

**Análise do Sinal Eletroencefalográfico e dos
Índices de Conforto Térmico: Caso Prático
Versão Final Após Defesa**

Ana Catarina Silva Marques

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Bioengenharia
(2º ciclo de estudos ou mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luís Carlos Carvalho Pires
Coorientador: Prof. Doutora Ana Isabel Antunes Dias Rodrigues Gouveia

maio de 2021

Folha em branco

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais não se teria tornado possível e os quais estou eternamente grata.

Ao orientador desta dissertação, Professor Doutor Luís Carlos Carvalho Pires, bem como ao Coorientador, Professora Doutora Ana Isabel Antunes Dias Rodrigues Gouveia, pela elevada disponibilidade, sugestões, opiniões, críticas, apoio, incentivo e pelo esclarecimento de dúvidas que iam surgindo ao longo da realização do presente estudo e um agradecimento ao Professor Doutor Hugo Alexandre Ferreira da Universidade de Lisboa. Obrigada pela forma agradável e profissional com que sempre me trataram e pela partilha de informação valiosa e dos conhecimentos valiosos que tornaram esta caminhada muito mais enriquecedora e educativa.

Um agradecimento especial a todos os amigos e colegas que de uma forma ou de outra, com incentivos e outro tipo de ações e atitudes para com a minha pessoa, contribuíram na elaboração da presente dissertação.

Por fim, um agradecimento com um sentido mais especial, aos meus pais e avós pelo seu apoio incondicional, carinho, amizade e paciência demonstrados ao longo da realização deste estudo.

Folha em branco

Resumo

O conforto térmico é definido como uma condição mental que expressa a satisfação com as condições térmicas e que é avaliada de forma subjetiva pelo indivíduo. A sensação de conforto térmico depende de alguns parâmetros como a temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade relativa. No entanto, quando estes parâmetros atingem valores extremos para o ser humano podem acarretar problemas fisiológicos, torna-se assim pertinente avaliar de que forma é que o conforto térmico influencia o sinal eletroencefalográfico (EEG), a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca (VFC).

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar e relacionar a resposta eletroencefalográfica, a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), e os índices de conforto térmico, nomeadamente o índice PMV (*Predicted Mean Vote*), PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) e WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), assim como analisar as respostas fisiológicas à aclimação. Desta forma, adotou-se uma metodologia de ensaio que consistiu na realização de duas sessões com ambientes térmicos diferentes, uma com um ambiente quente e outra com um ambiente confortável, que contaram com a participação de cinco voluntários.

Os resultados do presente estudo indicam que as condições térmicas, caracterizadas através dos índices de conforto térmico calculados neste estudo, como sejam os índices de PMV, PPD e WBGT, tiveram alguma influência na amplitude do EEG, na frequência cardíaca e na VFC. Verificou-se que amplitudes mais elevadas das ondas *Alfa*, *Beta* e *Gama*, e das métricas cognitivas *Engagement* e *Attention Control* foram predominantes na sessão em que os índices de conforto térmico indicavam um ambiente térmico confortável. O mesmo aconteceu com a variabilidade da frequência cardíaca. No que diz respeito à amplitude da onda *Delta*, e à frequência cardíaca, estas apresentaram valores superiores quando os índices de PMV, PPD e WBGT indicaram desconforto, correspondendo, neste caso, a um ambiente quente. Em relação à atividade da onda *Teta* e da métrica cognitiva *Mental Attentiveness*, não se conseguiu observar uma relação com os índices de conforto térmico. Quanto à aclimação, confirmou-se que foi diferente nos dois ambientes e a resposta à aclimação foi mais oscilatória no ambiente confortável.

Espera-se assim, que este projeto, possa contribuir para o conhecimento e compreensão do tema em estudo, e ainda incentivar a continuação de trabalhos nesta área.

Palavras-chave

Conforto Térmico, PMV, PPD, WBGT, EEG, Frequência Cardíaca, VFC, Aclimação

Folha em branco

Abstract

Thermal comfort is defined as a mental condition that expresses satisfaction with thermal conditions and that is assessed subjectively by the individual. The sensation of thermal comfort depends on some parameters such as air temperature, average radiant temperature, air speed and relative humidity, however when these parameters reach extreme values for humans, they can cause physiological problems, therefore the evaluation of how thermal comfort influences the electroencephalographic signal being pertinent (EEG).

Consequently, the present study aims to compare the electroencephalographic response, heart rate and heart rate variability with the thermal comfort indexes, namely the PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) and WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index and observe the physiological responses to acclimatization. Thus, a test methodology was adopted that consisted of recreating two sessions with different thermal environments, one with a warm environment and another with a comfortable environment, with the participation of five volunteers.

The results of the present study suggest the thermal comfort markers under study, such as the PMV, PPD and WBGT indices, have an influence on the amplitude of the EEG, heart rate and heart rate variability. It was found that higher amplitudes of the Alpha, Beta and Gamma wave, and of the cognitive metrics Engagement and Attention Control were predominant in the session in which the thermal comfort indexes indicated a comfortable thermal environment. The same happened with heart rate variability. Regarding the Delta amplitude and the heart rate, these showed higher values when the PMV, PPD and WBGT indices indicated discomfort, corresponding, in this case, to a warm environment. Regarding the activity of the *Theta* wave and the cognitive metric *Mental Attentiveness*, it was not possible to observe a relationship with the thermal comfort index. It was concluded that the response to acclimatization was more oscillatory in the comfortable environment.

Thus, it is hoped that this project can contribute to another step in the knowledge and understanding of the subject under study and encourage the continuation of work in this area.

Keywords

Thermal Comfort, PMV, PPD, WBGT, EEG, Heart Rate, Heart Rate Variability, Acclimatization

Folha em branco

Índice

Resumo.....	vi
Lista de Figuras.....	xiv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Equações	xx
Nomenclatura	xxii
Acrónimos/Siglas.....	xxiv
1. Introdução	1
1.1. Perspetiva geral.....	1
1.2. O problema em estudo e sua relevância.....	2
1.3. Fundamentos teóricos	3
1.3.1. Conforto térmico.....	3
1.3.2. Fatores ambientais que afetam o conforto térmico.....	4
1.3.2.1. Temperatura do ar	4
1.3.2.2. Temperatura média radiante.....	4
1.3.2.3. Velocidade do ar	5
1.3.2.4. Humidade relativa.....	5
1.3.3. Fatores pessoais que afetam o conforto térmico	6
1.3.3.1. Taxa de metabolismo	6
1.3.3.2. Isolamento do vestuário.....	6
1.3.4. Sistema termorregulador.....	8
1.3.4.1. Balanço térmico	9
1.3.4.1.1. Transferência de calor por convecção	9
1.3.4.1.2. Transferência de calor por condução	10
1.3.4.1.3. Transferência de calor por radiação	10
1.3.4.1.4. Transferência de calor por evaporação	10
1.3.5. Avaliação do conforto térmico	11
1.3.5.1. Índice PMV e PPD.....	11
1.3.5.2. Índice WBGT	13
1.3.5.3. Índice <i>TU</i>	14
1.3.5.4. Índice WCI.....	15

1.3.6. Eletroencefalograma	15
1.3.6.1. Sistema nervoso	15
1.3.6.2. Cérebro e seus hemisférios	16
1.3.6.3. O neurónio e o impulso nervoso.....	16
1.3.6.4. Sinal Eletroencefalográfico (EEG).....	18
1.3.6.5. Gamas de Frequência	18
1.3.6.5.1. Atividade <i>Delta</i>	19
1.3.6.5.2. Atividade <i>Teta</i>	19
1.3.6.5.3. Atividade <i>Alfa</i>	19
1.3.6.5.4. Atividade <i>Beta</i>	20
1.3.6.5.5. Atividade <i>Gama</i>	20
1.3.7. Fotopletismografia	21
1.3.7.1. Frequência cardíaca	21
1.3.7.2. Variabilidade da frequência cardíaca	22
1.4. Revisão bibliográfica.....	22
1.4.1. Observações fisiológicas no Ser Humano em diferentes condições ambientais	23
1.4.2. Alterações da temperatura da pele em diferentes condições ambientais	24
1.4.3. Efeitos da temperatura ambiente na pressão arterial e na frequência cardíaca.....	25
1.4.4. Respostas da atividade cerebral a diferentes condições de temperatura.....	26
1.5. Objetivos e contribuição da dissertação.....	29
1.6. Visão geral e organização da dissertação	29
2. Materiais e métodos	31
2.1. Equipamentos utilizados	31
2.1.2. DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1.....	31
2.2.2. BrainBIT – BITalino	34
2.2.3. Sensor de PPG.....	36
2.3. Questionários.....	36
2.4. Procedimento experimental.....	37
2.4.1. Medições	37
3. Análise e discussão de resultados	39
3.1. Caracterização da amostra.....	39
3.2. Características ambientais	41

3.3. Avaliação do conforto térmico – Índices PMV, PPD e WBGT	42
3.4. Avaliação subjetiva do Conforto Térmico - Questionários	43
3.5. Confronto do sinal eletroencefalográfico com os índices de conforto térmico	45
3.5.1. Período de aquisição dos voluntários: Sessão 1 Vs. Sessão 2.....	46
3.5.2. Período de aclimatação Vs. Período de aquisição	61
4. Conclusão	72
4.1. Perspetivas Futuras.....	73
Bibliografia.....	75
Anexos	81
Anexo 1 – Folha de informação ao participante.....	81
Anexo 2 – Declaração de consentimento informado	83
Anexo 3 – Questionário inicial.....	84
Anexo 4 – Questionário final	85
Anexo 5 – Protocolo de medição.....	86
Anexo 6 – Evolução temporal do sinal do voluntário 1	90

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1 - Relação entre o PMV e o PPD (Fonte ISO 7730) [15].	13
Figura 2 - Anatomia cerebral e sua constituição [3].	16
Figura 3 - Estrutura de um neurónio [17].	17
Figura 4 - Sistema Internacional 10-20 [19].	18
Figura 5 - DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1 e respetivas sondas (1-TP3775; 2- AP3203; 3-HP3217R; 4-HP3201).	33
Figura 6 – BrainBIT.	34
Figura 7 - Aquisição do sinal para o smartphone (Adaptado [78]).	35
Figura 8 - Variação das variáveis ambientais medidas durante a sessão 1.	41
Figura 9 - Variação das variáveis ambientais medidas durante a sessão 2.	42
Figura 10 - Valores de PSD relativa da atividade Delta e índices de conforto térmico de para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	47
Figura 11 - Valores de PSD _{relativa} da atividade Teta e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	49
Figura 12 - Valores de PSD _{relativa} da atividade Alfa e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	50
Figura 13 - Valores de PSD _{relativa} da atividade Beta e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	52
Figura 14 - Valores de PSD _{relativa} da atividade Gama e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	53
Figura 15 - Valores de PSD da atividade do Engagement e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	55
Figura 16 - Valores de PSD da atividade da Attention Control e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	56
Figura 17- Valores de PSD da atividade da Mental Attentiveness e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	58
Figura 18 - Frequência cardíaca e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	59
Figura 19 - Variabilidade da frequência cardíaca e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.	61
Figura 20 – Evolução da onda Delta nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	63
Figura 21 - Evolução da onda Teta nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	64
Figura 22 - Evolução da onda Alfa nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	64
Figura 23 - Evolução da onda Beta nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	65
Figura 24 - Evolução da onda Gama nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	66
Figura 25 - Evolução da métrica Engagement nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	67

Figura 26 - Evolução da métrica Attention Control nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.....	68
Figura 27 - Evolução da métrica Mental Attentiveness nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	69
Figura 28 - Evolução da frequência cardíaca nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.....	70
Figura 29 - Evolução da variabilidade da frequência cardíaca nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.	71
Figura 30 -Evolução temporal da onda Delta no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	90
Figura 31- Evolução temporal da onda Teta no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	90
Figura 32 - Evolução temporal da onda Alfa no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	91
Figura 33- Evolução temporal da onda Beta no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	91
Figura 34 - Evolução temporal da onda Gama no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	92
Figura 35 - Evolução temporal do Engagement no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	93
Figura 36 - Evolução temporal da Attention Control no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.....	93
Figura 37 - Evolução temporal da Mental Attentiveness no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	94
Figura 38 - Evolução temporal da Frequência Cardíaca no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	94
Figura 39 - Evolução temporal da Variabilidade da Frequência Cardíaca no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.	94

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Taxa metabólica para diferentes atividades (adaptada [2]).	6
Tabela 2 - Índices de resistência térmica segundo ASHRAE 55 [2].	7
Tabela 3- Escala de sensações térmicas.	11
Tabela 4 - Valores máximos do índice WBGT por atividade [31].	14
Tabela 5 – Largura de banda das ondas cerebrais [40], [10].	19
Tabela 6 – Cálculo das métricas cognitivas [45], [46], [47], [48].	20
Tabela 7 - Resultados da pesquisa da influência do conforto térmico na amplitude do sinal de EEG, da FC e VFC.	28
Tabela 8 - Especificações das sondas utilizadas [75].	33
Tabela 9 - Especificações do BrainBIT [76].	34
Tabela 10 - Características da amostra.	39
Tabela 11 – Vestuário inserido no software DeltaLog10 para o cálculo do nível de isolamento do vestuário.	40
Tabela 12 - Hábitos de vida a ter em conta nas 12 horas anteriores ao início da sessão 1 e 2.	40
Tabela 13 - Dados estatísticos das variáveis ambientais medidas na sessão 1 e 2.	41
Tabela 14 - Média (desvio padrão) dos índices de conforto térmico de cada voluntário, obtidos em cada sessão.	42
Tabela 15 – Sensação térmica sentida pelos voluntários no início e no final da sessão 1, e a sensação térmica que gostaria de sentir no final da mesma sessão.	43
Tabela 16 - Sensação térmica sentida pelos voluntários no início e no final da sessão 2, e a sensação térmica que gostaria de sentir no final da mesma sessão.	44
Tabela 17 - Sensações que os voluntários sentiram na sessão 1 e 2.	45
Tabela 18 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Delta de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	46
Tabela 19 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Teta de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	48
Tabela 20 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Alfa de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	50
Tabela 21 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Beta de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	51
Tabela 22 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Gama de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	53
Tabela 23 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica Engagement de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	54
Tabela 24 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica Attention Control de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	56
Tabela 25 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica Mental Attentiveness de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	57
Tabela 26 - Média (desvio padrão) da frequência cardíaca de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	59

Tabela 27 - Média (desvio padrão) da variabilidade da frequência cardíaca de cada voluntário, na sessão 1 e 2.	60
Tabela 28 - Média (desvio padrão) dos índices de conforto térmico no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.....	62
Tabela 29 - Média (desvio padrão) de cada variável no período de aclimatação aquisição na sessão 1 e 2.....	62

Folha em branco

Lista de Equações

[Equação 1] – Cálculo da temperatura média radiante no caso da convecção natural	4
[Equação 2] – Cálculo da temperatura média radiante no caso da convecção forçada	5
[Equação 3] – Cálculo da área corporal de um indivíduo	6
[Equação 4] – Cálculo da resistência à perda de calor por parte do vestuário	7
[Equação 5] – Cálculo do índice de resistência térmica do vestuário	7
[Equação 6] – Cálculo do fator área da superfície do vestuário	7
[Equação 7] – Equação de balanço térmico	9
[Equação 8] – Transferência de calor por convecção	9
[Equação 9] – Transferência de calor por radiação	11
[Equação 10] – Transferência de calor por evaporação	10
[Equação 11] – Cálculo do índice de PMV	12
[Equação 12] – Cálculo da temperatura superficial do vestuário	12
[Equação 13] – Sistema do coeficiente de transferência de calor por convecção para o índice de PMV	12
[Equação 14] – Sistema do fator de área de superfície do vestuário para o índice de PMV	12
[Equação 15] – Cálculo do índice de PPD	12
[Equação 16] – Cálculo do índice WBGT em ambientes sem radiação solar	13
[Equação 17] – Cálculo do índice WBGT em ambientes externos com radiação solar	13
[Equação 18] – Cálculo do índice de turbulência	14
[Equação 19] – Cálculo do desvio padrão da velocidade do vento local	14
[Equação 20] – Cálculo do fator de risco da corrente de ar	14
[Equação 21] - Cálculo do índice WCI	15

Nomenclatura

A_{Du}	Área da superfície corporal segundo Dubois, m ² ;
$A_{Du,cl}$	Área da superfície do corpo vestido, m ² ,
C	Trocas de calor por convecção, W/m ² ;
Clo	Unidade de isolamento do vestuário, 1 clo = 0,155 m ² .k/W;
C_{res}	Perdas de calor por convecção através da respiração, W/m ² ;
D	Diâmetro do termómetro de globo, m;
E	Trocas de calor por evaporação, W/m;
E_g	Emissividade presumida do termómetro de globo;
F_{cl}	Fator de área da superfície do vestuário;
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção, em W.m ² /K;
h_r	Coefficiente de transferência de calor por radiação, W.m ² /K;
I_{cl}	Isolamento térmico do vestuário, m ² .k/W;
$I_{ctu,i}$	Resistência de cada peça de roupa, clo;
K	Trocas de calor por condução, W/m ² ;
M	Nível de metabolismo, W/m ² ou met, (1 met = 58,15 W/m ²);
p_a	Pressão parcial do vapor de água, Pa;
p_{sk}	Pressão do vapor de água à temperatura da pele, kPa;
R	Troca de calor por radiação, W/m ² ;
S	Taxa de armazenamento de calor corporal, W/m ² ;
t_a	Temperatura do ar, ° C;
t_{cl}	Temperatura superficial do vestuário, ° C;
t_g	Temperatura do termómetro de globo, ° C;
t_w	Temperatura de bolbo húmido com ventilação natural, ° C;
t_r	Temperatura média radiante, ° C;
v_a	Velocidade do ar, m/s;
W	Trabalho mecânico realizado, W/m ² ;

Acrónimos/Siglas

ASHRAE	<i>American Society for Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
EEG	Eletroencefalografia
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percent of Dissatisfied</i>
PPG	Fotopletismografia
PSD	<i>Power Spectral Density</i>
UBI	Universidade da Beira Interior
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>

Folha em branco

1. Introdução

1.1. Perspetiva geral

No dia-a-dia o ser humano está sujeito a constantes alterações do ambiente que o rodeia, seja no trabalho, em transportes, no comércio e até mesmo em locais sociais e de lazer, podendo levar a alterações do seu conforto, e como consequência provocar efeitos negativos no ser humano, tais como, problemas neurológicos, aumento dos batimentos cardíacos, ansiedade, fadiga, entre outros. Torna-se assim pertinente avaliar o conforto térmico, na tentativa de verificar a influência deste na saúde do ser humano. Vários autores [1], [2], [3] definem o conforto térmico como “a condição mental em que o indivíduo expressa satisfação com o ambiente que o rodeia”, esta é a situação ideal, que corresponde a um ambiente termicamente confortável e que é avaliada de forma subjetiva pelo indivíduo.

Esta percepção de conforto térmico é determinada por processos de transferência de calor que ocorrem entre o ser humano e o ambiente que o envolve, resultante de fatores ambientais como a temperatura, velocidade do ar e humidade relativa, assim como, de fatores pessoais, como a taxa de isolamento do vestuário e taxa metabólica. A avaliação do conforto térmico é feita através de índices de conforto térmico, tais como o índice de PMV (*Predicted Mean Vote*), expresso como a sensação térmica prevista numa escala de sensação térmica ASHRAE (*American Society for Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) de 7 pontos, o índice de PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) que prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições de um determinado ambiente, propostos por Fanger em 1970 [4], e o índice WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), utilizado para aferir acerca do stress térmico de uma pessoa inserida num ambiente quente. Quando as condições do ambiente não são favoráveis ao ser humano, o organismo desencadeia respostas ao nível da termorregulação e como consequência podem originar graves problemas fisiológicos e comportamentais; nomeadamente, problemas neurológicos, cardiovasculares, respiratórios, podendo ainda causar desidratação, fadiga, stress, ansiedade, entre outros.

Como o ser humano é um ser homeotérmico, a sua temperatura interna é mantida constante através do sistema termorregulador, que por sua vez é coordenado pelo sistema nervoso central, assim sendo, é possível estudar a resposta da termorregulação provocada pelo desconforto térmico através de alterações no sinal eletroencefalográfico, e também da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca. A eletroencefalografia (EEG) é uma técnica de monitorização eletrofisiológica que regista a atividade elétrica gerada no cérebro, em diferentes bandas de frequência. Na literatura, para além das ondas cerebrais, são propostas algumas métricas de forma a entender o estado emocional e cognitivo do ser humano, tais como, o *Engagement*, a *Attention Control* e a *Mental Attentiveness*, no entanto o estudo destas métricas é ainda recente.

Apesar de existirem alguns estudos que abordam a relação do sinal eletroencefalográfico e da atividade cardíaca com o conforto térmico, nomeadamente relação da atividade *Alfa* e *Beta*, [5],[6]; da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca [7], [8]; alguns autores

não estudaram ou não conseguiram tirar conclusões acerca da atividade *Delta*, *Teta* e *Gama* [9], [10]. No que diz respeito às métricas cognitivas, não existe nenhuma investigação que relacione a atividade do *Engagement* e da *Attention Control* com os índices de conforto térmico, por outro lado, alguns autores [11], [12], verificaram uma relação entre a atividade da métrica cognitiva *Mental Attentiveness* e o conforto térmico. No entanto, não foi encontrado nenhum estudo que investigasse a relação de todos estes parâmetros em simultâneo com os índices de conforto térmico.

Nesta perspetiva, este tipo de estudo é útil para melhor se compreender como se relacionam os índices de conforto térmico com as variáveis fisiológicas (atividade cerebral, frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca) e o impacto que estes têm no ser humano.

1.2. O problema em estudo e sua relevância

As variáveis ambientais como a temperatura, velocidade do ar e humidade relativa, são os fatores que mais influenciam a qualidade do ambiente interno e que podem afetar a sensação térmica de um indivíduo, ou seja o seu conforto, o desempenho da atividade que está a desempenhar e ainda afetar a própria saúde, levando a problemas de ansiedade, stress, fadiga e até mesmo problemas mais graves, como problemas neurológicos e cardíacos, quando as condições térmicas são adversas.

O presente trabalho pretende avaliar as alterações da atividade eletroencefalográfica, assim como da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca de indivíduos sujeitos a diferentes condições térmicas, uma com ambiente considerado mais quente e outra com um ambiente neutro, e relacioná-la com os índices de conforto térmico, durante a realização de uma tarefa, neste caso, o sudoku. Optou-se por pedir aos voluntários que preenchessem o sudoku, para que o sinal não apresentasse diferenças, daí resultantes, de voluntário para voluntário. É importante avaliar todas as variáveis ambientais a que os indivíduos estão sujeitos, bem como o nível de isolamento do vestuário e o metabolismo, de forma a poder ser feita uma boa caracterização do ambiente. Para além da temperatura, velocidade do ar e humidade relativa, foram também medidas variáveis ambientais que caracterizam o ambiente de cada sessão experimental, nomeadamente grandezas como a temperatura de bolbo húmido, temperatura de globo e a temperatura média radiante, que têm também influência na perceção térmica de cada pessoa.

Desta forma adotou-se uma metodologia de ensaio que teve como objetivo a imposição de dois ambientes térmicos diferentes para a aquisição da correspondente resposta eletroencefalográfica.

O presente estudo é útil para o avanço científico, pois é avaliada a resposta eletroencefalográfica, da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca a diferentes condições térmicas, deste modo é possível observar de que forma as respostas fisiológicas estudadas são afetadas pelo conforto térmico. É também relevante uma vez que vão

ser analisadas e relacionadas variáveis com os índices de conforto térmico que ainda não tinham sido estudadas até à data.

1.3. Fundamentos teóricos

Neste subcapítulo que agora se inicia será abordado o conforto térmico, referindo os principais parâmetros que influenciam o conforto térmico de um indivíduo, assim como os índices mais utilizados na avaliação do conforto térmico, como sejam, os índices de PMV e PPD. Além disso também será feita uma abordagem ao eletroencefalograma, onde serão mencionados os principais constituintes do cérebro, como é realizada a aquisição do sinal, assim como, as suas bandas de frequência e métricas cognitivas. Ainda neste subcapítulo será referida a técnica da fotopleletismografia e o seu principal uso.

1.3.1. Conforto térmico

A avaliação do conforto térmico é um fenómeno complexo, uma vez que é difícil satisfazer todo um conjunto de indivíduos no mesmo ambiente [13]. Segundo a ASHRAE 55 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) [2], o conforto térmico é definido como uma condição mental que expressa a satisfação com as condições térmicas e que é avaliada de forma subjetiva pelo indivíduo. As condições de conforto num determinado ambiente não são iguais para todos os indivíduos devido às diferenças fisiológicas, se um indivíduo está inserido num ambiente que considere confortável, não significa, que todos os outros indivíduos inseridos nesse mesmo ambiente, se sintam termicamente confortáveis [14].

De acordo com as normas ASHRAE 55 [2] e ISO 7730 [15], podem-se nomear fatores que devem ser abordados ao definirem-se as condições de conforto térmico, fatores ambientais e pessoais.

Os fatores ambientais englobam a:

- Temperatura do ar;
- Temperatura média radiante;
- Velocidade do ar;
- Humidade do ar.

Enquanto os fatores pessoais dizem respeito à:

- Taxa de metabolismo;
- Isolamento do vestuário.

Embora estes fatores possam variar ao longo do tempo, segundo a ASHRAE 55 [2], quando um indivíduo entra num espaço que atenda aos seus requisitos de conforto térmico, este pode não encontrar imediatamente as suas condições de conforto, se experimentou diferentes condições ambientais pouco antes de entrar no espaço. Para além destes, existem ainda outros

fatores que podem ser ponderados no momento de avaliar o conforto térmico, tais como, o processo de aclimação ou até mesmo o sexo e a idade.

1.3.2. Fatores ambientais que afetam o conforto térmico

Para o estudo do conforto térmico é necessário analisar cada uma das variáveis, uma vez que estas são responsáveis pela sensação de conforto ou desconforto térmico. Serão apenas referidos os fatores que serão necessários para a contextualização do tema em estudo.

1.3.2.1. Temperatura do ar

É a temperatura do ar em redor do corpo humano, está diretamente ligada ao processo de convecção entre o indivíduo e o ambiente que o rodeia. No caso da psicometria é denominada temperatura de bolbo seco e pode ser medida por vários métodos, dependendo do sensor utilizado. As recomendações da temperatura do ar de um ambiente para que um indivíduo esteja numa zona de conforto térmico, devem ter em consideração o tipo de atividade que a pessoa está a desempenhar, assim sendo, para evitar problemas de saúde, as temperaturas devem situar-se entre os 18°C e os 25°C [16].

1.3.2.2. Temperatura média radiante

Corresponde à temperatura média das superfícies envolventes próximas do corpo humano (paredes, tetos, mesas, fogões, entre outras) que estão continuamente a trocar calor por radiação, o designado calor radiante. Na análise global, apesar de a temperatura do ar ser facilmente controlada, o nível de conforto muda significativamente durante o período de ocupação de um determinado espaço devido à temperatura média radiante, que não deve exceder 2°C em relação à temperatura ambiente [17]. Para a determinação desta variável é utilizado o termómetro de globo negro, sendo que neste caso a temperatura média radiante é obtida por observações dos valores conjuntos da temperatura de globo, temperatura e velocidade do ar nas proximidades do termómetro de globo. A temperatura média radiante pode ser calculada através das seguintes equações [17]. Equação 1 diz respeito ao cálculo da temperatura média radiante no caso da convecção natural e a equação 2 ao cálculo da temperatura média radiante no caso da convecção forçada.

$$tr = \left[(tg + 273)^4 + \frac{0.25 \times 10^8}{Eg} \left(\frac{tg - ta}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \times (tg - ta) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad [\text{Equação 1}]$$

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times v_a^{0.6}}{E_g \times D^{0.4}} (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde:

t_r = Temperatura média radiante;

t_g = Temperatura do termómetro de globo;

E_g = Emissividade presumida do termómetro de globo;

t_a = Temperatura do ar;

D = Diâmetro do termómetro de globo.

1.3.2.3. Velocidade do ar

Consiste na média da velocidade do ar num intervalo de tempo, sendo um fator significativo na determinação do conforto térmico, devido à sua participação na transferência de calor por convecção e evaporação, este é um fator difícil de ser medido devido às grandes mudanças de direção que o movimento do ar pode sofrer. Segundo a ASHRAE 55 [2], recomenda-se que a circulação média do ar num espaço ocupado no período de Inverno, deva estar contida entre 0.05 – 0.15 m/s e, no período de verão, não deva ultrapassar os 0.25 m/s. Os tipos de equipamentos mais comuns para a medição da velocidade do ar são os anemómetros de fio quente direcionais e os anemómetros de esfera aquecida omnidirecionais [18].

1.3.2.4. Humidade relativa

Segundo a norma ISO 7726 (*International Organization for Standardization*) [19], a humidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de vapor de água existente no ar e a quantidade de vapor de água no estado de saturação à mesma temperatura. A humidade relativa está associada às perdas de calor por evaporação, nos casos em que a temperatura do ar está acima da temperatura da pele, o corpo passa a receber calor através da convecção e radiação, sendo o processo de evaporação o único mecanismo responsável pela eliminação do calor em excesso. A eficiência deste processo depende da percentagem de humidade relativa, sendo assim um fator determinante para a manutenção do conforto térmico. A mesma norma, refere ainda que a humidade relativa do ar deve situar-se entre os 30% e os 70% de forma a garantir conforto aos indivíduos. Esta variável pode ser medida através de um psicómetro, equipamento que mede em simultâneo a temperatura de bolbo seco e a temperatura de bolbo húmido, a partir das quais é possível calcular a humidade relativa (ISO 7726) [19].

1.3.3. Fatores pessoais que afetam o conforto térmico

Além das variáveis ambientais vistas anteriormente, devemos ter em consideração também a taxa de metabolismo e o isolamento do vestuário.

1.3.3.1. Taxa de metabolismo

Segundo a ISO 8996 [20], a taxa de metabolismo consiste na conversão de energia química em energia mecânica e térmica. Desta energia, apenas 25% é utilizada pelo organismo e convertida em trabalho, os restantes 75% são dissipados através de trocas de calor, possibilitando deste modo ao organismo manter o equilíbrio térmico [1]. Podem distinguir-se dois tipos de metabolismo, o metabolismo basal, que corresponde à taxa de utilização de energia durante o repouso e o metabolismo de atividade, que resulta do esforço físico humano e da sua atividade. Os valores da taxa metabólica para diferentes atividades podem ser observados na tabela 1. Este fator expressa-se em W/m², mas a maioria das vezes aparece expresso em Met, sendo que 1 Met corresponde a 58,15 W/m².

Segundo a ASHRAE 2001 [21] a taxa de metabolismo depende de vários fatores como, a atividade desempenhada pelo ser humano, as características específicas do próprio indivíduo, o local onde é desempenhada e as condições em que a atividade é desempenhada. De acordo com as características individuais, a taxa de metabolismo depende da área corporal, que pode ser calculada através da equação de DuBois [22].

$$A_{Du} = 0.007184 \times (Peso^{0.725}) \times (Altura^{0.425}) \quad \text{[Equação 3]}$$

Tabela 1 - Taxa metabólica para diferentes atividades (adaptada [2]).

Atividade	Taxa metabólica (W/m ²)	Taxa metabólica (Met)
Deitado	0,8	47
Sentado, em repouso	1,0	58
Atividade sedentária	1,2	70
De pé, atividade leve	1,6	93
De pé, atividade média	2,0	117
Atividade pesada	3,0	175

1.3.3.2. Isolamento do vestuário

O isolamento do vestuário é uma variável essencial na percepção de sensação de conforto ou desconforto térmico, uma vez que este regula as trocas de calor entre o ser humano e o

ambiente que o rodeia. O papel do vestuário é manter o corpo num estado térmico aceitável nos ambientes térmicos a que está sujeito. O isolamento térmico está relacionado com a resistência térmica do vestuário. Segundo a Norma ISO 9920 [23], o isolamento térmico é definido como a resistência à perda de calor entre duas superfícies e expressa-se em clo ou $m^2.k.W^{-1}$, onde 1 clo, corresponde a $0,155 m^2.k.W^{-1}$, é a resistência à perda de calor por parte do vestuário. Esta resistência ao calor é o quociente entre o gradiente da temperatura entre as superfícies envolventes sobre a perda de calor por unidade de área da superfície corporal.

$$I = \frac{\text{Gradiente da temperatura}}{\text{Perda de calor por unidade de área corporal}} \quad [\text{Equação 4}]$$

A resistência térmica do vestuário é dependente da temperatura do ar, do trabalho externo e das características da própria roupa, sendo que o trabalho externo está relacionado com a taxa metabólica e depende da atividade realizada por um indivíduo. Deste modo, a resistência térmica do vestuário total utilizado por uma pessoa, num espaço interior pode ser calculado através da seguinte equação:

$$I_{cl} = \sum_i I_{ctu,i} \quad [\text{Equação 5}]$$

Onde, I_{cl} representa a resistência térmica total do vestuário em clo e $I_{ctu,i}$, a resistência de cada peça de roupa, em clo. De forma a facilitar o cálculo das taxas de transferência de calor, considerando o uso de roupa, aplica-se o fator de área da superfície vestuário (F_{cl}), que é definido como a razão entre a área da superfície da roupa e a área da superfície corporal, para o processo de convecção e radiação, que pode ser calculado através da seguinte equação:

$$F_{cl} = \frac{A_{Du,cl}}{A_{Du}} = 1 + 0.31I_{cl} \quad [\text{Equação 6}]$$

Uma vez que medir diretamente o isolamento da roupa é um processo demorado e detalhado, geralmente realizado com manequins térmicos, na maior parte dos estudos do conforto térmico habitualmente faz-se uma aproximação destes valores, através de tabelas de isolamento da roupa já desenvolvidas [1].

Tabela 2 - Índices de resistência térmica segundo ASHRAE 55 [2].

Vestuário	Índice de resistência térmica - I_{cl} (clo)
Sutiã	0,01
Cuecas	0,03
Meia calça	0,10
Meia grossa	0,05
Camisa de mangas compridas	0,30

Camisa de manga curta	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Calças finas	0,20
Calças grossas	0,28
Sapatos	0,04

1.3.4. Sistema termorregulador

O ser humano é um ser homeotérmico, ou seja, consegue, até certo ponto, manter a sua temperatura interna contante, independentemente das variações de temperatura do ambiente externo, através de mecanismos reguladores internos [1]. Grande parte do calor produzido pelo organismo é proveniente dos órgãos vitais, sendo transferido posteriormente para a pele, e cedido para o ambiente que rodeia o ser humano, através de processos como convecção, radiação, condução e evaporação [24]. Se o balanço destas trocas de calor for feito corretamente, de forma a manter a temperatura interna constante, poder-se-á afirmar que o indivíduo se encontra termicamente confortável. Assim, o objetivo do sistema termorregulador é permitir que não haja variações na temperatura interna do corpo e que as trocas de calor sejam efetuadas corretamente, de forma que o sistema fisiológico do organismo funcione perfeitamente. Esta tarefa é coordenada pela interação do sistema nervoso (complexo hipotálamo-hipófise) e o sistema hormonal. Desta forma, o hipotálamo regula a temperatura interna do corpo através de impulsos térmicos provenientes de células existentes na pele, nos músculos e noutras partes do corpo, e envia através dos nervos comandos que acionam mecanismos reguladores como a vasoconstrição, vasodilatação, transpiração e o tremor de *shivering* de modo a manter o equilíbrio térmico.

Este processo pode ser explicado através de duas formas distintas. Por um lado, quando o ser humano está num ambiente quente, os sensores da pele percebem a diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam o hipotálamo, que inicia o processo de vasodilatação periférica de modo a permitir que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos sanguíneos para aumentar a temperatura corporal, proporcionando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Quando o processo de vasodilatação não é suficiente para manter o equilíbrio térmico, é iniciada a produção de suor para que o corpo possa perder calor por evaporação. Por outro lado, quando o ser humano entra num ambiente frio, o hipotálamo inicia a vasoconstrição que limita a passagem do sangue na superfície da pele, privilegiando a circulação deste no cérebro e nos restantes órgãos de forma a manter a temperatura corporal estável para um bom funcionamento destes. Quando a vasoconstrição não é suficiente para manter o equilíbrio térmico, o sistema termorregulador provoca tremor muscular, o chamado tremor de *shivering*, que aumenta o metabolismo dos músculos e, portanto, a produção de calor interno. Não obstante, quando os mecanismos reguladores não são suficientes para manter o equilíbrio térmico, o ser humano entra em stress ou desconforto térmico, podendo deste modo, causar problemas fisiológicos [18].

1.3.4.1. Balanço térmico

Quando os alimentos são absorvidos pelo ser humano, estes combinam-se com o oxigênio e começa a gerar-se energia devido ao alto nível de energia química nas células que mantêm a temperatura do corpo humano constante, próxima de 37°C, enquanto executam funções necessárias para o bom funcionamento de órgãos internos e permitem a ação espontânea de outras funções corporais, como a circulação de sangue, a secreção interna de glândulas, a formação de suor e ainda a formação de tecidos do corpo.

O balanço térmico é fundamental para a saúde e é conseguido quando a quantidade de calor interno produzido pelo corpo, devido ao metabolismo, é igual à quantidade de calor cedida para o ambiente, através de diversas formas de transferência de calor. A transferência de calor pode ocorrer através de convecção (C), condução (K), evaporação (E) e radiação (R). Para a análise térmica de uma pessoa, a norma ASHRAE 2001 [21], utiliza a equação de balanço térmico descrita na Equação 7, que tem em consideração, o metabolismo, a atividade física e a transferência de calor através da pele. As perdas de calor através da pele têm em conta o nível de atividade, o nível de isolamento do vestuário, assim como as variáveis ambientais acima mencionadas, como, temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa.

$$M - W = C_{res} + E_{res} + E + K + R + C + S \quad \text{[Equação 7]}$$

Onde:

- M= Nível de metabolismo;
- W= Trabalho mecânico realizado;
- C_{res} = Perdas de calor por convecção através da respiração;
- E_{res} = Perdas de calor por evaporação;
- E= Trocas de calor por evaporação;
- K= Trocas de calor por condução;
- R= Trocas de calor por radiação;
- C= Trocas de calor por convecção;
- S= Taxa de armazenamento de calor corporal;

1.3.4.1.1. Transferência de calor por convecção

O processo de transferência de calor por convecção depende da diferença entre a temperatura, velocidade do ar, superfície do vestuário e das partes do corpo descobertas, ou seja, quando o meio envolvente e o ser humano por ele envolvido têm temperaturas diferentes, ocorre o processo de convecção de forma a manter o equilíbrio térmico [25]. A transferência de calor por convecção é dada pela seguinte equação [26]:

[Equação 8]

$$C = F_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)$$

Onde:

C = Trocas de calor por convecção;

F_{cl} = Fator de área da superfície do vestuário;

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção;

t_{cl} = Temperatura superficial do vestuário;

t_a = Temperatura do ar.

1.3.4.1.2. Transferência de calor por condução

A condução é um processo de transferência de energia sob a forma de calor que ocorre quando o corpo humano entra em contacto com alguma superfície e existe diferença de temperatura entre a pele e o objeto. Vale ressaltar que a condução tem grande influência na passagem do fluxo de calor através do vestuário, este processo pode ter grande influência quando se pretende avaliar o desconforto local de uma parte do corpo [27].

1.3.4.1.3. Transferência de calor por radiação

Quaisquer corpos com temperatura superior a zero absoluto emitem calor por radiação através de ondas eletromagnéticas. Estas ondas são emitidas entre o corpo humano e as superfícies que o rodeiam. A emissividade das superfícies tem grande importância neste processo. Segundo a ISO 11079, a transferência de calor por radiação é dada pela seguinte equação:

$$R = F_{cl} \times h_r \times (t_{cl} - t_r)$$

[Equação 9]

Onde:

R = Troca de calor por radiação;

F_{cl} = Fator de área de superfície do vestuário;

h_r = Coeficiente de transferência de calor por radiação;

t_{cl} = Temperatura superficial do vestuário;

t_r = Temperatura média radiante.

1.3.4.1.4. Transferência de calor por evaporação

A evaporação consiste na perda de calor através da evaporação de suor. Quando as condições ambientais fazem com que as perdas de calor do corpo humano por convecção e

radiação não sejam suficientes para regular a temperatura interna do organismo, este aumenta a atividade das glândulas sudoríparas e perde calor pela evaporação [25]. A transferência de calor por evaporação é determinada pela Equação 10 [26] :

$$E = \frac{(p_{sk} - p_a)}{R_{e,T}} \quad \text{[Equação 10]}$$

1.3.5. Avaliação do conforto térmico

Para a avaliação do conforto térmico podem ser utilizados índices que combinam duas ou mais variáveis ambientais, como a temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, entre outras, numa variável única, simplificando a avaliação do ambiente térmico em questão e do stress térmico que este possa causar. Alguns dos índices de conforto mais utilizados são referidos abaixo.

1.3.5.1. Índice PMV e PPD

A sensação térmica de uma pessoa está relacionada principalmente com o equilíbrio térmico do seu corpo. Este equilíbrio é influenciado pela taxa de metabolismo e pelo isolamento do vestuário, assim como pela temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade relativa e velocidade do ar. Após a medição destes fatores, a sensação térmica do corpo pode ser prevista pelo método de Fanger (1970) através do cálculo do índice de PMV (*Predicted Mean Vote*) e do índice de PPD (do inglês *Predicted Percentage of Dissatisfied*). O PMV é um índice que permite estimar o valor médio dos votos de um grupo de pessoas, acerca da sensação térmica sentida, através da escala de sensações de 7 pontos, que varia de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), representada na Tabela 3, permitindo deste modo uma avaliação do ambiente que rodeia o indivíduo (ISO 7730) [24]. Em condições de conforto térmico o índice de PMV enquadra-se no intervalo numérico que varia entre -0,5 a +0,5.

Tabela 3- Escala de sensações térmicas.

Muito quente	+3
Quente	+2
Ligeiramente quente	+1
Neutro	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

O índice PMV é o mais indicado para classificar a sensação de conforto sentida e o seu objetivo é quantificar o grau de conforto associado a determinada situação e pode ser calculado através das seguintes equações [28]:

- $$PMV = [0,303e^{(-0,036M)+0,028}] \times [(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \times [5733 - 6,9(M - W) - pa - 0,45M - W - 58,15 - 1,7 \times 10 - 5M \times 5867 - pa - 0,0014M \times 34 - ta - 3,96 \times 10 - 8 \times F_{cl}(t_{cl} + 273)^4 - t_r + 2734 - F_{cl} \times h_c(t_{cl} - ta)]]$$

[Equação 11]

Em que:

- $$t_{cl} = 35,27 - 0,028(M - W) - I_{cl}\{3,96 \cdot 10^{-8} \times F_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + F_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - ta)\}$$

[Equação 12]

- $$h_c \begin{cases} 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{se } 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{v_a} \\ 12,1 \times \sqrt{v_a} & \text{se } 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{v_a} \end{cases}$$

[Equação 13]

- $$F_{cl} \begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl} & \text{se } I_{cl} \leq 0,078 m^2 \times \frac{K}{W} \text{ (0,503 clo)} \\ 1,05 + 0,645I_{cl} & \text{se } I_{cl} > 0,078 m^2 \times \frac{K}{W} \text{ (0,503 clo)} \end{cases}$$

[Equação 14]

Segundo a norma ISO 7730 [15], o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), é um índice quantitativo que prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições de um determinado ambiente, isto é, que considerem o ambiente demasiado quente ou demasiado frio, tendo em conta os parâmetros do índice PMV. A relação entre estes dois índices pode ser observada na Figura 1. De acordo com a mesma norma, um ambiente é considerado termicamente confortável, quando a percentagem de pessoas insatisfeitas seja inferior a 10% e o PMV esteja compreendido entre -0.5 e +0.5. O PPD pode ser calculado através da seguinte equação [28]:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)} \quad \text{[Equação 15]}$$

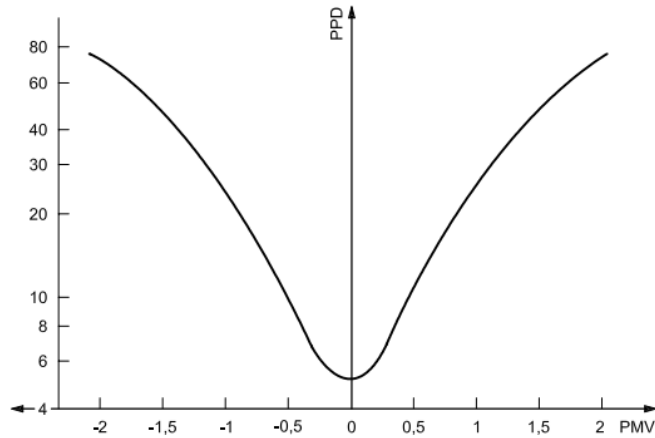


Figura 1 - Relação entre o PMV e o PPD (Fonte ISO 7730) [15].

1.3.5.2. Índice WBGT

O índice WBGT (índice da temperatura do bolbo húmido e do globo negro – *Wet Bulb Globe Temperature*) é um dos índices utilizado para aferir acerca do stress térmico de uma pessoa inserida num ambiente quente, que quando elevado, leva o indivíduo a uma situação de stress térmico. O índice WBGT combina a medição de temperatura de bolbo húmido, com ventilação natural (t_w), com a temperatura de termómetro de globo negro (t_g), e em alguns casos, com a temperatura do ar (t_a) [29]. Em condições de conforto térmico, o índice WBGT situa-se no intervalo numérico entre 20° C e 27° C, aproximadamente [30]. A fórmula do cálculo para o interior e para o exterior pode ser observada nas equações abaixo:

- Interna e externa sem radiação solar:

$$WBGT_{ambientes\ fechados} = 0.7t_w + 0.3t_g \quad \text{[Equação 16]}$$

- Externa com radiação solar:

$$WBGT_{ambientes\ externos} = 0.7t_w + 0.2t_g + 0.1t_a \quad \text{[Equação 17]}$$

Após o cálculo e conhecimento do valor do índice WBGT é possível, através da comparação de valores de referência determinar o nível de stress térmico a que um indivíduo está sujeito, e caso seja necessário, limitar o seu tempo de exposição às condições térmicas do ambiente inserido. Estes valores podem ser observados na seguinte tabela.

Tabela 4 - Valores máximos do índice WBGT por atividade [31].

Atividade	Valor máximo de WBGT (° C) (ISSO 7243)			
	Indivíduo aclimatado		Indivíduo não aclimatado	
Descanso	33		32	
Trabalho manual leve	30		29	
Trabalho moderado	28		26	
	Sem circulação de ar	Com circulação de ar	Sem circulação de ar	Com circulação de ar
Atividade física intensa	25	26	22	23
Atividade física muito intensa	23	25	18	20

1.3.5.3. Índice *TU*

Segundo a norma ISO 7726 o índice *TU* (Intensidade de Turbulência) corresponde à percentagem de intensidade de turbulência local, definida como a taxa entre o desvio padrão da velocidade do vento local e a velocidade média do ar local, representada na Equação 18 [29].

$$TU = \frac{SD}{v_a} \times 100 \quad \text{[Equação 18]}$$

Onde v_a é a velocidade média do vento local e SD o desvio padrão da velocidade do vento local, sendo que este último é determinado através da seguinte equação [29]:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (v_{ai} - v_a)^2} \quad \text{[Equação 19]}$$

Através do cálculo do índice de turbulência e conhecendo os valores médios da velocidade do ar local e da temperatura do ar, é possível determinar o fator de risco da corrente de ar “*DR*” (*Draught Rating*), determinado pela Equação 20 [29].

$$DR = (34 - t_a) \times (v_a - 0.05)^{0.62} \times (0.37 \times v_a \times TU + 3.14) \quad \text{[Equação 20]}$$

Este índice indica a percentagem de pessoas insatisfeitas por consequência das correntes de ar, ou seja, permite avaliar o desconforto provocado pelas correntes de ar, pois, é definido como o arrefecimento local do corpo devido à circulação do ar. O índice *DR* normalmente é calculado quando a temperatura se encontra compreendida entre 20°C a 26°C e a velocidade do ar é inferior a 0,5 m/s [29].

1.3.5.4. Índice WCI

O índice WCI (Índice de arrefecimento pelo vento – *Wind Chill Index*) permite avaliar os efeitos a que um indivíduo está sujeito quando exposto a ambientes frios. Este índice representa o índice de arrefecimento provocado pelo vento e permite calcular o desconforto térmico sentido durante a exposição a baixas temperaturas e vento, e pode ser determinado pela seguinte equação [29]:

$$WCI = 13,12 + 0,6215t_a - 11,37v_a^{0,16} + 0,4275t_a v_a^{0,16} \quad \text{[Equação 21]}$$

Onde:

t_a = Temperatura do ar;

v_a = Velocidade do ar.

1.3.6. Eletroencefalograma

O eletroencefalograma é o registo do sinal resultante da atividade elétrica gerada no sistema nervoso. A aquisição deste sinal é possível devido à presença de células excitáveis capazes de conduzir impulsos nervosos, os neurónios. A passagem destes impulsos, de um neurónio para outro, faz-se através das sinapses, os somatários dos potenciais de ação dão origem ao EEG, em diferentes bandas de frequência.

Como a finalidade desta dissertação requer o estudo dos sinais elétricos captados pelo cérebro serão mencionadas abaixo algumas áreas funcionais deste, uma vez que o seu entendimento influencia a interpretação do EEG.

1.3.6.1. Sistema nervoso

O sistema nervoso é o principal responsável pela maioria das funções do organismo, visto que está relacionado com a perceção, compreensão e com a resposta aos estímulos internos e do ambiente que nos rodeia. No sentido de responder de forma rápida às alterações do ambiente e de manter o equilíbrio do organismo, o sistema nervoso divide-se em sistema nervoso central (SNC), que trata o desenvolvimento de respostas a estímulos, e o sistema nervoso periférico (SNP), responsável pela condução do estímulo nervoso. No que diz respeito ao sistema nervoso central, este é constituído por vários órgãos, o encéfalo (composto pelo cérebro, cerebelo e tronco encefálico) e a medula espinhal. Já no caso do sistema nervoso periférico, este é composto pelos nervos craniano ou espinhais, que são na maior parte, o conjunto dos axónios e dendrites dos vários neurónios [32].

1.3.6.2. Cérebro e seus hemisférios

O cérebro é o principal órgão do encéfalo e encontra-se dividido em dois hemisférios, o hemisfério direito e o hemisfério esquerdo. No meio destes, existe uma camada de 2 a 5 mm de espessura de massa cinzenta que é composta por neurónios, células de glia e fibras nervosas, sendo identificada como córtex cerebral. A anatomia cerebral é semelhante a todos os organismos, mas existem algumas alterações individuais entre os dois hemisférios. Cada hemisfério encontra-se dividido nos seguintes lóbulos:

- Lóbulo Frontal – Tem um papel fundamental na função motora voluntária, motivação e humor. Esta zona do cérebro encontra-se envolvida na regulação da resposta ao stress e da excitação [33].
- Lóbulo Parietal – Está envolvido no cálculo, na linguagem, assim como na perceção de várias sensações, como temperatura, toque, dor e pressão [34].
- Lóbulo Occipital - Está associado ao processamento de estímulos visuais. Contém várias subáreas que processam os dados visuais, como a cor, a distâncias, os movimentos, entre outros. A identificação de objetos só é possível pela comparação dos dados visuais anteriores. Quando esta área sofre uma lesão o indivíduo fica incapacitado de reconhecer palavras, objetos e até pessoas [35].
- Lóbulo Temporal – Responsável pelo processamento e estímulos auditivos e desempenha um papel importante na memória.

Na Figura 2 encontra-se representada a anatomia do cérebro e a sua constituição por lóbulos.

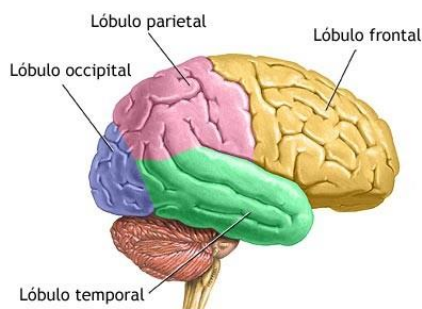


Figura 2 - Anatomia cerebral e sua constituição [3].

1.3.6.3. O neurónio e o impulso nervoso

Os neurónios representam as unidades fundamentais do sistema nervoso, são altamente estimuláveis e são capazes de detetar pequenas alterações do ambiente, tendo como função receber, processar e transmitir impulsos nervosos. Os neurónios apresentam corpo celular, que possui propriedades essenciais ao funcionamento da célula, e dois tipos de prolongamentos citoplasmáticos, as dendrites, que recebem os impulsos nervosos vindos de outras células

nervosas, e os axónios, que transmitem o impulso nervoso proveniente do corpo celular de outro neurónio, como podemos observar na Figura 3 [36].

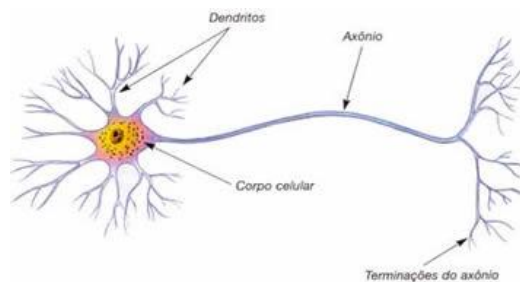


Figura 3 - Estrutura de um neurónio [17].

Todas as células, e em particular os neurónios, apresentam uma diferença de potencial elétrico entre a parte externa e a parte interna da sua membrana citoplasmática. Esta diferença de potencial consiste no potencial de membrana, que, quando o neurónio não está a transmitir impulsos, é da ordem dos -70 milivolt (mV), o potencial de repouso, e resulta de uma distribuição desigual de iões do citoplasma e do fluido extracelular do neurónio. Enquanto que no interior há elevada concentração de iões potássio (K^+) e cloro (Cl^-), no exterior existem elevadas concentrações de iões sódio (Na^+) e cálcio (Ca^{2+}), o que faz com que a membrana, na sua face externa, apresente carga positiva. Esta desigualdade na convergência de iões provoca uma diferença de voltagem de cerca de -60 a -70 mV, que é modificada consoante a abertura ou fecho dos canais que permitem a passagem destes [32].

Quando um neurónio é atingido por um estímulo, a sua membrana torna-se permeável aos iões sódio e conseqüentemente, os canais de (Na^+) abrem-se, movendo iões de sódio para o interior da célula. Esta repentina entrada de iões para a célula faz com que o potencial de membrana passe de -70 mV para +35 mV, ou seja, o interior da célula fica positivo, esta alteração da diferença de potencial designa-se de despolarização. A súbita alteração do potencial elétrico devido à permeabilidade da membrana aos iões sódio, que ocorre durante a despolarização, denomina-se de potencial de ação e é na ordem dos 105 mV. A despolarização ocorre durante cerca de 1,5 milésimos de segundo, pois, quando o potencial de ação atinge o seu pico, 105 mV, a permeabilidade aos iões potássio aumenta, enquanto que a permeabilidade dos canais de sódio volta ao normal, deste modo, verifica-se a queda do potencial da membrana, até atingir o seu valor de repouso – repolarização [36].

Após um sinal ser conduzido através de um neurónio é necessário que este seja transmitido ao neurónio seguinte de forma a manter a transmissão do impulso nervoso. Esta transferência dá-se em locais peculiares, e pode ser feita eletricamente através de iões ou quimicamente através de uma fenda sináptica.

1.3.6.4. Sinal Eletroencefalográfico (EEG)

O eletroencefalograma é o registro da atividade elétrica do cérebro resultante dos potenciais de ação, provenientes da condução do impulso nervoso, com origem no órgão principal do sistema nervoso, o cérebro. A atividade elétrica é expressa pela diferença de potencial entre dois elétrodos, sendo um localizado na superfície do córtex e outro numa zona eletricamente neutra, o chamado elétrodo de referência [37].

Para a obtenção do EEG, usualmente recorre-se à regra do sistema internacional 10-20, representado na Figura 4. Este sistema envolve um conjunto de 21 elétrodos em que 19 são colocados no escalpe e os restantes 2 colocados por exemplo nos lobos auriculares, deste modo é possível registrar pelo menos 21 sinais diferentes de EEG. Estes elétrodos são colocados a 10% ou 20% da distância total entre localizações cranianas específicas, sendo atribuída uma letra a cada um, de forma a poder identificar estas localizações: F – Região frontal, T – Região temporal, C - Região central, P – Região parietal, O – Região occipital, A – Região auricular, N – Nasion, I – Inion, z – Linha central entre dois hemisférios, em que os número pares correspondem ao hemisfério direito e os números ímpares representam o hemisfério esquerdo [38].

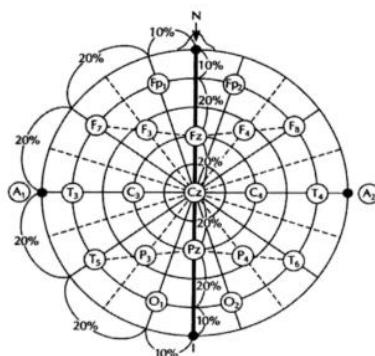


Figura 4 - Sistema Internacional 10-20 [19].

1.3.6.5. Gamas de Frequência

Após a aquisição e decomposição do sinal contínuo do EEG, é possível distinguir vários tipos de ondas cerebrais, através da decomposição do sinal em frequências através do algoritmo de *Fast Fourier Transform* (FFT). Estas frequências são separadas em diferentes gamas, conforme se pode observar na Tabela 5. Na literatura, esta técnica pode ser utilizada para entender métricas úteis do ser humano, tais como, o estado cognitivo, distração, a carga de trabalho mental e a capacidade de memória. Estas métricas permitem que os investigadores observem a parte “não observável” do cérebro através dos dados do eletroencefalograma [39]. Apesar de serem poucos os estudos de métricas do EEG, podem ser observadas nas Tabela 6 algumas já calculadas e articuladas a estados emocionais e cognitivos.

Tabela 5 – Largura de banda das ondas cerebrais [40], [10].

Ondas cerebrais	Largura de banda
<i>Delta</i>	0,5 Hz – 4 Hz
<i>Teta</i>	4 Hz – 8 Hz
<i>Alfa</i>	8 Hz – 13 Hz
<i>Beta</i>	13 Hz – 30 Hz
<i>Gama</i>	Superior a 30 Hz

1.3.6.5.1. Atividade *Delta*

A atividade *Delta* é detetada em todo o cérebro e apresenta alterações significativas durante a idade, após atingir o pico na infância. Na adolescência a atividade *Delta* decai fortemente e depois mais lentamente na vida adulta [41]. Em adultos saudáveis a atividade *Delta* é usualmente observada em estados de sono profundo e quando aparece no cérebro em condições de vigília está associada a danos cerebrais ou a uma condição patológica. A atividade excessiva desta, revela algumas patologias como traumatismos, coma, ansiedade grave, problemas de aprendizagem, entre outros [42].

1.3.6.5.2. Atividade *Teta*

A atividade *Teta* é detetável nas regiões parietais e temporais, estas ondas ocorrem com regularidade quando estamos a sonhar acordados ou no sono com movimento rápido dos olhos, estão ainda associadas a processos referentes ao desempenho cognitivo, à memória, à criatividade e também a períodos de meditação. Aumentos excessivos da onda *Teta* estão relacionados a traumatismos cranianos, delírios e stress emocional [42].

1.3.6.5.3. Atividade *Alfa*

A atividade *Alfa* é detetável na região parietal e occipital do cérebro, está correlacionada a estados de relaxamento, calma e a sentimentos de bem-estar [37]. A sua presença está também associada a tarefas e estado de alerta [43]. A presença desta onda é notória quando se fecham os olhos, porém, quando ocorre o movimento contrário, e a pessoa fica atenta, a atividade desta decai. O défice desta atividade está relacionado a perturbações de personalidade, dor crónica e ansiedade [42].

1.3.6.5.4. Atividade *Beta*

A atividade *Beta* é detetável em todas as áreas corticais e foi vinculada a atividades intensas do sistema nervoso central, a condições de processamento cognitivo, de resolução de problemas, concentração e tomadas de decisões. Valores elevados de oscilações *Beta* revelam estados de excitação fisiológica e de resposta a tratamentos, por outro lado, o déficit de atividade *Beta* está associado a depressões, abusos de substâncias e medo [42].

1.3.6.5.5. Atividade *Gama*

A oscilação da onda *Gama* é observável em todas as estruturas, esta onda está associada a alto processamento cognitivo, elevada atividade mental, atenção e consciência. Valores elevados de atividade da onda *Gama* estão associados a estados emocionais como a felicidade, em contrapartida, o déficit da atividade *Gama* foi relacionado com estados de ansiedade e estados emocionais, como a tristeza [44].

Tabela 6 – Cálculo das métricas cognitivas [45], [46], [47], [48].

Métricas cognitivas	Cálculo
<i>Engagement</i> [45]	$\frac{Beta}{Alfa + Teta}$
<i>Attention Control</i> [46]	$\frac{Beta}{Teta}$
<i>Mental Attentiveness</i> [47]	$\frac{Alfa}{Beta}$

Relativamente ao *Engagement*, segundo a literatura, esta métrica está associada a processos que envolvem a recolha de informação, atividade mental e o envolvimento numa tarefa. Esta aumenta à medida que as pessoas necessitam de estar atentas para a codificação e processamento de estímulos visuais e auditivos [49],[50]. Por outro lado, a métrica cognitiva *Attention Control* está relacionada com o processamento automático de estímulos emocionais e a capacidade de focar e estar atento a uma determinada tarefa. A densidade espectral de potência desta métrica costuma ser consistente ao longo do tempo durante o estado de repouso [46]. No que diz respeito à *Mental Attentiveness*, esta métrica cognitiva está associada ao cansaço/fadiga, ou seja, valores mais elevados desta métrica estão relacionados com níveis mais baixos de alerta ou excitação [47].

1.3.7. Fotopletismografia

A fotopletismografia (PPG) é uma técnica ótica que deteta mudanças no volume sanguíneo no tecido microvascular sob a pele. A fotopletismografia é habitualmente utilizada para monitorização da frequência cardíaca e da saturação periférica de oxigénio (SpO₂) [51].

A fotopletismografia é uma técnica não invasiva que possui ampla aplicação clínica, com a utilização da sua tecnologia em diversos dispositivos médicos como oxímetros de pulso, sistemas digitais de medição da pressão arterial e do batimento cardíaco. Normalmente o sinal é adquirido no lóbulo da orelha, na ponta dos dedos ou na têmpora. O resultado é uma onda intitulada de fotopletismograma que representa as alterações na absorção de luz nos tecidos e sangue. Regiões com vasodilatação significativa, estão sujeitas a maior variação do diâmetro dos vasos sanguíneos e conseqüentemente proporcionam a obtenção de sinais fotopletismográficos mais intensos ou de maior amplitude. Por outro lado regiões sujeitas as vasoconstricções estão sujeitas a contração dos vasos sanguíneos e conseqüentemente propiciam a obtenção de sinais de menor amplitude [52].

Num fotopletismograma, podemos encontrar duas componentes, a componente alternada, 'AC', geralmente com frequência de 1 Hz, associado à frequência cardíaca e a componente contínua, 'DC', que se relaciona com os tecidos e com o volume médio de sangue. Esta última componente varia lentamente devido à respiração, à atividade vasomotora e vasoconstritora e também devido à termorregulação [53]. O sensor de PPG requer uma fonte de luz sendo emitida na pele, por exemplo um LED, e um foto-detetor que recebe a luz que se propagou através dela. A fonte de luz e o foto-detetor têm duas configurações operacionais diferentes, o modo transmissivo e o modo reflexivo, dependendo do seu posicionamento em relação à pele [53].

No modo transmissivo, o LED e o foto-detetor são colocados em lados opostos, onde o foto-detetor mede a luz que é transmitida através da pele, geralmente este tipo de sensor é colocado na ponta dos dedos, lóbulos das orelhas ou nariz [54]. No modo reflexivo, o LED e o foto-detetor estão posicionados lado a lado, onde o foto-detetor mede a luz refletida nos tecidos da camada superficial e profunda da pele, geralmente este tipo de sensor é colocado no pulso [55].

1.3.7.1. Frequência cardíaca

A frequência cardíaca pode ser monitorizada através da técnica de fotopletismografia, ou seja, a medição de variações do fluxo sanguíneo utilizando um método ótico. O ciclo cardíaco é constituído por duas fases principais, a sístole em que o sangue é bombeado dos ventrículos para todo o corpo, provocando um aumento da pressão dos vasos sanguíneos e a diástole onde o sangue flui das aurículas, originando uma diminuição da pressão dos vasos sanguíneos. A medição da variação da pressão em função do ciclo cardíaco permite medir a frequência cardíaca [56].

A frequência cardíaca normal de um adulto varia entre os 60 e 100 *bpm*, porém valores superiores ou inferiores a estes, não significam necessariamente alguma anormalidade, uma vez que estes variam consoante a atividade desempenhada. Quando o indivíduo está a desempenhar

uma atividade física, a sua frequência cardíaca deve situar-se entre 80-170 *bpm*, se está em repouso, a frequência cardíaca deve estar no intervalo numérico de 50 a 90 *bpm*, por outro lado, quando uma pessoa está a dormir, a sua frequência cardíaca deve situar-se entre 40 e 50 *bpm*.

Além da atividade de cada pessoa, a frequência cardíaca pode ser afetada por outros fatores, como a temperatura e humidade relativa, ou seja, quando as condições ambientais são desfavoráveis, o coração bombeia mais sangue, levando a um aumento da frequência cardíaca, Além disto, pode também ser afetada pela medicação, pelas emoções, como o stress, e pela idade [57].

1.3.7.2. Variabilidade da frequência cardíaca

O sistema nervoso autónomo é o principal responsável pela manutenção do equilíbrio interno, que é conseguido através do controlo de processos fisiológicos, tais como, a frequência cardíaca, a variabilidade de frequência cardíaca, a taxa de respiração, entre outros [58]. A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) corresponde às oscilações entre os intervalos dos batimentos cardíacos e pode ser medida através da técnica de fotopletismografia. Tal como a frequência cardíaca, a variabilidade da frequência cardíaca também responde a estímulos, fisiológicos e ambientais [59]. A VFC é um indicador de stress emocional ou psicológico, uma vez que esta confere o equilíbrio entre o sistema nervoso simpático e parassimpático. O sistema nervoso simpático garante a sobrevivência em situações de stress e o sistema nervoso parassimpático leva a uma diminuição da frequência cardíaca e da pressão arterial. Assim sendo, valores mais baixos de variabilidade de frequência cardíaca estão associados a situações de stress e valores mais elevados geralmente estão associados a momentos de respiração profunda e/ou meditação [60].

1.4. Revisão bibliográfica

Neste subcapítulo serão referidas as principais áreas relacionadas com o conforto térmico, especialmente a influência do conforto térmico na amplitude dos sinais eletroencefalográficos, assim como, a influência do conforto térmico na frequência cardíaca, variabilidade da frequência cardíaca e na pressão arterial.

A avaliação do conforto térmico tem sido objeto de pesquisa ao longo de várias décadas por diversos investigadores. As medições de alguns parâmetros como a temperatura, velocidade do ar, temperatura média radiante e humidade relativa são necessárias para a avaliação do conforto térmico [61]. Com o avanço dos estudos sobre o conforto térmico, muitos autores constataram que este está relacionado com alterações na resposta humana (comportamental e fisiológica). Torna-se assim bastante pertinente avaliar a resposta cerebral sob diferentes condições ambientais.

1.4.1. Observações fisiológicas no Ser Humano em diferentes condições ambientais

No subcapítulo que agora se inicia serão apresentados alguns trabalhos relativos às observações fisiológicas do ser humano em diferentes condições ambientais. Um aumento ou diminuição da temperatura, velocidade do ar e humidade relativa em relação às condições de conforto térmico, podem desencadear várias respostas fisiológicas no corpo humano, nomeadamente, alterações do sinal do eletrocardiográfico, eletroencefalográfico, eletromiográfico, tal como, alteração da pressão arterial, alteração da frequência cardíaca, da temperatura retal, da temperatura da pele, entre outros. Estas respostas fisiológicas verificam-se quando o organismo não consegue manter um equilíbrio entre a taxa de calor produzida e a taxa de calor libertada, isto é, quando o organismo não consegue manter a temperatura interna próxima de 37°C, propiciando uma mudança na quantidade de energia interna, levando ao aumento ou diminuição da temperatura corporal.

Com o intuito de avaliar de que modo o conforto térmico está relacionado com alterações do sinal eletrocardiográfico, Kizito et al., 2018, [62]; avaliaram com base nos eletrocardiogramas a variabilidade de frequência cardíaca (VFC). O processo experimental foi realizado com 17 estudantes universitários saudáveis. Este estudo foi realizado em 3 ambientes diferentes, um ambiente quente, outro neutro e outro frio. Os autores concluíram que ambientes termicamente confortáveis têm um batimento cardíaco regular e menos complexo, pelo que a variabilidade da frequência cardíaca foi mais estável, e que ambientes frios têm valores de VFC mais elevados, enquanto que ambientes quentes apresentam valores de variabilidade da frequência cardíaca mais reduzidos.

Para a manutenção da temperatura corporal estável, é fundamental a integridade de todos os componentes envolvidos na sua regulação, especialmente o hipotálamo e os sistemas eferentes. As defesas eferentes podem ser divididas em: i) respostas comportamentais relacionadas com o sistema nervoso central, neste caso a perceção de variações de temperatura leva a alterações comportamentais, como tirar ou vestir peças de roupa; ii) respostas ao nível do sistema nervoso autónomo, sendo este responsável pela vasodilatação, sudorese, tremores, entre outros; e iii) respostas ao nível do sistema nervoso somático, sendo que este, controla a contração muscular [63]. De modo a investigar de que forma a atividade muscular está relacionada com o conforto térmico, Hunter et al., 2002, [64]; analisaram o efeito de ambientes quentes (35°C) e de ambientes frios (15°C), no sinal eletromiográfico, na temperatura retal, na temperatura da pele e na frequência cardíaca, durante a prática de um exercício de resistência. A experiência foi realizada com 8 voluntários numa câmara climática com variação da temperatura (15°C ou 35°C), humidade relativa (50%) e velocidade do ar (15 km/h). Durante a prática do exercício físico foi inserido um termómetro retal e quatro termístores à superfície da pele, de forma a medir a temperatura retal e da pele. Os resultados obtidos mostram que todos os valores de temperatura medidos ao longo da prática do exercício foram significativamente maiores no ambiente quente, relativamente ao ambiente frio. A temperatura retal aumentou de modo semelhante em ambas as condições de temperatura, ao passo que, no caso da frequência cardíaca, os batimentos cardíacos

foram notavelmente maiores no ambiente quente, mas foram aumentando de forma idêntica ao longo do tempo, nas duas condições de temperatura. Em relação ao sinal eletromiográfico, este não apresentou alterações significativas nas diferentes condições ambientais, ou seja, o conforto térmico não sensibiliza os sinais do EMG, o que já tinha sido comprovado por Nybo et al., 2001, [63].

1.4.2. Alterações da temperatura da pele em diferentes condições ambientais

A temperatura corporal é um parâmetro fisiológico de grande relevância, no entanto, muda dependendo da localização do ponto de medição e da temperatura ambiente. A pele contém numerosos recetores sensoriais que recebem informações do ambiente externo. Estes recetores estão catalogados com pelo menos cinco sensações diferentes: frio, calor, dor, pressão e toque, e além de participarem no controlo de termorregulação, afetam a sensação térmica de uma pessoa e, portanto, o seu conforto térmico [65].

Com o intuito de investigar a influência do ambiente térmico na temperatura da pele e a sua relação com a sensação de conforto/desconforto térmico, Yao et al., 2008, [66]; utilizaram termopares para medir a temperatura da pele, a eletroencefalografia para medir a atividade cerebral e a eletrocardiografia para medir os índices de variabilidade de frequência cardíaca. O processo experimental foi realizado numa câmara climática com 20 estudantes saudáveis (10 estudantes do sexo feminino e 10 do sexo masculino). Foram estudados quatro ambientes diferentes, a temperatura do ar (21°C, 24°C, 26°C e 29°C), a velocidade do ar (0.05 ± 0.01 m/s) e a humidade relativa (60%). Através dos termopares colocados em diferentes zonas do corpo, Yao et al., 2008, [66] concluíram que a temperatura local da pele é influenciada pela temperatura ambiente, e que esta última tem impacto na variabilidade da frequência cardíaca, isto é, quando a temperatura ambiente sobe de 21°C para 26°C, a VFC vai diminuir e quando a temperatura ambiente sobe até 29°C a variabilidade da frequência cardíaca vai aumentar, o que mostra que a temperatura do ar tem influência nos sinais de ECG, como visto anteriormente. Os resultados obtidos no processo experimental indicam que a temperatura do ar influencia as bandas do EEG, especialmente para a atividade *Alfa*, pois esta mostrou alterações significativas em todas as temperaturas. Relativamente às restantes ondas, a atividade *Teta* mostrou alterações nas temperaturas de 21°C, 24°C e 29°C, a atividade *Delta* nas temperaturas 24°C, 26°C e 29°C. Os dados do eletroencefalograma mostraram também que a onda *Beta* foi predominante para temperatura ambiente de 29°C. Os autores concluíram que a onda *Alfa* é claramente mais predominante do que as outras ondas sob a temperatura ambiente de 26°C, sendo que a predominância das ondas *Alfa* e *Beta* foi igual para a temperatura de 24°C. Os mesmos autores deduziram que a onda *Alfa* é predominante na sensação térmica neutra ou ligeiramente fria; o mesmo acontece com a onda *Beta*, quando os indivíduos se sentem quentes, muito quentes, frios

e muito frios. Estes resultados indicam que quando os indivíduos se sentem termicamente desconfortáveis, com sensação de calor ou de frio, a banda *Beta* aumenta.

Sob outra perspectiva, Hashiguchi et al., 2010, [67]; estudaram os efeitos do ambiente térmico no desempenho mental em ambos os sexos. Nesse âmbito mediu a temperatura da pele com termístores em doze locais do corpo: testa, peito, abdômen, costas, costas da mão, antebraço, coxa anterior e posterior, zona posterior e anterior da nuca e peito do pé. Para a realização da experiência utilizaram uma câmara climática, onde 8 voluntários do sexo feminino e masculino estiveram expostos a quatro temperaturas diferentes (16°C, 19°C, 22°C e 25°C). A experiência para os participantes do sexo feminino foi realizada durante o período de ovulação. Os voluntários realizaram duas tarefas no tempo de exposição na câmara climática, a primeira tarefa testou a memória a curto prazo e a segunda foi uma tarefa mental com base na velocidade perceptual. Como resultado, encontraram diferenças na temperatura da pele entre a parte superior e inferior do corpo, sendo as diferenças encontradas, mais reveladoras nas mulheres. Este estudo também demonstrou que a diminuição da temperatura da pele da coxa para os indivíduos do sexo feminino foi maior do que para os elementos do sexo masculino e esta diminuição da temperatura da pele tinha uma relação com o conforto térmico. Embora o resultado do desempenho mental fosse mais elevado para o sexo feminino do que para o sexo masculino, não houve efeito considerável para as diferentes temperaturas. Posto isto, os autores concluíram que a temperatura da pele foi significativamente maior para o sexo feminino comparativamente ao sexo masculino.

1.4.3. Efeitos da temperatura ambiente na pressão arterial e na frequência cardíaca

Segundo alguns autores, [68], [8], [69], a temperatura ambiente tem influência na frequência cardíaca, que quando aumenta, provoca um aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial.

Com o propósito de avaliar de que forma a frequência cardíaca e a pressão arterial está associada ao conforto térmico, J.P. Carvalho et al., 2017, [8]; analisaram 79 estudantes universitários saudáveis (60 do sexo masculino e 19 do sexo feminino), submetidos a diferentes condições térmicas. O estudo foi realizado numa sala de aula durante 3 dias consecutivos, com temperaturas do ar de 20°C, 24°C e 30°C, respetivamente, 67% de humidade relativa e velocidade do ar de 0.1 m/s. A pressão arterial foi verificada antes e após a entrada na sala de aula, através de um monitor de pressão arterial HEM-72220 e a frequência cardíaca foi medida durante todo o processo experimental com um medidor de frequência cardíaca POLAR FT07. Os resultados deste processo experimental mostraram que a pressão arterial sistólica final era maior do que a pressão arterial sistólica inicial e que a pressão arterial diastólica foi maior nas condições de temperatura de 30°C. Relativamente à frequência cardíaca, o ritmo cardíaco aumentou com o aumento da temperatura, ou seja, quando a temperatura do ar foi 20°C, 26% dos estudantes apresentou um ritmo cardíaco acima de 100 *bpm*, enquanto que para a temperatura de 30°C, 51% dos estudantes apresentou um ritmo cardíaco acima de 100 *bpm*. Posto isto, os autores

concluíram que a frequência cardíaca e a pressão arterial variam com a temperatura e são mais elevadas para temperaturas elevadas.

1.4.4. Respostas da atividade cerebral a diferentes condições de temperatura

No subcapítulo que agora se inicia far-se-á uma revisão da literatura, serão apresentados alguns trabalhos que relacionam a alteração da resposta cerebral perante diferentes ambientes térmicos.

A resposta da termorregulação às mudanças de temperatura ocorre sem ação consciente do ser humano, mas isso não significa que o cérebro não tenha percepção do que está a ocorrer [70]. A mudança da atividade cerebral com a temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar já foi estudada em seres humanos com base na eletroencefalografia. Com a utilização desta técnica é possível observar o funcionamento do cérebro e observar de que modo está relacionado com o conforto térmico [63].

Com o objetivo de avaliar a influência do conforto térmico na amplitude do sinal de EEG, Costa et al., 2018, [6]; levaram a cabo um estudo com intuito de avaliar a atividade cerebral no lóbulo occipital a partir da amplitude do sinal de EEG (*Alfa* e *Beta*) e relacioná-la com diferentes condições de temperatura e humidade relativa. O processo experimental foi realizado numa câmara climática com quatro condições de temperatura do ar e humidade relativa (22°C – 40%, 22°C – 80%, 32°C – 40% e 32°C – 80%), com 30 voluntários de ambos os sexos. A experiência foi apenas realizada com voluntários que não tivessem ingerido bebidas alcoólicas nem tomado medicação nas dozes horas anteriores ao exame, foram também excluídos os indivíduos que tivessem sofrido de doenças crónicas nos seis meses anteriores. Os resultados para a amplitude da onda *Alfa* revelam que esta tem amplitudes mais elevadas nos ambientes com maior humidade relativa (80%), ou seja, o aumento da humidade relativa de 40% para 80% faz aumentar a amplitude do sinal quanto ao efeito da temperatura, quando esta aumenta de 22°C para 32°C, a atividade da onda *Alfa* tem um aumento, mas não tão significativo como para o aumento da humidade relativa. No que diz respeito à atividade *Beta* os resultados mostraram uma evolução semelhante nas condições de 22°C-40% e 32°C-40%. Por sua vez, quando se alteraram as condições para 22°C-80% e 32°C-80%, houve um aumento significativo na atividade *Beta*.

Por outro lado, Lan et al., 2010, [9]; investigaram de que forma a temperatura do ar afeta a capacidade cognitiva. O processo experimental foi realizado numa câmara climática com 21 participantes de ambos os sexos. Estes realizaram testes neurocomportamentais de forma a avaliar a percepção, aprendizagem, memória e raciocínio. Foram também avaliados parâmetros fisiológicos, como a VFC e a eletroencefalografia. O estudo foi realizado durante três dias a diferentes temperaturas (17°C, 21°C e 28°C), velocidade do ar constante (0,1 m/s) e isolamento térmico de 1,20 clo. Os autores utilizaram o modelo de Fanger (PMV e PPD), que segundo os votos dos participantes, mostram que estes se sentiam termicamente confortáveis para temperaturas entre 21°C e 24,5°C. Concluíram que a capacidade cognitiva é superior em ambientes de conforto

térmico. Relativamente aos resultados da VFC e do EEG, a variação da frequência cardíaca era significativamente maior para temperaturas de 28°C. No caso da avaliação dos sinais do eletroencefalograma, o poder da banda *Delta* foi substancialmente afetado pela temperatura do ar (houve diminuição nas condições de 17°C e 28°C), sendo que não foram verificadas alterações significativas na atividade das restantes ondas cerebrais. Os autores concluíram que o desconforto térmico causado pela baixa temperatura do ar influenciou negativamente a capacidade de percepção, memória e raciocínio dos voluntários.

De outro modo, Tiago-Costa al., 2016, [71]; avaliaram o modo como a atividade cerebral é diretamente influenciada pela temperatura do ar e humidade relativa, durante a execução de uma determinada tarefa. A relação entre capacidade cognitiva, ambiente térmico e atividade cerebral foi avaliada através da realização de ensaios experimentais com 10 voluntários saudáveis do sexo masculino. Os participantes executaram dois testes cognitivos em diferentes condições ambientais, o primeiro foi efetuado a 18°C e 40% de humidade relativa e o segundo a 35°C e 80%, sendo que todos os ensaios foram realizados numa câmara climática. Os resultados da análise do sinal eletroencefalográfico, confirmam a influência da temperatura ambiente sob a atividade cerebral. Em relação ao ambiente mais frio (18°C – 40%) a atividade *Alfa* é superior relativamente ao ambiente mais quente (35°C – 80%). Os autores constataram também, que ocorre uma diferença na atividade cerebral entre os hemisférios direito e esquerdo, tendo o EEG detetado mais atividade no lado direito do cérebro, o que levou a concluir que a temperatura do ar e a humidade relativa afetam os hemisférios direito e esquerdo de forma diferente. Os resultados mostram também que em ambientes térmicos quentes a atividade *Alfa* tende a diminuir ao longo da execução da tarefa e passado algum tempo volta a aumentar. Isto indica um aumento do cansaço/fadiga dos voluntários. Em relação à onda *Beta*, no ambiente frio, na maioria das vezes a sua atividade foi superior à verificada no ambiente quente, isto porque a atividade das ondas *Beta* está associada a sinais de alerta (vigília), que normalmente ocorre em ambientes mais frios, ou seja, uma diminuição da atividade *Beta* está associada com a perda de concentração. Assim sendo, os autores deste estudo chegaram à conclusão que ambientes térmicos frios são propícios a maiores níveis de concentração.

Posteriormente, Okamoto et al., 2017, [10]; investigaram o efeito da velocidade do ar durante uma atividade cerebral através da eletroencefalografia. Neste estudo, o conforto térmico foi avaliado de forma subjetiva pelo preenchimento de questionários, através de parâmetros físicos, como a temperatura, velocidade do ar e humidade relativa. As experiências foram realizadas com um único indivíduo saudável, em ambientes semelhantes ao de verão e de inverno (aquecimento e arrefecimento), com e sem circulação de ar, através do uso de uma câmara climática. A velocidade do ar foi diferente na experiência de aquecimento e arrefecimento, 0.22 m/s e 0.46 m/s, respetivamente. No entanto, a temperatura do ar e humidade relativa foram mantidas constantes ao longo de todo o estudo. De modo a comparar os resultados obtidos na análise do EEG com as classificações subjetivas de conforto térmico, os voluntários preencheram um questionário de acordo com a escala de sensações de 7 pontos. Na experiência de arrefecimento a pontuação do PMV com circulação de ar foi de -2.0 e sem circulação de ar foi de -0.10, no que diz respeito ao PPD, o voto também foi consideravelmente diferente para o caso com

circulação de ar (15%) e sem circulação de ar (4.2%). Na experiência de aquecimento o PMV com circulação de ar foi de 0.84 e sem circulação de ar foi de 0.23, em relação ao PPD este também foi ligeiramente diferente para os casos com circulação e sem circulação de ar, 17% e 1.8%, respetivamente. Os resultados da análise do sinal eletroencefalográfico, mostraram que a atividade *Gama* e *Beta* foi menor nos ambientes sem circulação de ar. Em referência à onda *Alfa*, esta teve comportamento diferente no ambiente de aquecimento e arrefecimento, pois não teve mudanças significativas no ambiente de arrefecimento, a onda *Teta* não teve qualquer alteração em ambas as experiências. Por conseguinte, os autores concluíram que o índice de PMV e PPD foram inferiores nos ambientes sem circulação de ar e que a presença das ondas *Gama*, em todas as condições ambientais estudadas, está associada à consciência e ao conteúdo emocional, principalmente às condições desagradáveis e adversas. Uma vez que a presença das ondas *Gama* está relacionada com a ansiedade e a sua atividade está mais presente nos ambientes com circulação de ar, os autores inferiram que ambientes com circulação de ar podem causar ansiedade [10].

Além dos trabalhos investigação mencionadas anteriormente, foram também encontrados outros estudos que contêm informações relevantes sobre o tema em estudo. Na Tabela 7 apresentam-se os artigos com maior relevância, resultantes da pesquisa sobre a influência do conforto térmico na amplitude dos sinais eletroencefalográficos.

Tabela 7 - Resultados da pesquisa da influência do conforto térmico na amplitude do sinal de EEG, da FC e VFC.

Autor	FC	VFC	<i>Delta</i>	<i>Teta</i>	<i>Alfa</i>	<i>Beta</i>	<i>Gama</i>	PMV/ PPD/ WBGT	Métricas
Kizito [62]		✓							
Hunter [64]	✓								
Yao [66]		✓	✓	✓	✓	✓			
J.P.Carvalho [8]	✓								
E. Costa [6]					✓	✓			
Li Lan [9]		✓	✓						
T. Costa [71]					✓	✓			
Okamoto [10]					✓	✓	✓		
F.Ftaiti [11]					✓	✓			<i>Alfa/Beta</i>
X. Shan [72]						✓		✓	
Y. Choi [73]								✓	

S.Davey [74]					✓	✓			<i>Alfa/Beta</i>
L. Nybo [63]					✓	✓			
Z. Minghui [5]			✓	✓	✓	✓		✓	

1.5. Objetivos e contribuição da dissertação

O presente estudo, como já foi referido anteriormente, pretende analisar e relacionar o sinal eletroencefalográfico e dos índices de conforto térmico, e tem como objetivo a realização de um estudo experimental com diferentes condições térmicas, nomeadamente, no que respeita à temperatura, à humidade relativa e à velocidade do ar, e calcular índices de conforto térmico associados a essas condições. Em específico, calcular os índices PMV, PPD e WBGT. O presente estudo tem também como objetivo monitorizar a frequência cardíaca, por intermédio de fotopleletismografia. Durante a monitorização os voluntários vão desempenhar uma tarefa comum a todos eles, preenchendo um sudoku.

Assim, os principais objetivos desta dissertação são:

- Relacionar a resposta eletroencefalográfica de indivíduos com determinados índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV, PPD e o WBGT, habitualmente aceites como aferidos fidedignos das condições de conforto térmico;
- Submeter um conjunto de voluntários a diferentes condições térmicas, nomeadamente, temperatura, velocidade do ar e humidade relativa, por um período limitado no tempo, registando, nesse período, o sinal eletroencefalográfico e a frequência cardíaca;
- Calcular índices de conforto térmico com base nas grandezas térmica medidas;
- Confrontar a resposta eletroencefalográfica de cada um dos indivíduos com os índices de conforto calculados;
- Confrontar a frequência cardíaca, e a variabilidade da frequência cardíaca, com os índices de conforto térmico.

O presente estudo vai contribuir para o avanço do conhecimento científico na área de estudo, uma vez que vão ser feitas análises e relações que ainda não foram feitas até à data ainda assim, também no que diz respeito ao que já foi estudado, este estudo pode contribuir com dados e avaliações que podem ser utilizados em investigações futuras.

1.6. Visão geral e organização da dissertação

Após este primeiro capítulo de introdução a presente dissertação, subdivide-se em mais três capítulos, conferindo no total quatro capítulos.

No capítulo 1 é referida a relevância do estudo, o seu objetivo e contribuição. É abordado o tema do conforto térmico, referindo-se os principais parâmetros que influenciam o conforto

térmico de um indivíduo, assim como a forma utilizada para o cálculo destes. São também referidos os índices mais comuns na avaliação do conforto térmico, como sendo os índices de PMV e PPD. Além disto é também feita uma abordagem ao eletroencefalograma, onde são mencionados os principais constituintes do cérebro, como é adquirido o sinal eletroencefalográfico, as suas principais bandas de frequência e métricas cognitivas. Ainda neste capítulo é abordada a fotopletismografia de um modo geral, especificando a técnica e o seu principal uso.

No capítulo 2 são apresentados os materiais e métodos necessários para a realização do presente estudo, onde são apresentados os vários equipamentos utilizados, as suas funções e erros de medição. Ainda neste capítulo é apresentado o procedimento experimental adotado onde são indicadas as etapas necessárias para a realização da componente experimental do presente estudo.

No capítulo 3, é então efetuada a análise e discussão de resultados. Inicialmente é feita a caracterização da amostra assim como o ambiente atingido em cada sessão. De seguida é feita a avaliação da sensação térmica de cada voluntário através do cálculo dos índices de conforto térmico e da análise de questionários. Posteriormente são comparados os dados obtidos através do BrainBIT com os índices de conforto térmico e as diferenças atingidas em cada sessão. Por último será avaliada a resposta das variáveis fisiológicas à aclimação.

Por fim, no capítulo 4, são apresentadas as conclusões e as perspetivas futuras tendo em conta os resultados obtidos no presente estudo.

2. Materiais e métodos

O presente estudo foi definido com o intuito de avaliar a atividade eletroencefalográfica de alunos da Universidade da Beira Interior (UBI), submetidos a diferentes condições térmicas, e relacioná-la com os índices de conforto térmico, como sejam os índices de PMV, PPD e WBGT. O procedimento experimental foi realizado em duas sessões, que decorreram numa sala da Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) com diferentes condições térmicas. A alteração das condições térmicas, de uma sessão para outra, obteve-se através da regulação do sistema de climatização da sala utilizada. Em ambas as sessões, foi feito o registo contínuo das condições térmicas resultantes. Foi pedido aos voluntários que preenchessem dois questionários, um no momento de entrada de cada sessão e outro no final do procedimento experimental, de forma a poder-se avaliar de forma subjetiva a sensação térmica sentida por cada um deles. Durante a aquisição do sinal eletroencefalográfico os voluntários tiveram de completar um sudoku, de nível fácil, igual para todos, para que o sinal não apresentasse diferenças de voluntário para voluntário, de forma a ser possível fazer uma boa comparação entre os sinais dos voluntários. Para além da avaliação da atividade cerebral, foi ainda avaliada a alteração da frequência cardíaca e da variabilidade de frequência cardíaca, com a utilização de sensores adequados. Nas secções seguintes especificam-se os equipamentos utilizados assim como os procedimentos para a avaliação experimental.

2.1. Equipamentos utilizados

Nas medições das variáveis térmicas ambientais foi utilizado o equipamento *DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1* e respetivas sondas, destinadas à medição das grandezas térmicas pretendidas. Este equipamento foi colocado na sala durante a respetiva sessão. Para adquirir os dados eletroencefalográficos e do PPG foi utilizada a banda eletroencefalográfica BrainBIT – BITalino, que foi colocada em cada voluntário durante cada sessão.

Nas próximas subsecções vão ser referidas as principais características dos equipamentos utilizados, bem como as sondas utilizadas para medição das variáveis ambientais pretendidas.

2.1.2. DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1

A unidade de medição microclima HD32.1, foi projetada para análise do microclima no local de trabalho, possibilitando a deteção de parâmetros necessários para estabelecer se um certo local é adequado para a realização de certas atividades.

Os programas operacionais da unidade de medição de microclima são:

- HD32.1 A: Análise de microclimas para ambientes moderados, frios e quentes;
- HD32.1 B: Análise de desconforto para ambientes moderados;
- HD32.1 C: Grandezas físicas.

Entende-se por microclima, o conjunto dos parâmetros ambientais que influenciam as trocas de calor entre uma pessoa e o ambiente que a rodeia, e que determinam o seu “bem-estar”. Os fatores climáticos ambientais, juntamente com o tipo de atividade realizada, geram uma série de respostas biológicas relacionadas com a sensação de conforto e desconforto. No caso deste estudo, em particular, o programa operativo utilizado foi o HD32.1 “A”, por ser o mais adequado.

O HD32.1, analisador de microclimas, através do seu programa operacional A, permite medir as seguintes grandezas:

- t_w , temperatura de bolbo húmido com ventilação natural;
- t_g , temperatura do termómetro de globo;
- t_a , temperatura ambiente, ou temperatura de bolbo seco;
- p_r , pressão atmosférica;
- HR , humidade relativa;
- v_a , velocidade do ar;
- t_r , temperatura média radiante.

Além das medições diretas realizadas com as devidas sondas, o equipamento permite ainda calcular e observar os seguintes índices de conforto:

- Índice WBGT, (*Wet Bulb Globe Temperature*), temperatura de bolbo húmido e do termómetro de globo com presença, ou ausência, de radiação solar;
- Índice Tu, para o cálculo da taxa de corrente de ar DR (*Draught Rating*);
- Índice WCI, (*Wind Chill Index*), para avaliação dos efeitos de ambientes frios no Homem.

As sondas utilizadas para medição das grandezas térmicas pretendidas para a concretização da parte experimental, foram as seguintes:

- TP3775 – Sonda de temperatura de globo;
- HP3201 – Sonda de bolbo húmido com ventilação natural;
- HP3217R – Sonda combinada de temperatura e humidade relativa;
- AP3203 – Sonda de fio quente omnidirecional;

O equipamento utilizado, *DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1* e as respetivas sondas podem ser observadas na Figura 5.



Figura 5 - DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1 e respetivas sondas (1-TP3775; 2- AP3203; 3- HP3217R; 4-HP3201).

As especificações das respetivas sondas podem ser verificadas na seguinte Tabela 8.

Tabela 8 - Especificações das sondas utilizadas [75].

Sonda	Variável medida	Tipo de sensor	Intervalo de medição	Incerteza de medição	Tempo de resposta	ISO
TP3775	Temperatura média radiante [°C]	Pt100	-10 a +100°C	± 0.1 °C	15 minutos	7243 e 7726
HP3201	Temperatura de bolbo húmido [°C]	Pt100	4 a 80°C	± 0.1°C	15 minutos	7726
HP3217R	Temperatura do ar [°C] e humidade relativa [%]	- Pt100 de película fina de temperatura; - Sensor de humidade relativa.	-40 a 100°C 0 a 100% HR	± 0.1°C ± 2.5%	15 minutos 1 minuto	7726
AP3203	Velocidade do ar [m/s]	NTC 10 Kohm	0.1 a 5 m/s	± 0.02 (0.1 a 1) m/s	-	7726

2.2.2. BrainBIT – BITalino

O BrainBIT, representado na Figura 6, é um dispositivo wearable que monitoriza os dados fisiológicos da região frontal do cérebro e o volume sanguíneo no lóbulo da orelha. É não invasivo, baseia-se na interface de sistemas *Brain-Computer Interface* (BCI), desenvolvida no Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica (IBEB), e é suportada no BITalino (R)evolution [76]. O BrainBIT combina o registo da atividade cerebral e da atividade cardíaca para tal, contém dois eléctrodos de EEG dispostos segundo o sistema internacional 10-20 e um sensor de PPG. Ao utilizar este dispositivo, é importante garantir que os eléctrodos estejam em contacto directo com a pele. Como alternativa, a pele pode ser previamente preparada e limpa com álcool e/ou uma solução salina, de forma a diminuir a resistência e a impedância de contacto eléctrodo/pele [77].

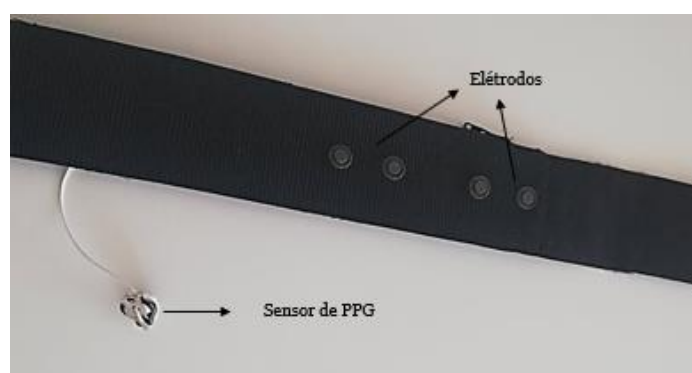


Figura 6 – BrainBIT.

O BITalino é um sistema de hardware de baixo custo que permite a aquisição de sinais fisiológicos, através de uma ampla gama de sensores, como acelerómetros, PPG, EEG, EMG, entre outros. No entanto nem todos os sensores podem ser utilizados simultaneamente devido à sua largura de banda [77].

Tabela 9 - Especificações do BrainBIT [76].

Taxa de amostragem	Configurável para 10, 100 e 1000 Hz
Sensores	EEG x2 (Fp1, Fp2) PPG (orelha) Acelerómetros 3-axis Opcionais: EMG, ECG, EDA
Portas analógicas	4 input (10 bit) + 2 input (6 bit)
Portas digitais	4 input (1 bit) + 4 output (1 bit)
Data link	Classe II Bluetooth v2.0 (10m)
Atuadores	Díodo emissor de luz
Informações sobre o status	LED
Bateria	Bateria de lítio de 3.7 V e 500mAh

Consumo	~65 mAh
Carregamento	Porta micro USB

A frequência de amostragem do BrainBIT é de 100 Hz e a aplicação móvel recebe valores do EEG e do PPG a cada 10 ms através de um método chamado onBITalnoDataAvailable, que recebe os dados e os descodificada. Porém, durante cada sessão, os dados são processados a cada 1 e 5 segundos. O diagrama de blocos do sistema de aquisição de dados pode ser observado na Figura 7.

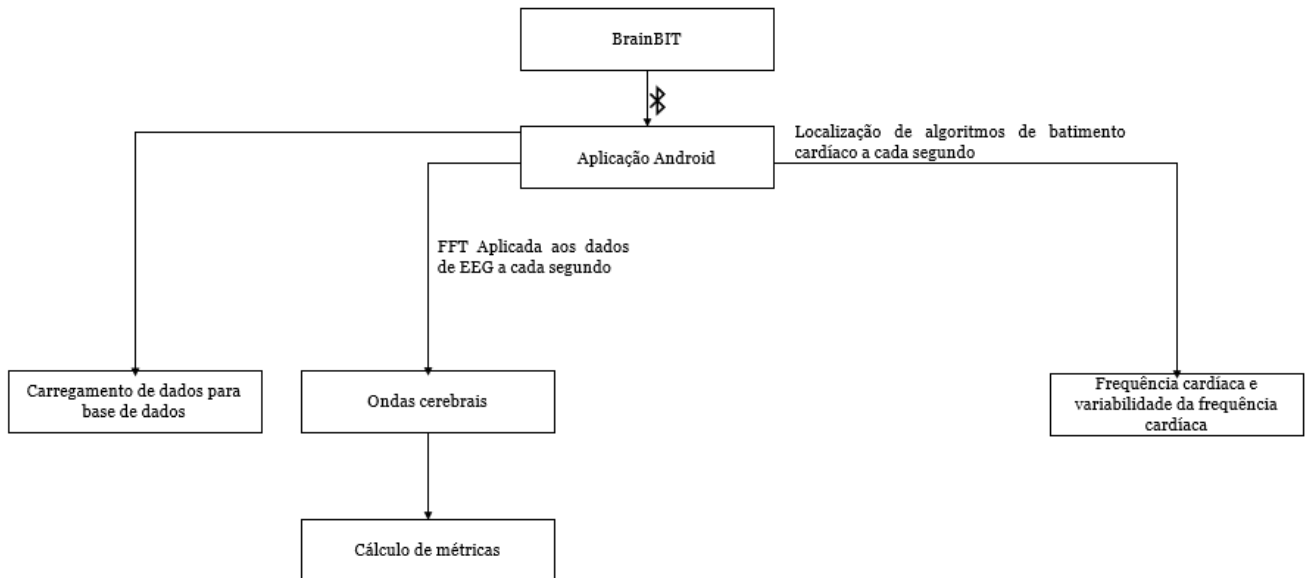


Figura 7 - Aquisição do sinal para o *smartphone* (Adaptado [78]).

O cálculo dos dados é realizado da seguinte forma:

- Frequência cardíaca: ritmo cardíaco (batimentos cardíacos por minuto);
- Variabilidade da frequência cardíaca: O cálculo é feito através dos picos detetados na fotopletismografia (PPG), usando o método RMSSD e janelas de 7 segundos. O método RMSSD consiste na raiz quadrada da média de diferenças sucessivas no intervalo de cada pico R-R.;
- *Delta*: FFT do último segundo e análise da porção de 0,5 a 4 Hz do espectro;
- *Teta*: FFT do último segundo e análise da porção de 4 a 8 Hz do espectro;
- *Alfa*: FFT do último segundo e análise da porção de 8 a 13 Hz do espectro;
- *Beta*: FFT do último segundo e análise da porção de 13 a 31 Hz do espectro;
- *Gama*: FFT do último segundo e análise da porção de 31 a 42 Hz do espectro;
- *Engagement*: $Beta / ((Alfa + Teta) + 0,00001)$;
- *Attention Control*: $Beta / (Teta + 0,00001)$;
- *Mental Attentiveness*: $Alfa / (Beta + 0,00001)$.

Os valores obtidos correspondes às ondas *Delta*, *Teta*, *Alfa*, *Beta* e *Gama*, são as médias da densidade espectral de potência (PSD) do sinal eletroencefalográfico, para cada gama de frequências num intervalo de 1 segundo. A PSD corresponde à potência do sinal em função da frequência. A análise da PSD é comumente utilizada na análise de EEG.

Para a análise dos dados recolhidos, foi necessário transferir a informação do *smartphone* para o computador, para serem analisados no Excel e no *software* estatístico SPSS, de forma a conseguir realizar os objetivos deste estudo.

2.2.3. Sensor de PPG

O sensor PPG é uma técnica ótica que permite medir as mudanças de intensidade de luz refletida na pele, medindo as alterações do volume sanguíneo entre a pressão arterial sistólica e diastólica, frequentemente utilizada para monitorização da frequência cardíaca [79]. O PPG é uma técnica não invasiva e o seu hardware utiliza uma fonte de luz e um foto-detector na superfície da pele para medir as alterações do volume sanguíneo. A fonte de luz emite luz para um tecido e o foto-detector mede a luz refletida no tecido, sendo a primeira proporcional às variações do volume sanguíneo. Os sensores de PPG mais comuns utilizam um LED para medir o fluxo sanguíneo.

O sinal PPG, em forma de onda, apresenta uma componente ‘AC’ e uma componente ‘DC’. A componente ‘AC’ corresponde às variações do volume sanguíneo, causados pela atividade cardíaca que dependem de pressão arterial sistólica e diastólica. Já a componente ‘DC’ é formada pela respiração, atividade do sistema nervoso simpático e da termorregulação. Com filtragem e amplificação adequada, as duas componentes podem ser extraídas para posterior análise [80].

2.3. Questionários

Como referido anteriormente, este estudo contou com a participação de voluntários, estudantes da Universidade da Beira Interior. Durante o recrutamento foi explicado aos voluntários qual o objetivo do mesmo através da folha de “Informação ao Participante” (Anexo 1) e os respetivos critérios de exclusão (Descansar bem, não ingerir bebidas com cafeína e não tomar qualquer tipo de medicação). Os alunos que decidiram integrar o estudo, tiveram de assinar a “Declaração de Consentimento Informado” (Anexo 2), que foi previamente supervisionada pela Comissão de Ética da Universidade da Beira Interior.

Antes do início de cada sessão foi necessário que cada participante preenchesse um questionário inicial (Anexo 3), onde teve de responder a algumas questões sobre a faixa etária e o estilo de vida, de forma a controlar os critérios de exclusão e ainda classificar a sua sensação térmica, segundo a escala de 7 pontos da ASHRAE (trata-se de uma avaliação subjetiva). Estas questões são relevantes, pois permitem perceber se os resultados obtidos poderão vir a ser afetados por fatores além da temperatura, velocidade do ar e humidade relativa.

No fim do ensaio, o voluntário respondeu a um outro questionário, o questionário final (Anexo 4), de modo a determinar a perceção e preferência térmica ao sair da sessão experimental, através da escala de ASHRAE de 7 pontos, bem como, os sintomas que sentiram durante o decorrer do ensaio, tais como, fadiga, sonolência, aumento dos batimentos cardíacos, entre outros.

2.4. Procedimento experimental

Neste subcapítulo serão abordadas medições e os métodos utilizados para a elaboração da componente experimental da presente dissertação, que tem como objetivo o confronto da resposta eletroencefalográfica, da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca através da técnica da fotopletismografia, com os índices de conforto térmico, de cinco voluntários inseridos em duas condições térmicas diferentes.

2.4.1. Medições

As medições realizaram-se na Faculdade de Ciência da Saúde da Universidade da Beira Interior, durante o mês de julho de 2020. Cada sessão experimental contou com cinco voluntários, que se repetiram em cada uma das sessões. Os ensaios efetuados tiveram como objetivo avaliar a atividade cerebral, a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca sob diferentes condições térmicas, enquanto os participantes realizavam uma tarefa em comum, um sudoku de nível fácil. Para tal, foram realizadas duas sessões, uma no período da manhã, num ambiente mais quente e outra no período da tarde, num ambiente confortável. Cada uma das sessões durou cerca de uma hora e quarenta minutos no total, cerca de 40 minutos para cada voluntário, dos quais, 30 minutos correspondem ao período de aclimação dentro da sala, e 10 minutos ao período de aquisição, onde é resolvido o sudoku, e feita a aquisição do sinal, com exceção de um voluntário que fez a aquisição do sinal durante 40 minutos.

Para realização da componente experimental da presente dissertação, inicialmente foi necessário preparar o material a ser utilizado, ou seja, foi necessário, numa primeira instância, verificar se o programa escolhido foi o programa “A”, HD32.1 Análise do Microclima no *DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1*, verificar se as sondas estavam devidamente conectadas, se a banda e o *smartphone* estavam ligados e devidamente conectados. Por fim, foi necessário ajustar as variáveis ambientais em cada sessão, que de acordo com o equipamento de controlo da climatização da sala onde se realizaram os testes, a temperatura do ar e o nível de ventilação (3 níveis), de modo a obter o ambiente pretendido em cada sessão. Uma vez que, na sessão 1 o objetivo foi atingir um ambiente mais quente, a ventilação foi desligada, visto que, devido à elevada temperatura exterior, a sala já se encontrava com um ambiente quente. Já na sessão 2, o propósito foi conseguir um ambiente diferente da sessão 1, um ambiente mais frio, para tal, o nível de ventilação foi colocado no máximo, nível 3, e a temperatura colocada a 5° C.

Posteriormente à preparação do material necessário deu-se início ao procedimento experimental, onde cada voluntário entrou desfasadamente em cada sessão. O voluntário 1 colocou a banda eletroencefalográfica quer durante o período de aclimação (30 min) quer durante o período de aquisição (10 min), enquanto os voluntários 2, 3, 4 e 5 apenas colocaram a banda durante o período de 10 minutos, correspondente à aquisição. O método experimental para estes últimos voluntários foi idêntico, sendo explicado seguidamente.

Relativamente ao voluntário 1, assim que este entrou na sala, preencheu o questionário inicial e foi-lhe posto o BrainBIT devidamente colocado segundo o sistema internacional 10-20. Depois, 30 minutos após a colocação da banda eletroencefalográfica, assinalou-se o fim do período de aclimação (Label 1) e deu-se início ao período de aquisição, no qual o voluntário teve de realizar sudoku. Passados 10 minutos foi-lhe retirada a banda eletroencefalográfica e os elétrodos foram devidamente desinfetados com compressas e álcool. Antes sair da sala, o voluntário teve, ainda, de preencher o questionário final

No que diz respeito aos restantes 4 voluntários, entraram desfasadamente na sala, ou seja, o voluntário 2 entrou 10 minutos depois do voluntário 1, o terceiro voluntário entrou 10 minutos após a entrada do voluntário 2, o quarto participante entrou 10 minutos depois do voluntário 3. Por fim, o quinto, e último, voluntário entrou 10 minutos depois do voluntário 4. Assim que cada voluntário entrou na sala, teve de preencher o questionário inicial e teve de permanecer 30 minutos na sala para que se pudesse aclimatizar ao ambiente de cada sessão. Após o período de aclimação procedeu-se à colocação do BrainBIT segundo o sistema internacional 10-20 e foi-lhe entregue o sudoku para que completasse. Ao fim do período de aquisição, de 10 minutos, foi-lhe retirada a banda eletroencefalográfica e os elétrodos foram devidamente desinfetados com compressas e álcool. Tal como já referido, antes de cada um dos voluntários sair da sala teve de preencher o questionário final. O protocolo de medição pode ser observado no Anexo 5.

3. Análise e discussão de resultados

Neste capítulo inicialmente vai ser apresentada e caracterizada a amostra e as características ambientais de cada sessão experimental. Posteriormente será analisada a avaliação objetiva e subjetiva do conforto térmico de cada voluntário na sessão 1 e 2 através dos índices de PMV, PPD e WBGT e da análise dos questionários inicial e final. Seguidamente irá proceder-se à análise do confronto da resposta eletroencefalográfica com os índices de conforto térmico, nomeadamente os índices já referidos. Por fim, será observada a resposta fisiológica à aclimação do voluntário 1.

3.1. Caracterização da amostra

A amostra foi constituída por 5 voluntários, 2 do sexo feminino e 3 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 22 e 27 anos.

Relativamente ao nível de isolamento do vestuário, variou entre 0,26 clo e 0,52 clo. Quanto ao nível de atividade dos participantes, foi adotado o mesmo valor para todos (1,33 W/m²), uma vez que estavam todos sentados a desempenhar a mesma tarefa. Estes dois últimos parâmetros foram calculados automaticamente através do software DeltaLog10. Estes fatores podem ser observados em maior detalhe na Tabela 10.

Tabela 10 - Características da amostra.

Voluntário	Sexo	Idade	Clo	Taxa Metabólica (W/m ²)
1	Feminino	23	0,40	1,33
2	Masculino	25	0,52	1,33
3	Masculino	22	0,52	1,33
4	Masculino	27	0,33	1,33
5	Feminino	23	0,26	1,33

Ao observarmos a tabela anterior é visível que o nível de isolamento do vestuário foi diferente para todos os voluntários, com exceção do voluntário 2 e 3, isto porque cada um deles estava vestido de forma diferente. Na Tabela 11, encontram-se representados os dados inseridos no *software* DeltaLog10 para o cálculo do nível de isolamento do vestuário.

Tabela 11 – Vestuário inserido no software DeltaLog10 para o cálculo do nível de isolamento do vestuário.

Voluntário	Vestuário	Nível de isolamento do vestuário (clo)
1	Cuecas e soutien, camisola de manga curta, calças leves e sapatilhas	0,40
2	Boxers, camisola de manga curta, calças e sapatilhas	0,52
3	Boxers, camisola de manga curta, calças e sapatilhas	0,52
4	Boxers, camisola de manga curta, calções e sapatilhas	0,33
5	Cuecas e soutien, camisola de manga curta, calções e sapatilhas	0,26

Os hábitos de vida de cada voluntário são também um fator importante a ter em conta, uma vez que estes podem influenciar os resultados obtidos. No presente estudo deu-se apenas ênfase aos fatores que segundo a literatura podem afetar os resultados obtidos, tais como, uma noite mal dormida, ingestão de bebidas com cafeína e de medicamentos nas 12 horas anteriores à realização de cada sessão experimental. Estes dados foram adquiridos no preenchimento do questionário inicial em cada sessão e podem ser observados na Tabela 12. Apesar de existirem voluntários com hábitos que podem influir os resultados, devido à escassez de participantes aceitou-se que estes participassem no estudo.

Tabela 12 - Hábitos de vida a ter em conta nas 12 horas anteriores ao início da sessão 1 e 2.

Voluntário	Hábitos a ter em conta nas 12h anterior ao início de cada sessão	
	Sessão 1	Sessão 2
1	Descansou mal Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína	Descansou mal Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína
2	Descansou bem Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína	Descansou bem Não tomou medicação Ingeriu bebidas com cafeína
3	Descansou bem Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína	Descansou bem Não tomou medicação Ingeriu bebidas com cafeína
4	Descansou bem Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína	Descansou bem Não tomou medicação Não ingeriu bebidas com cafeína
5	Descansou bem Tomou medicação Ingeriu bebidas com cafeína	Descansou bem Tomou medicação Ingeriu bebidas com cafeína

Como é possível observar na Tabela 12, nas 12 horas anteriores ao início da realização da sessão 1, quatro dos cinco voluntários descansaram bem, não tomaram qualquer tipo de medicação, nem ingeriram bebidas com cafeína. Relativamente à sessão 2, quatro voluntários descansaram bem e não tomaram qualquer tipo de medicação nas 12 horas anteriores ao início

da sessão, no que diz respeito ao consumo de bebidas com cafeína, apenas dois dos cinco voluntários não o fizeram.

3.2. Características ambientais

As medições da presente dissertação realizaram-se durante o mês de julho de 2020 na Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira interior. Na sessão 1, o procedimento experimental foi realizado sem ventilação, uma vez que o objetivo era alcançar um ambiente mais quente, e que, devido às elevadas temperaturas exteriores, a sala já se encontrava com o ambiente pretendido. Já na sessão 2, como o propósito era atingir um ambiente mais frio, o nível de ventilação foi colocado no terceiro e último nível e o *setpoint da* temperatura do ar colocado a 5° C. Os valores das variáveis ambientais medidas na sessão 1 e 2, encontram-se representados na Tabela 13 e a sua evolução ao longo de cada sessão nas Figuras 8 e 9, sendo que cada sessão durou aproximadamente 1 hora e 40 minutos no total.

Tabela 13 - Dados estatísticos das variáveis ambientais medidas na sessão 1 e 2.

Variáveis	Sessão 1			Sessão 2		
	Média (DP)	Máximo	Mínimo	Média (DP)	Máximo	Mínimo
T_a (° C)	30,52 (0,07)	30,60	30,40	23,64 (0,11)	23,80	23,30
RH (%)	41,71 (0,19)	42,20	41,30	48,64 (0,57)	50,10	47,50
V_a (m/s)	0,00 (0,00)	0,01	0,00	0,15 (0,05)	0,28	0,00
T_r (° C)	30,81 (0,08)	30,90	30,70	24,37 (0,09)	24,60	24,10
T_g (° C)	30,74 (0,07)	30,90	30,60	24,05 (0,07)	24,20	23,80
T_w (° C)	30,41 (0,09)	30,60	30,20	23,44 (0,11)	23,60	23,10

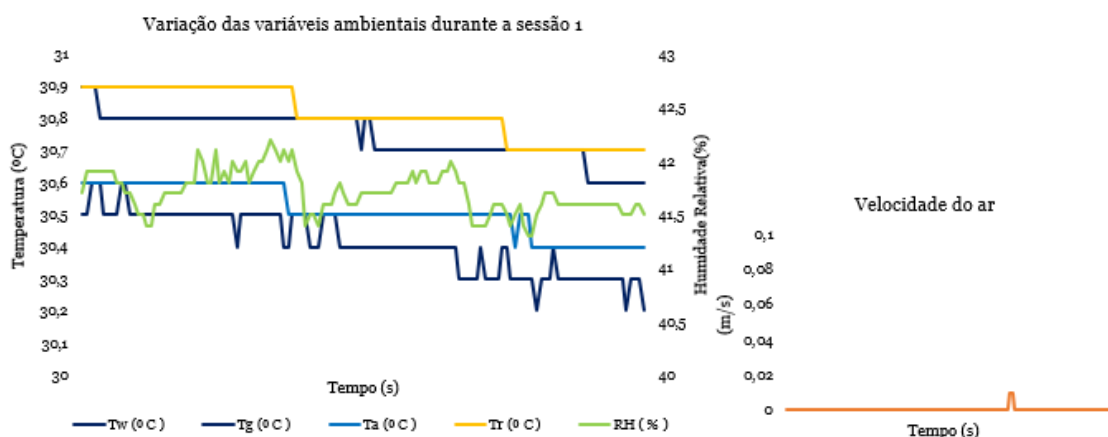


Figura 8 - Variação das variáveis ambientais medidas durante a sessão 1.

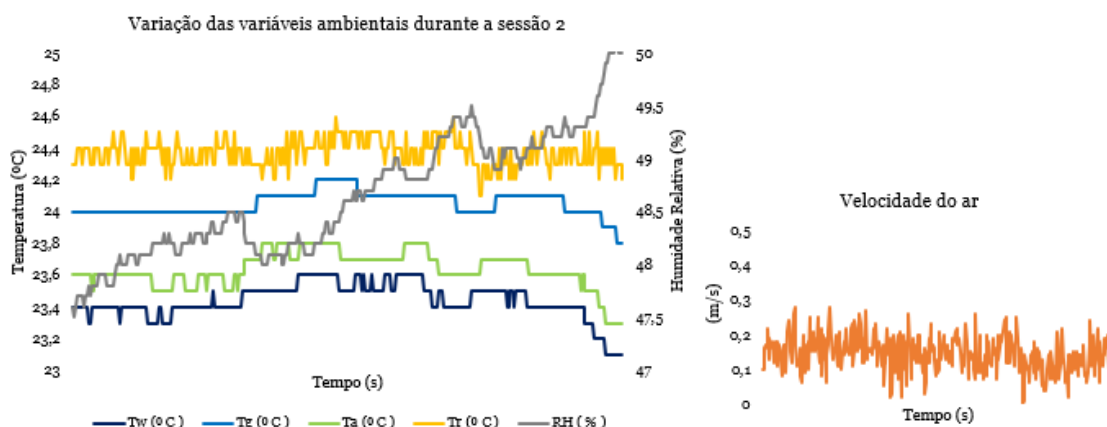


Figura 9 - Variação das variáveis ambientais medidas durante a sessão 2.

3.3. Avaliação do conforto térmico – Índices PMV, PPD e WBGT

A avaliação do conforto térmico, como vimos anteriormente, pode ser efetuada através do cálculo de índices de conforto térmico, tais como o índice de PMV, PPD e WBGT, que combinam uma ou mais variáveis ambientais, nomeadamente, a temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade relativa e velocidade do ar. Na Tabela 14 encontram-se representados os índices de conforto térmico de cada voluntário auferidos na sessão 1 e 2.

Tabela 14 - Média (desvio padrão) dos índices de conforto térmico de cada voluntário, obtidos em cada sessão.

Voluntário	Sessão 1			Sessão 2		
	PMV	PPD (%)	WBGT (° C)	PMV	PPD (%)	WBGT (° C)
1	1,78 (0,02)	66,28 (1,18)	30,51 (0,08)	-0,32 (0,13)	7,42 (1,83)	23,63 (0,10)
2	1,84 (0,02)	69,33 (1,06)	30,51 (0,08)	-0,07 (0,11)	5,33 (0,43)	23,63 (0,10)
3	1,84 (0,02)	69,33 (1,06)	30,51 (0,08)	-0,07 (0,11)	5,33 (0,43)	23,63 (0,10)
4	1,75 (0,02)	64,10 (1,27)	30,51 (0,08)	-0,48 (0,14)	10,33 (3,09)	23,63 (0,10)
5	1,70 (0,02)	61,85 (1,39)	30,51 (0,08)	-0,68 (0,16)	15,20 (4,80)	23,63 (0,10)

Verificou-se que os índices de conforto térmico apresentam valores diferentes nas sessões 1 e 2 (teste Wilcoxon, $p < 0,05$). Pela análise da tabela anterior, é de notar que o índice WBGT foi igual para todos os voluntários em cada sessão.

Segundo a norma ISO 7730 [15], em condições de conforto térmico, o índice de PMV enquadra-se no intervalo numérico que varia de -0,5 a 0,5, o que não se verificou na sessão 1, uma

vez que o índice de PMV foi superior a 1 para todos os voluntários. Quanto ao índice de PPD, a mesma norma indica que um ambiente é considerado termicamente confortável quando a percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições de um determinado ambiente é inferior a 10%, o que também não se verificou com a sessão 1, que apresentou um índice de PPD superior a 60%.

No que diz respeito à sessão 2, quatro dos cinco voluntários apresentaram um valor de PMV compreendido entre -0,5 e 0,5, já o índice de PPD, foi inferior a 10% para 3 voluntários. No que diz respeito aos restantes participantes, o voluntário 5 teve um índice de PMV igual a -0,68 e um índice de PPD ligeiramente superior a 10%, tal como o voluntário 4.

Perante esta análise, conclui-se que o ambiente da sessão 1 foi avaliado como um ambiente termicamente quente para todos os voluntários, uma vez que o índice de PMV foi acima de 1,7 e o índice de PPD superior a 60%. Ainda que, na sessão 2, os voluntários 4 e 5, tenham apresentado valores de PMV ligeiramente superior a -0,5 e PPD ligeiramente superior a 10%, o ambiente desta sessão foi considerado termicamente confortável, pois em nenhum dos casos, estes índices se afastaram muito do intervalo de valores para que o ambiente seja considerado termicamente confortável. Vejamos no subcapítulo seguinte se esta avaliação é concordante com a avaliação subjetiva da sensação térmica que resultou dos questionários efetuados.

3.4. Avaliação subjetiva do Conforto Térmico - Questionários

A avaliação subjetiva do conforto térmico de cada voluntário foi efetuada através do preenchimento de questionários, no início e no final de cada sessão. No questionário inicial foi avaliada a sensação térmica no momento de entrada na sessão. No questionário final foi avaliada a sensação térmica sentida no final da sessão, a sensação térmica que gostaria de sentir no momento final do ensaio e ainda os sintomas sentidos durante toda a sessão.

Na Tabela 15 encontram-se os resultados obtidos da sensação térmica de cada voluntário no início e no final da sessão 1, e a sensação térmica que gostaria de sentir no final do ensaio, através da análise aos questionários, inicial e final.

Tabela 15 – Sensação térmica sentida pelos voluntários no início e no final da sessão 1, e a sensação térmica que gostaria de sentir no final da mesma sessão.

Voluntário	Sensação térmica inicial	Sensação térmica final	Sensação térmica que gostaria de sentir no final
1	Quente	Muito quente	Neutro
2	Ligeiramente quente	Quente	Neutro
3	Quente	Quente	Mais frio
4	Quente	Muito quente	Neutro
5	Muito quente	Muito quente	Mais frio

Através dos resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se que houve uma diferença notória da sensação térmica sentida pelos voluntários do início para o final do procedimento experimental, isto é, no momento de entrada na sessão, três dos cinco voluntários sentiam-se quentes e os restantes dois ligeiramente quente e muito quente, ao passo que, no final da sessão nenhum dos voluntários se sentia ligeiramente quente, dois deles sentiam-se quentes e os restantes três encontraram o ambiente muito quente, ou seja, a sensação térmica dos voluntários aumentou do início para o final da sessão. Relativamente à sensação térmica que os voluntários gostariam de sentir no final da sessão 1, três dos cinco voluntários preferiam sentir-se neutros e os restantes 2 gostariam de estar num ambiente mais frio.

Assim sendo podemos constatar que os votos de sensação térmica dos voluntários, estão de acordo com os índices de conforto térmico registados na Tabela 14, que indicam que o ambiente da sessão 1, foi avaliado como desconfortável. Ainda assim, olhando para a escala de 7 pontos da ASHRAE, a avaliação objetiva da sensação térmica não é totalmente concordante com a avaliação subjetiva, uma vez que para a primeira, através da análise dos índices de conforto térmico, o ambiente foi considerado termicamente quente para todos os voluntários, enquanto que para a análise subjetiva, apenas dois dos cinco voluntários consideraram o ambiente quente, os restantes três avaliaram o ambiente como muito quente.

Relativamente à sensação térmica que os voluntários sentiram na condição experimental da sessão 2, os resultados da análise aos questionários, inicial e final, encontram-se representados na Tabela 16.

Tabela 16 - Sensação térmica sentida pelos voluntários no início e no final da sessão 2, e a sensação térmica que gostaria de sentir no final da mesma sessão.

Voluntário	Sensação térmica inicial	Sensação térmica final	Sensação térmica que gostaria de sentir no final
1	Muito quente	Neutro	Neutro
2	Quente	Neutro	Mais quente
3	Quente	Neutro	Neutro
4	Ligeiramente quente	Ligeiramente frio	Mais quente
5	Muito quente	Neutro	Neutro

Pela análise da Tabela 16, repara-se que houve uma diferença notória da sensação térmica sentida no momento inicial da sessão e no final, melhor dizendo, no momento de entrada na sessão 2, um dos concorrentes sentia-se ligeiramente quente, dois estavam com sensação térmica quente e os restantes dois sentiam-se muito quente. No final da sessão, quatro dos participantes sentiam-se neutros e o restante ligeiramente frio, ou seja, a maior parte dos voluntários passou de um cenário desconfortável para uma situação confortável. No que diz respeito à sensação térmica que cada voluntário gostaria de sentir no final da sessão, três dos cinco gostariam de se sentir neutros e os restante dois preferiam sentir-se mais quentes.

Posto isto, verifica-se que a avaliação subjetiva dos voluntários pela escala de 7 pontos da ASHRAE, difere um pouco da avaliação objetiva realizada através dos índices de conforto térmico anotados na Tabela 14, uma vez, que esta indica que o ambiente da sessão 2 foi avaliado como confortável para todos os voluntários, enquanto que a avaliação subjetiva revela que um dos voluntários considerou o ambiente ligeiramente frio.

Para além da avaliação da sensação térmica dos voluntários na sessão 1 e 2, foram também avaliadas as sensações que cada um dos voluntários sentiu durante o decorrer da sessão, tais como, ansiedade, aumento dos batimentos cardíacos, stress, calafrios ou sonolência, indicados na Tabela 17.

Tabela 17 - Sensações que os voluntários sentiram na sessão 1 e 2.

Voluntário	Sensações sentidas durante cada sessão	
	Sessão 1	Sessão 2
1	Aumento dos batimentos cardíacos	Ansiedade Calafrios
2	Ansiedade Aumento dos batimentos cardíacos Stress	Aumento dos batimentos cardíacos Stress Calafrios
3	Nenhum	Nenhum
4	Sonolência Ansiedade	Ansiedade
5	Sonolência	Nenhum

Mediante a tabela anterior, é de notar que ambas as sessões provocaram efeitos nos voluntários. Na sessão 1, dois voluntários sentiram ansiedade, aumento dos batimentos cardíacos e sonolência, um deles sentiu stress e outro não sentiu qualquer sintoma durante a sessão. A sonolência, ansiedade, aumento dos batimentos cardíacos e stress podem ter ocorrido devido às condições desfavoráveis da sessão 1. Relativamente à sessão 2, dois voluntários sentiram ansiedade e calafrios, um deles sentiu aumento dos batimentos cardíacos e outro sentiu stress, houve ainda dois voluntários que não sentiram qualquer efeito das condições ambientais da sessão. Os calafrios podem ter sucedido devido ao facto de a sensação térmica dos voluntários ter diminuído significativamente ao longo da sessão, como representado na Tabela 16. No que diz respeito à ansiedade, aumento dos batimentos cardíacos e stress, as condições ambientais da sessão 2 não o justificam, portanto pode ser um efeito da realização do sudoku.

3.5. Confronto do sinal eletroencefalográfico com os índices de conforto térmico

Este subcapítulo que agora se inicia será dividido em duas partes; inicialmente será confrontada a resposta eletroencefalográfica, obtida durante o período de aquisição (10 minutos) dos cinco voluntários, com os índices de conforto térmico, tais como o índice WBGT, PMV e PPD; numa segunda instância será comparada a resposta eletroencefalográfica do período de

aclimação em cada sessão e ainda o período de aclimação com o período de aquisição do voluntário 1, na sessão 1 e 2.

A análise e discussão de resultados da relação da atividade eletroencefalográfica com os índices de conforto térmico de cada sessão podem ser observadas nas secções seguintes.

3.5.1. Período de aquisição dos voluntários: Sessão 1 Vs. Sessão 2

Após a recolha dos dados adquiridos com o BrainBIT foi feita uma análise do sinal eletroencefalográfico, no entanto, observou-se que a PSD do sinal das ondas *Delta*, *Teta*, *Alfa*, *Beta* e *Gama* apresentava valores muito elevados, tornando difícil o seu estudo. Deste modo, foi necessário fazer uma normalização do sinal e transformar a PSD destas ondas em PSD relativa, através da seguinte equação:

$$PSD\ relativa = \frac{PSD\ da\ banda\ (Delta,\ Teta,\ Alfa,\ Beta\ ou\ Gama)}{(Delta + Teta + Alfa + Beta + Gama)} \quad [Equação\ 22]$$

De seguida, após a normalização dos dados, foi feita novamente uma análise do sinal de todos os voluntários; o voluntário 5 apresentava numerosos outliers, ou seja, valores atípicos no sinal, pelo que se procedeu à sua remoção. A extração destes valores consiste na eliminação de um instante temporal, isto é, foi analisada cada variável medida e, sempre que aparecia um outlier, era removida a linha temporal de todo o sinal que continha esse valor. Assim sendo, foi retirado cerca de um minuto e quarenta segundos num total de dez minutos ao sinal do voluntário 5, posto isto, já foi possível estudar o sinal adquirido dos cinco voluntários. Por conseguinte, podemos então observar na informação que se segue a influência do conforto térmico na amplitude do sinal eletroencefalográfico.

Inicialmente vão ser abordadas as ondas cerebrais e métricas cognitivas e por fim a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca.

Começando pelos valores médios da PSD_{relativa} da atividade *Delta* (Tabela 18), verificou-se que estes apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, p<0,05).

Tabela 18 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Delta de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD relativa de <i>Delta</i> (µV ² /Hz)	PSD relativa de <i>Delta</i> (µV ² /Hz)
1	0,35 (0,22)*	0,22 (0,14)*
2	0,38 (0,22)*	0,23 (0,13)*
3	0,30 (0,22)*	0,13 (0,10)*
4	0,36 (0,19)*	0,25 (0,15)*

5	0,37 (0,19)*	0,12 (0,15)*
---	--------------	--------------

*p<0,05.

É de notar pela análise da tabela que a PSD_{relativa} de *Delta* diminuiu significativamente da sessão 1 para a sessão 2 em todos os voluntários. Esta informação pode ser completada com figura seguinte (Figura 10), onde se observam as alterações da amplitude de cada voluntário consoante os índices de conforto térmico obtidos em cada sessão.

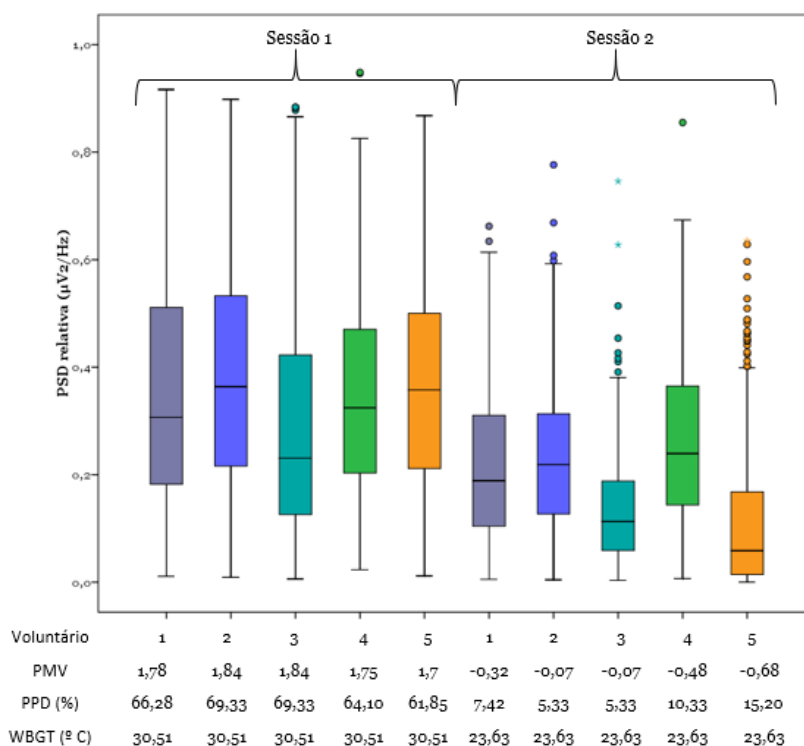


Figura 10 - Valores de PSD relativa da atividade *Delta* e índices de conforto térmico de para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Através da análise da Figura 10, verifica-se que a amplitude da onda *Delta* foi significativamente afetada pelos índices de conforto térmico, uma vez que apresenta diferenças significativas da sessão 1 para a sessão 2. É de notar que a sua amplitude foi superior na sessão, cujo ambiente foi avaliado como desconfortável, o que está de acordo com a literatura, [10], [9], [5], que indica, que a atividade *Delta* é superior em ambientes termicamente desconfortáveis.

Se fizermos uma observação mais detalhada, percebe-se que a amplitude *Delta* foi superior na sessão 1, para os voluntários que tiveram valores de PMV e PPD iguais a, 1,84; 1,78 e 69,33%; 66,28%, respetivamente, ou seja, para os voluntários cujo desconforto térmico foi superior e na sessão 2 a sua amplitude foi menor para o voluntário 3, cujos índices de conforto térmico foram mais próximos de 0, com PMV = -0,07 e PPD =5,33%, indicadores de um ambiente confortável.

Relativamente aos voluntários 2 e 3, nota-se que ambos apresentam o mesmo valor dos índices de conforto térmico, mas uma diferença significativa na amplitude *Delta*, este facto talvez possa ser justificado com a informação da Tabela 17, que indica que o voluntário 2, sentiu

ansiedade, stress e aumento dos batimentos cardíacos no decorrer das duas sessões. Consequentemente, a atividade desta onda foi superior para o voluntário 2, o que está de acordo com a pesquisa efetuada, que indica, que uma atividade *Delta* superior pode ser um indicador de ansiedade [42], [81].

Em resumo, percebe-se que a amplitude da onda *Delta* foi superior na sessão 1, cujos valores de PMV, PPD e WBGT apresentaram valores que permitem considerar o ambiente como termicamente desconfortável, e que tem tendência a ter amplitudes superiores quando o nível de desconforto é maior; percebe-se também que a atividade *Delta* foi mais reduzida para valores de índices de conforto térmico mais próximos de zero, ou seja, na zona de conforto térmico.

Apesar de a literatura referir [42], [81] que ambientes termicamente desconfortáveis podem provocar ansiedade, os resultados do presente estudo não são claros, porque, de acordo com a Tabela 17, na sessão 2, também houve voluntários que sentiram ansiedade, ainda que o ambiente tenha sido considerado termicamente confortável.

Quanto à onda *Teta*, os valores médios do seu PSD_{relativa} podem ser observados na seguinte tabela (Tabela 19).

Tabela 19 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda *Teta* de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD relativa de <i>Teta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD relativa de <i>Teta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,39 (0,15)*	0,44 (0,15)*
2	0,39 (0,17)	0,39 (0,13)
3	0,25 (0,13)	0,24 (0,11)
4	0,36 (0,14)*	0,41 (0,14)*
5	0,36 (0,14)*	0,22 (0,18)*

* $p < 0,05$.

Verificou-se que as amostras recolhidas da atividade *Teta* apresentam valores de PSD_{relativa} diferentes nas sessões 1 e 2, exceto para os voluntários 2 e 3 para os quais não se encontram diferenças significativas entre as sessões (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). No entanto, para os que apresentam diferenças, enquanto que os voluntários 1 e 4 os valores aumentam na sessão 2, para o voluntário 5 diminuem. A sua relação com os índices de conforto térmico pode ser analisada na Figura 11.

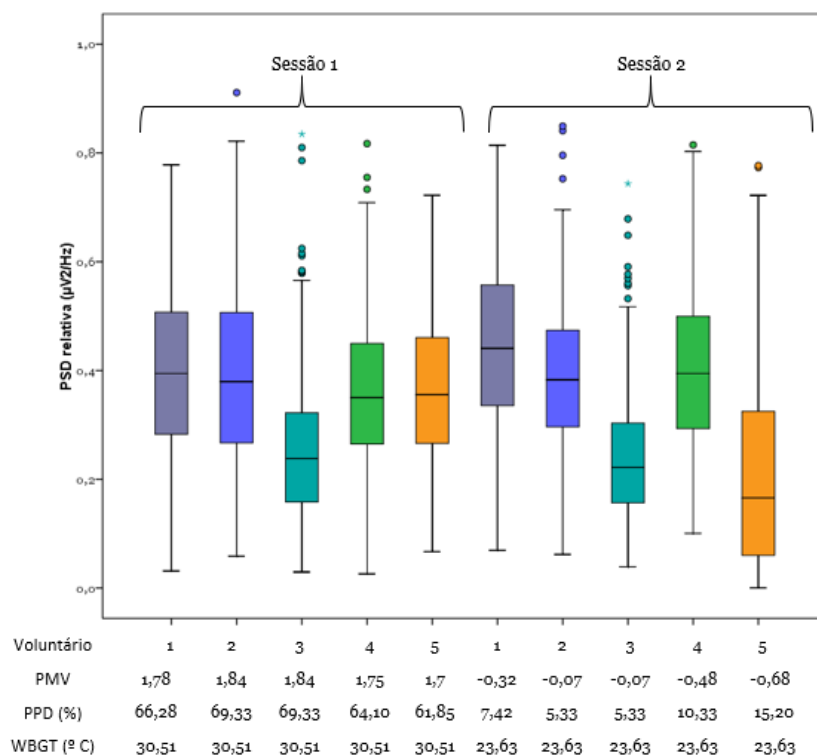


Figura 11 - Valores de PSD_{relativa} da atividade *Teta* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Mediante a análise da tabela e figura anterior, verifica-se que a PSD relativa de *Teta* para os voluntários 2 e 3 não apresentou diferenças entre a sessão 1 e 2, para os voluntários 1 e 4 foi superior quando os índices de PMV e PPD tomaram valores próximos de zero e o índice WBGT foi igual a 23,63°C, valores indicadores de conforto térmico, enquanto que para o voluntário 5, a atividade *Teta* foi superior no ambiente termicamente desconfortável (PMV=1,7; PPD=61,85% e WBGT=30,51°C).

Segundo alguns autores, [82], [7], [83], a atividade *Teta* está associada ao processamento cognitivo e é significativamente afetada pela temperatura do ar, sendo predominante em ambientes termicamente confortáveis. Neste caso de estudo, não obtivemos resultados concordantes com a literatura, uma vez que, a PSD relativa de *Teta* não teve um padrão semelhante, uma vez que, para um dos voluntários a PSD relativa foi superior no ambiente termicamente desconfortável e para dois dos cinco voluntários foi superior na sessão 2.

No que diz respeito à onda *Alfa*, os valores médios da PSD_{relativa} de cada voluntário, obtidos em cada sessão, encontram-se representados na Tabela 20.

Tabela 20 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Alfa de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD relativa de Alfa ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD relativa de Alfa ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,16 (0,09)*	0,19 (0,09)*
2	0,11 (0,07)*	0,17 (0,07)*
3	0,12 (0,07)*	0,19 (0,08)*
4	0,13 (0,07)*	0,16 (0,06)*
5	0,13 (0,07)	0,16 (0,18)

* $p < 0,05$.

Verificou-se que as amostras da onda *Alfa* para o voluntário 5 não apresentam valores de $\text{PSD}_{\text{relativa}}$ significativamente diferentes nas sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). De um modo geral repara-se que a amplitude da onda *Alfa* foi superior na sessão 2 para todos os voluntários. Esta informação pode ser completada com o gráfico da Figura 12.

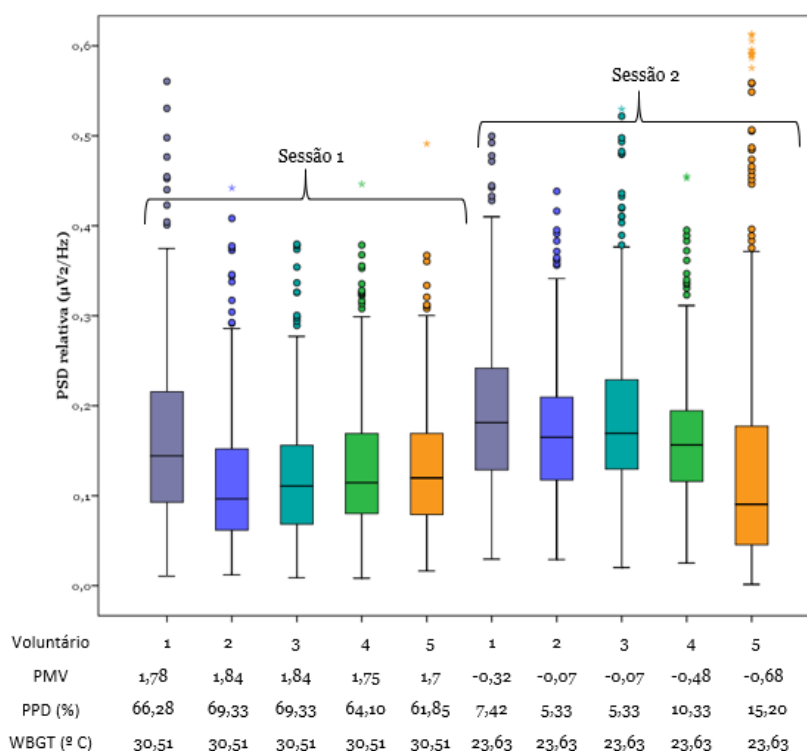


Figura 12 - Valores de $\text{PSD}_{\text{relativa}}$ da atividade *Alfa* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Pela análise da figura anterior (Figura 12), verifica-se, que a atividade *Alfa*, com exceção do voluntário 5, foi significativamente superior na sessão 2, quando os índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV e PPD, apresentaram valores próximos de zero, e WBGT igual a $23,63^{\circ}\text{C}$, ou seja, valores no intervalo de conforto térmico. Esta informação está de acordo com a literatura, [63], [66], [6], [9], que refere que a atividade *Alfa* é superior em ambientes

considerados termicamente confortáveis ou ligeiramente frios, e que a sua amplitude diminui em ambientes com humidade relativa mais baixa. É de notar que na sessão 1, quando a sensação de desconforto térmico foi superior, ou seja, PMV=1,84, PPD=69,33% e WBGT=30,51° C, foi quando se verificaram valores mais baixos da PSD relativa da atividade *Alfa*.

Segundo alguns autores [71], [84], [85], amplitudes mais baixas desta onda são indicadores de stress, e valores mais elevados, indicadores de relaxamento. De acordo com os resultados obtidos na análise da amplitude *Alfa*, parece que ambientes termicamente desconfortáveis são propícios a estados de stress, uma vez que a amplitude *Alfa* foi inferior para 4 dos 5 voluntários neste ambiente, enquanto que, quando os índices de conforto térmico, como o PPD, PMV e WBGT tomaram valores dentro do intervalo de valores para que o ambiente se possa considerar termicamente confortável, a amplitude desta onda aumenta, podendo ser um indicador de relaxamento.

Relativamente à onda *Beta*, os valores médios da PSD_{relativa} de cada voluntário em cada sessão podem ser observados na Tabela 21 e a sua relação com os índices de conforto térmico na Figura 13.

Tabela 21 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Beta de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD relativa de <i>Beta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD relativa de <i>Beta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,05 (0,03)*	0,07 (0,04)*
2	0,05 (0,04)*	0,09 (0,04)*
3	0,06 (0,03)*	0,09 (0,04)*
4	0,06 (0,03)*	0,08 (0,04)*
5	0,06 (0,03)*	0,09 (0,08)*

*p<0,05.

Verificou-se que os valores médios da PSD_{relativa} relativos à atividade *Beta* apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, p<0,05).

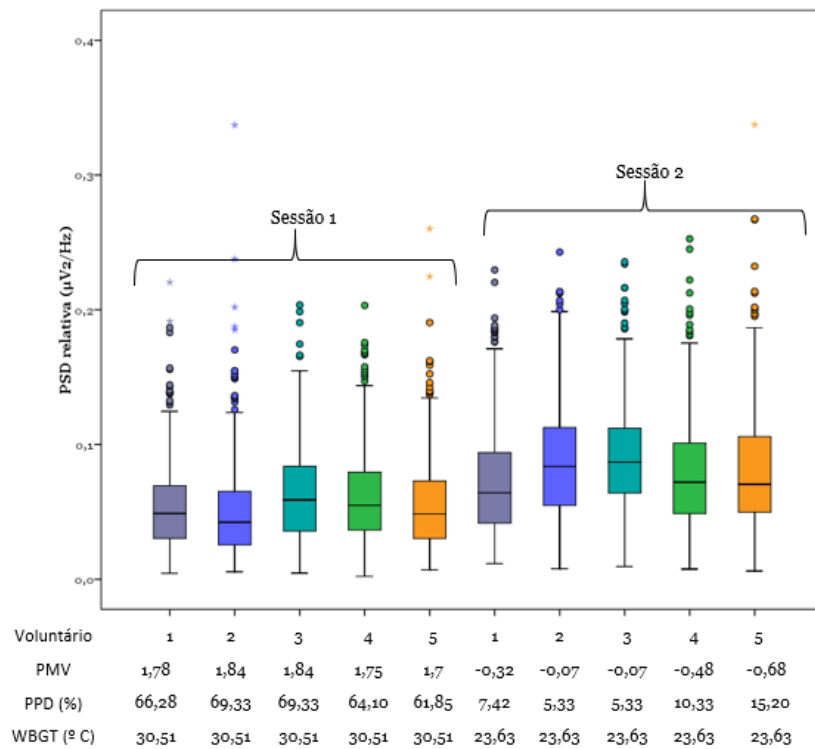


Figura 13 - Valores de PSD_{relativa} da atividade *Beta* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Pela análise da Figura 13, verifica-se que a onda *Beta* foi significativamente afetada pelos índices de conforto térmico em estudo, isto porque, a sua atividade foi ligeiramente superior quando os índices de conforto térmico, nomeadamente o índice de PMV e PPD foram próximos de zero, isto é, PMV = -0,07 e PPD= 5,33%, e quando o índice WBGT desceu de 30,51° C para 23,63°C, valores estes, que indicam, que o ambiente é termicamente confortável.

É também observável que a amplitude de *Beta* foi semelhante para todos os voluntários, quer na sessão 1, quer na sessão 2. Isto pode dever-se ao facto de os participantes terem preenchido o sudoku e esta onda estar associada a estados de alerta e concentração [71], [84]. Posto isto, de acordo com os resultados obtidos, verificou-se que o ambiente termicamente confortável foi propício a maiores níveis de concentração e atenção.

Como um dos objetivos deste estudo é também avaliar o comportamento da onda *Gama*, na Tabela 22 encontram-se representados os valores médios da PSD relativa de cada voluntário e em cada sessão.

Tabela 22 - Média (desvio padrão) da PSD relativa da onda Gama de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD relativa de <i>Gama</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD relativa de <i>Gama</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,04 (0,03)*	0,07 (0,06)*
2	0,06 (0,05)*	0,12 (0,05)*
3	0,27 (0,16)*	0,35 (0,12)*
4	0,10 (0,08)*	0,10 (0,06)*
5	0,08 (0,06)*	0,42 (0,30)*

* $p < 0,05$.

Verificou-se que os valores médios da PSD_{relativa} relativos à atividade *Gama* apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Pode observar-se na Figura 14 a relação da atividade *Gama* com os índices de conforto térmico em estudo.

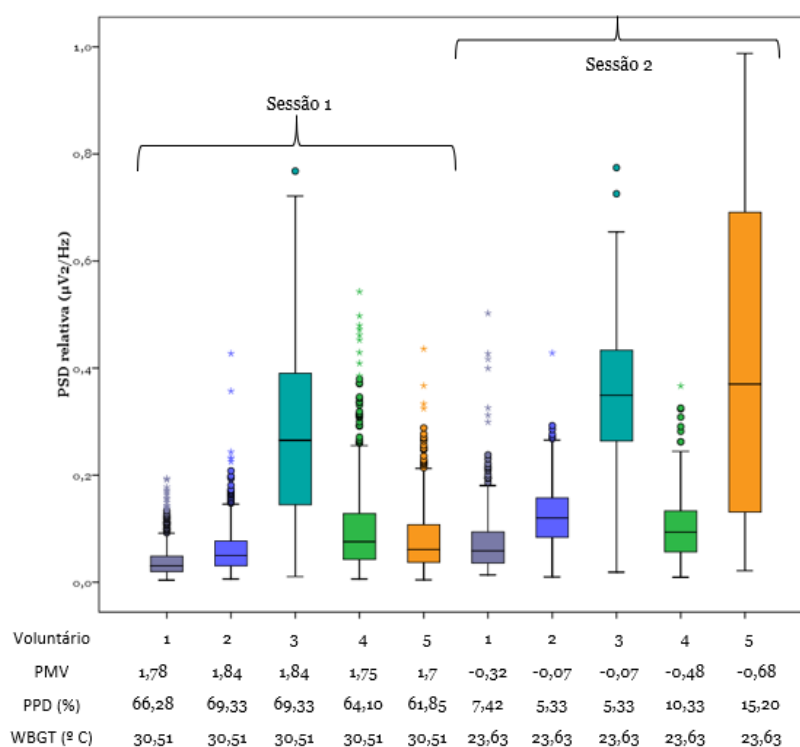


Figura 14 - Valores de PSD_{relativa} da atividade *Gama* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Ao observar a figura anterior, é de notar que a PSD relativa de Gama foi superior na sessão 2, com ambiente térmico confortável, isto é, quando os índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV e o PPD foram próximos de zero e o índice WBGT foi 23,63° C, por sua vez, na sessão 1, os voluntários que apresentaram menores valores da PSD relativa de Gama, foram aqueles, que segundo os índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV e o PPD, sentiram mais desconforto (PMV= 1,78 e 1,84 e PPD=66,28% e 69,33%) e WBGT igual a 30,51°

C. Em suma, mediante os resultados obtidos, percebe-se que a PSD relativa de *Gama* é superior no ambiente termicamente confortável e que a sua atividade é inferior no ambiente termicamente desconfortável.

Uma vez que a atividade *Gama* está associada ao elevado processamento cognitivo [86], [87], o aumento desta atividade na sessão 2, avaliada como termicamente confortável, pode ser um indicador de maior processamento cognitivo.

Depois de analisada a amplitude do sinal das ondas cerebrais, será efetuada a seguir uma análise das métricas cognitivas, nomeadamente a métrica *Engagement, Attention Control e Mental Attentiveness*.

A estatísticas da PSD do *Engagement* podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica *Engagement* de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD do <i>Engagement</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD do <i>Engagement</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,10 (0,07)*	0,12 (0,09)*
2	0,11 (0,08)*	0,16 (0,09)*
3	0,19 (0,14)*	0,24 (0,14)*
4	0,13 (0,09)*	0,15 (0,09)*
5	0,12 (0,08)*	0,60 (0,96)*

* $p < 0,05$.

Verificou-se que os valores médios da PSD da métrica *Engagement* apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). Sabemos que o *Engagement* é o resultado da divisão da onda *Beta* com a soma de *Alfa* e *Teta*, e verificou-se que a sua amplitude foi superior na sessão 2, quando o ambiente foi considerado termicamente confortável, o que também aconteceu com as ondas que têm influência nesta métrica. Vejamos na Figura 15, a sua relação com os índices de conforto térmico.

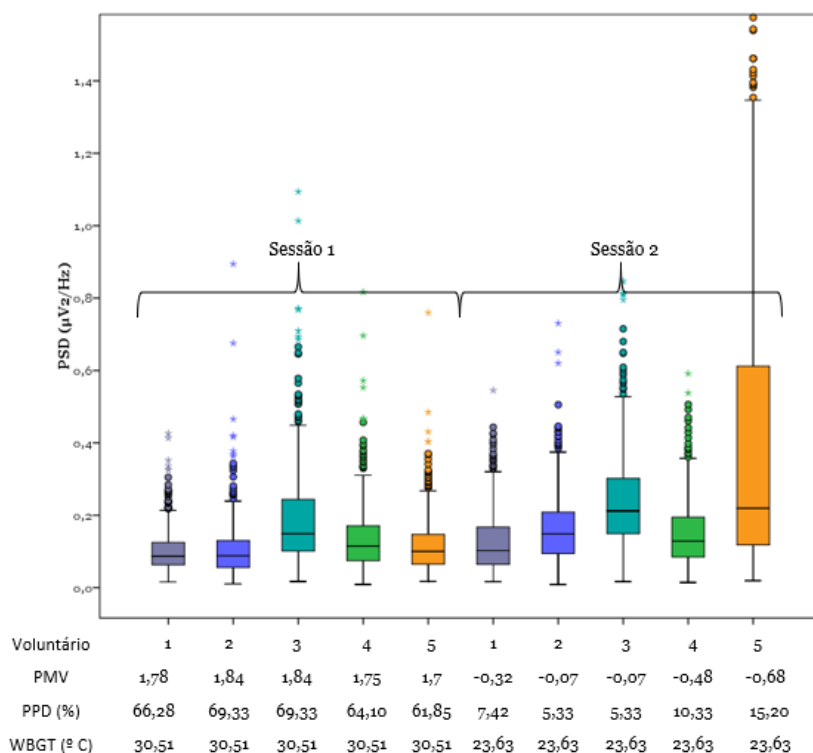


Figura 15 - Valores de PSD da atividade do *Engagement* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Pela análise do gráfico, observa-se que todos os voluntários apresentaram maior amplitude desta métrica na sessão 2, isto quer dizer, que a amplitude do *Engagement* é afetada pelos índices de conforto térmico, uma vez que, a PSD aumenta quando o índice de PMV, PPD apresentam valores dentro do intervalo de valores para que o ambiente se possa considerar termicamente confortável. Se olharmos mais detalhadamente para a sessão 2, à exceção do voluntário 5, repara-se que, o *Engagement* foi superior quando os índices de PMV, PPD foram mais próximos de zero, -0,07 e 5,33%, respetivamente e o índice WBGT 23,63° C. Já na sessão 1, com exceção do voluntário 3, os valores da PSD do *Engagement* foram inferiores para índices de PMV e PPD com os seguintes valores: PMV = 1,84 e 1,78 e PPD = 69,33% e 66,28%, que por sua vez, são valores que correspondem a uma maior sensação de desconforto térmico.

Posto isto, percebe-se que a PSD do *Engagement*, no nosso caso de estudo, é superior em ambientes termicamente confortáveis e que tende a diminuir com o aumento do desconforto térmico.

Segundo a literatura [49], [50], o *Engagement* está associado ao envolvimento numa determinada tarefa, à recolha de informação e ao processamento de estímulos visuais e auditivos, assim sendo, segundo os resultados obtidos no presente estudo, verifica-se que estes fatores foram superiores no ambiente termicamente confortável.

Relativamente à métrica cognitiva *Attention Control*, os valores médios medidos em cada voluntário, durante cada sessão, podem ser observados na Tabela 24.

Tabela 24 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica *Attention Control* de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

Voluntário	Sessão 1	Sessão 2
	PSD da <i>Attention Control</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD do <i>Attention Control</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	0,16 (0,12)*	0,20 (0,18)*
2	0,15 (0,16)*	0,26 (0,21)*
3	0,33 (0,33)*	0,51 (0,40)*
4	0,20 (0,17)*	0,24 (0,18)*
5	0,18 (0,14)*	1,78 (5,20)*

* $p < 0,05$.

Verificou-se que os valores médios da PSD da métrica *Attention Control* apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). É de notar que a PSD desta métrica aumenta significativamente na sessão 2. Vejamos na Figura 16 o seu comportamento com os índices de conforto térmico.

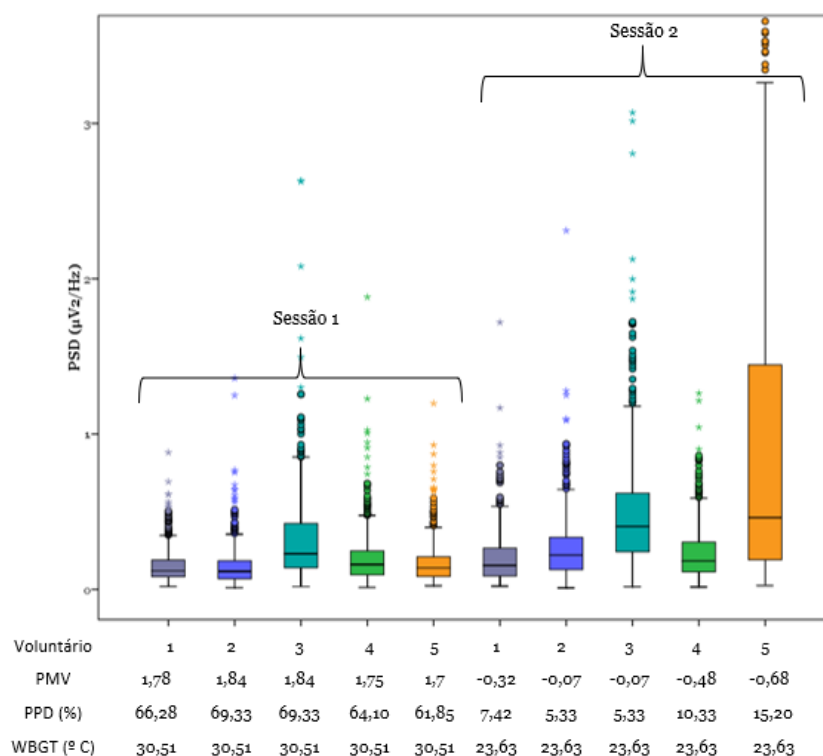


Figura 16 - Valores de PSD da atividade da *Attention Control* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Através da análise da figura, percebe-se que a amplitude da *Attention Control*, foi superior quando os índices de conforto térmico apresentaram valores que avaliam o ambiente como termicamente confortável. Relativamente à sessão 1, avaliada como termicamente desconfortável, apresentou amplitudes mais reduzidas desta métrica cognitiva. Observando mais detalhadamente, verifica-se que os valores da PSD na sessão 1, foram mais baixos para o voluntário 1 e 2, que por sua vez apresentam índices de conforto térmico com valores iguais a:

PMV=1,78 e 1,84; PPD=66,28% e 69,33% e WGBT=30,51° C, valores estes, indicadores de uma maior situação de desconforto térmico.

Posto isto, confirma-se que a *Attention Control* é significativamente afetada pelos índices de conforto térmico e os seus valores da PSD diminuem com o aumento da sensação de desconforto térmico.

Sabe-se que esta métrica é resultado da razão da onda *Beta* com *Teta* e que a sua atividade está associada ao processamento de estímulos emocionais e à capacidade de estar atento a uma determina tarefa [46]. Assim sendo, e com a informação anterior, de acordo com os resultados obtidos no nosso caso de estudo, com apenas 5 voluntários, percebe-se que ambientes termicamente desconfortáveis são propícios a um menor estado de atenção e tornam o processamento de estímulos emocionais mais difícil.

Em relação à métrica *Mental Attentiveness*, os seus valores médios e do desvio padrão podem ser observados na tabela seguinte (Tabela 25).

Tabela 25 - Média (desvio padrão) da PSD da métrica *Mental Attentiveness* de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	PSD da <i>Mental Attentiveness</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	PSD do <i>Mental Attentiveness</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)
1	3,42 (2,07)	3,51 (2,58)
2	2,80 (1,76)*	2,37 (1,36)*
3	2,29 (1,46)	2,46 (2,00)
4	2,70 (2,05)	2,62 (1,81)
5	2,85 (1,80)*	2,24 (3,20)*

* $p < 0,05$.

Verificou-se que as amostras recolhidas da métrica *Mental Attentiveness* apresentam valores de PSD diferentes na sessão 1 e 2, exceto para os voluntários 1, 3 e 4 para os quais não se encontram diferenças significativas entre as sessões (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

No gráfico da Figura 17, é possível verificar as alterações da atividade da *Mental Attentiveness* com os índices de conforto térmico.

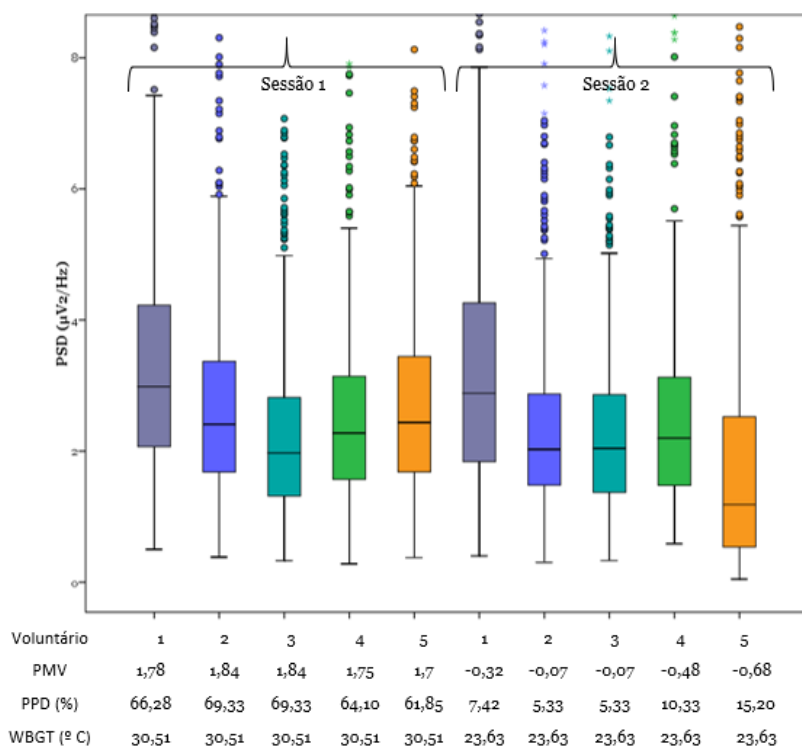


Figura 17- Valores de PSD da atividade da *Mental Attentiveness* e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Como referido na informação anterior, verifica-se que as amostras apenas foram diferentes para o voluntário 2 e 5, ou seja, para os restantes voluntários, as amostras entre cada sessão foram iguais. Nos voluntários cujas amostras foram diferentes, verifica-se que a PSD da *Mental Attentiveness* foi inferior quando os índices de PMV e PPD foram próximos de zero e o índice WBGT igual a 23,63°C, correspondentes a um ambiente termicamente confortável.

De acordo com literatura, [11], [12] sabe-se que a PSD desta métrica é superior em ambientes termicamente desconfortáveis, porém, segundo os resultados obtidos, não se consegue tirar uma conclusão concordante com a literatura, uma vez que, apenas houve alterações significativas entre a sessão 1 e 2 para dois dos cinco voluntários.

Por fim, resta ainda analisar o confronto da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca com os índices de conforto térmico. Na Tabela 26, encontram-se representados os valores médios da frequência cardíaca de cada voluntário, obtidos em cada sessão.

Tabela 26 - Média (desvio padrão) da frequência cardíaca de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	Frequência cardíaca (bpm)	Frequência cardíaca (bpm)
1	104,99 (4,25)*	100,21 (10,81)*
2	100,51 (8,53)*	97,54 (11,25)*
3	86,72 (3,64)*	91,67 (3,79)*
4	88,21 (5,11)*	74,3 (15,97)*
5	102,74 (4,79)*	99,97 (4,22)*

*p<0,05.

Verificou-se que os valores médios frequência cardíaca apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, p<0,05). Segundo os valores da Tabela 26, observa-se que os valores médios da frequência cardíaca foram superiores na sessão 1, com exceção do voluntário 3. Contudo, por vezes nestes casos, os valores médios podem levar-nos em erro devido à presença de valores discrepantes. Desta forma torna-se pertinente avaliar a relação da frequência cardíaca com os índices de conforto térmico segundo a Figura 18.

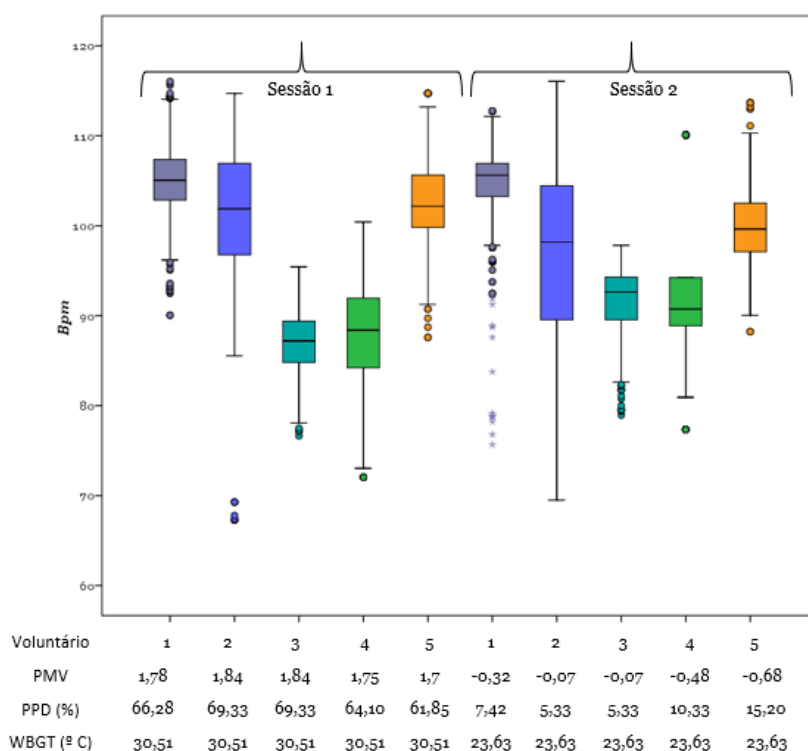


Figura 18 - Frequência cardíaca e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Numa primeira análise, verifica-se que os voluntários 3 e 4 foram os que registaram valores mais baixos da frequência cardíaca, em ambas as sessões, na ordem dos 80-90 bpm. Quando comparada a sessão 1 com a sessão 2, nota-se que os voluntários 1,2 e 5 apresentaram

valores mais elevados da frequência cardíaca na sessão 1, avaliada como termicamente desconfortável. Relativamente aos índices de conforto térmico, confirma-se que a frequência cardíaca atingiu valores mais elevados quando estes apresentaram valores, que indicam maior desconforto, ou seja, PMV = 1,78 e 1,84, e PPD = 66,28% e 69,33%, e valores mais baixos quando os índices foram mais baixos. Perante esta análise, verifica-se que a frequência cardíaca tem tendência a ser superior em ambientes termicamente desconfortáveis, mas nem sempre isto acontece.

Por último, no que diz respeito à variabilidade da frequência cardíaca, os valores medidos de cada voluntário na sessão 1 e 2, podem ser observados na Tabela 27.

Tabela 27 - Média (desvio padrão) da variabilidade da frequência cardíaca de cada voluntário, na sessão 1 e 2.

	Sessão 1	Sessão 2
Voluntário	Variabilidade da frequência cardíaca (ms)	Variabilidade da frequência cardíaca (ms)
1	30,15 (13,33)*	38,66 (22,09)*
2	41,47 (21,69)*	45,95 (20,05)*
3	50,4 (20,22)*	47,85 (19,54)*
4	58,16 (22,75)*	74,3 (15,97)*
5	36,16 (15,22)*	38,76 (12,33)*

*p<0,05.

Verificou-se que os valores médios da variabilidade da frequência cardíaca apresentam diferenças significativas entre as sessões 1 e 2 (teste de Wilcoxon, p<0,05). Observa-se, igualmente, que a média da variabilidade da frequência cardíaca foi superior na sessão 2, com exceção do voluntário 3. A relação da variabilidade da frequência cardíaca com os índices de conforto térmico pode ser observada na Figura 19.

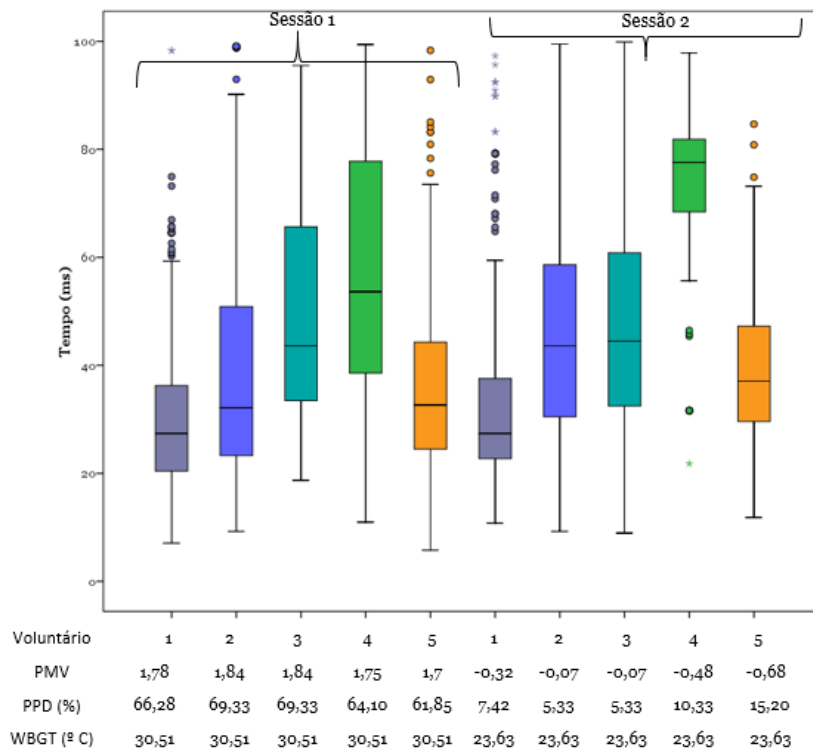


Figura 19 - Variabilidade da frequência cardíaca e índices de conforto térmico para a sessão 1 e 2 e para todos os indivíduos.

Pela análise da figura anterior percebe-se que os índices de conforto térmico tiveram influência na variabilidade da frequência cardíaca, uma vez que, foi maioritariamente superior na sessão 2, na qual estes índices apresentaram valores que permitem avaliar o ambiente como termicamente confortável. Por outro lado, verifica-se que quando os índices de PMV, PPD e WBGT foram superiores a 1, 60% e igual a 30,51° C, respetivamente, foi quando se verificaram valores mais baixos da variabilidade da frequência cardíaca, ou seja, neste caso de estudo, o ambiente termicamente desconfortável foi propício a maiores níveis de stress, devidos aos valores mais baixos da VFC e o ambiente confortável a momentos de relaxamento/meditação.

3.5.2. Período de aclimação Vs. Período de aquisição

A aclimação corresponde às alterações fisiológicas no organismo quando um indivíduo está em exposição contínua a um ambiente cujas condições sejam adversas, ou seja, fora da zona de conforto térmico [88]. Torna-se assim pertinente avaliar as alterações eletroencefalográficas, da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca verificadas durante o período de aclimação com o verificado no período de aquisição. Tal só foi possível para o voluntário 1 que, como referido anteriormente, foi o único voluntário que colocou o BrainBIT durante 40 minutos, dos quais 30 corresponderam ao período de aclimação e 10 minutos ao período de aquisição onde foi realizado o sudoku. Para tal é necessário observar os índices de conforto térmico obtidos, em cada sessão, durante o período de aclimação e aquisição, representados na Tabela 28.

Tabela 28 - Média (desvio padrão) dos índices de conforto térmico no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

	Sessão 1		Sessão 2	
	Aclimação	Aquisição	Aclimação	Aquisição
PMV	1,80 (0,02)	1,76 (0,01)	-0,35 (0,06)	-0,30 (0,06)
PPD (%)	66,89 (0,79)	65,02 (0,61)	8,03 (1,00)	7,04 (0,84)
WBGT (° C)	30,55 (0,06)	30,42 (0,42)	23,62 (0,06)	23,74 (0,05)

Repara-se, pela análise da Tabela 28, que na sessão 1, os índices de conforto térmico foram inferiores no período de aquisição, o mesmo aconteceu na sessão 2 com exceção do índice WBGT, que foi um pouco superior no período de aquisição. Além dos valores dos índices de conforto térmico é também importante fazer a análise estatística dos dados eletroencefalográficos registados no período de aquisição e aclimação. Estes dados podem ser observados na Tabela 29.

Tabela 29 - Média (desvio padrão) de cada variável no período de aclimação aquisição na sessão 1 e 2.

	Sessão 1		Sessão 2	
	Aclimação	Aquisição	Aclimação	Aquisição
PSD relativa de <i>Delta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,38 (0,21)*	0,35 (0,22)	0,22 (0,16)*	0,22 (0,14)*
PSD relativa de <i>Teta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,39 (0,16)	0,39 (0,15)	0,38 (0,14)*	0,44 (0,15)*
PSD relativa de <i>Alfa</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,12 (0,07)*	0,16 (0,09)*	0,15 (0,07)*	0,19 (0,09)*
PSD relativa de <i>Beta</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,04 (0,03)*	0,05 (0,03)*	0,07 (0,03)*	0,07 (0,04)*
PSD relativa de <i>Gama</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,08 (0,09)*	0,04 (0,03)*	0,18 (0,11)*	0,07 (0,06)*
PSD do <i>Engagement</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,09 (0,07)*	0,10 (0,06)*	0,14 (0,09)*	0,12 (0,09)*
PSD da <i>Attention Control</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	0,13 (0,13)*	0,16 (0,12)*	0,22 (0,18)*	0,20 (0,18)*
PSD da <i>Mental Attentiveness</i> ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)	3,26 (1,96)*	3,42 (2,07)	2,60 (1,70)*	3,51 (2,56)*
Frequência cardíaca (<i>Bpm</i>)	104,76 (7,60)*	105,00 (4,26)*	103,11 (6,80)*	100,21 (10,10)*
Variabilidade da frequência cardíaca (ms)	32,10 (15,44)*	30,15 (13,33)	38,23 (17,43)*	38,66 (22,09)

* $p < 0,05$.

Através de uma breve análise à tabela anterior, verifica-se que ocorreram alterações das variáveis medidas no período de aclimação entre as duas sessões e entre o período de aclimação e aquisição de cada sessão. Nas figuras seguintes encontra-se uma representação mais simplificada das variações ocorridas nas variáveis fisiológicas entre estes períodos. Na

Figura 20 encontra-se representado o período de aclimação e aquisição da onda *Delta* na sessão 1 e 2.

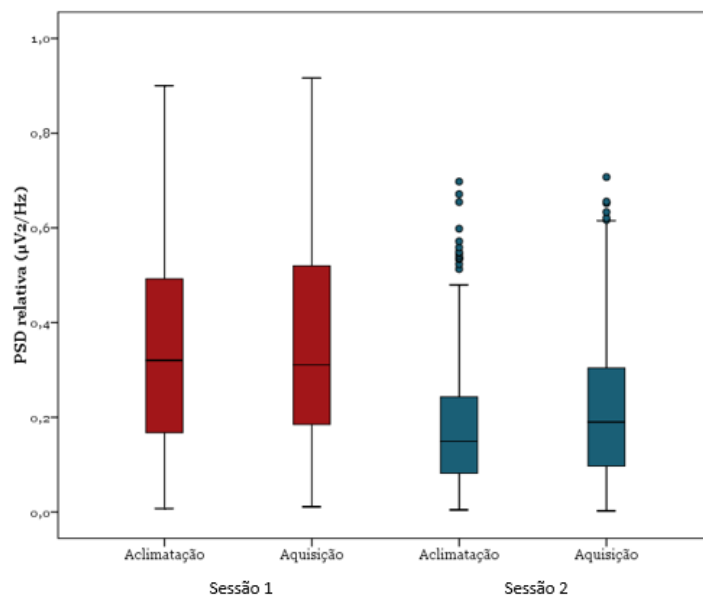


Figura 20 – Evolução da onda *Delta* nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que apenas as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). Assim, verificou-se que a PSD relativa de *Delta* no período de aclimação foi significativamente superior na sessão 1, quando comparada com o período de aclimação da sessão 2, na qual o ambiente foi avaliado como termicamente desconfortável.

Quanto às alterações verificadas no período de aquisição e no período de aclimação da sessão 2, nota-se que foi ligeiramente superior no período de aquisição. Como vimos anteriormente, a onda *Delta* tem amplitudes superiores em estados de sonolência, o facto de esta ter maior amplitude no período de aquisição poder ser um indicador de sonolência que tenha surgido no decorrer da sessão e que aumentou no final.

No gráfico da figura seguinte, encontram-se os dados obtidos da PSD relativa da onda *Teta*.

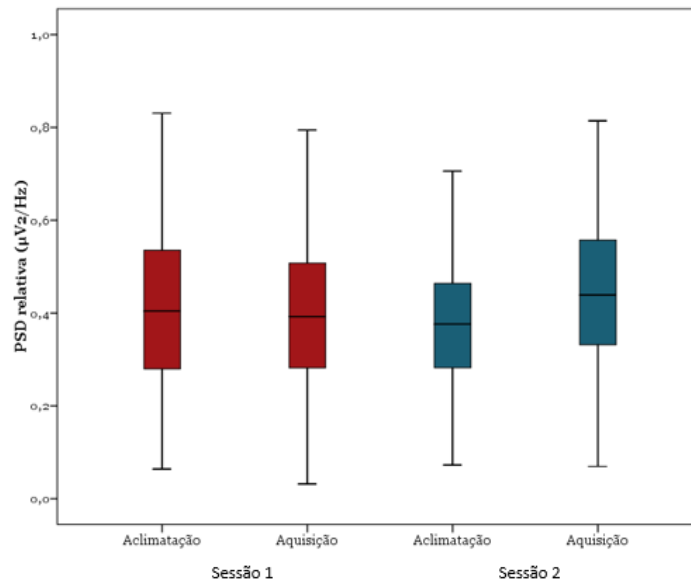


Figura 21 - Evolução da onda *Teta* nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que apenas as amostras entre o período de aclimatação e aquisição da sessão 2 apresentavam diferenças significativas entre si (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

A Figura 21 mostra que a PSD relativa da atividade *Teta* foi superior no período de aquisição, isto pode ser devido à realização o sudoku, pelo que o processamento cognitivo fez aumentar a amplitude desta. No que diz respeito ao período de aquisição entre as duas sessões, a sua análise foi realizada no subcapítulo anterior.

Relativamente à atividade *Alfa*, os resultados obtidos podem ser observados no gráfico da Figura 22.

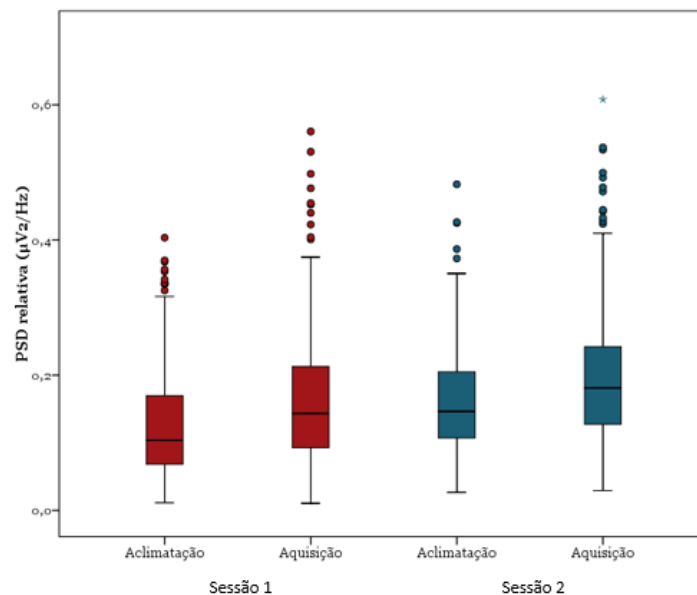


Figura 22 - Evolução da onda *Alfa* nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Relativamente à comparação do período de aclimação da sessão 1 e 2, verifica-se que foi no período de aclimação da sessão 2 onde houve maiores amplitudes da PSD relativa da onda Alfa, ou seja, na sessão com índices de conforto térmico próximos de zero, que caracterizam o ambiente como confortável, uma vez que, a média do poder relativo de Alfa foi cerca de 0,15 ($\mu V^2/Hz$), enquanto que no ambiente da sessão 1, considerado termicamente desconfortável, a amplitude média foi ligeiramente inferior, cerca de 0,12 ($\mu V^2/Hz$).

Em relação ao período de aclimação e aquisição da sessão 1, verifica-se que no período de aquisição a atividade Alfa foi consideravelmente superior, o mesmo acontece na sessão 2, após a entrega do sudoku.

Em referência à onda Beta, os resultados do período de aclimação e aquisição referentes à sessão 1 e 2, podem ser observados na Figura 23.

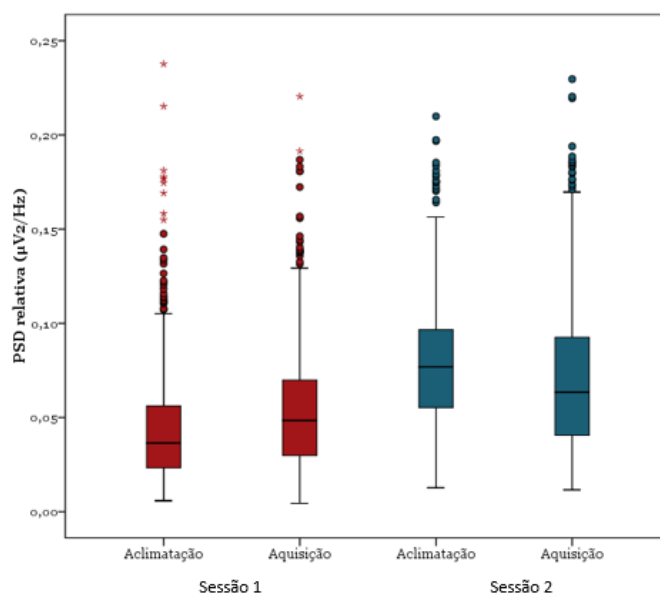


Figura 23 - Evolução da onda Beta nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Em relação ao período de aclimação de ambas as sessões, nota-se que o período de aclimação da sessão 2 teve amplitudes significativamente superiores, enquanto que a média da PSD relativa da sessão 1 foi cerca de 0,04 ($\mu V^2/Hz$), na sessão 2 foi quase o dobro, 0,07 ($\mu V^2/Hz$).

Relativamente ao período de aclimação e aquisição da sessão 1, observa-se que a atividade Beta foi ligeiramente superior no período de aquisição. Quanto à sessão 2, percebe-se pela Tabela 29 que a média da PSD relativa foi igual para o período de aclimação e aquisição, ainda assim, se observarmos a figura anterior nota-se que foi no período de aquisição que houve

valores mais elevados da atividade *Beta*. No entanto torna-se ainda difícil perceber em que período é que foi superior. Se olharmos para a evolução temporal da onda *Beta* no Anexo 6, repara-se que esta tem tendência a diminuir durante o período de aclimação e no final aumenta significativamente até ao final do ensaio, ou seja, a atividade *Beta* foi superior no período de aquisição da sessão 2.

O facto de a atividade *Beta* ter sido superior no período de aquisição das duas sessões comparativamente ao período de aclimação, pode ser devido à tarefa que o voluntário estava a desempenhar, uma vez que a onda *Beta* está associada a estados de atenção e concentração, como vimos anteriormente.

A análise do comportamento da onda *Gama* no período de aclimação e aquisição em cada sessão pode ser observada na Figura 24.

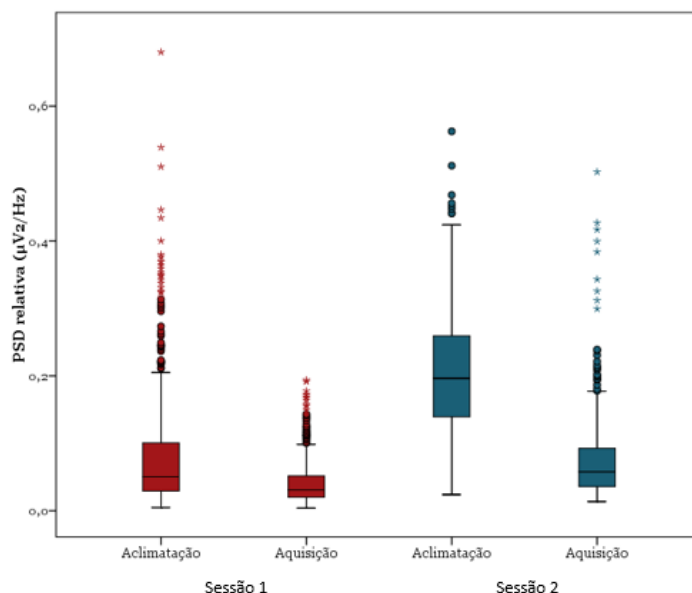


Figura 24 - Evolução da onda *Gama* nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Ao observar o gráfico da figura anterior, percebe-se de imediato que houve alterações entre os períodos em estudo. No que diz respeito ao tempo de aclimação da sessão 1 e 2, verifica-se que a atividade *Gama* foi significativamente superior no período de aclimação da sessão 2, uma vez que, na sessão 1 a média da PSD relativa foi cerca de 0,08 ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$), já na sessão 2 foi 0,18 ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$).

Relativamente ao período de aclimação e aquisição da sessão 1, verifica-se que a onda *Gama* teve valores superiores no período de aclimação, o que também se verificou na sessão 2, ainda assim, foi na sessão 1 que se verificou a maior estabilidade de resultados, uma vez houve menos dispersão de valores.

Relativamente às métricas cognitivas, os resultados obtidos nos períodos de aclimação e de aquisição entre a sessão 1 e 2 do *Engagement* podem ser observados na Figura 25.

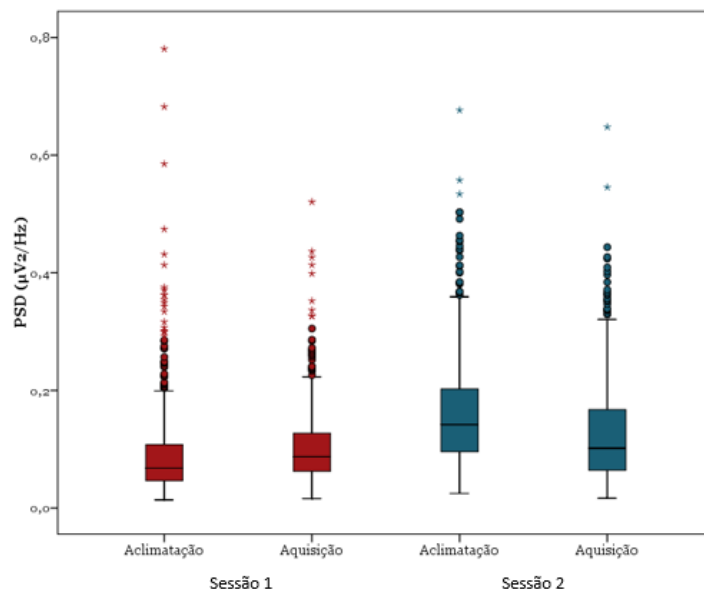


Figura 25 - Evolução da métrica *Engagement* nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). Assim, observa-se que foi na sessão 2 que se verificaram maiores amplitudes desta métrica e maior variabilidade de valores.

No que diz respeito ao tempo de aclimação e aquisição da sessão 1, nota-se que a PSD do *Engagement* foi superior nos últimos 10 minutos, que correspondem ao tempo de aquisição, o contrário aconteceu na sessão 2. Se observarmos a evolução temporal desta métrica (Anexo 6), verifica-se que tanto na sessão 1 como na sessão 2, no final do período de aclimação até ao final do ensaio, a atividade do *Engagement* estabiliza.

Relativamente à métrica cognitiva *Attention Control*, as alterações verificadas no período de aclimação e entre o período de aclimação e aquisição de cada sessão podem ser observadas na figura seguinte (Figura 26).

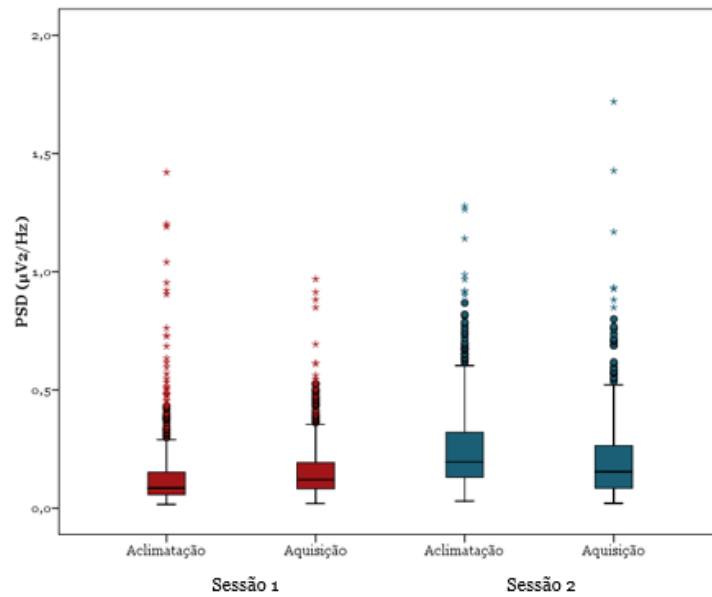


Figura 26 - Evolução da métrica *Attention Control* nos períodos de aclimatação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimatação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimatação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$). Verifica-se que a amplitude da *Attention Control* foi significativamente superior na sessão 2 no período de aclimatação, comparativamente ao período de aclimatação da sessão 1, visto que a média de PSD na sessão 2 foi de $0,22 \mu V^2/Hz$ e na sessão 1, foi $0,13 \mu V^2/Hz$.

Em relação à variação da amplitude do sinal entre o período de aclimatação e aquisição da sessão 1, observa-se que a PSD foi superior no período de aquisição, ainda que tenham existido valores mais elevados no período de aclimatação, que por sua vez, foi neste último, que se verificou maior variabilidade de valores. No que diz respeito ao período de aclimatação e aquisição da sessão 2, pela Figura 26, percebe-se que a atividade da *Attention Control* foi ligeiramente superior no período de aclimatação. Verifica-se também quando se observa a evolução temporal do sinal (Anexo 6), que a *Attention Control* estabiliza no final do período de aclimatação até ao final do ensaio.

Relativamente à métrica *Mental Attentiveness*, os resultados obtidos podem ser observados na Figura 27.

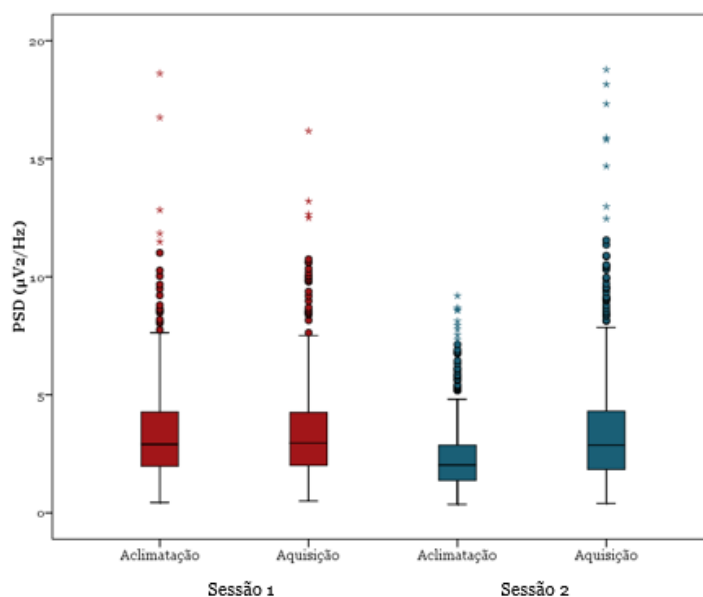


Figura 27 - Evolução da métrica *Mental Attentiveness* nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Os valores da PSD foram significativamente superiores no período de aclimação da sessão 1, enquanto que na sessão 1 a sua média foi $3,26 (\mu V^2/Hz)$, na sessão 2 foi $2,60 (\mu V^2/Hz)$.

No que diz respeito ao período de aclimação e aquisição da sessão 2, percebe-se que a atividade da *Mental Attentiveness* foi ligeiramente superior no período de aquisição, ou seja, neste caso o nível de fadiga do voluntário aumentou no final da sessão, mais precisamente a partir dos instantes finais do período de aclimação (Anexo 6).

A análise das alterações da frequência cardíaca verificadas entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 e entre o período de aclimação de cada sessão pode ser observada na Figura 28.

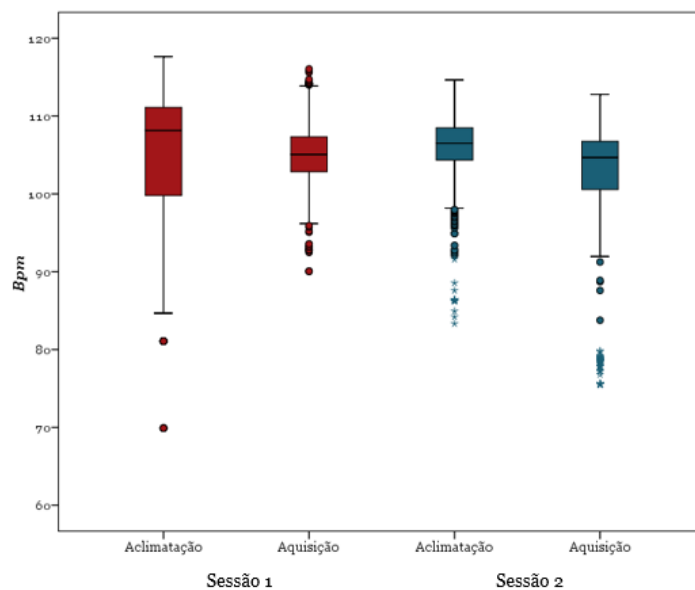


Figura 28 - Evolução da frequência cardíaca nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si, assim como as amostras entre o período de aclimação e aquisição da sessão 1 e 2 (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Quando se observa o período de aclimação de cada sessão, percebe-se que foi na sessão 1 onde ocorreram valores mais elevados da frequência cardíaca, com valores médios na ordem dos 104 batimentos cardíacos por minuto; foi também nesta sessão que se verificou um batimento cardíaco mais irregular.

Relativamente ao período de aclimação e aquisição da sessão 1, note-se que no período de aquisição a frequência cardíaca é ligeiramente inferior, ou seja, após a aclimação à sessão 1 o batimento cardíaco estabiliza.

Quanto ao período de aquisição e aclimação da sessão 2, a frequência cardíaca teve um comportamento semelhante ao da sessão 1, ou seja, os batimentos cardíacos foram superiores no período de aclimação e inferiores na aquisição. Porém, na sessão 1, a frequência cardíaca no final do ensaio estabiliza, enquanto que na sessão 2 diminui significativamente nos instantes finais do ensaio, para valores na ordem dos 90 batimentos cardíacos por minuto (Anexo 6).

Quanto à variabilidade da frequência cardíaca os dados relativos ao período de aclimação e aquisição podem ser observados na figura seguinte (Figura 29).

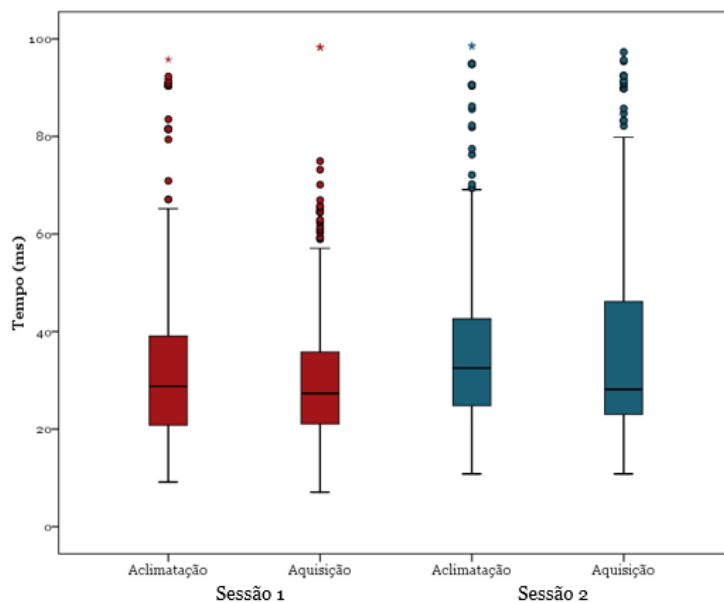


Figura 29 - Evolução da variabilidade da frequência cardíaca nos períodos de aclimação e aquisição, nas sessões 1 e 2.

Verificou-se que apenas as amostras entre o período de aclimação da sessão 1 e 2 apresentavam diferenças significativas entre si (teste de Wilcoxon, $p < 0,05$).

Verifica-se que a variabilidade da frequência cardíaca foi ligeiramente superior na sessão 2, isto é, na sessão 1 a média da variabilidade da frequência cardíaca foi aproximadamente 32 ms, enquanto que na sessão 2 foi cerca de 38 ms, ou seja, as oscilações no intervalo entre cada batimento cardíaco foram superiores na sessão 2, que por sua vez foi onde se verificaram menores valores da frequência cardíaca, ou seja, valores mais elevados de frequência cardíaca provocam uma diminuição da variabilidade da frequência cardíaca.

4. Conclusão

O objetivo principal da presente dissertação era compreender de que forma as condições de conforto térmico, traduzidas em alguns dos índices que lhe estão associados, nomeadamente os índices PMV, PPD e WBGT, influenciam a atividade cerebral, a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca. Desta forma adotou-se uma metodologia de ensaio que teve como objetivo a imposição de dois ambientes térmicos diferentes para a aquisição da correspondente resposta eletroencefalográfica.

Em relação à avaliação do ambiente térmico, segundo os índices de conforto térmico, calculados a partir de grandezas medidas no local, conclui-se que o ambiente da sessão 1 foi considerado termicamente quente para todos os voluntários, e o da sessão 2 considerado confortável. Quanto à avaliação subjetiva, realizada através de inquéritos, conclui-se que o ambiente da sessão 1 foi avaliado como termicamente quente para 2 voluntários e muito quente para os restantes três. No que diz respeito à sessão 2, foi avaliada como confortável para 4 voluntários e ligeiramente fria para o restante. Quanto às sensações sentidas pelos voluntários durante cada uma das sessões, também recolhidas através de um inquérito, a ansiedade foi o sintoma mais comum entre os voluntários.

Relativamente aos resultados do sinal eletroencefalográfico no nosso estudo, verificou-se que os índices de conforto térmico têm influência na amplitude do EEG, na frequência cardíaca e na variabilidade da frequência cardíaca. A atividade *Delta* teve tendência a aumentar com o aumento do desconforto térmico sentido pelos voluntários, a atividade *Alfa Beta e Gama*, foi tendencialmente superior quando os índices de conforto térmico apresentaram valores que permitiam caracterizar o ambiente como termicamente confortável. Quanto aos resultados da atividade *Delta* pode dizer-se que estão de acordo com a literatura, [5], [9], [10], assim como a atividade *Alfa e Beta* [6], [63], [66], [71], [72] e também a atividade *Gama* [10], apesar de ainda serem poucos os estudos. Embora a literatura [7], [82], refira que a atividade *Teta* é superior em ambientes termicamente confortáveis, neste caso de estudo não se encontrou uma relação com os índices de conforto térmico e a PSD relativa de *Teta*, uma vez que dois dos voluntários não apresentaram diferenças significativas entre a sessão 1 e 2; para outros dois, foi superior no ambiente termicamente confortável, e, para o restante a PSD relativa de *Teta* foi inferior na sessão termicamente desconfortável.

Em relação às métricas *Engagement* e *Attention Control*, ainda não foram realizados estudos que relacionassem a sua atividade com o conforto térmico, no entanto, no presente estudo, verificou-se uma tendência na relação entre a sua atividade e os índices de conforto térmico, visto que o *Engagement* e a *Attention Control* possuíram uma atividade mais elevada na sessão 2 que, segundo os valores dos índices de conforto térmico em estudo, permitiram avaliar o ambiente como termicamente confortável. Apesar de alguns autores [11], [12], referirem que a amplitude da *Mental Attentiveness* é superior em ambientes termicamente confortáveis, neste estudo, não se conseguiu observar uma relação entre a *Mental Attentiveness* e os índices de conforto térmico uma vez que a sua amplitude apenas foi diferente para dois dos cinco voluntários.

Por fim, os resultados deste estudo parecem indicar que os índices de conforto térmico em estudo também tiveram influência na frequência cardíaca e na variabilidade da frequência cardíaca. A frequência cardíaca foi maioritariamente superior na sessão com ambiente térmico desconfortável. Adicionalmente, a variabilidade da frequência cardíaca teve um comportamento contrário ao da frequência cardíaca, visto que a oscilação no intervalo entre batimentos cardíacos na generalidade diminuiu de uma sessão para a outra.

Quanto à aclimação, constatou-se que houve alterações no sinal eletroencefalográfico quando se comparou o ambiente confortável com o termicamente desconfortável. Quando se comparou o período de aclimação entre a sessão 1 e a sessão 2, verificou-se que foi na primeira, com ambiente termicamente desconfortável, que a atividade *Delta*, *Mental Attentiveness* e a frequência cardíaca foram superiores, enquanto que as restantes variáveis, como a atividade de *Teta*, *Alfa*, *Beta*, *Gama*, *Engagement*, *Attention Control* e variabilidade da frequência cardíaca, registaram valores superiores no período de aclimação da sessão 2, cujo ambiente foi avaliado como termicamente confortável. De um modo geral, a resposta à aclimação foi mais oscilatória no ambiente confortável, com índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV e PPD próximos de zero e WBGT igual a 23,63° C.

Para finalizar, em relação às alterações verificadas entre o período de aclimação e aquisição, confirmou-se que para as ondas *Delta*, *Teta*, *Alfa* e *Beta*, a amplitude destas aumentou do período de aclimação para o período de aquisição de ambas as sessões, assim como a amplitude da métrica *Mental Attentiveness*. Quanto às restantes variáveis, nomeadamente a atividade *Gama*, *Engagement*, *Attention Control*, frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca, verificou-se que a sua atividade diminuiu após o período de aclimação.

Espera-se assim, que este projeto, possa contribuir para mais um passo no conhecimento e compreensão do tema em estudo, e ainda incentivar a continuação de trabalhos nesta área.

4.1. Perspetivas Futuras

A realização do presente estudo permitiu reconhecer alguns aspetos que podem vir a ser úteis em investigações futuras. Dada a relevância do tema, será interessante em investigações futuras aprofundar e alargar o presente estudo. Eis algumas sugestões:

- Utilizar amostras mais alargadas, com diferentes faixas etárias e sexo, de modo a averiguar se estes fatores têm influência na relação entre a atividade eletroencefalográfica e os índices de conforto térmico;
- Realizar medições numa gama mais alargada de condições térmicas. Será interessante avaliar a resposta cerebral para mais do que dois ambientes térmicos;
- Ponderar a hipótese de em trabalhos futuros ser utilizada uma câmara termográfica, de forma a poder observar as diferenças na temperatura corporal no decorrer de cada sessão experimental;

- Antes do início do procedimento experimental, colocar os voluntários num ambiente térmico padrão, diferente do correspondente às sessões de estudo, de modo a poder ter uma melhor conclusão sobre a resposta à aclimação.

Bibliografia

- [1] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, "Thermal comfort: A review paper," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 2626-2640, 2010.
- [2] S. C. Turner *et al.*, "ASHRAE STANDARD Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy 55-2004," vol. 4723, 2008.
- [3] Z. Lin and S. Deng, "A study on thermal comfort in sleeping environments in the subtropics-Developing a thermal comfort model for sleeping environments," *Elsevier Sci. Publ. Co.*, vol. 42, 2006.
- [4] E. Charles, "Fanger's Thermal Comfort and Draught Models," *Natl. Res. Counc. Canada*, 2013.
- [5] M. Zhu, W. Liu, and P. Wargocki, "Changes in EEG signals during the cognitive activity at varying air temperature and relative humidity," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 30, no. 2, pp. 285-298, 2020.
- [6] J. T. C. Emilia Costa, J. Santos Baptista, Jorge Carvalho, "Influence of thermal environment on occipital EEG signal amplitude in sedentary activities," *Int. Journal Occupational Environ. Saf.*, 2018.
- [7] Y. Yao, Z. Lian, W. Liu, and Y. Liu, "Heart rate variation and electroencephalograph - the potential physiological factors for thermal comfort study," May, 2009.
- [8] J. F. da S. J.P. Carvalho, B.I.L. Barroso, L.B. da Silva, A.I.A. Neves, M.G.L. Torres, C.A. Falcão, J.C.F. Siqueira, A.G.L. Souza, E.L. Souza, "Students' blood pressure and heart rate in learning environments with thermal changes," *Int. Journal Occup. Environ. Saf.*, 2018.
- [9] L. Lan, Z. Lian, and L. Pan, "The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings," *Appl. Ergon.*, vol. 42, no. 1, pp. 29-36, 2010.
- [10] T. Okamoto, K. Tamura, N. Miyamoto, S. Tanaka, and T. Futaeda, "Physiological activity in calm thermal indoor environments," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, 2017.
- [11] F. Ftaiti, A. Kacem, N. Jaidane, Z. Tabka, and M. Dogui, "Changes in EEG activity before and after exhaustive exercise in sedentary women in neutral and hot environments," *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 6, pp. 806-811, 2010.
- [12] J. R. Lim, G. H. Baek, and E. S. Jeon, "Analysis of the Correlation between Thermal Sensations and Brain Waves via EEG Measurements," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 8, pp. 6069-6075, 2018.
- [13] L. Schellen, M. G. L. C. Loomans, M. H. de Wit, B. W. Olesen, and W. D. van M. Lichtenbelt, "The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions - Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling," *Physiol. Behav.*, vol. 107, no. 2, pp. 252-261, 2012.

- [14] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, "Thermal comfort: A review paper," *Elsevier*, 2010.
- [15] "ISO 7730, 'Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria', 2006.
- [16] A. A. C. Dias, "Avaliação da percepção da influência do conforto térmico na produtividade", 2013.
- [17] Xavier António, "Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis," 1999.
- [18] M. A. C. CARREIRA, "Avaliação Do Conforto Térmico Em Unidades De Saúde," *ASVDS - Associação Vertentes e Desafios da Segurança*, 2018.
- [19] "ISO 7726 (1998), 'Ergonomics of the Thermal environment- Instruments for measuring physical quantities'."
- [20] "ISO 8996, 'Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate' .," 2004.
- [21] D. Claridge, F. Kohloss, B. Rock, D. Underwood, and M. Woodford, *ASHRAE HANDBOOK COMMITTEE*. 2001.
- [22] D. DUBOIS, "A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known," *Arch Intern Med*, vol. 17, pp. 863-871, 1961.
- [23] "ISO 9920, 'Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble,' 2007.
- [24] P. E. D. M. Vasconcelos, "Estudo da relação entre variáveis térmicas e o desempenho de estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba," vol. 331e, p. 118, 2013.
- [25] M. G. C. D. Ndembo, "Avaliação subjetiva do conforto térmico laboral de uma empresa angolana." 2018.
- [26] P. D. Silva and P. D. Gaspar, "Análise das condições de conforto em ambientes refrigerados," 2014.
- [27] M. Torres, "Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas - estudo de multicasos no nordeste brasileiro," 2016.
- [28] F. O. R. Standardization and D. E. Normalisation, "International Standard Iso," vol. 1987, 1987.
- [29] DeltaOhm, *Operating manual Thermal Microclimate HD32.1. .*
- [30] C. H. Ying, C. H. Lin, and R. L. Hwang, "The thermal comfort level of activities on public outdoor space," *2011 Int. Conf. Consum. Electron. Commun. Networks, CECNet 2011 - Proc.*, pp. 5449-5452, 2011.
- [31] Fiequimetals, "Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho Ambiente de Trabalho," *Fiequimetal - Fed. Intersind. das Indústrias Met. Química, Farm. Elétrica, Energ. e Minas*, p. 80, 2000.
- [32] M. F. Bear, C. Barry W, and M. A. Paradiso, *Neurociências desvendado o sistema nervoso*,

- 4º Edição. 2017.
- [33] A. D. Craig, "Forebrain emotional asymmetry: A neuroanatomical basis?," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 9, no. 12, pp. 566-571, 2005.
- [34] R. Linhares, "Cérebro e Córtex Cerebral - Anatomia e Função | Kenhub." [Online]. Available: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/cerebro>. [Accessed: 02-Apr-2020].
- [35] "Lobos Cerebrais - Cérebro humano - InfoEscola." [Online]. Available: <https://www.infoescola.com/anatomia-humana/lobos-cerebrais/>. [Accessed: 02-Apr-2020].
- [36] O. Matias and P. Martins, *Regulação nervosa e hormonal em seres vivos*.
- [37] T. L. Cantarelli, J. J. A. M. Júnior, and S. L. S. Júnior, "Fundamentos da medição do EEG: Uma introdução," *SEA - Semin. Eletrônica e Automação*, no. September, pp. 1-6, 2016.
- [38] J. Moore and G. Zouridakis, *Biomedical Technology and Devices Handbook*, CRC PRESS. pp.136-172, 2004.
- [39] V. Stefanidis, M. Poulos, and S. Papavlasopoulos, "Bibliometrics EEG Metrics Associations and Connections Between Learning Disabilities and the Human Brain Activity," *Springer Nat. Switz.*, 2019.
- [40] J. Malmivuo and R. Plonsey, *Bioeletromagnetism*. 1995.
- [41] D. Nato, I. Campbell, X. Tan, and I. Feinberg, "Kinetics of NREM Delta EEG Power Density Across NREM PERiods Depend on Age and on Delta-Band Designation," *HHS Public Access*, 2009.
- [42] A. Liberato, "qEEG na prática clínica: um contributo para a construção de um modelo de fenótipos eletrofisiológicos da Perturbação do Controlo dos Impulsos," Universidade do Porto, 2018.
- [43] R. Nenert, S. Viswanathan, D. M. Dubuc, and K. M. Visscher, "Modulations of ongoing alpha oscillations predict successful short-term visual memory encoding," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 6, no. MAY 2012, pp. 1-11, 2012.
- [44] G. C. Falcão, "Como as emoções são processadas no Cérebro : uma análise de EEG usando equações diferentes Fuzzy Introdução Metodologia."
- [45] T. McMahan, I. Parberry, and T. D. Parsons, "Evaluating Player Task Engagement and Arousal Using Electroencephalography," *Procedia Manuf.*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 2303-2310, 2015.
- [46] P. Putman, B. Verkuil, E. Arias-Garcia, I. Pantazi, and C. Van Schie, "EEG theta/beta ratio as a potential biomarker for attentional control and resilience against deleterious effects of stress on attention," *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, vol. 14, no. 2, pp. 782-791, 2014.
- [47] T. Y. Wen and S. A. M. Aris, "Electroencephalogram (EEG) stress analysis on alpha/beta ratio and theta/beta ratio," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 1, pp. 175-182, 2020.

- [48] A. K. Engel, P. Fries, and W. Singer, "Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing," *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 2, no. 10, pp. 704-716, 2001.
- [49] T. McMahan, I. Parberry, and T. D. Parsons, "Evaluating Player Task Engagement and Arousal Using Electroencephalography," *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 2303-2310, 2015.
- [50] A. T. Pope, E. H. Bogart, and D. S. Bartolome, "Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task," *Biol. Psychol.*, vol. 40, no. 1-2, pp. 187-195, 1995.
- [51] B. Askarian, K. Jung, and J. W. Chong, "Monitoring of heart rate from photoplethysmographic signals using a Samsung Galaxy Note 8 in underwater environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 13, 2019.
- [52] P. H. Charlton *et al.*, "Breathing Rate Estimation from the Electrocardiogram and Photoplethysmogram: A Review," *IEEE Rev. Biomed. Eng.*, vol. 11, no. October, pp. 2-20, 2018.
- [53] J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiol. Meas.*, vol. 28, no. 3, pp. 1-39, 2007.
- [54] S. Vogel, M. Hülsbusch, T. Hennig, V. Blazek, and S. Leonhardt, "In-ear vital signs monitoring using a novel microoptic reflective sensor," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 13, no. 6, pp. 882-889, 2009.
- [55] P. D. Mannheim, "The light-tissue interaction of pulse oximetry," *Anesth. Analg.*, vol. 105, no. SUPPL. 6, 2007.
- [56] R. Martins, "Desenvolvimento de um sensor de fotoplethysmografia para monitorização cardíaca para aplicação no pulso", 2010.
- [57] "All About Heart Rate (Pulse) | American Heart Association." [Online]. Available: <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/all-about-heart-rate-pulse>. [Accessed: 08-May-2020].
- [58] L. C. M. Vanderlei, C. M. Pastre, R. A. Hoshi, T. D. de Carvalho, and M. F. de Godoy, "Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability," *Brazilian J. Cardiovasc. Surg.*, vol. 24, no. 2, pp. 205-217, 2009.
- [59] F. Shaffer and J. P. Ginsberg, "An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms," *Front. Public Heal.*, vol. 5, no. September, pp. 1-17, 2017.
- [60] N. Singh, K. J. Moneghetti, J. W. Christle, D. Hadley, D. Plews, and V. Froelicher, "Heart rate variability: An old metric with new meaning in the era of using mhealth technologies for health and exercise training guidance. Part one: Physiology and methods," *Arrhythmia Electrophysiol. Rev.*, vol. 7, no. 3, pp. 193-198, 2018.
- [61] International Organization for Standardization (ISO), "Ergonomics of the thermal environment - Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions," *Nat. Lang. Eng.*, vol. 10, no. 3-4, 2004.
- [62] K. Nkurikiyeyezu, Y. Suzuki, and G. F. Lopez, "Heart rate variability as a predictive biomarker of thermal comfort," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 2018.
- [63] L. Nybo and B. Nielsen, "Perceived exertion is associated with an altered brain activity

- during exercise with progressive hyperthermia,” *J. Appl. Physiol.*, vol. 91, no. 5, pp. 2017-2023, 2001.
- [64] A. Hunter, C. A. Gibson, Z. Mbambo, M. Lambert, and T. Noakes, “The effects of heat stress on neuromuscular activity during endurance exercise,” *Pflugers Arch. Eur. J. Physiol.*, vol. 444, no. 6, pp. 738-743, 2002.
- [65] E. A. Arens, “Title: The skin’s role in human thermoregulation and comfort”, Book Title: “from Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials,” 2006.
- [66] Y. Yao, Z. Lian, W. Liu, and Q. Shen, “Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures,” *Physiol. Behav.*, vol. 93, no. 1-2, pp. 310-321, 2008.
- [67] N. Hashiguchi, Y. Feng, and Y. Tochihara, “Gender differences in thermal comfort and mental performance at different vertical air temperatures,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 109, no. 1, pp. 41-48, 2010.
- [68] J. C. F. Siqueira and L. Bueno, “Analysis of air temperature changes on blood pressure and heart rate and performance of undergraduate students”, vol. 57, pp. 43-54, 2017.
- [69] A. M. Abbasi, M. Motamedzade, M. Aliabadi, R. Golmohammadi, and L. Tapak, “The impact of indoor air temperature on the executive functions of human brain and the physiological responses of body,” *Heal. Promot. Perspect.*, vol. 9, no. 1, pp. 55-64, 2019.
- [70] R. J. Maughan, S. M. Shirreffs., and P. Watson, “Exercise, Heat, Hydration and the Brain,” *J. Am. Coll. Nutr.*, 2007.
- [71] E. Tiago-Costa, E. Quelhas-Costa, and J. Santos-Baptista, “Cambios en la amplitud del EEG (Ondas Alfa y Beta) con el medio ambiente térmico,” *DYNA*, vol. 83, no. 197, pp. 87-93, 2016.
- [72] X. Shan, E.-H. Yang, and J. Zhou, “Human-building interaction under various indoor temperatures through neural-signal electroencephalogram (EEG) methods,” *Build. Environ.*, 2017.
- [73] Y. Choi, M. Kim, and C. Chun, “Effects of temperature on attention ability based on electroencephalogram measurements,” *Build. Environ.*, 2018.
- [74] S. L. Davey, G. Holman, and M. J. Tipton, “Can brain activity be used as a measure of thermal comfort?”, *ResearchGate*, 2009.
- [75] J. Henry, “Operating manual,” *TLS - Times Lit. Suppl.*, no. 5911, p. 29, 2016.
- [76] Emotai, “Datasheet BrainBIT,” *Neurotechnology*.
- [77] J. Guerreiro, R. Martins, H. Silva, A. Lourenço, and A. Fred, “BITalino: A multimodal platform for physiological computing,” *ICINCO 2013 - Proc. 10th Int. Conf. Informatics Control. Autom. Robot.*, vol. 1, pp. 500-506, 2013.
- [78] R. Ramos, “Development of a Mobile Platform for Physiological Computing”, 2019.
- [79] H. Chung, H. Ko, H. Lee, and J. Lee, “Deep Learning for Heart Rate Estimation from Reflectance Photoplethysmography with Acceleration Power Spectrum and Acceleration Intensity,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 63390-63402, 2020.

- [80] D. Castaneda, A. Esparza, M. Ghamari, C. Soltanpur, and H. Nazeran, "A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care," *PubMed.*, 2019.
- [81] D. Marcos, "Induced Brain Activity as Indicator of Cognitive Processes: Experimental-Methodical Analyses and Algorithms for Online Applications," 2007.
- [82] M. Zhu, W. Liu, and P. Wargocki, "Changes in EEG signals during the cognitive activity at varying air temperature and relative humidity," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2019.
- [83] A. Bastos Lelis, J. Cabral Filho, and E. em Matematica pela UESB, "UTILIZAÇÃO DE ONDAS CEREBRAIS PARA CONTROLE DE COMPONENTES ELETRÔNICOS."
- [84] "Estados mentais e frequências de ondas cerebrais - Portal." [Online]. Available: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/estados-mentais-e-frequencias-de-ondas-cerebrais/>. [Accessed: 18-Jan-2021].
- [85] M. Brandon Peters, "Alpha Waves and Your Sleep," *verywellhealth*, 2020.
- [86] J. Kaiser and W. Lutzenberger, "Human gamma-band activity: A window to cognitive processing," *NeuroReport*, vol. 16, no. 3, Neuroreport, pp. 207-211, 28-Feb-2005.
- [87] M. Kucewicz, B. Berry, V. Kremen, B. Brinkmann, M. Sperling, and B. Jobst, "Dissecting gamma frequency activity during human memory processing," 2017, pp. 1337-1350.
- [88] M. G. De Camargo, "Resposta Fisiológica do Corpo às Temperaturas Elevadas: Exercício, Extremos de Temperatura e Doenças Térmicas," *Saúde e Pesqui.*, vol. 4, no. 2, 2011.

Anexos

Anexo 1 – Folha de informação ao participante



Dissertação de Mestrado em Bioengenharia Influência do Conforto Térmico na Amplitude dos Sinais de EEG FOLHA DE INFORMAÇÃO AO PARTICIPANTE

Introdução

No âmbito da realização da dissertação de mestrado em Bioengenharia, pretende-se realizar um projeto de investigação subordinado ao tema: “Influência do Conforto Térmico na Amplitude dos Sinais de EEG”. Este projeto vai ser conduzido pelos orientadores Luís Pires e Ana Isabel Gouveia e pela aluna de mestrado Ana Marques, na Universidade da Beira Interior (UBI), para obtenção do grau de mestre (2º ciclo) em Bioengenharia.

Qual é o objetivo do estudo?

Estudar a resposta eletroencefalográfica de indivíduos submetidos a diferentes condições térmicas, nomeadamente, temperatura, humidade relativa e velocidade do ar. Especificamente:

1. Interpretação da amplitude do sinal eletroencefalográfico.
2. Desenvolver uma metodologia de ensaio que possibilite a variação isolada das condições térmicas impostas.
3. Calcular índices de conforto térmico com base nas grandezas térmicas medidas e nos inquéritos realizados previamente e posteriormente ao ensaio e confrontar a resposta eletroencefalográfica com esses mesmos índices.

Será que tenho de participar?

A sua participação é totalmente voluntária e em qualquer momento da sua participação pode manifestar o desejo de não colaborar, sem que tal implique quaisquer perdas de direitos e sem ter de dar qualquer justificação ou assumir responsabilidades e encargos.

O que terei de fazer se aceitar participar?

Após efetuado o recrutamento, os participantes irão ser contactados para agendamento dos ensaios. Os ensaios serão realizados em sessões simultâneas, que decorrerão em salas da Universidade da Beira Interior com diferentes condições térmicas. Deste modo, cada voluntário vai ser sujeito a mais que uma sessão, com diferentes valores de temperatura, humidade relativa e velocidade do ar. A sessão terá início com o preenchimento de um questionário inicial, o qual irá permitir ter uma perceção do estilo de vida, sexo e idade. De seguida o voluntário é

encaminhado para uma das sessões para registar a sua atividade cerebral. Para o registo dos sinais de eletroencefalografia (EEG) serão utilizadas bandas eletroencefalográficas conectadas a um dispositivo de registo do sinal medido. Para a avaliação e cálculo das condições e dos índices de conforto térmico será utilizado um *datalogger* com uma sonda de temperatura de globo, uma sonda de temperatura natural de bolbo húmido, uma sonda de fio quente e uma sonda combinada de temperatura do ar e humidade relativa. No final, os participantes irão, ainda, preencher um outro questionário de forma a poder avaliar-se, de forma subjetiva, a sensação de conforto térmico sentida por cada um deles.

Os dados recolhidos destinam-se a ser usados exclusivamente nesta investigação e serão tratados de forma anónima, apenas pelos membros que constituem esta equipa de investigação. A informação obtida não será utilizada para quaisquer outros fins.

Quais os benefícios da minha participação neste estudo?

O benefício decorrente da participação neste projeto resume-se à satisfação de contribuir para o avanço do conhecimento científico na área do estudo.

Anexo 2 – Declaração de consentimento informado



DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO Influência do Conforto Térmico na Amplitude dos Sinais de EEG

Ao assinar esta página, confiro o seguinte:

- Li e compreendi a Folha de Informação ao Participante do estudo acima referido e foi-me dada a oportunidade de pensar sobre isso e de colocar questões;
- Todas as minhas questões foram respondidas satisfatoriamente;
- Compreendo que a minha participação é voluntária e que posso desistir a qualquer momento sem dar qualquer justificação;
- Concordo em cooperar plenamente com os coordenadores e investigadores do projeto e não tomar qualquer atitude voluntária que possa invalidar os resultados;
- Autorizo expressamente que os dados obtidos sobre a minha pessoa, sejam utilizados para a produção de artigos técnicos e científicos, sendo garantido sigilo sobre a minha identidade;
- Consinto participar neste estudo.

Nome completo: _____

Assinatura: _____

Data: ____/____/____

Anexo 3 – Questionário inicial



Dissertação de Mestrado em Bioengenharia Influência do Conforto Térmico na Amplitude dos Sinais de EEG

Questionário Inicial

Por favor preencha os seguintes campos:

Sexo: M ____ F ____

Idade: ____

Repousou bem durante a noite? Sim ____ Não ____

Tomou algum tipo de medicamento nas últimas 12 horas? Sim ____ Não ____

Ingeriu bebidas com cafeína nas últimas 12 horas? Sim ____ Não ____

Assinale com um X na escala de sensação térmica como se sente antes de iniciar o ensaio.

Muito Quente	
Quente	
Ligeiramente Quente	
Neutro	
Ligeiramente Frio	
Frio	
Muito Frio	

Adaptado de (E. Costa, “Influência do Ambiente Térmico na Amplitude do Sinal EEG em Atividades Sedentárias,” 2015.)

Anexo 4 – Questionário final



Dissertação de Mestrado em Bioengenharia Influência do Conforto Térmico na Amplitude dos Sinais de EEG Questionário Final de Sensação Térmica

Por favor responda às seguintes perguntas relativamente à sua sensação térmica no final do ensaio.

1. Indique com um X na escala de sensação térmica, como se sentiu no final do ensaio.

Muito Quente	
Quente	
Ligeiramente Quente	
Neutro	
Ligeiramente Frio	
Frio	
Muito Frio	

2. Como gostaria de se sentir neste momento? Assinale com X a sua resposta.

Mais Quente	Neutro	Mais Frio

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

Sonolência	
Ansiedade	
Calafrios	
Tonturas	
Stress	
Aumento dos batimentos cardíacos	
Outro. Qual?	

Adaptado de (E. Costa, “Influência do Ambiente Térmico na Amplitude do Sinal EEG em Atividades Sedentárias,” 2015.)

Anexo 5 – Protocolo de medição

Material necessário

- DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1;
- Sonda de temperatura de globo TP3775;
- Sonda de bolbo húmido com ventilação natural HP3201;
- Sonda combinada de temperatura e humidade relativa HP3217R;
- Sonda de fio quente omnidirecional AP3203;
- Água destilada para a sonda HP3201;
- BrainBIT;
- *Smartphone*;
- Computador Portátil;
- Compressa e álcool para limpar a banda;
- Sudoku.

Preparação do material

1. Verificar o equipamento que irá ser utilizado:
 - Certificar que o programa escolhido foi o programa “A”, HD32.1 Análise de Microclima no DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1;
 - Verificar se as sondas a utilizar estão devidamente conectadas;
 - Ligar a banda;
 - Ligar o *smartphone*;
 - Averiguar se a conexão entre o BrainBIT e o *smartphone* está a funcionar corretamente.

2. Ajustar as variáveis ambientais em cada sessão que de acordo com o equipamento de controlo da climatização da sala onde se vão realizar os testes, são a temperatura do ar e o nível de ventilação (3 níveis), de modo a obter o ambiente pretendido.

Na sessão 1, o objetivo é atingir um ambiente quente, neste caso, a ventilação irá estar desligada, uma vez que devido à elevada temperatura exterior, o interior da sala já se encontra com o ambiente pretendido.

Na sessão 2, o propósito é conseguir um ambiente mais frio, para tal, o nível de ventilação será colocado no máximo, nível 3 e a temperatura do ar colocada a 5 graus;

Procedimento experimental

Cada voluntário vai permanecer em cada sessão durante aproximadamente 40 minutos, dos quais, 30 minutos correspondem ao período de aclimatização e 10 minutos à aquisição do sinal enquanto os participantes resolvem um sudoku.

Sessão 1

1. Entrada do primeiro voluntário na sala onde se vão realizar os testes;

- Entrega e preenchimento do questionário inicial;
 - Colocar o BrainBIT no início da sessão, durante o período de aclimatização e verificar se está posicionado segundo o sistema internacional 10-20, na região correspondente ao eletrodo Fp1 e Fp2 e se o sensor de PPG está devidamente colocado no lobo da orelha;
 - Passados 30 minutos do início da sessão, assinalar o fim do período de aclimatização (Label 1);
 - Entregar o sudoku e continuar a fazer a aquisição do sinal durante 10 minutos.
 - Retirar a banda;
 - Desinfetar os eletrodos com o álcool e as compressas;
 - Entrega e preenchimento do questionário final;
 - Saída do voluntário da sala.
- 2.** Entrada do segundo participante na sala onde se vão realizar os testes, 10 minutos após o início da sessão 1;
- Entrega e preenchimento do questionário inicial;
 - Aclimatização do voluntário ao ambiente da sala, durante um período de 30 minutos;
 - Após o tempo de aclimatização, colocar o BrainBIT e verificar se está devidamente colocado;
 - Entrega do sudoku;
 - Efetuar a aquisição do sinal durante 10 minutos;
 - Retirar a banda eletroencefalográfica;
 - Desinfetar os eletrodos com o álcool e as compressas;
 - Entrega e preenchimento do questionário final;
 - Saída do voluntário da sala.
- 3.** O procedimento para os restantes três voluntários é semelhante ao do ponto 2, sendo que estes vão entrar na sala desfasadamente, ou seja, o terceiro voluntário vai entrar 10 minutos após a entrada do segundo voluntário, o quarto voluntário, 10 minutos após a entrada do terceiro participante, e o quinto e último voluntário, entra na sala 10 minutos após a entrada do quarto voluntário.
- 4.** Registo dos tempos em que foi efetuada a aquisição do sinal

Início da aquisição do sinal (22/07/2020)	Fim do período de aclimatização (Label 1)	Fim da aquisição do sinal
10:07 h	10:37 h	10:47 h
10:57 h	-	11:07 h
11:10 h	-	11:20 h
11:22 h	-	11:32 h
11:35 h	-	11:46 h

5. Ajustar as variáveis ambientais para o início da sessão 2, que irá ter um ambiente termicamente frio, para tal, o nível de ventilação será colocado no máximo, nível 3 e a temperatura do ar colocada a 5 graus

Sessão 2

1. Entrada do primeiro voluntário na sala onde se vão realizar os testes;
 - Entrega e preenchimento do questionário inicial;
 - Colocar o BrainBIT e verificar se está posicionado segundo o sistema internacional 10-20, na região correspondente ao eléctrodo Fp1 e Fp2 e se o sensor de PPG está devidamente colocado no lobo da orelha, no início da sessão e durante o período de aclimatização;
 - 30 minutos após o início da sessão, assinalar o fim do período de aclimatização (Label 1);
 - Entregar o sudoku e continuar a fazer a aquisição do sinal durante 10 minutos.
 - Retirar a banda;
 - Desinfetar os eléctrodos com as compressas e álcool;
 - Entrega e preenchimento do questionário final;
 - Saída do voluntário da sala.

2. Entrada do segundo participante na sala, 10 minutos após o início da sessão 2;
 - Entrega e preenchimento do questionário inicial;
 - Aclimatização do voluntário ao ambiente da sala, durante um período de 30 minutos;
 - Após o tempo de aclimatização, colocar o BrainBIT e verificar se está corretamente colocado;
 - Entrega do sudoku;
 - Efetuar a aquisição do sinal durante 10 minutos;
 - Remover a banda eletroencefalográfica;
 - Desinfetar os eléctrodos com o álcool e as compressas;
 - Entrega e preenchimento do questionário final;
 - Saída do voluntário da sala.

3. O procedimento para os restantes três participantes é semelhante ao do ponto 2, sendo que estes vão entrar na sala desfasadamente, ou seja, o terceiro voluntário vai entrar 10 minutos após a entrada do segundo voluntário, o quarto voluntário, 10 minutos após a

entrada do terceiro participante, e o quinto e último voluntário, entra na sala 10 minutos após a entrada do quarto voluntário.

4. Registo dos tempos em que foi efetuada a aquisição do sinal

Início da aquisição do sinal	Fim do período de aclimatização (Label 1)	Fim da aquisição do sinal
15:05 h	15:38 h	15:48 h
15:50 h	-	16:00 h
16:02 h	-	16:12 h
16:15 h	-	16:25 h
16:26 h	-	16:36 h

5. Análise e comparação dos resultados.

Anexo 6 – Evolução temporal do sinal do voluntário 1

Nas figuras seguintes encontra-se representada a evolução temporal do período de aclimatação (30 minutos) e do período de aquisição (10 minutos), da sessão 1 e da sessão 2.

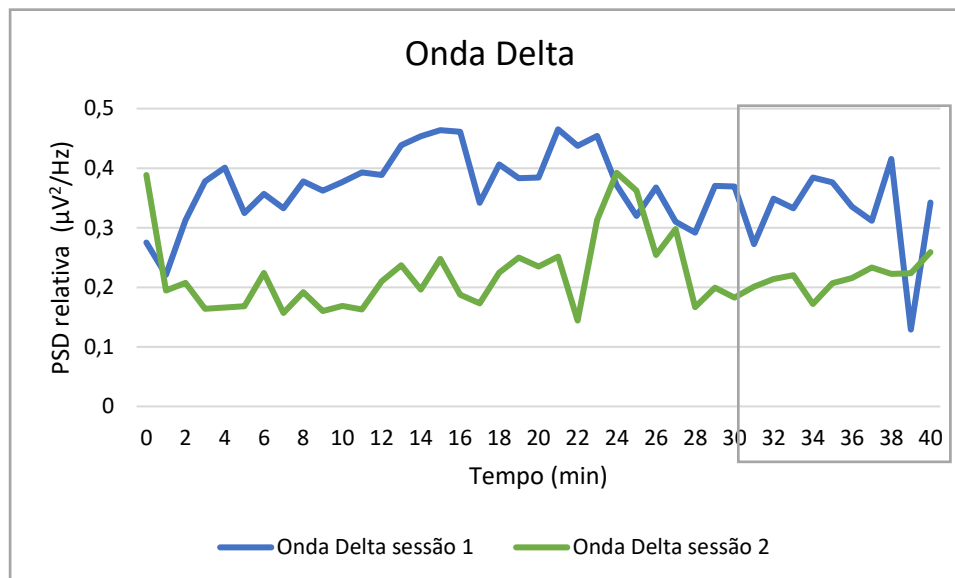


Figura 30 -Evolução temporal da onda *Delta* no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.

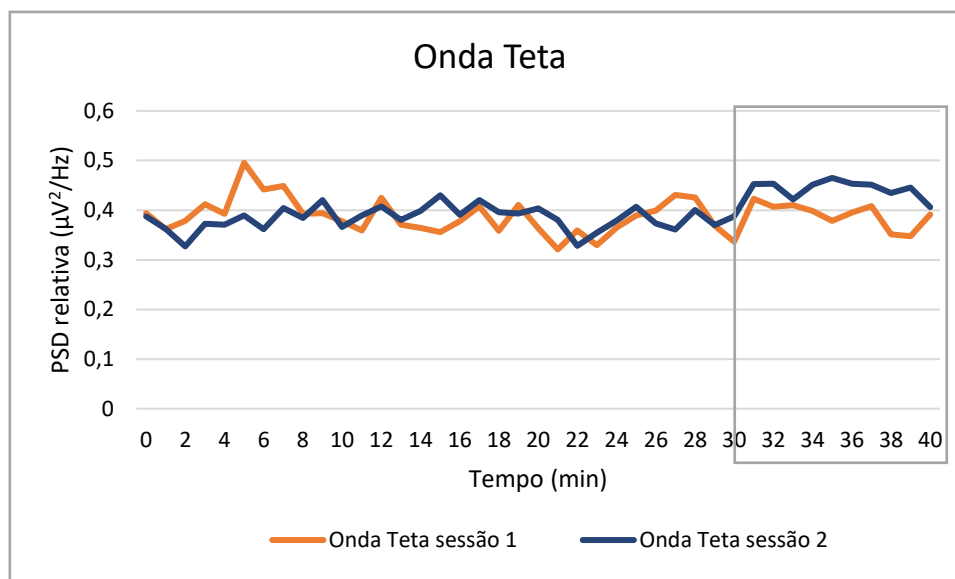


Figura 31- Evolução temporal da onda *Teta* no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.

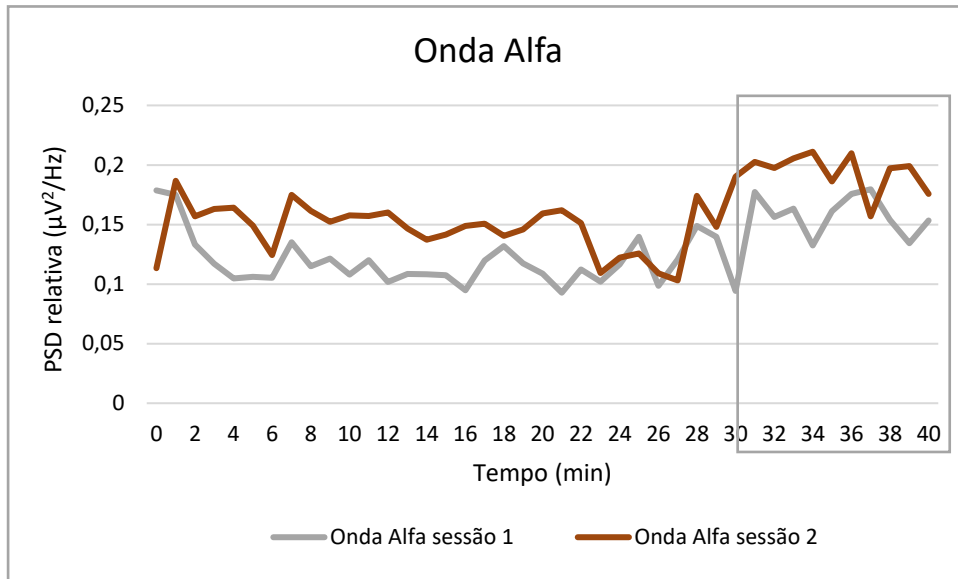


Figura 32 - Evolução temporal da onda *Alfa* no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.

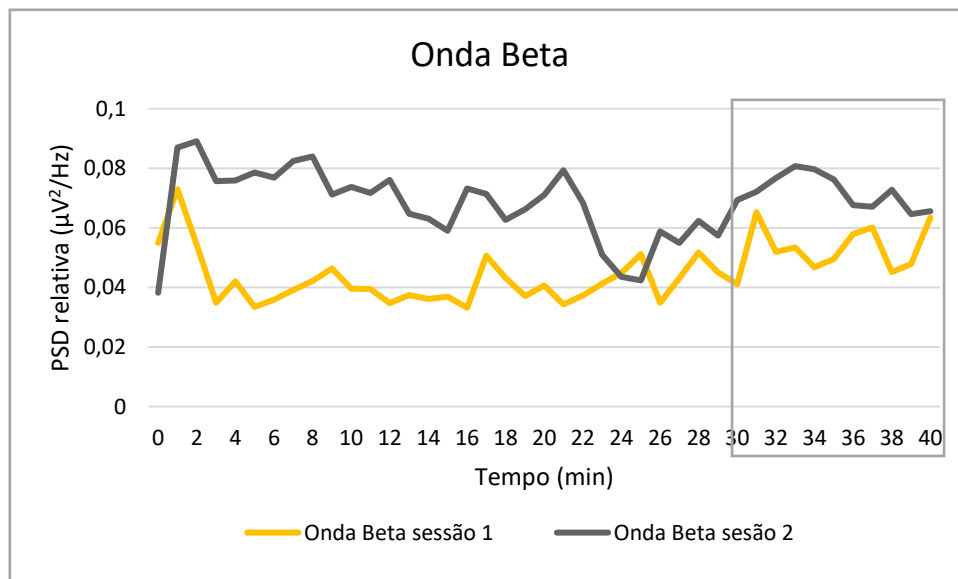


Figura 33- Evolução temporal da onda *Beta* no período de aclimatação e aquisição, sessão 1 e 2.

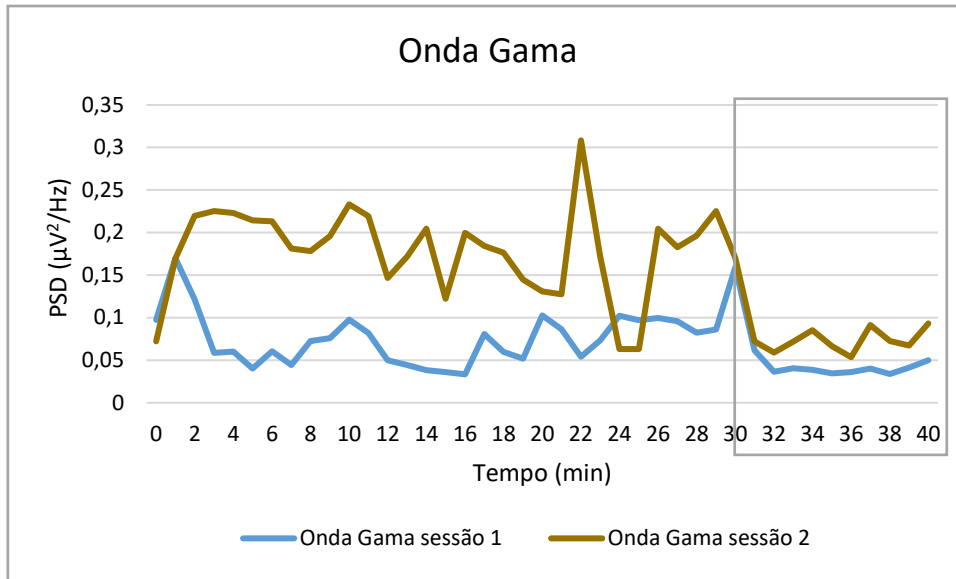


Figura 34 - Evolução temporal da onda *Gama* no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

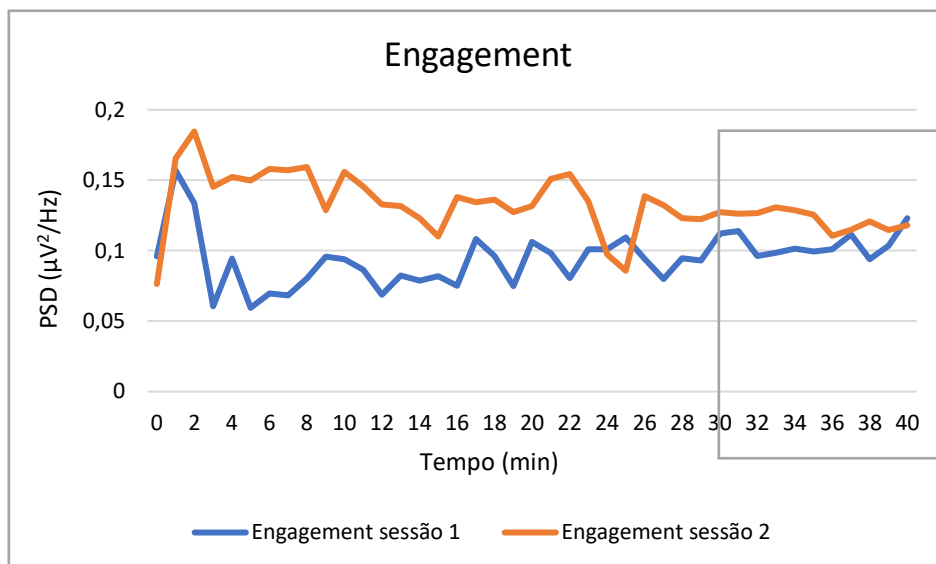


Figura 35 - Evolução temporal do *Engagement* no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

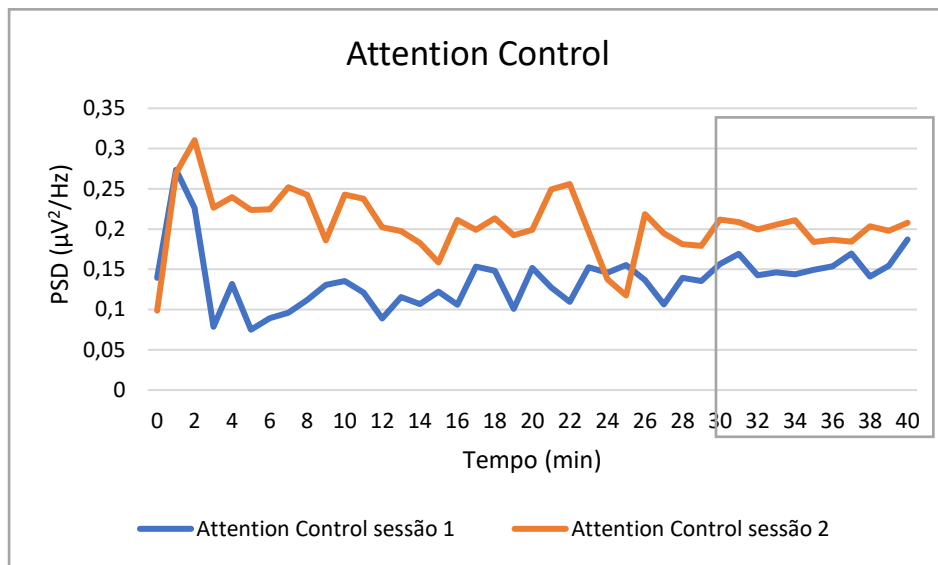


Figura 36 - Evolução temporal da *Attention Control* no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

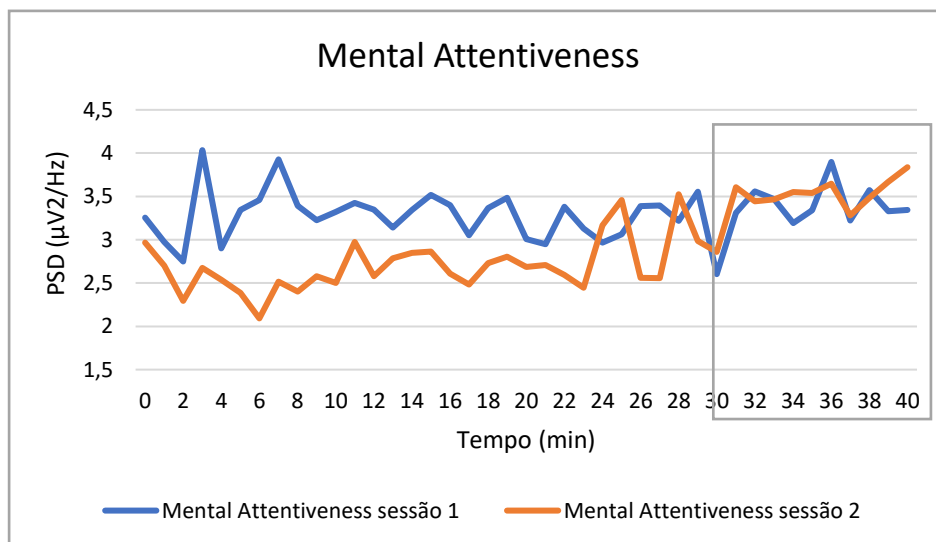


Figura 37 - Evolução temporal da *Mental Attentiveness* no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

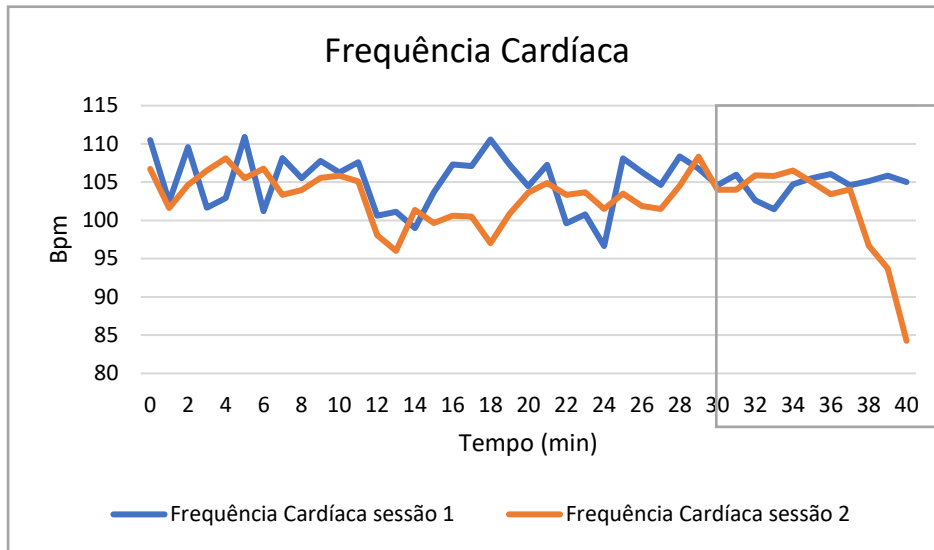


Figura 38 - Evolução temporal da Frequência Cardíaca no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.

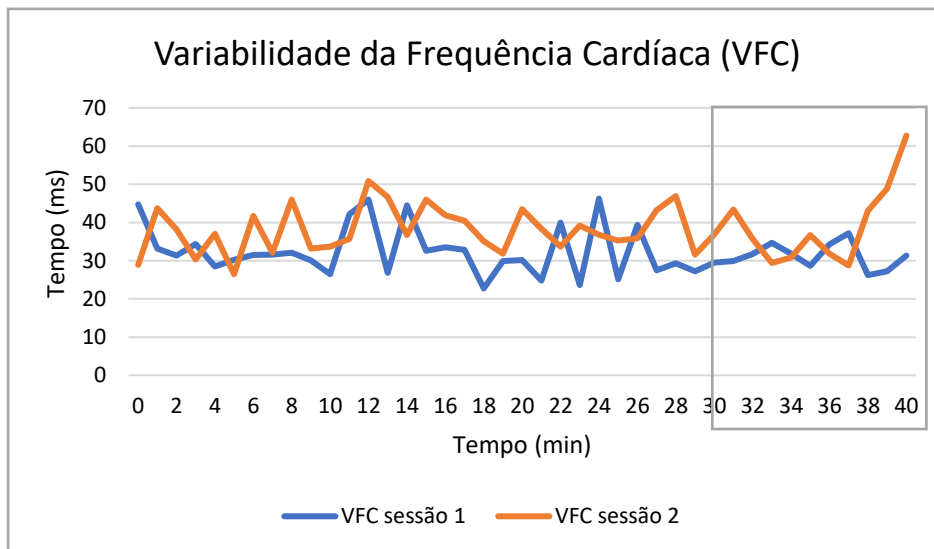


Figura 39 - Evolução temporal da Variabilidade da Frequência Cardíaca no período de aclimação e aquisição, sessão 1 e 2.