



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CORRELAÇÃO ENTRE SINAIS DAS ONDAS CEREBRAIS E A CARGA COGNITIVA EM AMBIENTES EXTREMOS CONTROLADOS

Emanuel Tiago Pinto Monteiro da Costa

Orientador: Professora Emília Rosa Quelhas Moreira da Costa.....(FEUP)
Coorientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Batista(FEUP)
Arguente: Professor Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia (Professor Auxiliar)(UA)
Presidente do Júri: Professor Doutor José Manuel Soutelo Soeiro de Carvalho (Professor Associado)(FEUP)

2014



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Pelo permanente apoio demonstrado, pela fantástica disponibilidade em me auxiliar e em ceder todos os recursos necessários ao longo do trabalho, quero expressar o meu sincero agradecimento à Professora **Emília Costa**, sem a qual a realização deste trabalho não seria possível.

Gostaria igualmente de agradecer à Direcção do Mesho, não só pela forma como contribui para a realização deste projecto, como também pela oportunidade cedida, através da disponibilização de todos os recursos necessários para este estudo.

Ao Professor Doutor **João Santos Baptista**, agradeço pelas sugestões e pelo apoio prestado.

Aos meus pais, irmãos, cunhada e sobrinho um especial agradecimento por me virem acompanhando nas diferentes etapas da minha vida.

RESUMO

A influência de ambientes térmicos extremos sobre o indivíduo e, em específico sobre, a sua carga cognitiva, pode ser avaliada através da monitorização da atividade cerebral. Esta atividade cerebral pode ser registada na execução de uma qualquer tarefa e é expressa através de ondas cerebrais em diferentes bandas de frequência, sendo as principais, as ondas *alfa*, *beta*, *teta* e *delta*. Do leque de ondas apresentadas as ondas alfa e beta são as mais adequadas de monitorizar-se quando se pretende avaliar a carga cognitiva, uma vez que a sua presença está diretamente relacionada com o estado de alerta do indivíduo. Assim, neste trabalho foram desenvolvidos esforços no sentido de avaliar como é que a atividade cerebral é influenciada pela temperatura e pela humidade durante a realização de uma tarefa, neste caso, um “jogo” simples. A avaliação da atividade cerebral serve de meio para se determinar o esforço cognitivo dos indivíduos.

Nesse sentido desenvolveram-se um conjunto de ensaios laboratoriais pretendendo-se simular ambientes térmicos extremos. Optaram-se pelas seguintes condições experimentais: 18°C e 40% HR (ambiente térmico frio); 35°C e 80% HR (ambiente térmico quente);

Para os ensaios laboratoriais foi selecionada uma amostra de conveniência com indivíduos do sexo masculino na faixa etária dos 17 aos 34 anos, com diferentes atividades laborais.

A monitorização da atividade cerebral foi efetuada para as ondas *alfa* e ondas *beta*, especificamente para o lobo occipital (lado esquerdo e direito), pois este lobo é responsável pela receção e interpretação da informação visual.

Do trabalho pode-se verificar que o ambiente térmico onde os indivíduos estão inseridos influencia a atividade cerebral. Para ambientes mais frios (18°C e 40% HR) a atividade alfa é muito superior à verificada para ambientes térmicos quentes (35°C e 80% HR). Para ambiente térmico frio verificou-se que à medida que o tempo do ensaio decorre a fadiga/cansaço aumenta havendo consequentemente aumento da atividade *alfa*,

Para ambiente térmico quente a oscilação na atividade alfa sugere alternância entre períodos de cansaço com períodos em que a concentração volta a aumentar.

Relativamente às ondas *beta* para ambientes térmicos mais frios a atividade *beta* é normalmente superior, na maioria do tempo, à verificada para ambientes térmicos quentes. Normalmente considera-se que o decréscimo da atividade *beta* se encontra relacionada com a perda de capacidade de concentração (redução da vigilância), que naturalmente se pode vir a verificar ao longo do ensaio. Assim poder-se-á considerar que ambientes térmicos frios podem proporcionar maiores níveis de concentração/alerta do que em comparação com os ambientes quentes.

Apesar de ter sido possível “construir” o perfil da atividade cerebral para os diferentes ambientes térmicos, de forma a clarificar os resultados e a sua interpretação seria útil prolongar-se o período dos ensaios para melhor perceber como fadiga/concentração e atividade cerebral se relacionam.

A maior das dificuldades sentidas com a realização deste trabalho residiu na interpretação de resultados, uma vez que, a interpretação da atividade cerebral, não é consensual no meio científico.

Palavras-chave: ondas alfa, ondas beta, ambiente térmico extremo, carga cognitiva;

ABSTRACT

The influence of extreme thermal environments on the individual and, in particular, in his cognitive capacity, is evaluated in this study by monitoring the brain activity. This brain activity manifests itself throughout the fulfillment of a task and is expressed through brain waves in different frequency bands, being the main the alpha beta, theta and delta waves. Among the presented waves, alpha and beta waves are the most suitable for monitoring when it intends to evaluate the cognitive capacity, since their presence is directly related to the alert status of the individual. Actually, our intention was to develop efforts to evaluate how brain activity is directly influenced by temperature and humidity during the performance of a task, in this case, a simple "game". Evaluation of brain activity in those circumstances serves as a means to determine the cognitive abilities of individuals.

Therefore, we developed a set of laboratory tests, intended to simulate extreme thermal environments. We opted for the following test conditions: 18°C and 40% humidity (cold thermal environment); 35°C and 80% humidity (hot thermal environment).

For the laboratory tests were selected males, ranging in age from 17 to 34 years, with different work activities. In total, ten volunteers have been submitted to the experimental conditions described above.

Monitoring the brain activity was made to alpha waves and beta waves, in particular to the occipital lobe (left and right), because this lobe is responsible for receiving and interpreting visual information.

This work allows to verify that the thermal environment where individuals are inserted influences brain activity. For colder environments (18°C and 40% relative humidity), the alpha activity is far superior to that seen in hot thermal environments (35° C and 80% relative humidity). In cold thermal environment it has been found that, as the test time elapses, fatigue/tiredness increases and, consequently, there is an increase of alpha activity.

In hot thermal environment, oscillation on alpha waves suggests alternating between periods of tiredness with periods in which the concentration will increase.

Regarding the beta waves, in colder thermal environments beta activity is typically higher, most of the time, than the verified in hot thermal environments. Usually, it is considered that the decrease of beta activity is related to the loss of ability to concentrate (reduction of surveillance), which of course may be verified throughout the essay. Therefore, we can consider that cold thermal environments can provide higher levels of concentration/alert than compared to the hot environments.

Although it was possible to "build" the brain activity profile to the different thermal environments, in order to clarify the results and their interpretation it would be useful to extend the period of the trials, to better understand how fatigue/concentration and brain activity relate to one another.

The greatest difficulties with the realization of this work were the interpretation of results, since the interpretation of brain activity is not consensual in the scientific world.

Keywords: alpha waves, beta waves, extreme thermal environment, cognitive capacity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	Influência do meio envolvente no Ser Humano	5
2.1.1	Fatores Ambientais.....	5
2.1.2	Fatores de Ordem Psicofisiológica.....	6
2.1.3	Fatores Externos e Fisiológicos.....	7
2.2	Bases Neurofisiológicas Do Organismo Humano	9
2.2.1	Sistema Nervoso Central	10
2.2.2	Transmissão dos Impulsos Sensoriais	11
2.2.3	Termoregulação: Manutenção da Homeostasia	12
2.3	Anatomia Cerebral e Respostas Sensoriais	13
2.4	Metodologias de Avaliação da Atividade Cerebral.....	17
2.4.1	Pupilometria:	17
2.4.2	Mapeamento por espectroscopia de infravermelho (fNIR):	18
2.4.3	Atividade eletrodérmica:	18
2.4.4	Atividade muscular elétrica:.....	18
2.4.5	Atividade cerebral elétrica:	19
2.5	Sinais Cerebrais – Caraterização e Interpretação	19
2.5.1	Atividade Delta:	19
2.5.2	Frequência Teta:	19
2.5.3	Ondas Alfa:	20
2.5.4	Ondas Beta:	20
2.6	Fatores Ambientais e Carga Cognitiva.....	20
2.7	Ambientes extremos – Controlo e monitorização.....	23
3	OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Objetivos da Dissertação	25
3.2	Materiais e Métodos	25
3.2.1	Equipamentos, protocolos e questionários/inquéritos	26
4	RESULTADOS	33
4.1	Tratamento dos Dados Obtidos	33
4.2	Resultados Obtidos	33
4.2.1	Caracterização da população de Voluntários: Dados Socio/Antropométricos e Estilo de vida.....	33
4.2.2	Avaliação da sensação térmica - Questionário.....	35
4.2.3	Monitorização da temperatura para os ensaios a 18°C e 40% de Humidade Relativa.....	38

4.2.4	Monitorização da temperatura para os ensaios a 35°C e 80% de Humidade Relativa.....	40
4.2.5	Monitorização da atividade cerebral para ondas do tipo Alfa	44
4.2.6	Monitorização da atividade cerebral para ondas do tipo Beta	46
4.2.7	Monitorização da atividade cerebral através do rácio Alfa/Beta	47
5	DISCUSSÃO.....	49
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	51
6.1	Conclusões.....	51
6.2	Perspetivas Futuras.....	52
7	BIBLIOGRAFIA.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores ambientais e suas vertentes	6
Figura 2. Mecanismo de transmissão de estímulos.	10
Figura 3. Constituição do Sistema Nervoso Central.	10
Figura 4. Transmissão dos Impulsos Nervosos.	11
Figura 5. Diferença de potencial e propagação do estímulo.	11
Figura 6. Regulação térmica no Ser Humano.	12
Figura 7. Morfologia do Cérebro Humano.....	13
Figura 8. Constituição do Olho.	15
Figura 9. Cérebro e a sua especificidade relativa ao sinal visual.	16
Figura 10. Localização dos electrodos associados à monitorização por EDA,.....	18
Figura 11. Sinal adquirido numa medição para actividade muscular.	18
Figura 12. Curvas de isodecrécimo: Adaptado de Ramsey et al., 1998.	22
Figura 13. Curvas de isodecrécimo.	22
Figura 14. Procedimento adoptado para cada ensaio.	26
Figura 15. Neurosensores – Emotiv Epoc.	26
Figura 16. Colocação standard dos electrodos.	26
Figura 17. Câmara Climática: vista exterior (esq.) interior (dir.).	26
Figura 18. Sensor térmico ingerível.	27
Figura 19. Equivital LifeMonitor.	28
Figura 20. “Cinto equivital”.....	28
Figura 21. “bioPluxresearch” (esq.) e “Plux temperatura sensors” (dir.).	28
Figura 22. Sensação térmico no início do ensaio	39
Figura 23. Sensação térmico no final do ensaio	39
Figura 24. Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico	39
Figura 25 Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico no final	39
Figura 26. Sintomas quando entra na câmara climática.....	39
Figura 27. Sintomas sentidos durante o ensaio	39
Figura 28. Sensação térmico no início do ensaio	39
Figura 29. Sensação térmico no final do ensaio	39
Figura 30. Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico	39
Figura 31 Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico no final	39
Figura 32. Sintomas quando entra na câmara climática.....	39
Figura 33. Sintomas sentidos durante o ensaio	39
Figura 34. Evolução da temperatura da pele: voluntário I.....	39
Figura 35. Evolução da temperatura da pele: voluntário II.....	39
Figura 36. Evolução da temperatura da pele: voluntário III	39
Figura 37. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV.....	39
Figura 38. Evolução da temperatura da pele: voluntário V.....	39
Figura 39. Evolução da temperatura da pele: voluntário VI	39

Figura 40. Evolução da temperatura da pele: voluntário VII.....	40
Figura 41. Evolução da temperatura da pele: voluntário VIII	40
Figura 42. Evolução da temperatura da pele: voluntário IX	40
Figura 43. Evolução da temperatura da pele: voluntário X	40
Figura 44. Evolução da temperatura da pele: voluntário I.....	41
Figura 45. Evolução da temperatura da pele: voluntário II.....	41
Figura 46. Evolução da temperatura da pele: voluntário III	41
Figura 47. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV	41
Figura 48. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV	42
Figura 49. Evolução da temperatura da pele: voluntário V	42
Figura 50. Evolução da temperatura da pele: voluntário VII.....	42
Figura 51. Evolução da temperatura da pele: voluntário VIII	42
Figura 52. Evolução da temperatura da pele: voluntário IX	42
Figura 53. Evolução da temperatura da pele: voluntário X	42
Figura 54. Evolução da temperatura da pele: voluntário I.....	43
Figura 55. Evolução da temperatura da pele: voluntário II.....	43
Figura 56. Evolução da temperatura da pele: voluntário III	43
Figura 57. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV	43
Figura 58. Evolução da temperatura da pele: voluntário V	44
Figura 59. Evolução da temperatura da pele: voluntário VI.....	44
Figura 60. Evolução da temperatura da pele: voluntário VII.....	44
Figura 61. Evolução da temperatura da pele: voluntário VIII	44
Figura 62. Evolução da temperatura da pele: voluntário X	44
Figura 63. Atividade cerebral Alfa occipital 1 a 35°C e 80% HR	45
Figura 64. Atividade cerebral Alfa occipital 1 a 18°C e 40% HR	45
Figura 65. Atividade cerebral Alfa occipital 2 a 35°C e 80% HR	46
Figura 66. Atividade cerebral Alfa occipital 2 a 18°C e 40% HR	46
Figura 67. Atividade cerebral Beta occipital 1 a 35°C e 80% HR	47
Figura 68. Atividade cerebral Beta occipital 1 a 18°C e 40% HR	47
Figura 69. Atividade cerebral Beta occipital 2 a 35°C e 80% HR	47
Figura 70. Atividade cerebral Beta occipital 2 a 18°C e 40% HR	47
Figura 71. Rácio Alfa/Beta occipital 1 a 35°C e 80% HR	48
Figura 72. Rácio Alfa/Beta occipital 1 a 35°C e 80% HR	48
Figura 73. Rácio Alfa/Beta occipital 2 a 35°C e 80% HR	48
Figura 74. Rácio Alfa/Beta occipital 2 a 18°C e 40% HR	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Diferentes modalidades sensoriais e respectivos órgãos receptores.....	14
Tabela 2. Funções de cada zona do cérebro.....	16
Tabela 3. Resultados da pesquisa bibliográfica.....	36
Tabela 4. Características dos voluntários.....	46
Tabela 5. Estilo de vida.....	46

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

Com base nos conhecimentos adquiridos com a evolução das ciências biológicas, o Homem tentou maximizar as suas potencialidades. Passou-se a exigir mais de cada ser humano, indo muitas vezes para além do aceitável, como o que aconteceu aquando da Revolução Industrial, durante a qual as pessoas/trabalhadores eram expostos a diversos riscos.

A mudança de paradigma económico proporcionado pela Revolução Industrial implicou a criação de novos postos de trabalho. Contudo, nessa fase, o desenvolvimento económico não era acompanhado por uma melhoria das condições laborais, sendo os trabalhadores sujeitos a condições de trabalho muito precárias, o que implicava elevados riscos ocupacionais. Não havia uma cultura de prevenção desses mesmos riscos, atuando-se apenas após o risco se materializar, isto é, após a ocorrência de acidentes.

O desenvolvimento económico e social verificado ao longo do séc. XX foi acompanhado de uma maior consciencialização para estes problemas, desenvolvendo-se medidas de proteção dos trabalhadores no seu local de trabalho, atuando-se, portanto, sobre a probabilidade, isto é, pretendendo-se agora minimizar a probabilidade do risco se materializar. Contudo, subsistem ainda situações laborais que podem ser deveras prejudiciais para a saúde dos trabalhadores. Uma dessas situações precárias diz respeito aos trabalhadores que trabalham em ambientes térmicos extremos.

Torna-se, assim, bastante pertinente avaliar a relação entre ambiente térmico e carga cognitiva, uma vez que toda a atividade humana é influenciada pelo ambiente envolvente, incluindo-se neste caso também as atividades laborais. Por esse motivo, estudos sobre o ambiente térmico e carga cognitiva são fundamentais, pois permitem clarificar como o ambiente térmico influencia a capacidade de resposta do ser humano.

Com o crescente desenvolvimento tecnológico, cada vez mais o local de trabalho assume uma maior complexidade. Esta complexidade implica, na maioria das vezes, a presença de maiores riscos para a integridade dos trabalhadores.

O aumento da complexidade tecnológica requer por parte do trabalhador um desempenho cognitivo elevado, que pode, todavia, ser posto em causa devido ao ambiente térmico.

A realização deste estudo tem como objetivo estabelecer a relação entre as respostas fisiológicas e as respostas cognitivas em ambientes extremos controlados. No fundo, pretende-se avaliar o desempenho cognitivo dos indivíduos perante condições ambientais extremas.

Apesar de existirem alguns estudos que abordam a relação entre o ambiente térmico e o efeito cognitivo em determinadas actividades (Pilcher et al. 2002; Nunneley et al. 1982), os resultados obtidos ainda não são conclusivos. Nesta perspetiva, este tipo de estudo é útil para melhor se entender como se relacionam os fatores ambientais (temperatura do ar, humidade) com aspetos do foro psicológico (atividade cerebral).

A monitorização dos sinais cerebrais permitirá conhecer o comportamento cerebral face a determinadas condições ambientais. Este comportamento cerebral será então avaliado em ambientes térmicos extremos ao longo do desenrolar de uma dada tarefa. Daqui resultará uma avaliação relativa à capacidade cognitiva do organismo humano.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Influência do meio envolvente no Ser Humano

Desde os primórdios da vida Humana na Terra, o Ser Humano tem experimentado diversos ambientes, desde os mais inóspitos, aos mais amenos. Esta experimentação/pressão permitiu uma evolução do organismo humano e conseqüente adaptação a ambientes tão extremos como os que se podem encontrar na Sibéria ou na floresta Amazônica.

Contudo, não é necessário deslocarmo-nos até paragens longínquas para se encontrar ambientes agressivos para o organismo humano. Em complexos industriais facilmente se encontram ambientes extremos, onde os organismos humanos são levados ao limite das suas capacidades, como é o caso de trabalhadores de fundições ou trabalhadores da indústria da transformação de vidro.

A tolerância a estes ambientes dependerá diretamente de fatores tais como os ambientais, psicofisiológicos e externos. A conjugação destes parâmetros irá determinar se um indivíduo se encontra “satisfeito” com o meio envolvente que o rodeia ou não.

2.1.1 Fatores Ambientais

Os fatores ambientais constituem parâmetros que influenciam o organismo humano em função das características do meio no qual se encontra inserido. Podem ser físicos, de origem química, ou ainda de origem biológica.

Quanto aos fatores físicos, os mesmos consubstanciam-se em parâmetros como a temperatura, velocidade do ar e humidade, que influenciam fortemente a sensação de bem-estar de cada indivíduo e que no seu conjunto podem ser considerados os principais parâmetros que definem o ambiente térmico. Existem ainda variáveis como o ruído ou a pressão que influenciam a capacidade cognitiva dos organismos.

Os parâmetros relativos ao ambiente térmico são distintos dos restantes fatores ambientais, pois a sua presença/acção desencadeia respostas humanas ao nível da termorregulação (Silva *et al.* 2007).

Relativamente aos fatores químicos, estes encontram-se presentes quando se manuseiam substâncias químicas (líquidos, gases ou sólidos) que ponham em risco a saúde do Ser Humano. (Costa, 2013)

Convém salientar que nem todas as substâncias químicas apresentam riscos para a integridade humana. Segundo a legislação, um agente químico é definido como sendo um qualquer elemento ou composto químico, isolado ou em mistura, que se apresente no estado natural ou seja produzido, utilizado ou libertado em consequência de uma atividade laboral, incluindo sob a forma de resíduo, seja ou não intencionalmente produzido. (Decreto-Lei n.º 24/2012, de 6 de Fevereiro)

Assim, da panóplia de agentes/substâncias químicas existentes apenas uma porção carece de cuidados. No DL 24/2012 apresenta-se uma listagem de todos os agentes químicos que são classificados como substâncias perigosas. Todavia, este diploma regulamenta apenas o uso de substâncias químicas em ambiente ocupacional, ao passo que o Ser Humano pode estar exposto a riscos químicos noutros tipos de envolvente, como é o caso das populações que vivem em zonas fortemente industrializadas (Linfen, China) ou em zonas com centrais nucleares (Chernobyl) (Lipinski, 2010).

Ainda entre os factores ambientais é possível encontrar-se parâmetros do tipo biológico. Segundo o Decreto-Lei n.º 84/97, de 16 de Abril, os parâmetros (riscos) biológicos encontram-se associados a microrganismos capazes de originar qualquer tipo de infeção, alergia ou toxicidade no corpo humano. Em meio ocupacional é bastante comum encontrar-se este tipo de riscos. Atividades ligadas à pecuária, hospitais e laboratórios apresentam elevado risco de exposição a estes tipos de agentes.

2.1.2 Factores de Ordem Psicofisiológica

As características de ordem psicofisiológica intervêm no momento da determinação se um dado ambiente se apresenta hostil para o organismo humano ou não. Neste caso, as características psicológicas do indivíduo irão determinar o momento em que a resposta fisiológica é despoletada. O melhor exemplo em que se pode verificar a existência dos factores de ordem psicofisiológica prende-se ao nível da definição de conforto térmico. Do ponto de vista pessoal, o conforto térmico é definido como a condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico próximo. (Costa, 2012)

Daqui se percebe que um dado ambiente térmico pode ser confortável para um determinado indivíduo e em simultâneo inadequada para outro. Neste caso, a classificação do ambiente térmico teve como suporte aspetos meramente ligados ao bem-estar (psicofisiológicos).

Quando se pretende avaliar como um dado ambiente térmico influencia a capacidade cognitiva, os factores de ordem psicofisiológica devem ser tidos em atenção. A luminosidade inadequada do local de ensaio pode ser tido como um fator de inibição da capacidade cognitiva para alguns utilizadores. A tipologia do teste cognitivo deve ser acessível a todos utilizadores, não criando ansiedade nem receio no utilizador, permitindo assim obter resultados fidedignos. (Guedes *et al.*,2012)

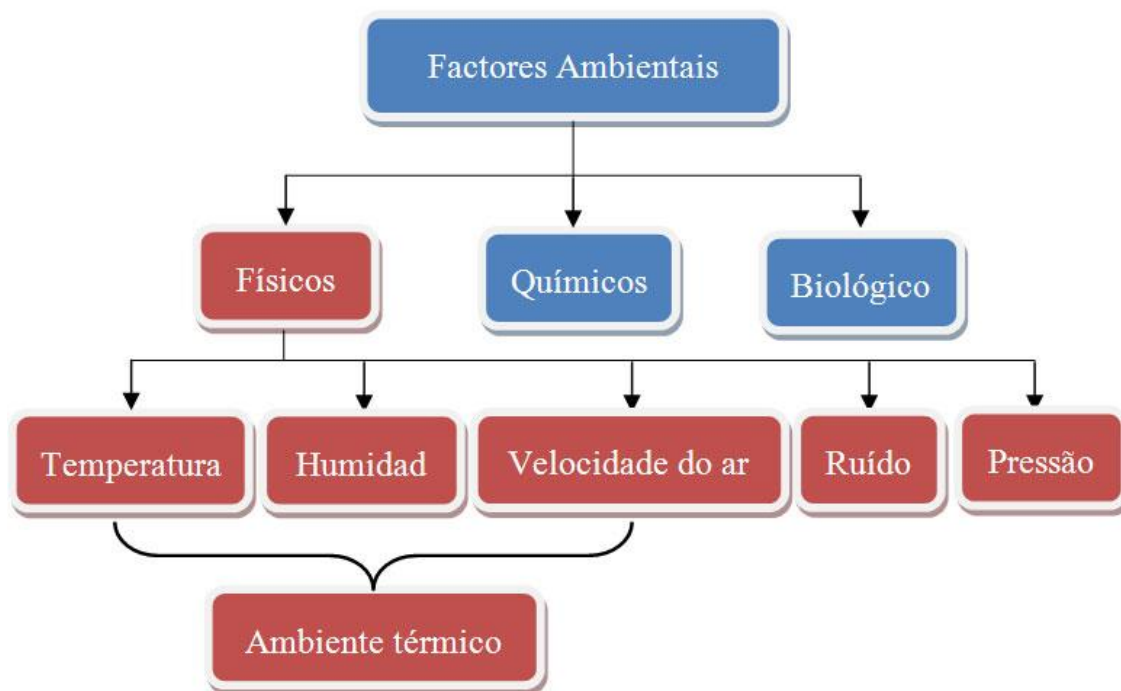


Figura 1. Factores ambientais e suas vertentes

2.1.3 Fatores Externos e Fisiológicos

Estes fatores estão associados a características individuais de cada Ser Humano. O estado de saúde global, o estilo de vida, a dieta, o número de horas de descanso, o vestuário usado, ditam a tolerância que cada indivíduo tem ao ambiente que o rodeia. (Guedes *et al.*, 2012) (Costa, 2012)

Portanto, quando se pretende avaliar a influência do ambiente térmico na capacidade cognitiva é necessário também ter em conta os fatores externos. De seguida, referem-se de forma pormenorizada alguns fatores externos.

• **Idade:**

A Idade é um fator que pode influenciar o conceito de conforto térmico. Apesar deste fator gerar controvérsia, existem alguns estudos que demonstram a relação estatística entre a idade e a tolerância ao calor (Havenith, 2005). Apesar disso, existem também outros estudos onde estas diferenças são explicadas pela presença de outros parâmetros para além da idade, como é o caso de doenças crónicas, o aumento da quantidade de matéria adiposa no corpo ou ainda perda da capacidade física (Pandolf, 1997). Contudo é normalmente aceite que a idade influencia a resposta termorreguladora e a tolerância a ambientes fora do conforto térmico.

As crianças e os idosos, quando expostos a ambientes térmicos quentes ou frios, evidenciam alterações patológicas que não é comum ocorrerem na população adulta ativa. Em ambientes quentes, as crianças, por terem um rácio de área de superfície por volume corporal duas a três vezes superior aos adultos, transpiram em maior quantidade, apresentando assim um elevado risco de exaustão pelo calor (CINAR, 2006).

Por sua vez, os idosos apresentam uma transpiração mais tardia, diminuição da circulação à superfície da pele, alteração da função cardíaca e, portanto, apresentam uma recuperação mais lenta após aumento da temperatura (Inoue & Shibasaki, 1996).

Genericamente, estabelece-se como grupo de risco indivíduos com idades superiores aos 65 anos, sendo que a partir dos 75 são considerados de alto risco (Carvalhais, 2011).

• **Sexo:**

O sexo poderá também influenciar a tolerância a ambientes térmicos extremos, sendo as mulheres menos tolerantes. Tal facto pode-se explicar com a composição e tamanho do corpo. As mulheres são geralmente mais pequenas (menor massa) e têm maior teor em gordura (McLellan, 1998).

Em ambientes quentes, o homem apresenta um melhor funcionamento das glândulas sudoríparas. No caso das mulheres, a ativação das glândulas só se dá para maiores temperaturas (Plowman, 2003).

Em ambientes frios, por apresentarem maior matéria adiposa, as mulheres deveriam tolerar melhor este ambiente. Contudo, por apresentarem menor peso corporal, o rácio área de superfície por volume corporal é maior, libertando mais calor (Carvalhais, 2011).

• **Capacidade aeróbia:**

Fator que tem interferência na tolerância ao calor. (Guedes, 2011)

Os organismos que estejam habituados a treino físico apresentam cerca de 50% das adaptações necessárias na resposta ao aumento da temperatura (diminuição da frequência cardíaca e aumento da taxa de sudação). (Pandolf, 1979)

A medida da capacidade individual de trabalho está directamente relacionada com a capacidade máxima de consumo de oxigénio (em volume) por unidade de peso (capacidade aeróbia). Esta reflete a capacidade dos músculos utilizarem o oxigénio, também se encontrando relacionada com a capacidade do sistema cardiovascular transportar oxigénio até aos tecidos (Carvalhais,2011).

Pessoas com elevada capacidade aeróbia apresentam melhor resposta do sistema cardiovascular quando realizam exercício em ambientes quentes (Plowman, 2003).

Em ambientes frios, segundo o estudo de Frisancho, os indivíduos bem adaptados ao exercício têm também melhores respostas em situação de stress térmico (Frisancho, 1995).

• **Adiposidade:**

A adiposidade consiste na gordura subcutânea existente no ser humano e que funciona como um revestimento térmico. O tecido adiposo, por ser pouco vascularizado, tem baixa condutividade térmica, o que diminui as perdas de calor para o ambiente, contribuindo para uma menor diminuição da temperatura interna do corpo em ambientes frios. (Carvalhais,2011) Em ambientes quentes, a presença de gordura cutânea irá produzir o efeito contrário, ou seja, impossibilitará a perda de calor para o exterior, aumentando a temperatura interna e diminuindo a tolerância (Havenith *et al.*, 1998).

Portanto, indivíduos com maior volume corporal estão em desvantagem em ambientes quentes e em vantagem em ambientes frios (Carvalhais, 2011).

• **Patologias:**

O estado de saúde dos indivíduos será preponderante para determinar a sua tolerância a ambientes térmicos extremos. Qualquer problema nos mecanismos do sistema termorregulador contribuirá de forma negativa para a tolerância ao ambiente térmico.

Outras patologias também contribuem negativamente para essa tolerância. Alguns estudos epidemiológicos mostram que pessoas com depressão, diabetes ou patologias cardiovasculares necessitam de cuidados especiais, especialmente em ambientes quentes (Carvalhais, 2011).

Indivíduos com hipertensão têm associado a si alterações na termorregulação, normalmente traduzindo-se esses efeitos ao nível do transporte de calor do corpo para a pele, aumentando o risco de sobreaquecimento (Ribeiro *et al.*, 2004).

• **Alimentação/Hidratação:**

Este parâmetro tem sobretudo influência em ambientes quentes, pois nesta situação o risco de desidratação é maior. A desidratação implica um menor volume de plasma sanguíneo, originando, conseqüentemente, aumento da viscosidade do sangue e diminuição do débito cardíaco (Astrand, 2003).

Em ambientes húmidos, a perda de calor do corpo dá-se sobretudo através da produção de suor, uma vez que o mecanismo de perda de calor por convecção não é viável. Deste modo, a hidratação assume um papel fundamental na manutenção da homeotermia, repondo o défice hídrico causado pela perda de suor (Carvalhais, 2011).

Em ambientes frios é possível a ocorrência de desidratação, uma vez que existe perda de líquidos pela respiração ou pelo suor quando é utilizado vestuário excessivo (Carvalhais, 2011). A

desidratação pode ocorrer ainda devido a uma menor ingestão de líquidos, propiciado pelas temperaturas baixas (Sawka *et al.*, 2007).

O consumo de álcool poderá também influenciar o estado de hidratação de cada indivíduo, pois apesar de algumas bebidas alcoólicas conterem elevadas quantidades de água, o álcool tem um efeito diurético, sendo que por cada grama de álcool consumido são excretados 10 ml de água através da urina (Instituto de Hidratação e Saúde, 2012).

O consumo de álcool promove a rápida desidratação do organismo, intervindo, portanto, na capacidade de resposta do mesmo às diversas tarefas do dia-a-dia.

- **Aclimação:**

Aclimação é o termo usado para descrever o processo em que o organismo se ajusta às mudanças climáticas. Quando o organismo está recorrentemente exposto a ambientes quentes as suas respostas fisiológicas ao calor alteram-se, suando mais rapidamente e em maior quantidade (Carvalhais, 2011).

No fundo, o organismo ganha tolerância quando exposto a um dado ambiente. Quando comparado com um organismo não aclimatizado, um organismo aclimatizado tem menores alterações fisiológicas num mesmo ambiente térmico.

Poderá também haver aclimação a ambiente frios, passando o organismo a tolerar melhor o frio, pelo que os seus efeitos serão atenuados.

- **Horas de descanso e estilo de vida:**

O número de horas de descanso de cada organismo influencia diretamente a concentração. Um défice de horas de descanso leva à diminuição dos reflexos, sonolência, fadiga em geral, não havendo, portanto, grande capacidade de concentração.

O uso de medicamentos pode também afetar a capacidade de resposta dos indivíduos, pois estes podem criar estados de excitação ou de relaxamento (suplementos vitamínicos ou antidepressivos).

A ingestão de café pode também afetar o desempenho cognitivo dos indivíduos, pois a cafeína estimula a atenção, a concentração e a memória, contribuindo também para diminuir a sensação de sonolência.

2.2 Bases Neurofisiológicas Do Organismo Humano

A maioria dos vertebrados, onde se inclui o Homem, interage com o meio à custa da constante circulação de mensagens no seu organismo. Esta rede de mensagens é mantida pelo sistema nervoso, em estreita relação com o sistema hormonal. Assim se percebe que o meio influencia fortemente o que se passa internamente nos organismos. Na verdade, a capacidade de sobrevivência dos organismos depende da possibilidade de detetarem alterações no ambiente, quer interno, quer externo, e de responderem de forma adequada a essas alterações (Silva *et al.*, 2013).

Na figura 2 é possível verificar-se a rede de mensagens que assegura a manutenção da vida.

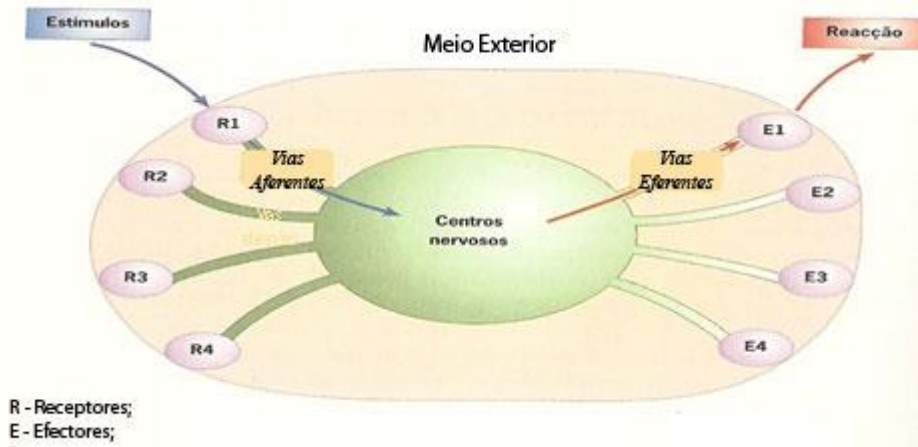


Figura 2. Mecanismo de transmissão de estímulos (Silva *et al.*, 2007).

As vias aferentes transmitem mensagens dos recetores (nervos sensitivos) para os centros nervosos. Posteriormente, e através das vias eferentes, é transmitida a mensagem desencadeada a partir do centro nervoso, o que irá determinar o desempenho dos nervos sensitivos e uma consequente reacção.

2.2.1 Sistema Nervoso Central

No ser humano, o sistema nervoso compreende o sistema nervoso central e o sistema nervoso periférico.

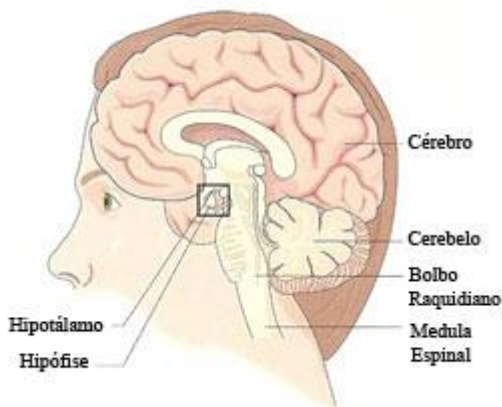


Figura 3. Constituição do Sistema Nervoso Central (Silva *et al.*, 2013).

O sistema nervoso central é constituído pelo encéfalo e medula espinal. Por sua vez, fazem parte do sistema nervoso periférico os nervos.

Na figura 3 é possível visualizar-se a constituição do encéfalo.

Na base do encéfalo encontra-se o complexo hipotálamo-hipófise. Cabe a estas estruturas coordenar a homeostasia nos Vertebrados, isto é, assegurar a manutenção das condições do meio interno dentro dos limites compatíveis com a vida.

As vias aferentes e eferentes (nervos) são constituídas por vários milhões de células nervosas, os neurónios. É através destas células que a informação circula sobre a forma de impulso nervoso.

Na figura 4 apresenta-se de forma resumida o mecanismo de transmissão dos impulsos nervosos. A mensagem enviada através dos nervos sensitivos chegam ao sistema nervoso central, no qual a mensagem é processada. Como consequência, o sistema nervoso central, ao nível do complexo hipotálamo-hipófise, desencadeia uma resposta (impulso nervoso) que é transmitida ao sistema nervoso periférico, neste caso, os nervos motores. Por sua vez, os nervos motores transmitem a mensagem aos órgãos efetores (Silva *et al.*, 2013).



Figura 4. Transmissão dos Impulsos Nervosos (Silva *et al.*, 2007).

2.2.2 Transmissão dos Impulsos Sensoriais

Há aproximadamente 40 anos, através da utilização de axónios de seres marinhos, foi possível esclarecer a forma como se processa a informação cerebral (impulso nervoso).

As membranas dos neurónios funcionam como fronteira entre o meio extracelular e o citoplasma (interior celular). A sua permeabilidade seletiva permite uma distribuição assimétrica de iões nestes dois meios, o que gera um potencial eléctrico.

Num neurónio em repouso, ou seja, que não se encontra a transmitir nenhuma mensagem, existe um potencial na ordem dos -70 mV (potencial de repouso). Na presença de estímulos, os neurónios são excitáveis, o que induz mudanças na permeabilidade ao longo da membrana, como se pode verificar pela figura 5. As mudanças de permeabilidade permitem a movimentação de cargas na fronteira da membrana dos axónios, alterando-se o potencial da membrana, que corresponde ao que se designa por potencial de acção. Este potencial de acção transmite-se ao longo da membrana. A diferença de carga eléctrica entre as zonas em repouso do axónio e as zonas em atividade gera corrente eléctrica que pode ser facilmente medida, utilizando-se, por exemplo, um osciloscópio (Silva *et al.*, 2013).

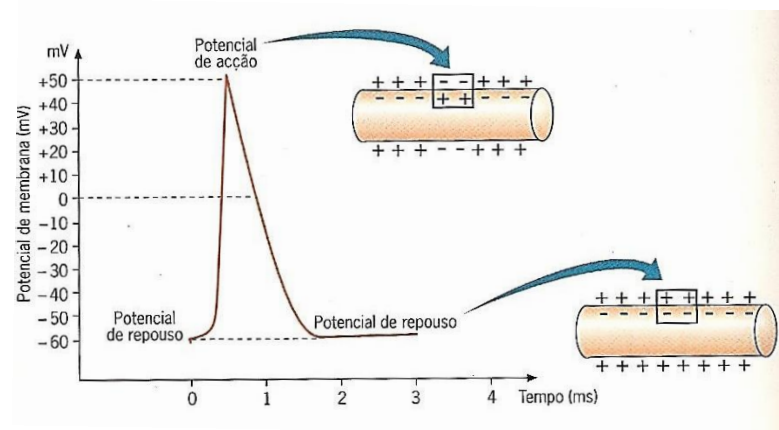


Figura 5. Diferença de potencial e propagação do estímulo (Silva *et al.*, 2013).

2.2.3 Termorregulação: Manutenção da Homeostasia

A termorregulação é tida como um mecanismo homeostático, uma vez que assegura as condições mínimas exigíveis, de forma a não destabilizar as reações químicas metabólicas.

Nos seres humanos, a regulação da temperatura faz-se através de uma interação coordenada entre o sistema nervoso e o sistema hormonal (Silva *et al.*, 2013).

De um modo geral, quando há um aumento de temperatura do corpo, os seres humanos ficam corados e começam a transpirar. Tudo isto acontece pois ao centro nervoso (complexo hipotálamo-hipófise) chega a informação relativa ao aumento da temperatura exterior. De seguida, o centro nervoso emite uma resposta para os órgãos efetores, com o objetivo de desencadear ações destinadas a fazer baixar a temperatura. O abaixamento da temperatura da pele será concretizado através da diminuição da atividade muscular e consequente vasodilatação dos vasos periféricos, bem como através do aumento da transpiração.

A produção de maior quantidade de suor pelas glândulas sudoríparas existentes na pele faz diminuir a temperatura da pele, uma vez que o suor, ao libertar-se, absorve calor da superfície da pele evaporando-se (Silva *et al.*, 2007).

Quando o objetivo passa por conservar a temperatura interna do corpo, em ambiente frios, dá-se uma vasoconstrição, ou seja, o calibre dos vasos sanguíneos diminui, diminuindo consequentemente as perdas de calor, pois a quantidade de sangue que chega à superfície diminui.

Ambos os mecanismos de termorregulação surgem como medida de mitigação ao desvio ocorrido em relação ao valor normal da temperatura do corpo (37°C). Este mecanismo denomina-se por retroação negativa (Silva *et al.*, 2007).

Na figura 6 encontra-se sistematizado o mecanismo de regulação térmica para o organismo humano (retroação negativa).

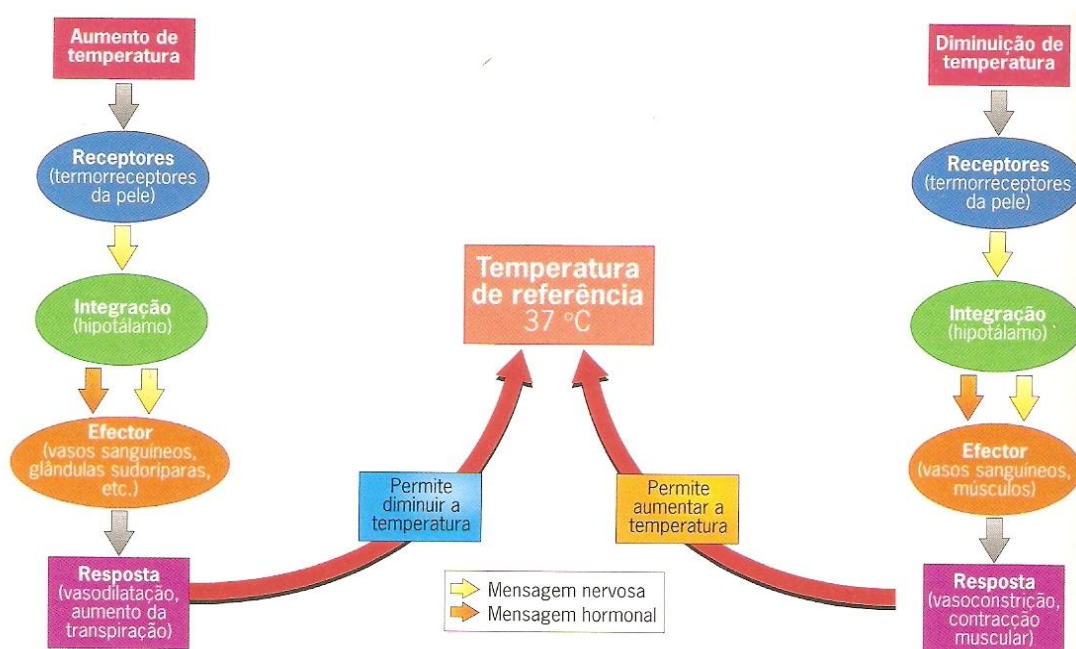


Figura 6. Regulação térmica no Ser Humano (Silva *et al.*, 2013)

De forma sucinta, o mecanismo de regulação térmica inicia-se em resposta a um estímulo (aumento ou diminuição da temperatura para além dos limites desejáveis). O recetor sensorial deteta o estímulo (recetores térmicos de natureza nervosa) que é transportado por nervos

sensitivos ao órgão integrador. Posteriormente, o órgão integrador (complexo hipotálamo-hipófise) interpreta o estímulo e prepara uma resposta adequada. Essa resposta é encaminhada até aos órgãos efetores, onde se materializa a resposta que tende a compensar o desvio provocado pelo estímulo, agindo de forma a contrariá-lo.

A resposta fisiológica no âmbito da termorregulação provoca um consumo interno de energia. Por exemplo, glândulas sudoríparas segregam suor, que só se evapora através de um dispêndio de energia de 600 Kcal (Silva *et al.*, 2013).

Daqui se entende que quando os fenómenos de termorregulação atuam, a energia do organismo é canalizada para estes mecanismos, havendo déficit de energia em outros mecanismos fisiológicos.

2.3 Anatomia Cerebral e Respostas Sensoriais

O cérebro hemisférico é a parte do encéfalo em que a maioria das pessoas pensa quando este termo é usado. Representa a maioria do encéfalo, pesando cerca de 1200g nas mulheres e 1400g nos homens. Encontra-se diretamente relacionado com o peso do corpo, não havendo relação entre o tamanho do cérebro e a inteligência.

O cérebro hemisférico é dividido em hemisfério direito e esquerdo através da fenda inter-hemisférica. As rugosidades visíveis em cada hemisfério são pregas que aumentam consideravelmente a superfície do córtex. O padrão geral do cérebro é idêntico a todos os organismos, mas existem algumas variações individuais e mesmo entre os dois hemisférios do mesmo cérebro.

Cada hemisfério encontra-se dividido em lobos, que têm o nome dos ossos do crânio que estão por cima de cada um.

- **Lobo Frontal** – é importante na função motora voluntária, motivação e humor (regulação da emoção). Esta zona do cérebro encontra-se envolvida na gestão da excitação e na regulação da resposta ao stress (Craig, 2005) (Seeley, 2003).
- **Lobo Parietal** – centro de receção e avaliação de informação sensorial, exceto no que respeita ao olfato, ouvido e visão. Nesta zona do cérebro dá-se a receção de estímulos, como tacto, a dor ou a temperatura do corpo (Seeley *et al.*, 2003) (Lourenço, 2014).
- **Lobo Occipital** – atua na receção e integração de estímulos visuais, daí ser conhecido por córtex visual. Possui várias subáreas que processam os dados visuais, como a cor, o movimento, a profundidade, a distância, entre outros. A identificação de objetos só é possível pela comparação dos dados visuais com memórias anteriores. Quando esta área sofre uma lesão, tal provoca a impossibilidade de reconhecer objetos, palavras e até rostos (Seeley, 2003) (Infoescola, 2014).
- **Lobo Temporal** – recebe e avalia os estímulos olfativos e auditivos e desempenha um papel importante na memória. Lobo também conhecido como córtex psíquico, uma vez que está associado a funções cerebrais como o pensamento abstrato e o juízo crítico. Ao lobo temporal chegam também estímulos auditivos que adquirem significado e são reconhecidos após serem devidamente processados.

Na figura 7 encontra-se representada a constituição do cérebro e a sua classificação por lobos.

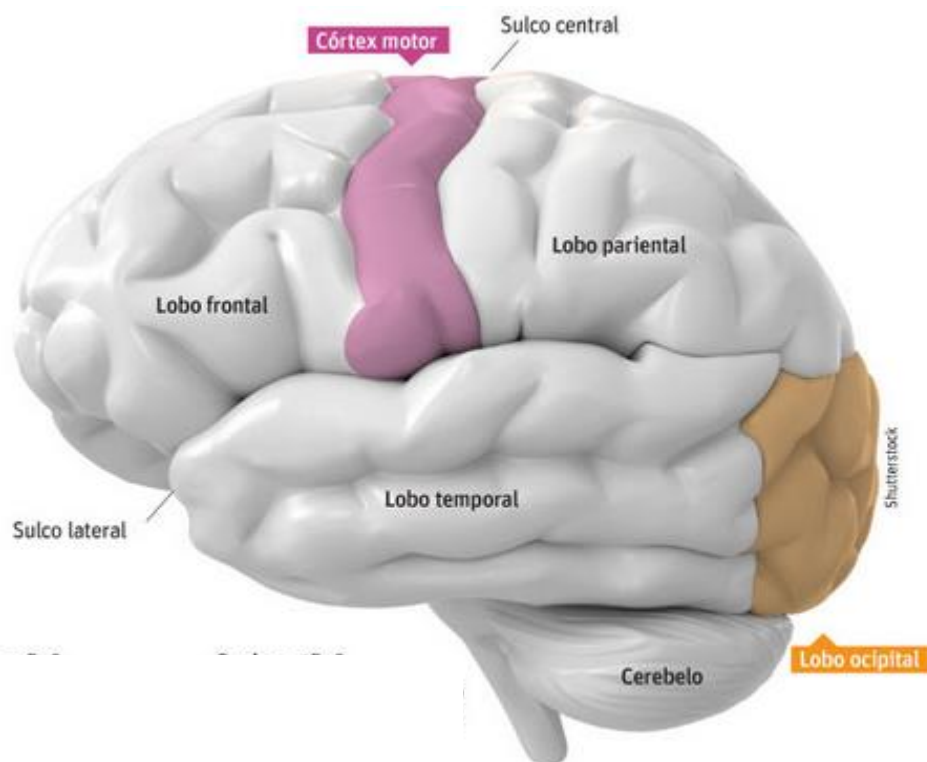


Figura 7. Morfologia do Cérebro Humano; Fonte: <http://revistacorpore.com.br/>, 2014

Pela análise da Figura 7 verifica-se que os lobos frontais e parietais se encontram separados pelo sulco central. Este sulco corre na superfície lateral do cérebro de baixo para cima, a cerca de metade do comprimento do cérebro. No caso do lobo occipital, não é consensual a sua divisão, uma vez que este não está claramente separado dos outros lobos.

A utilização de cada lobo dependerá necessariamente da origem do estímulo (nervos sensitivos). Como os recetores sensoriais são especializados para responder a um tipo específico de energia e como muitas variáveis do ambiente podem ser percebidas, daí resulta que deve haver muitos tipos diferentes de recetores. É do conhecimento comum a existência de cinco sentidos, contudo no total existem muitas mais modalidades sensoriais. Às cinco já conhecidas (visão, audição, olfato, paladar e tato) é possível adicionar a sensação de calor, frio, aceleração rotacional, aceleração linear, dor, tensão muscular, entre outras. Na Tabela 1 encontram-se as principais modalidades sensoriais e respetivos órgãos sensoriais.

Tabela 1. Diferentes modalidades sensoriais e respetivos órgãos recetores

<u>Modalidade Sensorial</u>	<u>Órgão Sensorial</u>
Visão	Olho
Audição	Orelha
Olfato	Mucosa olfatória
Paladar	Botão gustativo
Tato	Terminações nervosas
Aceleração Rotacional	Orelha (canais semicirculares)
Aceleração Linear	Orelha (utrículo e sáculo)
Calor	Terminações nervosas
Frio	Terminações nervosas
Dor	Terminações nervosas

As terminações nervosas ligadas a diferentes modalidades sensoriais (Tabela 1) encontram-se localizados em terminações nervosas cutâneas. Se a pele for cuidadosamente mapeada milímetro a milímetro com um filamento fino, a sensibilidade ao toque apenas surge a partir de áreas situadas sobre os recetores táteis. De igual modo, as sensibilidades térmica e dolorosa são produzidas pela estimulação da pele apenas sobre áreas onde se localizam os órgãos sensoriais dessas modalidades. É também cientificamente consensual que grandes áreas de pele podem ter todos os quatro tipos de sensibilidade, o que significa que os recetores estão provavelmente situados em terminações nervosas livres sem especialização em um único estímulo. Contudo, há zonas da pele especializadas num só estímulo.

- **Sensibilidade tátil:**

A sensibilidade tátil é percebida nas áreas que não possuem recetores especializados. Estes recetores são mais numerosos na pele dos dedos e lábios e relativamente escassos na pele do tronco. A maioria dos recetores encontram-se em torno de folículos pilosos (pêlo). Quando o pêlo se movimenta, ele funciona como alavanca e o seu ponto de aplicação é o folículo. Desta forma, os movimentos suaves dos pêlos são amplificados, estimulando as terminações nervosas localizadas em torno do folículo.

- **Temperatura:**

As variações de temperatura são identificadas em áreas específicas da pele sensíveis ao frio e ao calor. Os recetores do frio ativam-se para a gama de temperaturas entre os 10 e 38°C, enquanto que os recetores do calor são ativados entre os 30°C e 45°C. Como os órgãos sensoriais estão localizados sob o epitélio, a temperatura dos tecidos subcutâneos é que determina as respostas. Por isso é que objetos metálicos frios parecem ser mais frios do que objetos de madeira com igual temperatura, pois o metal conduz mais rapidamente o calor para fora da pele, resultando num arrefecimento maior dos tecidos subcutâneos.

- **Dor:**

A sensação de dor funciona como um sinal de alerta de que algo está errado, tendo esta sensação prioridade sobre os restantes sinais. Caso um músculo seja contraído ritmicamente em presença de irrigação sanguínea adequada, geralmente não há dor. Se a irrigação for obstruída, a contração logo provoca dor, a qual se prolonga até o fluxo sanguíneo ser restabelecido. (Seeley *et al.*, 2003)

Relativamente à **sensação visual**, os estímulos são obtidos através dos olhos. Estes são órgãos complexos, que se desenvolveram a partir de pontos sensíveis à luz primitivos na superfície dos invertebrados. Dentro do invólucro protector, cada olho tem uma camada de recetores (Figura 8), um sistema de nervos que conduz os impulsos dos recetores para o cérebro (nervo ótico). A informação transportada ao longo do nervo ótico chega ao cérebro, mais concretamente ao córtex visual primário (zona V1), situado no lobo occipital.

Após receção da informação em V1 dá-se a projecção para outras zonas do cérebro. A distribuição destas zonas no cérebro encontra-se representado na Figura 9 e as suas

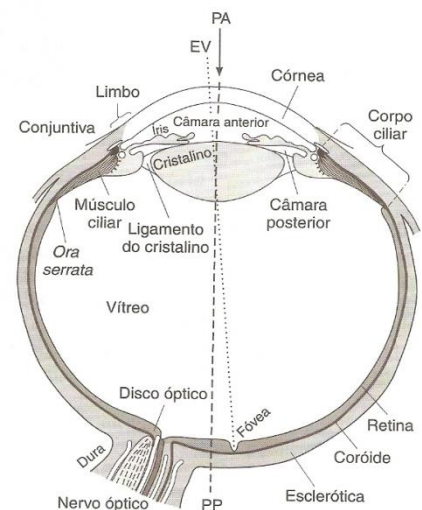


Figura 8. Constituição do Olho (Seeley *et al.*, 2003).

funções listadas na Tabela 2 (Seeley et al., 2003).

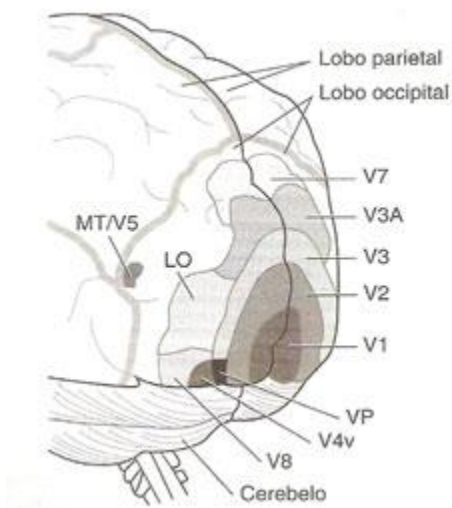


Tabela 2. Funções de cada zona do cérebro.

V1	Córtex visual primário; recebe impulso e processa-o em termos de orientação, bordas, etc.
V2, V3, VP	Processamento continuado, campos visuais maiores
V3A	Movimento
V4v	Desconhecido
MT/V5	Movimento, controlo de movimento
LO	Reconhecimento de objectos grandes
V7	Desconhecido
V8	Visão em cores

Figura 9. Especificidade do cérebro relativa ao sinal visual (Seeley et al., 2003).

Fica subjacente a ideia de que o processamento da informação visual ocorre ao longo de múltiplas vias. Em algumas, ainda desconhecidas, todas as informações são reunidas no que se considera como imagem visual do consciente.

Para o sentido da audição, os recetores sensoriais estão situados na orelha. Normalmente, quando se aborda este sentido é também em simultâneo analisada a questão do equilíbrio.

A orelha externa, a orelha média e a cóclea da orelha interna estão relacionadas com a audição. Os canais semicirculares, o utrículo e o sáculo da orelha interna estão relacionados com o equilíbrio. A aceleração rotacional é detetada nos canais semicirculares e a aceleração linear é detetada nos recetores no utrículo (Seeley et al., 2003).

Relativamente ao som, este propaga-se sob a forma de uma onda mecânica que irá entrar no ouvido, provocando a movimentação de células pilosas e produzindo um sinal elétrico devido à variação do potencial nas membranas destas células. Este sinal elétrico é posteriormente processado no lobo temporal.

Uma observação interessante é que, embora as áreas auditivas pareçam semelhantes nos dois lados dos cérebro, há uma especialização hemisférica acentuada (Ganong, 2005) (Seeley et al., 2003).

Por último, o olfato e o paladar em geral são classificados como sentidos viscerais, devido à associação destes à função gastrointestinal, estando fisiologicamente relacionados entre si. Os sabores de vários alimentos são, em parte, combinação do paladar e do olfato. Os recetores do olfato e do paladar são designados por quimiorrecetores, uma vez que são estimulados por moléculas presentes em solução no muco do nariz e na saliva da boca.

A informação obtida ao nível do olfato é encaminhada para o lobo temporal. Por sua vez, os estímulos de paladar são encaminhados para uma estrutura no núcleo do cérebro, designada por ínsula (ilha), estrutura que ainda coloca muitas dúvidas aos neurocientistas. Contudo, é já considerado como o quinto lobo (Ganong, 2005) (Seeley et al., 2003).

2.4 Metodologias de Avaliação da Atividade Cerebral

Na relação entre o Homem e o seu ambiente laboral tem havido uma mudança de paradigma, de tal forma que atualmente o objectivo é redefinir o interface entre o homem e a máquina. Nesse sentido, surge o que atualmente se designa por neuroergonomia, área científica interdisciplinar, que pretende interligar os conhecimentos neurais com o design, desenvolvendo e implementando novas tecnologias (Berka *et al.*, 2007).

Uma das áreas estudadas no âmbito da neuroergonomia está relacionada com a monitorização em contínuo dos indivíduos, de forma a avaliar o seu estado de fadiga/sobrecarga mental, segundo parâmetros psicofisiológicos. Este tipo de monitorização tem profunda utilidade, uma vez que poderá permitir melhorar o desempenho, a produtividade e a segurança em operações militares, ambientes industriais e educacionais (Berka *et al.*, 2007).

Com o objetivo de se maximizar as capacidades cognitivas, está-se a permitir em simultâneo desenvolver tecnologia que consiga avaliar o estado de sobrecarga dos utilizadores, o que possibilita uma resposta mais assertiva para cada situação.

A avaliação da frequência cardíaca (ECG), atividade oculomotor, pupilometria, mapeamento por espectroscopia de infravermelho (fNIR), atividade eletrodérmica (EDA), atividade elétrica muscular (EMG) são metodologias que podem ser aplicadas na avaliação do estado cognitivo. Contudo, o eletroencefalograma (EEG) é o método preferencial na análise do estado cognitivo, uma vez que permite detetar mudanças subtis com elevada precisão segundo a segundo (Berka *et al.*, 2007).

Existem diversos estudos que avaliaram a capacidade cognitiva dos indivíduos com o auxílio do EEG (Berka *et al.*, 2004) (Gevins *et al.*, 1997) (Serman *et al.*, 1992).

Em seguida passa-se a apresentar alguns dos métodos de monitorização:

- **Monitorização por ECG:** O eletrocardiograma possibilita a medição da capacidade cognitiva (Lale *et al.* 2001), espelhando também o conforto térmico (Yao *et al.* 2009).

Este tipo de monitorização tem como principal finalidade determinar a taxa/período de batimentos cardíacos que são convertidos na forma de onda. Os batimentos cardíacos estão diretamente relacionados com a libertação de substâncias químicas na corrente sanguínea. A libertação destes compostos é influenciável pelo ambiente térmico em redor do organismo. Normalmente, os questionários são o mecanismo mais utilizado para avaliar a capacidade cognitiva. Em função das questões colocadas, o batimento cardíaco varia, o que sugere uma relação entre ambas as variáveis (Marcora *et al.*, 2009) (Costa *et al.*, 2013).

- **Atividade oculomotor:** Registo dos movimentos ao nível dos olhos. Há diversos tipos de movimentos oculares e cada um tipifica uma dada função. Atualmente, a maioria dos peritos usa eletroneistagmografia para o registo elétrico dos movimentos do olho. (Justina, 2005)

O ambiente térmico influencia o movimento ocular. Contudo, o atual desenvolvimento científico ainda não permite com total segurança estabelecer a relação entre o movimento ocular e os efeitos ambientais nos processos cognitivos.

- **Pupilometria:** Técnica que permite medir, através de um pupilómetro, o diâmetro da pupila. Segundo Rebecca *et al.*, a análise do diâmetro da pupila sugere alterações do foro neurocognitivo e permite também averiguar respostas comportamentais em tarefas cognitivas tradicionais, não

existindo até ao momento estudos que usassem esta metodologia para avaliar a influência térmica na capacidade cognitiva.

- **Mapeamento por espectroscopia de infravermelho (fNIR):** Método não invasivo que usa luz de laser não ionizante infravermelha, que permite detectar as mudanças na oxigenação do sangue que chega ao cérebro. O fNIR pode ser considerado como uma técnica viável na monitorização da atividade cerebral durante uma prova com questões com variação de temperatura (Karim,2013).

Poucos são os estudos que usam esta técnica para avaliar a influência térmica na capacidade cognitiva.

- **Atividade eletrodérmica:** Consiste na monitorização do sinal elétrico à superfície da pele, funcionando como indicador do estado psicofisiológico.

EDA vem expresso em termos de resistência e condutividade elétrica da pele e o principal objetivo é detectar mudanças elétricas na pele (Figura 10). Este tipo de monitorização foi dos

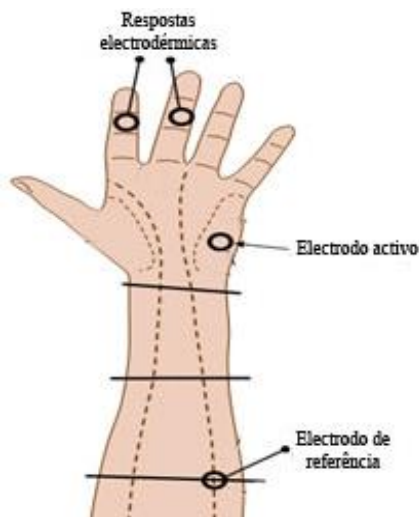


Figura 10. Localização dos eletrodos associados à monitorização por EDA

que mais contribuiu para o desenvolvimento da psicologia. Pesquisas com EDA são transversais a várias áreas científicas, como a psicologia, psiquiatria e a psicofisiologia. O elevado número de publicações científicas verificadas até ao momento demonstra que este tipo de monitorização pode ser aplicado no estudo de um largo espectro de questões – pesquisas sobre capacidade de atenção ou análise de emoções (Costa, 2013).

Anatomicamente e fisiologicamente, a pele é uma barreira seletiva que medeia a entrada e saída de diversos compostos no organismo. Para a corrente sanguínea passam pela pele apenas substâncias que não são prejudiciais para a saúde e em simultâneo são excretadas substâncias resultantes do metabolismo celular.

A pele é também essencial na manutenção da temperatura do corpo (vasoconstrição) e na manutenção do teor de água no corpo (produção de suor).

Alguns estudos demonstraram que o aumento da condutividade da pele reflete um estado de excitação/ativação ou corresponde a uma maior capacidade de atenção (Costa, 2013) (Gamboa *et al.* 2012).

2.4.1 Atividade muscular elétrica:

A monitorização da atividade elétrica muscular poderá ser usada como indicador do estado psicofisiológico. O aumento da tonificação muscular implica um aumento da atividade do sistema nervoso simpático (Walter, 2013). O sistema nervoso simpático é responsável pelo controlo de funções tais

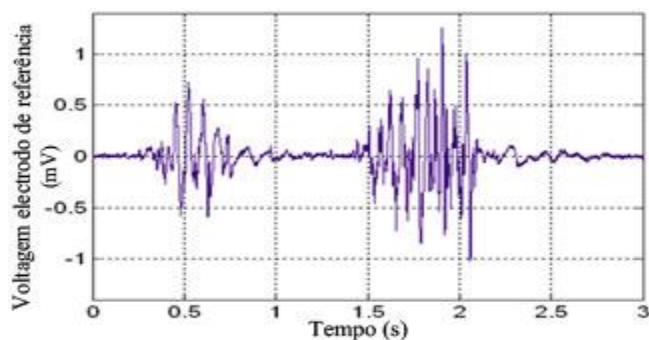


Figura 11. Sinal adquirido numa medição para actividade muscular (Walter, 2013).

como a constrição dos vasos sanguíneos e a transpiração.

A eletromiografia, exame que permite monitorizar a actividade eléctrica muscular, consiste no uso de eléctrodos que são colocados por cima dos músculos que se pretende avaliar. Na Figura 11 encontra-se representado um sinal eléctrico obtido numa eletromiografia (Walter, 2013).

Os resultados são registados em intervalos de um milissegundo.

2.4.2 Atividade cerebral eléctrica:

A atividade cerebral pode ser avaliada através de um eletroencefalograma (EEG). Esta avaliação em tempo real permitirá avaliar como evolui a carga cognitiva com o tempo. No fundo, com auxílio do EEG é possível determinar a evolução da fadiga nos indivíduos. A fadiga é definida como sendo o estado de transição entre o estado de vigília e o sono (Lal *et al.* 2001).

O EEG corresponde à variação do potencial das células nervosas do cérebro. Esta variação de potencial existe devido à transição entre estados de excitação e de inibição (Lal *et al.*, 2001). A medição deste potencial só é possível uma vez que ele se estende até ao couro cabeludo. A atividade eléctrica do cérebro é classificada por bandas de frequência e podem incluir as seguintes bandas: delta, teta, alfa e beta (Costa, 2013).

A presença de cada um das bandas de frequência está associada a um estado específico da atividade cerebral – excitação, relaxamento, contração, fadiga, etc (Tanaka *et al.* 2012).

2.5 Sinais Cerebrais – Caracterização e Interpretação

Com o objetivo de se avaliar a correlação entre os sinais das ondas cerebrais e a carga cognitiva em ambientes extremos controlados, a monitorização por EEG deverá a ser mais aconselhada, uma vez que é considerado por muitos autores como o melhor indicador de fadiga, permitindo fornecer indicações valiosas que podem clarificar como a capacidade cognitiva é afectada pelo ambiente exterior em redor do indivíduo (Lal *et al.* 2001) (Tanaka *et al.* 2012) (Berka *et al.* 2004).

De seguida descreve-se cada uma das larguras de banda registadas numa monitorização por EEG.

2.5.1 Atividade Delta:

A atividade delta é também designada por “slow wave” e encontra-se na gama de frequência entre os 0.5 Hz e os 4 Hz. Este tipo de atividade é registada na fase de transição para o sono e durante o sono (Lal *et al.* 2001).

Como este tipo de atividade se encontra presente quando o organismo está em estado de sono, não faz sentido considerar esta actividade num estudo que pretende avaliar a capacidade cognitiva em ambientes extremos (Akerstedt, 1990).

2.5.2 Frequência Teta:

A frequência Teta encontra-se entre os 4 Hz e os 7 Hz. Encontra-se associada a vários estados psicológicos, que incluem níveis baixos de alerta e, conseqüentemente, está associada ao

decréscimo da capacidade de processamento de informação. A frequência *Theta* pode também ser considerado uma “*slow wave*” (Fisch, 2000).

2.5.3 Ondas Alfa:

Este tipo de ondas são as dominantes nos cérebros de humanos adultos, tendo uma frequência entre 8 Hz e os 13 Hz. A sua presença é comum no córtex occipital, durante o período de vigília. Quando se fecha os olhos, a presença deste tipo de ondas é notória. Quando se faz o movimento contrário, e se tenta estar atento, a atividade das ondas alfa decresce (Lal *et al.* 2001).

Este tipo de ondas encontram-se em actividade quer seja num estado de alerta ou num estado de relaxamento. A presença destas ondas durante o período de vigília, num estado de relaxamento, leva a uma resposta lenta a estímulos (Grandjean, 1988).

2.5.4 Ondas Beta:

As ondas do tipo Beta apresentam uma frequência entre os 13 Hz e os 30 Hz, o que indica elevada velocidade de propagação. A sua presença está associada a um estado de excitação/alerta.

A atividade Beta pode ocorrer em seres humanos durante a execução de uma tarefa motora que exige elevado tempo de reação (Sheer, 1988).

De forma a garantir qualidade nos resultados obtidos no EEG, o ideal é assegurar o uso de um elevado número de eléctrodos. A presença de determinado tipo de frequência irá depender da região cerebral em questão, por isso torna-se essencial garantir uma boa cobertura da cabeça com eléctrodos. Por exemplo, as “*slow waves*” são mais provavelmente registadas na região anterior, central e parietal do cérebro (Lal *et al.* 2001).

2.6 Fatores Ambientais e Carga Cognitiva

Todas as tarefas desempenhadas pelo Homem são diretamente influenciadas pelo meio ambiente onde são desenvolvidas. Contudo, a performance na tarefa (capacidade cognitiva) a desempenhar vai evoluindo ao longo do tempo, influenciado sobretudo pela temperatura e pela humidade. Diversas pesquisas têm incidido no estudo da influência do ambiente térmico no estado de alerta do Ser Humano. Alguns relatam um decréscimo na capacidade cognitiva no calor (Nunneley et al. 1982; Hancock 1982). Há contudo também estudos que afirmam exactamente o contrário (Bell et al. 1964; Nunneley et al. 1979).

Daqui se percebe que a carga/performance cognitiva só é afetada em casos onde o stress térmico é suficiente para mudar a temperatura do corpo, de modo a que este passe de uma temperatura normal a uma temperatura em estado transiente (Hancock 1986).

Estudos mais recentes vieram trazer um maior consenso sobre esta matéria, indicando que o stress térmico compromete a cognição. Contudo, o nível de degradação do desempenho cognitivo depende da gravidade da tensão provocada pelo calor e da complexidade da tarefa (Pilcher et al. 2002; Hancock *et al.* 2003).

Segundo o estudo de O’neal (2010), as alterações na função cognitiva dos indivíduos expostos a atividade física em ambiente quente pode aumentar, diminuir ou mudar muito pouco. Este paradoxo entre resultados deve-se ao facto de interferirem diversos fatores, como por

exemplo o tipo de tarefa, severidade da exposição à temperatura, complexidade e duração da tarefa cognitiva ou ainda fatores psicológicos (Costa *et al.* 2012).

No estudo de Hancock *et al.* (2003), o stress força o indivíduo a alocar recursos de atenção para avaliar e lidar com a ameaça, reduzindo a capacidade de processar informações de tarefas importantes.

Já para Gaoua *et al.* (2010), o ambiente quente é uma variável a considerar para os processos cognitivos. Este autor conclui ainda que a capacidade cognitiva é mais sensível a perturbações ambientais, especialmente térmicas, do que a tolerância fisiológica.

As características do ambiente térmico estão na base de problemas ligados à saúde e segurança de trabalhadores, podendo levar à ocorrência de acidentes, uma vez que o estado de concentração/alerta dos trabalhadores se torna diminuto.

Fadiga excessiva devido a ambiente térmico desfavorável reduz a produtividade e as funções neurocognitivas e reduz a qualidade de vida (Gaoua *et al.*,2010) (Hancock *et al.*, 2003). O estado de alerta é fundamental para a tomada de decisões, influenciando também o tempo de reação de cada decisão.

Contudo, a avaliação do estado de alerta e as capacidades cognitivas de cada indivíduo são difíceis de quantificar, uma vez que são diretamente influenciáveis por fatores para além dos de ordem ambiental, como é o caso de fatores de ordem psicofisiológica (motivação, tipo de tarefa, hora do dia), ou ainda por fatores externos (estado global de saúde) (Johnson *et al.*, 2011).

Relativamente ao conceito de carga/performance cognitiva, este refere-se às cargas oriundas das exigências cognitivas das tarefas, isto é, cargas relativas ao uso da memória, da percepção, atenção, concentração, raciocínios e tomadas de decisões. A este conceito encontram-se ligados dois aspetos básicos da memória, a memória relacionada com o sistema de trabalho e a memória a longo termo.

Provavelmente qualquer processo cognitivo depende do uso de ambos os processos. Por exemplo, a identificação de um objeto familiar. A ideia base é que após um estímulo sensorial (ligado a memória de trabalho), devidamente processado, é possível identificar o objeto recorrendo à memória de longo prazo (Klimesch, 1999).

Normalmente ligados à carga cognitiva encontram-se conceitos como tempo de reação/velocidade de reação ou ainda acuidade, que estão subjacentes a qualquer atividade psicomotora (Simmons, 2008).

A influência do meio envolvente encontra-se, neste estudo, representado pelo ambiente térmico. O ambiente térmico irá influenciar as capacidades cognitivas do indivíduo em situações de stress térmico. Esta influência tem vindo a ser estudada segundo duas tendências.

A primeira tendência assenta na ideia de que o calor afeta o desempenho cognitivo de modos diferentes, variando consoante o tipo de tarefa cognitiva. Assim, tarefas que exigem menos atenção não são tão afectadas pelo stress térmico.

A segunda tendência tenta estabelecer uma relação entre a temperatura interna do corpo e o stress térmico e encontra-se baseada segundo três premissas (Hancock, 2002):

Estado dinâmico ambiental impõe uma evolução da temperatura interna do corpo. Nesta situação, o calor acumula-se no corpo e a performance cognitiva baixa.

Estado hipertérmico é caracterizado por uma constante elevação da temperatura interna do corpo. As evidências sugerem que neste estado a atenção aumenta.

Estado em que a carga térmica externa não é suficiente para causar a elevação da temperatura interna. Neste estado, o desempenho cognitivo mantém-se inalterável.

Alguns estudos focaram-se em avaliar a influência da temperatura (stress térmico) no decréscimo da capacidade cognitiva. Um desses estudos foi levado a cabo por Ramsey *et al.*, 1998.

Este estudo veio introduzir o conceito de curvas de isodecrécimo, que combinam temperatura e tempo para certa probabilidade de decréscimo da performance cognitiva.

Na Figura 12 encontram-se graficamente representadas as curvas de isodecrécimo.

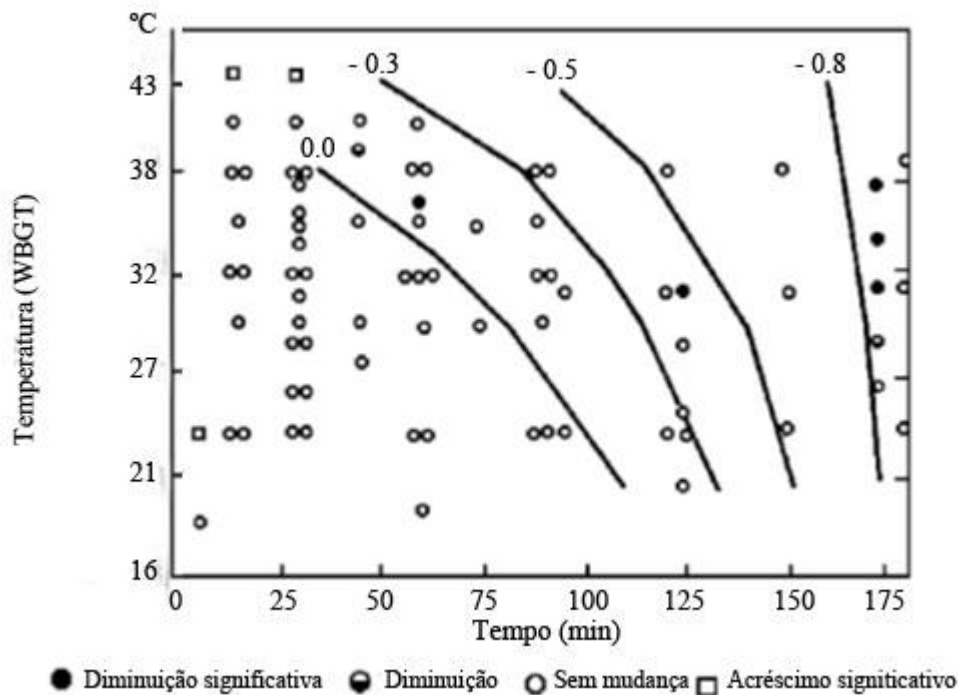


Figura 12. Curvas de isodecrécimo: Adaptado de Ramsey *et al.*, 1998.

Os números no gráfico representam os níveis de probabilidade para o desempenho da tarefa perfeita, variando entre zero (sem alteração de desempenho) e um (decrécimo severo do desempenho).

No estudo desenvolvido por Ramsey e Kwon foi possível confirmar-se que em relação a questões mentais simples, o decréscimo da capacidade cognitiva é inexistente ou inmensurável, podendo até aumentar para curtos períodos de exposição. Contudo, quando os indivíduos foram expostos a questionários que avaliavam as capacidades de percepção, verificou-se um decréscimo da performance entre o intervalo de temperatura entre os 30-33°C, independentemente do tempo de exposição.

Da compilação de diversos estudos foi possível delimitar as fronteiras do stress térmico para o qual a performance cognitiva permanece intacta (Figura 13).

Da análise da figura 13 é notório o facto de que, para elevadas temperaturas, o tempo de exposição (de forma a que não haja perda das capacidades cognitivas) é muito diminuto. De

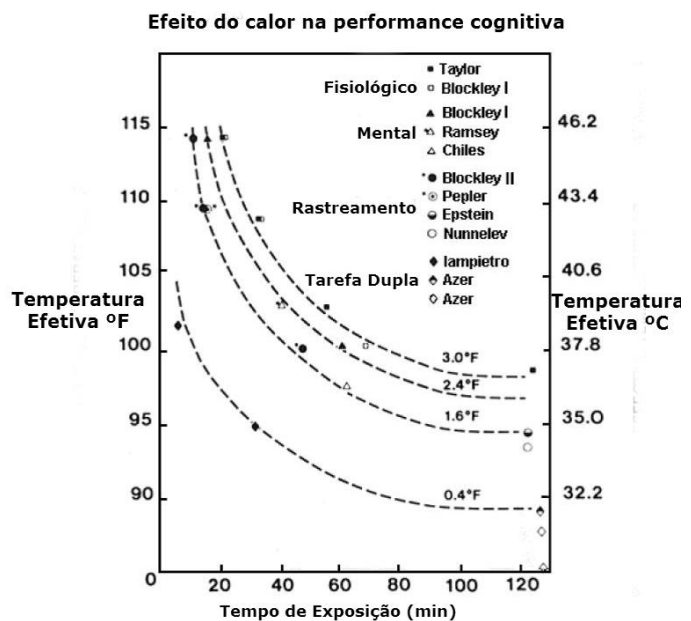


Figura 13. Curvas de isodecrécimo: Adaptado de Ramsey *et al.*, 1992.

facto, temperatura e tempo de exposição variam em proporção inversa, ou seja, períodos longos de exposição implicam baixas temperaturas a que o organismo pode estar sujeito.

Toda a informação relativa à relação entre fatores ambientais e carga cognitiva foi obtida através de uma pesquisa que relacionou várias palavras-chaves, assim como diversas expressões de pesquisa em diferentes bases de dados eletrônicas e com diferentes critérios. Foram encontrados diversos artigos, muito embora nem todos possuíssem informação relevante. Foi notória a existência de diversa informação que avalia o estado de alerta/concentração dos indivíduos com a temperatura – contudo não estabelece relação com a sua atividade cerebral. Informação que relacione os fatores ambientais com atividade cerebral e o estado cognitivo são muito escassos. Na Tabela 3 apresentam-se os artigos com maior relevância resultantes da pesquisa efetuada.

Tabela 3. Resultados da pesquisa bibliográfica.

Autor	Ano	Utilização EEG	Ambiente Térmico	Teste Cognitivo	Atividade Alfa	Atividade Beta	Avaliação: Bem-estar/Fadiga/Estado Alerta
Ftaiti, F.	2010	√	√	○	√	√	○
Goto, Y.	2008	√	√	○	○	○	○
Sinha, R.	2007	√	√	○	○	○	○
Huber, M.	2006	√	√	√	√	√	○
Berg, R.	2012	○	√	○	○	○	√
Simmons, S.	2008	○	√	√	○	○	√
Hancock, P.	2003	○	√	√	○	○	√
Nunneley, S.	1982	○	√	○	○	○	√
Costa, E.	2013	√	√	√	√	√	√
Hancock, P.	2002	○	√	√	○	○	√
Bell, C.	1964	○	√	√	○	○	√
Nunneley, S.	1979	○	√	√	○	○	√
Pilcher, J.	2002	○	√	√	○	○	√

*Legenda: √- contêm informação relevante; ○ - não contêm informação

Como se percebe pela Tabela 3, existe pouca informação que relacione diretamente a influência do ambiente térmico na atividade cognitiva através da interpretação associada à atividade alfa e atividade beta. Os estudos sobre a influência do ambiente térmico na capacidade cognitiva dos indivíduos focam-se normalmente em testes cognitivos que avaliam o número de respostas corretas, ou então a velocidade de resposta. Estudos onde é feita referência à atividade cerebral (ondas alfa e beta) não explicam a metodologia usada para se avaliar o estado cognitivo.

2.7 Ambientes extremos – Controlo e monitorização

De forma a se estudar a relação entre ondas cerebrais, capacidade cognitiva e ambientes térmicos extremos é necessário recorrer a equipamento tecnológico devidamente calibrado com suficiente precisão, garantindo-se qualidade dos resultados.

Assim, para se obter ambientes com temperaturas e humidades requeridas é necessário recorrer a câmaras climáticas. Estas foram concebidas para diversos usos, incluindo pesquisas relacionadas com ambientes térmicos e respostas psicofisiológicas.

De forma a se garantir todas as condições de segurança para os seres humanos que se sujeitam à experimentação é necessário monitorizar a temperatura da pele e a temperatura interna. Quando expostos a ambientes térmicos extremos, a monitorização da temperatura interna do organismo

assegurar que não se deixa atingir situações críticas. Para tal, será aconselhado que, relativamente a cada voluntário, seja monitorizada a sua temperatura interna através de dispositivos biocompatíveis com sensores térmicos. Este método é um dos melhores para minimizar o risco de danos causados pelo ambiente térmico (Goodman *et al.*, 2009).

Através da monitorização da temperatura interna, os voluntários serão retirados da câmara climática quando se verificarem riscos para a sua integridade. É ainda possível a monitorização da temperatura da pele dos voluntários, permitindo a identificação de anomalias com as condições operatórias dentro da câmara climática.

Segundo o Decreto-Lei n.º 243/86, de 20 de Agosto, que regulamenta as condições de higiene e segurança em meio ocupacional, as temperaturas dos locais de trabalho devem estar compreendidas na gama dos 18°C-22°C e a humidade atmosférica deve oscilar entre os 50% e 70%.

Contudo, a legislação referida, ao ser muito geral, uma vez que é aplicada a diversos tipos de atividades comerciais, cria ela própria um vazio legal, uma vez que cada atividade exige um grau de atenção e tomadas de decisão diferentes.

Assim, é importante perceber como a atividade cognitiva evolui em ambientes térmicos extremos. Os sinais cerebrais serão a via que permitirá descobrir essa relação. A monitorização dos sinais cerebrais através de EEG será a alternativa mais precisa e adequada (Klimesch, 2009).

Quando se pretende avaliar o desempenho cognitivo dos indivíduos, diversas tarefas podem ser sugeridas. Atualmente existe software que apresenta diversos tipos de tarefas que podem ser realizadas dentro de uma câmara climática com o recurso a hardware adequado.

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

Com este trabalho de investigação pretende-se relacionar a atividade cerebral com a resposta cognitiva perante ambientes térmicos extremos. Pretende-se averiguar como é que a atividade cerebral varia ao longo de uma tarefa executada em condições de temperatura e humidade extremas. Da monitorização por EEG serão avaliadas as ondas do tipo alfa e ondas do tipo beta, pois são as que melhor podem dar indicações sobre o estado de alerta e de relaxamento.

O uso de diferentes temperaturas e humidades permitiu verificar como varia o comportamento cerebral em função das condições ambientais.

3.2 Materiais e Métodos

A relação entre carga cognitiva, ambiente térmico e ondas cerebrais foi avaliada através do desenvolvimento de ensaios experimentais com voluntários. Nestes ensaios, os voluntários foram sujeitos a dois ambientes térmicos distintos. Assim, realizaram-se os ensaios nas seguintes condições ambientais: **35°C e 80% HR** e **18°C e 40% HR**. Estas condições operatórias serão simuladas no interior de uma câmara climática, localizada no Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Foram necessários no total 10 voluntários (amostra de conveniência), sendo que cada um foi submetido uma vez a cada uma das condições ambientais (20 ensaios). Cada ensaio teve a duração de 60 minutos. Esta duração foi suficiente para avaliar a evolução da atividade cerebral. Ensaios com durações superiores criam problemas de disponibilidade de voluntários.

Para se avaliar a atividade cerebral foi usado um interface específico (brain computer interface) que permitiu a recolha de informação ao longo do ensaio (EEG).

Todos os voluntários selecionados eram do sexo masculino, permitindo adaptar mais facilmente os neurosensores à cabeça (amostra de conveniência). Assim, facilitou-se a obtenção de um sinal com elevada qualidade.

Foi também essencial efetuar-se a monitorização da temperatura da pele e interna de cada voluntário. A temperatura interna do organismo permite identificar sinais de fadiga, em especial quando o organismo está exposto a elevadas temperaturas (Costa *et al.*, 2013). Assim, monitorizou-se a temperatura apenas para o ensaio com as seguintes condições ambientais: 35°C e 80% humidade relativa. Esta monitorização permite também minimizar os riscos da exposição excessiva ao calor.

A carga cognitiva dos voluntários foi estimulada através da realização de um “jogo/tarefa”. Cada indivíduo teve de seguir as instruções dadas relativas à tarefa. O que se pretendeu foi que cada voluntário, durante uma hora, estivesse a desenvolver uma dada tarefa, neste caso completar o “jogo” com o maior sucesso possível. Na Figura 14 encontra-se esquematizado o procedimento adotado.



Figura 14. Procedimento adotado para cada ensaio.

3.2.1 Equipamentos, protocolos e questionários/inquéritos

A monitorização e recolha de dados foi possível através do auxílio de diverso equipamento tecnológico.

3.2.1.1 Principais equipamentos

➤ EEG para monitorização da atividade elétrica cerebral:

A monitorização das ondas cerebrais é efetuada através do uso de neurosensores colocados sobre a cabeça dos voluntários. Este equipamento permitiu gravar em tempo real os resultados da atividade cerebral, tendo sido possível identificar estados em que os indivíduos estão adormecidos/cansados ou acordados. A transição entre estados é bastante comum ocorrer com o desenrolar do ensaio experimental, já que a fadiga se vai acumulando. O equipamento usado é da marca “Emotiv Epor” (Figura 15).



Figura 15. Neurosensores: Emotiv Epor (Emotiv Brochure).

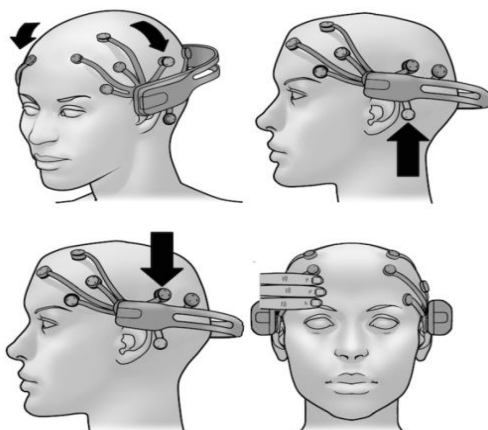


Figura 16. Colocação standard dos eléctrodos (Emotive Brochure).

O registo da atividade eléctrica cerebral é conseguido através do software disponibilizado pela marca – TestBench.

O “Emotiv Epor” possui um total de 14 eléctrodos que devem ser colocados na cabeça dos voluntários segundo a disposição standard, abrangendo o lobo parietal, frontal e temporal, como se pode ver na Figura 16.

Estes eléctrodos são pequenos discos metálicos de forma circular, feitos de ligas especiais (prata, ouro e estanho) com diâmetro entre os 5 e os 10 mm (Vilhena, 2003).

➤ Câmara climática:

A câmara climática permite a simulação de exposição a diferentes ambientes térmicos. A câmara usada é modelo Fito-Clima 2500EC20 (Figura 17) e permite em simultâneo controlar temperaturas entre -20°C e $+50^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) e humidades entre 30% e 98% ($\pm 2\%$). É também possível fazer oscilar as concentrações em oxigénio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2). (Carvalhais, 2011)

Sempre que se pretende efectuar uma simulação é necessário ligar a câmara climática com antecedência de forma a permitir a estabilização de todas as variáveis.

No interior da câmara climática encontra-se o “hardware” que permitirá ao voluntário realizar uma tarefa.



Figura 17. Câmara climática: vista exterior (esq.) e interior (dir.).

➤ Sensores térmicos ingeríveis (STI):

A medição da temperatura interna será possível através de sensores térmicos ingeríveis. Estes sensores pertencem à marca Vital Sense, tendo a capacidade de transmitir informação a cada 15 segundos. Estes sensores têm 8.7 mm de diâmetro e 23 mm de comprimento, o que corresponde à dimensão de um comprimido de um medicamento (figura 18). Cada voluntário deverá ingerir a cápsula com água. A cápsula irá evoluir ao longo do trato digestivo sem quaisquer riscos para os voluntários. Naturalmente a cápsula acabará por ser expelida do organismo.

A cada voluntário é necessário acoplar um equipamento designado

Equivital LifeMonitor, o qual permite sincronizar o termómetro ingerível (na forma de cápsula) com o software de gravação de dados. O Equivital LifeMonitor (figura 19), de modo a sincronizar corretamente o sinal para o software, deverá estar fixo/ligado num cinto específico para o efeito (Equivital EQ02 Belt), semelhante ao que se encontra representado na figura 20.

Caso a temperatura interna dos voluntários chegue próximo dos $38,5^{\circ}\text{C}$ é necessário interromper o ensaio, de forma a não pôr em causa a integridade humana.



Figura 18. Sensor térmico ingerível.



Figura 19. Equivital LifeMonitor.



Figura 20 Cinto Equivital.

➤ Sensores térmicos para a superfície da pele:

A temperatura da pele pode ser medida com o auxílio do “Plux temperature sensors”. Este aparelho foi desenvolvido para avaliar diferentes biosinais, entre os quais a temperatura da pele. Permite a medição da temperatura da pele em contínuo ou de forma intermitente, sendo possível a medição de temperaturas entre os 0°C e os 50°C.

A sua robustez, estabilidade, precisão e rápida resposta aumenta a confiança nos resultados obtidos (Costa *et al.*, 2014).

O “Plux temperature sensors” é usado em paralelo com o “bioPluxresearch” (Figura 21), permitindo transmitir, para o computador, via Bluetooth, a informação recebida pelos sensores. Os valores numéricos recolhidos (formato encriptado) têm depois de ser devidamente transformados em temperatura através da equação de Steinhart-Hart (Costa *et al.*, 2014).



Figura 21 “bioPluxresearch” (esq.) e “Plux temperatura sensors” (dir.).

A medição da temperatura da pele foi efetuada em 2 pontos do corpo (testa e pescoço). Estes pontos foram escolhidos de acordo com a norma ISO8996 (*International standard - Ergonomics of the thermal environment*). Os sensores são fixos à pele através de fita adesiva médica.

A medição da temperatura da pele efetuou-se nesses dois locais pois tratam-se de pontos da pele que estão isentos de vestuário permitindo obter-se a evolução real da temperatura junto à pele.

➤ Caraterísticas morfológicas dos voluntários:

Para cada um dos voluntários será necessário determinar a sua altura e peso. Assim, será adequado recorrer-se ao uso de uma balança com precisão de três casas decimais. A altura será medida numa régua graduada com duas casas decimais.

3.2.1.2 Protocolo e questionários/inquéritos:

➤ Preparação do voluntário:

Após a chegada dos voluntários ao laboratório é necessário medir o seu peso e altura. Cada um será convidado a sentar-se durante aproximadamente 20 minutos, permitindo repousar e estabilizar os ritmos biológicos/temperaturas. Este período torna-se fundamental para garantir que todos os ensaios ocorrem nas mesmas condições iniciais, fazendo com que a temperatura corporal dos voluntários fique estabilizada e semelhante à temperatura do laboratório (condições iniciais). Durante este período será já monitorizada a temperatura da pele do voluntário, permitindo na análise de resultados perceber se a temperatura do mesmo chegou a estabilizar antes do início do ensaio experimental.

Quando os voluntários são sujeitos ao ensaio de 35°C e 80% de humidade relativa, para além de se repetir o procedimento anterior, é ainda necessário ter outros cuidados. Para esta temperatura e humidade é adequado que o voluntário ingira o STI 10 horas antes do início do ensaio e coloque no seu pulso a indicação de que ingeriu um biosensor, o que impede o voluntário de realizar ressonâncias magnéticas. Esta informação é fundamental caso o voluntário tenha algum problema de saúde. O biosensor demorará a ser expelido do organismo entre 12h a 72h, conforme o ritmo biológico de cada voluntário.

Antes de entrar na câmara climática o voluntário responderá a 4 questões, de forma a aferir o seu estado fisiológico, a saber:

1. Ingeriu bebidas com cafeína nas últimas 12h?
2. Ingeriu bebidas alcoólicas nas últimas 12h?
3. Tomou algum tipo de medicamento?
4. Repousou bem durante a noite?

Estas questões tornam-se relevantes, pois permitem perceber se o voluntário está cansado aquando do início do ensaio e, portanto, se a sua performance na tarefa é afetada por fatores para além da temperatura e da humidade.

Antes do início do ensaio é explicado ao voluntário qual o objetivo do mesmo e quais os riscos que este corre. O voluntário assinou a “Declaração de Consentimento Informado” (Anexo I), que foi previamente supervisionado pela Comissão de Ética da Universidade do Porto.

➤ Início do ensaio:

Findo o período de repouso, o voluntário é encaminhado para o interior da câmara climática. Enquanto se colocam os elétrodos (neurosensores) sobre o escalpe (EEG), o voluntário vai respondendo a um questionário que permite aferir a sensação térmica/impacto sensitivo que teve quando entrou na câmara climática. Esse questionário encontra-se disponível no anexo II e foi desenvolvido no Programa Doutoral referido anteriormente.

Após os elétrodos estarem devidamente posicionados dá-se início ao ensaio, disponibilizando através do computador a tarefa cognitiva que o voluntário vai realizar durante 1h.

➤ Fim do ensaio:

Completada a duração do ensaio (1 hora), os equipamentos são desligados e o voluntário responde novamente ao questionário, avaliando-se agora o conforto térmico/sensação térmica após 1h sujeito a condições extremas. É ainda medido o peso do voluntário no final do ensaio.

PARTE 2

4 RESULTADOS

4.1 Tratamento dos Dados Obtidos

Da realização dos diversos ensaios experimentais resultaram essencialmente dois grupos de resultados. O primeiro grupo diz respeito aos dados relativos à monitorização da temperatura (temperatura da pele e temperatura interna). Somente os dados relativos à temperatura da pele necessitam de algum tipo de processamento, uma vez que é necessário transformar os dados de tensão (milivolts) em temperatura através da equação de Steinhart-Hart. De forma a facilitar o tratamento destes dados foi usado o software Matlab com o auxílio a um “script” específico, permitindo de forma rápida transformar os dados em temperatura (°C). Relativamente à temperatura interna os resultados são diretamente apresentados em Graus Celsius pelo software associado ao equipamento de recolha de dados.

O segundo grupo de dados diz respeito à monitorização por EEG. O tratamento destes dados torna-se mais complexo, uma vez que na maioria dos casos um registo de EEG apresenta muitas interferências, causadas sobretudo pelo próprio voluntário. Estas interferências podem ser causadas por movimentos musculares/oculares ou pela atividade circulatória contaminando os registos e impedindo a correta leitura dos resultados. Torna-se pois necessário efetuar uma filtragem sobre os dados, i.e. algumas componentes da atividade cerebral (bandas de frequência) “passam” e são amplificadas, enquanto outras são rejeitadas ou atenuadas pelo filtro.

Para os dados recolhidos de EEG efetuou-se uma filtragem com o recurso ao algoritmo ICA (*independent component analysis*). Este algoritmo é capaz de separar as interferências existentes no seio dos dados, sendo principalmente adequado para dados de registo de electroencefalograma.

Apenas serão avaliados os resultados relativos às ondas do tipo *alfa* e *beta*, uma vez que são as que melhor relacionam a atividade cerebral com a capacidade cognitiva dos indivíduos (Torsvall & Akerstedt, 1987) (Belyavin & Wright, 1987).

Estas tipologias de ondas são passíveis de serem registadas em diferentes partes do cérebro contudo o interesse substancial reside nas ondas que são registadas no lobo occipital uma vez que esse lobo se encontra relacionado com a capacidade visual e com a capacidade de processar informações e compreender o seu conteúdo (carga cognitiva). Assim ir-se-á apresentar as duas tipologias de ondas registadas no lobo occipital que pode ser “dividido” em lado esquerdo (occipital 1) e lado direito (occipital 2).

4.2 Resultados Obtidos

4.2.1 Caracterização da população de Voluntários: Dados Socio/Antropométricos e Estilo de vida

A caracterização Socio/Antropométrica da amostra de voluntários é essencial na área da investigação científica dando a conhecer qual a tipologia de voluntários que são usados e as suas características. Esta informação poderá ser útil para outros investigadores que queira comparar os seus resultados com o do presente trabalho. Na Tabela 4 encontram-se registadas as características de cada voluntário bem como a sua atividade profissional.

Tabela 4. Características dos voluntários.

Voluntário n°	Idade	Altura (m)	Sexo	Profissão
I	29	1,77	Masculino	Estudante
II	24	1,72	Masculino	Estudante
III	24	1,85	Masculino	Eng.Mecânico
IV	24	1,77	Masculino	Estudante
V	27	1,72	Masculino	Estudante
VI	26	1,75	Masculino	Operador Caixa
VII	20	1,67	Masculino	Estudante
VIII	36	1,70	Masculino	Investigador
IX	18	1,77	Masculino	Estudante
X	34	1,85	Masculino	Professor

*Média idade= 26; Desvio Padrão = 6;

Na Tabela 5 apresentam-se as respostas dadas pelos voluntários num pequeno inquérito realizado antes do início dos ensaios. Com este inquérito pretendeu-se averiguar os hábitos/estilo de vida dos voluntários, sendo que estes hábitos podem-se refletir nos resultados obtidos, podendo camuflar, por exemplo, a fadiga (café) ou então acelerar o estado de desconcentração/fadiga (álcool).

De seguida apresenta-se a explicação da nomenclatura escolhida para cada cabeçalho:

1. Café significa “Ingeriu bebidas com cafeína nas últimas 12h”?
2. Álcool significa “Ingeriu bebidas alcoólicas nas últimas 12h”?
3. Medicamento significa “Tomou algum tipo de medicamento”?
4. Descanso significa “Repousou bem durante a noite”?

Tabela 5. Estilo de Vida.

Voluntário	Quente				Frio			
	Café	Álcool	Medicamento	Descanso	Café	Álcool	Medicamento	Descanso
1	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim
2	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
3	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim
4	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
5	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
6	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
7	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
8	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
9	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
10	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim

Por si só, as respostas dadas no questionário anterior não apresentam um elevado valor acrescentado, contudo quando comparadas com as respostas que cada voluntário deu no final dos ensaios à pergunta “Que sintomas sentiu no interior da câmara climática” torna interessante os resultados obtidos. No ponto 4.2.2. far-se-á a devida comparação dos resultados e a sua interpretação.

Apesar de existirem voluntários com um estilo de vida que pode influenciar os resultados, isto é, potenciarem vieses dos resultados (café, álcool, etc.), devido à escassez de voluntários aceitou-se que estes fossem ainda assim sujeitos à atividade experimental.

4.2.2 Avaliação da sensação térmica - Questionário

Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados obtidos do questionário que pretende avaliar a sensação térmica. No anexo III encontram-se as respostas dadas por cada voluntário no questionário. De forma a simplificar a interpretação de resultados optou-se por expressar os mesmos na forma ilustrada depois de devidamente tratados.

➤ Ensaios a 35°C e 80% de Humidade Relativa

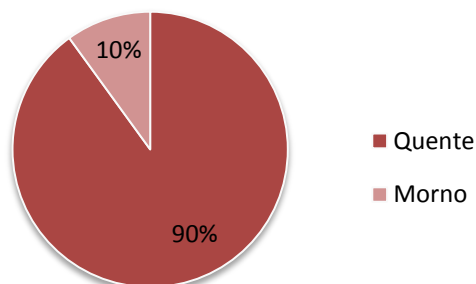
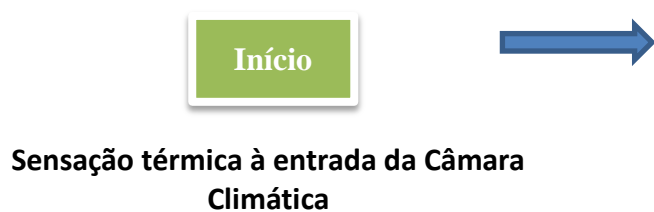


Figura 22. Sensação térmica no início do ensaio.

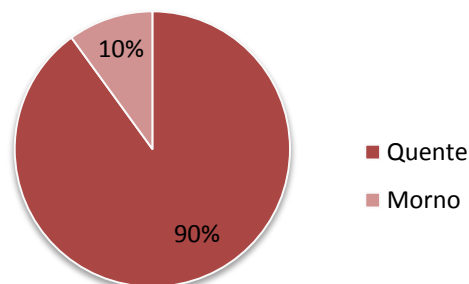
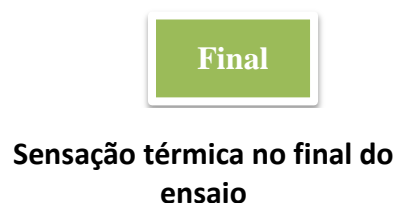


Figura 23. Sensação térmica no final do ensaio.

Como gostaria de estar?

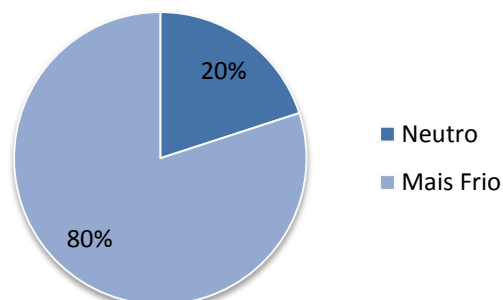


Figura 24. Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico?

Como gostaria de estar?

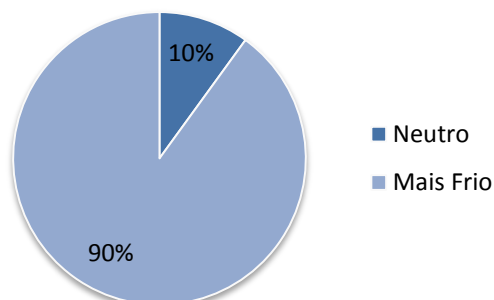


Figura 25. Como gostaria que fosse ambiente térmico no final?

Sintomas sentidos

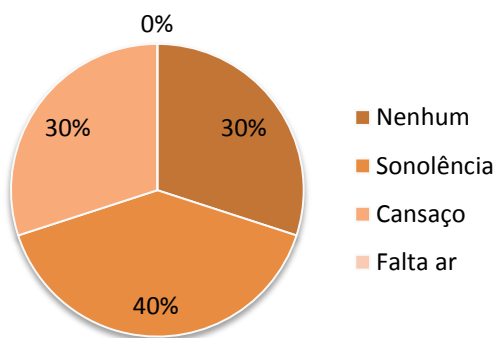


Figura 26. Sintomas sentidos quando entra na câmara?

Sintomas sentidos

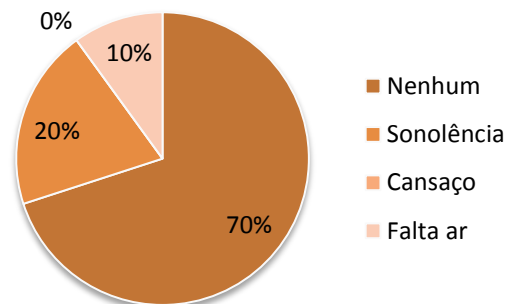


Figura 27. Sintomas sentidos durante o ensaio?

➤ Ensaios a 18°C e 40% de Humidade Relativa



Sensação térmica ao entrar na Câmara

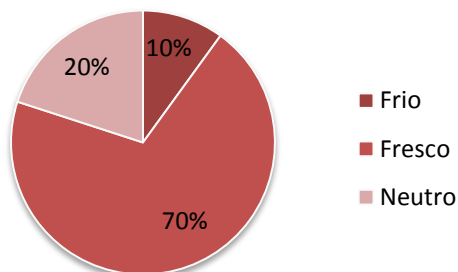


Figura 28. Sensação térmica no início do ensaio

Sensação térmica no final do ensaio

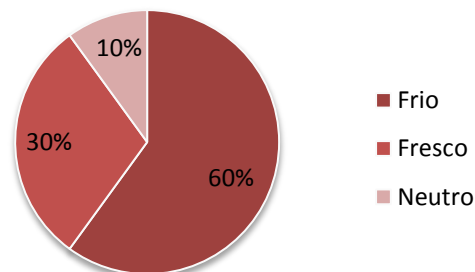


Figura 29. Sensação térmica no final do ensaio

As respostas ao inquérito sobre a sensação térmica sentida pelos voluntários apresenta algumas similitudes. Relativamente ao ambiente térmico quente, 9 dos voluntários consideraram que quando entraram na câmara climática havia uma grande diferença relativamente ao ambiente verificado no exterior da câmara, respondendo portanto que consideravam o ambiente térmico como quente. No final do ensaio apenas um voluntário considerava o ambiente térmico morno, não sendo para este voluntário o ambiente térmico sentido dentro da câmara demasiado extremo.

Com a entrada na câmara dois voluntários começaram de imediato a sentir sonolência sendo que no final do ensaio, 7 deles consideravam-se cansados ou com sonolência.

Relativamente ao ambiente térmico frio, 7 dos voluntários quando entraram na câmara climática sentiram um ambiente fresco sendo que essa sensação de frescura evolui para uma sensação de frio com o decorrer do ensaio. No início do ensaio, já dentro da câmara climática, 7 voluntários admitiram estar a ficar cansados/sonolentos verificando-se no final apenas 2 voluntários que disseram não ter tido qualquer tipo de sintoma. Com o desenrolar do ensaio para além de cansaço

e sonolência alguns voluntários também admitiram calafrios e perda de coordenação.

Como gostaria de estar?

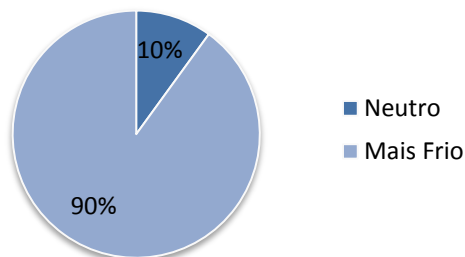


Figura 30. Como gostaria que fosse agora o ambiente térmico ?

Como gostaria de estar?

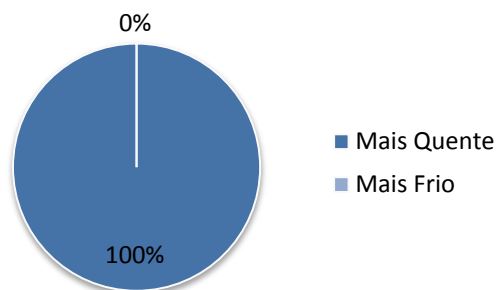


Figura 31. Como gostari que fosse o ambiente térmico no final?

Sintomas sentidos

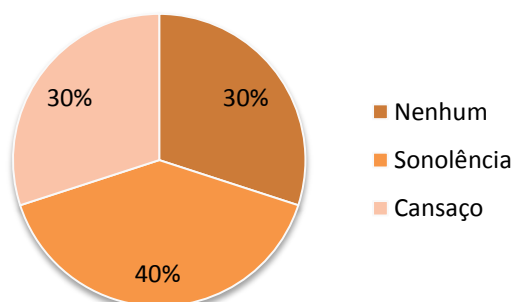


Figura 32. Sintomas sentidos quanto entra na câmara?

Sintomas sentidos

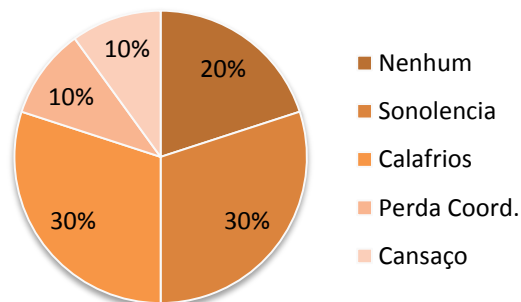


Figura 33. Sintomas sentidos durante o ensaio?

Quando se compara as respostas ao inquérito sobre sensação térmica com as respostas dos voluntários sobre os seus hábitos de vida algumas considerações podem ser feitas.

Nos ensaios em ambiente térmico quente, dos 4 voluntários que tomaram café somente 2 ficaram cansados no final dos ensaios. Dos voluntários que não tomaram café (6), 5 ficaram cansados e consideraram que estavam sonolentos, sendo que 4 deles até afirmaram ao início que repousaram bem durante a noite.

Em ambiente térmico frio dos 4 voluntários que tomaram café, 2 ficaram cansados. Os restantes voluntários que não tomaram café, todos eles ficaram cansados/sonolentos sendo que apenas somente 2 afirmaram que não tinham repousado bem durante a noite.

Da panóplia de respostas obtidas considera-se o café como o principal fator de possível destabilização de resultados, uma vez que parece haver uma relação entre a sua toma e os resultados finais obtidos. Relativamente à questão sobre o repouso não parece ser influenciador dos resultados finais pois mesmo os voluntários que admitiram ter descansado bem acabaram por ficar sonolentos/cansados no final.

Relativamente à influência do consumo de álcool e medicamentos sobre os resultados produzidos nestes ensaios nada se pode afirmar pois a maioria dos voluntários não consumiu qualquer uma das substâncias.

4.2.3 Monitorização da temperatura para os ensaios a 18°C e 40% de Humidade Relativa

Nas figuras seguidamente apresentadas (Figura 34 à Figura 43) encontram-se representados os resultados obtidos para cada voluntário, relativamente à temperatura da pele e do pescoço. À partida a monitorização da temperatura deveria ter uma duração próxima dos 80 min (20min + 60min), contudo nem sempre foi possível cumprir esse período de duração para cada ensaio.

Devido a questões técnicas no momento da colocação dos elétrodos na cabeça dos voluntários houve a necessidade de se prolongar a sua presença no interior da câmara climática por períodos superiores a 60 min.

Assim no final para a maioria dos voluntários obteve-se uma monitorização da temperatura da pele superior a 80 min, sendo a exceção os voluntários: VI, VII, IX e X. Para os voluntários IX e X a colocação dos elétrodos foi feita de forma célere e sem qualquer tipo de problemas. Para os voluntários IX e X houve problemas de monitorização da temperatura da pele. Devido a problemas de origem aleatória verificou-se para estes dois ensaios problemas de sincronização por bluetooth entre o computador e o hardware de aquisição de dados. Estes problemas só foram detetados no final dos ensaios após tratamento dos respetivos resultados tendo-se verificado que o registo da temperatura foi feito por períodos de tempo inferiores ao estabelecido no procedimento experimental.

Quando se analisa de forma global a evolução de temperatura dos voluntários verifica-se que todos eles apresentam um padrão que segue o que é teoricamente esperado, isto é, quando os voluntários entram na câmara climática, sendo que a temperatura no seu interior é inferior à temperatura do laboratório, naturalmente a temperatura da pele dos indivíduos tende a diminuir, sendo em todos os gráficos esse fenómeno refletido. Assim a partir dos 20 minutos, período que corresponde à entrada dos voluntários na câmara climática, existe uma diminuição mais ou menos brusca da temperatura da pele. À medida que o ensaio decorre no interior da câmara climática existe uma tendência para a temperatura da pele estabilizar. Esta estabilização dá-se à custa dos mecanismos de homeostasia desencadeados pelo organismo humano.

Relativamente ao período de repouso antes de cada ensaio, a que cada voluntário foi sujeito, verifica-se que 20 min são suficientes para a temperatura dos voluntários estabilizar. Contudo para os voluntários III e IV é perceptível que 20 min de repouso não foram totalmente suficientes para estabilizar a sua temperatura da pele, pois como se pode ver pelos respetivos gráficos existe ainda elevada oscilação da temperatura. Contudo para estes dois ensaios parece existir problemas com a própria aquisição dos dados.

Quando se compara a temperatura da pele registada ao nível da testa e ao nível do pescoço verifica-se que existem discrepâncias de temperatura. Naturalmente estas discrepâncias de temperatura verificam-se porque se mede a temperatura da pele em dois locais distintos, sendo que a temperatura não é uniforme e constante por todo o organismo. Para a maioria dos registos a evolução da temperatura da pele dos voluntários segue o mesmo padrão, quando se compara a evolução entre a temperatura registada ao nível da testa e a temperatura registada ao nível do pescoço. Apesar disso não eram expetáveis diferenças tão significativas em alguns voluntários.

No caso do registo obtido para o voluntário III existem discrepâncias de temperatura que em certos instantes chegam a ter uma diferença próxima de 4°C. Para o voluntário IV a evolução da temperatura da testa e do pescoço não segue a mesma tendência o que pode indicar anomalias no registo dos dados.

➤ Monitorização da Temperatura da Pele:

— Testa
— Pescoço

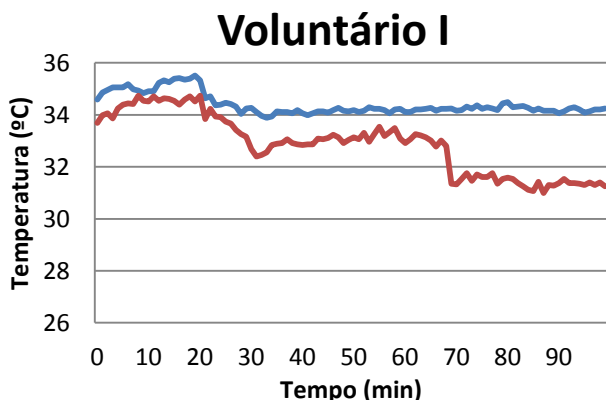


Figura 34. Evolução da temperatura da pele: voluntário I

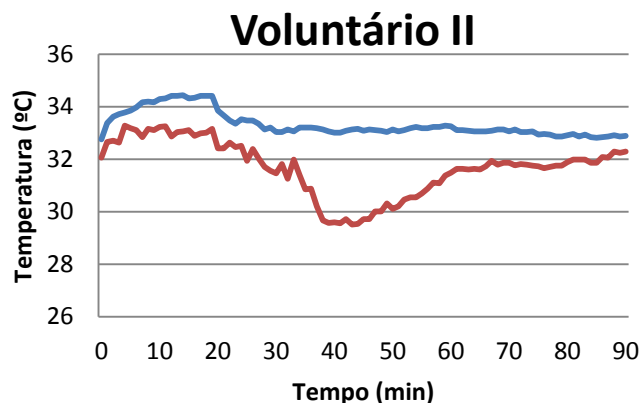


Figura 35. Evolução da temperatura da pele: voluntário II

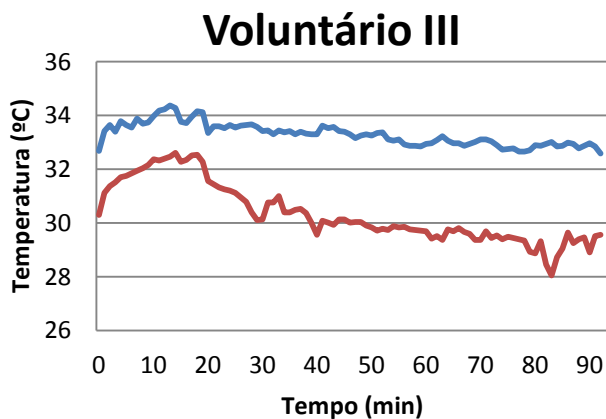


Figura 36. Evolução da temperatura da pele: voluntário III

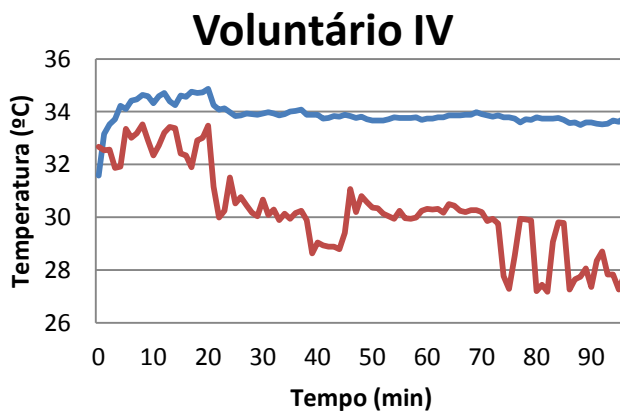


Figura 37. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV

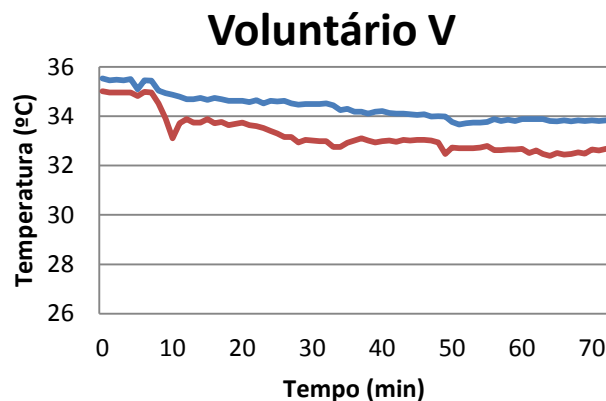


Figura 38. Evolução da temperatura da pele: V

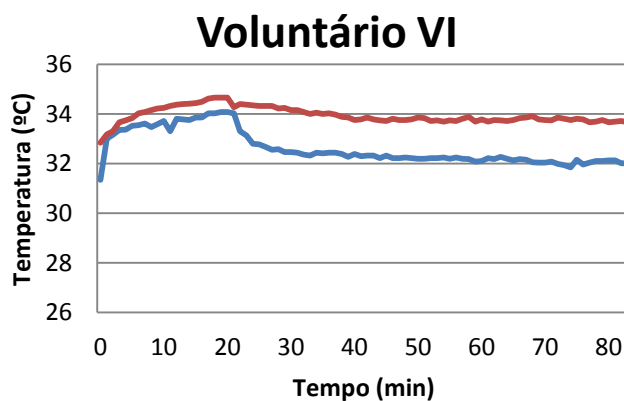


Figura 39. Evolução da temperatura da pele: VI

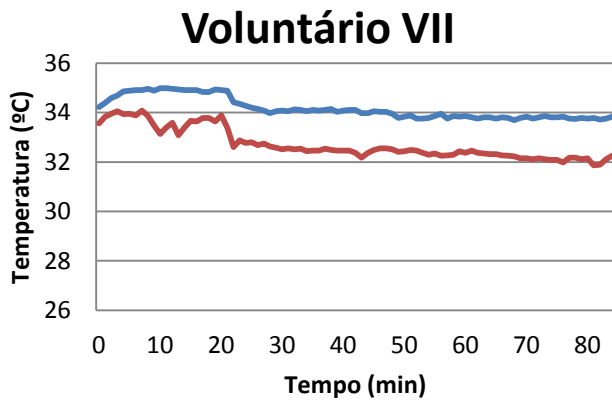


Figura 40. Evolução da temperatura da pele: voluntário VII

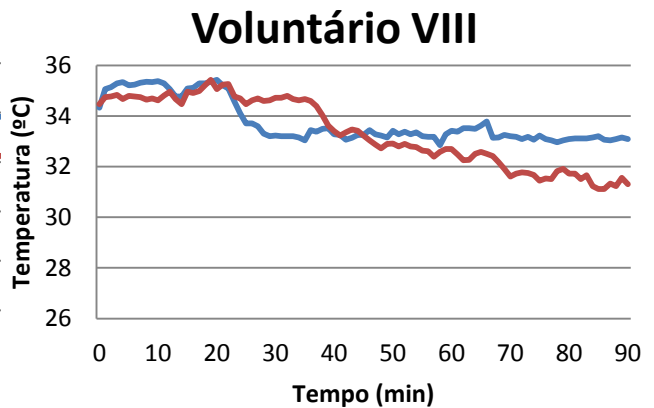


Figura 41. Evolução da temperatura da pele: voluntário VIII

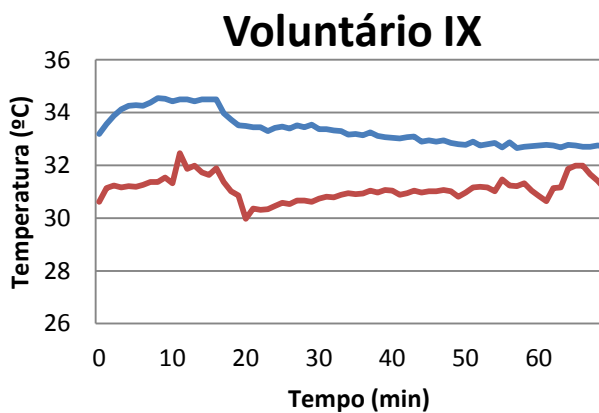


Figura 42. Evolução da temperatura da pele: voluntário IX

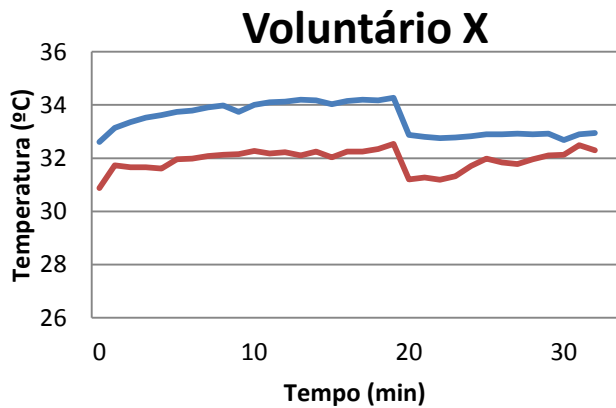


Figura 43. Evolução da temperatura da pele: voluntário X

4.2.4 Monitorização da temperatura para os ensaios a 35°C e 80% de Humidade Relativa

Nos gráficos seguintes encontram-se representados os dados obtidos da monitorização da temperatura da pele dos voluntários para 35°C e 80% de HR.

Para estes ensaios a sua duração foi relativamente próxima à estabelecida no procedimento experimental, uma vez que o maior teor em humidade facilitou o processo de colocação dos eléctrodos no escalpe dos voluntários não tendo sido necessário prolongar a presença dos mesmos muito para além dos 60 min. No caso do voluntário VIII houve um registo de dados para um período de 73 min apenas. Este fato, só foi possível de ser identificado no final do ensaio após os tratamentos de dados. Tal fato poder-se-á ficar a dever a problemas de sincronização entre o aparelho de aquisição de dados e o computador.

Relativamente à evolução global da temperatura da pele verifica-se graficamente que quando o voluntário é convidado a entrar na câmara climática a sua temperatura da pele aumenta bruscamente. Tal fenómeno encontra-se refletido em todos os gráficos. Posteriormente a temperatura da pele dos voluntários tende a estabilizar sendo sempre superior à temperatura verificada no interior da câmara climática (35°C).

A evolução da temperatura da pele ao nível da testa e da temperatura ao nível do pescoço seguem o mesmo padrão, para cada ensaio. Apesar de as temperaturas registadas serem diferentes, para cada uma destas localizações, essas diferenças são facilmente aceites, pois são na maioria dos casos muito pequenas e ficam-se a dever à ausência de uniformidade de temperatura

no organismo. A proximidade entre as duas linhas de resultados (Testa e Pescoço) poderá indicar a elevada fidedignidade dos resultados. Devido a problemas com o sensor ao nível do pescoço, não foi possível para o voluntário V recolher dados de temperatura nesta localização.

Relativamente ao período de repouso (20 min) verifica-se que para a maioria dos voluntários a sua temperatura corporal estabilizou antes dos 20 minutos. Excepção feita para os voluntários III e VII.

➤ Monitorização da Temperatura da Pele:

— Testa
— Pescoço

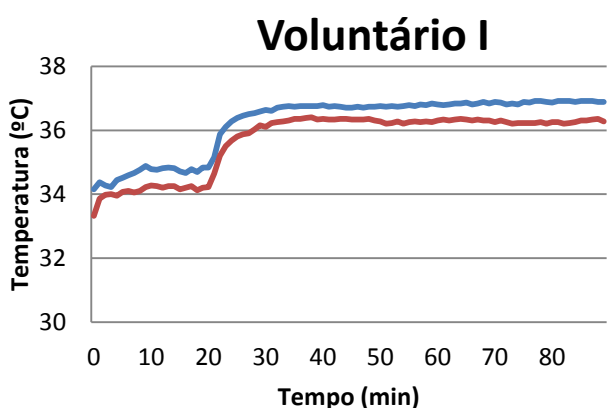


Figura 44. Evolução da temperatura da pele: voluntário I

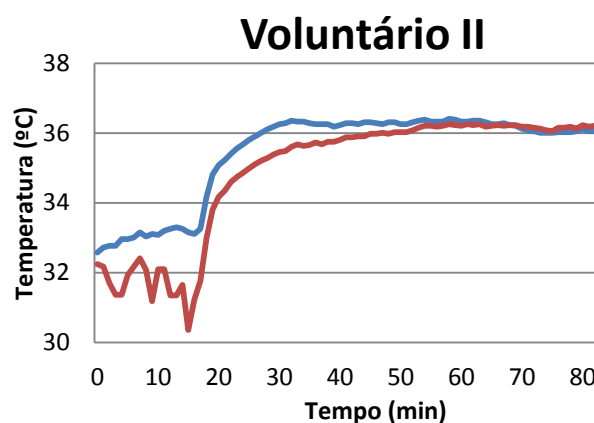


Figura 45. Evolução da temperatura da pele: voluntário II

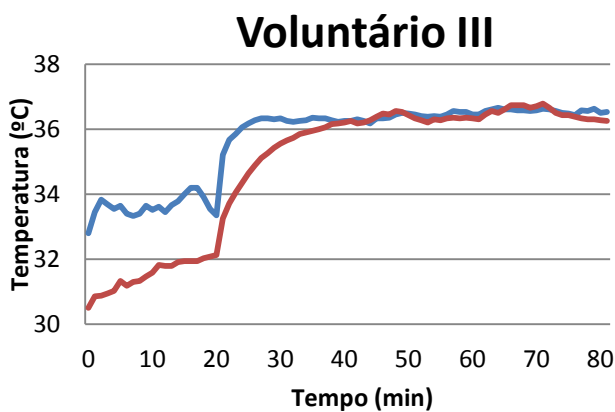


Figura 46. Evolução da temperatura da pele: voluntário III

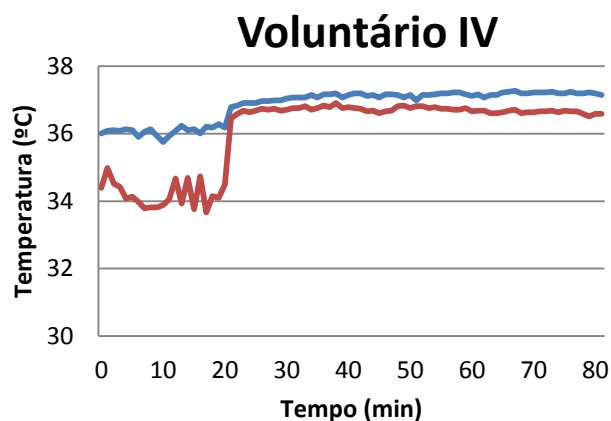


Figura 47. Evolução da temperatura da pele: voluntário IV

Voluntário V

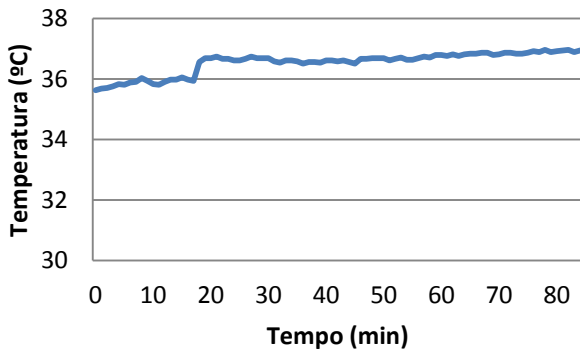


Figura 48. Evolução da temperatura da pele: voluntário V

Voluntário VI

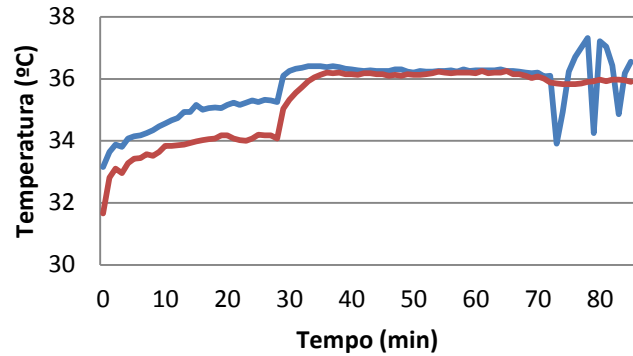


Figura 49. Evolução da temperatura da pele: voluntário VI

Voluntário VII

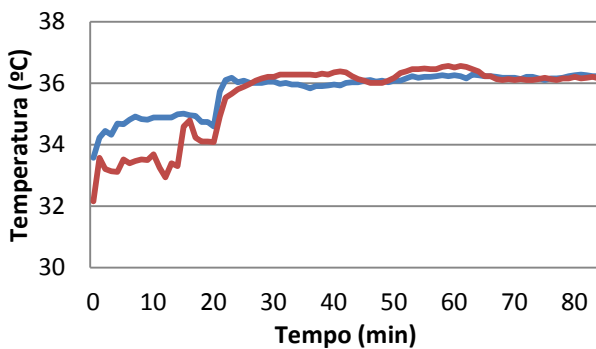


Figura 50. Evolução da temperatura da pele: voluntário VII

Voluntário VIII

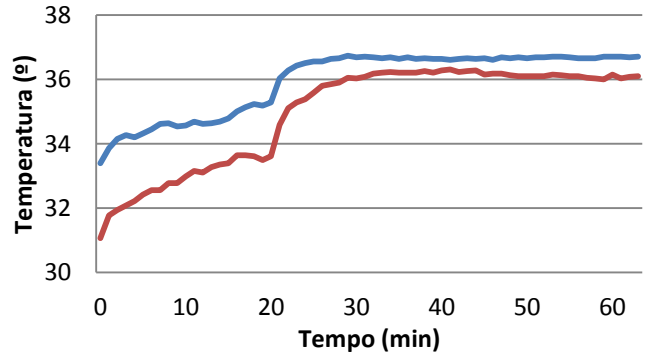


Figura 51. Evolução da temperatura da pele: voluntário VIII

Voluntário IX

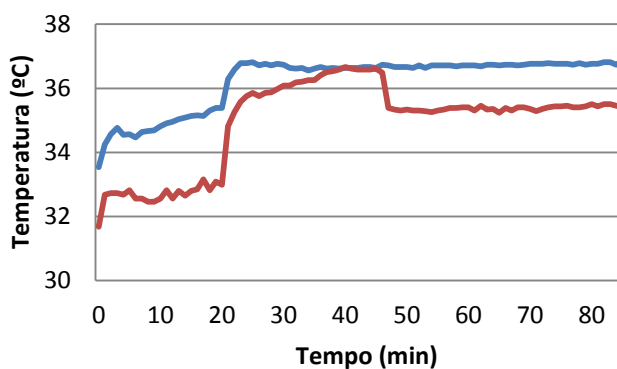


Figura 52. Evolução da temperatura da pele: voluntário IX

Voluntário X

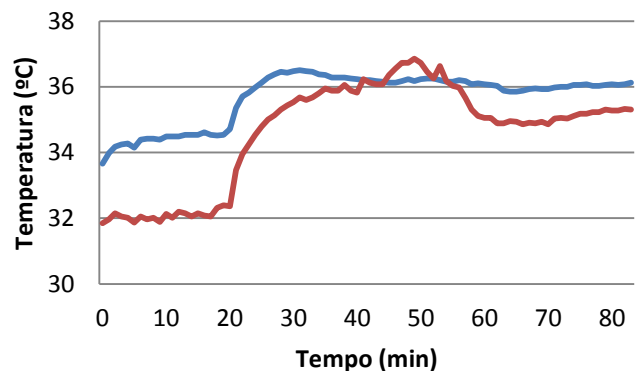


Figura 53. Evolução da temperatura da pele: voluntário X

➤ Monitorização da Temperatura da Interna dos voluntários:

A monitorização da temperatura interna dos voluntários permite salvaguardar a integridade dos mesmos para os ensaios que decorrem a 35°C e 80% de humidade relativa. Como se verifica pela análise de cada uma das monitorizações não houve situações em que a temperatura chega próxima dos 38,5°C (temperatura máxima admissível). A temperatura máxima atingida por um voluntário foi registada para o ensaio do voluntário V, com uma temperatura próxima de 37,5°C.

Ao contrário do que acontecia com a monitorização da temperatura da pele, quando o voluntário entra para a câmara climática (instante 20 min) não é notória uma elevação brusca da temperatura, pois os fenómenos externos ao organismo não são imediatamente repercutidos no equilíbrio interno do organismo. Há portanto uma elevação da temperatura interna gradual. Com o desenrolar do ensaio, com o aumento do tempo de exposição no interior da câmara climática, a temperatura interna e a temperatura da pele tendem a se aproximar atingindo no final valores com ordem de grandeza semelhantes, e sempre para temperaturas dentro dos limites da homeostasia.

As oscilações abruptas de temperatura que se verificam para alguns voluntários em alguns ensaios, como é o caso do voluntário I e voluntário VII podem-se ficar a dever a movimentos bruscos inadvertidos dos voluntários ou a problemas de sincronização da cápsula ingerida com o cinto “equivital”

Relativamente ao voluntário IX não é apresentado a monitorização efetuada no seu ensaio uma vez que ocorreram problemas com a salvaguarda dos dados.

Contudo para este ensaio, também não se registaram temperaturas elevadas que colocassem em causa a saúde do voluntário, uma vez é possível monitorizar a temperatura interna em tempo real com o desenrolar do ensaio.

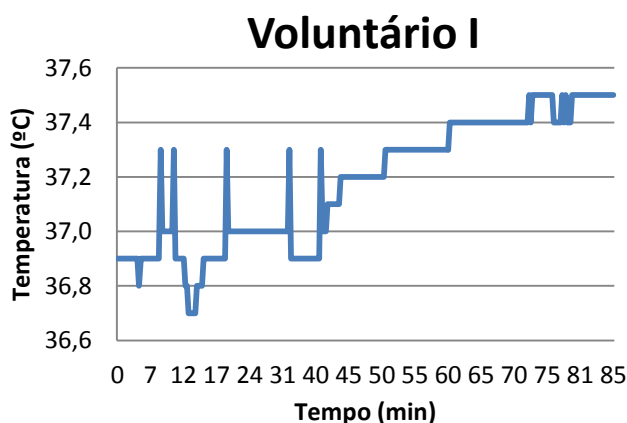


Figura 530. Evolução da temperatura interna: voluntário I

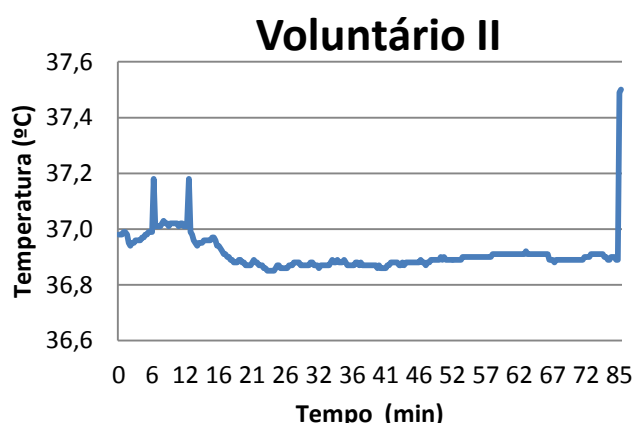


Figura 55. Evolução da temperatura interna: voluntário II

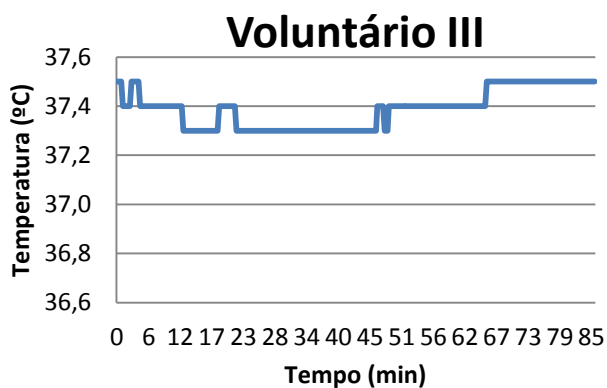


Figura 56. Evolução da temperatura interna: voluntário III

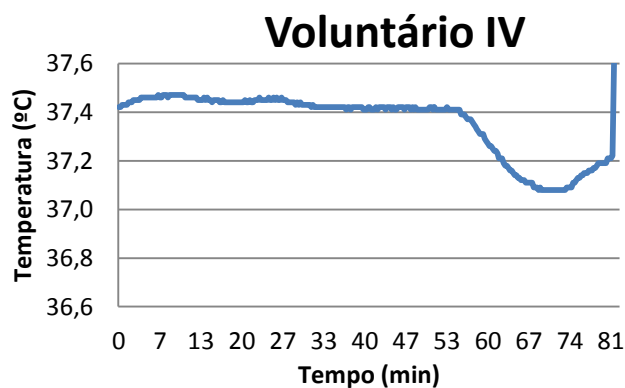


Figura 57. Evolução da temperatura interna: voluntário IV

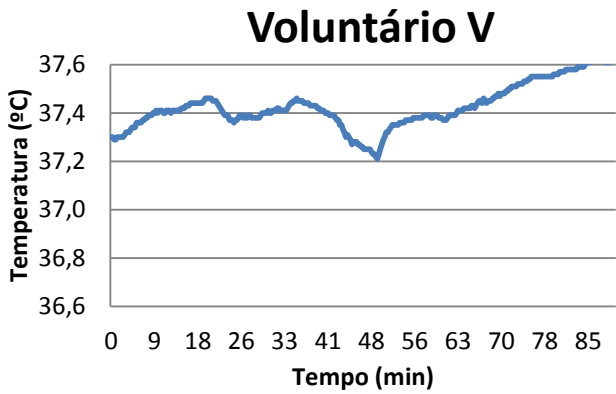


Figura 58. Evolução da temperatura interna: voluntário V

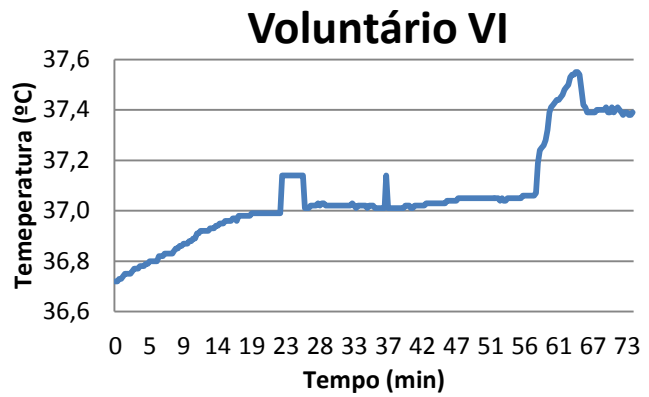


Figura 59. Evolução da temperatura interna: voluntário VI

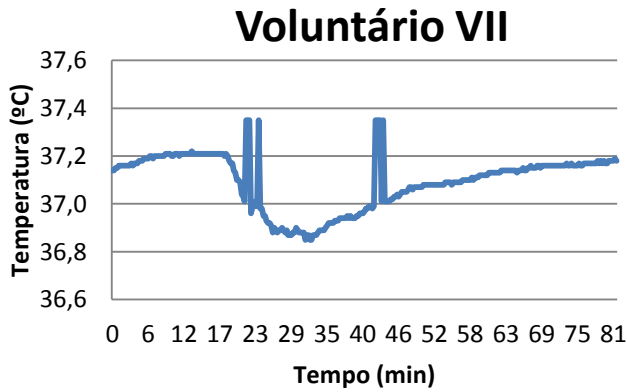


Figura 60. Evolução da temperatura interna: voluntário VII

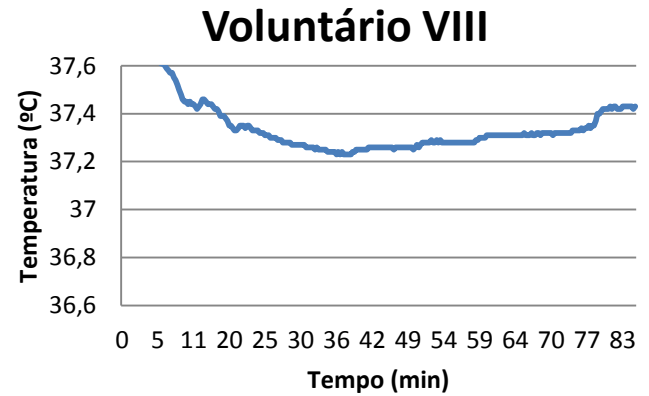


Figura 31. Evolução da temperatura interna: voluntário VIII

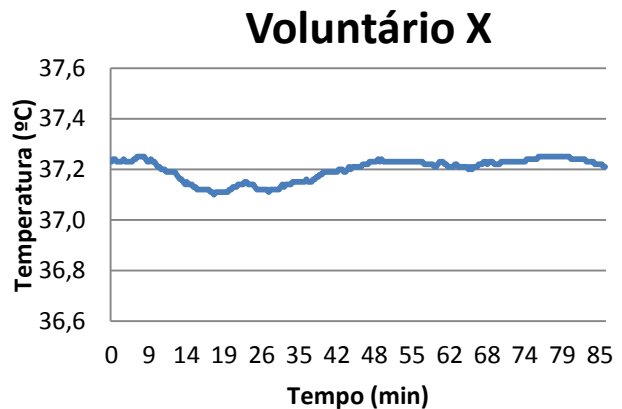


Figura 62. Evolução da temperatura interna: voluntário X

4.2.5 Monitorização da atividade cerebral para ondas do tipo Alfa

Ao contrário do que aconteceu anteriormente o registo da atividade cerebral não será apresentado de forma individual para cada um dos voluntários. Uma vez que se pretende avaliar como evolui essa mesma atividade para ambientes térmicos extremos ir-se-á apresentar como resultado uma

curva/função que é obtida a partir de uma regressão polinomial de 3º grau dos dados recolhidos. De entre todas as bandas de frequência dar-se-á natural relevância às ondas cerebrais *Alfa* e *Beta* recolhidas no lobo occipital, lobo diretamente relacionado com a interpretação/compreensão da informação visual (carga cognitiva). Nas figuras 63 e 64 encontram-se os resultados obtidos para a atividade Alfa no lado esquerdo do lobo occipital.

Da comparação entre as duas figuras (Figura 63 e Figura 64) verifica-se que o ambiente térmico onde os indivíduos estão inseridos influencia a atividade cerebral e em específico a atividade alfa. Para ambientes mais frios (18°C e 40% HR) a atividade alfa é muito superior à verificada para ambientes térmicos quentes (35°C e 80% HR).

Num estado de vigília em que se esteja concentrado (olhos abertos) normalmente a atividade alfa é diminuta. À medida que os indivíduos vão ficando fatigados a atividade alfa deverá aumentar. Contudo à medida que o tempo aumenta, no caso do ensaio a 35°C e 80% HR verifica-se um pequeno decréscimo na atividade alfa não se verificando a normal tendência esperada.

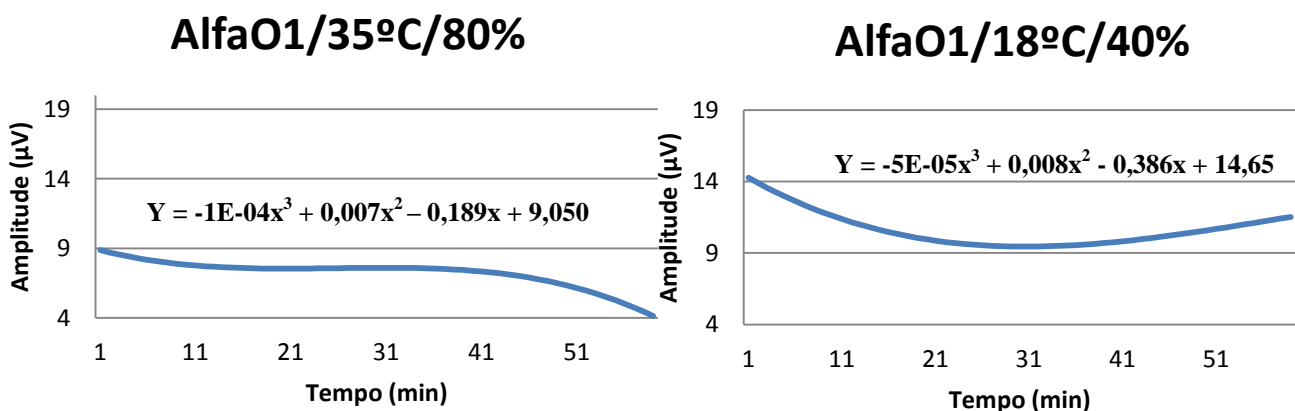


Figura 63. Atividade cerebral Alfa occipital 1 a 35°C e 80% Humidade

Figura 64. Atividade cerebral Alfa occipital 1 a 18°C e 40% Humidade

Para os ensaios a 18°C e 40% HR registou-se um decréscimo da atividade alfa sensivelmente até meio do ensaio (20-30 min) havendo nesse período retorno da tendência voltando a atividade alfa a aumentar até valores próximos dos iniciais. O aumento da atividade alfa deixa transparecer o aumento do cansaço/fadiga por parte dos voluntários. Quando se compara em termos numéricos a atividade alfa no lobo occipital 1 (35°C - 80% HR) com a atividade alfa na mesma zona a 18°C e 40% humidade relativa percebe-se que a atividade para o ambiente térmico frio é muito superior à registada para o ambiente térmico quente, o que poderá indicar que o ambiente em ambiente térmico frio é mais difícil manter a concentração durante uma tarefa cognitiva. Contudo esta tendência não se verifica na zona direita do lobo occipital, sendo que neste caso ambas as atividades têm valores numéricos dentro da mesma gama (Figura 65 e Figura 66).

Quando se compara a atividade alfa no lado esquerdo e direito do cérebro, em ambiente térmico quente, verifica-se que ambos seguem a mesma tendência, isto é, a atividade alfa diminui até sensivelmente a meio do ensaio acabando por estabilizar por um curto período temporal e seguidamente volta a ter tendência para diminuir (Figura 63 e Figura 65).

Outro fato relevante prende-se com a discrepância de atividade entre a zona direita e esquerda do cérebro para ambiente térmico quente. Na zona esquerda do cérebro (occipital 1) a gama de valores de atividade cifra-se entre os 4-9 μV enquanto que na zona direita (occipital 2) essa gama de valores eleva-se para 11-19 μV . Parece pois que em ambientes térmicos quentes a temperatura e humidade influência de forma diferente o lado esquerdo e direito do cérebro.

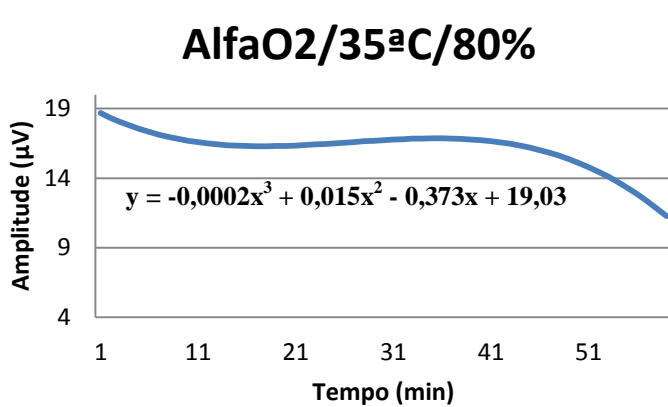


Figura 65. Atividade cerebral Alfa occipital 2 a 35°C e 80% Humidade

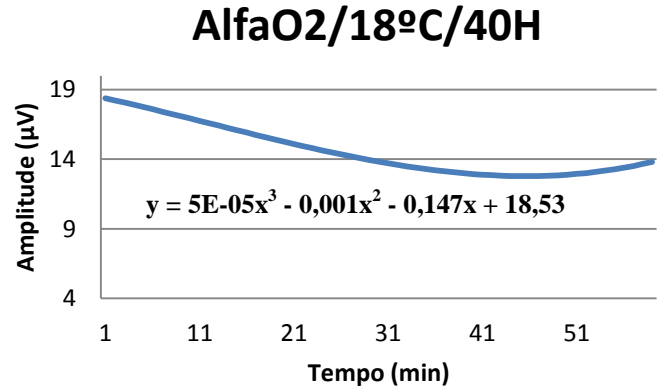


Figura 66. Atividade cerebral Alfa occipital 2 a 18°C e 40% Humidade

Relativamente ao ambiente térmico frio, também ambas as zonas do cérebro apresentam o mesmo comportamento, havendo decréscimo da atividade até meio do ensaio havendo seguidamente aumento da atividade, cuja tendência da função parece indicar que a atividade alfa deverá tender para os valores próximos da atividade registada no início dos ensaios.

4.2.6 Monitorização da atividade cerebral para ondas do tipo Beta

Nas Figuras seguintes, é possível verificar-se como o ambiente térmico influência a atividade para a banda de frequência Beta. A atividade Beta é considerada por diversos autores (Sheer, 1988, Lal *et al.* 2001) a que melhor transparece o estado de alerta/excitação.

Para ambientes térmicos mais frios a atividade Beta é normalmente superior, na maioria do tempo, à verificada para ambientes térmicos quentes.

Normalmente considera-se que o decréscimo da atividade Beta se encontra relacionada com a perda de capacidade de concentração (redução da vigilância), que naturalmente se pode vir a verificar ao longo do ensaio. Assim poder-se-á considerar que ambientes térmicos frios podem proporcionar maiores níveis de concentração/alerta do os ambientes quentes.

Para ambientes térmicos quentes (35°C e 80% HR) as Figuras 67 e 69 parecem sugerir que à medida que o ensaio se desenrola a concentração dos voluntários vai decrescendo havendo, portanto, acumulação de fadiga. É ainda possível verificar-se que a função que modela o fenómeno é bastante semelhante para ambos os lados do cérebro, isto é, a maneira como evolui a atividade Beta no lado esquerdo do cérebro (occipital 1) é semelhante ao verificado na zona occipital 2. A maior diferença entre estas duas zonas do cérebro reside na amplitude do sinal que denuncia a atividade, sendo que neste caso a atividade Beta na zona occipital 1 é sempre inferior à registada na zona occipital 2.

Relativamente ao ambiente térmico frio (18°C e 40% HR), os resultados indicam que até sensivelmente a meio do ensaio (30 min) o estado de alerta dos voluntários diminui havendo após este instante uma inversão de comportamento, registando-se um possível aumento da concentração, uma vez que a atividade beta aumenta. Este fato torna-se mais evidente na Figura 70, onde é mais notória a forma côncava que a função adquire.

Quando se compara a atividade entre o lado esquerdo com o lado direito do cérebro, verificamos, tal como aconteceu para o ambiente térmico quente, atividade na zona occipital 1 é inferior à verificada na zona occipital 2.

BetaO1/35°C/80%

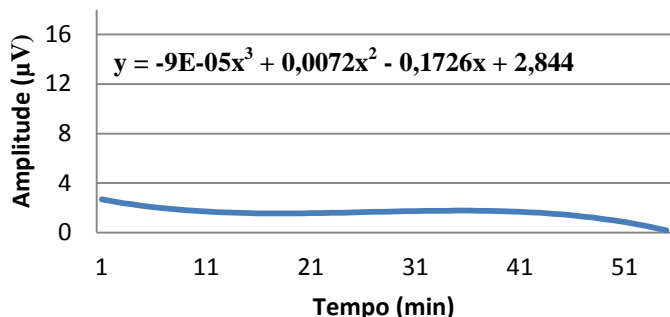


Figura 67. Atividade cerebral Beta occipital 1 a 35°C e 80% Humidade

BetaO1/18°C/40%

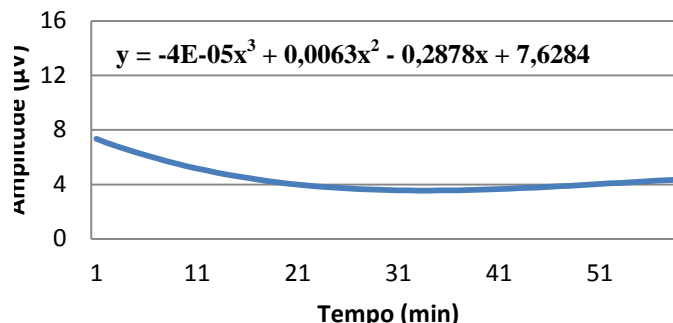


Figura 68. Atividade cerebral Beta occipital 1 a 18°C e 40% Humidade

BetaO2/35°C/80%

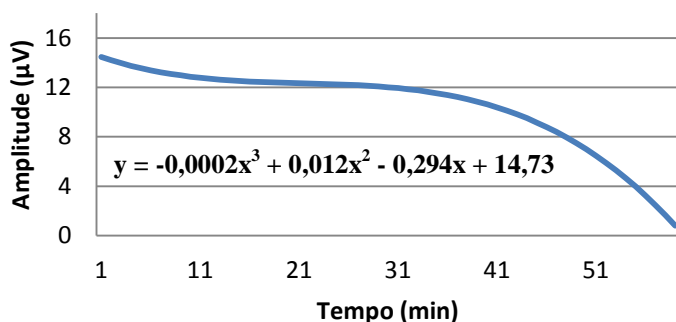


Figura 69. Atividade cerebral Beta occipital 2 a 35°C e 80% Humidade

BetaO2/18°C/40%

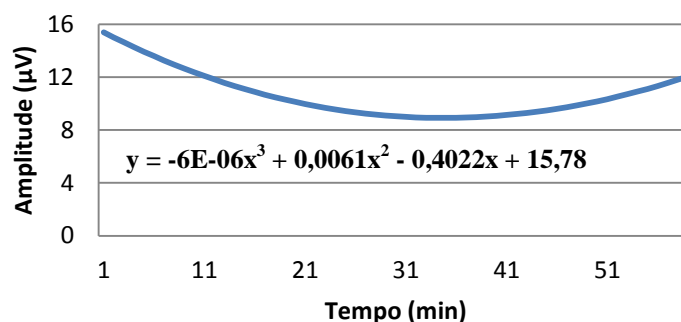


Figura 70. Atividade cerebral Beta occipital 2 a 18°C e 40% Humidade

4.2.7 Monitorização da atividade cerebral através do rácio Alfa/Beta

Depois de obtidos os dados da atividade cerebral para as duas bandas de frequência (alfa e beta) é possível criar o rácio alfa/beta. Este rácio ao relacionar as duas frequências mais relevantes facilitando a compreensão da evolução do estado cognitivo dos indivíduos.

Quando se faz a análise do rácio alfa/beta considera-se que a fadiga/cansaço aumenta à medida que o rácio tende a aumentar.

Teoricamente seria expetável que ao longo do tempo o cansaço venha a se apoderar dos voluntários havendo consequentemente tendência para que o rácio Alfa/Beta aumentar.

Contudo tal só se verifica para a zona occipital 2 em ambiente térmico quente (Figura 73) e muito tenuemente na parte final do ensaio em ambiente térmico frio e na zona occipital 1 (Figura 72).

A interpretação da atividade das ondas alfa e beta carece ainda de unanimidade científica, uma vez que é muito comum a existência de estudos que apresentam resultados e interpretações totalmente díspares.

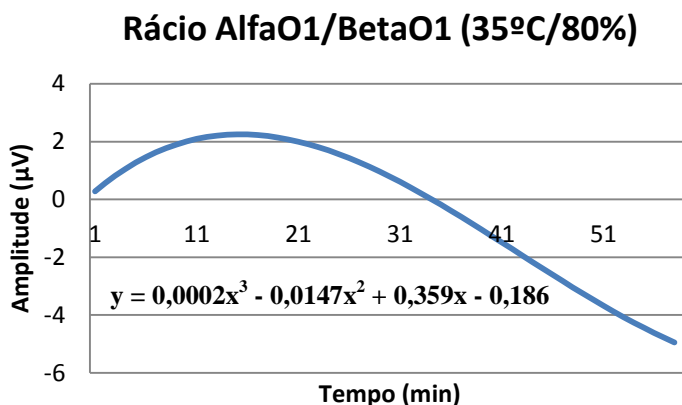


Figura 71. Rácio Alfa/Beta occipital 1 a 35°C e 80% Humidade

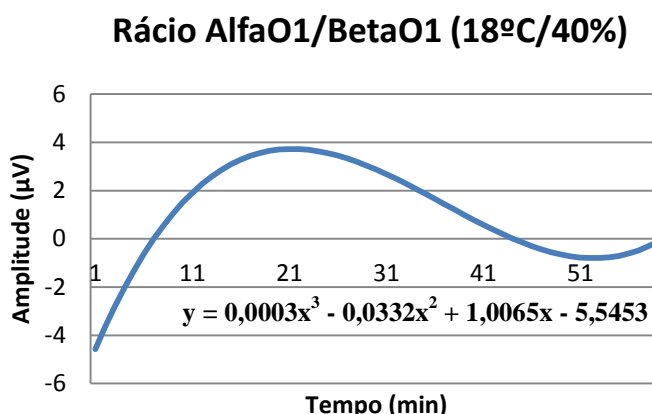


Figura 72. Rácio Alfa/Beta occipital 1 a 35°C e 80% Humidade

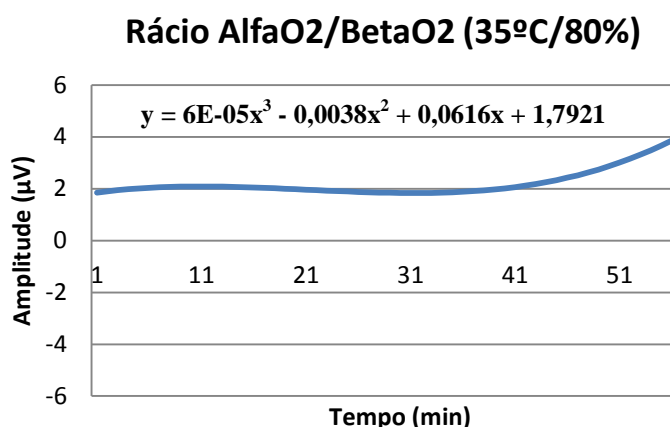


Figura 73. Rácio Alfa/Beta occipital 2 a 35°C e 80% Humidade

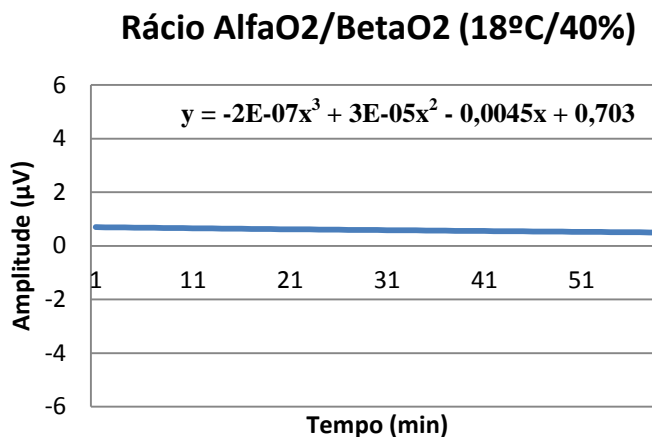


Figura 74. Rácio Alfa/Beta occipital 2 a 18°C e 40% Humidade

O aparecimento de valores negativos de amplitude nos rácios Alfa/Beta fica-se a dever à existência de valores negativos de amplitude no seio dos dados obtidos, sendo que a aproximação por regressão polinomial assume esses valores. Contudo nos gráficos anteriores, AlfaO1/O2 e Beta O1/O2 não se registaram valores negativos, pois o tratamento de dados a partir de regressão polinomial de terceiro grau mascarou tais valores. Os gráficos obtidos são construídos à custa da regressão polinomial.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo do presente trabalho passou por contribuir para a clarificação do comportamento da resposta humana a ambientes térmicos extremos. Esta resposta humana foi avaliada através da atividade cerebral para os diferentes ambientes térmicos. No fundo pretende-se saber como a estabilidade do sistema (organismo) é afetada por fatores externos.

Deste estudo foi possível determinar o comportamento das ondas alfa e beta para os diferentes ambientes térmicos, sendo assim possível avaliar como a atividade destas diferentes ondas evolui com o tempo durante a realização de uma tarefa. Segundo alguns estudos realizados por diversos autores, a saber, Torsvall e Akerstedt, 1987; Akerstedt & Gillberg, 1990; Kecklund & Akerstedt, 1993; Subasi, 2005; o aumento da atividade alfa é o indicador mais fiável para a fadiga. Durante o estado de alerta, isto é, olhos abertos, a atividade alfa é normalmente baixa, sendo a exceção indivíduos que estejam já cansados, verificando-se um aumento da atividade à medida que a fadiga vai aumentando. Contudo esta tendência não foi verificada em todos os cenários/ensaios, sendo que para o ambiente térmico quente não se verificou esta tendência (aumento da atividade alfa). Somente nos ensaios em ambiente térmico frio houve realmente aumento da atividade alfa (aumento da fadiga) ao longo do desenrolar da tarefa cognitiva.

Assim não se poderá afirmar que os resultados obtidos para os ensaios em ambiente térmico quente estejam errados, uma vez que a maioria dos autores desenvolveu os seus estudos à temperatura ambiente, desconhecendo-se até então as implicações que os ambientes térmicos extremos têm na atividade cerebral.

Relativamente à atividade beta, segundo o estudo de Belyavin & Wright, 1987, esta é considerada como o principal e mais útil indicador quando se pretende averiguar o estado de vigília sendo que uma redução na vigilância implica um forte decréscimo na atividade beta. Para Lal & Craig, 2001; Stern & Engel, 2005; consideram evidente que as ondas beta representam o estado de alerta de um indivíduo ou o seu nível de excitação, sendo que a atividade decai significativamente quando o nível de fadiga tende a aumentar.

No presente estudo verificou-se uma tendência de decréscimo da atividade beta para os ensaios que ocorreram em ambiente térmico quente, sendo mais significativo o decréscimo na zona occipital 2. Para os ensaios em ambiente térmico frio verificou-se que houve um decréscimo da atividade até sensivelmente meio do ensaio, havendo posteriormente aumento da atividade.

O cálculo dos rácios Alfa/Beta facilita a interpretação dos resultados, tornando-se óbvio que em ambientes térmicos extremos a evolução dos níveis de cansaço manifestam-se de forma diversa, sendo que as diferentes zonas do cérebro são afetadas de forma diferenciada ao longo do tempo quando sujeitas às mesmas condições ambientais. Portanto a atividade cerebral não evolui de igual modo e ao mesmo tempo para as diferentes zonas do cérebro (zona occipital 1 e zona occipital 2).

É ainda possível comparar-se os resultados obtidos com os resultados do estudo de E. Costa, 2014. Neste estudo foi avaliado a atividade cerebral para ambientes térmicos mais moderados, sendo interessante comparar os resultados relativos ao ambiente térmico 22°C e 40% de humidade relativa. Nesse estudo verificou-se que a atividade alfa na zona occipital 1 variava no intervalo 0-2 e na zona occipital 2 variava entre 4-6. Esta variação de atividade cerebral é bastante diminuta quando comparada com a atividade cerebral registada neste trabalho para ambiente térmico quente e ambiente térmico frio. Relativamente à atividade beta, no estudo de Costa, 2014, verificou-se que na zona occipital 1 a atividade cifra-se entre -4 e -2 e na zona occipital 2 encontra-se na gama de valores entre 0 e 3. Verifica-se novamente uma grande desfasamento entre as gamas anteriormente referidas e as encontradas neste estudo.

As disparidades verificadas devem-se principalmente às diferenças de ambiente térmico, sendo que para o ambiente de 22°C e 40% de humidade relativa a atividade cerebral é bastante diminuta.

Os ensaios em ambiente térmico quente e frio que se realizaram apesar de se desenvolverem segundo o mesmo procedimento experimental apresentam no final resultados que podem não ser expetáveis. Contudo é necessário perceber que existem fatores que podem camuflar os resultados como a tentativa de combater a fadiga por parte do voluntário, ou até mesmo o trautear de melodias ou o movimento com a cabeça.

A realização de uma tarefa cognitiva na forma de um “jogo” onde se exigia ao voluntário a seleção de uma dada letra sempre que ela aparecesse permitia por um lado estimular a atividade cerebral do voluntário e a sua carga cognitiva (recolha e interpretação da informação visual) bem como contabilizar-se o número de vezes em que o voluntário selecionou corretamente a letra pretendida. Contudo devido a problemas técnicos a contabilização das respostas “certas” não foi possível não se podendo assim avaliar de forma concreta a relação entre a atividade cerebral e a performance cognitiva dos voluntários.

A questão da performance cognitiva poderá facilitar a interpretação dos resultados e o estabelecimento da ligação entre a atividade cerebral e a carga cognitiva em ambientes térmicos extremos.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Com a realização do presente trabalho pretendeu-se contribuir para estabelecer a ligação entre a atividade cerebral e a carga cognitiva durante a realização de uma dada tarefa em ambientes térmicos extremos. Nesse sentido adoptou-se uma metodologia que visou a criação de ambientes térmicos extremos (35°C - 80% HR e 18°C e 40% HR) de forma artificial e onde diversos voluntários estiveram durante uma hora a completar uma tarefa pré-definida. Em simultâneo com o desenrolar da tarefa foi feita a monitorização da atividade cerebral através de EEG. A análise cerebral por EEG foi efetuada através de eléctrodos que são acoplados à cabeça dos voluntários e que registam a atividade cerebral nas diferentes zonas do cérebro.

Este procedimento experimental foi acompanhado de dois inquéritos que pretendiam avaliar a sensação térmica dos voluntários no início e no fim dos ensaios bem como determinar se os seus hábitos de vida poderiam em certa medida influenciar os resultados finais obtidos.

Para este trabalho optou-se por avaliar a atividade cerebral apenas para as ondas *Alfa* e *Beta*, uma vez que estas são as que melhor caracterizam o estado de concentração e fadiga dos indivíduos. A atividade cerebral destas ondas foi avaliada somente para o lobo occipital uma vez que é esta zona do cérebro a responsável pela integração e processamento da informação visual durante a realização da tarefa.

Os principais resultados do estudo são os seguintes:

- Hábitos de vida dos voluntários, como o consumo de café podem deturpar os resultados finais;
- Alguns movimentos mais bruscos e inadvertidos da cabeça dos voluntários e outras atitudes para resistir à fadiga criam interferências na atividade cerebral;
- Em todos os ensaios realizados em ambiente térmico quente não ocorreu sobrelevação em demasia da temperatura interna dos voluntários;
- Para o ambiente térmico quente a atividade alfa tende a decrescer ao longo do desenrolar da tarefa/ensaio, para ambas as zonas do lobo occipital, relativamente ao ambiente térmico frio.
- Para ambiente térmico frio a atividade alfa decresce até metade do tempo do ensaio (30min) voltando posteriormente a apresentar tendência para subir, para ambas as zonas do lobo occipital.
- A atividade beta para o ambiente térmico quente é bastante pequena no lado esquerdo do lobo occipital.
- A atividade beta para em ambiente térmico quente apresenta uma forma decrescente de atividade com o desenvolver da tarefa.
- Para o ambiente térmico frio a atividade beta decresce até sensivelmente meio do ensaio (30 min), tendendo a aumentar na parte final dos ensaios.
- Os resultados suportam a ideia de que as diferentes zonas do cérebro, neste caso occipital lado esquerdo e occipital lado direito, são afetados de maneira diferente apesar das condições ambientais serem iguais.
- A determinação do estado cognitivo dos voluntários é difícil de aferir, pois existem diversos estudos com interpretações contraditórias sobre a relação entre ondas *Alfa* e *Beta* com a carga cognitiva.
- A impossibilidade da recolha dos resultados relativamente à performance na tarefa cognitiva dificulta o estabelecimento entre atividade cerebral e sua evolução com a carga cognitiva.

6.2 Perspetivas Futuras

A determinação da relação entre atividade cerebral e a carga cognitiva em ambientes térmicos “moderados” tem sido objeto de estudo por diversos autores, sendo a maioria dos estudos realizados à temperatura ambiente. A realização deste trabalho e todos os outros que possam vir a ser realizados sobre condições ambientes térmicos extremos permitirá desenvolver uma linha de estudo, que até então não tem sido tida em consideração.

Será determinante em futuros trabalhos determinar a performance cognitiva dos voluntários nas tarefas que lhes são propostas permitindo assim uma comparação direta com a evolução da atividade cerebral. Poder-se-á então com base nos resultados obtidos interpretar de forma rápida o significado de uma dada tipologia de evolução da atividade cerebral, não se estando dependente das interpretações feitas noutros estudos.

Em futuros trabalhos poder-se-á também averiguar se o sexo tem influência na relação entre a carga cognitiva e a atividade cerebral.

Será também importante ter em conta a duração do ensaio, devendo-se ponderar a adopção de maiores períodos de ensaio, de forma a clarificar a tendência/evolução da atividade cerebral.

7 BIBLIOGRAFIA

[A]

Akerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52, 29–37.

Astrand, P., Rodahl, K., Dahl, H., Stromme, S., 2003. *Textbook of Work Physiology-Physiological Bases of Exercis*, USA, Human Kinetics.

Azer NZ, McNall PE, Leung HC. Effects of heat stress on performance. *Ergonomics* 1972; 15: 681–91.

[B]

Bell CR, Provins KA, Hiorns RW (1964) Visual and auditory vigilance during exposure to hot and humid conditions. *Ergonomics* 7:279–288

Belyavin, A., & Wright, N. A. (1987). Changes in electrical activity of the brain with vigilance. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66(2), 137–144.

Berka, C., Levendowski, D., Cvetinovic, M., “Real-time analysis of EEG indices of alertness, cognition, and memory with a wireless EEG headset”. *Int J Hum Comput Interact* 2004; 17:151–70.

Berka, C., Levendowski, D., Lumicao, M., YAU, A., Davis, G., Zivkovic, V., Olmstead, R., Tremoulet, P., Craven, P., “EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks”. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78(5, Suppl.):B231–44.

Blockley WV, Lyman JH. (1950) Studies of human tolerance for extreme heat: III. Mental performance under heat stress as indicated by addition and number checking tests, USAF Technical Report 6022, Ohio: Wright Paterson AFB.

Blockley WV, Lyman JH. (1951). Studies of human tolerance for extreme heat: IV. Psychomotor performance of pilots as indicated by a task simulating aircraft instrument flight. USAF Technical Report 6521, Ohio: Wright Paterson AFB.

[C]

Carig, A.D, (2005). Forebrain emotional asymmetry: a neuroanatomical basis? *Trends in Cognitive Science* 9 (12), 556-571.

Carvalhais, C., (2011), Contribuição para o Estudo da Tolerância Humana a Ambientes Térmicos Extremos: Ensaios de Validação da Câmara Climática”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Chiles WD. (1958) Effects of elevated temperature on performance of a complex mental task. *Ergonomics*; 2: 89–96.

Cinar, N. D. & Filiz, T. M. (2006). Neonatal thermoregulation. *Journal of Neonatal Nursing*, 12, 69-74.

Costa, E. Quelhas, Baptista, J.S., (2013), Thermal environment and cognitive performance: Parameters and equipment. *Occupational Safety and Hygiene – Arezes et al.* Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00047-6

Costa, E. Quelhas, Baptista, J.S., (2014), “Evolution of skin temperature at different temperature and humidity conditions” *Occupational Safety and Hygiene II – Arezes et al.* Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00144-2

Costa, E. Quelhas, Baptista, J.S., Tato, M.D., (2012), Effects of Thermal Environment on cognitive Response in Sedentary Activities. A revision. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

Costa, E. Quelhas, (2014), “Influência do Ambiente térmico na atividade cerebral em atividades sedentárias”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Costa, E. Quelhas, (2013). “Ambiente térmico”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Costa, E. Quelhas, (2013). “Contaminantes Químicos”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[E]

Epstein Y, Keren G, Moisseiev J, Gasko O, Yachin S. (1980). Psychomotor deterioration during exposure to heat. *Aviat Space Environ Med*; 51: 607–10.

[F]

Fisch, B. J. (2000). *Fisch and Spehlmann’s EEG primer: Basic principles of digital and analog EEG* (3rd ed.). USA: Elsevier.

Frisancho, A., (1995). “Human Adaptation and Accommodation Ann Arbor”, University of Michigan Press.

[G]

Gamboa, H. F. S., Fred, A. L. N., (2012), An Electrodermal Activity Psychophysiologic Model, Instiuto de Telecomunicações, Lisboa.

Ganong, William F., (2005). “Fisiologia médica”, The McGraw-Hill Companies.

Gaoua, N. (2010). Cognitive function in hot environments: a questiono f methodology. Research and Education Centre ASPETAR – Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar Corresponding author: Nadia Gaoua, Research and Education Centre, ASPETAR – Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar.. Scand J Med Sci Sports 2010;20(Suppl.3):60-70 doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01210.x

Gevins A, Smith ME, McEvoy L, Yu D. (1997). “High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice”. *Cerebral Cortex*; 7:374–85.

Goodman, D.A., Kenefick, R.W., Cadarette, B.S., & Chevront, S.N. (2009). Influence of sensor ingestion timing on consistency of temperature measures. *Med Sci Sports Exerc.* 41(3). 597-602. Doi: 10.1249/MSS.0b013c31818a0 oef.

Grandjean, E., (1988). *Fitting the Task to the Man*. Taylor and Francis, London.

Guedes, J., Diogo. M. T., Baptista., J. S. (2011). Conditioning Factors of Heat Tolerance. In: Arezes, P. B., J; Barroso, M.; Carneiro, P.; Cordeiro, P.; Costa, N.; Melo, R.; Miguel, A.S.; Perestrelo, G., ed. *International Symposion on Occupational Safety andHygiene, 2011* Guimaraes, Portugal.

Guedes, Joana C., Costa, Emília Q., Baptista, João S.,(2012), *EAT2012 Book of Proceedings – Appendix 1 of Thermology International 22/3*.

[H]

Hancock PA (1982). Task categorisation and the limits of human performance in extreme heat. *Aviat Space Environ Med* 53:778–784

Hancock PA (1986). Sustained attention under thermal stress. *Psychol Bull* 99:263–281

Hancock, P.A, VASMATZIDIS, I., (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *INT. J. HYPERTHERMIA VOL. 19, NO. 3*, pp. 355–372.

Havenith, G. (2005). Temperature regulation, heat balance and climatic stress. *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, 69-80 303.

Havenith, G., Coenen, J., Kistemaker, L., Kenney, W., (1998). "Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type". *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77,231-241.

[I]

Iampietro PF, Chiles WD, Higgins EA, Gibbons HL. (1969). Complex performance during exposure to high temperatures. *Aerospace Med*; 40: 1331–5.

Infoescola-Navegando e Aprendendo, "Lobos Cerebrais". Disponível em <http://www.infoescola.com/anatomia-humana/lobos-cerebrais/>. Acesso em 22/Fevereiro/2014

Inoue, Y. & Shibasaki, M. (1996). Regional differences in age-related decrements of the cutaneous vascular and sweating responses to passive heating. *Eur J Appl Physiol OccupPhysiol*, 74, 78-84.

Instituto da Hidratação e Saúde, (2012), A influência do consumo de álcool na hidratação, Lisboa.

[J]

Jessica Lipinski, "ONG apresenta lista das dez cidades mais poluídas do mundo". Disponível em <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/noticias5/noticia=734851>. Acesso em 18/Fevereiro/2014

Johnson, Robin R., Popovic, Djordje P., Olmstead, Richard E., Stikic, Maja, Levendowski, Daniel J., Berka, Chris. (2011). Drowsiness/alertness algorithm development and validation using synchronized EEG and cognitive performance to individualize a generalized model", *Biological Psychology* 87 241-250.

Justina, Hellen, (2005). "Variabilidade da actividade cerebral em resposta a estímulos vestibular e oculomotor avaliada por fMRI". Universidade de S.Paulo.

[K]

Karim, H.T., Fuhrman, S.I., Furman, J.M, Huppert, T.J, (2013), Neuroimaging to detect cortical projection of vestibular response to caloric stimulation in young and older adults using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS).

Kecklund, G., & Åkerstedt, T. (1993). Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. *Ergonomics*, 36(9), 1007–1017.

Klimesch, Wolfgang, (1999). "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews* 169-195.

[L]

Lal, S.K.L, Craig, A., (2001).” A critical review of the psychophysiology of driver fatigue”, University of Technology, Health Science, Floor 14, Broadway, Biological Psychology 55, 173–194.

Lourenço, Ana, “Cérebro – Lobo Parietal”. Disponível em http://cerebro2.com.sapo.pt/index_ficheiros/Page821.html. Acesso em 22/Fevereiro/2014

[M]

Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental Fatigue impairs physical performance in humans, *Journal of applied Physiology*, 106 (3), 857-864, doi:10.1152/jappphysiol.91324.2008.

Mclellan, T. M. (1998). Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 28-37.

[N]

Nunneley SA, Dowd PJ, Myhre LG, Stribley RF, McNee RC (1979). Tracking-task performance during heat stress simulating cockpit conditions in high-performance aircraft. *Ergonomics* 22:549–555.

Nunneley SA, Dowd PJ, Myhre LG, Stribley RF, McNee RC. (1979). Tracking-task performance during heat stress simulating cockpit conditions in high-performance aircraft. *Ergonomics*; 22: 549–55.

Nunneley SA, Reader DC, Maldonado RJ (1982) Head-temperature effects on physiology, comfort and performance during hyperthermia. *Aviat Space Environ Med* 53:623–628.

[O]

O`Neal, E.K. e P. Bishop. (2010). Effects of work in a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 40, pp. 77-81.

O`Neal, E.K. e P.Bishop. (2010). Effects of work in a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 40, 2010, pp. 77-81.

[P]

P. A. Hancock, Jennifer M. Ross, and James L. Szalma. (2007). A Meta-Analysis of Performance Response Under Thermal Stressors. University of Central Florida, Orlando, Florida, Vol. 49, No. 5, October 2007, pp. 851–877. DOI: 10.1518/001872007X230226.DOI:10.1518/001872007X230226. Copyright © Fatores Humanos e Ergonomic Society.

Pandolf, K. B. (1979). Effects of physical training and cardiorespiratory physical fitness on exercise-heat tolerance: recent observations. *Med Sci Sports*, 11, 60-5.

Pandolf, K. B. (1997). Aging and human heat tolerance. *Experimental Aging Research*, 23, 69-105.

Pepler RD. Extreme warmth and sensorimotor coordination. *J App Physiol* (1959); 14: 383–6.

Pilcher JJ, Nadler E, Busch C (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics* 45:682–98.

Plowman, S., Smith, D., (2003). *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*, Second Edition, Daryl Fox.

Plowman, S., SMITH, D., (2003). *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*, Second Edition, Daryl Fox.

[R]

Ramsey JD, Dayal D, Ghahramani B. Heat stress limits for the sedentary worker. (1975). *Am IndHyg Ass J*; 36: 259–65.

Ramsey JD, Kwon G. Recommended alert limits for perceptual motor loss in hot environments. (1992). *Int J Ind Ergon*; 9: 245–57.

Ramsey JD, Morrissey SJ. (1978) Isodecrement curves for task performance in hot environments. *ApplErgon*; 9: 66–72.

Rebecca B. Price, Greg J. Siegle, Jennifer S. Silk, Cecile Ladouceur, Ashley McFarland, Ronald E. Dahl, Neal D. Ryan, (2013). Sustained neural alterations in anxious youth performing an attentional bias task: a pupilometry.

Ribeiro, G., Rodrigues, L., Moreira, M., Pascoa, M., Camargos, F., (2004). Thermoregulation in hypertensive men exercising in the heat with water ingestion. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37, 409-417.

[S]

Sawka, M., Burke, L., Eichner, E., Maughan, R., Montain, S., Stachenfeld, N., (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 377-90.

Seeley, Rod R., Stephens, Trent D., Tate, Philip, (2003). "Anatomia & Fisiologia", McGraw-Hill Higher Education.

Sheer, D.E., (1988). *A Working Cognitive Model of Attention to Fit in the Brain and in the Clinic*. Academic Press, New York.

Silva, Amparo D., Gramaxo, Fernada, Santos, Maria E., Mesquita, Almira F., (2007). "Terra, Universo de Vida", Porto Editora, Porto.

Silva, Amparo D., Mesquita, Almira F., Gramaxo, Fernada, Santos, Maria E., Baldaia, Ludovina, Félix, José, (2013). "Terra, Universo de Vida", Porto Editora, Porto.

Simmons, Shona E., Saxby, Brian K., McGlone, Francis P., Jones, David A. (2008). The effect of passive heating and head cooling on perception, cardiovascular function and cognitive performance in the heat. *Eur J Appl Physiol* 104:271–280.

Sterman MB, Mann CA, Kaiser DA. "Quantitative EEG patterns of differential in-flight workload". *Space Operations, Applications, and Research Proceedings*. 1992 June 25. Sepulveda VA Medical Center: NASA Conference Publication; 1992; 466-73.

Stern, J. M., & Engel, J. (2005). *Atlas of EEG patterns*. USA: Lippincott Williams & Wilkins.
Subasi, A. (2005). Automatic recognition of alertness level from EEG by using neural network and wavelet coefficients. *Expert Systems with Applications*, 28(4), 701–711.

[T]

Tanaka, M., Shigihara, Y., Ishii, A., Funakura, M., Kanai, E., Watanabe, Y. 2012. *Behavioral and Brain Functions*, 8:48.

Taylor CL. (1948). *Committee on Aviation Medicine, Interim Report*, NRC, Washington DC.
Vilhena, E., (2003), "Análise Quantitativa dos Potenciais Cerebrais ERP300 em Adultos-Jovens", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

[Y]

Y. Yao, Z. Lian, W. Liu, C. Jiang, Y. Liu, H. Lu, (2009). "Heart rate variation and electroencephalograph – the potential physiological factors for thermal comfort study". *Indoor Air*; 19: 93–101.

ANEXO I - Declaração de Consentimento Informado



Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais

Projeto de Investigação

ANEXO1- Atividades a Desenvolver.

No âmbito do DemSSO - Doutoramento em Segurança e Saúde Ocupacional, vai realizar-se um projecto de investigação subordinado ao tema: **"Influência do Ambiente Térmico na Resposta Cognitiva em Atividades Sedentárias"**. Este projecto vai ser conduzido por uma equipa de investigação pertencente às Faculdades de Engenharia (FEUP), Medicina (FMUP) e Psicologia (FPCEUP) da Universidade do Porto, no âmbito do Programa Doutoral de Segurança e Saúde Ocupacionais.

O estudo será levado a cabo numa câmara com controlo climático localizada no laboratório F403, no 4º Piso do Edifício F da FEUP. Este laboratório está integrado na Unidade de Investigação de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA) / LABIOMEP / CIGAR.

As atividades a desenvolver constam de:

- 1) Participação em ensaios em ambiente controlado, em tarefas sedentárias a temperaturas entre 16º e 40ºC e humidades relativas entre 30% e 90%.
- 2) Medição de parâmetros fisiológicos e cognitivos.

2.1 Parâmetros Fisiológicos:

- a. Metabolismo, para medição do consumo de oxigénio, através de um espirómetro;
- b. Temperatura da pele, para determinar a termorregulação, através de sensores;
- c. Temperatura interna, para determinar a temperatura gastrointestinal, através de STI -sensores térmicos ingeríveis (anexo 2);
- d. Taxa de Sudação, percentagem de perda de água corporal, através de balança;
- e. Atividade eletrodermal, indicador do estado de emoção, através de EDA;
- f. Atividade elétrica, avalia o esforço mental, através de um EMG;
- g. Sinais cardiovasculares, avalia a frequência e ritmo cardíaco, medido através de um ECG (electrocardiograma);
- h. Alterações da atividade cerebral, avalia o esforço mental, através de EEG (electroencefalograma);
- i. Alterações da atividade ocular, avalia o movimento ocular, através de EOG (electrooculograma);

2.2 Parâmetros cognitivos:

- a. Fadiga
- b. Velocidade de reacção
- c. Bateria de testes cognitivos permitindo avaliar:
 - i. Aprendizagem e Memória Visual,
 - ii. Percepção,
 - iii. Raciocínio,
 - iv. Estado de Alerta.

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654
Telefone: +351 22 508 14 00 Fax: +351 22 508 14 40
URL: <http://www.fe.up.pt> Correo Electrónico: feup@fe.up.pt

Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais**Anexo 2 - Características das Cápsulas**

Os sensores térmicos ingeríveis consistem numa cápsula revestida de plástico médico que após ingerida viaja ao longo do aparelho digestivo, saindo naturalmente dentro de 12 a 48 horas, variando de indivíduo para indivíduo e da dieta.

O plástico da cápsula é de um material biocompatível grau alimentar similar a um dispositivo existente comercialmente disponível com o nome de (Given Imaging M2A Capsule, FDA 510 (k) número K010312 clearance).

De acordo com informação disponível do fornecedor, foi escolhido um policarbonato grau alimentar de acordo com a norma ISO 10993-1 para uso humano com o tempo de contacto do tecido humano de 30 dias ou menos de acordo com American National Standards Institute / NSF International (Ann Arbor, MI) ANSI / NSF 51 para equipamentos para produtos alimentícios na faixa de temperatura de -40 ° F a 212 ° F. (informação cedida por Hidalgo - Vital Sense).

O Sensor Térmico Ingerível, tem o tamanho de uma cápsula como a de um medicamento (8,7 mm de diâmetro x 23 mm de comprimento e peso igual a 1,6 gramas) que se engole com água e começa a transmitir, de 15 em 15 segundos, um minuto depois da activação feita pelo monitor externo.

Anexo 3 - Critérios de Exclusão de Voluntários

As cápsulas térmicas ingeríveis não serão usadas em voluntários com:

História de dificuldade de engolir alimentos ou comprimidos grandes.

Doença cardiovascular.

Qualquer doença conhecida ou suspeita obstrutiva do trato gastrointestinal, incluindo mas não limitado a:

- Estenose de esófago;
- Diverticulose e doença inflamatória intestinal (DII);
- Úlcera péptica, doença de Crohn;
- Colite ulcerativa;
- Anterior cirurgia gastrointestinal.

Além disso, indivíduos que sofrem de alcoolismo, diabetes mellitus e hipertensão não controlada serão excluídos.

Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais

Declaração de Consentimento Informado

(Baseado no anexo A da ISSO 12894:2001)

Nome. Género: M F Data de nascimento: Médico assistente Morada

Declaro para os devidos efeitos que:

- 1) Estou disposto a participar como voluntário, num estudo experimental subordinado ao tema: **"Influência do Ambiente Térmico na Resposta Cognitiva em Atividades Sedentárias"** a ser conduzido por uma equipa de investigação na Faculdade de Engenharia (FEUP); Faculdade de Medicina (FMUP) e Faculdade de Psicologia (FPCEUP) da Universidade do Porto, no âmbito do Programa Doutoral de Segurança e Saúde Ocupacionais, nas instalações da Faculdade de Engenharia.
- 2) Recebi uma explicação sobre a natureza e a finalidade deste estudo e de quaisquer riscos para a minha saúde que estão previstos e que podem ser:
 - a) Aumento da temperatura interna e da temperatura da pele durante o ensaio;
 - b) Aumento do batimento cardíaco durante o ensaio;
 - c) Eventual dificuldade para deglutir a cápsula,
 - d) Outro qualquer sintoma de stresse por calor que apareça durante o ensaio, como, por exemplo, dores de cabeça, náuseas ou vertigens, deve ser imediatamente comunicado e o ensaio suspenso.
- 3) Concordo em fornecer informações precisas sobre a minha saúde e ser submetido exame médico, se tal for necessário. Concordo que o meu médico de família forneça informações sobre o meu histórico médico para o médico independente autorizado para o estudo. Entendo que todas as informações sobre a minha saúde serão tratadas em sigilo.
- 4) Li os anexos 1, 2 e 3 referentes ao detalhe das actividades a desenvolver, às características das cápsulas e ao critério de exclusão de voluntários, respetivamente.
- 5) Concordo em cooperar plenamente com os investigadores e não tomar qualquer atitude voluntária que possa invalidar os resultados.
- 6) Durante o curso das investigações a que estou agora a dar o meu consentimento, comprometo-me a não participar, como voluntário, em qualquer outro estudo, sem informar previamente os investigadores e obter a sua aprovação.
- 7) Eu sei que sou livre para retirar o meu consentimento de participação no estudo a qualquer momento, sem necessidade de dar uma explicação para a minha decisão.
- 8) Autorizo expressamente que os dados obtidos na minha pessoa sejam utilizados para a produção de artigos técnicos e científicos, sendo garantido sigilo sobre a minha identidade.

Assinatura.....

Data.....

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

Declaração do pesquisador.

No âmbito do estudo descrito acima, expliquei ao Senhor _____, a natureza e a finalidade do estudo e de eventuais riscos de participação no mesmo. Mais, expliquei que a decisão dos voluntários não afecta o direito à indemnização em caso de doença ou lesão, incluindo riscos que possam ocorrer, ainda que não previstos.

Assinatura

Data

ANEXO II – Inquérito Conforto Térmico

Ensaio Piloto

Questionário de Sensação Térmica

REV001

U. PORTO

Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais Protocolo de Ensaio

A preencher pela Equip. Investi.
Ensaio n°

Nome:

Data de Nascimento:

Por Favor responda às seguintes perguntas relativamente ao seu Conforto Térmico no início do ensaio e no final do ensaio.

Início do Ensaio

1. Indique com um X na escala como se sentiu no momento de entrar na câmara.

Data

Sensação

Quente
Morno
Ligeiramente Morno
Neutro
Ligeiramente Fresco
Fresco
Frio

2. Como gostaria de estar agora? Assinale a sua resposta com um X

Mais Quente	Neutro	Mais Frio

3. Se sentiu algum dos sintomas abaixo mencionados assinale com um X

Sonolência	
Enjoo	
Vómitos	
Tonturas	
Calafrios	
Ansiedade	
Cansaço	
Apatia	
Perda de Coordenação Motora	
Outro, Qual?	
Nenhum	

U. PORTO**Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais
Protocolo de Ensaio**A preencher pela Equip. Investi
Ensaio nº

Nome:

Data de Nascimento:

Por Favor responda às seguintes perguntas relativamente ao seu Conforto Térmico no início do ensaio e no final do ensaio.

Fim do Ensaio

1. Indique com um X na escala como se sentiu no momento de sair da câmara.

Data

Sensação

Quente
Morno
Ligeiramente Morno
Neutro
Ligeiramente Fresco
Fresco
Frio

2. Como gostaria de estar agora? Assinale a sua resposta com um X

Mais Quente	Neutro	Mais Frio

3. Se sentiu algum dos sintomas abaixo mencionados assinale com um X

Sonolência	
Enjoo	
Vómitos	
Tonturas	
Calafrios	
Ansiedade	
Cansaço	
Apatia	
Perda de Coordenação Motora	
Outro, Qual?	
Nenhum	

ANEXO III – Respostas dadas ao Inquérito Conforto Térmico

Voluntário	Início					
	Quente			Frio		
	I	II	III	I	II	III
1	Quente	Neutro	Nenhum	Lig.Morno	Mais Quente	Nenhum
2	Quente	Mais Frio	Nenhum	Fresco	Mais Quente	Cansaço
3	Quente	Mais Frio	Nenhum	Lig. Fresco	Mais Quente	Nenhum
4	Quente	Neutro	Nenhum	Fresco	Mais Quente	Nenhum
5	Quente	Mais Frio	Sonolência	Lig.Fresco	Mais Quente	Nenhum
6	Quente	Mais Frio	Nenhum	Fresco	Neutro	Nenhum
7	Quente	Mais Frio	Nenhum	Lig.Fresco	Neutro	Nenhum
8	Quente	Mais Frio	Sonolência	Neutro	Neutro	Sonolência
9	Morno	Mais Frio	Nenhum	Lig.Fresco	Mais Quente	Nenhum
10	Quente	Mais Frio	Falta de ar	Frio	Mais Quente	Nenhum

Voluntário	Fimo					
	Quente			Frio		
	I	II	III	I	II	III
1	Quente	Mais Frio	Nenhum	Lig.Morno	Mais Quente	Nenhum
2	Morno	Mais Frio	Nenhum	Fresco	Mais Quente	Perda coord.
3	Quente	Mais Frio	Cansaço	Frio	Mais Quente	Nenhum
4	Quente	Mais Frio	Sonolência	Frio	Mais Quente	Cansaço
5	Quente	Neutro	Sonolência	Fresco	Mais Quente	Sonolência
6	Quente	Mais Frio	Cansaço	Frio	Mais Quente	Calafrios
7	Quente	Mais Frio	Sonolência	Frio	Mais Quente	Calafrios
8	Quente	Mais Frio	Nenhum	Frio	Mais Quente	Sonolência
9	Quente	Mais Frio	Cansaço	Fresco	Mais Quente	Sonolência
10	Quente	Mais Frio	Sonolência	Frio	Mais Quente	Calafrios