, v. 119, p. 155–190, 2013.

GOLOMBEK, D. A.; ROSENSTEIN, R. E. Physiology of circadian entrainment. **Physiological Reviews**, v. 90, n. 3, p. 1063–1102, jul. 2010.

GRISSOM, N. M.; REYES, T. M. Let's call the whole thing off: evaluating gender and sex differences in executive function. **Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology**, v. 44, n. 1, p. 86–96, 2019.

HAYNES, J. T. et al. Experimental Effects of Acute Exercise on Episodic Memory Function: Considerations for the Timing of Exercise. **Psychological Reports**, v. 122, n. 5, p. 1744–1754, out. 2019.

HEATH, M. et al. A post-exercise facilitation of executive function is independent of aerobically supported metabolic costs. **Neuropsychologia**, v. 120, p. 65–74, 1 nov. 2018.

HILL, A. C.; LAIRD, A. R.; ROBINSON, J. L. Gender differences in working memory networks: a BrainMap meta-analysis. **Biological Psychology**, v. 102, p. 18–29, out. 2014.

HILL, D. W. Morning-evening differences in response to exhaustive severe-intensity exercise. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme**, v. 39, n. 2, p. 248–254, fev. 2014.

HIURA, M.; MIZUNO, T.; FUJIMOTO, T. Cerebral oxygenation in the frontal lobe cortex during incremental exercise tests: the regional changes influenced by volitional exhaustion. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 662, p. 257–263, 2010.

HOGAN, M. et al. The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents. **Experimental Brain Research**, 2013.

HORNE, J. A.; OSTBERG, O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. **International Journal of Chronobiology**, v. 4, n. 2, p. 97–110, 1976.

HUANG, T. et al. Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. **The Journal of Pediatrics**, v. 167, n. 4, p. 810–815, out. 2015.

HWANG, J. et al. Acute high-intensity exercise-induced cognitive enhancement and brain-derived neurotrophic factor in young, healthy adults. **Neuroscience Letters**, v. 630, p. 247–253, 6 set. 2016.

HYDE, J. S. Sex and cognition: gender and cognitive functions. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 38, p. 53–56, 2016.

ISKANDAR, S. et al. Interacting effects of age and time of day on verbal fluency performance and intraindividual variability. **Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition**, v. 23, n. 1, p. 1–17, 2016.

ITAGI, A. B. H. et al. Physical Exhaustion Induced Variations in Event-Related Potentials and Cognitive Task Performance in Young Adults. **Annals of Neurosciences**, v. 25, n. 4, p. 299–304, dez. 2018.

JAIN, A. et al. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. **International Journal of Applied & Basic Medical Research**, v. 5, n. 2, p. 124–127, ago. 2015.

JAMES, F. O.; CERMAKIAN, N.; BOIVIN, D. B. Circadian Rhythms of Melatonin, Cortisol, and Clock Gene Expression During Simulated Night Shift Work. **Sleep**, v. 30, n. 11, p. 1427–1436, 1 nov. 2007.

JÄNCKE, L. Sex/gender differences in cognition, neurophysiology, and neuroanatomy. **F1000Research**, v. 7, 2018.

Jl, Z. et al. Influence of acute combined physical and cognitive exercise on cognitive function: an NIRS study. **PeerJ**, v. 7, 2 ago. 2019.

JOUBERT, C.; CHAINAY, H. Aging brain: the effect of combined cognitive and physical training on cognition as compared to cognitive and physical training alone – a systematic review. **Clinical Interventions in Aging**, v. 13, p. 1267–1301, 20 jul. 2018.

KASHIHARA, K. et al. Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 28, n. 4, p. 155–164, jun. 2009.

KNICKER, A. J. et al. Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. **Sports Medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 41, n. 4, p. 307–328, 1 abr. 2011.

KOŠČAK TIVADAR, B. Physical activity improves cognition: possible explanations. **Biogerontology**, v. 18, n. 4, p. 477–483, 2017.

KUNOROZVA, L.; RODEN, L. C.; RAE, D. E. Perception of effort in morning-type cyclists is lower when exercising in the morning. **Journal of Sports Sciences**, v. 32, n. 10, p. 917–925, 2014.

LABELLE, V. et al. Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. **Brain and Cognition**, v. 81, n. 1, p. 10–17, fev. 2013.

LABELLE, V. et al. Fitness level moderates executive control disruption during exercise regardless of age. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 36, n. 3, p. 258–270, jun. 2014.

LAMBOURNE, K.; TOMPOROWSKI, P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. **Brain Research**, v. 1341, p. 12–24, 23 jun. 2010.

LANG, J. J. et al. Field-based measurement of cardiorespiratory fitness to evaluate physical activity interventions. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 96, n. 11, p. 794–796, 1 nov. 2018.

LAUENROTH, A.; IOANNIDIS, A. E.; TEICHMANN, B. Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. **BMC Geriatrics**, v. 16, 18 jul. 2016.

LERICOLLAIS, R. et al. Diurnal evolution of cycling biomechanical parameters during a 60-s Wingate test. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 21, n. 6, p. e106-114, dez. 2011.

LI, J. W. et al. The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 20, n. 9, p. 841–848, set. 2017.

LI, L. et al. Acute Aerobic Exercise Increases Cortical Activity during Working Memory: A Functional MRI Study in Female College Students. **PLoS ONE**, v. 9, n. 6, 9 jun. 2014.

LINTHORNE, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 11, p. 1198–1204, 10 out. 2001.

LOK, R. et al. Daytime melatonin and light independently affect human alertness and body temperature. **Journal of Pineal Research**, v. 67, n. 1, p. e12583, ago. 2019.

LOPRINZI, P. D. Intensity-specific effects of acute exercise on human memory function: considerations for the timing of exercise and the type of memory. **Health Promotion Perspectives**, v. 8, n. 4, p. 255–262, 2018.

LOPRINZI, P. D. et al. The Effects of Exercise on Memory Function Among Young to Middle-Aged Adults: Systematic Review and Recommendations for Future Research. **American journal of health promotion: AJHP**, v. 32, n. 3, p. 691–704, 2018.

LOPRINZI, P. D. An integrated model of acute exercise on memory function. **Medical Hypotheses**, v. 126, p. 51–59, maio 2019.

LOPRINZI, P. D.; KANE, C. J. Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. **Mayo Clinic Proceedings**, v. 90, n. 4, p. 450–460, abr. 2015.

LOPRINZI, P. D.; PONCE, P.; FRITH, E. Hypothesized mechanisms through which acute exercise influences episodic memory. **Physiology International**, v. 105, n. 4, p. 285–297, 1 dez. 2018.

LOUREIRO, F.; GARCIA-MARQUES, T. Morning or Evening person? Which type are you? Self-assessment of chronotype. **Personality and Individual Differences**, v. 86, p. 168–171, 1 nov. 2015.

LOWE, C. J. et al. The effects of acute aerobic activity on cognition and cross-domain transfer to eating behavior. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 8, p. 267, 2014.

LUCAS, S. J. E. et al. Effect of age on exercise-induced alterations in cognitive executive function: relationship to cerebral perfusion. **Experimental Gerontology**, v. 47, n. 8, p. 541–551, ago. 2012.

LUDYGA, S. et al. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. **Psychophysiology**, v. 53, n. 11, p. 1611–1626, nov. 2016.

MACINTOSH, B. J. et al. Impact of a single bout of aerobic exercise on regional brain perfusion and activation responses in healthy young adults. **PloS One**, v. 9, n. 1, p. e85163, 2014.

MCLENNAN, S. N. et al. Hair cortisol and cognitive performance in working age adults. **Psychoneuroendocrinology**, v. 67, p. 100–103, maio 2016.

MCMORRIS, T. et al. Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. **Physiology & Behavior**, v. 102, n. 3–4, p. 421–428, 1 mar. 2011.

MCMORRIS, T. et al. Does acute exercise affect the performance of whole-body, psychomotor skills in an inverted-U fashion? A meta-analytic investigation. **Physiology & Behavior**, v. 141, p. 180–189, 15 mar. 2015.

MCMORRIS, T. History of research into the acute exercise–cognition interaction: A cognitive psychology approach. In: **Exercise-cognition interaction: Neuroscience perspectives**. San Diego, CA, US: Elsevier Academic Press, 2016a. p. 1–28.

MCMORRIS, T. Developing the catecholamines hypothesis for the acute exercise-cognition interaction in humans: Lessons from animal studies. **Physiology & Behavior**, v. 165, p. 291–299, 15 2016b.

MCMORRIS, T. et al. Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. **Physiology & Behavior**, v. 188, p. 103–107, 01 2018a.

MCMORRIS, T. et al. Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. **Physiology & Behavior**, v. 188, p. 103–107, 01 2018b.

MCMORRIS, T.; HALE, B. J. Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: a meta-analytical investigation. **Brain and Cognition**, v. 80, n. 3, p. 338–351, dez. 2012.

MCMORRIS, T.; KEEN, P. Effect of exercise on simple reaction times of recreational athletes. **Perceptual and Motor Skills**, v. 78, n. 1, p. 123–130, fev. 1994.

MEDEIROS, F. M. Memória traumática resistente à extinção, comportamento sensório-motor da marcha e histofisiologia da amígdala medial: uma análise integrativa em um modelo murino. 2016.

MEHREN, A. et al. Intensity-Dependent Effects of Acute Exercise on Executive Function. **Neural Plasticity**, v. 2019, p. 8608317, 2019.

MENASPÀ, P. et al. Demands of World Cup Competitions in Elite Women's Road Cycling. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 10, p. 1293–1296, 1 nov. 2017.

MOORE, R. D. et al. The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 9, p. 841–850, maio 2012.

MOORE, R. Y. The suprachiasmatic nucleus and the circadian timing system. **Progress in Molecular Biology and Translational Science**, v. 119, p. 1–28, 2013.

MOZOLIC, J. L.; HAYASAKA, S.; LAURIENTI, P. J. A Cognitive Training Intervention Increases Resting Cerebral Blood Flow in Healthy Older Adults. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 4, 12 mar. 2010.

NETZ, Y. et al. Acute aerobic activity enhances response inhibition for less than 30min. **Brain and Cognition**, v. 109, p. 59–65, 2016.

OBERSTE, M. et al. Effects and Moderators of Acute Aerobic Exercise on Subsequent Interference Control: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Frontiers in Psychology**, v. 10, p. 2616, 2019.

PEIRCE, J. W. PsychoPy—Psychophysics software in Python. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 162, n. 1, p. 8–13, 15 maio 2007.

PESCE, C. Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 34, n. 6, p. 766–786, dez. 2012.

PETERSEN, S. E.; POSNER, M. I. The attention system of the human brain: 20 years after. **Annual Review of Neuroscience**, v. 35, p. 73–89, 2012.

PONTIFEX, M. B. et al. Cerebral blood flow is not modulated following acute aerobic exercise in preadolescent children. **International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology**, v. 134, p. 44–51, 2018.

PRIEGO QUESADA, J. I. et al. The categorization of amateur cyclists as research participants: findings from an observational study. **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 17, p. 2018–2024, set. 2018.

PRIEGO QUESADA, J. I.; KUNZLER, M. R.; CARPES, F. P. Methodological Aspects of Infrared Thermography in Human Assessment. In: PRIEGO QUESADA, J. I. (Ed.). **Application of Infrared Thermography in Sports Science**. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 49–79.

RACINAIS, S. Different effects of heat exposure upon exercise performance in the morning and afternoon. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20 Suppl 3, p. 80–89, out. 2010.

RATHORE, A.; LOM, B. The effects of chronic and acute physical activity on working memory performance in healthy participants: a systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. **Systematic Reviews**, v. 6, n. 1, p. 124, 30 2017.

REID, K. J.; MCGEE-KOCH, L. L.; ZEE, P. C. Cognition in circadian rhythm sleep disorders. **Progress in Brain Research**, v. 190, p. 3–20, 2011.

ROBERT J. HOCKEY, G. Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. **Biological Psychology**, Mental Resources: Intensive and Selective Aspects. v. 45, n. 1, p. 73–93, 21 mar. 1997.

ROIG, M. et al. The effects of cardiovascular exercise on human memory: a review with meta-analysis. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 37, n. 8, p. 1645–1666, set. 2013.

ROMEIJN, N.; VAN SOMEREN, E. J. W. Correlated fluctuations of daytime skin temperature and vigilance. **Journal of Biological Rhythms**, v. 26, n. 1, p. 68–77, fev. 2011.

RUSSELL, S. et al. The application of mental fatigue research to elite team sport performance: New perspectives. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 22, n. 6, p. 723–728, jun. 2019.

SCERIF, G. Attention trajectories, mechanisms and outcomes: at the interface between developing cognition and environment. **Developmental Science**, v. 13, n. 6, p. 805–812, nov. 2010.

SCHMIT, C. et al. Pushing to the limits: the dynamics of cognitive control during exhausting exercise. **Neuropsychologia**, v. 68, p. 71–81, fev. 2015.

SCHÜCKER, L. et al. On the optimal focus of attention for efficient running at high intensity. **Sport, Exercise, and Performance Psychology**, v. 2, n. 3, p. 207–219, 2013.

SEIFERT, T.; SECHER, N. H. Sympathetic influence on cerebral blood flow and metabolism during exercise in humans. **Progress in Neurobiology**, v. 95, n. 3, p. 406–426, nov. 2011.

SELMAOUI, B.; TOUITOU, Y. Reproducibility of the circadian rhythms of serum cortisol and melatonin in healthy subjects: a study of three different 24-h cycles over six weeks. **Life Sciences**, v. 73, n. 26, p. 3339–3349, 14 nov. 2003.

SEO, D. Y. et al. Morning and evening exercise. **Integrative Medicine Research, The Power of Physical Activity**, v. 2, n. 4, p. 139–144, 1 dez. 2013.

SIECK, D. C. et al. Post-exercise syncope: Wingate syncope test and visual-cognitive function. **Physiological Reports**, v. 4, n. 16, 2016.

SILBERMAN, M. R. et al. Road bicycle fit. **Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine**, v. 15, n. 4, p. 271–276, jul. 2005.

SINGH, A. M.; STAINES, W. R. The Effects of Acute Aerobic Exercise on the Primary Motor Cortex. **Journal of Motor Behavior**, v. 47, n. 4, p. 328–339, 4 jul. 2015.

SLUSHER, A. L. et al. Impact of high intensity interval exercise on executive function and brain derived neurotrophic factor in healthy college aged males. **Physiology & Behavior**, v. 191, p. 116–122, 01 2018.

SLUTSKY, A. B. et al. The effects of low-intensity cycling on cognitive performance following sleep deprivation. **Physiology & Behavior**, v. 180, p. 25–30, 15 out. 2017.

SMART, N. A.; DIEBERG, G.; GIALLAURIA, F. Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: a meta-analysis. **International Journal of Cardiology**, v. 166, n. 2, p. 352–358, 20 jun. 2013.

SMITH, D. L.; CLAYTOR, R. P. An acute bout of aerobic exercise reduces movement time in a Fitts' task. **PLoS ONE**, v. 13, n. 12, 31 dez. 2018.

SMITH, J. C. et al. Detecting changes in human cerebral blood flow after acute exercise using arterial spin labeling: implications for fMRI. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 191, n. 2, p. 258–262, 30 ago. 2010.

SOUISSI, H. et al. The effect of training at a specific time-of-day on the diurnal variations of short-term exercise performances in 10- to 11-year-old boys. **Pediatric Exercise Science**, v. 24, n. 1, p. 84–99, fev. 2012.

SQUIRE, L. R.; DEDE, A. J. O. Conscious and unconscious memory systems. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 7, n. 3, p. a021667, 2 mar. 2015.

STROOP, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. **Journal of Experimental Psychology**, v. 18, n. 6, p. 643–662, 1935.

SUDO, M. et al. Executive function after exhaustive exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 10, p. 2029–2038, out. 2017.

TEO, W.; NEWTON, M. J.; MCGUIGAN, M. R. Circadian rhythms in exercise performance: implications for hormonal and muscular adaptation. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 10, n. 4, p. 600–606, 1 dez. 2011.

THAU, L.; SHARMA, S. Physiology, Cortisol. In: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2020.

THUN, E. et al. Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. **Sleep Medicine Reviews**, v. 23, p. 1–9, out. 2015.

TSAI, C.-L. et al. Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 8, p. 262, 2014.

TSUKAMOTO, H. et al. Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males. **Physiology & Behavior**, v. 160, p. 26–34, 01 2016.

TSUKAMOTO, H. et al. Impact of Exercise Intensity and Duration on Postexercise Executive Function. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 49, n. 4, p. 774–784, 2017.

VALDEZ, P. Circadian Rhythms in Attention. **The Yale Journal of Biology and Medicine**, v. 92, n. 1, p. 81–92, 25 mar. 2019.

VAN DEN BERG, V. et al. Exercise of Varying Durations: No Acute Effects on Cognitive Performance in Adolescents. **Frontiers in Neuroscience**, v. 12, p. 672, 2018.

VAN DER VINNE, V. et al. Timing of examinations affects school performance differently in early and late chronotypes. **Journal of Biological Rhythms**, v. 30, n. 1, p. 53–60, fev. 2015.

VASQUES, P. E. et al. Acute exercise improves cognition in the depressed elderly: the effect of dual-tasks. **Clinics**, v. 66, n. 9, p. 1553–1557, 2011.

VERBURGH, L. et al. Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 48, n. 12, p. 973–979, jun. 2014.

VITALE, J. A.; WEYDAHL, A. Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. **Sports Medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 47, n. 9, p. 1859–1868, set. 2017.

VOLPATO, E. DE S. N. [UNESP. Subsídios para construção de estratégias de busca para revisões sistemáticas na base de dados Medline via Pubmed. **Aleph**, p. 176 f., 5 nov. 2013.

VONK, M. et al. Similar changes in executive function after moderate resistance training and loadless movement. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, 22 fev. 2019.

WALSH, J. J.; TSCHAKOVSKY, M. E. Exercise and circulating BDNF: Mechanisms of release and implications for the design of exercise interventions. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme**, v. 43, n. 11, p. 1095–1104, nov. 2018.

WANG, C.-C. et al. Executive function during acute exercise: the role of exercise intensity. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 35, n. 4, p. 358–367, ago. 2013.

WANG, C.-C. et al. Failure to identify an acute exercise effect on executive function assessed by the Wisconsin Card Sorting Test. **Journal of Sport and Health Science**, v. 4, n. 1, p. 64–72, 1 mar. 2015.

WATERHOUSE, J. Circadian rhythms and cognition. **Progress in Brain Research**, v. 185, p. 131–153, 2010.

WENG, T. B. et al. Differential Effects of Acute Exercise on Distinct Aspects of Executive Function. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 47, n. 7, p. 1460–1469, jul. 2015.

WOHLWEND, M. et al. Exercise Intensity-Dependent Effects on Cognitive Control Function during and after Acute Treadmill Running in Young Healthy Adults. **Frontiers in Psychology**, v. 8, p. 406, 2017.

YANAGISAWA, H. et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. **NeuroImage**, v. 50, n. 4, p. 1702–1710, 1 maio 2010.

ZACH, S.; SHALOM, E. The Influence of Acute Physical Activity on Working Memory. **Perceptual and Motor Skills**, v. 122, n. 2, p. 365–374, abr. 2016.

ZUNIGA, K. E. et al. Acute aerobic exercise improves memory across intensity and fitness levels. **Memory**, v. 27, n. 5, p. 628–636, 28 maio 2019.

APÊNDICES**APÊNDICE A - Ficha de anamnese****FICHA DE ANAMNESE**

Nome: _____

Idade: _____ anos Preferência Lateral: _____ Data
_____/_____/_____.

Massa corporal: _____ kg / Estatura: _____ metros

Como você considera seu atual estado de saúde? () Ótimo () Bom () Ruim ()
PéssimoVocê teve alguma lesão recentemente? () Sim ()
Não _____Você tem alguma restrição de mobilidade? () Sim ()
Não _____Você tem alguma doença crônica? () Sim () Não
_____Usa algum medicamento regularmente? () Sim () Não

Você tem alguma dificuldade em reconhecer cores? () Sim () Não

Sobre a noite anterior:

1. Ontem que hora foi deitar? _____

2. Quanto tempo levou para dormir? _____

3. Que hora levantou de manhã? _____

4. Você acordou no meio da noite? () Sim () Não Quantas
vezes? _____

5. Precisou levantar? () Sim () Não

6. Sentiu alguma dor? () Sim () Não

7. Como você classificaria a qualidade da sua noite de sono?

() Muito boa () Boa

() Ruim () Muito ruim

APÊNDICE B - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada – Campus Uruguiana

Esse termo de consentimento, cuja cópia lhe foi entregue, é apenas parte de um processo de consentimento informado de um projeto de pesquisa do qual você está sendo convidado a participar. Este termo deve lhe dar uma ideia básica do que se trata o projeto, e o que sua participação envolverá. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado aqui, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente esse termo, a fim de que você tenha entendido plenamente o objetivo desse projeto, e o seu envolvimento nesse estudo como sujeito participante. O investigador tem o direito de encerrar o seu envolvimento nesse estudo, caso isso se faça necessário, se você não estiver apto a realizar as atividades no momento da avaliação, ou se a comunicação entre o pesquisador e você se torne ineficaz. De igual forma, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento se assim o desejar. O projeto de pesquisa: “EFEITO AGUDO DO EXERCÍCIO FÍSICO EM DIFERENTES HORAS DO DIA SOBRE O DESEMPENHO NEUROMUSCULAR E COGNITIVO EM HUMANOS”, será realizado pelo Grupo de Neuromecânica Aplicada (GNAP) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Sua participação envolve a visita ao laboratório de neuromecânica da UNIPAMPA durante aproximadamente uma hora e meia, em oito dias e horários de sua disponibilidade, quando será feita uma avaliação (física, cognitiva ou de controle) de acordo com o sorteio. Este projeto busca investigar o efeito agudo do exercício físico e de tarefas cognitivas no desempenho neuromuscular e cognitivo sob influência hora do dia em jovens adultos fisicamente ativos. Para determinar se há esse efeito e se ele é influenciado pela hora do dia, propomos avaliar em laboratório, a função neuromuscular e desempenho cognitivo de indivíduos fisicamente ativos, sob distintas condições de exercício, aplicando protocolos de esforço físico e tarefas cognitivas, individualmente e combinadas, em diferentes períodos do dia. Com isso, construiremos uma tese robusta sobre possíveis interações entre os mecanismos fisiológicos que atuam no exercício e seus reflexos sobre o desempenho físico, cognitivo e o ritmo circadiano. Os resultados terão importantes implicações práticas para o treinamento físico e cognitivo. Por meio deste documento e a qualquer tempo você poderá solicitar esclarecimentos adicionais sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar. Também poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento, sem sofrer qualquer tipo de penalidade ou prejuízo. Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Os gastos necessários para a sua participação na pesquisa serão assumidos pelos pesquisadores. Você receberá um retorno individual com seu desempenho nos testes. Seu nome e identidade serão mantidos em sigilo, e os dados da pesquisa serão armazenados pelo(a) pesquisador(a) responsável. Os resultados poderão ser divulgados em publicações científicas e apresentados em encontros científicos, entretanto ele mostrará apenas os resultados obtidos como um todo, sem revelar nomes dos participantes, instituições a qual pertencem ou qualquer informação privada, assim como apresentados a você à comunidade envolvida, para estimular reflexões acerca da prática de atividade física. O principal benefício de sua participação voluntária será o recebimento dos resultados dos testes, que serão gratuitos e irão fornecer importantes informações sobre o desempenho em tarefas neuromusculares e cognitivas. Adicionalmente, no relatório de resultados você terá acesso a informações como massa, estatura, frequência cardíaca média, pressão arterial, que poderão ser úteis quando você for se exercitar sozinho. Os resultados do estudo serão divulgados em veículos científicos resguardando a sua identidade e imagem. O protocolo de avaliações oferece poucos riscos físicos a você, pois contempla ações controladas e avaliadas constantemente pelos pesquisadores. Se você entrar no grupo de exercícios, irá participar de uma sessão de exercício físico, haverá uma sensação de cansaço, mas dentro

do esperado, em ritmo seguro. Durante as atividades serão tomados todos os cuidados necessários para evitar desconfortos musculares ou articulares, utilizando exercícios simples e fáceis. Caso necessário será acionado o serviço de emergência em saúde, com a equipe de pesquisadores prestando todo o suporte possível. Durante todas as atividades você terá acesso à água, poderá descansar sentado ou em pé, e terá toda a atenção da equipe de pesquisadores. A frequência cardíaca e pressão arterial serão aferidas antes da sessão a fim de garantir seu estado normal. Em caso de alterações importantes, será orientado a não realizar a atividade. Após ser esclarecida sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra será arquivada pelo pesquisador responsável. Você poderá seguir sua rotina de vida normalmente. Os horários podem ser agendados por telefone, email ou pessoalmente, sendo possível a disponibilidade de carona para ir ao campus e também para retornar, bastando combinar com os pesquisadores o dia, horário e o endereço. Eu _____ estou ciente das informações acima e concordo em participar do projeto de pesquisa citado neste termo, por livre e espontânea vontade.

Caso deseje maiores informações contate: Marcos Roberto Kunzler (Fone –(55) 966224650 – marcoskunzler@unipampa.edu.br. Caso deseje contatar o CEP/Unipampa: Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pampa (Fone – (55) 3413 4321, Ramal: 2289 - cep@unipampa.edu.br.) O CEP/Unipampa fica no Prédio Administrativo da Unipampa – Campus Uruguaiana, sala 23. As ligações para os telefones de contato podem ser feitas a cobrar.

Assinatura Participante ou responsável

Assinatura Pesquisador

Nome por extenso

Marcos Roberto Kunzler

Data: ___/___/___

The screenshot shows the 'Plataforma Brasil' interface. At the top, there are navigation buttons: 'Público', 'Pesquisador', and 'Alterar Meus Dados'. Below this, the 'DETALHAR PROJETO DE PESQUISA' section is active, displaying the following information:

- DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA**
- Título da Pesquisa: EFEITO AGUDO DO EXERCÍCIO FÍSICO EM DIFERENTES HORAS DO DIA SOBRE O DESEMPENHO NEUROMUSCULAR E COGNITIVO EM HUMANOS
- Pesquisador Responsável: Marcos Roberto Kunzler
- Área Temática:
- Versão: 5
- CAAE: 79951917.9.0000.5323
- Submetido em: 24/05/2018
- Instituição Proponente: Fundação Universidade Federal do Pampa UNIPAMPA
- Situação da Versão do Projeto: Aprovado
- Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável
- Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

On the right side of the details, there is a circular stamp that reads 'COORDENADOR'. At the bottom right, there is a 'Comprovante de Recepção' (Receipt Proof) with a QR code and the reference number 'PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1011879'.

ANEXOS

ANEXO A - Morning Evening Questionnaire (MEQ) Hone JA, Ostberg (1976)

- 1 – Até que ponto você depende do despertador para acordar de manhã:
 1 – muito dependente ()1
 2 – razoavelmente dependente ()2
 3 – um pouco dependente ()3
 4 – nada dependente ()4
- 2 – Você acha fácil acordar pela manhã?
 1 – Nada ()1
 2 – Não muito ()2
 3 – Razoavelmente ()3
 4 – Muito ()4
- 3 – Você se sente alerta durante a primeira meia hora depois de acordar?
 1 – Nada ()1
 2 – Não muito ()2
 3 – Razoavelmente ()3
 4 – Muito ()4
- 4 – Como é o seu apetite durante a primeira hora depois de acordar?
 1 – Péssimo ()1
 2 – Ruim ()2
 3 – Razoável ()3
 4 – Muito bom ()4
- 5 – Durante a primeira meia hora depois de acordar você se sente cansado?
 1 – Muito ()1
 2 – Não muito ()2
 3 – Razoavelmente em forma ()3
 4 – Em plena forma, bem energética ()4
- 6 – A que horas você gostaria de ir se deitar, caso NÃO tivesse compromisso na manhã seguinte?
 1 – Mais de duas horas mais tarde que o normal ()1
 2 – Entre uma e duas horas mais tarde do que o habitual ()2
 3 – Menos que uma hora mais tarde que o habitual ()3
 4 – Nunca mais tarde do que o horário que costumo dormir ()4
- 7 – O que você acha de fazer exercícios físicos das 07:00 às 08:00 2 vezes por semana?
 1 – Acharia muito difícil ()1
 2 – Acharia isso difícil ()2
 3 – Estaria razoavelmente disposto pra fazer ()3
 4 – Estaria bem disposto pra fazer ()4
- 8 – Você foi dormir várias horas mais tarde do que o costume. Se no dia seguinte você não tivesse hora certa pra acordar, o que que aconteceria?
 1 – Acordaria mais tarde que o habitual ()1
 2 – Acordaria na hora normal e dormiria novamente ()2
 3 – Acordaria na hora normal, com sono ()3
 4 – Acordaria na hora normal, sem sono ()4
- 9 – Se você tivesse de ficar acordado nas 04:00 às 06:00 pra fazer uma tarefa e não tivesse compromisso durante o resto do dia, o que você faria?
 1 – Só dormiria depois de fazer a tarefa ()1
 2 – Tiraria uma soneca antes da tarefa e dormiria depois ()2
 3 – Dormiria bastante antes e tiraria uma soneca depois ()3
 4 – Só dormiria antes de fazer a tarefa ()4
- 10 – Se você tivesse de fazer 2 horas de exercício pesado, qual destes horário você escolheria?
 1 – 19 às 21h ()1
 2 – 15 às 17 ()2
 3 – 11 às 13 ()3
 4 – 8 às 10 ()4
- 11 – O que você acha de fazer exercícios físicos das 22:00 às 23:00 2 vezes por semana ?
 1 – Estaria bem disposto pra fazer ()1
 2 – Estaria razoavelmente disposto pra fazer ()2
 3 – Acharia isso difícil ()3
 4 – Acharia isso muito difícil ()4
- 12 – Entre 20h e 03h, a que horas da noite você se sente cansado e com vontade de dormir?
 1 – 20 às 21 ()5
 2 – 21 às 22 ()4
 3 – 22 às 00:45 ()3
 4 – 00:45 às 02 ()2
 5 – 02 às 03 ()1
- 13 – Se você fosse se deitar às 23h, com que nível de cansaço você se sentiria?
 1 – Nada cansado ()0
 2 – Um pouco cansado ()2
 3 – Razoavelmente cansado ()3
 4 – Muito cansado ()5
- 14 – Se você tivesse total liberdade pra planejar seu dia, que horas que você levantaria?
 1 – 5:00 às 6:30 ()5
 2 – 6:30 às 07:45 ()4
 3 – 07:45 às 09:45 ()3
 4 – 09:45 às 11:00 ()2
 5 – 13:00 às 14:00 ()1
- 15 – Se você tivesse total liberdade pra planejar seu dia, que horas que você deitaria?
 1 – 20:00 às 21:00 ()5
 2 – 21:00 às 22:15 ()4
 3 – 22:15 às 00:30 ()3
 4 – 00:30 às 01:45 ()2
 5 – 01:45 às 03:00 ()1
- 16 – Se você trabalhasse por 5 horas seguidas e pudesse escolher qualquer horário do dia, por qual você optaria?
 1 – Matutino ()5
 2 – Vespertino ()3
 3 – Noturno ()1
- 17 – Em que hora do dia você atinge o seu melhor momento de bem-estar?
 1 – 5 às 7 ()5
 2 – 8 às 9 ()4
 3 – 10 às 16 ()3
 4 – 17 às 21 ()2
 5 – 22 às 04 ()1
- 18 – Qual o horário você escolheria para ter o máximo de sua forma em um teste de esforço mental?
 1 – 8 às 10 ()6
 2 – 11 às 13 ()4
 3 – 15 às 17 ()2
 4 – 19 às 21 ()0
- 19 – Com qual cronotipo você se considera mais parecido?
 1 – Tipo matutino ()6
 2 – Mais matutino que vespertino ()4
 3 – Mais vespertino que matutino ()2
 4 – Tipo vespertino ()0
- Some as pontuações:
 16-41 pontos: Vespertino
 42-58 pontos: Misto
 59-86 pontos: Matutino

ANEXO B - Índice da qualidade do sono de Pittsburgh (IQSP)

As seguintes perguntas são relativas aos seus hábitos de sono durante o último mês somente. Suas respostas devem indicar a lembrança mais exata da maioria dos dias e noites do último mês. Por favor, responda a todas as perguntas.

1. Durante o último mês, quando você geralmente foi para a cama a noite?
hora usual de deitar:

2. Durante o último mês, quanto tempo (em minutos) você geralmente levou para dormir a noite?
número de minutos:

3. Durante o último mês, quando você geralmente levantou de manhã?
hora usual de levantar?

4. Durante o último mês, quantas horas de sono você teve por noite? (Esta pode ser diferente do número de horas que você ficou na cama)
Horas de sono por noite:

5. Durante o último mês, com que frequência você teve dificuldade para dormir porque você:

A) não consegui adormecer em até 30 minutos
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

B) acordou no meio da noite ou de manhã cedo
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

C) precisou levantar para ir ao banheiro
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

D) não consegui respirar confortavelmente
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

E) tossiu ou roncou forte
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

F) Sentiu muito frio
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

G) sentiu muito calor
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

H) sentiu muito calor
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

H) teve sonhos ruins
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

I) teve dor
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

J) outras razões, por favor descreva:
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

6. Durante o último mês como você classificaria a qualidade do seu sono de uma maneira geral:

Muito boa Boa Ruim Muito ruim

7. Durante o último mês, com que frequência você tomou medicamento (prescrito ou por conta própria) para lhe ajudar

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

8. No último mês, que frequência você teve dificuldade para ficar acordado enquanto dirigia, comia ou participava de uma atividade social (festa, reunião de amigos)

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

9. Durante o último mês, quão problemático foi pra você manter o entusiasmo (ânimo) para fazer as coisas (suas atividades habituais)?
Nenhuma dificuldade Um problema leve
Um problema razoável Um grande problema

10. Você tem um parceiro (a), esposo (a) ou colega de quarto?
A) Não
B) Parceiro ou colega, mas em outro quarto
C) Parceiro no mesmo quarto, mas em outra cama
D) Parceiro na mesma cama

Se você tem um parceiro ou colega de quarto pergunte a ele com que frequência, no último mês você apresentou:

E) Ronco forte
1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

Se você tem um parceiro ou colega de quarto pergunte a ele com que frequência, no último mês você apresentou:

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana
3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

F) Longas paradas de respiração enquanto dormia

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana

3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

G) contrações ou puxões de pernas enquanto dormia

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana

3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

D) episódios de desorientação ou confusão durante o sono

INSTRUÇÕES PARA PONTUAÇÃO

Componente 1: Qualidade subjetiva do sono:

Examine a questão 6 e atribua a pontuação:

Muito boa = 0 Boa = 1 Ruim = 2
Muito ruim = 3

Pontuação do componente 1

Componente 2: Latência do sono:

a) Examine a questão 2 e atribua a pontuação:

< ou = 15 min = 0 16 a 30 min = 1
31 a 60 min = 2 >60min = 3

b) Examine a questão 5a e atribua a pontuação:

Nenhuma = 0 - de 1 x/sem = 1
1 a 2 x/sem = 2 2 a 3 x/sem = 3

c) Some a pontuação da questão 2 e 5

d) Atribua a pontuação do componente 2 da seguinte maneira:

0 = 0 1 a 2 = 1
3 a 4 = 2 5 a 6 = 3

Pontuação do componente 2

Componente 3: Duração do sono:

a) Examine questão 4 e atribua a pontuação :

> 7 horas = 0 6 a 7 horas = 1
5 a 6 horas = 2 < 5 horas = 3

Pontuação do componente 3

Componente 4: Eficiência habitual do sono:

Examine a questão 2 e atribua a pontuação:

Escreva o número de horas dormidas (questão 4);

Calcule o número de horas no leito: {horário de levantar (questão 3) – horário de deitar (questão 1)}

Calcule a eficiência do sono: {no de horas dormidas/no de horas no leito} x 100 = eficiência do sono(%)

Atribua a pontuação do componente 4 da seguinte maneira:

> 85% = 0 75 a 84% = 1

65 a 74% = 2 10 = Distúrbio do sono.

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana

3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

E) Outras alterações (inquietações) enquanto você dorme, por favor

descreva: _____

1 = nenhuma no último mês 2 = menos de uma vez por semana

3 = uma ou duas vezes por semana 4 = três ou mais vezes na semana

Componente 5: Distúrbios do sono:

1. Examine as questões de 5b a 5j e atribua a pontuação:

Nenhuma = 0 - de 1 x/sem = 1
1 a 2 x/sem = 2 2 a 3 x/sem = 3

2. Some a pontuação de 5b a 5j:

3. Atribua a pontuação do componente 5 da seguinte forma:

Soma de 5b a 5j

0 = 0 1 a 9 = 1

10 a 18 = 2 19 a 27 = 3

Pontuação do componente 5

Componente 6: Uso de medicação para dormir:

1. Examine a questão 7 e atribua a pontuação:

Nenhuma = 0 - de 1 x/sem = 1
1 a 2 x/sem = 2 2 a 3 x/sem = 3

Pontuação do componente 6

Componente 7: Disfunção durante o dia:

1. Examine a questão 8 e atribua a pontuação:

Nenhuma = 0 - de 1 x/sem = 1
1 a 2 x/sem = 2 2 a 3 x/sem = 3

2. Examine a questão 9 e atribua a pontuação da seguinte maneira:

Nenhuma = 0 Pequena = 1
Moderada = 2 Muita = 3

3. Some a pontuação das questões 8 e 9

4. Atribua a pontuação do componente 7 da seguinte maneira:

Soma Escore

0 = 0 1 a 2 = 1

3 a 4 = 2 5 a 7 = 3

Pontuação do componente 7

Os escores dos sete componentes são somados para conferir uma pontuação global do PSQI, a qual varia de 0 a 21.

Pontuação Qualidade do sono

0 a 4 = Boa

5 a 10 = Ruim

> 10 = Presença de distúrbio do sono

ANEXO C – Escala de Humor de Brunel

A Escala de Humor de Brunel (BRUMS)

Abaixo está uma lista de palavras que descrevem sentimentos. Por favor, leia tudo atentamente. Em seguida assinale, em cada linha, o quadrado que melhor descreve **COMO VOCÊ SE SENTE AGORA**. Tenha certeza de sua resposta para cada questão, antes de assinalar.

Escala:

0 = nada 1 = um pouco 2 = moderadamente
3 = bastante 4 = extremamente

	0	1	2	3	4
1. Apavorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Animado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Confuso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Esgotado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Deprimido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Desanimado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Irritado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Exausto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Inseguro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Sonolento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Zangado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Triste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Ansioso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Preocupado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Com disposição	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Infeliz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Desorientado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Tenso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Com raiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Com energia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Cansado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Mal-humorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Alerta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Indeciso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO D - Percepção subjetiva de esforço - Escala de Borg

6	Nenhum esforço
7 - 8	Muito fácil
9 - 10	Fácil
11 -12	Relativamente cansativo
13 - 14	Um pouco cansativo
15 - 16	Cansativo
17 - 18	Muito cansativo
19 - 20	Esforço máximo

ANEXO E – Cicloergômetro

Excalibur sport

Phased out - support up till 2029



Features

**7
watt**

Extreme low start up load
The extreme low start-up load of 7 watts and the adjustability in small steps of 1 watt make this ergometer perfectly suitable for many different applications. The standard control unit shows multiple ergometry parameters and you can determine your specific default setting and start-up menu.



Accurate over a long period of time
The Lode ergometers are supplied with an electro-magnetic braking mechanism of Lanooy (eddy current). The biggest advantage of this braking system compared to a friction braking system is the absolute accuracy and the accuracy over time. Moreover, friction braking systems have more wearing parts.

**1
watt**

Small adjustment steps
The workload of the Lode ergometers is adjustable in steps of only 1 watt. Depending on your wishes, the test operator or the test subject can adjust the workload. The steps of 1 watt are possible in the manual mode as well as within protocols.



Compatible with ECG and pulmonary devices
The Lode ergometers have digital interfaces and can be controlled easily by all known stress ECG and pulmonary devices available in the world. This is one of the reasons why the Lode ergometers are very popular worldwide.



Designed to be sweat-proof
The housing of the ergometer is designed in such way that sweat does not have the chance to drip into the mechanical parts and cables are protected. This ensures a long lifetime and makes the ergometer insensitive for malfunction.



LEM compatible
This product can be used with Lode Ergometry Manager (LEM) software to manage data and to apply specific protocols when a Communication card is present



Adjustable handlebar Excalibur Sport
The position of the handlebar of Excalibur Sport is completely adjustable in height and length



Adjustable saddle Excalibur Sport
The position of the saddle of the excalibur sport can be adjusted in height, length and angle to suit all users



Compatible with click pedals
The bicycle ergometer is compatible with most available clickpedals to allow for maximum user flexibility



Instant maximum load
By selecting P-slope max the ergometer immediately reaches maximum power

ANEXO F – Plataforma de força

OR6-6

High Frequency Force Platform



AMTI
FORCE AND MOTION



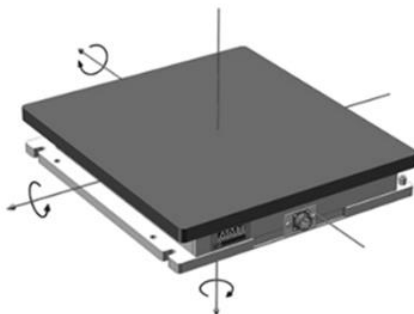
APPLICATIONS

The OR6-6* model biomechanics force platform is ideal for applications which require high frequency response or a light-weight sensor. The OR6-6 can be used for biomechanics, engineering, medical research, orthopedics, rehabilitation evaluation, prosthetics, and general industrial uses. Specific uses include gait analysis, stability analysis, neurological analysis, prosthetics fitting, athletic performance, shoe design, and force, power, and work studies.

DESCRIPTION

The AMTI Biomechanics Force Platform model OR6-6 offers the highest resonant frequency of AMTI's line of force platforms. This platform features composite construction, resulting in a low-mass instrument with excellent frequency response.

Specifically designed for the precise measurement of ground reaction forces, the OR6-6 measures the three orthogonal force components along the X, Y, and Z axes, and the moments about the three axes, producing a total of six outputs. The high sensitivity, low crosstalk, excellent repeatability and long term stability of this platform makes it ideal for research and clinical studies. The OR6-6 is easy to use and is available in either 1000, 2000, or 4000 pound (4450, 8900, or 17,800 Newton) vertical capacities.



according to the right hand rule. When looking down an axis (in its positive direction) positive moments have a clockwise rotation.

CALIBRATION

Each platform is inspected and tested in AMTI's calibration facility. The calibration procedure provides a detailed sensitivity matrix and a complete test of all system components, including the amplifier and the connecting cable.

SOFTWARE

Automated data collection and reduction requires a computer and software. AMTI's software package, BioAnalysis with NetForce, is specifically designed for biomechanics and clinical applications. NetForce provides a simple user interface and extensive database function for easy trial set-up and data acquisition. BioAnalysis performs a comprehensive analysis of the data and presents many summarizing parameters that can be averaged across numerous selectable trials. The BioAnalysis with NetForce software package is available separately or combined in one of AMTI's BIOVEC™ Systems.

BIOVEC™ SYSTEMS

AMTI's BIOVEC™ Systems are complete gait and balance analysis force platform systems. Each system consists of force platforms (from 1 to 4), amplifiers, cables, mounting hardware, A/D converter, and BioAnalysis software.

F_x , F_y , and F_z are the force components and act along the axes of an orthogonal x, y, z-coordinate system. In the diagram, the arrows point in the direction of positive force along each of the axes, following the right-hand rule. F_x and F_y are the horizontal or shear force components, and F_z is the vertical force component.

M_x , M_y and M_z are the three moment components. Moments are rotations around the corresponding x, y and z axes.

Positive moments are determined

ANEXO G – Câmera termográfica



Technical Data FLIR E60

Part number:

64502-1202

Copyright

© 2013, FLIR Systems, Inc.

All rights reserved worldwide. Names and marks appearing herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR Systems and/or its subsidiaries. All other trademarks, trade names or company names referenced herein are used for identification only and are the property of their respective owners.

October 17, 2013, 07:42 AM

Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-503-498-3547

Website

<http://www.flir.com>

Customer support

<http://support.flir.com>

Legal disclaimer

Specifications subject to change without further notice. Camera models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply.

Information and equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited.



General description

The FLIR Exx-Series is a compact and rugged infrared camera that can be used in harsh environments while still providing you with the latest technology such as a modern touchscreen. The Exx-Series is the perfect choice when you are looking for a robust but feature-rich camera at an affordable price.

Benefits:

- **Robust and sophisticated:** The Exx-Series has a robust and light-weight design and can withstand a 2 meter drop. Big buttons combined with a modern touch screen and broad measuring capabilities, it is the right choice for demanding inspections in the field.
- **Best value for money:** The FLIR Exx-Series combines good performance (up to 320 x 240 pixels), a user-friendly interface, and a rugged point-and-shoot design with an affordable price.