

BRUNO TEOBALDO CAMPOS

**EFEITOS DA FADIGA MENTAL NO DESEMPENHO FÍSICO E NAS RESPOSTAS  
FISIOLÓGICAS DE JUDOCAS SUBMETIDOS AO *SPECIAL JUDO FITNESS TEST***

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – EEEFTO

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

2018

BRUNO TEOBALDO CAMPOS

**EFEITOS DA FADIGA MENTAL NO DESEMPENHO FÍSICO E NAS RESPOSTAS  
FISIOLÓGICAS DE JUDOCAS SUBMETIDOS AO *SPECIAL JUDO FITNESS TEST***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Sales Prado

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – EEFFTO

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

2018

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com os auxílios concedidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família, meu querido pai e meus irmãos, por serem minha base de sustentação e minha proteção nos momentos de dificuldade. A realização dos meus sonhos e metas idealizadas só foram possíveis devido ao apoio incondicional de vocês. Ainda em primeiro lugar, é impossível não ser grato a minha namorada Viviani, que foi minha incentivadora e companheira durante o processo do mestrado, abdicando de diversos finais de semana de descanso para ficar ao meu lado enquanto eu estudava ou ajudando em diversas coletas. Vocês são a razão disso tudo.

Agradeço ao Eduardo Penna por ter sido meu grande companheiro nessa jornada. Desde a correção do primeiro projeto antes da entrada no mestrado até a última bronca antes de entregar a dissertação. Parceiro de coleta, de escrita de artigo, de discussões incansáveis sobre esse tema, mas além de tudo, amigo para todas as horas.

Ao Thiago Mendes e ao Bob, por me ensinarem a plotar o primeiro gráfico, a fazer a primeira análise de  $VO_2$ , a primeira análise de lactato e por me incentivarem a buscar o maior rigor possível nas minhas coletas e preocupar com mínimos detalhes.

Aos meus colegas de mestrado, João Gabriel, Pedro, Vinícius, Bielis, pelos cafés, discussões acadêmicas e por compartilhar as angústias e vitórias inerentes a esse processo. A paixão de vocês pela Ciência do Esporte me motiva!

Ao professor Samuel e a professora Danusa, pelos ensinamentos diários no laboratório e nas reuniões científicas. Obrigado por serem professores dedicados a essa difícil tarefa de fazer ciência no Brasil. Vocês são grandes exemplos de como quero seguir na docência.

Aos colegas de laboratório, principalmente aos alunos do professor Luciano, por todo o companheirismo e incentivos diários.

Ao Sensei André, meu segundo pai, que me apoiou incondicionalmente em todos os momentos, me mostrando diariamente que o Judô é muito mais do que uma luta dentro de um tatame, mas uma filosofia de vida com transferência para todos os âmbitos da vida. Não esquecendo também, dos meus amigos de tatame/voluntários, que se submeteram a cansativas e dolorosas coletas nos finais de semana sem falhar um dia sequer.

Agradeço também aos meus companheiros de Minas Tênis Clube (Cláudio, Marcelo, Serginho) que acompanharam o final desta etapa, me auxiliando a conciliar mestrado e rotina de trabalho, compreendendo as dificuldades e restrições de tempo e me ajudando a finalizar esta etapa.

Por último, mas não menos importante, ao meu orientador professor Luciano. Ao longo de todo o processo não poupou esforços para ser mais que um orientador, mas um amigo que fazia o processo se tornar mais suave e prazeroso. Obrigado pelos ensinamentos, discussões científicas e acima de tudo pelas cervejas. Obrigado por me ensinar e me motivar a ser um professor e pesquisador diferente.

“Ler fornece ao espírito materiais para o conhecimento, mas só o pensar faz nosso o que lemos.”

(John Locke)

## RESUMO

A fadiga mental pode manifestar-se de forma subjetiva, comportamental e fisiológica. Para que um quadro de fadiga mental seja estabelecido, pelo menos uma dessas condições deve se manifestar, mas em geral, todas as formas se manifestam concomitantemente. Sujeitos fadigados mentalmente apresentam reduções do desempenho aeróbico, da resistência de força, antecipação do movimento e destreza manual. Mas, não foram encontradas alterações no desempenho de força máxima, potência muscular e desempenho anaeróbico sob este estado de fadiga. Contudo, os efeitos da fadiga mental em testes de alta intensidade intermitentes com gestos motores específicos de modalidades de lutas ainda não foram testados. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da fadiga mental sobre o desempenho e as respostas fisiológicas de judocas a um teste intermitente específico para atletas de judô. Cada indivíduo realizou duas situações experimentais - uma controle e uma com indução da fadiga mental- distribuídas de forma aleatória e balanceada. Nas duas situações, foram coletadas a variabilidade da frequência cardíaca, lactato, glicose, cortisol e variáveis psicométricas no repouso, após o tratamento e após o teste específico de judô. O tratamento foi composto por um esforço cognitivo de 30 minutos ou assistir a um filme. Após o tratamento e mensuração das variáveis fisiológicas e psicométricas, os atletas realizaram um teste específico e validado para judocas. A tarefa utilizada neste estudo (*Stroop Color Test*) induziu um aumento da percepção de fadiga mental. Contudo, os atletas fadigados mentalmente não apresentaram redução do desempenho físico. Quanto às variáveis fisiológicas, não foi identificada nenhuma diferença significativa entre as situações controle e após o protocolo para indução da fadiga mental. Portanto, o presente estudo demonstrou que atividades intermitentes máximas utilizando exercícios específicos do judô não são prejudicadas por uma tarefa cognitiva prévia que cause aumento da percepção de fadiga mental.

**Palavras-Chave:** Fadiga mental. Judô. Esforço cognitivo.

## ABSTRACT

Mental Fatigue can manifest itself subjectively, behaviorally and physiologically. In order for a framework of mental fatigue to be established, at least one of these conditions must manifest itself, but in general, all forms manifest themselves concomitantly. Mentally fatigued subjects present reductions in aerobic performance, strength endurance, anticipation of movement, and manual dexterity. The performance of maximal strength, muscular power and anaerobic performance appear not to be abilities affected by this state of fatigue. However, the effects of FM in intermittent high-intensity tests with specific motor skills of fighting modalities have not yet been tested. Thus, the objective of the present study was to verify the effect of mental fatigue on the performance and the physiological responses of judokas to an intermittent test specific for judo athletes. Each individual performed two experimental situations - one control and one with mental fatigue induction - distributed in a random and balanced manner. In both situations, heart rate, lactate, glucose, cortisol and psychometric variables were collected at rest after treatment and after the specific judo test. The treatment consisted of a 30-minute cognitive effort or watching a movie. After the treatment and measurement of the physiological and psychometric variables, the athletes performed a specific and validated test for judokas. The task used in this study (Stroop Color Test) induced an increase in the perception of mental fatigue. However, mentally fatigued athletes did not show reduced physical performance. Regarding the physiological variables, no significant difference between the control situations and after the protocol for induction of mental fatigue was identified. Therefore, this study demonstrated that maximal intermittent activities using specific judo exercises are not hampered by a previous cognitive task that causes mental fatigue.

**Keywords:** Mental fatigue. Judô. Cognitive effort.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ordem dos procedimentos.....	28
Figura 2: Exemplificação do <i>Special Judo Fitness Test</i> .....	30
Figura 3: Escala visual análoga de fadiga mental.....	34
Figura 4: Escala visual análoga de esforço mental.....	35
Figura 5: Escala visual análoga de motivação.....	36
Figura 6: Desempenho individual no <i>Special Judo Fitness Test</i> .....	37
Figura 7: Índice de Alta Frequência (HF).....	38
Figura 8: Índice de Baixa Frequência (LF).....	39
Figura 9: Razão LF\HF.....	40
Figura 10: Raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos intervalos RR adjacentes (RMSSD).....	41
Figura 11: Desvio padrão da média dos intervalos RR adjacentes (SDNN).....	42
Figura 12: Cortisol Salivar.....	43
Figura 13: Glicose Sanguínea.....	44
Figura 14: Lactato Sanguíneo.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Desempenho físico no <i>Special Judo Fitness Test</i> .....	37
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA – Córtex Cingulado Anterior

ERN/Ne – Negatividade relacionada ao erro

FC – Frequência Cardíaca

FC<sub>final</sub> – Frequência Cardíaca Final

FC<sub>1min</sub> – Frequência Cardíaca após 1 minuto de intervalo

FM – Fadiga Mental

HF – Alta frequência

HPA – Hipotálamo – Hipófise – Adrenal

I<sub>SJFT</sub> – Índice de Desempenho

LF – Baixa frequência

LF/HF – Razão baixa frequência / alta frequência

NAc – Núcleo Accumbens

PROJ<sub>total</sub> – Total de Projeções

PSE – Percepção subjetiva de esforço

RMSSD – Raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos intervalos RR adjacentes

SDNN – Desvio padrão da média dos intervalos RR adjacentes

SJFT – *Special Judo Fitness Test*

SNS – Sistema Nervoso Simpático

VAS FM – Escala visual análoga de Fadiga Mental

VAS M – Escala visual análoga de Motivação

VAS EM – Escala visual análoga de Esforço Mental

VFC – Variabilidade da Frequência Cardíaca

VO<sub>2máx</sub> – Consumo máximo de Oxigênio

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Revisão de Literatura .....	17
1.1.1	Fadiga mental e desempenho físico.....	17
1.1.2	Mecanismos e respostas psicobiológicas a fadiga mental.....	21
2	OBJETIVOS.....	26
2.1	Objetivo geral.....	26
2.2	Objetivos específicos.....	26
3	HIPÓTESES.....	27
4	MÉTODOS.....	28
4.1	Amostra.....	28
4.2	Delineamento Experimental .....	28
4.3	Tratamento.....	29
4.4	Procedimentos .....	30
	<i>Antropometria</i> .....	30
	<i>Special Judo Fitness Test (SJFT)</i> .....	30
	<i>Variabilidade da Frequência Cardíaca</i> .....	32
	<i>Lactatemia</i> .....	32
	<i>Glicose</i> .....	33
	<i>Cortisol</i> .....	33
	<i>Escalas perceptivas</i> .....	33
4.5	Análise Estatística.....	34
5	RESULTADOS .....	35
5.1	Variáveis Perceptivas .....	35
5.2	Desempenho no SJFT .....	38
5.3	Variáveis fisiológicas.....	39
6	DISCUSSÃO .....	47
7	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	ANEXOS .....	58
	ANEXO A – Escalas Visuais Análogas .....	59
	ANEXO B - <i>Stroop Color Test</i> .....	59

ANEXO C – Aprovação do Comitê de Ética.....	60
APÊNDICES .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho esportivo depende da capacidade de um atleta produzir e sustentar níveis elevados de habilidades físicas, psicológicas e de tomada de decisão técnica ao longo de uma competição esportiva ou atividade física, sendo que a redução de qualquer uma destas capacidades pode ocorrer como consequência da fadiga (KNICKER *et al.*, 2011). Apesar do entendimento de que habilidades psicológicas e de tomada de decisão afetam o rendimento e são influenciadas pela fadiga mental (FM), este efeito foi demonstrado experimentalmente apenas nos últimos anos (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; SMITH *et al.*, 2016a). A FM foi definida como um estado psicobiológico caracterizado por sentimentos subjetivos de “cansaço” e “baixa energia” que podem levar à redução do desempenho físico e cognitivo, afetando diretamente o desempenho esportivo (SMITH *et al.*, 2016b)

A FM pode manifestar-se de forma subjetiva, comportamental (redução do desempenho de precisão e / ou tempo de reação em uma tarefa cognitiva) (DUNCAN *et al.*, 2015) e fisiológica (redução da atividade cerebral) (BROWNSBERGER *et al.*, 2013). Para que um quadro de FM seja estabelecido, pelo menos uma dessas condições deve se manifestar (CUTSEM *et al.*, 2017a), mas em geral, todas as formas se manifestam concomitantemente.

Sujeitos mentalmente fadigados apresentam uma redução do desempenho tanto em exercícios aeróbicos de longa duração, como exercícios de corridas (MACMAHON *et al.*, 2014; PAGEAUX *et al.*, 2014) quanto em exercícios isolados de resistência de força (PAGEAUX; MARCORA; LEPERS, 2013). Além disso, a destreza manual, antecipação de movimento, e o desempenho técnico também podem ser afetados pela FM (DUNCAN *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 2017). Contudo, existem evidências de que a FM não afeta o desempenho físico em exercícios de alta intensidade, como situações de salto com contra movimento, contração isométrica, teste máximo de 3 minutos no ciclismo e exercícios repetidos de alta intensidade (teste de *Wingate*) (DUNCAN *et al.*, 2015; MARTIN *et al.*, 2015).

Entretanto, embora o desempenho físico de alta intensidade não pareça ser influenciado pela FM, diversas situações esportivas requerem gestos técnicos mais complexos e necessitam tanto da capacidade física como também da capacidade técnica, antecipação de movimento, tomada de decisão, dentre outros fatores que podem ser influenciados pela FM. Além disso, a FM pode alterar as respostas fisiológicas ao desempenho físico, como, por

exemplo, redução em índices da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (GERGELYFI *et al.*, 2015; MIZUNO *et al.*, 2011) e reduções nas concentrações de glicose sanguínea (GAILLIOT; BAUMEISTER, 2007). Entretanto, pesquisas prévias não encontraram diferenças em outras variáveis fisiológicas, como por exemplo, lactato sanguíneo e cortisol (CUTSEM *et al.*, 2017b; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009). Além de não haver até o presente momento, nenhum trabalho que tenha investigado o efeito da FM no desempenho físico e nas respostas fisiológicas de judocas submetidos a uma série de exercício intermitentes de alta intensidade que requer a realização de gestos técnicos esportivos complexos.

Dentre as modalidades que exigem a execução de movimentos com elevada demanda técnica em alta intensidade, podemos citar o judô. Nesta modalidade, as ações motoras são de natureza intermitente e demandam alta intensidade e complexidade (FRANCHINI; ARTIOLI; BRITO, 2013). As habilidades técnicas e táticas exigem precisão na execução associadas à força e velocidade (FRANCHINI *et al.*, 2011). O desempenho ao longo de uma luta ou competição pode ser afetado por diversos fatores, tendo sido já demonstrado na literatura o efeito da fadiga em parâmetros neuromusculares e fisiológicos em judocas durante testes específicos e após lutas (DETANICO *et al.*, 2015; FRANCHINI *et al.*, 2009), mas não foi verificado até o momento o efeito da FM em judocas submetidos a teste específico validado para a modalidade.



## 1.1 Revisão de Literatura

### 1.1.1 Fadiga mental e desempenho físico

#### *Influência da fadiga mental no desempenho físico aeróbico*

O primeiro estudo a verificar sistematicamente o efeito da FM no desempenho físico foi realizado por Marcora *et al.* (2009), no qual foi realizado um teste até exaustão em cicloergômetro com carga constante após uma tarefa cognitiva de 90 minutos. O esforço cognitivo prolongado levou a uma maior percepção de FM e reduziu o desempenho subsequente, verificado pelo menor tempo para se chegar à exaustão na situação experimental.

Após este estudo inicial, outros autores testaram diferentes formas de exercício aeróbico sob condições de FM. Diferente do modelo de exercício utilizado no estudo anterior, Brownsberger *et al.* (2013) foi o primeiro a utilizar o exercício com intensidade autorregulada nessas condições. Os sujeitos deste estudo se exercitaram em duas séries de 10 minutos em cicloergômetro e foram instruídos a pedalar uma série em uma percepção de esforço correspondente ao nível 11 na escala de Borg de 6 a 20 pontos e a outra série no nível 15. Nas duas séries de esforço na situação de FM a potência produzida foi significativamente menor em relação a situação controle. Outros estudos verificaram esse mesmo modelo de exercício aeróbico autorregulado, contudo empregaram uma corrida de 3000 metros (MACMAHON *et al.*, 2014) e 5000 metros (PAGEAUX *et al.*, 2014), no qual os participantes correram em velocidades menores na situação experimental, com maiores valores na escala de percepção subjetiva de esforço, mas sem alterações na estratégia de prova ao longo da corrida.

Contudo, protocolos de exercício contínuos, sejam eles realizados em intensidade fixa ou autorregulada, não refletem com precisão a demanda fisiológica dos esportes coletivos, que apresentam uma natureza intermitente dos esforços. Dessa forma, outros autores testaram a influência da FM em um protocolo de corrida intermitente, com duração total de 45 minutos divididos em diferentes zonas de intensidade (caminhar, trotar, correr, correr rápido e *sprint*) mas com a velocidade autorregulada para cada zona (SMITH; MARCORA; COUTTS, 2015). Neste estudo, a velocidade escolhida e a distância percorrida foram menores nas zonas de baixa intensidade (caminhar, trotar e correr) sob FM em relação a situação controle. Estes resultados sugerem que quando os indivíduos estão mentalmente fadigados eles regulam o seu

ritmo em baixas intensidades para um menor desempenho, mantendo a capacidade de realizar esforços de alta intensidade.

Apesar dos estudos anteriores demonstrarem reduções no desempenho físico quando os sujeitos estavam fadigados mentalmente, a única variável que alterava a sua resposta sob este estado era a percepção subjetiva de esforço, de forma que essa variável foi utilizada para explicar os resultados encontrados. Contudo, outro estudo utilizou um modelo de exercício progressivo até a exaustão em cicloergômetro após um esforço cognitivo prolongado (ZERING *et al.*, 2016). Apesar deste estudo utilizar um modelo de esforço cognitivo com duração diferente dos estudos anteriores de FM (10 minutos de exercício cognitivo), houve uma redução da potência e no consumo máximo de oxigênio atingido ao final do teste na situação experimental, mas sem mudanças em outras variáveis cardiovasculares e metabólicas como limiar ventilatório e FC. Os resultados de Zering *et al.* (2016) corroboram outros achados de que evidenciaram redução na potência aeróbica máxima em jogadores de futebol mentalmente fadigados a partir de um teste aeróbico intermitente (SMITH *et al.*, 2016b). Mas, contrapõem o primeiro estudo de FM e exercício que não encontrou diferença no consumo máximo de oxigênio (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009).

Testou-se também o efeito da FM em duas séries repetidas de exercício aeróbico escalonado (aumentos de intensidade a cada 3 minutos) até a exaustão. Esperava-se que houvesse uma redução do desempenho físico no segundo teste aeróbico na situação de FM, o que, entretanto, não pôde ser observado, apesar dos sujeitos estarem fadigados mentalmente (VRIJKOTTE *et al.*, 2017). Outro estudo avaliou o efeito da FM na potência crítica e no tempo de exercício até exaustão em diferentes intensidades do VO<sub>2</sub> pico (SALAM; MARCORA; HOPKER, 2017), no qual houve uma redução do tempo até exaustão, mas sem mudanças na potência crítica em situações com FM.

De forma a visualizar o efeito da FM no desempenho aeróbico em uma tarefa com maior validade ecológica, nosso grupo de pesquisa verificou a influência da FM no desempenho físico de nadadores jovens em uma tarefa específica, um tiro máximo de 1500 metros nado livre (PENNA *et al.*, 2017). Neste estudo foi verificado um maior tempo para percorrer a distância estabelecida sob condição de FM.

Quando o desempenho aeróbico foi testado após protocolo para indução de FM comparando ciclistas profissionais e recreacionais, somente este último grupo sofreu redução do desempenho quando fadigados mentalmente (MARTIN *et al.*, 2016a). Além disso, os ciclistas profissionais tiveram um desempenho superior no teste cognitivo, sugerindo que um melhor desempenho cognitivo levava a um quadro de resistência a FM e pode contribuir para um melhor desempenho aeróbico.

#### *Influência da fadiga mental no desempenho da força muscular*

Para além do efeito da FM em tarefas de longa duração com exigências predominantemente aeróbicas, também foi investigada a relação entre diferentes formas de manifestação da força muscular e FM. Os primeiros estudos que relacionavam desempenho físico e esforço cognitivo prévio não adotaram o modelo de esforço cognitivo de longa duração (BRAY *et al.*, 2008), embora, ainda assim, alguns efeitos tenham sido observados. Bray *et al.* (2008) realizou o teste cognitivo de *Stroop* por 3 minutos e 40 segundos e logo após uma tarefa de prensão manual a 50% da contração voluntária máxima, no qual o esforço cognitivo prévio reduziu o desempenho de resistência de força. Os autores especularam que o esforço cognitivo antecedendo uma tarefa de força muscular potencializa a fadiga central evidenciado pela redução do desempenho físico. Estudo posterior (BRAY *et al.*, 2012) utilizou a mesma tarefa cognitiva com duração de 2 minutos, intercalada com contrações voluntárias máximas de prensão manual, e verificou uma redução da produção de força ao longo do tempo, mas sem modificações na resposta eletromiográfica. Dessa forma os autores questionaram a hipótese de que o esforço cognitivo poderia estar associado ao surgimento de fadiga em nível central, visto que o padrão de ativação das unidades motoras não foi modificado, efeito evidenciado pela não alteração da resposta eletromiográfica.

Apesar dos estudos (BRAY *et al.*, 2008, 2012) acima sugerirem uma possível relação entre o esforço cognitivo prévio e o desempenho de resistência de força, o esforço mental não foi prolongado o suficiente para aumentar a percepção subjetiva de FM. Portanto, permanecia ainda uma dúvida: se o esforço mental prolongado poderia aumentar a extensão da fadiga central ou reduzir a ativação muscular máxima. A fadiga central é uma redução induzida pelo exercício na capacidade do sistema nervoso central de recrutar os músculos ativos durante uma contração voluntária máxima e ocorre ao nível da coluna espinal e/ou supraespinal (GANDEVIA, 2001). A hipótese da relação entre fadiga mental e fadiga central surgiu da possível influência do córtex pré-frontal no córtex motor primário, no qual a fadiga mental, ao

reduzir o desempenho cognitivo controlado pelo córtex pré-frontal, prejudicaria a estimulação do córtex motor primário, exacerbando a fadiga central.

Com base nesses pressupostos, Pageux *et al.* (2013) mediu a ativação muscular máxima do quadríceps antes e após o esforço mental prolongado de 90 minutos, e imediatamente após a contração isométrica submáxima do quadríceps até a exaustão realizada subsequente ao esforço cognitivo. Apesar de o esforço mental reduzir o tempo até exaustão na tarefa física submáxima, não houve diferença entre situações na contração voluntária máxima do quadríceps e nas respostas eletromiográficas. Portanto, a FM parece diminuir o desempenho de resistência de força, independentemente do tipo de contração e massa muscular ativa durante o exercício de resistência de força. Mas, não compromete a função neuromuscular, reduzindo o desempenho de resistência de força devido, provavelmente, à maior resposta de percepção subjetiva de esforço (PSE) nesse estudo.

Ainda com relação à tentativa de encontrar uma possível relação entre fadiga central e MF, outro trabalho (ROZAND *et al.*, 2014) intercalou o esforço cognitivo com contrações voluntárias máximas estimulando transcutâneamente o nervo femoral. Apesar de utilizar esforços cognitivos de 3 minutos, o protocolo ao todo teve uma duração de 27 minutos, que induziu uma maior percepção de FM na situação experimental. Contudo, a FM não foi capaz de diminuir a produção de força máxima ao longo do experimento. De forma semelhante, foi verificado se a FM induzida por um esforço mental de 30 minutos aumentava os níveis de fadiga central durante o exercício subsequente de resistência aeróbica em uma tarefa de intensidade constante (PAGEAUX *et al.*, 2015). Não foram identificadas reduções na contração voluntária máxima entre situações. Outros estudos (DUNCAN *et al.*, 2015; MARTIN *et al.*, 2015) testaram esforços de alta intensidade em cicloergômetro, utilizando o teste de *Wingate* e potência máxima produzida em 3 minutos de esforço máximo, sem verificarem a diferença entre situações. Coletivamente esses achados comprovaram que o esforço mental prolongado não reduz a capacidade de o sistema nervoso central recrutar a musculatura exigida.

### *Influência da fadiga mental nas habilidades esportivas*

Os primeiros estudos verificando a influência da FM em habilidades esportivas testaram o efeito da FM no desempenho técnico específico do futebol em testes processuais que avaliavam a precisão, velocidade e o tempo de reação do passe, encontrando redução na

precisão e velocidade do passe (SMITH *et al.*, 2016b, 2017). Posteriormente, foi testado o efeito da FM no desempenho técnico em jogos reduzidos de futebol, e verificada uma redução do desempenho técnico durante a tarefa (BADIN *et al.*, 2016).

A redução do desempenho técnico em habilidades esportivas após o esforço cognitivo prolongado também foi identificada em jogadores de tênis de mesa em um teste validado para a modalidade (LE MANSEC *et al.*, 2017). Neste estudo, a FM diminuiu a velocidade de movimento dos jogadores ao rebaterem a bola, tendeu a reduzir a precisão, aumentou o número de bolas perdidas e reduziu o índice técnico total.

Para além da influência da FM no desempenho físico e técnico, Smith *et al.* (2016) testou se o esforço mental prolongado poderia afetar a tomada de decisão específica do futebol em testes declarativos computadorizados. Foi encontrada uma redução da velocidade e precisão da tomada de decisão na situação experimental. Outro autor analisou o comportamento tático de jogadores de futebol durante um jogo em situações com FM combinadas a restrições de deslocamento no campo (COUTINHO *et al.*, 2017). Foram identificadas alterações no comportamento tático, como sincronização do movimento com os demais jogadores. Portanto, indivíduos fadigados mentalmente reduzem sua habilidade para identificar erros com um ajuste de redução do desempenho técnico, além de um aumento no foco de atenção para estímulos irrelevantes e redução da habilidade de antecipação do movimento. Além disso, a FM leva a uma redução do desempenho de resistência aeróbica e de força, sem comprometer o desempenho de força máxima e a potência anaeróbica (MACMAHON *et al.*, 2014; MARTIN *et al.*, 2015; PAGEAUX *et al.*, 2014, 2015). Contudo, os efeitos da FM em testes de alta intensidade intermitentes com gestos motores específicos de modalidades de lutas ainda não foram testados.

### 1.1.2 Mecanismos e respostas psicobiológicas a fadiga mental

Os efeitos deletérios da FM sobre o desempenho físico aeróbico estão consolidados na literatura, como demonstrado em uma revisão sistemática sobre o tema (CUTSEM *et al.*, 2017a), em que a principal variável que explica essa redução do desempenho físico sob estados induzidos de FM são os maiores valores na escala de percepção subjetiva de esforço nas situações com FM induzida, sem que haja alteração nas respostas cardiovasculares, metabólicas e neuromusculares. Marcora *et al.* (2009), Pageaux *et al.* (2013, 2014, 2015), e Smith *et al.* (2015, 2016) observaram maior PSE durante o exercício; Martin *et al.* (2015)

observaram uma tendência para um PSE mais elevado; e Brownsberger *et al.* (2013) e MacMahon *et al.* (2014) ambos mostraram uma intensidade auto-selecionada menor para o mesmo valor de PSE. O mecanismo que pode explicar a alteração da PSE é um possível efeito da FM nos centros corticais envolvidos em aspectos cognitivos do comando motor central (SILVA-JÚNIOR *et al.*, 2016), que, dentre esses, tem-se destacado a relação entre as alterações do córtex cingulado anterior (CCA) e a FM.

O CCA exerce funções em processos cognitivos que envolvem demanda atencional e controle das funções executivas. A atividade do CCA também foi relacionada à detecção de erros, monitoramento das respostas periféricas e controle inibitório de respostas a estímulos (BOKSEM; TOPS, 2008). Após a identificação de respostas errôneas ou conflitantes, o CCA ativa processos de controle adaptativo que estimula ajustes de correção de desempenho para minimizar o risco de erros subseqüentes (LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005). Esta região cortical também está relacionada ao desempenho físico, no qual foi identificada que a maior atividade neural no CCA pode levar a uma maior resposta de PSE (WILLIAMSON *et al.*, 2002), sugerindo uma possível relação entre essa região e a resposta alterada do desempenho físico sob FM.

Para demonstrar a relação entre FM e CCA foi utilizado um índice eletrofisiológico de monitoramento de desempenho no CCA denominado negatividade relacionada ao erro (ERN\Ne), que ocorre imediatamente após uma resposta. Este potencial cerebral relacionado ao evento durante um eletroencefalograma é observado quando os indivíduos geram um erro ou quando as condições da tarefa provocam altos níveis de conflito de resposta. Com base nessa associação entre amplitude do ERN / Ne e o papel do CCA em monitoramento de erros, foi observado que, durante uma tarefa de esforço cognitivo prolongado, a amplitude do ERN / Ne e os ajustes de desempenho subseqüentes aos erros diminuíram com o tempo na tarefa. Durante os primeiros 30 minutos de desempenho da tarefa, os erros foram seguidos por uma desaceleração pós-erro, um ajuste que pode ser interpretado como uma mudança transitória no equilíbrio de velocidade / precisão na tentativa de evitar erros subseqüentes. Essa tendência para adotar uma estratégia mais conservadora após a ocorrência de erros desapareceu durante o desempenho de tarefas prolongadas, demonstrando que ao longo da tarefa o CCA não foi capaz de manter o mesmo nível de desempenho cognitivo (LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005). É especulado que o envolvimento em uma tarefa cognitiva induz o acúmulo de adenosina no córtex cingulado anterior, gerando maior sensação de esforço nas tarefas subseqüentes. Esta especulação baseia-se em estudos anteriores em seres humanos,

apontando que o córtex cingulado anterior e posterior é fortemente ativado durante tarefas cognitivas de atenção e memória sustentadas, que estão associadas ao esforço percebido. Além disso, evidências experimentais em animais e *in vitro* observaram que a ativação neural aumenta a concentração extracelular de adenosina e que o aumento da adenosina cerebral está associada à diminuição no desempenho motor (SILVA-JÚNIOR *et al.*, 2016). Nesse sentido, resultados que demonstraram a ação positiva da cafeína em indivíduos mentalmente fadigados reforçam esse modelo teórico, considerando-se que a cafeína age como um antagonista do receptor de adenosina (AZEVEDO *et al.*, 2016).

Outro estudo demonstrou que a atividade neural no córtex cingulado posterior e no córtex pré-frontal dorsolateral estão correlacionados com a auto-avaliação da FM em tarefas com esforço cognitivo, de forma que essas regiões parecem desempenhar um papel importante na avaliação da sensação de fadiga (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014a). Estas regiões corticais parecem estar envolvidas em um sistema de inibição e facilitação mental (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b). Neste modelo, o esforço mental ativa o sistema de facilitação mental para manter o desempenho da tarefa cognitiva na presença de FM, sendo esse sistema constituído pelo circuito tálamo-frontal que interconecta o sistema límbico, gânglios basais, tálamo e córtex frontal. O aumento na contribuição motivacional para este sistema aumenta sua ativação. No entanto, o esforço mental também ativa o sistema de inibição mental que reduz o desempenho da tarefa cognitiva, sendo esse sistema constituído pelo córtex insular e o córtex cingulado posterior. O equilíbrio entre a ativação dos dois sistemas determina se o desempenho da tarefa cognitiva será comprometido, mantido ou melhorado, sendo o desempenho da tarefa cognitiva regulada por esses dois sistemas (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b).

Segundo a revisão citada acima, fatores motivacionais podem aumentar a resposta do sistema de facilitação mental a partir da interação do sistema límbico com outras estruturas corticais. Anteriormente a esta proposição, uma outra revisão propôs a possibilidade de a sensação de fadiga ser o resultado da análise subconsciente do custo e benefício do gasto energético ou da conservação de energia com base na motivação\recompensa, estabelecida entre os custos e benefícios da tarefa (BOKSEM; TOPS, 2008). A interconexão entre o CCA, córtex orbitofrontal e amígdala controlam o comportamento nas recompensas preditas e a transformação da estratégia em comportamento é mediado pelas conexões corticoestriatais entre o CCA e o núcleo accumbens (NAc). Sendo assim, o modelo proposto por estes autores sugere que as mudanças na atividade dopaminérgica no NAc em resposta a tarefas

prolongadas podem atenuar a atividade nas projeções neurais colinérgicas para o córtex pré-frontal e, assim, reduzir a atenção e o controle cognitivo. Assim, a atividade reduzida em estruturas neurais que sinalizam valor de recompensa pode levar à redução da atividade do processo de controle cognitivo (BOKSEM; TOPS, 2008).

Em situações que requerem aumento do esforço cognitivo e envolvem baixa percepção de recompensa, levanta-se a hipótese de que o organismo tenha que mobilizar recursos energéticos adicionais para lidar com esta situação, levando a uma maior atividade do sistema nervoso simpático (SNS) e do eixo Hipotálamo – Hipófise – Adrenal (HPA). Dessa forma, alguns estudos têm mensurado a ativação do SNS após a FM através da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). A interpretação da atividade do SNS a partir da VFC é baseada no tempo entre cada intervalo R-R, sendo estes índices divididos em parâmetros do domínio do tempo (raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos intervalos RR adjacentes - RMSSD, desvio padrão dos intervalos RR - SDNN e Média do intervalo RR) e domínio da frequência (alta frequência - HF, baixa frequência -LF e relação LF/HF). Os índices HF, RMSSD e SDNN têm sido considerados indicadores da atividade do sistema nervoso parassimpático, enquanto o LF parece ter uma maior relação com a atividade do sistema nervoso simpático e parassimpático, sendo que a razão entre o LF e o HF representaria o balanço autonômico cardíaco (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Foi verificado que durante o esforço cognitivo prolongado por 30 minutos e após 8 horas de esforço cognitivo, os índices do domínio da frequência (HF e LF/HF) apresentam reduções de seus valores, demonstrando uma hiperatividade simpática (MIZUNO *et al.*, 2011; TANAKA *et al.*, 2009). Sabe-se, ainda, que o LF/HF apresenta correlações positivas e o HF correlação negativa com uma escala de percepção de FM, apresentando reduções no valor de HF e aumento no valor de LF/HF mesmo em tarefas com curto tempo de esforço mental (MIZUNO *et al.*, 2014).

Apesar destas evidências da hiperatividade simpática devido à FM, foi possível localizar apenas um estudo que verificou a influência da FM na ativação do eixo HPA através quantificação da secreção de cortisol em situações pós-exercício físico (CUTSEM *et al.*, 2017b). Neste estudo, a FM foi induzida por 45 minutos e, imediatamente em seguida, foi realizado um exercício aeróbico em ambiente quente e com baixa umidade, não havendo diferenças na resposta de cortisol entre situações. Contudo, o aumento da secreção de cortisol associada à maior resposta do SNS após um esforço cognitivo de curta duração já foi



observado (SMEETS, 2010). Dessa forma, é necessário que se investigue o comportamento das respostas do SNS e do eixo HPA após exercícios em intensidade máxima subjetiva de curta duração em sujeitos fadigados mentalmente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Verificar o efeito da fadiga mental sobre o desempenho físico e as respostas fisiológicas de judocas a um teste intermitente específico para atletas de judô.

### 2.2 Objetivos específicos

- Analisar o desempenho físico no teste SJFT em situações com e sem fadiga mental.
- Analisar o comportamento das variáveis fisiológicas (glicose e variabilidade da frequência cardíaca) e psicológicas (percepção de fadiga mental, esforço mental e motivação) antes e após o teste SJFT em situações com e sem fadiga mental.

### **3 HIPÓTESES**

**H1** - A fadiga mental induzirá a redução do desempenho em teste específico de Judô.

**H2** - A fadiga mental modificará os marcadores fisiológicos (glicose, variabilidade da frequência cardíaca e cortisol).

**H3** -A fadiga mental modificará os marcadores psicológicos (percepção de fadiga mental, percepção de esforço mental e motivação).

## 4 MÉTODOS

### 4.1 Amostra

Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (55286716.0.0000.5149). Os sujeitos receberam instruções escritas descrevendo todos os procedimentos relacionados ao estudo, assinaram um termo de consentimento livre esclarecido, mas não foram informados sobre os objetivos e hipóteses do estudo. Foi informado aos participantes que o estudo tinha o objetivo de investigar os efeitos de duas atividades cognitivas diferentes (uma tarefa verbal e assistir a um filme) sobre as respostas fisiológicas ao exercício exaustivo de judô. Ao final da última sessão experimental, foi solicitado aos voluntários que não discutissem com outros voluntários sobre os procedimentos empregados no estudo.

A amostra foi composta por 15 atletas de judô de ambos os sexos de nível competitivo estadual/regional, com idade de  $19.5 \pm 3.0$  anos, massa corporal  $68.1 \pm 13.3$  kg, estatura  $169.0 \pm 5.1$  cm e percentual de gordura  $12.2 \pm 3.8$  %. Foram incluídos na amostra atletas de judô inscritos em uma federação estadual de regulamentação da modalidade, com no mínimo 3 anos de experiência ( $7.2 \pm 3.9$  anos, e  $11.2 \pm 4.6$  horas semanais de treinamento), que disputaram o campeonato estadual no ano de condução da pesquisa ou no ano anterior, e que estivessem treinando regularmente e sem lesões musculoesqueléticas nos últimos 6 meses. Os participantes também não estavam tomando qualquer medicação e nem tiveram qualquer doença aguda ou infecção durante a coleta de dados.

### 4.2 Delineamento Experimental

Cada indivíduo realizou uma familiarização e duas situações experimentais - um controle e uma com indução da FM - distribuídas de forma aleatória e balanceada. A bateria de testes foi aplicada sempre entre 8:00 - 10:00 horas da manhã, com um intervalo mínimo de 48 horas entre as duas situações experimentais, sendo que o atleta não havia praticado nenhum exercício físico nas últimas 24 horas antecedentes aos testes. Todos os participantes foram instruídos a manter hábitos regulares de sono, consumo de cafeína e refeições semelhantes entre as situações. As condições ambientais no centro de treinamento onde foram realizados os testes foram mantidas entre 18 e 22°C e 45 a 60% de umidade. Para

caracterização da amostra foram mensuradas a massa corporal e dobras cutâneas dos voluntários e aplicado um questionário acerca do histórico de treinamento, elaborado pelo pesquisador.

Nas duas visitas, registrou-se a FC com o voluntário assentado em posição confortável, logo após coletou-se uma amostra sanguínea do lóbulo da orelha para análise das concentrações de lactato e glicose e uma amostra salivar para análise das concentrações de cortisol. Antes de iniciar a bateria de testes (mental e físico) foram aplicados os questionários psicométricos (escalas de fadiga, esforço mental e motivação). Coletou-se novamente as variáveis fisiológicas (cortisol, lactato, glicose e VFC) e perceptivas ao final do tratamento (indução da FM ou filme) e ao final do teste de desempenho físico (Figura 1). Os voluntários foram submetidos a um teste cognitivo (Stroop Color Test) para indução da FM na situação experimental ou assistiram a um filme sobre um assunto neutro (não relacionado ao esporte, com o intuito de não aumentar os níveis motivacionais dos voluntários) na situação controle. Após este procedimento, os voluntários realizaram um teste físico máximo específico para judocas (*Special Judo Fitness Test - SJFT*).

**Figura 1 – Ordem dos Procedimentos**



#### 4.3 Tratamento

A FM foi induzida pelo Teste *Stroop Color* modificado para uma duração de 30 minutos, seguindo protocolo utilizado em estudos prévios (ROZAND *et al.*, 2014; SMITH *et al.*, 2016b). A tarefa de *Stroop* demanda resposta inibitória cognitiva e atenção sustentada (MACLEOD; MACDONALD, 2000). A versão utilizada nesta investigação foi a versão para papel utilizada em estudos anteriores (PAGEAUX *et al.*, 2014; SMITH *et al.*, 2016b). Quatro

palavras (vermelho, azul, verde, amarelo) foram distribuídas em ordem randômica em cinco colunas em uma folha de papel A4 totalizando 45 palavras em cada folha. Os participantes responderam verbalmente cada palavra, sendo que a resposta correta correspondia à cor da palavra e não ao que estava escrito. Por exemplo, se a palavra AZUL estivesse colorida de VERDE, a resposta correta era VERDE. Entretanto, quando a cor da palavra fosse vermelha, a resposta correta correspondia ao que estava escrito e não à cor que a palavra estava colorida.

Os participantes tiveram suas respostas verbais monitoradas pelo pesquisador que tinha uma folha de respostas para conferência das mesmas. Sempre que cometia um erro, era solicitado ao participante retornar ao início da linha e reiniciar a sequência de respostas. Os voluntários foram incentivados a responder o maior número de palavras corretas durante os 30 minutos. O teste foi realizado em um lugar silencioso para evitar o mínimo de fatores distratores.

A condição de controle consistiu em assistir a um vídeo de 30 minutos envolvendo a história da aviação mundial. Este vídeo foi selecionado e classificado como emocionalmente neutro para os voluntários deste estudo em um teste piloto.

#### 4.4 Procedimentos

##### *Antropometria*

A massa corporal (kg) foi mensurada com os voluntários descalços e vestindo apenas uma bermuda, utilizando-se uma balança digital, enquanto a estatura (cm) foi medida em um estadiômetro com precisão de 0,5 cm (Filizola®). As dobras cutâneas (subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, subaxilar, suprailíaca, abdominal, coxa e panturrilha) foram mensuradas com plicômetro (Lange®), de acordo com protocolo já utilizado na literatura (JACKSON; POLLOCK, 1978).

##### *Special Judo Fitness Test (SJFT)*

Para avaliação do desempenho físico de judocas em um contexto mais próximo da demanda imposta pela luta, foi utilizado um teste validado denominado *Special Judo Fitness Test* - SJFT (STERKOWICZ; ZUCHOWICZ; KUBICA, 1999) que consiste em um judoca executar projeções específicas da modalidade em outros dois judocas durante um tempo determinado que se assemelhe a relação esforço-pausa da luta. O resultado deste teste possui

correlação positiva e significativa com índices de aptidão aeróbia e anaeróbia (STERKOWICZ; ZUCHOWICZ; KUBICA, 1999).

O teste consiste em dois *Ukes* (atletas que serão projetados) com massa corporal semelhante àquela do executante, distanciados por 6 metros e um *Tori* (pessoa que executará a projeção) distanciada 3 metros de cada *Uke*. Ao sinal sonoro, o *Tori* deve correr em direção ao *Uke* e executar a projeção *ippon-seoi-nage* e imediatamente correr em direção ao outro *Uke* executando a mesma projeção. O *Tori* foi orientado a executar o maior número possível de projeções no tempo determinado (Figura 2).

O teste é dividido em três séries (A, B, C) com um período de recuperação de 10 s entre séries. A primeira série (A) dura 15 s e as outras duas (B, C) têm duração de 30 s. A frequência cardíaca (FC) foi registrada imediatamente ao final ( $FC_{\text{final}}$ ) do teste e após 1 minuto de intervalo ( $FC_{1\text{min}}$ ) por meio de um frequencímetro (Polar S810i, Finland). Para determinar o desempenho no SJFT, calculou-se o Índice ( $I_{\text{SJFT}}$ ) de desempenho somando-se a  $FC_{\text{final}}$  e  $FC_{1\text{min}}$  e então dividindo o valor resultante pela soma do número total de projeções ( $\text{PROJ}_{\text{total}}$ ) executados nas três séries ( $[FC_{\text{final}} + FC_{1\text{min}}]/\text{PROJ}_{\text{TOTAL}}$ ). Nesse teste quanto menor o  $I_{\text{SJFT}}$ , maior será o desempenho, conforme classificação já proposta na literatura (FRANCHINI; DEL VECCHIO; STERKOWICZ, 2009).

**Figura 2** – Exemplificação do *Special Judo Fitness Test*.



### *Variabilidade da Frequência Cardíaca*

Para mensuração da FC, os voluntários permaneceram sentados, instruídos a permanecerem calmos, com a respiração espontânea, em silêncio e com o mínimo de movimentação corporal. Para aquisição dos dados foi utilizado um cardiófrecuencímetro (Polar® RS810i, Finlândia). Os dados foram exportados para o Software Polar Precision Performance (Polar Electro Oy) e os intervalos R-R exportados no formato ASCII para posterior análise no programa *Kubios HRV analysis software* versão 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group at the Department of Applied Physics, University of Kuopio, Kuopio, Finland). Todos os dados passaram por inspeção visual para remoção de batimentos ectópicos; os trechos analisados não tiveram mais que 3% dos batimentos totais removidos, sendo que aqueles batimentos removidos manualmente foram substituídos por interpolação dos intervalos RR adjacentes (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Foram utilizados para análise os últimos 5 minutos de gravação nos três momentos de avaliação (Pré, Pós Tratamento e Pós exercício). Os registros tiveram duração total de 10 min.

Os parâmetros da VFC analisados no domínio do tempo foram o intervalo médio RR (Mean RR) e a raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos intervalos RR adjacentes (RMSSD). Para análise da VFC no domínio da frequência, foi realizada a Transformação Rápida de Fourier (FFT) dos sinais RR. A resposta espectral fornecida pelo sistema foi dividida em 2 bandas: baixa frequência - LF (0,04-0,15 Hz) e alta frequência- HF (0,15-0,4 Hz). Os dados de LF e HF foram apresentados em valores de potência absoluta ( $\text{ms}^2$ ) (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY, 1996).

### *Lactatemia*

Amostras de sangue (30  $\mu\text{L}$ ) foram coletadas do lóbulo da orelha com a utilização de lancetas descartáveis e capilares heparinizados. As amostras foram armazenadas em tubos contendo 60  $\mu\text{L}$  de fluoreto de sódio (NaF) a 1% e congeladas ( $-80^\circ$ ) para avaliação posterior. A concentração sanguínea de lactato foi determinada, em duplicata, pelo método eletroenzimático (YSI 1500 SPORT, Yellow Springs, OH, EUA). As amostras foram coletadas antes do tratamento (Pre), após o tratamento (FM ou filme), imediatamente após o SJFT, no 3°, 5° e 10° minuto após exercício.



### *Glicose*

Para análise da Glicose, amostras de sangue capilar (5 µL) foram obtidas por punção do lóbulo da orelha, com o uso de lanceta descartável, após antissepsia da região com etanol a 70%. O sangue obtido no local da punção foi imediatamente aspirado pela fita reativa do glicosímetro AccuChek Advantage® (Roche Diagnóstica). A glicose foi medida em quatro momentos, Pré, após o tratamento, após o SJFT e 10 min após o SJFT.

### *Cortisol*

Inicialmente, os voluntários bochecharam água filtrada e, logo após amostras de saliva foram coletadas em tubos plásticos (Salivette – Sarsted) por salivação direta durante 2 min. As amostras foram coletadas em três momentos, Pré, após o tratamento e ao final do exercício. Ao final do experimento as amostras de saliva foram então centrifugadas a 2.000 rpm por 5 min e o sobrenadante separado e estocado a -80°C para posterior dosagem de cortisol livre pelo Método ELISA (Kit RD Systems – Biotechne). As dosagens foram realizadas em simplicata de acordo com as instruções do fabricante.

### *Escalas perceptivas*

Para mensuração do estado de FM, Esforço Mental e Motivação em que se encontravam os participantes, foi utilizada uma Escala visual análoga subjetiva de percepção de fadiga, esforço mental e motivação. Validada (LEE; HICKS; NINO-MURCIA, 1991) e utilizada em estudos prévios (SMITH *et al.*, 2016b), a escala possui uma distância de 100 milímetros (mm), sendo que as extremidades foram ancoradas pelas palavras “nenhum” e “máxima”. Os participantes foram convidados a demarcar na escala o quão “se sentiam fadigados mentalmente” (Escala visual análoga de FM -VAS FM), “quão se sentiam motivados para a atividade a seguir” (Escala visual análoga de Motivação - VAS M) ou qual “o foi o nível de esforço mental da atividade precedente” (Escala visual análoga de Esforço Mental – VAS EM). A distância da extremidade esquerda da linha até o ponto que o participante marcou foi mensurada em milímetros, sendo que esta distância foi transformada em unidades arbitrárias, ou seja, 50 mm equivalia a 50 unidades arbitrárias. A FM foi mensurada em três momentos semelhante as outras medidas fisiológicas (Figura 1), o esforço mental foi mensurado após a FM e após SJFT, enquanto que a motivação foi somente mensurada no momento precedente ao teste SJFT.

#### 4.5 Análise Estatística

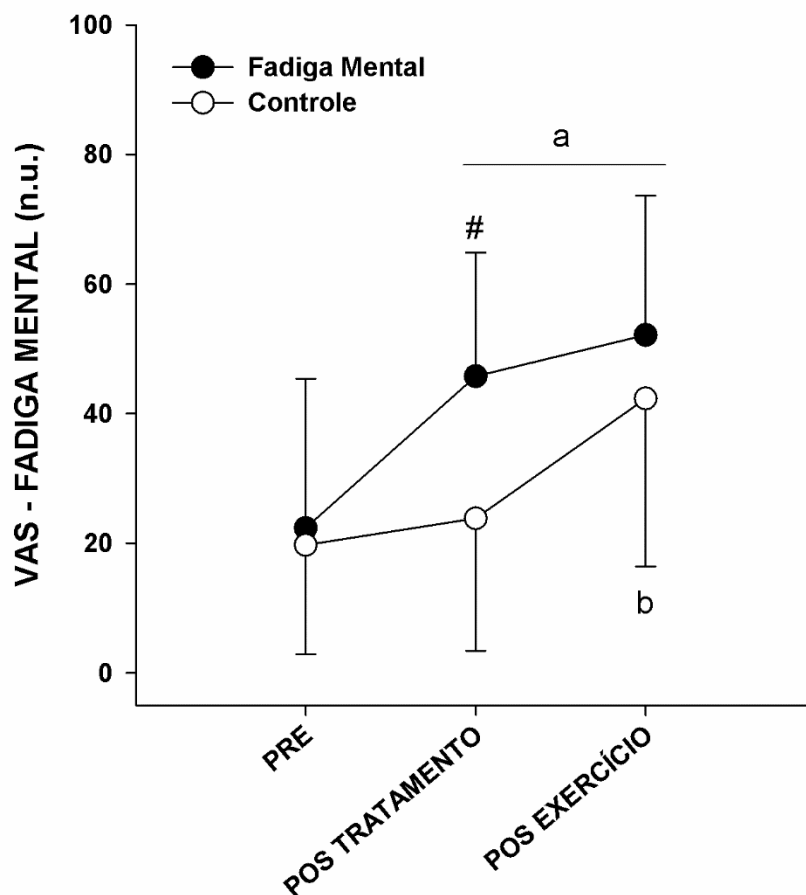
A normalidade e homocedasticidade dos dados foram confirmadas antes das análises inferenciais pelo teste de Shapiro-wilk e Levene, respectivamente. Para as análises inferenciais, foi utilizado o nível de significância de  $\alpha \leq 0,05$ . Os dados descritivos estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão. Para a avaliação do desempenho no SJFT (Índice SJFT, número total de projeções, FC<sub>final</sub> e FC<sub>1min</sub>) e do nível de motivação (VAS M) foi utilizado o teste *t* de Student pareado. Para avaliação das variáveis fisiológicas (lactato, glicose, VFC, cortisol) e perceptivas (VAS FM e VAS EM), foram utilizadas análises de variância (ANOVA) two-way (tempo x tratamento) com medidas repetidas no fator tempo. Quando detectado um valor F significativo para algum dos fatores ou para a interação entre ambos, foi utilizado o *post-hoc* de Bonferroni para encontrar onde estavam as diferenças entre as médias. Todos os dados foram analisados e plotados pelo pacote estatístico SigmaPlot11.0 (Systat Software Inc, USA).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Variáveis Perceptivas

A variável perceptiva VAS-FM (Figura 3) na situação controle não foi influenciada pelo filme, apresentando diferença ao longo do tempo entre o momento Pós-exercício ( $42.3 \pm 25.9$ ) em relação ao Pré ( $19.7 \pm 16.8$ ). Na situação experimental, os momentos Pós tratamento e Pós exercício ( $52.1 \pm 21.5$ ) foram diferentes ( $p < 0,001$ ) do momento Pré ( $22.3 \pm 23.0$ ). A VAS-FM apresentou interação significativa ( $F = 3.51$ ;  $p = 0.04$ ), no qual houve uma diferença significativa entre situações somente no momento Pós tratamento (FM  $45.7 \pm 19.0$  u.a.; Controle  $23.8 \pm 20.4$  u.a.,  $p = 0.01$ ).

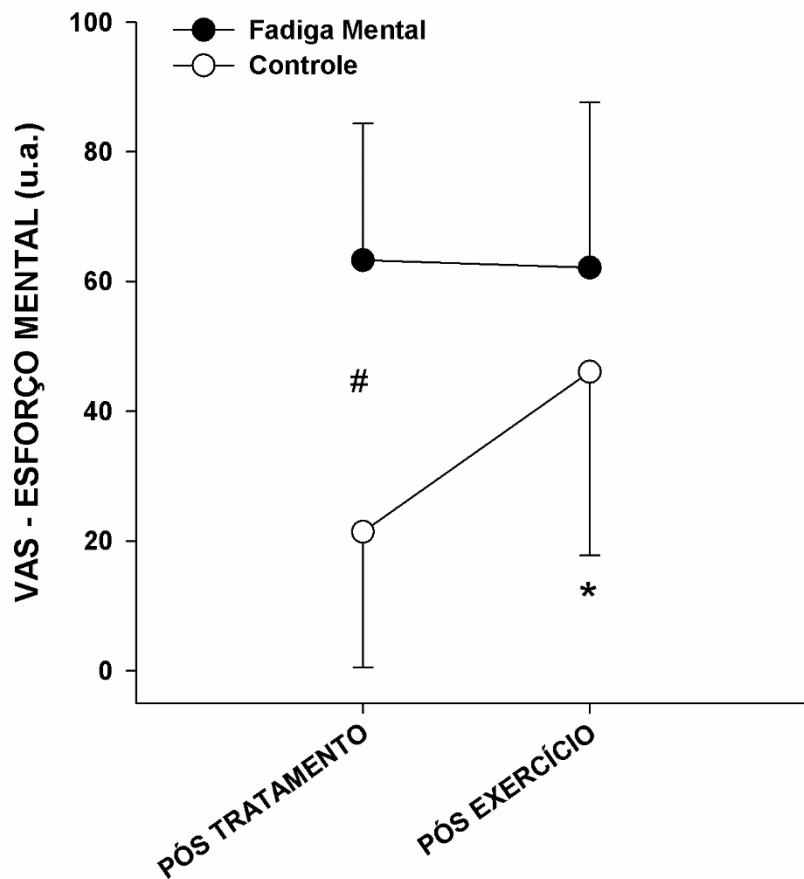
**Figura 3** – Escala Visual Análoga de FM.



# Diferença significativa entre situações no momento Pós tratamento ( $p = 0,01$ ), a – diferença significativa em relação ao momento Pré ( $p < 0,001$ ), b – diferença significativa em relação ao momento Pré.

A VAS-EM (Figura 4) apresentou efeito principal de tempo ( $p = 0,05$ ), sendo média no momento Pós-exercício ( $46.0 \pm 28.2$  u.a.) maior ( $p = 0,003$ ) do que o momento Pós tratamento ( $21.4 \pm 20.9$  u.a.) somente na situação controle, enquanto que a situação com FM não houve alterações dos valores nos diferentes momentos. Houve interação significativa ( $F = 19.17$ ;  $p < 0,001$ ). A situação com FM apresentou maiores valores de média no momento Pós tratamento ( $63.2 \pm 21.0$  u.a.) em relação ao controle ( $21.4 \pm 20.9$  u.a.), demonstrando que a tarefa cognitiva exigiu maior esforço mental do que assistir ao filme.

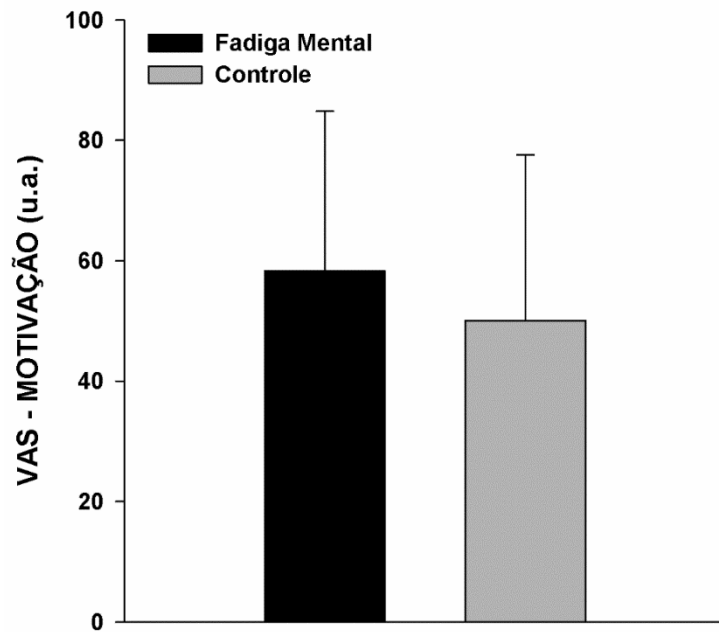
**Figura 4** – Escala Visual Análoga de Esforço Mental.



# Diferença significativa entre situações no momento Pós tratamento ( $p < 0,001$ ). \* diferença significativa em relação ao momento Pós Tratamento ( $p = 0,003$ ).

A motivação mensurada pela VAS-M (Figura 5) não foi diferente entre as situações (FM:  $58.2 \pm 26.5$  u.a.; Controle:  $50.0 \pm 27.5$  u.a.;  $p = 0.1$ ), demonstrando que o nível de motivação não foi diferente antes do teste SJFT, ou seja, que a realização do *Stroop Color Test* e assistir ao filme durante 30 min não modificaram o nível de motivação.

**Figura 5** – Escala Visual Análoga de Motivação



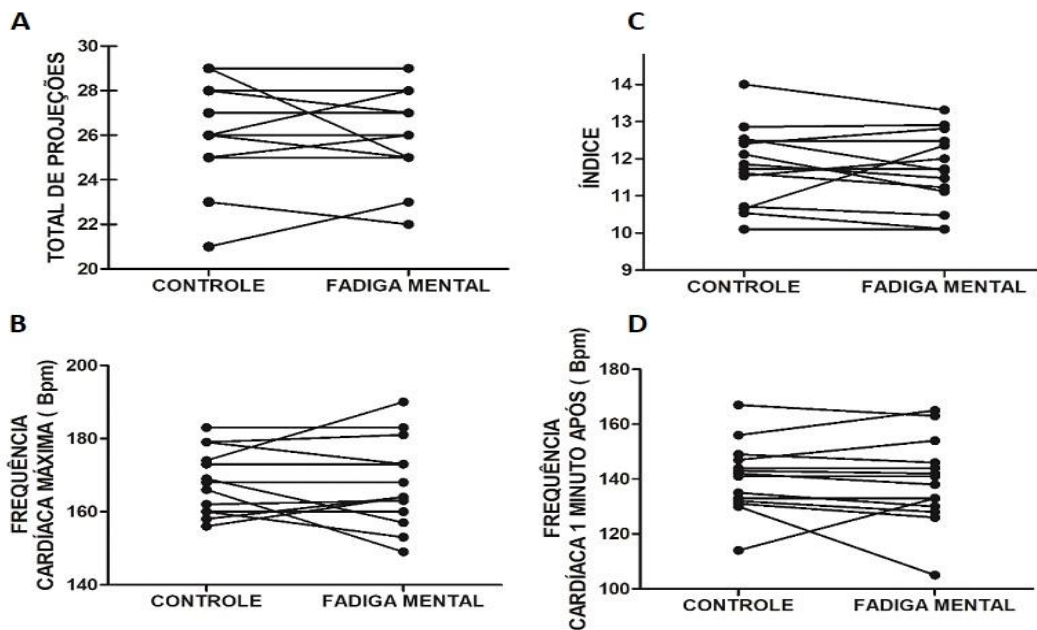
## 5.2 Desempenho no SJFT

O número de projeções, o índice de desempenho, a frequência cardíaca máxima e de recuperação, não diferiram entre as situações experimentais, indicando que o estado de FM não modificou o desempenho físico (Tabela 1).

**Tabela 1:** Desempenho físico no *Special Judo Fitness Test*.

	Situações Experimentais		Valor de <i>P</i>
	Fadiga Mental	Controle	
Número Total de Projeções	26.0 ± 1.9	26.0 ± 2.2	0,86
Frequência Cardíaca Máxima (bpm)	167 ± 11	164 ± 15	0,77
Frequência Cardíaca 1 minuto após (bpm)	139 ± 15	138 ± 14	0,66
Índice	11.7 ± 1.0	11.8 ± 1.0	0,60

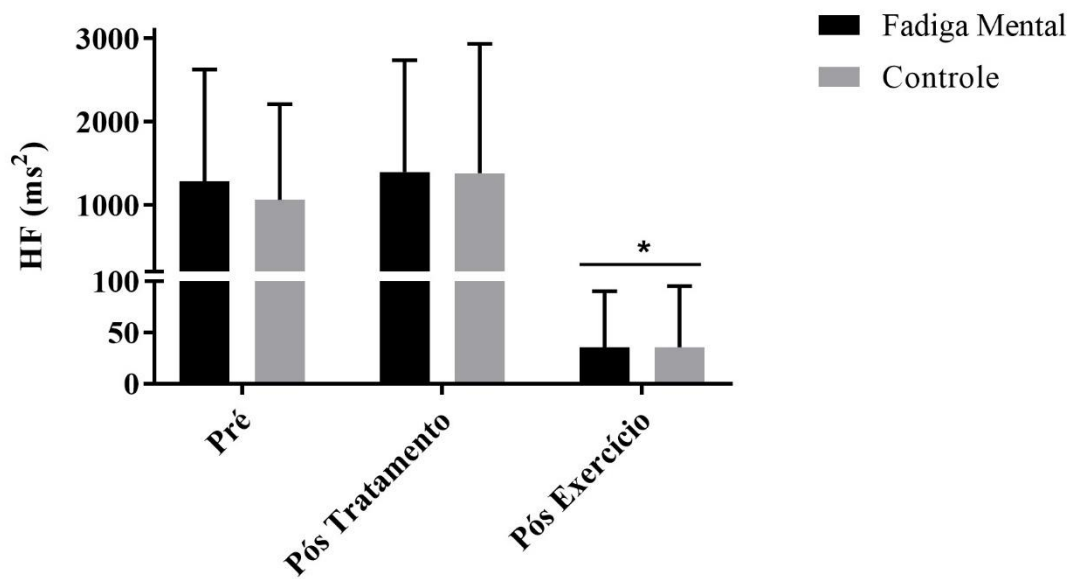
**Figura 6 –** Desempenho individual no Special Judo Fitness Test



### 5.3 Variáveis fisiológicas

Dentre os índices da VFC, a variável HF apresentou efeito principal de tempo ( $p < 0,0001$ ) sendo o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p = 0,0002$ ) e do momento Pré ( $p = 0,0007$ ) na situação experimental e o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p = 0,003$ ) e do momento Pré ( $p = 0,006$ ) na situação controle. Não houve interação significativa ( $F = 0,15$ ;  $p = 0,85$ ) (Figura 7).

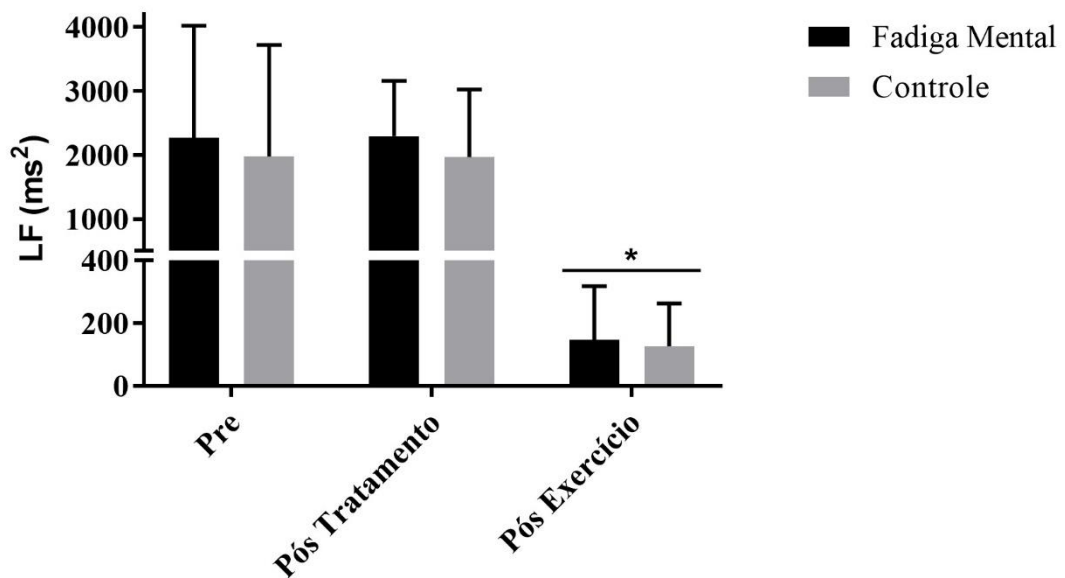
**Figura 7** – Índice de Alta Frequência (HF).



\* Diferença significativa da situação Pós exercício em relação ao momento Pré e Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ).

O índice LF apresentou efeito principal de tempo ( $p < 0,0001$ ) sendo o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação experimental e o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ). Não houve interação significativa ( $F = 0,18$ ;  $p = 0,83$ ) (Figura 8).

**Figura 8** – Índice de Baixa Frequência (LF).

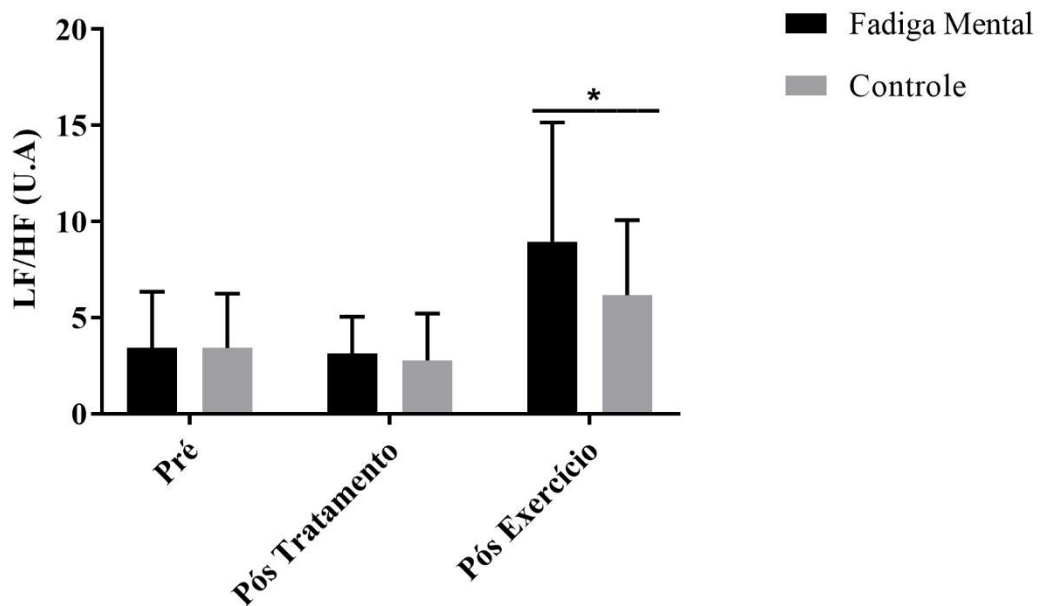


\* Diferença significativa da situação Pós exercício em relação ao momento Pré e Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ).



O índice LF/HF não apresentou interação significativa ( $F: 1,63; p: 0,20$ ). Houve apenas efeito principal do tempo ( $p < 0,0001$ ). Foi verificada uma diferença do momento Pós exercício em relação momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e em relação ao momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação experimental. Na situação controle, verificou-se uma diferença do momento Pós exercício em relação ao Pós tratamento ( $p = 0,017$ ).

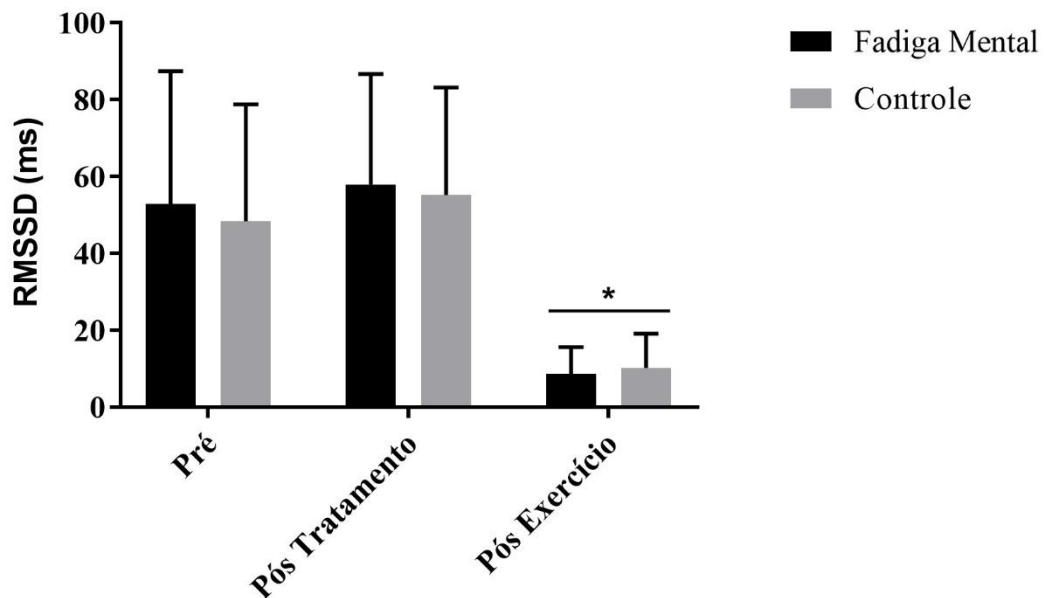
**Figura 9 – Razão LF\HF.**



\* Diferença significativa da situação Pós exercício em relação ao momento Pré e Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ).

O índice RMSSD não apresentou interação significativa ( $F: 0,20; p: 0.81$ ). Houve apenas efeito principal do tempo ( $p < 0,0001$ ). No qual, o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação experimental e o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação controle.

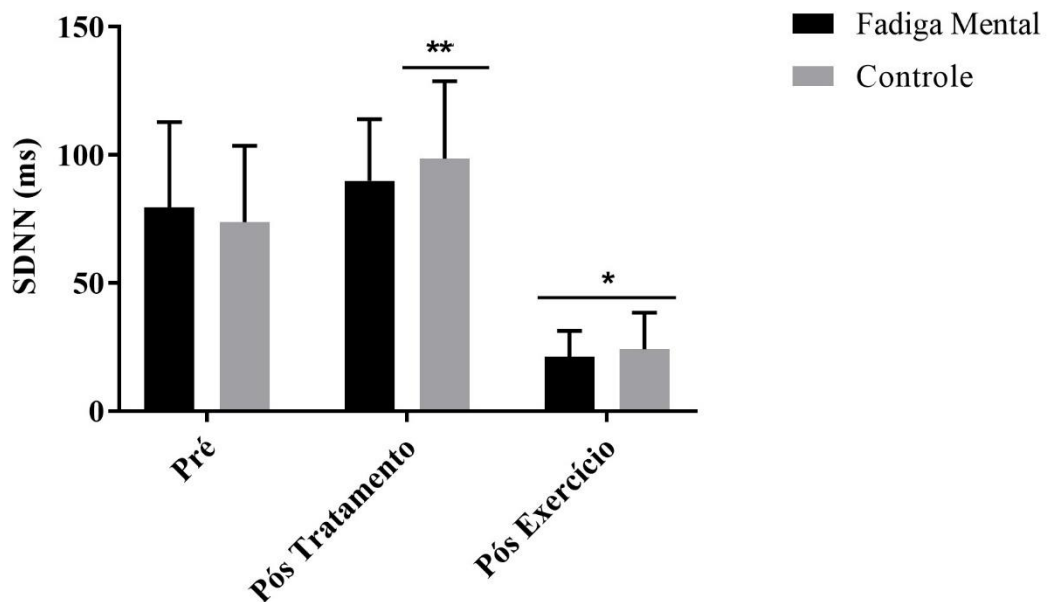
**Figura 10** – Raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos intervalos RR adjacentes (RMSSD).



\* Diferença significativa da situação Pós exercício em relação ao momento Pré e Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ).

O índice SDNN não apresentou interação significativa ( $F: 0,91; p: 0,40$ ). Houve apenas efeito principal do tempo ( $p < 0,0001$ ). No qual, o momento pós exercício diferente do momento pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação experimental e o momento Pós exercício diferente do momento Pós tratamento ( $p < 0,0001$ ) e do momento Pré ( $p < 0,0001$ ) na situação controle. O momento pós tratamento na situação controle foi diferente da situação Pré ( $p = 0,006$ ).

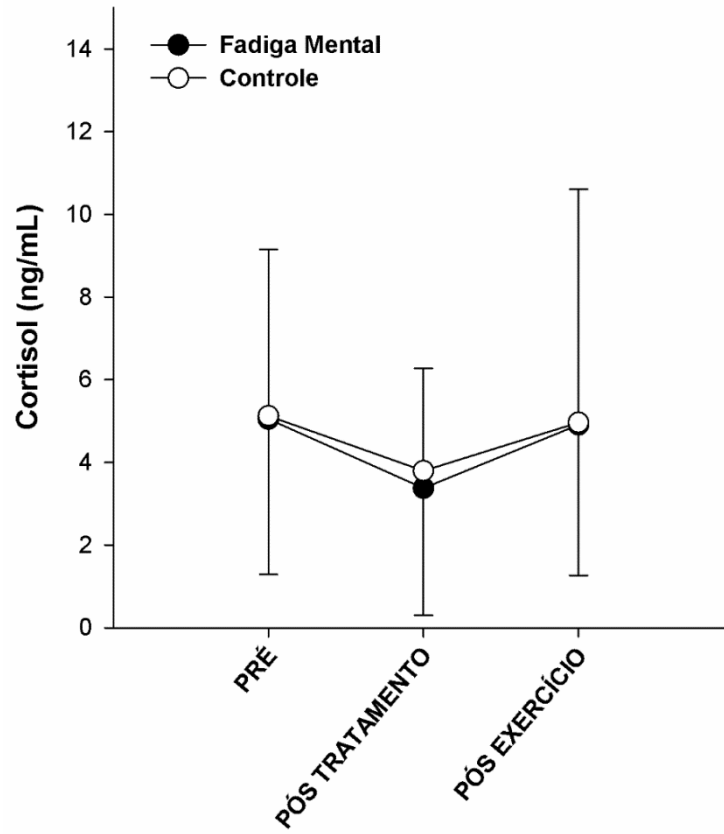
**Figura 11** – Desvio padrão da média dos intervalos RR adjacentes (SDNN).



\* Diferença significativa da situação pós exercício em relação ao momento pré e pós tratamento ( $p < 0,0001$ ). \*\* Diferença significativa no momento pós tratamento na situação controle em relação a situação Pré ( $p = 0,006$ ).

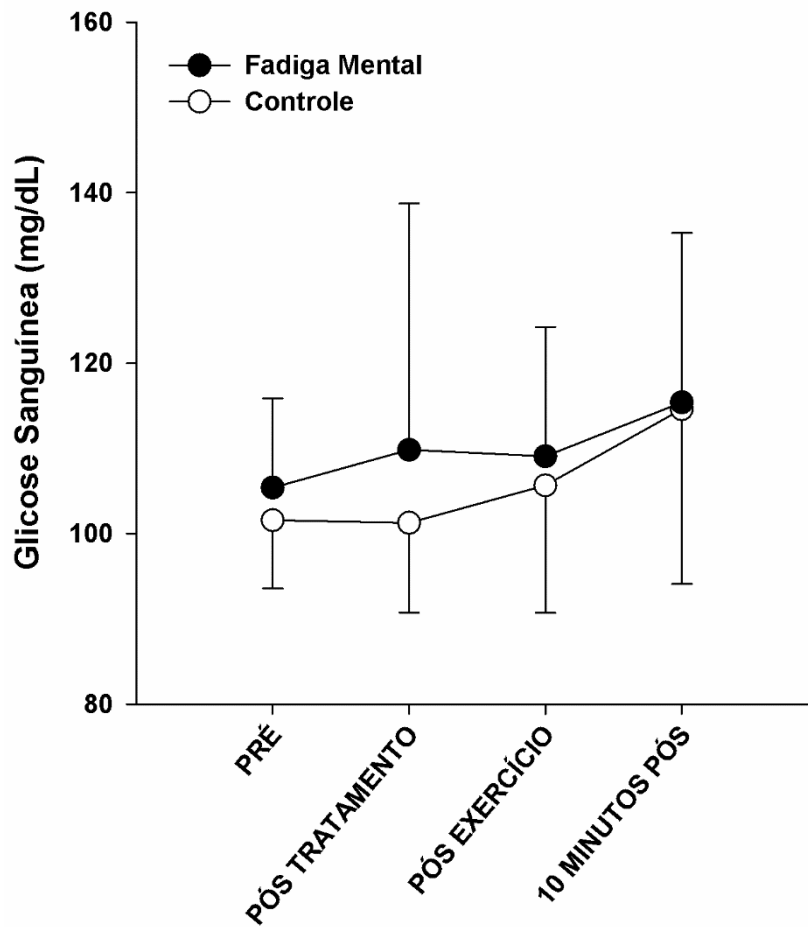
O cortisol salivar não foi diferente entre situações ( $F = 0.27$ ;  $p = 0.76$ ) e não teve a concentração alterada significativamente ao longo do tempo (Figura 12).

**Figura 12** – Cortisol Salivar



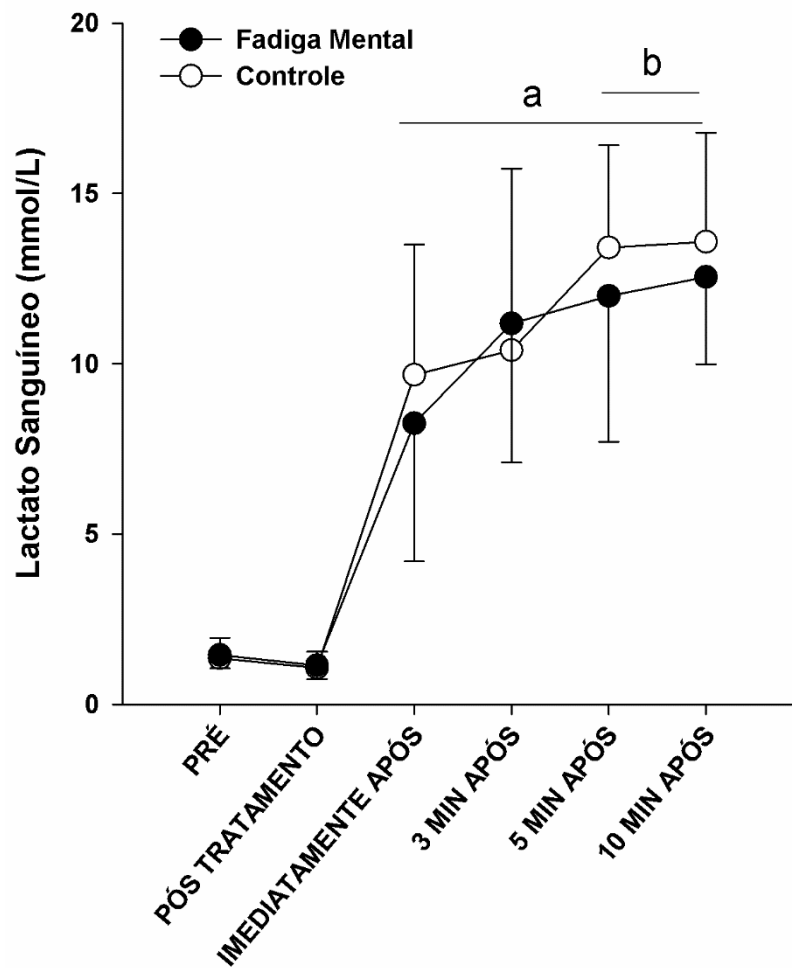
A concentração de glicose sanguínea também não apresentou interação significativa ( $F= 0,14$ ;  $p = 0,93$  – Figura 13) nem efeito principal de tempo ( $F= 1,14$ ;  $p = 0,34$ ) ou situação ( $F= 0,42$ ;  $p = 0,52$ ).

**Figura 13** – Glicose Sanguínea



O lactato sanguíneo não apresentou interação significativa ( $F = 0,98$ ;  $p = 0,43$ ) mas houve efeito principal de tempo, com maiores concentrações sendo observadas no momento pós exercício em comparação com os valores pós tratamento e pré exercício ( $p < 0,001$  - Figura 14).

**Figura 14 – Lactato Sanguíneo**



a – diferença significativa em relação ao momento pré e pós tratamento ( $p < 0,001$ ), b – diferença significativa em relação ao momento imediatamente após e 3 minutos após ( $p < 0,005$ ).

## 6 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da FM sobre o desempenho físico e as respostas fisiológicas de judocas. Acreditava-se que a FM reduziria o desempenho físico associado à redução da concentração do marcador do metabolismo anaeróbico (lactato) e aumento das respostas dos marcadores de stress (VFC e cortisol). A tarefa utilizada neste estudo (*Stroop Color Test*) induziu um aumento da percepção de FM. Contudo, os atletas mesmo fadigados mentalmente não apresentaram redução do desempenho físico. Quanto às variáveis fisiológicas, não foi identificada nenhuma diferença significativa entre as situações controle e após o protocolo para indução da FM.

### Variáveis Perceptivas

Os atletas reportaram uma maior percepção de FM e esforço mental após a tarefa de Stroop, demonstrado pela diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nas VAS FM e EM, com maiores valores de média no momento Pós tratamento na situação FM. Portanto, a tarefa utilizada no presente estudo parece ter sido eficaz em induzir uma percepção de FM, corroborando outros autores que utilizaram o mesmo modelo (SMITH *et al.*, 2016b, 2017). Ao realizar a tarefa de *Stroop*, observa-se uma elevação da atividade neural na região do CCA (GRUBER *et al.*, 2002), devido à exigência de controle da atenção durante um tempo prolongado. Esta região está associada também à FM, no qual sujeitos fadigados mentalmente apresentam uma elevação da atividade neural nessa região (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005).

Os sujeitos reportaram também um maior nível de esforço mental após o SJFT na situação controle, o que pode justificar a maior percepção de FM após o SJFT em relação ao repouso na situação controle. Nesse sentido, a atividade intermitente de alta intensidade parece exigir um esforço cognitivo acentuado para manutenção da intensidade, mesmo em atividades de curta duração. Modelos teóricos sugerem que o esforço mental seria necessário para inibir as respostas aferentes que surgem com a fadiga física (AUDIFFREN; ANDRÉ, 2015). Contudo, na situação FM o esforço mental se manteve elevado, mas semelhante entre a tarefa cognitiva e a tarefa física, não apresentando um efeito somatório na percepção.

### **Desempenho no *Special Judo Fitness Test***

Foi hipotetizado que a FM reduziria o desempenho físico devido à natureza da tarefa a ser executada. O teste de judô exigiu execução de movimentos técnicos específicos da modalidade em alta intensidade de forma intermitente, fator este que não havia sido explorado na literatura. Contudo, o desempenho no SJFT, mensurado pelo número de projeções totais e o índice de desempenho, não foi prejudicado pela execução prévia de uma tarefa mental. Os resultados do presente estudo corroboram autores que não encontraram efeitos da FM na execução de tarefas de curta duração tanto em exercícios de força (PAGEAUX; MARCORA; LEPERS, 2013; ROZAND *et al.*, 2014) quanto em exercícios cíclicos máximos intermitentes (DUNCAN *et al.*, 2015; MARTIN *et al.*, 2015). Entretanto, dois estudos demonstraram que a FM pode reduzir a resistência de força (BRAY *et al.*, 2012; BUDINI *et al.*, 2014). Apesar de esses dois estudos relatarem uma influência da FM no desempenho de força, este prejuízo foi visto em tarefas com maior tempo de execução. Portanto, o nosso estudo confirma a hipótese de que, em tarefas com que exigem alta intensidade e esforço máximo, a FM não prejudica o desempenho físico.

Sendo assim o presente estudo corrobora os dados existentes na literatura, no qual a FM parece não ter influência no desempenho de curta duração e alta intensidade, mesmo em tarefas que envolvam movimentos técnicos mais complexos. Uma possível justificativa para este resultado é que a FM altera a atividade neural de regiões cerebrais como o CCA (LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005) que não estão associadas ao controle de esforços máximos, como o córtex motor primário (ROZAND *et al.*, 2014). Porém, o CCA faz parte de um circuito neural de interconexão que pode influenciar o córtex motor primário levando à fadiga física (TANAKA; ISHII; WATANABE, 2014). Entretanto o nosso estudo confirma a hipótese de que esta influência parece ocorrer somente em exercícios de longa duração (PAGEAUX *et al.*, 2014).

Apesar de a FM não prejudicar o desempenho intermitente de alta intensidade dos judocas e este efeito corroborar os resultados de outros trabalhos descritos na literatura (MARTIN *et al.* 2014), não se pode descartar a hipótese de que a FM nos sujeitos do presente estudo pode ser considerada como moderada ou leve, efeito já demonstrado em indivíduos treinados (MARTIN *et al.*, 2016b), o que pode ter ocorrido devido a uma melhor função executiva adquirida com um elevado volume de treinamento. Já foi



reportado que a prática crônica do judô pode induzir a adaptações (aumento da densidade tecidual) em regiões do cérebro relacionadas à cognição (JACINI *et al.*, 2009) e que judocas medalhistas tendem a apresentar uma melhor função executiva (DRID; BALA; OBADOV, 2010). Portanto, é possível que os sujeitos do presente estudo não estiveram altamente fadigados mentalmente, o que justificaria a ausência de diferenças entre as situações. Entretanto, essa conclusão não pode ser confirmada com os dados do presente estudo.

### **Variáveis Fisiológicas**

A hipótese assumida por esse estudo era de que a FM alteraria a atividade do nervo vago, levando a uma maior resposta do SNS marcado pelo aumento dos parâmetros LF e relação LF/HF e pela redução do HF. Entretanto, essa diferença não foi observada, em contraste com os resultados de estudos anteriores, que identificaram aumento da resposta nervosa simpática em situações de FM (MIZUNO *et al.*, 2011; TANAKA *et al.*, 2009). Foi demonstrado através de ressonância magnética, a relação entre a ativação do CCA e alterações na VFC (CRITCHLEY *et al.*, 2003). Dessa forma, esperava-se que o esforço mental cognitivo prolongado prévio alterasse a resposta simpática, resultado não observado em nosso estudo.

O presente estudo se diferencia destes estudos anteriores, pois avaliou a recuperação da VFC após o término do esforço cognitivo, o que difere dos estudos anteriores que avaliaram a VFC durante o esforço cognitivo. Não se pode excluir a hipótese de que a VFC esteve alterada durante o esforço cognitivo, mas ao término do teste a predominância do tônus vagal foi rapidamente recuperada, visto que o sistema nervoso parassimpático possui uma cinética de recuperação mais rápida que o SNS (SAUL, 1990). Contudo, o esforço mental maior na situação de FM não foi suficiente para aumentar a resposta simpática após o exercício, efeito esperado de acordo com o modelo da integração neurovisceral (THAYER; LANE, 2000) que propõe a existência de uma rede de estruturas neurais associadas com a regulação autonômica, resposta afetiva e regulação cognitiva. Além disso, a maior VFC foi relacionada a um melhor desempenho cognitivo (HANSEN *et al.*, 2004; LUFT; TAKASE; DARBY, 2009). Sendo assim, a FM pode não ter sido suficiente para reduzir o desempenho cognitivo e levar a uma maior resposta simpática.

Também não houve diferença no aumento da secreção de cortisol. Este resultado corrobora outros estudos que não encontraram uma hiperatividade simpática e maior ativação do eixo HPA após situações de esforço mental prolongado (CUTSEM *et al.*, 2017b; PENNA *et al.*, 2017), sendo que tarefas de esforço cognitivo prolongado podem ser diferenciadas pelo seu nível de exigência. Esse nível de exigência leva a padrões de sincronização sináptica e oscilação das ondas cerebrais diferentes, de acordo com a natureza da tarefa (LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005), de forma que atividades que tenham uma maior demanda cognitiva, como, por exemplo o controle inibitório, que consiste em inibir uma resposta devido ao ambiente, podem ativar o sistema de facilitação mental sem ativação do sistema de inibição mental (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b). Dessa forma, o desempenho cognitivo seria mantido mesmo sob FM. Esperava-se que, caso ocorresse essa manutenção do desempenho, essa ocorresse implicando em um maior estresse fisiológico, efeito este não demonstrado, uma vez que a concentração das variáveis sanguíneas, lactato e glicose, não foram diferentes entre as situações. Essas respostas corroboram os achados de outros autores (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; SMITH; MARCORA; COUTTS, 2015), que encontraram resultados semelhantes. Estas observações se justificam pelo fato do desempenho não ter sido diferente entre as situações, sugerindo que tenham sido executados em intensidade semelhante.

### **Limitações e Direções Futuras**

No presente estudo, os atletas se perceberam fadigados mentalmente. Contudo, não é possível quantificar o nível de FM destes indivíduos, visto que não foram mensurados o desempenho cognitivo e o comportamento da atividade cerebral após a tarefa para indução da FM. Portanto, são necessários estudos futuros que determinem em indivíduos atletas um efeito dose-resposta da intervenção sobre a percepção de FM, utilizando diferentes durações e características de tarefa no desempenho cognitivo, atividade cerebral e variáveis perceptivas.

Aparentemente, a FM não altera o desempenho em atividades máximas e a recuperação desse estímulo parece não ser diferente do que em uma situação controle. Contudo, novos estudos devem abordar um contexto de esforço mental prolongado crônico ao longo do treinamento, ou ainda se indivíduos com maiores sensações de FM auto reportadas podem ter uma pior resposta à carga de exercícios devido a alterações neurais e fisiológicas.

É importante enfatizar que a FM não afetou o desempenho em um teste específico do judô, mas os achados ainda não permitem afirmar que durante uma luta ou uma competição a FM não altere o desempenho.

## **7 CONCLUSÃO**

O presente estudo demonstrou que atividades intermitentes máximas utilizando exercícios específicos do judô não são prejudicadas por uma tarefa cognitiva prévia que cause FM. A concentração de lactato, glicose, cortisol e VFC também não são alteradas pelo esforço cognitivo prévio. Contudo, ainda são necessários estudos que quantifiquem diferentes níveis de fadiga mental e a influência destes em exercícios com intensidade subjetiva máxima em gestos técnicos do judô e possível influência da fadiga mental no desempenho técnico-tático de luta.

## REFERÊNCIAS

- AUDIFFREN, M.; ANDRÉ, N. The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions. **Journal of Sport and Health Science**, v. 4, n. 1, p. 30–46, 2015.
- AZEVEDO, R. *et al.* Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11, p. 2293–2303, 2016.
- BADIN, O. O. *et al.* Mental Fatigue Impairs Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 11, n. 8, p. 1100–1105, 2016.
- BOKSEM, M. A. S.; TOPS, M. Mental fatigue: Costs and benefits. **Brain Research Reviews**, v. 59, n. 1, p. 125–139, 2008.
- BRAY, S. R. *et al.* Effects of self-regulatory strength depletion on muscular performance and EMG activation. **Psychophysiology**, v. 45, n. 2, p. 337–343, 2008.
- BRAY, S. R. *et al.* Cognitive task performance causes impaired maximum force production in human hand flexor muscles. **Biological Psychology**, v. 89, n. 1, p. 195–200, 2012.
- BROWNSBERGER, J. *et al.* Impact of mental fatigue on self-paced exercise Brownsberger 2013. **International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 12, p. 1029–1036, 2013.
- BUDINI, F. *et al.* Effect of mental fatigue on induced tremor in human knee extensors. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 24, n. 3, p. 412–418, 2014.
- COUTINHO, D. *et al.* Mental fatigue and spatial references impair soccer players' physical and tactical performances. **Frontiers in Psychology**, v. 8, 2017.
- CRITCHLEY, H. D. *et al.* Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence. **Brain**, v. 126, p. 2139–2152, 2003.
- CUTSEM, J. VAN *et al.* The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. **Sports Medicine**, p. 1–20, 2017a.
- CUTSEM, J. VAN *et al.* Effects of Mental Fatigue on Endurance Performance in the Heat. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 2017b.
- DETANICO, D. *et al.* Effects of successive judo matches on fatigue and muscle damage markers. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 4, p. 1010–1016, 2015.
- DRID, P.; BALA, G.; OBADOV, S. The differences in motor and cognitive abilities between the more and less successful 12 – 14 years old judokas. **Archives of Budo**, v. 6, n. 2, p. 95–100, 2010.
- DUNCAN, M. J. *et al.* Mental Fatigue Negatively Influences Manual Dexterity and Anticipation Timing but not Repeated High-intensity Exercise Performance in Trained Adults. **Research in sports medicine (Print)**, v. 23, n. 1, p. 1–13, 2015.

- FRANCHINI, E. *et al.* Effects of recovery type after a judo match on blood lactate and performance in specific and non-specific judo tasks. **European Journal of Applied Physiology**, v. 107, n. 4, p. 377–383, 2009.
- FRANCHINI, E. *et al.* Physiological profiles of elite judo athletes. **Sports Medicine**, v. 41, n. 2, p. 147–166, 2011.
- FRANCHINI, E.; ARTIOLI, G. G.; BRITO, C. J. Judo combat: time-motion analysis and physiology. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v. 13, n. 3, p. 624–641, 2013.
- FRANCHINI, E.; DEL VECCHIO, F. B.; STERKOWICZ, S. A special judo fitness test classificatory table. **Archives of Budo**, v. 5, p. 127–129, 2009.
- GAILLIOT, M. T.; BAUMEISTER, R. F. The physiology of willpower: linking blood glucose to self-control. **Personality and social psychology review**, v. 11, n. 4, p. 303–27, 2007.
- GANDEVIA, S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. **Physiological Reviews**, v. 81, n. 4, p. 1725–1789, 2001.
- GERGELYFI, M. *et al.* Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. **Frontiers in behavioral neuroscience**, v. 9, n. July, p. 176, 2015.
- GRUBER, S. A. *et al.* Stroop Performance in Normal Control Subjects: An fMRI Study. **NeuroImage**, v. 16, n. 2, p. 349–360, 2002.
- HANSEN, A. L. *et al.* Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: The effects of training and detraining. **European Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 3, p. 263–272, 2004.
- ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. The neural substrates of self-evaluation of mental fatigue: A magnetoencephalography study. **PLoS ONE**, v. 9, n. 4, 2014a.
- ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. Neural mechanisms of mental fatigue. **Reviews in the Neurosciences**, v. 25, n. 4, p. 469–479, 2014b.
- JACINI, W. F. S. *et al.* Can exercise shape your brain? Cortical differences associated with judo practice. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 12, n. 6, p. 688–690, 2009.
- JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497–504, 1978.
- KNICKER, A. *et al.* Interactive Processes Link the Multiple Symptoms of Fatigue in Sport Competition. **Sports Medicine**, v. 41, n. 4, p. 307–328, 2011.
- LE MANSEC, Y. *et al.* Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. **Journal of Sports Sciences**, v. 0, n. 0, p. 1–9, 2017.
- LEE, K. A.; HICKS, G.; NINO-MURCIA, G. Validity and reliability of a scale to measure fatigue. **Psychiatry Research**, v. 36, n. 3, p. 291–298, 1991.

- LORIST, M. M.; BOKSEM, M. A. S.; RIDDERINKHOF, K. R. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. **Cognitive Brain Research**, v. 24, n. 2, p. 199–205, 2005.
- LUFT, C. D. B.; TAKASE, E.; DARBY, D. Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort. **Biological Psychology**, v. 82, n. 2, p. 186–191, 2009.
- MACLEOD, C. M.; MACDONALD, P. A. Interdimensional interference in the Stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 4, n. 10, p. 383–391, 2000.
- MACMAHON, C. *et al.* Cognitive fatigue effects on physical performance during running. **Journal of sport & exercise psychology**, v. 36, n. 4, p. 375–81, 2014.
- MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 106, n. 3, p. 857–864, 2009.
- MARTIN, K. *et al.* Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 4, p. 715–725, 2015.
- MARTIN, K. *et al.* Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. **PLOS ONE**, p. 1–15, 2016a.
- MARTIN, K. *et al.* Superior inhibitory control and resistance to mental fatigue in professional road cyclists. **PLoS ONE**, v. 11, n. 7, p. 1–15, 2016b.
- MIZUNO, K. *et al.* Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity. **Behavioral and brain functions**, v. 7, n. 17, p. 1–7, 2011.
- MIZUNO, K. *et al.* Fatigue correlates with the decrease in parasympathetic sinus modulation induced by a cognitive challenge. **Behavioral and brain functions**, v. 10, n. 1, p. 25, 2014.
- NUNAN, D. *et al.* Validity and Reliability of Short-Term Heart-Rate Variability from the Polar S810. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, p. 243–250, 2006.
- PAGEAUX, B. *et al.* Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 5, p. 1095–1105, 2014.
- PAGEAUX, B. *et al.* Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. **Frontiers in human neuroscience**, v. 9, p. 1–12, 2015.
- PAGEAUX, B.; MARCORA, S. M.; LEPERS, R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 45, n. 12, p. 2254–2264, 2013.
- PENNA, E. M. *et al.* Mental fatigue impairs physical performance in Young Swimmers. **Pediatric Exercise Science**, v. 23, p. 1–8, 2017.
- ROZAND, V. *et al.* Does mental exertion alter maximal muscle activation? **Frontiers in human neuroscience**, v. 8, n. September, p. 755, 2014.

- SALAM, H.; MARCORA, S. M.; HOPKER, J. G. The effect of mental fatigue on critical power during cycling exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 1, p. 85–92, 2017.
- SAUL, J. P. Beat-to-Beat Variations of Heart-Rate Reflect Modulation of Cardiac Autonomic Outflow. **News in Physiological Sciences**, v. 5, p. 32–37, 1990.
- SILVA-JÚNIOR, F. L. *et al.* Prior Acute Mental Exertion in Exercise and Sport. **Clinical Practice e Epidemiology in Mental Health**, v. 12, p. 94–107, 2016.
- SMEETS, T. Autonomic and hypothalamic-pituitary-adrenal stress resilience: Impact of cardiac vagal tone. **Biological Psychology**, v. 84, n. 2, p. 290–295, 2010.
- SMITH, M. R. *et al.* Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 14, p. 1297–1304, 2016a.
- SMITH, M. R. *et al.* Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 48, n. 2, p. 267–276, 2016b.
- SMITH, M. R. *et al.* Impact of mental fatigue on speed and accuracy components of soccer-specific skills skills. **Science and Medicine in Football**, v. 0, n. 0, p. 1–5, 2017.
- SMITH, M. R.; MARCORA, S. M.; COUTTS, A. J. Mental fatigue impairs intermittent running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 8, p. 1682–1690, 2015.
- STERKOWICZ, S.; ZUCHOWICZ, A.; KUBICA, R. Levels of anaerobic and aerobic capacity indices and results for the special fitness test in judo competitors. **Journal of Human Kinetics**, v. 2, n. 1, p. 115–135, 1999.
- TANAKA, M. *et al.* Central nervous system fatigue alters autonomic nerve activity. **Life Sciences**, v. 84, n. 7–8, p. 235–239, 2009.
- TANAKA, M.; ISHII, A.; WATANABE, Y. Neural effect of mental fatigue on physical fatigue: A magnetoencephalography study. **Brain Research**, v. 1542, p. 49–55, 2014.
- TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY. Heart rate variability - Standards of measurement, physiological interpretation, an clinical use. **European Heart Journal**, v. 17, p. 354–381, 1996.
- THAYER, J. F.; LANE, R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. **Journal of Affective Disorders**, v. 61, p. 201–216, 2000.
- VRIJKOTTE, S. *et al.* Mental Fatigue and Physical and Cognitive Performance during a two bout exercise test. **International Journal of Sports Physiology and performance**, p. 1–22, 2017.
- WILLIAMSON, J. W. *et al.* Brain activation by central command during actual and imagined handgrip under hypnosis. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, n. 3, p. 1317–1324, 2002.
- ZERING, J. C. *et al.* Cognitive control exertion leads to reductions in peak power output and



as well as increased perceived exertion on a graded exercise test to exhaustion. **Journal of Sports Sciences**, v. 0, n. 0, p. 1–9, 2016.

## ANEXOS

## ANEXO A – Escalas Visuais Análogas

INFORMAÇÃO DOS PARTICIPANTES					
NOME		DATA		SITUAÇÃO	EX / C
		TEMPO	PÓS-STROOP		

Por favor, desenhe uma linha através dos seguintes escalas indicando como você se **sente neste momento**. Não há uma resposta correta / incorreta. Sua resposta não deve ser influenciada pelas respostas anteriores, somente pela sua **PERCEPÇÃO ATUAL**.

**Fadiga Mental** – não se refere a qualquer tarefa (apenas sentimentos atuais).

**Esforço Mental** – Refere-se a tarefa que você acabou de completar.

**Motivação** – Refere-se a tarefa que você vai realizar.

### Fadiga Mental

Nenhuma |—————| Maxima

### Esforço Mental

Nenhuma |—————| Maxima

### Motivação

Nenhuma |—————| Maxima

## ANEXO B – Stroop Color Test

VERDE	VERMELHO	AZUL	VERMELHO	AZUL
AZUL	AZUL	VERDE	VERDE	VERMELHO
AMARELO	VERMELHO	AMARELO	VERDE	AMARELO
VERMELHO	AZUL	AZUL	VERDE	AZUL
AZUL	VERDE	VERDE	AMARELO	VERDE
AZUL	AMARELO	AZUL	AZUL	AZUL
AMARELO	AMARELO	VERMELHO	AMARELO	AMARELO
VERDE	VERMELHO	VERMELHO	VERDE	VERDE

## ANEXO C – Aprovação do Comitê de Ética

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
MINAS GERAIS



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Influência de diferentes tipos de fadiga no desempenho físico e tático em atletas de modalidades esportivas individuais e coletivas.

**Pesquisador:** Luciano Sales Prado

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 55286716.0.0000.5149

**Instituição Proponente:** Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.557.728

#### **Apresentação do Projeto:**

No dizer dos proponentes:

“O presente estudo, de caráter transversal, que ocorrerá de forma contra-balanceada e randomizada, envolverá a exposição de atletas de modalidades esportivas coletivas e individuais a protocolos de fadiga mental e física [queda na capacidade muscular de produzir força ou potência máxima], objetivando verificar o desempenho físico e tático sob esses diferentes tipos de estresse, quando comparados com uma situação controle. [...] Os atletas [serão recrutados nas federações regentes das modalidades específicas

de futebol, basquete, vôlei, futsal, handebol, natação, judô e taekwondo, com idade entre 18 e 40 anos, devem participar de treinamentos sistematizados há pelo menos um ano, não apresentar lesões físicas e/ou perturbações psíquicas].

[...]

As situações experimentais e as situações controle serão realizadas de modo contra-balanceado randomizado, com intervalo mínimo de 72 horas entre cada situação para cada voluntário. A situação experimental 1 envolve a coleta das variáveis fisiológicas em repouso (BDNF, CORTISOL, Concentração sanguínea de Lactato, Glicose e a variabilidade da frequência cardíaca) e posteriormente o voluntário será exposto a um teste físico validado cientificamente (Bangsbo, laia

**Endereço:** Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005  
**Bairro:** Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901  
**UF:** MG **Município:** BELO HORIZONTE

**Telefone:** (31)3409-4592

**E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

## APÊNDICES

### APÊNDICE A

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Convidamos você para ser voluntário do projeto de pesquisa intitulado “**EFEITOS DE DUAS ATIVIDADES COGNITIVAS NO DESEMPENHO FÍSICO E NAS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE JUDOCAS**”. Este documento fornece informações sobre os experimentos, além de informações sobre riscos e benefícios. Nele, seus direitos como participante de um estudo experimental são detalhados. Por favor, leia este documento completamente e pergunte sobre qualquer dúvida relacionada à sua participação no estudo. O presente estudo tem por objetivo, investigar os efeitos de duas atividades cognitivas diferentes (uma tarefa verbal e assistir a um filme) sobre as respostas fisiológicas ao exercício exaustivo de judô. Ao longo das duas situações experimentais que você será submetido, serão realizadas coletas de variáveis sanguíneas por meio de punção sanguínea do lóbulo da orelha (30  $\mu$ L), coleta de variabilidade da frequência cardíaca, coleta salivar, um teste de esforço cognitivo e um teste máximo utilizando gestos técnicos do judô. Todas as coletas serão realizadas por pessoas devidamente treinadas. Todos os seus dados pessoais serão confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso a essas informações. Não está prevista qualquer forma de remuneração para os voluntários. Todas as despesas especificamente relacionadas ao estudo são de responsabilidade do LAFISE (Laboratório de Fisiologia do Exercício). Serão poucos ou nenhum os possíveis benefícios individuais decorrentes de sua participação no estudo. Apesar disto, espera-se que o estudo aumente as informações disponíveis sobre as respostas metabólicas e de desempenho físico e técnico sob diferentes protocolos de fadiga. Espera-se que estas informações possam ser úteis a diferentes áreas do conhecimento ou atividades profissionais como Fisiologia do Exercício, Educação Física e Medicina do Exercício. Os riscos deste estudo são relativamente pequenos e estão associados com a prática de exercícios físicos, como o surgimento de lesões músculo-esqueléticas e incômodos causados pela dor durante e após a realização de um exercício de elevada intensidade, mas que já faz parte da sua rotina de treinamentos. Possíveis reações indesejáveis serão monitoradas pela equipe de professores responsáveis pelo estudo. Você receberá um cartão com a identificação de sua participação no estudo e os nomes e números de telefones dos

responsáveis pelo estudo que poderão ser utilizados para qualquer informação complementar sempre que achar necessário. Todas as informações individuais obtidas no estudo estarão disponíveis somente para um número limitado de pessoas diretamente envolvidas com o estudo (professores responsáveis e equipe de avaliação). Sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma. Na eventualidade da sua participação neste estudo resultar em algum problema médico, inclusive tratamento de emergência, você receberá assistência da equipe responsável pelo estudo. Entretanto, o estudo não dispõe de recursos para pagamentos de exames complementares ou quaisquer outras despesas médicas ou hospitalares, que deverão ser cobertas por seus próprios recursos ou pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Em caso de emergência, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU / 192) será chamado. Se você julgar necessária qualquer outra informação antes de dar seu consentimento para participar do estudo, você dispõe de total liberdade para esclarecer as questões que possam surgir durante a pesquisa. Você poderá se recusar a participar deste estudo e/ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar e sem que isso seja motivo de qualquer tipo de constrangimento para você. Antes de concordar em participar desta pesquisa e assinar este termo, os pesquisadores deverão responder todas as suas dúvidas. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, no LABORATÓRIO DE FISILOGIA DO EXERCÍCIO (LAFISE/EEFFTO/UFMG), e a outra será fornecida ao Sr. (a). Os dados, materiais e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos (ou até 10 (dez) anos) na sala 25, do Laboratório de Fisiologia do Exercício, da Faculdade 2 Rubrica do pesquisador: \_\_\_\_\_ Rubrica do participante: \_\_\_\_\_ de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG e após esse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resoluções Nº 466/12; 441/11 e a Portaria 2.201 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares), utilizando as informações somente para fins acadêmicos e científicos. Eu discuti os riscos e benefícios de minha participação no estudo com os pesquisadores responsáveis. Eu li todo o documento e tive tempo suficiente para considerar minha participação no estudo. Eu perguntei e obtive as respostas para todas as minhas dúvidas. Eu sei que posso me recusar a participar do estudo ou que posso abandoná-lo a qualquer momento, sem qualquer tipo de constrangimento. Eu recebi uma cópia deste documento que foi assinado em duas vias idênticas. Declaro que concordo em participar desta pesquisa. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido assinado por mim e pelo pesquisador.

Nome Completo do Participante: \_\_\_\_\_

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

Assinatura do Participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do Pesquisador Responsável: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Luciano Sales Prado Endereço: João Luiz, 130, CEP: 31275-160 / Belo Horizonte – MG. Telefone: (31) 987365996. E-mail: [lucianosalesprado@hotmail.com](mailto:lucianosalesprado@hotmail.com)

Assinatura do Pesquisador Responsável: \_\_\_\_\_

Bruno Teobaldo Campos (aluno de Mestrado) Endereço: Rua União, 80. CEP: 33980-120 / Ribeirão das Neves – MG. Telefone: (31) 992028736. E-mail: [brunoteobaldocampos@hotmail.com](mailto:brunoteobaldocampos@hotmail.com)

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar: COEP-UFMG - Comissão de Ética em Pesquisa da UFMG Av. Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II - 2º andar - Sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG – Brasil. CEP: 31270-901. E-mail: [coep@prpq.ufmg.br](mailto:coep@prpq.ufmg.br). Tel: 34094592.