

ANÁLISE DE FADIGA BASEADA EM EEG E SEMG DURANTE ESFORÇOS FÍSICOS E MENTAIS

ALEXANDRE POMER-ESCHER¹, FLAVIA A. LOTERIO¹, TEODIANO F. BASTOS-FILHO^{1,2}

¹*Programa de Pós-graduação em Biotecnologia,*

²*Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica,*

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Av. Fernando Ferrari 514. Vitória/ES, Brasil

E-mails: alexandre.pomer@hotmail.com, loteriofa.ufes@gmail.com,
teodiano.bastos@ufes

Abstract— This paper presents an analysis of fatigue based on comparison of different parameters related to the Electroencephalography (EEG) rhythms and Electromyography (sEMG). Two different stimuli of fatigue are analyzed: physical fatigue caused by isometric muscle contraction of legs, and mental as a result of sequence of math calculations. This study aims to understand how different stimuli can cause mental fatigue and as their level affect the subject, in order to know how the conditions of these volunteers can interfere on the tests. Seven subject without motor or cognitive impairment participated in this study, all of them healthy and older than 24 years old. Four parameters were analyzed: rhythm α , θ and ratios θ/α , $(\theta+\alpha)/\beta$. The results were not conclusive for the relationship between mental fatigue parameters and EEG signal, however we found correlation between the median frequency of muscle activation and EEG parameters during physical tasks.

Keywords— Mental fatigue, EEG, Median Frequency, sEMG.

Resumo— Este trabalho apresenta uma análise do nível de fadiga baseada em parâmetros de sinais eletroencefalográficos (EEG) e mioelétricos de superfície (sEMG). Foram comparados os dados de voluntários submetidos a dois diferentes estímulos de fadiga, o primeiro relacionado com esforço físico através da contração isométrica de 3 músculos das pernas, enquanto que o segundo, fadiga mental, foi estimulado pelo cálculo aritmético repetitivo. Este estudo tem como objetivo compreender qual a relação dos diferentes estímulos com fadiga mental, assim como, se o nível de fadiga pode afetar os indivíduos durante os testes, a fim de estabelecer um parâmetro que possa assegurar as condições desses voluntários não interferiram diretamente nos resultados dos testes a que estão submetidos. Participaram do estudo sete indivíduos sem acometimento motor ou cognitivo, com idade superior a 24 anos. Foram analisados quatro parâmetros: Energia na banda α e θ , assim como os algoritmos de θ/α e $(\theta+\alpha)/\beta$. Os dados obtidos não foram conclusivos para a relação com os parâmetros de fadiga mental, no entanto foi observada correlação entre a frequência mediana da ativação muscular durante as tarefas físicas e os parâmetros de EEG estudados.

Palavras-chave— Fadiga mental, EEG, Frequência Mediana, sEMG.

1 Introdução

A fadiga é descrita como uma experiência subjetiva de cansaço que afeta indivíduos saudáveis e doentes (Associação Brasileira de Cuidados Paliativos, 2010). Trata-se de um conjunto de manifestações produzidas devido a trabalho ou exercício prolongado, o qual contribui para a diminuição das capacidades perceptivas, cognitivas e também motoras do indivíduo, podendo afetar a realização de várias tarefas (Ridderinkhof, et al., 2004). Pode-se apresentar sob a forma mental ou física, e quando suas manifestações influenciam o controle cognitivo do indivíduo, ocorre alteração no estado de alerta, implicando na forma como o sujeito recebe as informações e estímulos do ambiente, e ocasionando o aumento do tempo necessário para responder a uma situação ou para tomar uma decisão correta. Na forma neuromuscular, pode ter origem periférica e/ou central, sendo que a periférica é causada pela redução da força contrátil da fibra muscular, devido a alterações metabólicas, enquanto que a central é causada pela diminuição da taxa de

disparo das unidades motoras, a qual pode ser verificada através da Eletromiografia (Boyas & Guével, 2011).

O termo fadiga ainda apresenta-se como um conceito imaturo, ou seja, a literatura não o define claramente (de Mattos Pimenta, 2005), já que a sua definição varia de acordo com a área em que é estudado. Por exemplo, para a psicologia, a fadiga é o estado de desgaste relacionado à redução da motivação (Lee, 1991); na educação física, ela é vista como um declínio na capacidade de gerar tensão muscular com a estimulação repetida (McArdle, et al., 1998). De uma forma geral pode ser definida como uma sensação subjetiva de cansaço, fraqueza ou perda de energia (Associação Brasileira de Cuidados Paliativos, 2010). Dentre as diversas definições, neste estudo, fadiga é considerada como sendo o resultado de uma limitação na capacidade de adaptação, quando esta prejudica o controle cognitivo do indivíduo (Olson, et al., 2008).

Os estudos de fadiga relacionados ao trabalho têm mostrado como os efeitos da fadiga na saúde do trabalhador podem aumentar os riscos de acidentes, além de absenteísmo e prejuízo à sua qualidade de vida (Mota & Pimenta, 2006). No entanto, não é fácil

realizar a avaliação de fadiga, haja vista que esta avaliação usualmente é realizada através do uso de questionários subjetivos de auto-relato. Existem mais de 20 instrumentos exclusivos para esta avaliação, dos quais sete são validados no Brasil (Associação Brasileira de Cuidados Paliativos, 2010). Entre as formas de identificação não subjetiva, a mais promissora parece ser através do uso de sinais de eletroencefalografia (EEG).

Nos últimos anos diversos autores têm estudado a identificação de fadiga através do uso de EEG (Eoh, et al., 2005; Jap, et al., 2009) e apontam o sinal de EEG como um dos indicadores mais confiáveis. As bases neurofisiológicas de fadiga mental mostram que as regiões frontal e occipital do cérebro são importantes na classificação da fadiga mental em diferentes níveis (Shen, et al., 2007).

Estudos relatam que a fadiga mental pode ser percebida pelo aumento na energia da banda *theta* (θ , 4-8 Hz) na linha média frontal e diminuição da energia *alpha* (α , 8-13 Hz) em uma ou mais regiões parietais (Trejo, et al., 2007; Trejo, et al., 2005), embora a diminuição da energia na banda *beta* (β , 13-20 Hz) também tenha sido observada durante o cansaço (Jap, et al., 2009). Por outro lado, a fadiga física pode ser identificada através da análise da frequência mediana na ativação muscular, a qual, de acordo com (Coorevits, 2008) apresenta um deslocamento do espectro de frequência em direção às baixas frequências durante contrações musculares fatigantes.

Diante do grau de acometimento das funções cognitivas causadas pela fadiga mental, este estudo propõe analisar o nível de fadiga mental em adultos saudáveis durante a realização de duas diferentes tarefas fatigantes, sendo utilizados estímulos através da realização de atividade física e cálculos mentais. O objetivo é analisar o comportamento do sinal de EEG e sEMG durante a realização de tarefas de esforço físico e cognitivo, de modo a identificar a influência da fadiga na realização destas tarefas.

2 Materiais e Métodos

2.1 Voluntários

Participaram como voluntários deste estudo piloto sete indivíduos sem acometimento motor ou cognitivo, com idade entre 24 e 33 anos (média $27,3 \pm 3,3$ anos), sendo duas mulheres e cinco homens. Os critérios de inclusão foram: ser adulto saudável e ter mais do que 24 anos de idade, fase em que o cérebro humano atinge o seu desenvolvimento completo (Anokhin, et al., 1996; Koenig, et al., 2002), não estar fazendo uso de medicamentos, álcool ou possuir qualquer problema intelectual ou psicológico. Os critérios de exclusão foram: voluntários com visão anormal não corrigida, uma vez que parte dos estímulos depende das capacidades visuais; voluntários canhotos, devido a diferenças no padrão eletroencefalográfico; ou com debilidade física nos

membros inferiores, uma vez que os estímulos físicos dependem dos movimentos destes. O estudo possui protocolo aprovado pelo comitê de ética (CAAE 26225513.6.0000.5060), e todos os voluntários foram orientados a ler e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes de iniciar os testes de acordo com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

2.2 Estímulos

Dois protocolos de estímulo de fadiga foram utilizados, os quais foram realizados com intervalo de pelo menos uma semana. Os testes ocorreram sempre sob as mesmas condições, sendo estes realizados no horário matutino (entre 09 e 11 horas da manhã) evitando a influência da variação do ciclo circadiano (Jap, et al., 2009), com temperatura controlada a 23° C. O tempo de colocação dos eletrodos e orientação dos voluntários foi de aproximadamente 20 minutos. Foi solicitado aos voluntários que não consumissem caféina ou fumassem 4 horas antes do teste, e que não consumissem álcool nas 24 horas anteriores.

Estímulo Mental - O estímulo mental foi realizado através de cálculo aritmético baseado no estudo de (Trejo, et al., 2005). Foi solicitado aos voluntários que sentassem frente a um computador com a mão direita sobre um teclado de três botões. Foi apresentada a eles uma sequência de equações aritméticas. Cada equação consistiu em: quatro números, com um Algarismo cada; três operadores, sendo utilizadas combinações de soma e subtração; e um número como resultado. Os voluntários deveriam calcular mentalmente a equação e decidir qual o símbolo que a completava corretamente. Para isso, pressionariam um botão dentre as três opções disponíveis, a saber: maior ">", igual "=" ou menor "<" (Figura 1). Após a resposta do voluntário, nas primeiras 20 repetições era apresentado um feedback ao voluntário.

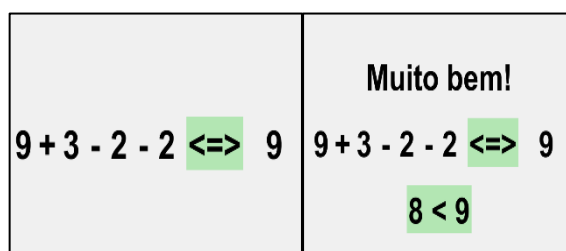


Figura 1: Tela utilizada com as tarefas de fadiga mental: (esquerda) equação a ser respondida. Após respondido, é apresentado um feedback (direita).

Foi solicitado aos voluntários que respondessem corretamente o mais rápido possível. Entre cada equação há um intervalo de dois segundos em que é apresentada uma tela apenas com fixador. Foram realizadas 2 séries de 10 minutos cada, com intervalo de 5 minutos entre elas. Durante a realização da tarefa foram monitorados os sinais de EEG assim como o índice de acerto e tempo de resposta.

Estímulo Físico – A fadiga neuromuscular pode ser estimulada por exercícios com alta demanda de geração de força ou através da manutenção de uma tarefa isométrica. Neste estudo, a fadiga física foi estimulada através de exercícios isométricos nos membros inferiores (Figura 2), sendo realizados três exercícios distintos: flexão da articulação do tornozelo (EF1): o sujeito ficou sentado em uma cadeira com o joelho a 90° e com o calcanhar tocando o chão; extensão da articulação do tornozelo (EF2): o sujeito ficou de pé e realizou a extensão do tornozelo mantendo a ponta dos pés no chão; flexão do joelho (EF3): o voluntário manteve os joelhos flexionados a 90° e as costas apoiadas em uma parede. Cada exercício foi mantido até que o voluntário atingisse a exaustão. Durante a realização das tarefas foram monitorados os sinais de EEG e sEMG.

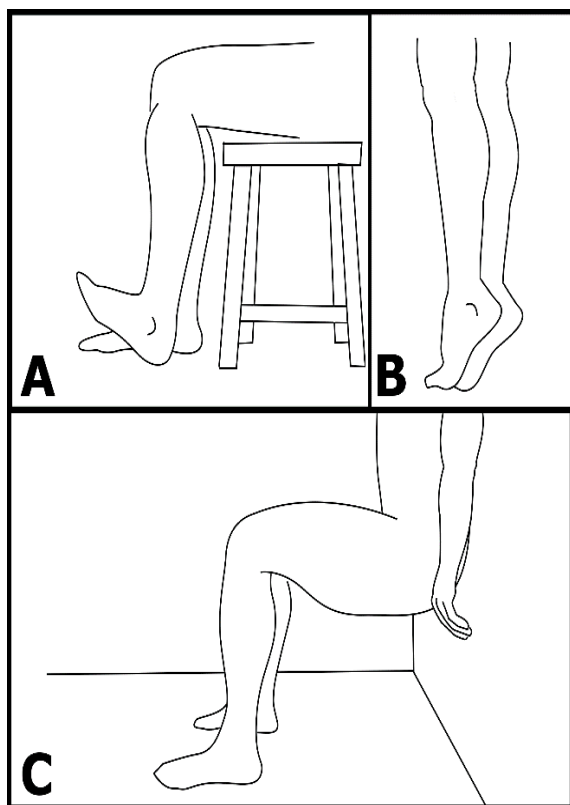


Figura 2: Protocolo de estímulos físicos: (A) flexão da articulação do tornozelo, (B) extensão da articulação do tornozelo, (C) flexão do joelho.

2.3 Captura dos sinais de EEG e sEMG

Os sinais de EEG foram gravados através do equipamento *BrainNet36*, utilizando o gorro *MedCapR* com eletrodos passivos dispostos de acordo com o padrão internacional 10-20 (Huang, et al., 2012). Foram utilizados 16 canais para a gravação dos sinais de EEG: Fp1, Fp2, F3, F7, Fz, F8, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz e O2, conforme (Kar, et al., 2010), uma referência biauricular e aterramento utilizando um eletrodo na fronte do usuário, sendo utilizada taxa de amostragem de 600 Hz.

Para a aquisição dos sinais mioelétricos, foi utilizado o equipamento *EMG System* do Brasil Ltda®, com conversão analógico/digital de 16 bits de resolução, amplificador de EMG com ganho total de 2000, eletrodo bipolar com pré-amplificação de ganho de 20 vezes, rejeição de modo Comum >100 dB, impedância de entrada de 10^9 Ohms, e usando uma frequência de amostragem de 1 kHz. Foram utilizados eletrodos bipolares com 10 mm de diâmetro, Ag-AgCl, com gel e 20 mm de distância entre eletrodos. As posições dos eletrodos foram identificadas considerando as recomendações do SENIAM (Hermens, 1999). Para cada um dos três exercícios, foi analisado um músculo distinto relacionado diretamente à contração realizada. Os sinais dos seguintes músculos foram registrados: no exercício (EF1) tibial anterior, no exercício (EF2) gastrocnêmio lateral, e no exercício (EF3) vasto lateral.

2.3 Processamento

Os dados foram processados off-line em Matlab, sendo os sinais de EEG filtrados através de um filtro passa-banda de 3-47 Hz. Foi extraída a densidade espectral de potência (PSD, do inglês *Power Spectral Density*) através do método de Welch (Welch, 1967), com uma janela de 128 amostras e 50% de sobreposição, para as bandas de frequências: teta ($\theta = 3-7$ Hz), alfa ($\alpha = 8-13$ Hz), beta ($\beta = 14-29$ Hz) e gama ($\gamma = 30-47$ Hz). A fim de reduzir a variabilidade interpessoal, os valores de PSD foram normalizados utilizando o valor do PSD total (3-47 Hz) do sinal analisado. A classificação dos níveis de fadiga foi realizada através da análise de quatro parâmetros (Tabela 1) para cada um dos eletrodos da região occipital (O1, Oz, O2), frontal (F7, F3, Fz, F4, F8) e central (C3, Cz, C4), totalizando 32 características (Cao, et al., 2014; Cheng & Hsu, 2011; Pomer-Escher, et al., 2014; Freeman, et al., 1999; Eoh, et al., 2005; Jap, et al., 2009).

Tabela 1: Parâmetros para análise de fadiga.

Index	Parâmetro
I	θ
II	α
III	θ/α
IV	$(\theta + \alpha) / \beta$

* α = alfa, β = beta, θ = teta.

Os sinais de sEMG foram filtrados por um filtro passa-banda de 10-450 Hz. O espectro de frequência dos músculos estudados foi obtido através da Transformada Rápida de Fourier, utilizando uma janela de 256 amostras, sendo analisada a frequência mediana, de acordo com (Coorevits, 2008). Para calcular o comportamento da frequência mediana, foi feita a regressão linear do sinal e, após a variação ela foi calculada considerando os primeiros 10% do sinal de sEMG como referência e os 10% finais, calculado em porcentagem.

2.3 Correlações

Foram utilizados como indicadores de fadiga mental o índice de acerto e o tempo de resposta do voluntário durante a realização da tarefa de fadiga mental, e estes foram correlacionados com os parâmetros de EEG. Para a tarefa de esforço físico, os sinais de EEG foram correlacionados aos resultados das análises do parâmetro de frequência mediana na ativação muscular. Inicialmente foram comparados com os dados de sEMG e EEG através da análise da correlação entre os parâmetros de EEG definidos (Tabela 1) e os dados de sEMG (frequência mediana da ativação muscular), de modo independente para cada participante.

3 Resultados e Discussão

Os resultados entre as duas sessões de teste de cálculo mental apresentaram diferenças significativas para o índice de acerto ($p\text{-value}=0.0472$), e para o tempo de resposta ($p\text{-value}=0.0350$), sendo observado para todos os voluntários um aumento no índice de acertos (Figura 3), assim como uma redução no tempo de resposta (Figura 4) na segunda sessão em comparação com a primeira.

De acordo com (Trejo, et al., 2005), era esperado que o tempo de resposta fosse maior com o andamento dos testes, porém, nota-se uma redução no tempo de resposta. No entanto, a resposta dos parâmetros de EEG são similares aos resultados de (Trejo, et al., 2007; Trejo, et al., 2005), como pode ser observado na Figura 4, que mostra o

comportamento da banda de frequência teta durante os 60 segundos iniciais da sessão 1 de cálculo mental.

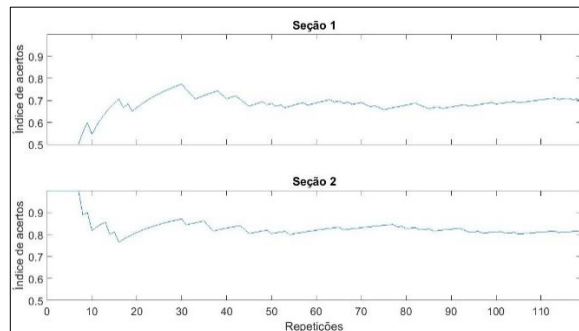


Figura 3: Índice de acerto entre as duas sessões do voluntário 2.

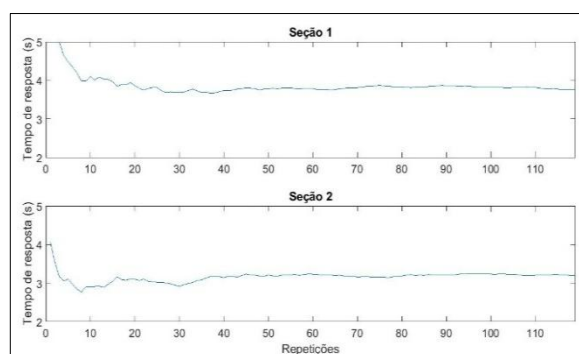


Figura 4: Média do tempo de resposta entre as duas sessões do voluntário 2.

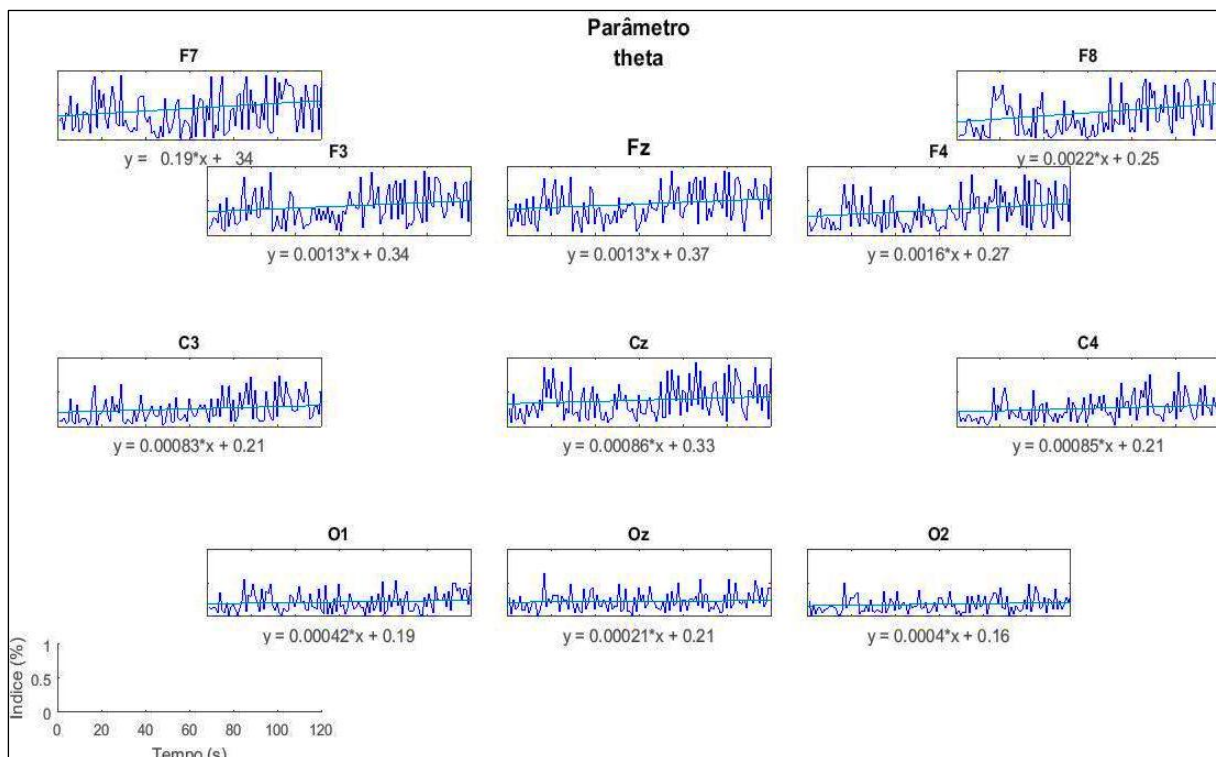


Figura 5: Comportamento do PSD da frequência teta para os 11 eletrodos analisados durante a tarefa de cálculo mental, sessão 1 do voluntário 1. O PSD foi normalizado pela energia espectral total (a equação sob cada gráfico representa os coeficientes obtidos por regressão linear).

Tabela 2: Comportamento do coeficiente da regressão linear para os parâmetros analisados em cada região. Os valores representam a porcentagem de vezes que o valor do PSD na fase final foi maior do que na fase inicial nos testes de cáculo mental.

Região	Parâmetro			
	I	II	III	IV
Frontal	52.50%	52.50%	47.50%	70.00%
Central	66.67%	54.17%	54.17%	66.67%
Occipital	70.83%	58.33%	45.83%	66.67%

I – θ ; II– α ; III – θ/α ; IV – $(\theta + \alpha) / \beta$

Na compara o dos coeficientes da regressão linear da frequência mediana do sinal sEMG e dos parâmetros de EEG, foi observada correla o positiva entre a ativa o do músculo t bial e os parâmetros I, II, IV, assim como entre o músculo vasto lateral e os parâmetros I e III. O comportamento das correla es entre todos os parâmetros   apresentado na Tabela 3.

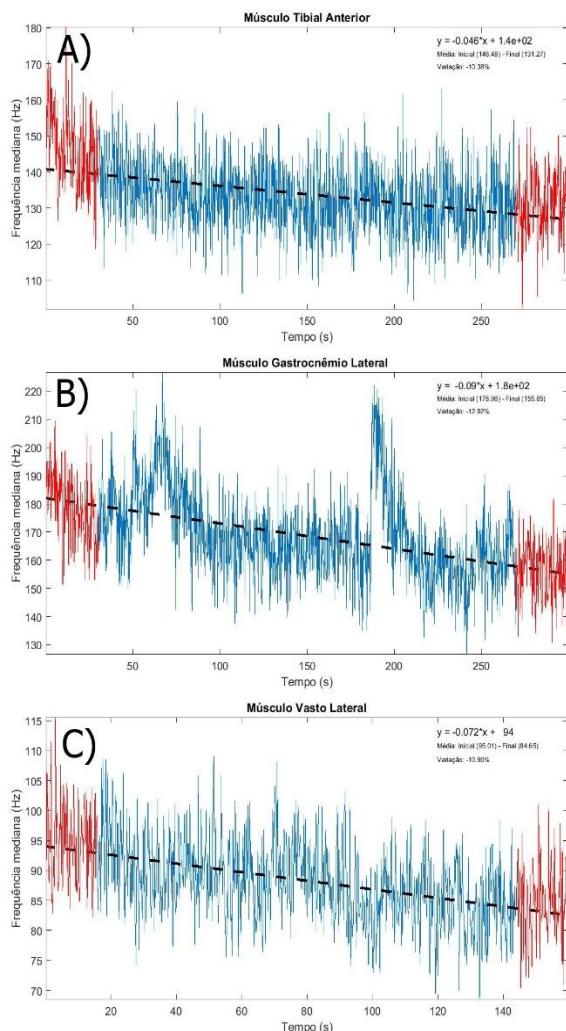


Figura 6: Varia o da frequência mediana do voluntário 3, (A) músculo t bial anterior durante o estímulo físico EF1; (B) músculo gastrocnêmio lateral durante o estímulo físico EF2; (C) músculo vasto lateral durante o estímulo físico EF3. O cáculo da frequência mediana inicial e final considerou os primeiros e últimos 10% dos dados respectivamente.

Tabela 3: Compara o entre os parâmetros de EEG e de sEMG.

Cada célula apresenta três sinais representando a rela o do parâmetro de EEG com a frequência mediana dos três músculos estudados, (t bial anterior, gastrocnêmio lateral e vasto lateral).

Eletr�do	(t�bial) (gastrocnêmio) (vasto lateral)			
	I	II	III	IV
F7	+ - +	- - -	+ - +	+ - +
F3	+ - +	- + -	+ - +	+ - +
Fz	+ - +	- + -	+ - +	+ - +
F4	+ - +	- + -	+ - +	+ - +
F8	+ - +	- + -	+ - +	- - -
C3	+ + +	- - -	+ - +	+ - -
Cz	+ + +	- - -	+ - +	+ - +
C4	+ - +	- + -	+ - +	+ - -
O1	+ + +	+ - -	+ + +	+ - -
Oz	+ + +	- - -	+ + +	+ - -
O2	+ + +	- - -	+ + +	+ - -

+ representa comportamento no mesmo sentido; - comportamento em sentidos opostos.

A rela o entre os parâmetros de sEMG e EEG apresentam um comportamento similar entre as diferentes regiões do cérebro analisadas, com exce o das rela es entre o músculo gastrocnêmio e as ondas teta e alfa da região frontal, assim como a rela o do vasto lateral e o parâmetro IV desta mesma região os quais apresentam rela es contrárias às demais regiões cerebrais, porém sem diferença significativa.

Com exce o do PSD das ondas alfa, os resultados obtidos durante as tarefas de atividade física são similares aos de (Cao, et al., 2014), no entanto, durante as atividades de cáculo mental os parâmetros de EEG não apresentaram qualquer correla o com os índices de acerto e tempo de resposta. Vale ressaltar que esta análise foi comprometida, uma vez que houve melhora em tais índices com o andamento dos testes.

4 Conclusão

Os estímulos físicos utilizados neste trabalho foram capazes de gerar fadiga muscular, no entanto as tarefas de cáculo mental não causam, de acordo com os parâmetros analisados, fadiga mental. Neste estudo foi possível observar uma correla o entre os dados de sEMG e EEG para a maioria das características durante as tarefas de atividade física, no entanto,   necessária a realiza o com um número maior de testes com voluntários para a realiza o de uma análise estatística detalhada. Como trabalho futuro, pretende-se analisar a fadiga mental através do teste de AX-CPT descrito por (Marcora, et al., 2009), assim como realizar as tarefas físicas com um maior número de voluntários.

Referências Bibliográficas

- Anokhin, A. P. et al. (1996). Age increases brain complexity. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, Vol.99, No 1, pp. 63-68.
- Associação Brasileira de Cuidados Paliativos (2010). Consenso Brasileiro de Fadiga em Cuidados Paliativos. Consenso Brasileiro de Fadiga, p. Suplemento 1.
- Boyas, S. and Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, Vol. 54, No. 2; pp. 88-108.
- Cao, T. et al., (2014). Objective evaluation of fatigue by EEG spectral analysis in steady-state visual evoked potential-based brain-computer interfaces. *Biomedical Engineering Online*; Mar, pp. 13-28.
- Cheng, Shyh-Yueh; Hsu, Hong-Te. (2011). Mental Fatigue Measurement Using EEG. INTECH Open Access Publisher.
- Coorevits, P. e. a., (2008). Test-retest reliability of wavelet-and Fourier based EMG (instantaneous) median frequencies in the evaluation of back and hip muscle fatigue during isometric back extensions. *Journal of electromyography and kinesiology*, Vol. 18, No. 5; pp. 798-806.
- de Mattos Pimenta, C. A. (2005). Fadiga: uma análise do conceito.. *Acta paul enferm*, Vol. 18, No. 3; pp. 285-293.
- Eoh, H. J., Chung, M. K. & Kim, S.-H. (2005). Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 35, No. 4; pp. 307-320.
- Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Prinzel, L. & Scerbo, M. W., (1999). Evaluation of an adaptive automation system using three EEG indices with a visual tracking task. *Biological psychology*, Vol. 50, No. 1; pp. 61-76.
- Hermens, H. J. e. a., (1999). European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Research and Development*, Vol. 8, No. 2; pp. 13-54.
- Huang, T., Zeng, Z. C. & Leung, C., (2012). EEG-Based Fatigue Classification by Using Parallel Hidden Markov Model and Pattern Classifier Combination. *Em: Neural Information Processing*. Springer: Berlin Heidelberg; p. 484-491.
- Jap, B. T., Lal, S., Fischer, P. & Bekiaris, E., (2009). Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2; pp. 2352-2359.
- Kar, S., Bhagat, M. & Routray, A., (2010). EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue. *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*, Vol. 13, No. 5; pp. 297-306.
- Koenig, T. et al., (2002). Millisecond by millisecond, year by year: normative EEG microstates and developmental stages. *Neuroimage*, Vol. 16, No. 1; pp. 41-48.
- Lee, K. A., (1991). Validity and reliability of a scale to assess fatigue. *MedLine*, pp. 291-298.
- Marcora, S. M., Staiano, W. & Manning, V., (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 106, No. 3; pp. 857-864.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L., (1998). *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano 4ª Ed.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Mota, D. D. & Pimenta, C. A., (2006). Self-report instruments for fatigue assessment: a systematic review. *Res Theory Nurs Pract*; pp. 49-78.
- Olson, K. et al., (2008). Possible links between behavioral and psysiological indices of tiredness, fatigue, and exhaustion in advanced cancer. *Support Care Cancer*, pp. 241-249.
- Pomer-Escher, A., Pinheiro, M. D. S. & Bastos-Filho, T., (2014). Analysis of Stress Level Based on Asymmetry Patterns of Alpha Rhythms in EEG Signals. *IEEE Engineering in Medicine & Biolgy society (EMBC)*, Salvador.
- Ridderinkhof, K. R., van den Wildenberg, W. P., Segalowitz, S. J. & Carter, C. S., (2004). Neurocognitive mechanisms of cognitive control: the role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. *Brain and cognition*, Vol. 56, No. 2; pp. 129-140.
- Shen, K. Q. et al., (2007). A feature selection method for multilevel mental fatigue EEG classification. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 57, No. 7; pp. 1231-1237.
- Trejo, L. J. et al., (2005). EEG-based Estimation of Cognitive Fatigue. *Proceedings of SPIE: Bio-monitoring for physiological and cognite performace during military operations*, pp. 105-115.
- Trejo, L. J. et al., (2007). EEG-based estimation of mental fatigue: convergent evidence for a three-state model. *Em: Foundations of Augmented Cognition*. s.l.:Springer, pp. 201-211.
- Welch, P. D., (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, Vol.15, No. 2; pp. 70-73.