

O Ambiente Térmico, o EEG e a Atividade Alfa na Avaliação da Fadiga Mental

Thermal Environment, EEG and Alpha Activity in Mental Fatigue's Evaluation

[E. Quelhas Costa](#), [J. Santos Baptista](#), [Jorge Carvalho](#), [Pedro Almeida](#) and [Mariana Gonçalves](#)
Universidade do Porto

Abstract

The development of mental fatigue is complex and is determined by an interaction between psychological and physiological factors. The mental fatigue can be manifested by a decreasing on the level of alertness, impairing cognitive performance of the subject and may lead to decreased safety. The change in performance may be due to subtle changes in parameters such as the alertness and attention and may be evaluated through the use of electroencephalography (EEG) which gives a neurophysiological signal with the temporal precision required for this type of studies. There are five frequency bands in EEG signals that are usually considered: alpha (α), beta (β), delta (δ), theta (θ) and gamma (γ). The purpose of this article is to perform a theoretical analysis that supports the designated alpha power and the ratio alpha / beta as indexes of mental fatigue later related to the effects of environmental thermic change. To this end, a systematic search was performed with specific keywords that resulted in 850 articles, of which 99 were collected for a first analysis. Of these, after a more careful selection, 25 were selected for a second analysis. The exclusion criteria were repeated articles and articles with titles or methodology inconsistent with the subject under study. Through research, it was concluded that the EEG is an electrophysiological technique that accurately reflects subtle changes in attention and alertness, explaining the changes of cognitive function and their performance, and that the increase of power alpha alone or paired with a decrease in beta power, are indicators of changes in alertness, that, along with other indicators, could represent the presence of mental fatigue.

Palavras -Chave: EEG; alfa activity; beta activity, fatigue indices; thermal environment

1. INTRODUÇÃO

A fadiga mental (FM), segundo a norma internacional ISO 10075-1 (1991) “Ergonomics Principles Related To Mental Workload Part 1; General Terms and Definitions”, entende-se como um estado transitório de redução de eficácia funcional, tanto física como mental. De acordo com (K.L.Lal & Craig, 2011) a fadiga mental está relacionada com uma perda de eficiência. Segundo os mesmos autores, o principal sintoma de fadiga mental é um cansaço geral acompanhado por atividade e atenção diminuídas. Trata-se de um processo gradual e cumulativo que é inevitável na maior parte das atividades, podendo ser agravado por fatores externos, como as condições ambientais. Trabalhadores de diversos setores, como por exemplo construção, agricultura, comércio, indústria e serviços, estão expostos continuamente a diversos ambientes térmicos, por vezes adversos. Estas condições têm implicações diretas na segurança ocupacional e realização profissional, e por isso indiretamente para o funcionamento das organizações, de um modo geral. Lal & Craig (2011), referem que uma variedade de sinais psicofisiológicos foram usados por diferentes autores como medidores de fadiga, sendo o EEG o mais promissor. Autores como Ftaiti et al (2010) Yao et al (2008) e Nielson et al (2001) estudaram as variações na atividade elétrica cerebral sob o efeito de várias condições térmicas, durante tarefas repetitivas e encontraram resultados, que sugerem o poder alfa e o rácio alfa / beta como indicadores de fadiga válidos. No presente estudo pretende-se apresentar uma revisão teórica que sustente a análise do poder alfa e do rácio alfa/ beta, como um índice da fadiga mental, posteriormente associado aos efeitos das alterações ambientais térmicas.

2. METODOLOGIA

Foi efetuada uma pesquisa com palavras-chave específicas que resultou em 850 artigos dos quais foram recolhidos, para uma primeira análise, 99 artigos e destes, após uma seleção mais criteriosa, apenas 25 foram selecionados para uma segunda análise. O critério de exclusão foi artigos repetidos, artigos com título não coerentes com o assunto em estudo ou artigos cuja metodologia não era coerente com a linha em estudo.

3. BANDAS DE FREQUÊNCIAS DO SINAL EEG

As alterações no desempenho podem ser avaliadas através do EEG, uma vez que se trata de uma das técnicas mais comumente usadas para estudar a atividade do cérebro, sendo os eléctrodos colocados no escalpe, para medir os vários tipos de ondas cerebrais (Andeassi, 2000). Estas ondas são apresentadas graficamente por picos transientes ou aparentemente eventos e ritmos aleatórios (Kaiser, 2008). As principais componentes espectrais do EEG são divididos em bandas de frequências correlacionáveis com diferentes estados. K.L.Lal & Craig (2001) referem que as bandas de frequências mais comuns são: delta (δ), 0,5-4Hz, ondas de menor frequência que estão presentes entre o estado de transição para a sonolência e durante o sono; teta (θ), 4-7 Hz, ritmos associados a baixos níveis de alerta durante o sono e tem vindo a ser associado à diminuição do processamento de informação; alfa (α), 8-13 Hz, ritmo que ocorre durante a vigília, particularmente sobre o córtice occipital e parietal e é característica de um estado relaxado, aparece nitidamente quando os olhos estão fechados e por isso indicando uma disponibilidade reduzida a reagir a estímulos; beta

(β), 13-20 Hz (Cheng et al, 2007), que estão associadas a aumento de alerta, excitação e entusiasmo. É possível, no entanto, encontrar referências às mesmas ondas, com ligeiras diferenças nos intervalos de frequências, (Garcia Uribe Tavares & Tomaz, 2011; Basar 2012, Shenguanh Lei 2011, Luft & Andrade, 2006).

3.1 Índices de fadiga

De acordo com Klimesh (1999), as ondas alfa são as frequências dominantes num adulto e refletem ondas rítmicas. Este autor refere que no sentido fisiológico, o “poder EEG” reflete o número de neurónios que descarregam de forma simultânea. No entanto a medida do “poder” é fortemente afetada por diferentes fatores, como por exemplo: idade, alerta e o tipo de resposta cognitiva durante o desempenho da tarefa, entre outros factores mais técnicos como a distância entre electrodos, ou o tipo de montagem (Klimesh 1999). Os índices de fadiga mental, de acordo com a pesquisa, resumem-se aos índices básicos já mencionados no ponto anterior (δ , θ , α , β). O poder relativo das respetivas bandas de frequências é uma outra medida que se calcula a partir das seguintes fórmulas: poder relativo de θ = (poder de θ)/(poder $\theta+\alpha+\beta$); poder relativo de α = (poder α)/(poder $\theta+\alpha+\beta$) e poder relativo de β = (poder de β)/(poder de $\theta+\alpha+\beta$) (Cheng et al 2007), aos índices compostos por rácios θ/α ; β/α ; $(\alpha+\theta)/\beta$ (Cheng et al 2007, Eog et al, 2005) e α/β (Ftaiti et al, 2010; Ribeiro, 2010). Este último índice foi calculado como um índice de vigília, onde o valor elevado do índice refletia diminuição de vigília. Além dos índices mencionados Punsawad e colaboradores (2011) acrescentam também $(\theta+\alpha)/(\alpha+\beta)$, como fórmula de cálculo do índice para o sistema de alarme de fadiga mental, (usado para identificar a fadiga de motoristas). Os vários índices propostos pelo autor: $(\theta+\alpha)/\beta$; α/β ; $(\theta+\alpha)/(\alpha+\beta)$, foram testados na simulação de condução de veículos. Os resultados revelaram que os índices ponderados de frequência propostos produzem mais precisão na deteção da fadiga do que os índices convencionais. As ondas alfa ou teta geralmente refletem diferenças de poder entre dois períodos de descanso, um com os olhos abertos e o outro com os olhos fechados. Estudos na NASA (Trejo, et al., 2004) demonstram a vantagem do EEG para avaliar a fadiga cognitiva. No estudo de Trejo e colaboradores (2004) verificou-se que os poderes alfa e teta variam parametricamente com a fadiga. Eoh et al (2005), para analisar as alterações do EEG em indivíduos fatigados, enquanto simulavam uma tarefa de condução, calcularam três índices básicos (θ , α e β) e três rácios (θ/α ; β/α e $(\alpha+\theta)/\beta$) e concluíram que β e $(\alpha+\theta)/\beta$, estavam relacionados com o nível de alerta mental. Também Cheng et al, (2007) usaram os mesmos índices para avaliar a fadiga em tarefas visuais.

3.2 Alfa e o Ambiente Térmico

A atividade alfa do EEG está associada ao desempenho cognitivo (Hanslmayr, Sauseng, Doppelmayr, Schabus, & Klimesch, 2005). Alguns estudos foram efetuados relacionando o poder EEG com o ambiente térmico. Hartley et al (1999), salientam que, no calor, o nível de alerta aumenta quando também aumenta a temperatura da pele, o que causa efeitos no desempenho. (Hartley, 1999). Pilcher et al (2002) referem na sua meta análise que em contraste com parâmetros neurofisiológicos, a função cognitiva é mais sensível a perturbações ambientais e térmicas que a resposta fisiológica e pode ser influenciada pelas variações na temperatura da pele (T_s) (Pilcher, Nadler, & Busch, 2002). Lan et al (2010) estudaram a medição de parâmetros fisiológicos num ensaio com três participantes, estudando o poder global das quatro bandas de frequências EEG. Concluíram que o poder delta (δ) diminuiu com o aumento da temperatura de 17 °C para 28°C, comparando com uma condição neutra, não tendo verificado alterações significativas nas outras três bandas. No entanto, o poder de alfa (α) e beta (β) aumentaram na temperatura de 17°C e 28°C (Lan, Lian, & Pan, 2010). Yao et al (2008) indicam que as temperaturas ambientes podem influenciar significativamente o poder do EEG, especialmente para a banda de frequências correspondente ao poder α . Foram efetuados ensaios a diferentes temperaturas: 21°C, 24°C, 26°C e 29°C, onde foi comprovado isso mesmo. Foi encontrada também uma diferença significativa no poder global de EEG, na banda teta (θ), entre 21°C, 24°C e 29°C; na banda delta (δ) entre 24°C, 26°C e 29°C e na banda beta (β) entre as temperaturas ambientais de 21°C, 24°C e 26°C. No entanto, à temperatura de 26°C o poder global do EEG da banda alfa (α) foi claramente mais alto do que outras bandas de frequência do EEG e o poder global da banda alfa (α) e beta (β) foram iguais a uma temperatura de 24°C. Além disso, o mesmo autor encontrou a banda alfa dominante sob sensações térmicas de “neutras” ou “ligeiramente frias” o mesmo acontecendo com a banda beta, no mesmo estudo, quando os sujeitos têm sensação térmica de “quente”, “morna” “fresca” ou “fria”, estes resultados indicaram que o poder EEG da banda beta aumenta quando os sujeitos se sentem termicamente desconfortáveis num ambiente quente ou frio. Outros autores (Ftaiti et al, 2010) estudaram a hipertermia na atividade elétrica do cérebro, medido através de eletroencefalografia durante o exercício prolongado num grupo de mulheres sedentárias em ambientes neutros e quentes, tendo concluído que o cansaço em ambiente quente está associado a variações no rácio α/β , relacionadas com a combinação entre as exigências da tarefa que estão a executar e com o meio ambiente, comparativamente com uma exposição menos exigente termicamente. Nielson et al (2001) concluíram que as variações na atividade elétrica frontal indicava fadiga associada a hipertermia, tendo para o efeito sido calculado o rácio α/β , como um índice de nível de alerta, sendo que uma elevada relação α/β refletia fadiga.

4. CONCLUSÃO

Através da pesquisa, conclui-se que o EEG é uma técnica eletrofisiológica que reflete com precisão, em tempo real (Im, Hwang, Che, & Lee, 2007) e ao milissegundo as alterações electroencefalográficas. Vários estudos demonstraram que as oscilações de EEG na banda alfa (Bazanova 2006), bandas teta e alfa (Klimesch 1999) e bandas alfa e beta (Ftaiti, 2010) estão relacionadas com o desempenho cognitivo. Verifica-se que a literatura apresenta como índices mais usados para medir a fadiga os seguintes: três básicos, θ , α , β e os rácios θ/α ; β/α , $(\alpha+\theta)/\beta$ e α/β , concluindo que as ondas alfa

umentam com o cansaço e diminuem num estado de alerta, enquanto que as ondas beta têm um comportamento oposto. A explicação da relação α/β , baseia-se no raciocínio que um decréscimo na atividade beta e um aumento na atividade alfa reflete fadiga mental e está por isso associado a um decréscimo de alerta (Nielsen et al, 2001). Quanto aos índices β e $(\alpha+\theta)/\beta$, estes estão relacionados com o nível de alerta mental (Eoh et.al, 2005). Assim, o aumento do poder alfa acompanhado de uma diminuição do poder beta é um indicador de alterações do estado de alerta do indivíduo que, em determinadas circunstâncias poderá indicar a presença de fadiga mental. Apesar de existirem muitos estudos relacionados com o desempenho cognitivo, poucos são os que estão relacionados com tarefas sedentárias a diferentes temperaturas e humidades, razão pela qual se descortina um maior interesse em desenvolver esses estudos. Tendo ainda em conta as lacunas encontradas por outros autores vai ser dada particular atenção, num trabalho futuro, à severidade do tempo de exposição e a metodologia usada para atingir o grau de cansaço complexidade e duração da tarefa cognitiva. Apesar de na literatura se encontrarem ainda outros índices como $(\theta+\alpha)/(\alpha+\beta)$, (p.e. Punsawad et al, 2011) e θ/α ; β/α ; $(\alpha+\theta)/\beta$ (p.e. Cheng et al 2007, Eog at al, 2005), há maior consenso em considerar o poder alfa e um rácio alfa/beta positivo, ou seja preponderância de alfa e diminuição de beta simultaneamente como indicadores de fadiga mental e física, influenciadas também pelas condições térmicas.

6. REFERENCES

- Andreassi, J. L., & College, B. (2000). *Psychophysiology Human Behavior and Physiological Response*. 565.
- Basar, E. (2012). A review of alpha activity in integrative brain function: fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology. [Review]. *Int J Psychophysiol*, 86(1), 1-24. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.07.002
- Bazanov, O., & Aftanas, L. (2006). Relationships between learnability and individual indices of EEG alpha activity. *Annals of General Psychiatry*, 5(Suppl 1), S182. doi: 10.1186/1744-859x-5-s1-s182
- 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*, 35(4), 307-320. doi: 10.1016/j.ergon.2004.09.006
- Ftaiti, F., Kacem, A., Jaidane, N., Tabka, Z., & Dogui, M. (2010). Changes in EEG activity before and after exhaustive exercise in sedentary women in neutral and hot environments. *Appl Ergon*, 41(6), 806-811. doi: 10.1016/j.apergo.2010.01.008
- Garcia, A., Uribe, C. E., Tavares, M. C., & Tomaz, C. (2011). EEG and autonomic responses during performance of matching and non-matching to sample working memory tasks with emotional content. *Front Behav Neurosci*, 5, 82. doi: 10.3389/fnbeh.2011.00082
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M., & Klimesch, W. (2005). Increasing Individual Upper Alpha Power by Neurofeedback Improves Cognitive Performance in Human Subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 1-10. doi: 10.1007/s10484-005-2169-8
- Hartley, R. A. V. a. S. V.-. (1999). *Psychological Adaptation To Heat Stress*. *Track Coach*, 4730-4735.
- Im, C.-H., Hwang, H.-J., Che, H., & Lee, S. (2007). An EEG-based real-time cortical rhythmic activity monitoring system. *Physiological Measurement*, 28, 1101-1113. doi: 10.1088/0967-3334/28/9/011
- K.L.Lal, S., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55, 173-194.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.
- Lan, L., Lian, Z., & Pan, L. (2010). The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Appl Ergon*, 42(1), 29-36. doi: 10.1016/j.apergo.2010.04.003
- Lei, S. (2011). *Driver Mental States Monitoring Based on Brain Signals*. Dissertation, Von der Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften.
- Luft, C., & Andrade, A. (2006). A pesquisa com EEG aplicada à área de aprendizagem motora. *Rev Port Ciência de Desporto*, 6(1), 106-115.
- Pilcher, J. J., Nadler, E., & Busch, C. (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*, 45(10), 682-698. doi: 10.1080/00140130210158419
- Punsawad, Y., Aempedchr, S., Wongsawat, Y., & Panichkun, M. (2011). *Weighted -Frequency Index for EEG - Based Mental Fatigue Alarm System*. Department of Biomedical Engineering, Mahidol University Thailand, 36-41.
- Yao, Y., Lian, Z., Liu, W., & Shen, Q. (2008). Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Physiology Behavior*, 93(1-2), 310-321. doi: 10.1016/j.physbeh.2007.09.012