

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



RESUMO

Os edifícios escolares desempenham, hoje em dia, um papel importante na sociedade, constituindo um dos fundamentos do desenvolvimento cívico e intelectual das crianças, jovens e adolescentes. Tanto os jardins-de-infância, que albergam a educação pré-escolar, como as escolas, são espaços que necessitam de atenção especial na conservação do bem-estar e saúde dos seus alunos, permitindo que estes mantenham um elevado desempenho na sua aprendizagem.

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar as condições interiores de conforto térmico, de salas de aula e salas de biblioteca, de algumas escolas do centro urbano de Viseu, aplicando para tal, os modelos sugeridos pelas normas mais usadas atualmente a nível internacional e o modelo desenvolvido a nível nacional pelo LNEC.

Nesse sentido foram realizadas duas campanhas de estudos de campo a edifícios da pré-escola, do 1º ciclo e do ensino superior, onde foram avaliados os parâmetros ambientais que influenciam diretamente o conforto térmico através de medições e as perceções dos ocupantes através de inquéritos elaborados para o efeito.

Finalizadas as campanhas foram analisadas as perceções térmicas dos alunos, assim como os resultados dos parâmetros registados utilizando a abordagem analítica. Todo este processo não poderia ser realizado sem antes corrigir o valor da taxa de metabolismo de adultos para crianças.

Por fim foram realizadas as avaliações de cada sala seguindo os princípios das abordagens analítica e adaptativa. Verificou-se que o modelo que se fundamenta nos princípios da primeira abordagem é mais exigente do que os modelos que seguem os princípios da segunda. Globalmente, na comparação entre campanhas, verificaram-se melhores resultados na segunda, evidenciando de forma generalizada maior capacidade por parte das salas em garantir conforto térmico nas épocas de meia-estação.

ABSTRACT

School buildings have an important role in society, forming one of the foundations of civic and intellectual development of children, youth and adolescents. Both kindergarten, which have preschool education, and schools are areas that require special attention to preserve the health and welfare of its students, allowing them to achieve a high learning performance.

This study aims to evaluate the thermal comfort of classrooms and libraries of schools located in the urban center of Viseu. The models suggested by the internationally standards and the one developed by LNEC were employed.

Therefore two field campaigns were conducted in buildings of pre-school, 1st cycle and higher education. The environmental parameters that directly influence the thermal comfort were measured and the occupants' perceptions were assessed by specific enquiries.

Afterwards students' thermal perceptions were analyzed and the analytical approach was used to evaluate the recorded parameters. Throughout this process the rate of metabolism was corrected from adults to children.

Finally each room was evaluated according to the analytical and the adaptive approach. It was found that the model based on the analytical approach is more demanding than the models that follow the principles of the second. Overall, the comparison between campaigns, show better results in the second, reflecting the better performance of the rooms in mid-season climate.

PALAVRAS CHAVE

Conforto térmico
Abordagem analítica
Abordagem adaptativa
Edifícios escolares

KEY WORDS

Thermal comfort
Adaptive approach
Analytical approach
School building

AGRADECIMENTOS

A elaboração de todo este trabalho, embora tenha sido uma tarefa individual, não teria sido conseguida sem o apoio e contributo prestado direta ou indiretamente por diversas pessoas.

Quero de forma destacada agradecer ao meu orientador Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida pela total disponibilidade, orientação, incentivo e dedicação prestada durante a realização de todas as fases deste trabalho. Agradeço a experiência enriquecedora que me proporcionou.

Agradeço a todas as pessoas que de algum modo contribuíram com a sua disponibilidade e os seus conhecimentos.

Por fim, deixo palavras de agradecimento à minha família e amigos pela paciência e apoio.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE QUADROS	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização e estrutura do texto	2
2. Conforto térmico	5
2.1 Noção de conforto térmico.....	5
2.1.1 Introdução.....	5
2.1.2 Equilíbrio térmico.....	6
2.1.3 Parâmetros que influenciam o conforto térmico.....	7
2.2 Modelos de conforto térmico	9
2.2.1 Modelo analítico	9
2.2.2 Modelos adaptativos	10
2.3 Desconforto térmico localizado	14
2.3.1 Introdução.....	14
2.3.2 Diferenças de temperatura do ar na vertical	14
2.3.3 Assimetria da temperatura radiante	14
2.3.4 Temperatura do pavimento.....	15
2.3.5 Correntes de ar.....	15
2.4 Normalização	16
3. Estudos de conforto térmico em edifícios escolares.....	19
3.1 Introdução	19
3.2 Estudos.....	20
4. Metodologia de estudo	25
4.1 Objetivos.....	25

4.2	Metodologia do trabalho	26
4.3	Caracterização dos casos de estudo.....	28
4.3.1	Generalidades.....	28
4.3.2	Caracterização construtiva	32
4.4	Determinação dos parâmetros ambientais.....	33
4.4.1	Introdução	33
4.4.2	Ambiente interior	33
4.4.3	Ambiente exterior	35
4.5	Determinação dos parâmetros individuais	35
4.5.1	Introdução	35
4.5.2	Resistência térmica do vestuário.....	35
4.5.3	Taxa de metabolismo	36
4.6	Determinação dos parâmetros subjetivos.....	37
4.6.1	Introdução	37
4.6.2	Estrutura e conteúdo do questionário aplicado ao ensino superior.....	37
4.6.3	Estrutura e conteúdo do questionário aplicada ao primeiro ciclo.....	38
4.6.4	Estrutura e conteúdo do questionário aplicada aos infantários.....	39
4.7	Caracterização da amostra humana	39
5.	Análise dos resultados.....	43
5.1	Introdução.....	43
5.2	Taxa de metabolismo.....	43
5.3	Análise individualizada da primeira campanha.....	49
5.3.1	Introdução	49
5.3.2	Percepção térmica individual	49
5.3.3	Percepção térmica média e índices analíticos	53
5.3.4	Desconforto localizado	56
5.4	Análise individualizada da segunda campanha	58
5.4.1	Introdução	58
5.4.2	Percepção térmica individual	59
5.4.3	Percepção térmica média e índices analíticos	62
5.4.4	Desconforto localizado	65
5.5	Discussão e análise crítica entre campanhas	67

5.5.1	Introdução.....	67
5.5.2	Perceção térmica individual.....	67
5.5.3	Perceção térmica média e índices analíticos.....	68
5.5.4	Desconforto localizado	69
6.	Aplicação dos modelos normalizados	71
6.1	Introdução	71
6.2	Modelo analítico	72
6.3	Modelos adaptativos	76
6.3.1	Modelo proposto pela ASHRAE 55	76
6.3.2	Modelo proposto pela EN 15251	77
6.3.3	Modelo proposto pelo LNEC	79
6.4	Discussão e análise crítica final dos modelos aplicados.....	80
7.	Conclusões.....	83
7.1	Conclusões gerais	83
7.2	Desenvolvimentos futuros	84
	Referências	87
	Anexo I – Inquéritos distribuídos aos ocupantes dos espaços em estudo	91
	Anexo II – Plantas das salas estudadas com respetiva localização do equipamento de medição	97
	Anexo III – Principais características dos equipamentos de medição.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Interação térmica do corpo humano com o ambiente [(Matias, 2010), adaptado de (ASHRAE Fundamentals, 2009)].....	6
Figura 2-2: Índice PPD em função do índice PMV (adaptado de ISO, 2005)	10
Figura 2-3: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de ASHRAE 55, 2010).....	11
Figura 2-4: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de EN 15251, 2007)	12
Figura 2-5: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de Matias, 2010).....	13
Figura 2-6: Desconforto térmico localizado causado por: a) diferenças de temperatura na vertical; b) assimetria da temperatura radiante; c) temperatura do pavimento (ISO 7730, 2005)	15
Figura 2-7: Diagrama psicométrico com zona de conforto delimitada (Almeida 2011, adaptado de ASHRAE, 2010).....	17
Figura 3-1: Efeito da temperatura no desempenho dos alunos (adaptado de Wargocki e Wyon, 2007)	20
Figura 3-2: Sensação térmica, Stm, e percentagem de insatisfeitos, Pins, em função do índice PMV (adaptado de Teli, et al., 2012)	21
Figura 3-3: Variação da sensação térmica e do índice PMV com a temperatura operativa e aplicação do modelo de conforto da norma EN 15251 (adaptado de Yun, et al., 2014).....	21
Figura 3-4: Questionários aplicados de acordo com o modelo pedagógico Reggio Emilia e respetiva simbologia	22
Figura 3-5: Comparação da sensação térmica média, Stm com índice PMV para valores de taxa de metabolismo diferentes (adaptado de Teli, et al., 2012)	23
Figura 4-1: Mapeamento dos edifícios inseridos no estudo	26
Figura 4-2: Esquematização das medições	27
Figura 4-3: Dados recolhidos nos estudos de campo	27
Figura 4-4: Edifício I (pré-escolar).....	28
Figura 4-5: Edifício II (escolar).....	29
Figura 4-6: Edifício III (escolar e infantário)	30
Figura 4-7: Edifício IV (escolar e infantário).....	30
Figura 4-8: Edifício V (escolar).....	31
Figura 4-9: Edifício VI (escolar)	32
Figura 4-10: Equipamentos de medição	33
Figura 4-11: Localização do equipamento	34
Figura 4-12: Estrutura do questionário aplicado ao ensino superior	38
Figura 4-13: Algumas das escalas de sensação térmica adotadas no questionário	38
Figura 4-14: Imagens inseridas no questionário e respetiva sensação térmica	39
Figura 4-15: Distribuição dos inquiridos por topologia educacional	40
Figura 4-16: Distribuição dos inquiridos por topologia educacional segundo a campanha	40

Figura 5-1: Relação dos índices térmicos PMV e PPD com as sensações térmicas avaliadas	45
Figura 5-2: Aplicação do teste de Friedman à relação PMV/sensação térmica.....	47
Figura 5-3: Aplicação do teste de Friedman à relação PPD/percentagem de insatisfeitos	48
Figura 5-4: Distribuição dos erros absolutos e percentuais absolutos da relação PMV/sensação térmica para as 4 abordagens	48
Figura 5-5: Distribuição dos erros absolutos e percentuais absolutos da relação PPD/percentagem de insatisfeitos para as 4 abordagens	48
Figura 5-6: Distribuição das respostas de sensação térmica	50
Figura 5-7: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar ..	50
Figura 5-8: Distribuição das respostas de preferência térmica	51
Figura 5-9: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar ..	52
Figura 5-10: Avaliação da confortabilidade térmica.....	52
Figura 5-11: Avaliação da tolerância térmica	53
Figura 5-12: Ajustamento entre a Stm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração dos respetivos <i>boxplots</i>	54
Figura 5-13: Ajustamento entre Ptm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração da Pti	55
Figura 5-14: a) relação da Stm com a Ptm ; b) relação da Stm com o índice PMV	55
Figura 5-15: Avaliação global e em função da sala da quantidade de alunos com desconforto ao nível dos pés	57
Figura 5-16: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura do pavimento	57
Figura 5-17: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura de assimetria radiante	58
Figura 5-18: Distribuição das respostas de sensação térmica	59
Figura 5-19: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar	60
Figura 5-20: Distribuição das respostas de preferência térmica	60
Figura 5-21: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar	61
Figura 5-22: Avaliação da confortabilidade térmica.....	62
Figura 5-23: Avaliação da tolerância térmica	62
Figura 5-24: Ajustamento entre a Stm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração dos respetivos <i>boxplots</i>	63
Figura 5-25: Ajustamento entre Ptm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração da Pti	64
Figura 5-26: a) relação da Stm com a Ptm ; b) relação da Stm com o índice PMV	64
Figura 5-27: Avaliação global e em função da sala da quantidade de alunos com desconforto ao nível dos pés	66
Figura 5-28: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura do pavimento	66
Figura 5-29: Comparação das sensações e preferências térmicas entre campanhas.....	67
Figura 5-30: a) relação da Stm com a Ptm ; b) relação da Stm com o índice PMV	68

Figura 5-31: a) avaliação da sensação dos inquiridos; b) previsão da percentagem de insatisfeitos pelo modelo normalizado	69
Figura 6-1: Avaliação do conforto térmico global da 1ª campanha de acordo com a abordagem analítica. a) índice PMV; b) índice PPD.....	72
Figura 6-2: Avaliação do desconforto localizado da 1ª campanha. a) índice PD devido à temperatura do pavimento; b) índice PD devido à temperatura de assimetria radiante	73
Figura 6-3: Avaliação do conforto térmico global da 2ª campanha de acordo com a abordagem analítica. a) índice PMV; b) índice PPD.....	74
Figura 6-4: Avaliação do desconforto localizado da 2ª campanha, pelo índice PD devido à temperatura do pavimento;.....	74
Figura 6-5: Relação entre a sensação térmica e a percentagem de insatisfeitos.....	75
Figura 6-6: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela ASHRAE (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios	76
Figura 6-7: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela ASHRAE (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios	77
Figura 6-8: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios.....	78
Figura 6-9: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios.....	78
Figura 6-10: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pelo LNEC (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios.....	79
Figura 6-11: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pelo LNEC (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios.....	80
Figura II-1: Localização do equipamento nas salas I-A e II-B.....	97
Figura II-2: Localização do equipamento nas salas III-A e III-B.....	97
Figura II-3: Localização do equipamento nas salas IV-A e IV-B	98
Figura II-4: Localização do equipamento nas salas V-C e V-D.....	98
Figura II-5: Localização do equipamento nas salas VI-C e VI-D	99
Figura III-1: Sensor de medição da temperatura do ar interior	101
Figura III-2: Sensor de medição da humidade relativa do ar interior.....	101
Figura III-3: Sensor de medição da temperatura média radiante	102
Figura III-4: Sensor de medição da temperatura do pavimento	102
Figura III-5: Sensor de medição da assimetria radiante	102
Figura III-6: <i>Data logger</i> utilizado no registo dos parâmetros ambientais interiores	103
Figura III-7: Instrumento para medição da velocidade do ar	103
Figura III-8: <i>Data logger</i> utilizado no registo da temperatura exterior.....	103

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Escala de conforto térmico (adaptado de ISO, 2005 e ASHRAE, 2010).....	9
Quadro 2-2: Gamas de temperaturas aceitáveis para cada categoria de ambiente térmico (adaptado de EN 15251, 2007).....	12
Quadro 2-3: Limites admissíveis dos parâmetros utilizados no modelo de Matias (adaptado de Matias, 2010).....	14
Quadro 2-4: Limites admissíveis de conforto para cada categoria (adaptado de ISO, 2005) ..	16
Quadro 2-5: Limites recomendados de conforto térmico.....	18
Quadro 4-1: Caracterização construtiva dos edifícios.....	32
Quadro 4-2: Resistência térmica das peças de roupa (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005) .	36
Quadro 4-3: Área de DuBois e ΔM em função da idade (adaptado da Portaria nº 353-A/2013)	36
Quadro 4-4: Caracterização quantitativa e por género da amostra humana	40
Quadro 4-5: Gama de idade por tipologia educacional	41
Quadro 5-1: Resumo das taxas de metabolismo aplicadas.....	44
Quadro 5-2: Resultados das medidas de previsão	47
Quadro 5-3: Valores dos coeficientes de correlação e determinação	54
Quadro 5-4: Valor dos coeficientes de correlação e determinação	55
Quadro 5-5: Valores dos coeficientes de correlação e determinação	63
Quadro 5-6: Valor dos coeficientes de correlação e determinação	64

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Uma educação de qualidade é, hoje em dia, uma necessidade primordial para garantir o progresso da humanidade através do desenvolvimento intelectual e social do ser humano. Tal importância leva à necessidade de garantir as melhores condições possíveis de aprendizagem em todo o sistema de ensino.

Nesse sentido, o conforto térmico propiciado pelo ambiente interior das salas de aula ganha especial relevo, apresentando-se, segundo diversos estudos já realizados, como um parâmetro capaz de influenciar significativamente o desempenho escolar dos estudantes.

Além disso, o facto de cada estudante passar grande parte do seu dia no interior de uma escola torna esta questão também plausível de uma avaliação em termos de saúde e bem-estar.

Como recurso imprescindível no processo de aprendizagem, para além das salas de aula, existem ainda as salas de bibliotecas, que devido às alterações do sistema de ensino são cada vez mais frequentadas.

Deste modo, surge a necessidade de avaliar as atuais condições de conforto térmico dos espaços referidos, bem como a perceção térmica dos seus utilizadores.

O presente trabalho visa caracterizar essas condições de conforto recorrendo à aplicação de diversos modelos propostos em diferentes normas. Existem atualmente duas abordagens que se podem aplicar, uma analítica que assume como princípio ser possível definir o estado de conforto térmico através do balanço térmico do corpo humano e a segunda que se baseia no facto de existir capacidade por parte dos utilizadores de se ajustarem às condições térmicas ambientais e que por isso concede especial relevo às temperaturas circundantes dos espaços avaliados. Ambas foram utilizadas permitindo identificar a este nível eventuais diferenças entre elas.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste na realização de um estudo do desempenho térmico de salas de aula e salas de biblioteca de várias escolas, abrangendo diversas tipologias educacionais, podendo-se assim avaliar termicamente os espaços educacionais utilizados pelas crianças, pelos jovens e até pelos adultos. Para tal, foram definidos um conjunto de tarefas e objetivos parciais, que se basearam em:

- Desenvolver inquéritos baseados nas normas atuais, para que os ocupantes dos espaços avaliados possam expressar as suas perceções térmicas vivenciadas durante os períodos de medição;
- Programar campanhas de medição em dois períodos diferentes de forma bi-diária, que permitam analisar as condições de conforto em duas estações do ano distintas (inverno e primavera) e efetuar uma comparação entre períodos do dia;
- Realizar os estudos de campo em diferentes tipologias educacionais, que englobem as medições e registo de vários parâmetros ambientais interiores e exteriores e a recolha de informação necessária junto dos utilizadores dos espaços fruto da distribuição dos inquéritos desenvolvidos;
- Avaliar as perceções térmicas dos utilizadores dos espaços e analisar os resultados;
- Efetuar uma avaliação sustentada nas normas existentes das condições térmicas dos espaços avaliados.

1.3 Organização e estrutura do texto

Na procura de uma compreensão mais fácil e clara do texto, este trabalho está dividido em 7 capítulos:

- O presente capítulo, capítulo 1, enquadra o trabalho desenvolvido e apresenta os objetivos a alcançar;
- O capítulo 2 sintetiza os conhecimentos existentes no domínio específico do conforto térmico na generalidade dos edifícios. Começa por apresentar a definição deste, identificando os parâmetros que influenciam a sensação de conforto térmico. Posteriormente são apresentados e descritos dois modelos que possibilitam a sua avaliação. Por fim aborda os parâmetros existentes propícios a provocar desconforto a um nível singular do corpo e apresenta as normas mais influentes no processo global de avaliação;
- O capítulo 3 apresenta alguns estudos considerados relevantes na avaliação do conforto térmico proporcionado pelo ambiente interior de edifícios escolares;
- O capítulo 4 expõe de uma forma mais específica os objetivos parciais do trabalho, apresenta a metodologia de estudo adotada, descrevendo também as salas de aula avaliadas e por fim caracteriza a amostra humana que foi inquirida;

- No capítulo 5 é realizado um estudo à correção da taxa de metabolismo de adultos para crianças e é efetuada a análise dos dados obtidos, quer das medições ambientais registadas, quer dos inquéritos recolhidos;
- O capítulo 6 apresenta a avaliação térmica das salas através das duas abordagens descritas no decorrer da tese (analítica e adaptativa), utilizando vários métodos sugeridos por normas atualmente em vigor e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC);
- O capítulo 7 resume as principais conclusões deste trabalho e expõe eventuais trabalhos futuros a realizar nesta área.

2. Conforto térmico

2.1 Noção de conforto térmico

2.1.1 Introdução

O conforto térmico é definido pela sensação térmica expressa por pessoas sujeitas a essa avaliação, ou seja, define-se como "a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico" (ASHRAE 55, 2010). Com uma análise crítica da referência ao carácter psicológico dessa definição, "...condição da mente...", percebe-se que um possível estado de conforto térmico por parte de um indivíduo é não só influenciado por um conjunto de fatores físicos que determinam as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, mas também por fatores de carácter psicológico.

Este aspeto explica, de certo modo, o facto de não existirem métodos de avaliação de conforto térmico perfeitos. Considera-se por isso normal, que num grupo de indivíduos quando sujeitos a uma avaliação de conforto térmico num mesmo ambiente, ao mesmo tempo, alguns deles possam estar insatisfeitos com as condições térmicas do mesmo (Nicol et al., 1995).

Fanger (1970) através dos estudos realizados em câmaras climatizadas conclui que um determinado indivíduo está em conforto térmico:

- Se estiver em neutralidade térmica, que segundo Fanger (1970), é "a situação onde uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente em que está;
- Se possuir uma temperatura da pele e uma taxa de secreção de suor dentro dos limites compatíveis com a atividade exercida;
- Se não sentir qualquer desconforto térmico localizado, como sensação do piso quente ou frio, diferenças de temperatura na vertical, correntes de ar ou assimetria da temperatura radiante.

2.1.2 Equilíbrio térmico

Um fator importante para o conforto térmico é a neutralidade térmica. Para que um indivíduo esteja nessa condição o balanço energético entre o corpo humano e o ambiente deverá ser nulo.

ASHRAE Fundamentals (2009) refere que o equilíbrio térmico necessário entre o corpo humano e o ambiente envolvente deve ser tal que permita conservar a temperatura corporal de forma aproximadamente constante ($37,0 \pm 0,8$ °C na cabeça), independentemente das vicissitudes ambientais.

Fanger (1970) define a equação geral que caracteriza a relação entre a energia produzida pelo organismo humano e as diferentes formas de dissipação da mesma:

$$S = M - W - E \pm R \pm C \quad (2-1)$$

em que:

S	[W/m ²]	Acumulação de calor no corpo
M	[W/m ²]	Taxa de metabolismo
W	[W/m ²]	Energia correspondente ao trabalho mecânico realizado
E	[W/m ²]	Perdas de calor por evaporação
R	[W/m ²]	Trocas de calor por radiação
C	[W/m ²]	Trocas de calor por convecção

A Figura 2-1 sintetiza os processos de dissipação do calor produzido pelo corpo humano, representando a interação térmica entre este e o ambiente envolvente.

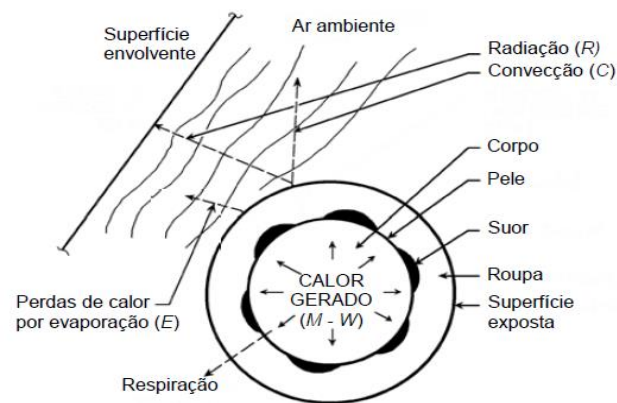


Figura 2-1: Interação térmica do corpo humano com o ambiente [(Matias, 2010), adaptado de (ASHRAE Fundamentals, 2009)]

Para manter a temperatura corporal constante cada indivíduo deve possuir um nível de energia dissipada tal que permita a existência de um equilíbrio entre esta e a energia produzida. Como processos de dissipação de calor, além dos processos fisiológicos de termorregulação, tais como a secreção de água e de gorduras pelas glândulas de suor, existem também um conjunto

de opções que cada indivíduo toma: tipo e quantidade de roupa vestida, postura adotada e algumas variáveis ambientais como a temperatura e velocidade do ar, temperatura das superfícies circundantes e umidade relativa.

2.1.3 Parâmetros que influenciam o conforto térmico

A sensação de conforto térmico de qualquer indivíduo em relação ao ambiente circundante depende de diversos parâmetros individuais, ambientais e subjetivos descritos de seguida.

Parâmetros Ambientais

As variáveis ambientais utilizadas nos estudos de conforto térmico, alusivas às condições do ambiente estudado, são segundo Fanger (1970): a temperatura do ar, T_a [°C], a temperatura média radiante, T_{mr} [°C], a velocidade do ar, v_{ar} [m/s] e a umidade relativa, HR [%], cuja medição deve ser realizada com equipamentos técnicos específicos.

A temperatura do ar é uma das variáveis mais importantes na determinação do conforto térmico e representa a temperatura de bolbo seco. Deve ser tida em conta na determinação da transferência de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente térmico (ISO 7726, 1998).

A temperatura média radiante define-se como sendo a temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação que no espaço real não uniforme (ASHRAE 55, 2010). Na prática, a determinação do valor físico deste parâmetro é efetuado utilizando um termómetro de bolbo negro nas medições.

A velocidade do ar é um parâmetro importante a ser considerado no cálculo da sensação térmica devido à sua influência nas trocas de calor do organismo com o ambiente por convecção e por evaporação. Para além de possuir uma influência direta na perceção do conforto térmico global, também pode provocar desconforto localizado, devido a possíveis existências de correntes de ar (ISO 7730, 2005).

A umidade relativa é normalmente usada com o objetivo de se obter a pressão parcial do vapor de água, p_a [Pa].

A pressão parcial do vapor de água corresponde à pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse sozinho todo o volume ocupado pelo ar húmido à mesma temperatura. Este vapor forma-se pela evaporação da água. A partir do momento em que o ar se encontra saturado ocorre o fenómeno de condensação provocando um aumento da temperatura da superfície onde ocorre. Este processo origina uma transferência de calor entre um corpo que perde calor por evaporação que será ganho por outro onde ocorre a condensação (Almeida, 2011).

Segundo a norma ISO 7730 (2005), em ambientes moderados e atividades moderadas (considera ambiente moderado quando a temperatura do ar é inferior a 26 °C e atividade moderada quando a taxa de metabolismo é inferior a 2 met), a umidade relativa tem uma influência reduzida. Um aumento de 10% desta não seria mais do que um aumento de 0,3 °C

da temperatura do ar. Esta influência vai aumentando com o aumento da temperatura e da atividade desenvolvida.

Parâmetros Individuais

Como variáveis individuais com influência no conforto térmico apresentam-se a atividade metabólica, M [met], e a resistência térmica do vestuário, I_{cl} [clo]. Ambos os parâmetros possuem valores tabelados nas normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010).

A atividade metabólica (também expressa como taxa de metabolismo) de um indivíduo representa a taxa de produção de energia do seu organismo quando está a realizar uma determinada atividade. Esta taxa varia de acordo com a atividade desenvolvida, sendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da atividade física.

Na prática a unidade utilizada é o met, em que 1 met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$) corresponde à taxa produzida por unidade de área superficial do corpo de uma pessoa sentada em estado de repouso. Para outras atividades, as tabelas expostas nas normas referidas apresentam os respetivos valores, realçando no entanto que estas são apenas aplicáveis a adultos e para uma atividade constante e inalterável. Em situações de alternância de atividades, se estas em conjunto não durarem mais de uma hora, pode ser realizada uma média ponderada das atividades em função do tempo que cada uma foi exercida e utilizado o valor calculado como valor final da taxa de metabolismo.

O vestuário é uma barreira protetora do corpo humano, servindo de resistência às trocas de calor entre o corpo e o ambiente devido à sua capacidade de isolamento térmico.

A resistência térmica do vestuário caracteriza, portanto, a resistência oferecida pela roupa utilizada por uma pessoa. É expressa pela unidade clo, em que 1 clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$) corresponde a um homem de fato.

O valor total da resistência do vestuário de um indivíduo pode ser obtido pelo simples somatório dos valores da resistência de cada peça de roupa individual que ele utiliza. (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005).

Parâmetros Subjetivos

Além de todos os parâmetros físicos e individuais já referidos, vários estudos realizados nas últimas décadas mencionam a necessidade de considerar também os aspetos subjetivos como fatores que influenciam as condições de conforto térmico. Baker e Standeven (1996) consideram mesmo a perceção de conforto térmico depende das “*oportunidades adaptativas*” existentes. Nikolopoulou e Steemers (2003) referem que essas “*oportunidades adaptativas*” podem ser separadas em três categorias diferentes: físicas, fisiológicas e psicológicas:

- Adaptação física: envolve qualquer ação tomada com vista a manter o conforto térmico, como por exemplo mudanças relativas ao espaço (abertura de janelas) ou à própria pessoa (alteração do vestuário ou consumo de bebidas quentes ou frias);
- Adaptação fisiológica: é representada pela capacidade do organismo em responder a mudanças térmicas ajustando-se fenotipicamente a elas, sendo este processo normalmente designado por aclimatização;

- Adaptação psicológica: engloba qualquer alteração da percepção e/ou expectativa de um dado ambiente térmico por parte de uma pessoa. Advém do facto de cada pessoa ter a sua própria cultura, os seus próprios hábitos e as suas próprias experiências;

Estas formas de controlo adaptativo permitem a um indivíduo regular o seu balanço térmico com o ambiente envolvente, garantindo para si um papel mais ativo na obtenção de condições de conforto térmico (Matias, 2010).

2.2 Modelos de conforto térmico

O conforto térmico em si é extremamente complexo de analisar devido ao elevado número e diversidade de parâmetros que o influenciam. Diversos estudos feitos nas últimas décadas permitiram que hoje em dia seja possível aplicar dois modelos distintos na medição do conforto térmico de um ou vários indivíduos localizados num determinado ambiente.

2.2.1 Modelo analítico

A formulação deste modelo foi baseada em estudos realizados em câmaras climáticas (condições ambientais controladas), onde foram apenas considerados os parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade relativa e velocidade do ar) e individuais (resistência térmica da roupa e taxa de metabolismo).

Fanger, em 1970, utilizando esses parâmetros desenvolveu dois índices, o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*), permitindo uma análise de conforto/desconforto térmico das pessoas (em relação à totalidade dos seus corpos).

O índice PMV resultou da análise estatística dos resultados obtidos por Fanger (1970) em numerosos ensaios (mais de 1300) e representa o voto médio da sensação térmica de um grupo de indivíduos de idade adulta, num ambiente termicamente avaliado que, baseado na escala de sete níveis apresentada no Quadro 2-1, expressa a reação individual face às disparidades térmicas.

Quadro 2-1: Escala de conforto térmico (adaptado de ISO, 2005 e ASHRAE, 2010)

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

O índice PPD permite calcular um número quantitativo de indivíduos insatisfeitos com o ambiente ao qual estão expostos. Na prática, Fanger (1970) relacionou-o com o índice PMV através da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (2-2)$$

em que:

PPD	[%]	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i> (percentagem previsível de insatisfeitos)
PMV	[-]	<i>Predicted Mean Vote</i> (voto médio previsível)

Além deste método matemático, o índice PPD também pode ser obtido pelo método gráfico representado na Figura 2-2, embora este seja menos rigoroso e por isso utilizado com menos frequência.

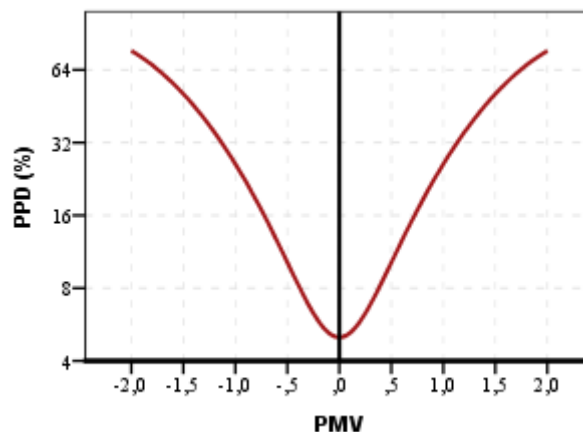


Figura 2-2: Índice PPD em função do índice PMV (adaptado de ISO, 2005)

Da sua análise pode-se concluir que é impossível que todas as pessoas estejam satisfeitas para um determinado instante, num determinado ambiente térmico. A percentagem mínima de insatisfeitos (5%) dá-se para uma escala de neutralidade (índice PMV igual a 0), sendo que esta aumenta à medida que o índice PMV aumenta em módulo.

2.2.2 Modelos adaptativos

Em alternativa aos modelos analíticos, existem modelos adaptativos cujo desenvolvimento é baseado em estudos de campo (condições reais não controladas), nos quais são registadas as condições ambientes (obtidas por medições) e as votações de perceção térmica inquiridas aos utentes do espaço em estudo (Matias, 2010).

Este método considera que o indivíduo tem um papel fundamental na criação do seu próprio ambiente térmico (Almeida, 2011). Esse papel passa pela possível utilização dos três diferentes tipos de adaptação já mencionados.

Correntemente, para avaliação do conforto térmico pelo modelo adaptativo, é usada a norma ASHRAE 55. Nela é apresentado um modelo gráfico de conforto térmico (Figura 2-3) que relaciona a temperatura operativa de conforto, T_{oc} , com a temperatura exterior média mensal, T_m , tendo Brager et al. (2004) proposto a equação (2-3) que sustenta este modelo.

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31 \cdot T_m \quad (2-3)$$

em que:

T_{oc}	[°C]	Temperatura operativa de conforto
T_m	[°C]	Temperatura exterior média mensal

Para definição da zona de conforto do modelo gráfico foram estabelecidas gamas de valores de $\pm 3,5$ °C e $\pm 2,5$ °C em torno da temperatura operativa de conforto para uma aceitabilidade de 80% e 90 % respetivamente.

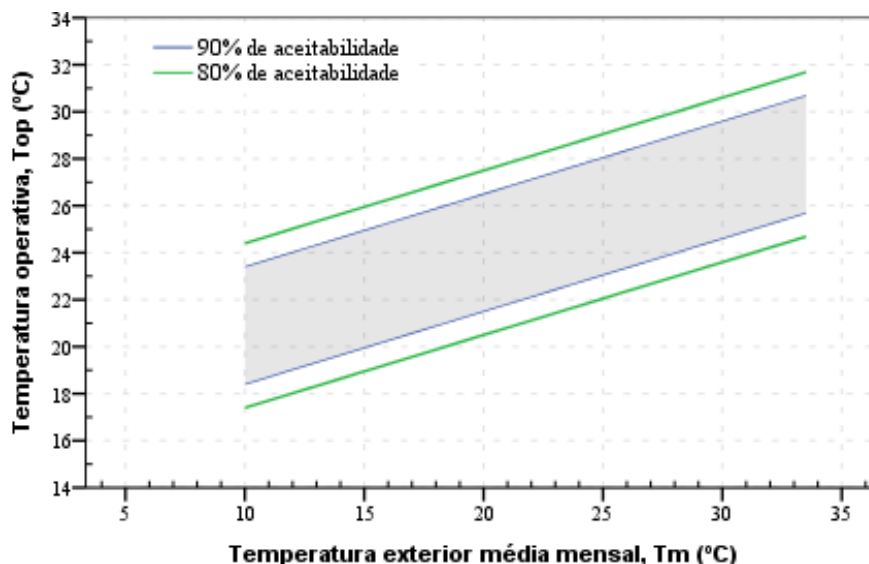


Figura 2-3: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de ASHRAE 55, 2010)

Outro modelo adaptativo possível de ser utilizado para avaliação das condições de conforto térmico é apresentado na norma EN 15251. Este modelo define a temperatura operativa de conforto, T_{oc} , em função da temperatura exterior exponencialmente ponderada, T_{mp} , através da equação (2-4).

$$T_{oc} = 0,33.T_{mp} + 18,8 \quad (2-4)$$

em que:

T_{mp}	[°C]	Temperatura exterior média exponencialmente ponderada dos últimos 7 dias
----------	------	--

A temperatura exterior exponencialmente ponderada caracteriza de uma forma exponencial as temperaturas médias diárias dos 7 dias anteriores ao dia do estudo do conforto térmico, podendo ser calculada através da equação (2-5).

$$T_{mp} = \frac{T_{n-1} + 0,8.T_{n-2} + 0,6.T_{n-3} + 0,5.T_{n-4} + 0,4.T_{n-5} + 0,3.T_{n-6} + 0,2.T_{n-7}}{3,8} \quad (2-5)$$

em que:

T_{n-i}	[°C]	Temperatura média exterior do dia (i) anterior
-----------	------	--

A Figura 2-4 representa graficamente o modelo adaptativo para diferentes categorias de edifícios sem sistemas mecânicos de arrefecimento. De acordo com o grau de exigência desejado de conforto térmico (percentagem de satisfeitos exigida), cada categoria apresenta um gama aceitável de temperaturas, representadas no Quadro 2-2, que graficamente representam o afastamento em torno da temperatura operativa de conforto, T_{oc} .

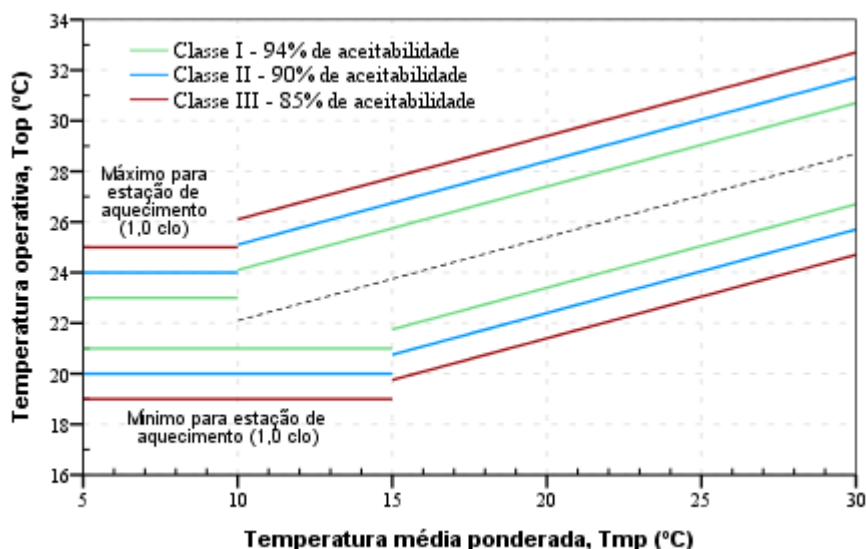


Figura 2-4: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de EN 15251, 2007)

Este modelo é especialmente indicado para estações de arrefecimento (verão), sendo no entanto de utilização viável para as estações de aquecimento (inverno). Neste caso, quando as temperaturas exteriores exponencialmente ponderadas são inferiores a 10 °C e 15 °C, respetivamente, os valores dos limites superiores e inferiores que delimitam a zona de conforto térmico podem ser considerados tal como se o edifício fosse climatizado. Os valores adotados são dependentes da resistência térmica do vestuário e da taxa de metabolismo e independentes das condições térmicas exteriores, partindo do pressuposto que nas estações frias, quer um edifício tenha ou não sistema mecânico de arrefecimento, terá sempre um sistema de aquecimento ativo (EN 15251, 2007; Nicol & Humphreys, 2010)

Quadro 2-2: Gamas de temperaturas aceitáveis para cada categoria de ambiente térmico (adaptado de EN 15251, 2007)

Categoria	Estação de arrefecimento		Estação de aquecimento	
	Afastamento em torno da T_{op} (°C)		T_{op} (°C)	
			Edifícios escolares: atividade sedentária (1,2 met)	
I	- 2 °C	+ 2 °C	21,0	23,0
II	- 3 °C	+ 3 °C	20,0	24,0
III	- 4 °C	+ 4 °C	19,0	25,0
IV	--	--	--	--

A categoria I representa um ambiente térmico de elevado nível de expectativa (usada em espaços ocupados por pessoas com necessidades especiais) e corresponde a 94% de satisfeitos. A categoria II representa um ambiente térmico de expectativa normal (usada em edifícios novos ou sujeitos a ações de reabilitação) e corresponde a 90% de satisfeitos. Já a categoria III representa um ambiente térmico de expectativa normal (usada em edifícios já existentes) e corresponde a 85% de satisfeitos.

Matias (2010) propõe, no âmbito de um projeto do LNEC, um novo modelo adaptativo a aplicar a edifícios em Portugal baseado num estudo que englobou 290 levantamentos (estudos de campo) das condições térmicas em diversos edifícios de escritórios, de ensino superior, de habitações convencionais e lares de idosos. Neste estudo, Matias (2010) define duas temperaturas operativas de conforto, T_{conf} , uma a ser aplicada em ambientes climatizados e outra a ser aplicada em ambientes não climatizados, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada.

$$\text{Sistema de climatização ativo:} \quad T_{conf} = 0,30 \cdot T_{mp} + 17,9 \quad (2-6)$$

$$\text{Sistema de climatização desativo:} \quad T_{conf} = 0,43 \cdot T_{mp} + 15,6 \quad (2-7)$$

em que:

$$T_{conf} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{Temperatura de conforto}$$

O desfasamento em relação ao valor de temperatura "ideal" de conforto, das temperaturas que limitam as gamas de conforto, considerado neste modelo foi de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (Matias, 2010). Este desfasamento garante uma zona de conforto para uma aceitabilidade térmica de 90%, Figura 2-5.

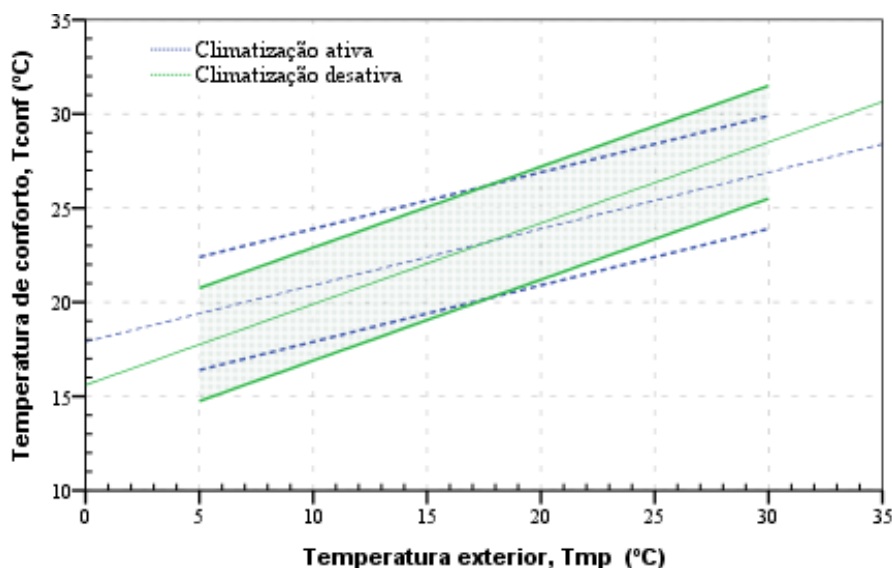


Figura 2-5: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de Matias, 2010)

Matias (2010) refere também que este modelo adaptativo de conforto térmico é aplicável quando os parâmetros objetivos utilizados (taxa de metabolismo, resistência térmica do vestuário, velocidade do ar, temperatura operativa interior e temperatura exterior exponencialmente ponderada) variam dentro da gama de valores especificada no Quadro 2-3.

Quadro 2-3: Limites admissíveis dos parâmetros utilizados no modelo de Matias (adaptado de Matias, 2010)

Parâmetros	Gama de valores
Taxa de metabolismo, M , [met]	1,0 a 1,3 met
Resistência térmica do vestuário, I_{cl} , [clo]	0,4 a 1,4 clo
Velocidade do ar, v_{ar} , [m/s]	0 a 0,6 m/s
Temperatura operativa, T_{op} , [°C]	10 °C a 35 °C
Temperatura exterior média exponencialmente ponderada, T_{mp} , [°C]	5 °C a 30 °C

2.3 Desconforto térmico localizado

2.3.1 Introdução

Em contraponto aos índices PMV e PPD que expressam a satisfação ou insatisfação térmica do corpo como um todo, o desconforto térmico localizado considera o corpo humano como partes, permitindo o seu registo efetuar uma avaliação da existência ou inexistência de sensação de desconforto a um nível local do corpo e perceber assim se uma pessoa se encontra termicamente confortável.

Segundo a norma ISO 7730 (2005) mesmo que determinada pessoa se encontre satisfeita termicamente com a temperatura do corpo como um todo (análise dos índices PMV e PPD) esta poderá não estar confortável, caso possua insatisfação localizada. Essa insatisfação localizada pode ser provocada por diferenças de temperatura do ar na vertical, assimetria da temperatura radiante, temperatura do pavimento ou correntes de ar. Todos estes tipos de desconforto são avaliados através da percentagem de pessoas insatisfeitas.

2.3.2 Diferenças de temperatura do ar na vertical

Este tipo de desconforto térmico localizado ocorre quando a temperatura do ar ao nível da cabeça é, no mínimo, 3 °C, 5 °C ou 10 °C mais elevada do que ao nível dos tornozelos, dependendo do tipo de categoria do local. A Figura 2-6 a) mostra a variação da percentagem de insatisfeitos, PD, em função da diferença de temperatura do ar.

2.3.3 Assimetria da temperatura radiante

A assimetria da temperatura radiante pode ser provocada pela existência de superfícies com temperaturas mais elevadas ou mais reduzidas do que a temperatura do ar, que podem ser

paredes e tetos quentes ou frios, radiadores ou janelas frias, entre outras. Essa diferença de temperatura fomenta uma assimetria térmica corporal no ser humano, ficando este com uma parte de seu corpo mais quente ou mais fria que as restantes, provocando-lhe uma sensação de insatisfação tanto maior quanto maior for essa assimetria. A Figura 2-6 b) mostra a variação da percentagem de insatisfeitos em função da temperatura radiante de assimetria para algumas superfícies quentes e frias.

2.3.4 Temperatura do pavimento

Devido ao contacto direto dos pés, uma superfície de pavimento demasiado quente ou demasiado fria é um fator de potencial desconforto térmico localizado, que pode ser mais ou menos elevado dependendo da não utilização ou da utilização de calçado, respetivamente. A Figura 2-6 c) mostra a variação da percentagem de insatisfeitos em função da temperatura superficial do pavimento.

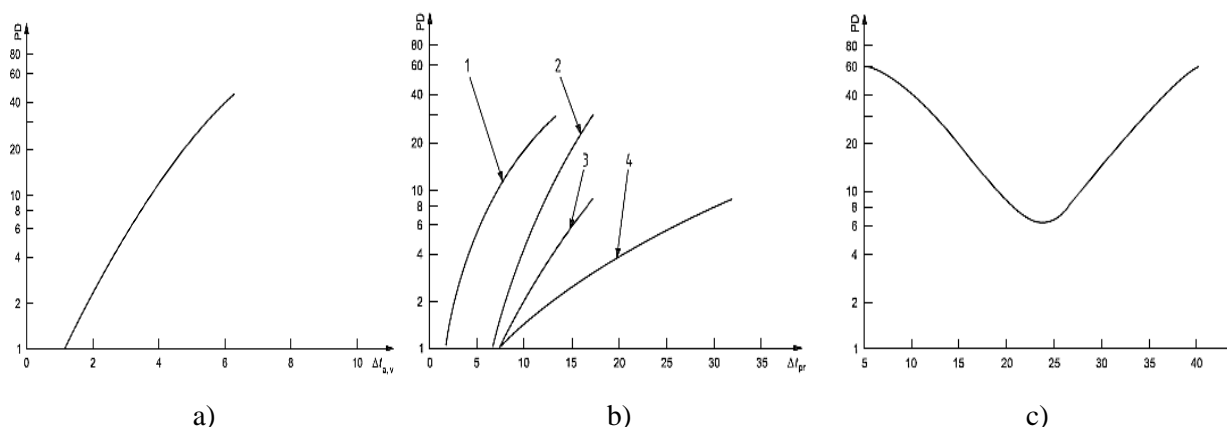


Figura 2-6: Desconforto térmico localizado causado por: a) diferenças de temperatura na vertical; b) assimetria da temperatura radiante; c) temperatura do pavimento (ISO 7730, 2005)

2.3.5 Correntes de ar

O corpo humano possui zonas demasiado sensíveis que podem sentir desconforto quando o movimento do ar é demasiado elevado, sobretudo quando a temperatura corporal de uma pessoa se encontra termicamente abaixo de uma sensação neutra. A possibilidade de uma pessoa se encontrar desconfortável depende sobretudo da temperatura e velocidade do ar, da resistência térmica do vestuário, da atividade metabólica e da intensidade da turbulência, sendo as zonas do corpo sem proteção do vestuário as mais sensíveis a esse desconforto. O seu efeito quantifica-se pela percentagem de insatisfeitos, que pode ser calculada pela equação (2-8).

$$DR = (34 - T_a) \cdot (v_{ar} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{ar} \cdot T_u + 3,14) \quad (2-8)$$

em que:

DR	[%]	Taxa de corrente de ar
T_a	[°C]	Temperatura do ar
v_{ar}	[m/s]	Velocidade relativa do ar
T_u	[%]	Intensidade da turbulência

2.4 Normalização

Qualquer avaliação do conforto térmico de um determinado ambiente deve ser regida por normas técnicas com o intuito de oficializar procedimentos e resultados. As mais importantes e usadas hoje em dia foram elaboradas pela *International Organization for Standardization* (ISO), pela *American Society of Heating, refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) e pelo *European Committee for Standardization* (CEN).

ISO 7726:1998

A norma ISO 7726 tem como principais objetivos definir os parâmetros físicos e especificar as características dos instrumentos e das respectivas medições a usar na avaliação de conforto.

ISO 10551:2001

A norma ISO 10551 especifica critérios e desenvolve escalas para avaliar os parâmetros subjetivos de percepção térmica através de inquéritos distribuídos às pessoas inseridas nos espaços avaliados.

ISO 7730:2005

A norma ISO 7730 expõe um método analítico de avaliação de conforto térmico, descrevendo os processos de cálculo dos diversos índices que permitem avaliar o grau de conforto térmico global (índices PMV e PPD) e o grau de desconforto localizado (percentagens de desconforto devido à diferença de temperatura do ar na vertical, assimetria da temperatura radiante, temperatura do pavimento ou correntes de ar).

Estabelece também critérios que devem ser satisfeitos para três tipos de categorias de ambientes térmicos, de modo a que estes possam ser considerados aceitáveis, (Quadro 2-4).

Quadro 2-4: Limites admissíveis de conforto para cada categoria (adaptado de ISO, 2005)

Categoria	Estado térmico global		Desconforto Local			
	PPD [%]	PMV	Diferenças de temperatura na vertical PD [%]	Assimetria de temperatura radiante PD [%]	Temperatura do pavimento PD [%]	Corrente de ar DR [%]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 3	< 5	< 10	< 10
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 5	< 5	< 10	< 20
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 10	< 10	< 15	< 30

A categoria A deve ser aplicada a espaços ocupados por pessoas com necessidades especiais, a categoria B a edifícios novos ou sujeitos a ações de reabilitação e a categoria C a edifícios já existente (Matias, 2010).

ASHRAE 55:2010

A norma ASHRAE 55 aborda três métodos de validação das condições de conforto térmico de um determinado ambiente interior, para pelo menos 80% de aceitabilidade, permitindo, dependendo do método, realizar uma abordagem analítica ou adaptativa.

O primeiro método utiliza um diagrama psicrométrico, Figura 2-7, que especifica a zona de conforto térmico, subdividida em duas partes, uma relativa a condições de estação quente e outra relativa a condições de estação fria. Este método pode ser aplicado apenas quando os ocupantes do espaço avaliado possuem uma taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met e uma resistência térmica do vestuário entre 0,5 e 1,0 clo.

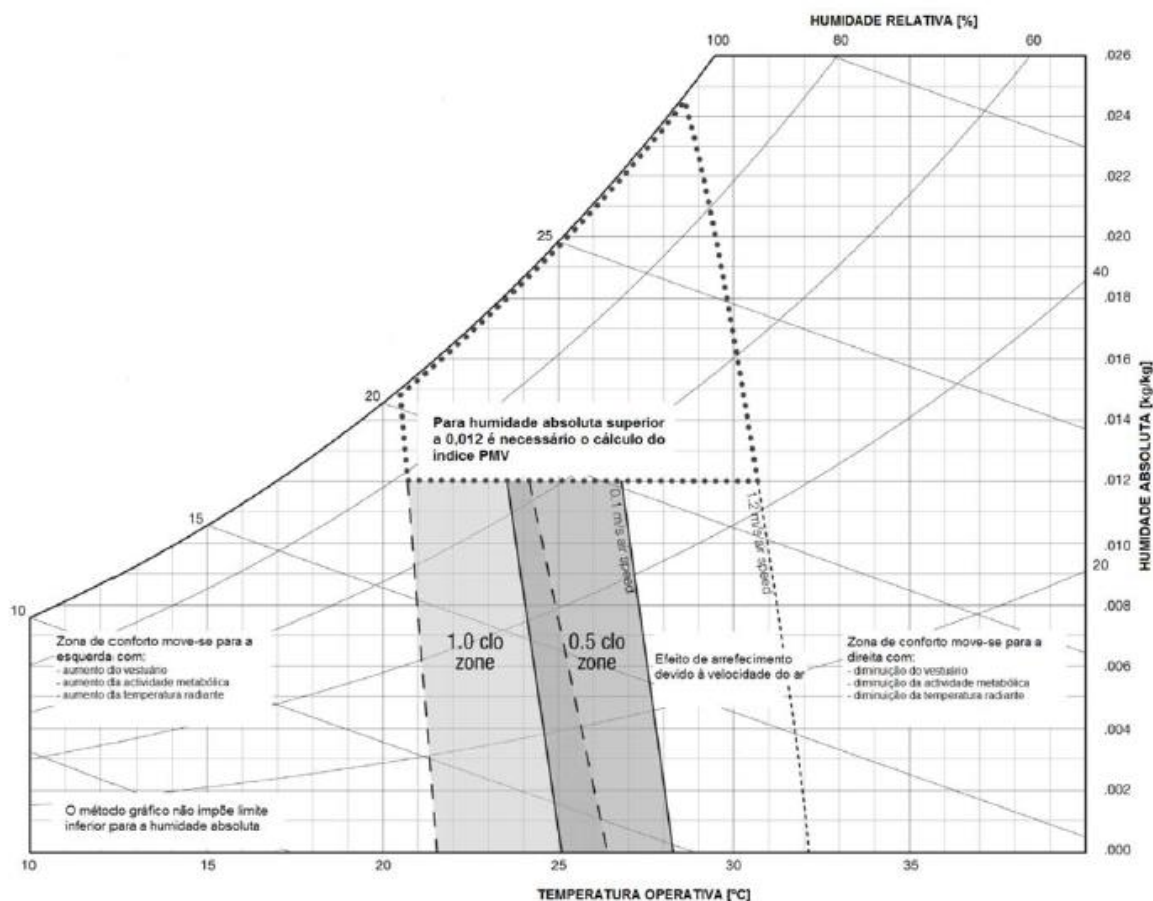


Figura 2-7: Diagrama psicrométrico com zona de conforto delimitada (Almeida 2011, adaptado de ASHRAE, 2010)

O segundo método utiliza os índices PMV e PPD, desenvolvidos por Fanger, à semelhança da ISO 7730 (2005), sendo válidos para espaços em que os ocupantes possuem uma taxa de metabolismo entre 1,0 e 2,0 met e uma resistência térmica de vestuário máxima de 1,5 clo.

O terceiro método utiliza a abordagem adaptativa, já referida em §2.2.2, onde os ocupantes dos espaços avaliados podem adaptar o vestuário às condições ambientais existentes. Para validação do conforto térmico é utilizado o modelo gráfico (Figura 2-3), sempre e quando os espaços sejam naturalmente condicionados, possuam sistema de aquecimento ou arrefecimento desativo, os seus ocupantes apresentem taxas de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met e as temperaturas médias mensais medidas estejam compreendidas entre 10 °C e 33,5 °C.

EN 15251:2007

A norma EN 15251, além de bastante relevante no cálculo do desempenho energético dos edifícios, é também importante e muito usada como documento regulamentar quando o objetivo é a avaliação do ambiente interior. Neste contexto, propõe à semelhança da ASHRAE 55 (2010) duas metodologias diferentes para avaliação do conforto térmico, uma analítica e outra adaptativa.

A metodologia analítica, que pode ser aplicada a edifícios climatizados (com sistemas mecânicos de aquecimento ou de arrefecimento), recorre aos índices PMV e PPD utilizando para tal os critérios e parâmetros adotados na ISO 7730. No Quadro 2-5 são apresentados os limites de conforto recomendados para as 4 categorias de edifícios definidas pela norma (referidas no ponto §2.2.2).

Quadro 2-5: Limites recomendados de conforto térmico

Categoria	PPD [%]	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 ou +0,7 < PMV

A metodologia adaptativa (ponto §2.2.2) é sustentada pelos resultados obtidos do projeto SCATs (Smart Controls and Thermal Comfort) que decorreu em cinco países da Europa, incluindo Portugal (Mc Cartney & Nicol, 2002) podendo ser aplicada a edifícios não climatizados, para uma taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met. Não deve ser utilizada se existir sistema de arrefecimento mecânico ativo, mas o seu uso é permitido se existir ventilação mecânica com ar não condicionado no verão, embora deva ser sempre considerada a utilização da ventilação natural através da abertura de janelas como primeira alternativa.

3. Estudos de conforto térmico em edifícios escolares

3.1 Introdução

Os edifícios escolares desempenham um papel importante na sociedade, sendo a peça chave do desenvolvimento cívico e intelectual das crianças, jovens e adolescentes. Tanto os jardins-de-infância como as escolas são espaços delicados, que implicam atenções especiais com o intuito de manter um nível de conforto que corresponda a uma perfeita satisfação térmica. Os jardins-de-infância, apesar de não serem estabelecimentos de uso obrigatório, albergam cada vez mais crianças, que por serem seres humanos mais sensíveis e possuem sistemas imunológicos menos desenvolvidos que os dos adultos são menos tolerantes a ambientes termicamente desconfortáveis. Já ao nível das escolas, além das condições de saúde, também o desempenho dos estudantes é posto em causa visto que um ambiente termicamente desconfortável aumenta o mal-estar e a insatisfação pessoal e conseqüentemente é reduzida a produtividade na aprendizagem. Considerando que tanto as crianças como os jovens passam cerca de 30% do seu dia dentro dos edifícios escolares, torna-se, portanto, uma prioridade e uma necessidade manter as condições de conforto térmico dentro destes espaços. No decorrer desta necessidade vários estudos têm sido realizados nas últimas décadas, não só com o objetivo de avaliar as condições ambientais presentes nos estabelecimentos educativos mas também de desenvolver e propor novos métodos cada vez mais corretos e fiáveis de avaliação da qualidade do ambiente interior. Apresentam-se de seguida alguns dos mais recentes e mais relevantes.

3.2 Estudos

Com o intuito de se perceber que correlação existe entre o conforto térmico e o desempenho escolar dos estudantes foram realizados diversos estudos, dos quais se destacam os seguintes:

- Kameda, et al. (2007) realizaram um estudo em salas de aula, de diversas escolas espalhadas por todo o território japonês, onde procuraram relacionar a qualidade do ambiente interior com o desempenho e motivação na aprendizagem dos estudantes. Para tal, avaliaram o conforto térmico existente, calculando a percentagem de insatisfeitos, e avaliaram o desempenho dos estudantes utilizando uma análise objetiva (testes) e outra subjetiva (questionário como forma de autoavaliação). O estudo concluiu que o desempenho da aprendizagem, avaliado tanto pelo método objetivo como pelo método subjetivo, diminui com o aumento da percentagem de insatisfeitos relativa à qualidade do ar interior e ambiente térmico.
- Segundo Wargocki e Wyon (2007) corrigir a temperatura ambiente presente num espaço escolar para uma temperatura aceitável provoca uma melhoria significativa no desempenho dos alunos. Com a realização de duas pesquisas de campo independentes em salas de aula, englobando uma amostra de 100 crianças dos 10 aos 12 anos, o estudo concluiu que a redução da temperatura de 24-25 °C para 20°C, num período de fim de verão, evidencia uma subida do desempenho na realização de atividades, que vão desde a leitura até à matemática, através do aumento da velocidade de execução e da diminuição de erros cometidos. A Figura 3-1 ilustra os resultados obtidos.

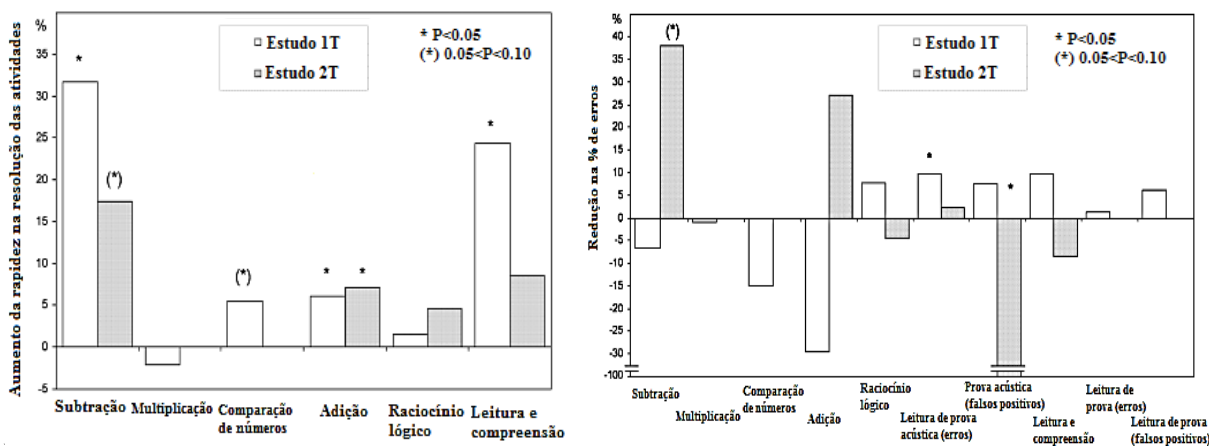


Figura 3-1: Efeito da temperatura no desempenho dos alunos (adaptado de Wargocki e Wyon, 2007)

Foram efetuados também diversos estudos que avaliam o conforto térmico global de espaços com crianças, através da realização de medições para aplicação dos modelos adaptativo e/ou analítico e posterior comparação com a sensação térmica obtida por questionário.

- Teli, et al. (2012) avaliaram o conforto térmico de uma escola primária, sem sistema de climatização, construída em Southampton, Inglaterra. Foram termicamente avaliadas 8 salas de aula e distribuídos inquéritos a aproximadamente 230 estudantes

com idades entre os 7 e os 11 anos. Cada sala de aula foi avaliada seis vezes tendo sido obtidas, no total, 1314 respostas aos inquéritos. Neles foram colocadas perguntas relativas à sensação e à preferência térmica dos alunos e posteriormente comparados os resultados com as medições efetuadas segundo as normas ISO 7730 e EN 15251. O estudo concluiu que as crianças têm uma perceção térmica diferente da dos adultos, devido sobretudo a uma taxa de metabolismo maior e a uma capacidade adaptativa limitada. A Figura 3-2 apresenta duas das diversas análises efetuadas no estudo.

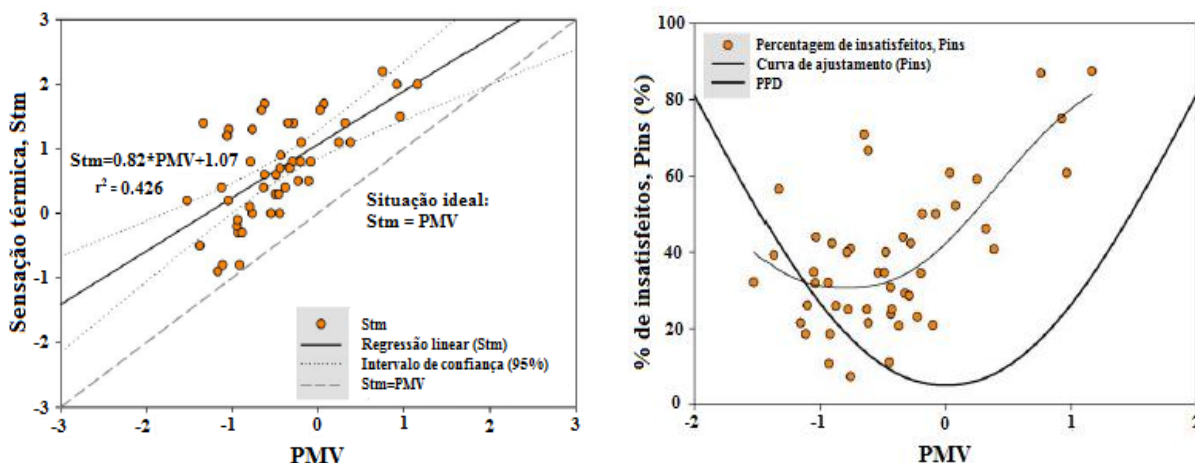


Figura 3-2: Sensação térmica, Stm, e percentagem de insatisfeitos, Pins, em função do índice PMV (adaptado de Teli, et al., 2012)

- Yun, et al. (2014), num outro estudo, consideram que os modelos de conforto térmico propostos pela ISO 7730 e pela EN 15251 necessitam de alterações quando aplicados a crianças. O estudo do qual retiraram tais conclusões foi realizado em 10 jardins-de-infância em Seoul, Coreia do Sul. As medições de conforto foram efetuadas entre abril e junho, três vezes por dia, auxiliadas pela distribuição de inquéritos a 119 crianças com idades entre 4 e 6 anos. A Figura 3-3 mostra duas análises efetuadas no estudo.

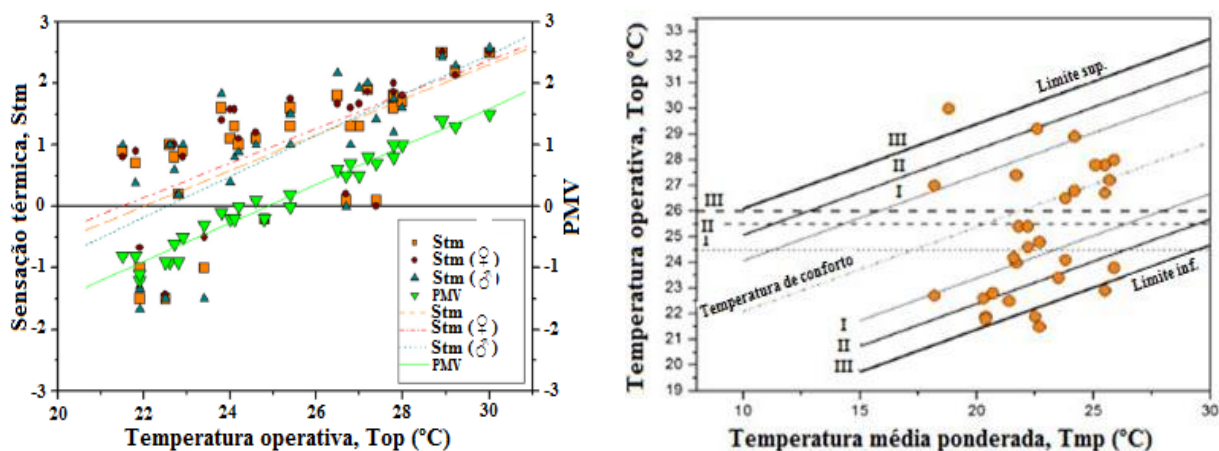


Figura 3-3: Variação da sensação térmica e do índice PMV com a temperatura operativa e aplicação do modelo de conforto da norma EN 15251 (adaptado de Yun, et al., 2014)

- Fabbri (2013) avaliou o conforto térmico de um jardim-de-infância em Itália. O objetivo do estudo passou pela comparação dos parâmetros físicos, segundo a norma ISO 7730, com a percepção de conforto das crianças de 4 e 5 anos presentes no jardim-de-infância, utilizando para o efeito, questionários baseados na norma ISO 10551. Este trabalho distingue-se dos demais pela abordagem inovadora utilizada na definição dos inquéritos, especialmente adaptados para crianças (Figura 3-4). Globalmente observou-se a falta de concordância entre as medições do índice PMV e os resultados dos inquéritos.

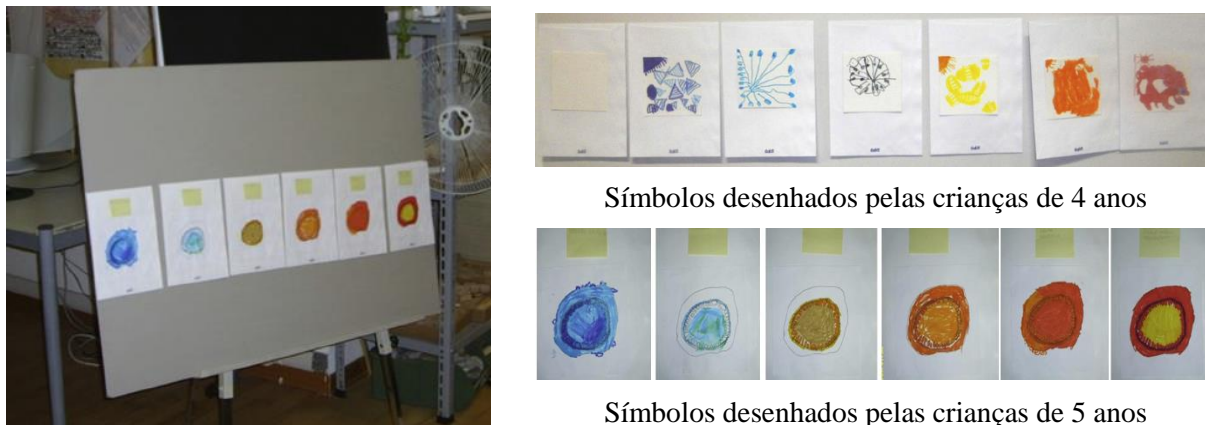


Figura 3-4: Questionários aplicados de acordo com o modelo pedagógico Reggio Emilia e respetiva simbologia

Quando os indivíduos avaliados são crianças existe a necessidade de alterar a taxa de metabolismo, aplicando para isso, um fator de correção a considerar. Esse fator de correção ainda é estudado, não existindo consenso nos diversos estudos realizados até à data.

- Havenith (2007) realizou um estudo em várias escolas com alunos de diferentes idades, a fim de medir os parâmetros individuais necessários para o cálculo do índice PMV. Nessa investigação a taxa de metabolismo para crianças entre 9 e 11 anos variou de 52 a 64 W/m², para atividades de sala de aula sedentárias, sendo que para adultos, a norma ISO 8996 (2004) estabelece uma variação entre 70 e 100 W/m². Os resultados obtidos foram portanto mais baixos do que seria expectável, demonstrando-se assim que, para o mesmo tipo de atividade, as crianças apresentam uma taxa de metabolismo inferior à dos adultos.
- Mors, et al. (2011) afirmam que os valores de Havenith (2007) conduzem a uma subestimação do índice PMV e por isso não devem ser utilizados para crianças em situações de sala de aula. Além disso concluíram que a correção dos valores da taxa de metabolismo utilizando as áreas superficiais corporais torna os resultados mais plausíveis. O estudo foi realizado em três escolas primárias situadas na Holanda, com crianças entre os 9 e os 11 anos, durante 24 dias, abrangendo condições climáticas de inverno, primavera e verão. O valor obtido para a taxa de metabolismo das crianças foi de 109 W/m².

- Teli, et al. (2012) sustentam a análise elaborada por Mors e Hensen (2011) no estudo de conforto térmico realizado a diversas salas de aula de uma escola primária situada em Hampshire, Inglaterra. Nele realizaram quatro abordagens distintas para a determinação da taxa de metabolismo para perceber qual o melhor método a utilizar com crianças. De salientar a comparação entre a abordagem b), onde adaptaram o valor da taxa de metabolismo, em met, através da correção da área superficial corporal e a abordagem d), onde consideraram que 1 met correspondia a $48,8 \text{ W/m}^2$ (valor dentro da gama estabelecida por Havenith, 2007). A Figura 3-5 compara a sensação térmica dos alunos com os valores do índice PMV obtidos pelas duas abordagens descritas, percebendo-se que a abordagem b), entre as duas, é a melhor para estimar a taxa de metabolismo. No entanto o estudo concluiu que é possível melhorar esta abordagem, se em conjunto com a adaptação do valor em met também se modificar o valor base de $58,2 \text{ W/m}^2$ em função da área superficial das crianças.

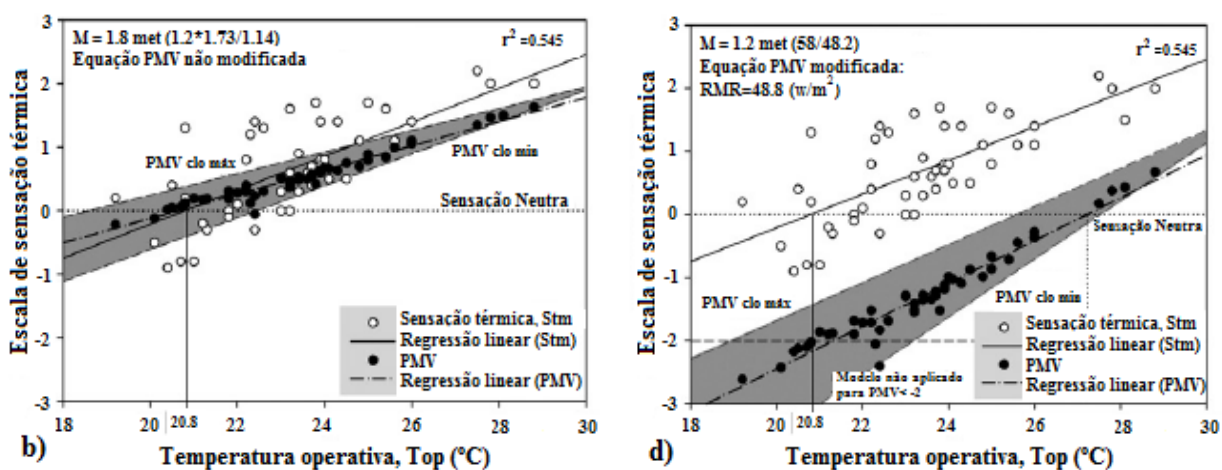


Figura 3-5: Comparação da sensação térmica média, Stm com índice PMV para valores de taxa de metabolismo diferentes (adaptado de Teli, et al., 2012)

- Fabbri (2013), ainda no estudo apresentado, abordou a necessidade de corrigir os valores utilizados da taxa de metabolismo de adultos para crianças devido à disparidade entre os resultados das medições do índice PMV e dos inquéritos que obteve. Para tal, aplicou uma correção à taxa de metabolismo de uma pessoa adulta em função das respetivas áreas superficiais corporais das crianças. Como conclusão da análise efetuada, o estudo sugere que a taxa de metabolismo das crianças é 1,21 vezes mais elevada do que a dos adultos.

Como já referido, para um indivíduo se encontrar confortável termicamente, além de sentir conforto térmico global, não deve possuir qualquer desconforto térmico localizado. Este último não foi ainda abordado exaustivamente em termos práticos, razão pela qual são escassos os estudos que o avaliam.

- Buratti e Ricciardi (2006) realizaram um estudo de conforto térmico, em salas de aula de três universidades de Itália, nas estações de outono e inverno, onde além das medições de conforto térmico global, foram efetuadas medições de desconforto

térmico localizado, permitindo uma análise da diferença de temperatura do ar na vertical, da assimetria da temperatura radiante, da temperatura do pavimento e das correntes de ar. No entanto, estes resultados não foram apresentados visto que os parâmetros obtidos resultaram em percentagens de insatisfeitos baixas.

4. Metodologia de estudo

4.1 Objetivos

O presente estudo, como já referido, tem como principal objetivo analisar e caracterizar o conforto térmico em salas de aula de edifícios escolares e infantários em condições reais de ocupação. De forma global, a estratégia para a conclusão deste objetivo inclui um conjunto de procedimentos singulares:

- Escolha de um conjunto de edifícios escolares e infantários que permitam obter uma amostra de estudo suficientemente numerosa, abrangente e diversificada;
- Medição e registo dos parâmetros ambientais interiores e exteriores, para análise do conforto térmico global e desconforto térmico localizado, utilizando para o efeito equipamentos específicos, em duas estações do ano diferentes (inverno e primavera);
- Avaliação dos parâmetros individuais e subjetivos, aquando dos parâmetros ambientais, através da observação direta e de questionários baseados na norma ISO 10551 (2001) e adaptados consoante as idades dos inquiridos;
- Análise crítica dos resultados obtidos e aplicação do modelo analítico referido na norma ISO 7730 (2005) e dos modelos adaptativos referidos nas normas ASHRAE 55 (2010), EN 15251 (2007) e no estudo de Matias (Matias, 2010) para avaliação do conforto térmico.

4.2 Metodologia do trabalho

Com o intuito de analisar as condições térmicas interiores de edifícios utilizados na educação em Portugal foi planificada a realização de duas campanhas de medição em várias salas dos edifícios previamente selecionados.

Nessas campanhas foram efetuados uma série de levantamentos, onde foram avaliadas as condições ambientais mediante a realização de medições de vários parâmetros que influenciam as condições de conforto térmico dos espaços. No final de cada período de medição os ocupantes presentes nos espaços avaliados foram inquiridos relativamente às suas sensações térmicas do momento.

Na estratégia adotada para a escolha dos edifícios, para posterior recolha de dados, foram tomadas em conta as vantagens decorrentes de uma amostra diversificada. Deste modo, a avaliação de conforto térmico referida decorreu em 3 salas infantário, 3 salas de aula de escolas primárias, 2 salas de aula e 2 bibliotecas de ensino superior, resultantes de uma amostra total de 6 edifícios (5 edifícios escolares, sendo que dois incluem também infantário e 1 edifício de infantário individual), permitindo incluir na análise quatro ambientes térmicos distintos e uma amostra humana desde os 4 anos até a idade adulta. Todos os edifícios situam-se dentro da zona urbana da cidade de Viseu (Figura 4-1).

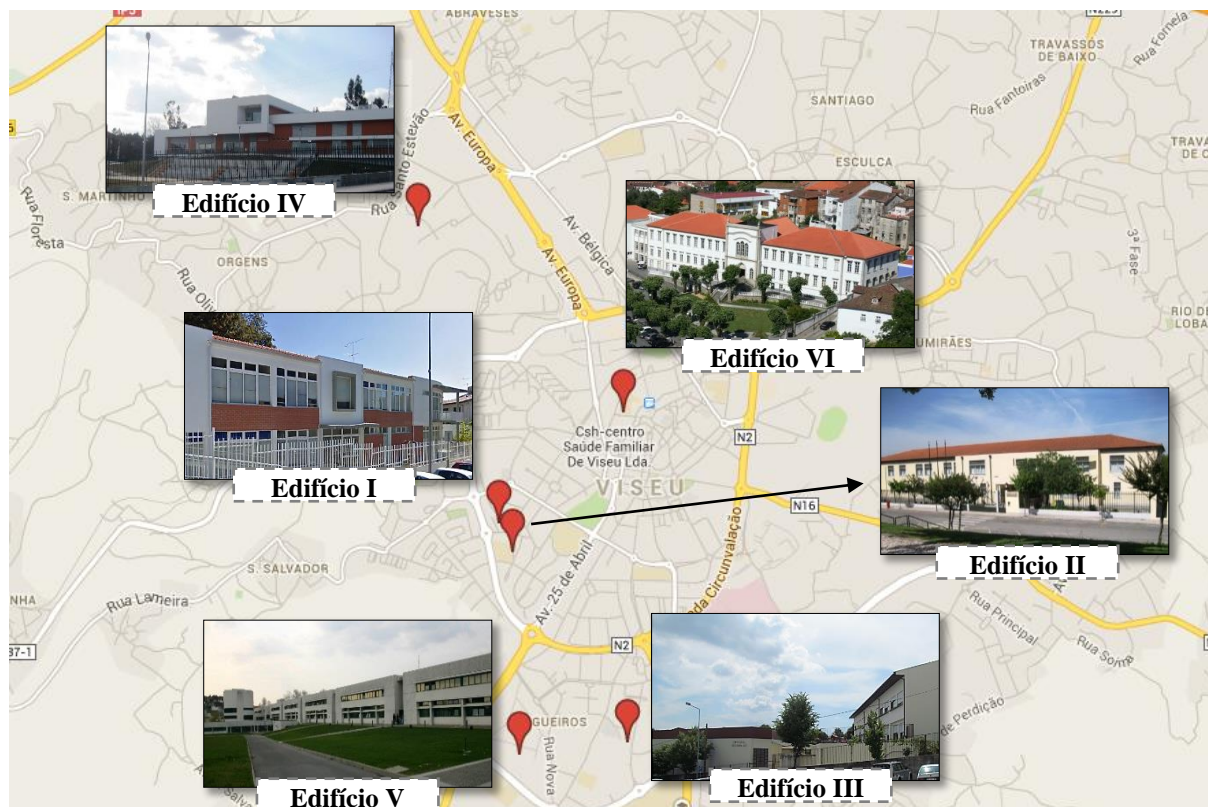


Figura 4-1: Mapeamento dos edifícios inseridos no estudo

Na seleção das salas de infantário procurou-se escolher as que continham as crianças com idade mais elevada por estas se encontrarem mais aptas a responder aos questionários. Na

seleção das salas de aula das escolas, o fator mais importante de escolha foi o número de alunos presentes de modo a possibilitar uma maior recolha de opiniões.

A

Figura 4-2 esquematiza a estratégia usada, incluindo as salas avaliadas em cada uma das campanhas de medição, a descrição da amostra e o objetivo de avaliação. A enumeração das salas está enquadrada com a enumeração dos edifícios, sendo apenas adicionada a sigla A,B,C ou D de acordo com a tipologia educacional.

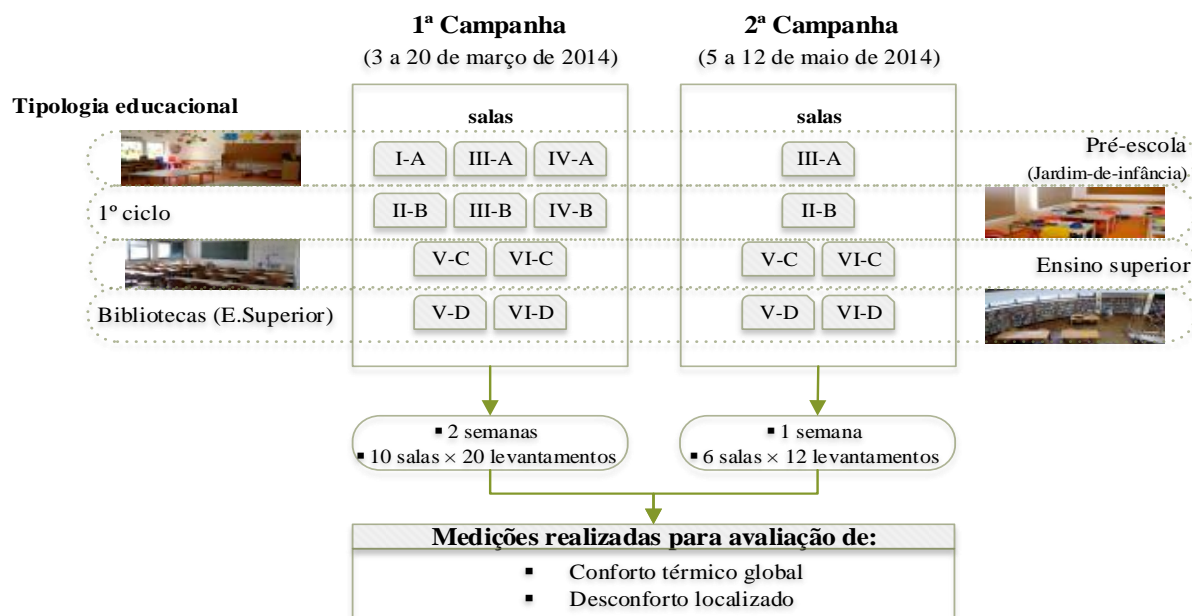


Figura 4-2: Esquemática das medições

Em relação às campanhas de medição, estas foram realizadas num período de dois meses e meio, possibilitando assim avaliar as condições de conforto através da recolha dos dados representados na Figura 4-3, tanto na estação de inverno, como na estação da primavera. A 1ª campanha decorreu em março e a 2ª em maio, perfazendo um total de 32 observações.

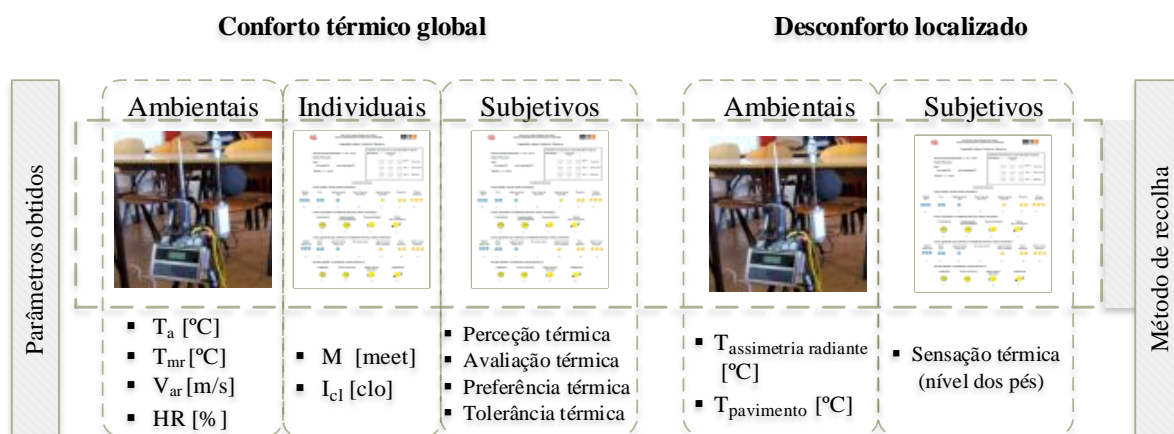


Figura 4-3: Dados recolhidos nos estudos de campo

Em todos os espaços analisados foram efetuados levantamentos em dois períodos do dia distintos (de manhã e de tarde), possibilitando deste modo uma comparação da variação térmica diária. O período de registo dos parâmetros ambientais de cada levantamento teve a duração mínima de uma hora, sendo que uma considerável parte deles duraram entre duas a três horas. A definição destes períodos foi efetuada de acordo com a disponibilidade horária dos espaços analisados.

Realça-se o facto de na 2ª campanha não terem sido avaliadas todas as salas, como estava planificado, devido a problemas com o equipamento de medição. Tal contratempo não impossibilitou no entanto a continuação do estudo proposto, visto que o número de observações disponíveis já permite uma avaliação de conforto com alguma fiabilidade.

4.3 Caracterização dos casos de estudo

4.3.1 Generalidades

O edifício I é um jardim-de-infância frequentado por cerca de 100 crianças com idades até aos 5 anos.

Neste edifício com dois pisos, foi monitorizada uma sala no 2º piso, frequentada por crianças de idade pré-escolar. Foram apenas realizados os levantamentos da 1ª campanha devido à impossibilidade de realizar as medições na 2ª, em virtude do problema já referido com o equipamento de medição. A Figura 4-4 identifica o edifício por vista aérea, destacando a sala onde decorreram as medições.



Figura 4-4: Edifício I (pré-escolar)

O edifício II é uma escola de 1º e 2º ciclo frequentado por 180 alunos do 1º ciclo e 250 do 2º ciclo, tendo sido construída em 1996.

Neste edifício com dois pisos, foi monitorizada uma sala no 2º piso, frequentada por alunos do 4º ano. Foram realizados os levantamentos relativos à 1ª e 2ª campanha. A Figura 4-5 identifica o edifício por vista aérea, destacando a sala onde decorreram as medições.



Figura 4-5: Edifício II (escolar)

O edifício III é um centro social que inclui jardim-de-infância frequentado por cerca de 300 crianças com idades até 5 anos e ensino complementar frequentado por cerca de 100 alunos do 1º ciclo. Foi construído na década de 90.

Foram, portanto, monitorizadas duas salas, em blocos distintos, uma com funções de educação pré-escolar para crianças de 4 e 5 anos, onde foi realizada apenas a 1ª campanha de medição e outra com funções de apoio escolar a alunos do 3º ano, onde foram realizadas as duas campanhas. A Figura 4-6 identifica o edifício por vista aérea, destacando as salas onde decorreram as medições.



Figura 4-6: Edifício III (escolar e infantil)

O edifício IV é uma escola básica de 1º ciclo e jardim-de-infância, frequentada por cerca de 390 crianças, tendo sido construído em 2010 e inaugurado em setembro de 2011.

Foram monitorizadas duas salas, uma em funções de educação pré-escolar com crianças dos 3 aos 5 anos e outra em funções de ensino básico com alunos do 4º ano. Em ambas as salas foram realizadas as medições relativas à 1ª campanha. A Figura 4-7 identifica o edifício por vista aérea, destacando as salas onde decorreram as medições.



Figura 4-7: Edifício IV (escolar e infantil)

O edifício V é uma escola de ensino superior frequentada por cerca de 2300 alunos, tendo sido construído no início da década de 90.

Nesta escola, que é constituída por diversos blocos, foram monitorizadas uma sala de aula e uma sala de biblioteca. Em ambas as salas foram realizados os levantamentos relativos à 1ª e 2ª campanha de medição. A Figura 4-8 identifica o edifício por vista aérea, destacando as salas onde decorreram as medições.



Figura 4-8: Edifício V (escolar)

O edifício VI, localizado na zona histórica do concelho de Viseu, é uma escola de ensino superior frequentada por cerca de 1400 alunos, tendo sido construído na década de 80.

Foram monitorizadas, como no edifício V, uma sala de aula e uma sala de biblioteca. Em ambas as salas foram realizados os levantamentos relativos à 1ª e 2ª campanha de medição. A Figura 4-9 identifica o edifício por vista aérea, destacando as salas onde decorreram as medições.



Figura 4-9: Edifício VI (escolar)

4.3.2 Caracterização construtiva

Obviamente as soluções construtivas adotadas num edifício influenciam diretamente o ambiente térmico nele existente. Deste modo, a caracterização dos elementos construtivos da envolvente exterior de cada um dos edifícios estudados torna-se importante, podendo atuar como elemento justificativo para as análises de conforto obtidas. O Quadro 4-1 apresenta toda essa informação, obtida maioritariamente por observação direta.

Quadro 4-1: Caracterização construtiva dos edifícios

Edifícios escolares	Solução construtiva
I	Paredes exteriores duplas com isolamento, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento com revestimento em linóleo.
II	Paredes exteriores duplas com isolamento, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento com revestimento em linóleo.
III	Paredes exteriores duplas com isolamento, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento com revestimento de ladrilho cerâmico (salas de 1º ciclo) ou em linóleo (salas de infantário).
IV	Paredes exteriores simples com isolamento exterior, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento de lajes maciças com revestimento em linóleo.
V	Paredes exteriores duplas com isolamento, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento de lajes maciças com revestimento de ladrilho de cortiça.
VI	Paredes exteriores de pedra natural com isolamento exterior, paredes interiores de alvenaria de tijolo furado e pavimento com revestimento em linóleo.

4.4 Determinação dos parâmetros ambientais

4.4.1 Introdução

Como foi referido no ponto §2.1.3, para avaliar as condições de conforto térmico de espaços interiores é inevitavelmente necessário conhecer todos os parâmetros existentes capazes de influenciar termicamente o ambiente. Desta forma, todos os espaços avaliados foram caracterizados através dos parâmetros ambientais interiores e exteriores.

4.4.2 Ambiente interior

Os parâmetros inerentes ao conforto térmico global do ambiente interior obtidos foram, a temperatura do ar, T_a [°C], a temperatura média radiante, T_{mr} [°C], a velocidade do ar, v_{ar} [m/s], a humidade relativa, HR [%] e a temperatura operativa, T_{op} [°C], realçando-se o facto de tanto a temperatura média radiante como a temperatura operativa terem sido obtidas de forma indireta através da medição de outros parâmetros físicos.

Em relação ao desconforto localizado foram medidas a temperatura do pavimento e a assimetria da temperatura radiante, permitindo efetuar uma avaliação em termos de percentagem de insatisfeitos (PD) destes dois possíveis efeitos de desconforto.

A Figura 4-10 a) mostra o equipamento de medição utilizado nos levantamentos efetuados, com as respetivas sondas tipo, indicando-se no Anexo III as características pormenorizadas de cada uma delas. De salientar que no presente estudo a sonda necessária para medir a velocidade do ar não estava operacional, optando-se por isso, por utilizar outro equipamento para esse efeito, apresentado na Figura 4-10 b), cujas características também podem ser consultadas no mesmo Anexo.



a)



b)

Figura 4-10: Equipamentos de medição

Em todas as medições o equipamento foi colocado a uma altura de 0,60 m do pavimento (nível do abdómen de uma pessoa sentada), de acordo com a norma ISO 7726 (1998). Esta

mesma norma refere que os parâmetros ambientais para ambientes térmicos interiores considerados homogêneos (situação em que os parâmetros ambientais são praticamente uniformes junto a um indivíduo) só necessitam de ser medidos a uma única posição de altura. Por este motivo, considerando o ambiente dos espaços avaliados no estudo como sendo homogêneo, foi dispensada a realização de medições a alturas correspondentes ao nível dos pés e ao nível da cabeça. Importa realçar, no entanto, que apesar da norma se aplicar apenas a adultos, nos levantamentos realizados em escolas primárias e infantários também foi considerada uma altura de 0,60 m.

Em relação ao posicionamento do equipamento, procurou-se que este se situasse, sempre que possível, no centro dos espaços avaliados ou o mais próximo possível dele. No entanto, nos infantários, foi colocado em locais das salas indicados pelas educadoras para não perturbar o funcionamento natural das atividades a realizar pelas crianças.

Existiu também a necessidade e preocupação de afastar o referido equipamento de fontes de calor ativas (vãos envidraçados expostos a radiação solar, radiadores ligados e sistemas de climatização) para que as medições não fossem deturpadas e pudessem assim ser representativas do ambiente térmico geral dos espaços.

A Figura 4-11, a título de exemplo, apresenta a localização do equipamento de medição numa sala de infantário (sala I) e numa sala de biblioteca (sala VI-D), sendo no Anexo II apresentada a localização para a totalidade das salas.



Figura 4-11: Localização do equipamento

A determinação dos parâmetros ambientais interiores em conjunto com os parâmetros individuais obtidos dos ocupantes dos espaços estudados viabilizou o cálculo dos índices térmicos PMV e PPD para cada levantamento, possibilitando assim a aplicação do método analítico apresentado na norma ISO 7730 (2005). Além disso, estas determinações permitiram

ainda avaliar o conforto térmico de uma perspectiva diferente, utilizando para tal os modelos adaptativos referidos em §2.2.2.

4.4.3 Ambiente exterior

Relativamente ao ambiente exterior, dada a relação intrínseca entre as condições climáticas e as sensações térmicas das pessoas, foram registadas a temperatura e a humidade relativa do ar. Estes dois parâmetros foram medidos de três em três minutos, com equipamento localizado na cobertura do edifício V.

A caracterização do clima exterior começou a ser efetuada 30 dias antes do primeiro levantamento, permitindo, desta forma, calcular a temperatura média mensal, T_m , e a temperatura exponencialmente ponderada, T_{mp} , necessárias para avaliação do conforto térmico através da aplicação dos modelos adaptativos (§2.2.2).

4.5 Determinação dos parâmetros individuais

4.5.1 Introdução

No decorrer dos levantamentos realizados para determinação dos parâmetros ambientais interiores em cada espaço, foram estimados também os parâmetros individuais, nomeadamente, a resistência térmica do vestuário, caracterizada qualitativa e quantitativamente através das peças de roupa utilizadas, e a taxa de metabolismo, decorrente da atividade exercida pelas crianças/alunos dentro dos espaços.

4.5.2 Resistência térmica do vestuário

A resistência térmica média do vestuário foi calculada através da estimação da roupa usada por cada criança/aluno durante os levantamentos. Para tal, para cada levantamento nos infantários, após visualização das peças de roupa que cada criança vestia, procedeu-se à elaboração de quatro listas com as peças mais frequentes, originando quatro vestuários tipo utilizados (2 masculinos e 2 femininos). Já nas escolas primárias e de ensino superior a estimação da roupa usada foi obtida pela informação recolhida nos questionários preenchidos pelos utilizadores dos espaços.

Na generalidade dos levantamentos, ao valor da resistência térmica determinado foi adicionado um valor de 0,01 clo (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005) pelo facto dos alunos estarem sentados, reproduzindo assim o efeito da resistência térmica adicional devido ao contato com a superfície de madeira da cadeira. Apenas nos levantamentos efetuados nos infantários não foi adicionado qualquer valor visto que as crianças não se mantiveram sentadas durante o período total de medição (ASHRAE 55, 2010).

O Quadro 4-2 apresenta as peças de roupa referidas nos inquéritos e os respetivos valores de resistência térmica.

Quadro 4-2: Resistência térmica das peças de roupa (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005)

<i>PEÇAS DE VESTUÁRIO</i>	<i>I_{cl} [clo]</i>	<i>PEÇAS DE VESTUÁRIO</i>	<i>I_{cl} [clo]</i>
Roupa interior		Camisa/Blusa	
Boxer	0,04	camisa de verão, manga comprida	0,20
cueca	0,03	camisa de inverno	0,25
lingerie	0,03	camisa de flanela, manga comprida	0,30
Sutiã	0,01	blusa de verão, manga comprida	0,15
Camisola/Pulôver		t-shirt	0,09
sem mangas	0,12	Meias	
de verão, (fina)	0,20	finas	0,02
de meia-estação	0,28	grossas, pelo tornozelo	0,05
de inverno, (malha)	0,35	grossas, pelo joelho	0,10
Sapatos		de nylon	0,03
sola fina, ténis/sapato	0,02	collants	0,10
sola grossa, ténis desportivo	0,04	Calças	
bota	0,10	de verão	0,20
Vestido/Saia		de meia-estação/ (ganga)	0,25
saia curta, de verão	0,15	de inverno/ (flanela)	0,28
saia comprida, de inverno	0,25	calções	0,06
vestido, manga curta	0,20	Casaco	
vestido, manga comprida	0,40	de verão	0,25
Acessórios		de inverno	0,35
cachecol	0,05		
bata	0,20		

4.5.3 Taxa de metabolismo

Para a atividade exercida pelos alunos, tanto nas salas de aula como nas bibliotecas (a escrever em posição sentada), o valor da taxa de metabolismo considerado foi de 1,2 met (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005). Para os espaços de educação pré-escolar também foi considerado o mesmo valor, visto que durante as medições realizadas nos diferentes levantamentos as crianças passaram a maior parte do tempo sentadas a realizar determinadas atividades (pintura, desenho e recorte).

Contudo, como já referido no ponto §2.1.3, os valores presentes tanto na norma ASHRAE 55 (2010) como na ISO 7730 (2005) são baseados em experiências com sujeitos adultos e portanto não podem ser aplicados diretamente a crianças. Deste modo, deverá ser realizada uma correção do valor da taxa de metabolismo decorrente das atividade das crianças do 1º ciclo e da pré-escola, em função das suas áreas superficiais corporais e/ou da adição do valor ΔM devido aos seus maiores metabolismos basais, de acordo com os valores apresentados no Quadro 4-3.

Quadro 4-3: Área de DuBois e ΔM em função da idade (adaptado da Portaria nº 353-A/2013)

Idade dos ocupantes	A_{Du} [m²]	ΔM [met]
3 anos	0,65	0,19
até 6 anos	0,80	0,14
até 9 anos	1,10	0,09
Até 11 anos	1,30	0,07

Este é um assunto ainda em discussão como foi exposto no ponto §3.2. Nesse sentido, para definir o tipo de correção mais adequada, foi efetuado um estudo detalhado, com base na informação recolhida durante as medições. Este estudo encontra-se detalhado no capítulo 5 e inclui quatro abordagens de ajuste da taxa de metabolismo.

4.6 Determinação dos parâmetros subjetivos

4.6.1 Introdução

A abordagem subjetiva elaborada neste estudo visou estimar a percepção do ambiente interior, em termos de sensação, aceitabilidade e preferência térmica das crianças/alunos. Para possibilitar a recolha desta informação foram elaborados questionários (inseridos para consulta no Anexo I, que foram posteriormente distribuídos durante o período de levantamento dos parâmetros ambientais interiores (foram preenchidos na última meia hora de medição, sempre que possível).

A escolha do método de inquérito por questionário na avaliação dos parâmetros subjetivos deveu-se sobretudo à possibilidade deste ser aplicado a um elevado número de pessoas num curto espaço de tempo e à possibilidade de tratar a informação recolhida através de uma análise estatística automatizada.

Tendo em conta a escala alargada de idades dos inquiridos (desde os quatro anos até idade adulta) optou-se por realizar três questionários diferentes, sendo que o questionário aplicado às crianças de educação pré-escolar (infantário) obedeceu uma estrutura diferente da dos restantes (escola primária e ensino superior).

No entanto, antes do início dos levantamentos, foi realizado um pré-teste na sala V-D (biblioteca) do edifício escolar V, a cerca de 15 alunos, com o intuito de identificar possíveis interpretações equivocadas por parte dos inquiridos que justificasse uma modificação da escrita das perguntas ou alteração do formato do inquérito. Globalmente, no modelo de inquérito final procurou-se que as perguntas seguissem uma sequência lógica e transmitissem uma mensagem precisa e compreensiva.

4.6.2 Estrutura e conteúdo do questionário aplicado ao ensino superior

A estrutura global do questionário distribuído aos alunos do ensino superior no âmbito do presente estudo é composta por quatro grupos de recolha de informação (Figura 4-12).

Relativamente a cada inquirido, o 1º grupo foi elaborado com o intuito de obter a respetiva informação pessoal (sexo e idade). O 2º grupo teve como objetivo obter a sua localização, que foi considerada útil para se perceber a distribuição geral de todos os alunos nas salas de aula. No 3º grupo foram colocadas quatro perguntas, elaboradas com base nas escalas subjetivas propostas pela ISO 10551 (2001), que permitiram aos alunos exprimir a sua percepção, avaliação, preferência e tolerância térmica e uma pergunta que permitiu expressar a existência

de desconforto localizado ao nível dos pés, caso ela existisse. Com o 4º grupo pretendeu-se estimar as peças de roupa usadas com o intuito de calcular a resistência térmica do vestuário.



Figura 4-12: Estrutura do questionário aplicado ao ensino superior

Realça-se no entanto, que nos questionários aplicados às bibliotecas decidiu-se retirar a planta de localização por ser considerada desnecessária, visto que existiu a possibilidade de registar a localização de cada inquirido aquando da distribuição dos inquiridos.

4.6.3 Estrutura e conteúdo do questionário aplicada ao primeiro ciclo

De acordo com Holaday et al., (1991) as crianças de 9 anos ou mais já são capazes de responder a um questionário com estrutura precisa. Deste modo, o questionário distribuído aos alunos do primeiro ciclo (3º e 4º ano de escolaridade) manteve a estrutura global do questionário aplicado ao ensino superior.

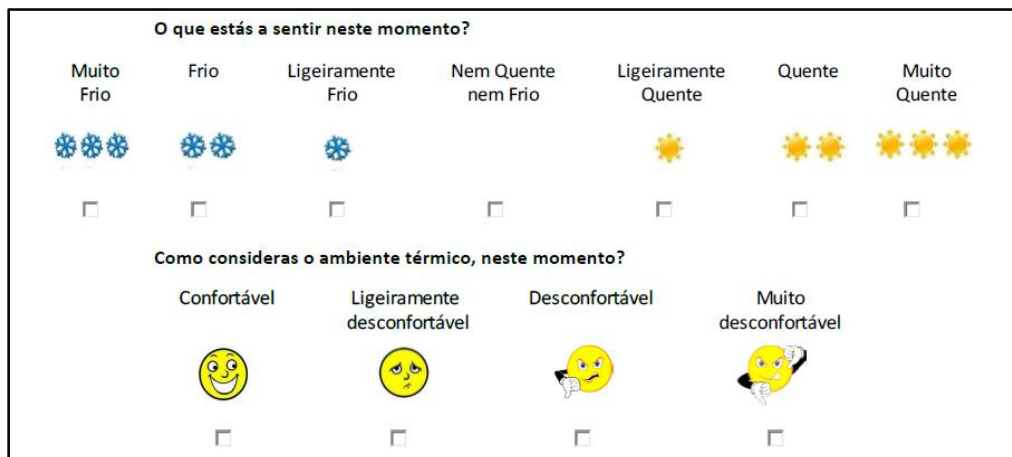


Figura 4-13: Algumas das escalas de sensação térmica adotadas no questionário

Como únicas diferenças registam-se a inclusão de imagens no 3º e 4º grupo (Figura 4-13), para aumentar a rapidez de perceção e a facilidade de compreensão por parte dos alunos, e a simplificação da lista de peças de roupa inseridas no quarto grupo, visto que algumas delas não são usadas por crianças com a faixa etária correspondente ao primeiro ciclo. Realça-se também que não foi considerado conveniente incluir a pergunta para avaliar a perceção de desconforto localizado ao nível dos pés, porque acredita-se que as crianças dessa idade ainda não têm essa sensibilidade.

4.6.4 Estrutura e conteúdo do questionário aplicada aos infantários

No caso específico dos infantários, visto que os sujeitos inquiridos foram crianças com idade pré escolar (4 e 5 anos), não tendo ainda capacidade de leitura, tornou-se inviável manter a estrutura definida e referida anteriormente. Deste modo optou-se por inserir apenas uma pergunta no questionário (“O que estás a sentir neste momento?”) à qual as crianças tiveram oportunidade de responder, após explicação das educadoras, pintando uma imagem associada a cada sensação térmica, como representado na Figura 4-14.

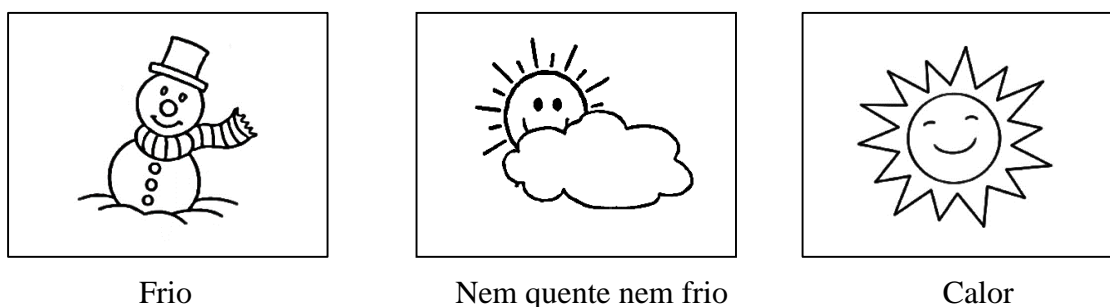


Figura 4-14: Imagens inseridas no questionário e respetiva sensação térmica

Contrariamente ao que acontece com as pessoas de idade adulta, oferecer mais graus de resposta às crianças diminui a firmeza das respostas (Haddad et al., 2012). Por esse motivo, a pergunta foi constituída por uma escala de 3 graus (McIntyre, 1982).

A opção de permitir que as crianças pintassem o que estavam a sentir ajudou-as a identificar a questão mais facilmente, fornecendo imagens cognitivas familiares dos sentimentos ou experiências passadas. Além disso, o simples ato de pintar tornou-se uma tarefa agradável e motivadora para elas, mantendo-as interessadas na atividade.

4.7 Caracterização da amostra humana

Com o intuito de verificar a diversidade e abrangência do estudo procedeu-se à caracterização da amostra humana, representada pelo número de pessoas que responderam aos questionários por inquéritos distribuídos durante as medições efetuadas nas diversas salas de aula e bibliotecas.

No total foi recolhida uma amostra de 487 indivíduos, abrangendo ambos os sexos, sendo que a amostra da 1ª campanha mostra-se mais completa, com 306 inquiridos (63%), enquanto que a 2ª campanha apresenta um valor mais baixo, com 181 inquiridos (37%), devendo-se tal facto, ao problema surgido no equipamento de medição e que por isso não permitiu, como já referido, efetuar na totalidade os levantamentos previstos (que engobam as medições e as recolhas por inquéritos). No Quadro 4-4 apresenta-se um resumo das características quantitativas (número de inquiridos) por campanha de medição e por tipologia educacional, assim como a respetiva distinção por género.

Quadro 4-4: Caracterização quantitativa e por género da amostra humana

Tipologia educacional	Campanha		Total	Sexo	
	1ª	2ª		M	F
Pré-escola	114	38	152	75	77
1º Ciclo	103	47	150	69	81
Ensino superior	salas de aula	46	51	26	71
	bibliotecas	43	45	88	40
Total	306	181	487	210	277

Em relação à distribuição dos inquiridos por tipologia educacional, cerca de 38% da amostra ocupava um espaço de ensino superior (salas de aula e bibliotecas) na altura dos levantamentos, sendo este o perfil ocupacional com maior valor de inquiridos (Figura 4-15). Por outro lado, tanto no 1º ciclo como na pré-escola esse valor diminui para 31%. Tal facto mostra que o número obtido de inquiridos em cada um dos espaços foi muito idêntico, propiciando uma condição de igualdade para análises de conforto térmico globais.

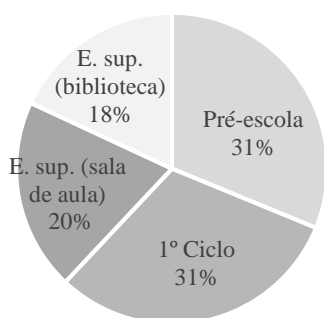


Figura 4-15: Distribuição dos inquiridos por topologia educacional

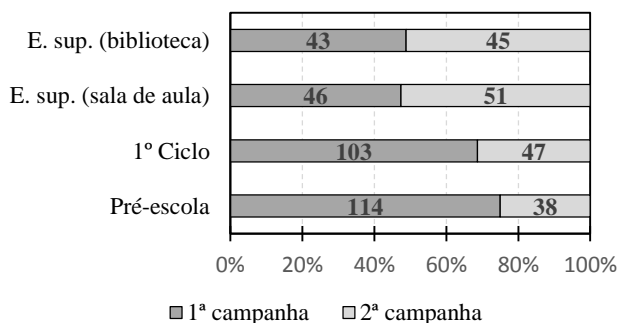


Figura 4-16: Distribuição dos inquiridos por topologia educacional segundo a campanha

Através de uma observação ligeiramente diferente (Figura 4-16), constata-se que na pré-escola e no 1º ciclo o número de inquiridos na 2ª campanha foi consideravelmente menor do que na 1ª, devido a terem sido realizados menos levantamentos nestes espaços escolares. Foi apenas conseguindo um equilíbrio nas salas e bibliotecas de ensino superior.

Em termos de estrutura etária, o Quadro 4-5 apresenta a gama de idade da população inquirida. Observa-se portanto que nos infantários (pré-escola) as crianças inquiridas apresentaram idades de 4 ou 5 anos e no 1º ciclo de 8,9 ou 10 anos. Já no ensino superior foi possível encontrar inquiridos desde os 18 aos 48 anos, originando assim uma variação de idades mais extensa.

Quadro 4-5: Gama de idade por tipologia educacional

Tipologia educacional	Idade		
	mínima	máxima	média
Pré-escola	4	5	*
1º Ciclo	8	10	9,1
Ensino superior	18	48	23,7

* não avaliado

De forma global, a vasta tipologia educacional selecionada para o estudo permitiu obter uma amostra humana com elevada abrangência de idades, variando desde os 4 até aos 48 anos incluindo crianças, adolescentes e adultos. Tal facto torna-se importante, permitindo encontrar diferentes conceções e perceções de conforto térmico.

5. Análise dos resultados

5.1 Introdução

As campanhas de medição desenvolvidas foram realizadas com o objetivo de recolher informações sobre o ambiente térmico de salas de aula e biblioteca de espaços escolares para avaliação da existência ou não de condições de conforto.

Inicialmente, neste capítulo será feita uma análise aprofundada ao tema da avaliação do valor da taxa de metabolismo a aplicar a crianças para cálculo dos índices analíticos de conforto. Esta abordagem permitirá suportar a escolha do valor mais correto para utilização nas análises posteriores. Os resultados obtidos nas duas campanhas de medição são expostos individualmente, apresentando-se posteriormente uma análise crítica de ambos.

5.2 Taxa de metabolismo

Existindo a necessidade de corrigir o valor da taxa de metabolismo para ajuste do modelo de cálculo do índice PMV (Fanger, 1970) a crianças e não sendo os estudos realizados até hoje consensuais, optou-se por utilizar os dados recolhidos neste trabalho para realizar uma análise com 4 abordagens de correção, das quais uma será escolhida mediante os resultados obtidos.

Em cada uma das abordagens efetuadas foi considerada uma taxa de metabolismo diferente, tendo como referência o conhecimento do tipo de atividade (sedentária) realizada pelas crianças quer do infantil, quer do 1º ciclo, durante as medições. Para corrigir esse valor base foram tidas em conta as áreas de superfície corporal das crianças de acordo com o estabelecido na Portaria nº353-A/2013 do recente Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Assim, foram consideradas as seguintes abordagens:

- Abordagem (a) – nesta abordagem foi utilizado como dado de entrada da atividade metabólica o valor estabelecido na ISO 7730 (2005) para uma atividade sedentária. Significa portanto que será avaliada a sensação térmica das crianças através de um método na prática aplicável só a adultos. Apesar de ser já previsível que esta abordagem não conduzirá a valores de PMV e PPD próximos da sensação térmica recolhida por inquérito, considerou-se pertinente o seu estudo para posterior comparação com os demais.
- Abordagem (b) – nesta abordagem o valor utilizado para a taxa de metabolismo referente a adultos para uma atividade sedentária foi corrigido pela adição do valor ΔM indicado no Quadro 4-3 em função da faixa etária. Trata-se do valor proposto na Portaria nº353-A/2013 do REH.
- Abordagem (c) – nesta abordagem o valor da taxa de metabolismo foi corrigido pela área de superfície corporal das crianças de acordo também com o Quadro 4-3 em função da faixa etária, tendo sido considerada como área de superfície corporal média de um adulto o valor de $1,7 \text{ m}^2$ (ISO 8996, 2004). Esta é a abordagem mais comum, tendo sido aplicada em diversos estudos já efetuados (Mors, et al., 2011; Teli, et al., 2012; Fabbri, 2013; et al.). Realça-se no entanto que este método pode conter erros (Torun, 1983), visto que a razão da área de superfície corporal por unidade de massa varia significativamente com a idade (Havenith, 2007).
- Abordagem (d) – nesta abordagem o valor da taxa de metabolismo foi corrigido simultaneamente pelos métodos apresentados nas abordagens (b) e (c), sendo esse portanto fator de correção apresentado com maior valor numérico.

No Quadro 5-1 são apresentados os cálculos inerentes a cada abordagem e os respetivos valores finais a serem inseridos na equação do índice PMV.

Quadro 5-1: Resumo das taxas de metabolismo aplicadas

Abordagem	Correção efetuada	Valor final [met]	Tipologia educacional
(a)	-*	1,2	(1)
			(2)
(b)	$1,2 + \Delta M$	1,34	(1)
		1,27	(2)
(c)	$1,2 \times \frac{A_{Du \text{ adulto}}}{A_{Du \text{ criança}}}$	2,55	(1)
		1,57	(2)
(d)	$(1,2 + \Delta M) \times \frac{A_{Du \text{ adulto}}}{A_{Du \text{ criança}}}$	2,85	(1)
		1,66	(2)

* – foi apenas considerado o valor correspondente a adultos (ISO 7730, 2005)

(1) – Crianças da pré-escola (de 4 e 5 anos); (2) – Crianças do 1º ciclo (dos 8 aos 10 anos)

De seguida apresentam-se duas análises gráficas para cada abordagem, uma que permite comparar as previsões decorrentes do cálculo do índice PMV com as sensações térmicas reais, obtidas através dos inquéritos distribuídos (esquerda) e outra que permite comparar a percentagem de insatisfeitos, também obtida pelos inquéritos, com as previsões de insatisfeitos do índice PPD (direita).

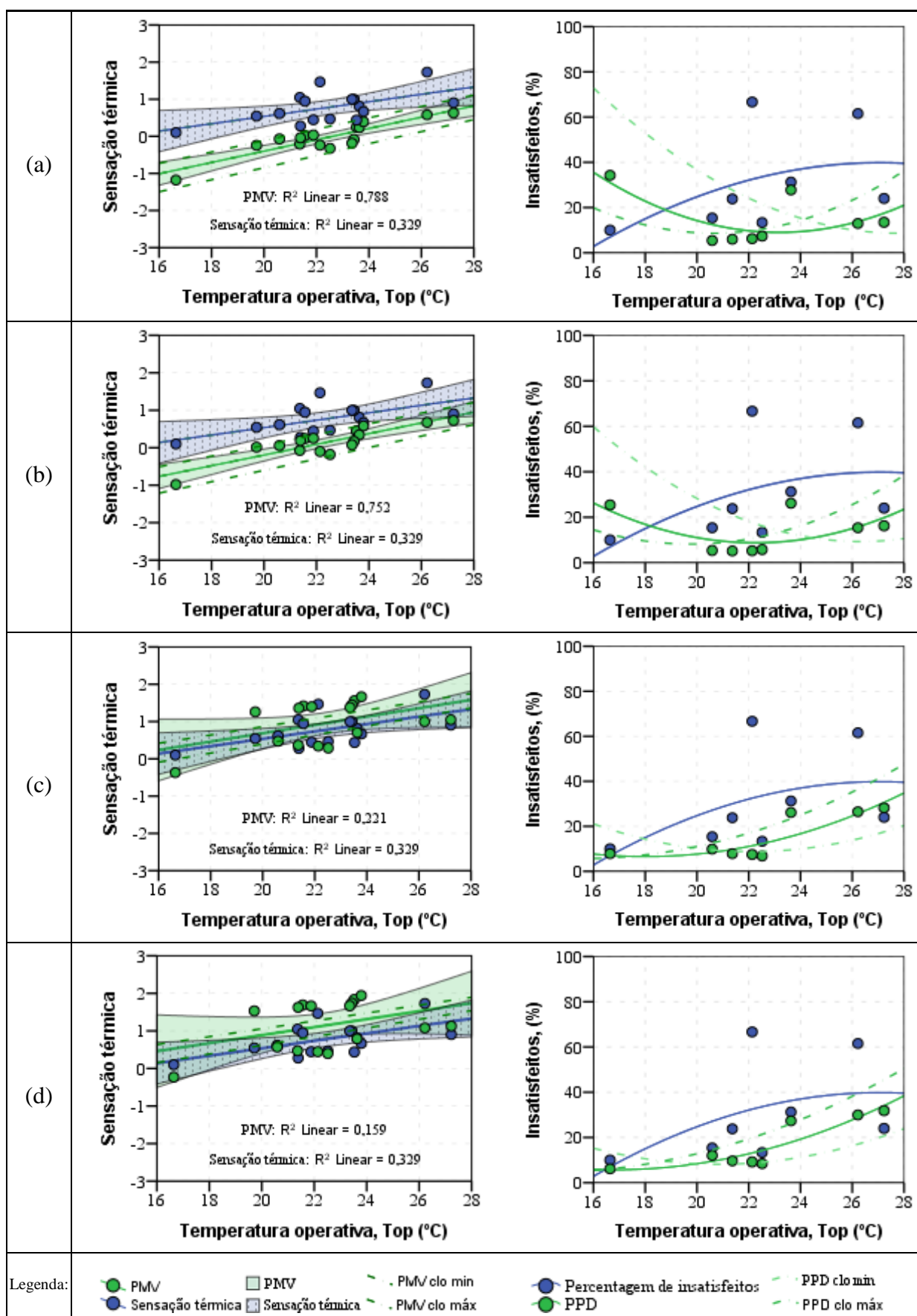


Figura 5-1: Relação dos índices térmicos PMV e PPD com as sensações térmicas avaliadas

Os gráficos apresentados à esquerda comparam o índice PMV calculado (para o valor de “clo” médio) com a sensação térmica das crianças em função da temperatura operativa. São ilustradas também as linhas de regressão linear associadas a cada variável e as linhas de regressão (a tracejado) decorrentes do uso do valor de “clo” máximo e mínimo obtido em cada levantamento. As áreas sombreadas a verde e a azul representam o intervalo de confiança de 95% para as regressões lineares do índice PMV e da sensação térmica, respetivamente.

Os gráficos apresentados à direita comparam o índice PPD com a percentagem de insatisfeitos, em função da temperatura operativa. São ilustradas também as linhas de regressão linear associadas a cada variável e as linhas de regressão (a tracejado) derivadas do uso do valor de “clo” máximo e mínimo obtido em cada levantamento. Para esta análise foram apenas considerados os levantamentos do 1º ciclo, visto que a percentagem de insatisfeitos obtida corresponde aos níveis +3, +2, -2 e -3 da escala de conforto térmico (§2.1.1) e no inquérito da educação pré-escolar a escala adotada foi diferente (com apenas três níveis).

Da análise dos resultados podem ser tecidas as seguintes considerações:

- Abordagem (a) – mostra que a sensação térmica e a percentagem de insatisfeitos dos inquiridos é bastante superior aos índices PMV e PPD calculados.
- Abordagem (b) – apresenta uma maior concordância entre as amostras obtidas por medição e por inquérito. Contudo tanto o índice PMV como o índice PPD ainda subestimam a sensação térmica expressa pelos inquiridos.
- Abordagem (c) – a proximidade entre as amostras do índice PMV e da sensação térmica, assim como das respetivas linhas de regressão linear, é maior do que nas abordagens (a) e (b). Já o ajustamento PPD/percentagem de insatisfeitos ainda se mostra baixo.
- Abordagem (d) – evidencia um afastamento entre o índice PMV e a sensação térmica real quando comparado com a abordagem c), mas no sentido oposto o índice PPD e a percentagem de insatisfeitos apresentam-se mais ajustados.

Síntese crítica

De modo geral, a abordagem (c) mostra um melhor ajustamento PMV/sensação térmica, embora o melhor ajustamento PPD/percentagem de insatisfeitos seja ilustrada na abordagem (d). Esta análise, não é portanto, ainda completamente esclarecedora evidenciando uma indefinição na escolha da abordagem.

Optou-se portanto, por realizar também uma análise estatística que permita perceber com mais detalhe e fiabilidade, a correção que se deve aplicar à taxa de metabolismo. Foram utilizados como parâmetros estatísticos duas medidas de qualidade, o erro absoluto médio (EAM) e o erro percentual absoluto médio (EPAM), cujas equações de cálculo (5-1) e (5-2) se apresentam de seguida, permitindo estimar o desvio que a previsão calculada em cada

abordagem (índice PMV e PPD) pode tomar em relação ao valor real (sensação térmica expressa pelos inquiridos). O Quadro 5.2 sintetiza os resultados obtidos.

$$EAM = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h |y_i - x_i| \tag{5-1}$$

em que:

<i>EAM</i>	[-]	Erro absoluto médio
<i>h</i>	[-]	Número de medições
<i>y_i</i>	[-]	Valores reais (obtidos através dos inquiridos)
<i>x_i</i>	[-]	Valores previstos (obtidos através das medições dos parâmetros ambientais)

$$EPAM = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \frac{|y_i - x_i|}{y_i} \times 100 \tag{5-2}$$

em que:

<i>EPAM</i>	[%]	Erro percentual absoluto médio
-------------	-----	--------------------------------

Quadro 5-2: Resultados das medidas de previsão

Medida de previsão	PMV/sensação térmica				PPD/percentagem de insatisfeitos			
	Abordagem				Abordagem			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
EAM	0,81	0,63	0,61	0,71	22,63	21,51	16,71	15,89
EPAM (%)	170,33	131,22	126,04	138,42	81,44	71,23	44,08	42,47

Pela análise dos resultados apresentados confirma-se que as melhores abordagens são a (c) para a relação PMV/sensação térmica e a (d) para a relação PPD/percentagem de insatisfeitos, continuando-se com certa indefinição sobre qual das duas é a melhor.

Às medidas de previsão calculadas foi aplicado o teste de Friedman, caracterizado por ser um método estatístico não-paramétrico que permitirá a comparação das 4 abordagens. A Figura 5-2 e a Figura 5-3 representam graficamente os resultados deste teste estatístico.

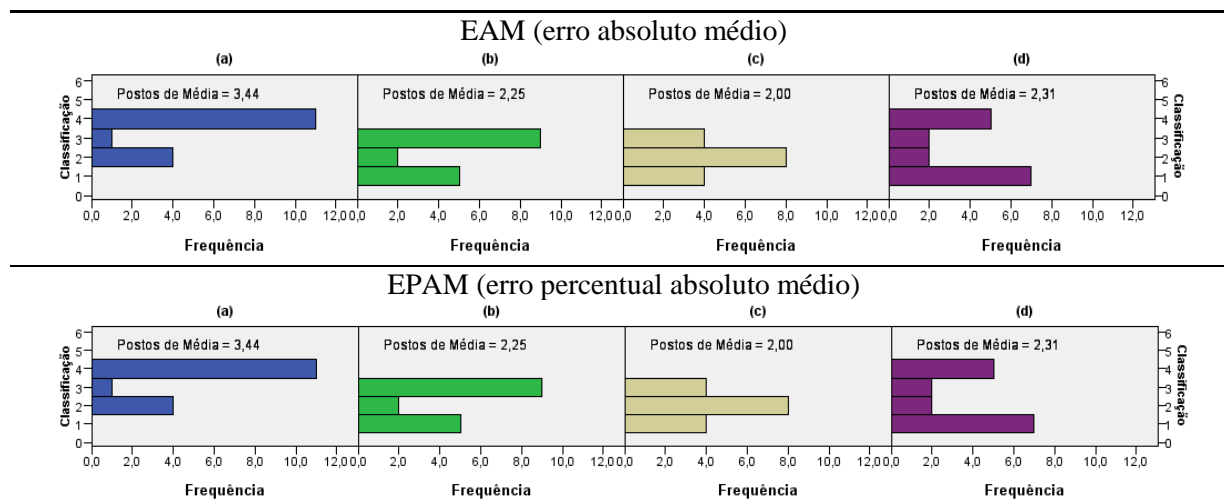


Figura 5-2: Aplicação do teste de Friedman à relação PMV/sensação térmica

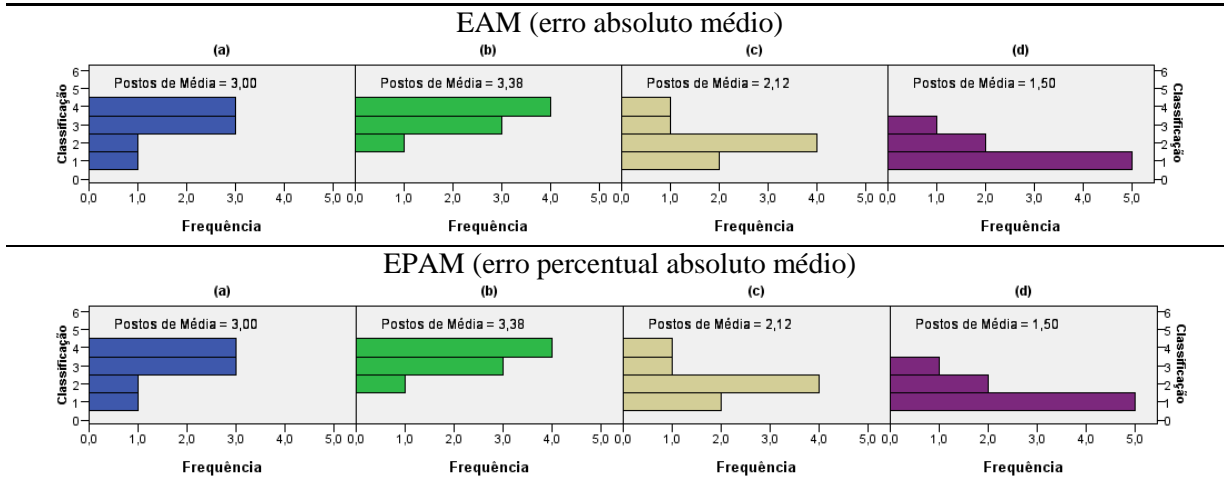


Figura 5-3: Aplicação do teste de Friedman à relação PPD/percentagem de insatisfeitos

Além do teste de Friedman, apresentam-se as distribuições dos erros absolutos e absolutos percentuais obtidos nas diferentes abordagens, para as variabilidades PMV/sensação térmica (Figura 5-4) e PPD/percentagem de insatisfeitos (Figura 5-5).

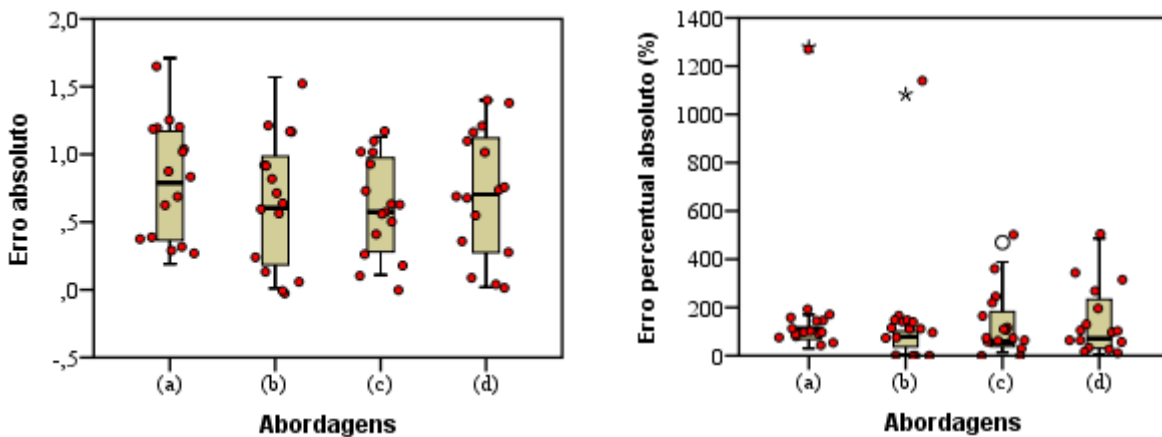


Figura 5-4: Distribuição dos erros absolutos e percentuais absolutos da relação PMV/sensação térmica para as 4 abordagens

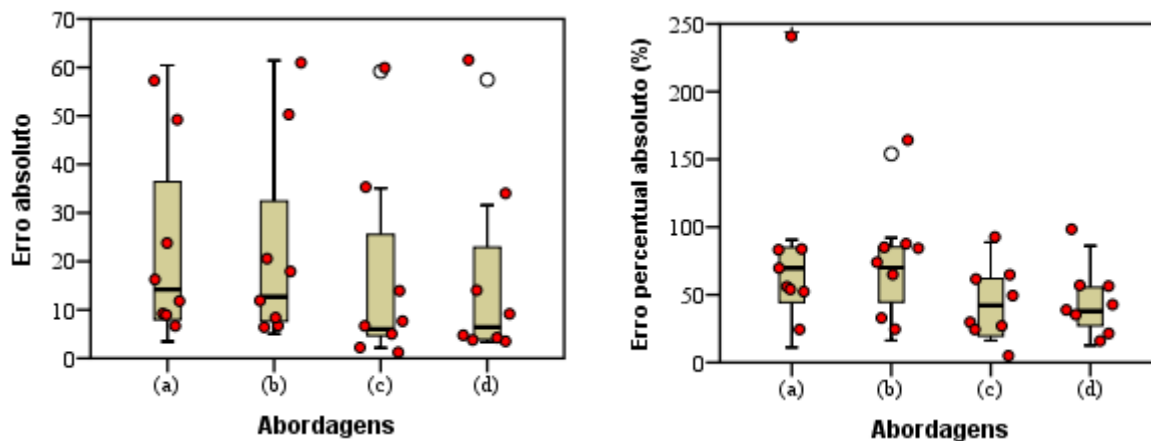


Figura 5-5: Distribuição dos erros absolutos e percentuais absolutos da relação PPD/percentagem de insatisfeitos para as 4 abordagens

A análise pormenorizada da variância de Friedman e dos valores dos erros expostos nas figuras anteriores permite retirar as seguintes conclusões:

- Para a relação PMV/sensação térmica, a abordagem (c) é a que apresenta menor *ranking* global (apesar de não ser a que possui o maior número de erros absolutos e percentuais absolutos por amostra na posição um) e menor valor da mediana;
- Para a relação PPD/sensação térmica, a abordagem (d) é a que apresenta menor *ranking* global (com maior número de erros absolutos e percentuais absolutos por amostra na posição um). Já as dispersões dos erros e os valores das medianas foram muito semelhantes aos da abordagem (c), para ambas as medidas de previsão.

Síntese crítica final

As diferentes análises efetuadas mostraram que os princípios aplicados nas abordagens (c) e (d) são os que apresentam melhores ajustes da taxa de metabolismo.

Como decisão final considerou-se que a abordagem (c) é a mais razoável para prever a sensação térmica das crianças de acordo com o modelo PMV, devido ao fato de ter sido apresentada como a melhor abordagem na relação PMV/sensação térmica e desta possuir o dobro das amostras (16) da relação PPD/percentagem de insatisfeitos. Foi por isso, utilizado o princípio desta abordagem no decorrer do estudo de conforto térmico realizado.

5.3 Análise individualizada da primeira campanha

5.3.1 Introdução

A 1ª campanha desenvolvida entre 3 e 20 de março, em 10 espaços escolares permitiu obter uma base de dados extensa para avaliar a relação existente entre os índices PMV decorrentes do método analítico e as perceções térmicas expressas pelos alunos.

Assim, na organização da análise dos resultados, optou-se por dar inicialmente primazia a uma avaliação independente das perceções individuais dos alunos, para permitir posteriormente uma análise em termos médios destas com o índice PMV.

Por fim procurou-se analisar também os resultados obtidos relativamente à avaliação do desconforto localizado, nomeadamente a percentagem de insatisfeitos devido aos dois parâmetros analisados.

5.3.2 Perceção térmica individual

5.3.2.1 Introdução

A perceção térmica que os alunos demonstraram relativamente ao ambiente interior das salas onde estavam inseridos foi analisada em termos de sensação, preferência, confortabilidade e tolerância.

5.3.2.2 Sensação térmica

Relativamente à sensação térmica individual, sti, a Figura 5-6 apresenta a distribuição das respostas dos 306 inquiridos à pergunta “O que estás a sentir neste momento?”, percebendo-se que cerca de 43,1% referiram uma sensação de neutralidade (sti = 0) e 37,9% uma sensação de algum calor (sti = 1). Já cerca de 12% dos inquiridos expressaram uma sensação de insatisfação (valores de sti=± 2 e ± 3), correspondendo essa à percentagem de insatisfeitos.

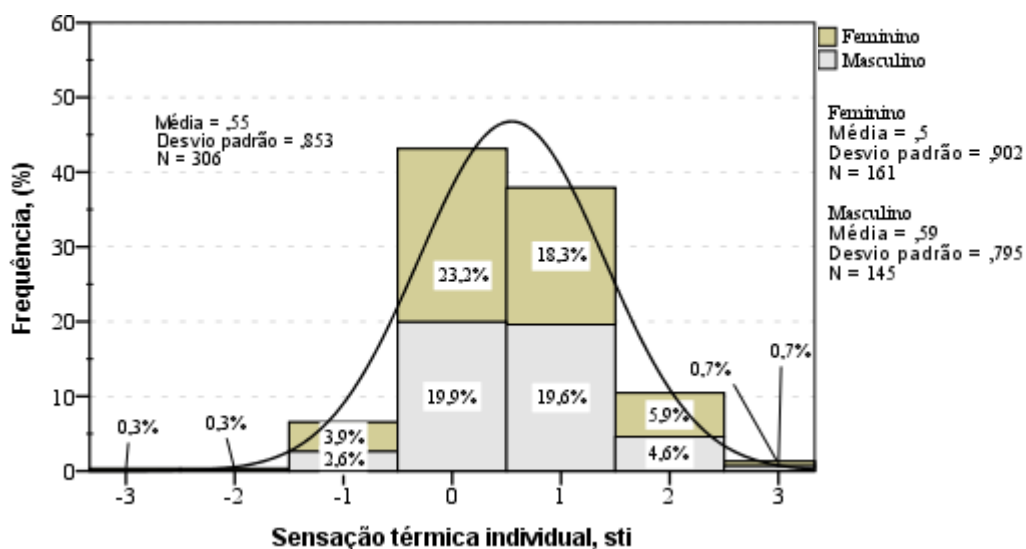


Figura 5-6: Distribuição das respostas de sensação térmica

Da análise por género verifica-se que tanto os inquiridos do sexo masculino como do sexo feminino expressaram valores médios de sti bastante próximos. Ambos com uma ligeira tendência para uma sensação de calor.

A Figura 5-7 apresenta as sensações expressas em função da tipologia escolar. Na pré-escola (infantário), com uma escala sti a variar apenas de -1 a 1, as crianças demonstraram maioritariamente sensações de calor (cerca de 58%) ou de neutralidade (cerca de 39%). Apenas cerca de 3% delas sentiam frio.

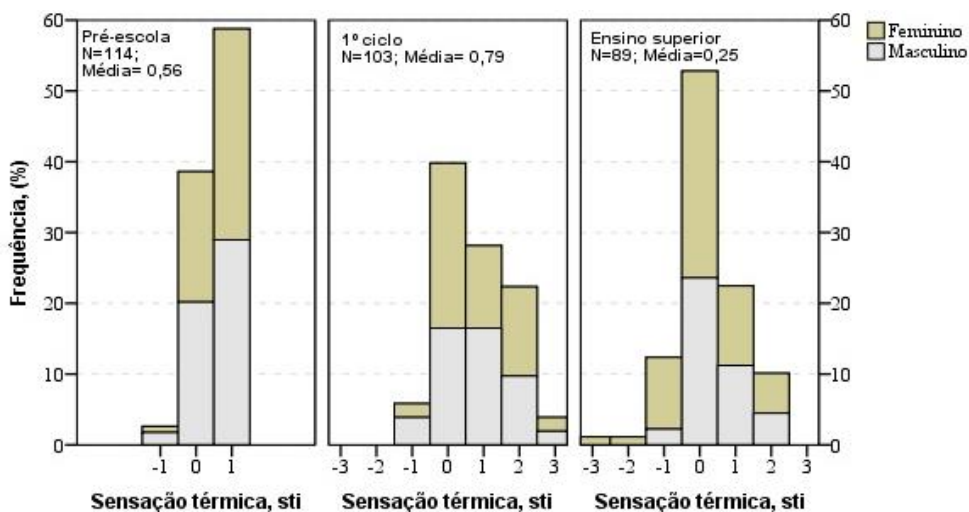


Figura 5-7: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar

Relativamente ao 1º ciclo cerca de 28% dos jovens demonstraram sentir uma sensação de algum calor (sti=1) e cerca 22% uma sensação de calor (sti=2). Verifica-se também o facto de alguns inquiridos demonstrarem sensações de muito calor (sti=3), traduzindo-se esta sensação num nível de desconforto bastante elevado. No ensino superior verifica-se a existência maioritária (cerca de 53%) de sensações de neutralidade e de uma percentagem ínfima de sensações de frio ou muito frio (sti=-2 ou -3, respetivamente), algo que não aconteceu no 1º ciclo.

5.3.2.3 Preferência térmica

Em relação à preferência térmica individual, pti, a Figura 5-8 demonstra que cerca de 56% dos inquiridos expressaram, através da pergunta “Como gostarias que estivesse o ambiente térmico, neste momento?”, a preferência por não alterar o ambiente térmico, mantendo-o tal como está (pti=0), enquanto que 19,8% preferiam que estivesse mais frio (pti=-1) e 18,2% preferiam que estivesse mais quente (pti=1).

Em termos médios, o valor da preferência térmica, Ptm, apresenta-se muito próximo da escala de neutralidade (Ptm=0,08), podendo-se concluir portanto que os inquiridos tinham como preferência manter a sensação de ligeiro calor expressa na Figura 5-6 (Stm=0,55).

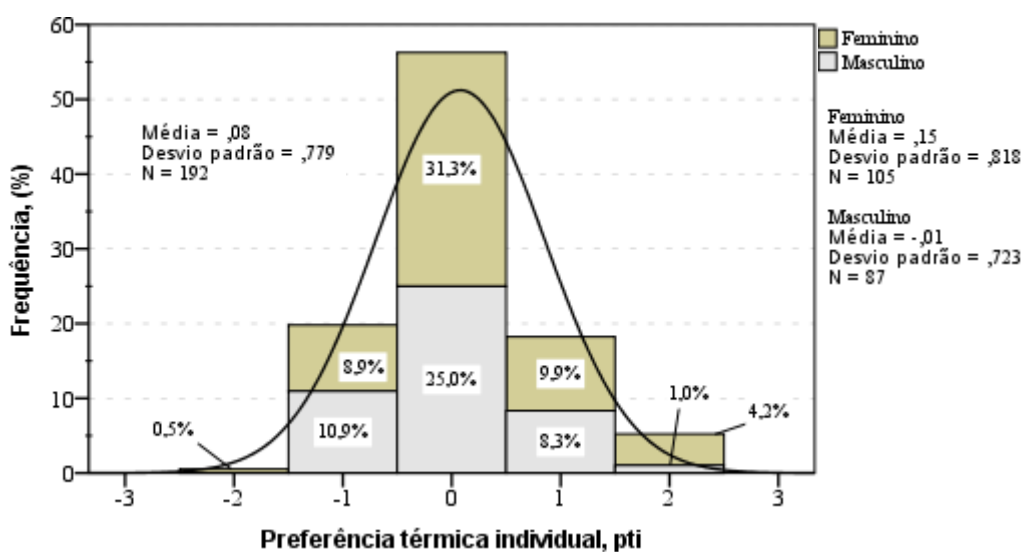
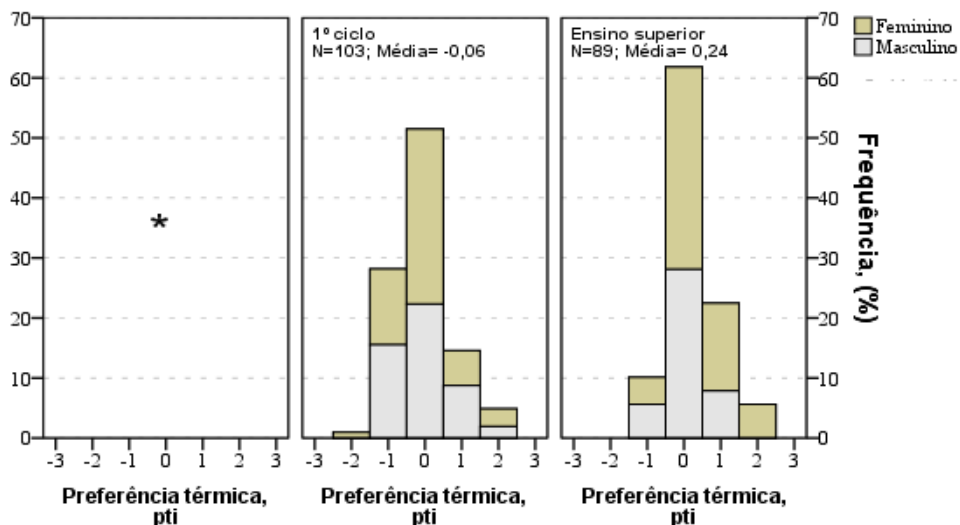


Figura 5-8: Distribuição das respostas de preferência térmica

Pela análise detalhada por tipologia (Figura 5-9) percebe-se que no 1º ciclo aproximadamente metade dos inquiridos demonstraram vontade em querer manter o ambiente térmico tal como estava. Da outra metade observa-se uma subtil tendência para a preferência por um ambiente “ligeiramente mais frio” (pti=-1). Em termos médios o valor (Ptm=-0,06) apresenta-se perto da escala de neutralidade demonstrando que globalmente existiu a preferência por parte dos inquiridos de manter a sensação de ligeiro calor que evidenciaram (Stm=0,79) e que é possível de observar na Figura 5-7.



* - A pergunta relativa à preferência térmica não foi colocada no questionário da pré-escola (§4.6.4)

Figura 5-9: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar

Relativamente ao ensino superior, apesar de mais de 60% das pessoas indicarem que preferiam manter o ambiente tal como estava, em termos médios as respostas indicam uma ligeira tendência para a preferência por uma ambiente ligeiramente mais quente ($P_{tm}=0,24$), o que não seria de prever tendo em conta a sensação térmica média obtida ($S_{tm}=0,25$). Conclui-se portanto que a sensação de ligeiro calor ainda não era suficiente para o conforto absoluto dos inquiridos.

5.3.2.4 Confortabilidade e tolerância térmica

A confortabilidade térmica individual, *cti*, foi avaliada no 1º ciclo e no ensino superior através da inserção da pergunta “Como consideras o ambiente térmico?” nos questionários distribuídos. Com os resultados obtidos efetuaram-se duas análises, uma global e outra por tipologia educacional (Figura 5-10).

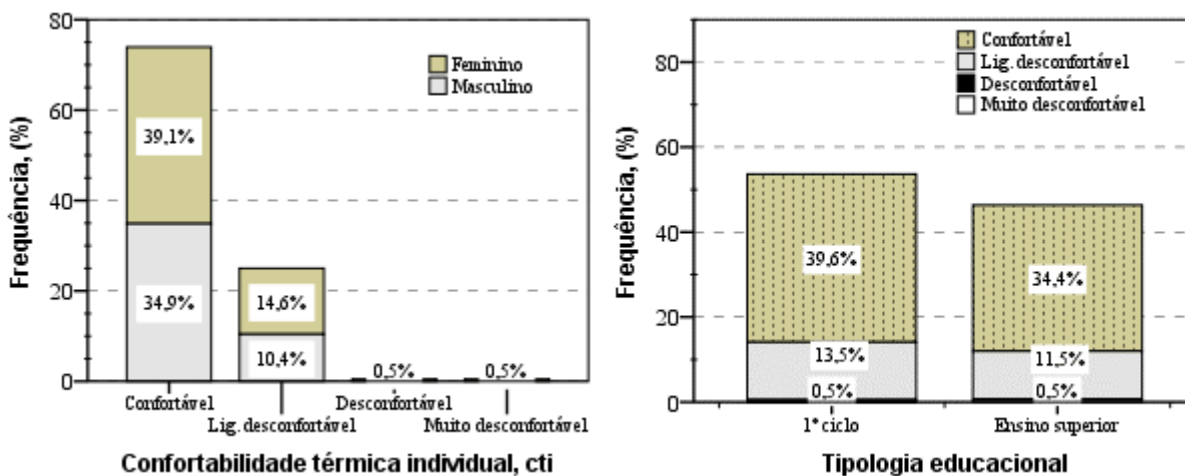


Figura 5-10: Avaliação da confortabilidade térmica

Verifica-se que a grande maioria dos inquiridos considerou o ambiente térmico confortável (74%). Dos restantes, 25% referiram estar ligeiramente desconfortáveis e apenas 1% deles mostraram um descontentamento maior. Não foi encontrada grande disparidade das respostas entre os sexos masculino e feminino, incluindo na análise efetuada em função da tipologia educacional.

5.3.2.5 Tolerância térmica

Quanto ao nível de tolerância térmica individual, t_{ti} , que também só foi avaliada no 1º ciclo e no ensino superior, a Figura 5-11 evidencia que 84,4% dos inquiridos mostraram-se toleráveis ao ambiente térmico, ao contrário dos restantes 15,6% que o consideraram pouco tolerável.

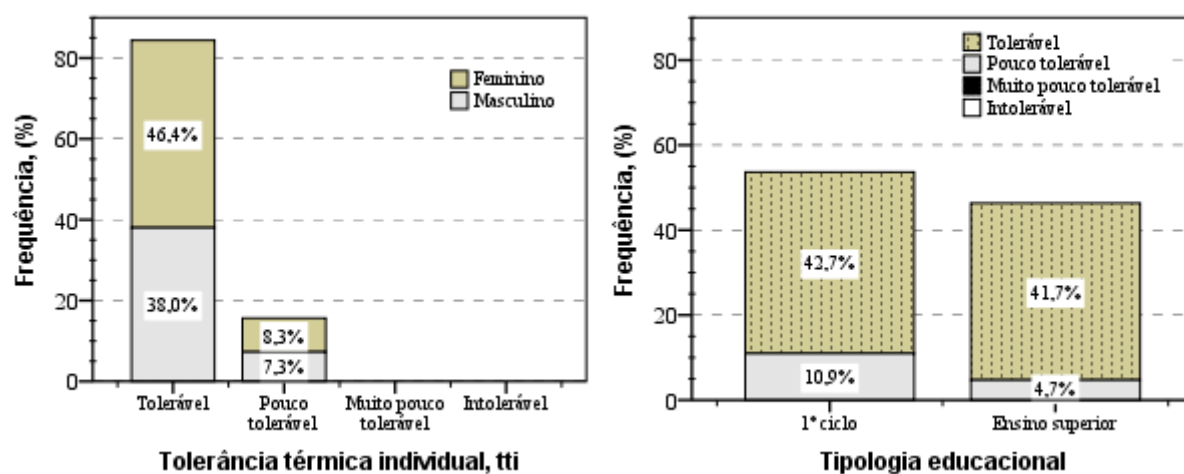


Figura 5-11: Avaliação da tolerância térmica

Pela análise por tipologia percebe-se que desses 15,6%, a maior parte (10,9%) eram alunos do 1º ciclo, podendo-se justificar tal facto pela preferência térmica por eles expressa (Figura 5-9) variar desde a escala $pti=-2$ até à escala $pti=2$ e pela percentagem de alunos que preferiram manter o ambiente térmico tal como estava ser inferior quando comparado com os resultados do ensino superior, apesar de em termos médios o valor $P_{tm}=-0,06$ se apresentar mais próximo da escala de neutralidade do que o valor $P_{tm}=0,24$.

5.3.3 Perceção térmica média e índices analíticos

Para completar a análise relativa à avaliação do conforto térmico global procedeu-se à avaliação da correspondência entre dois dos fatores de perceção, a sensação e a preferência térmica e o índice PMV calculado. Além disso, considerou-se ainda fundamental incluir uma análise em função da temperatura operativa.

Foram considerados os valores médios, para cada levantamento. A cada S_{tm} (representativa da sensação térmica média de um levantamento) e a cada P_{tm} corresponde uma temperatura operativa média.

A Figura 5-12 ilustra a robustez da associação entre as sensações térmicas médias e os índices PMV médios, bem como a sensibilidade destes dois parâmetros ao aumento da temperatura

operativa, sendo perceptível uma proximidade entre a maioria dos valores da *Stm* e do índice *PMV*. Relativamente às linhas de regressão linear não se podem retirar grandes conclusões visto que os coeficientes de correlação (Quadro 5-3) expressam uma correlação moderada e os coeficientes de determinação não expressam uma percentagem suficientemente elevada que permita afirmar que o modelo de regressão consegue explicar os valores observados.

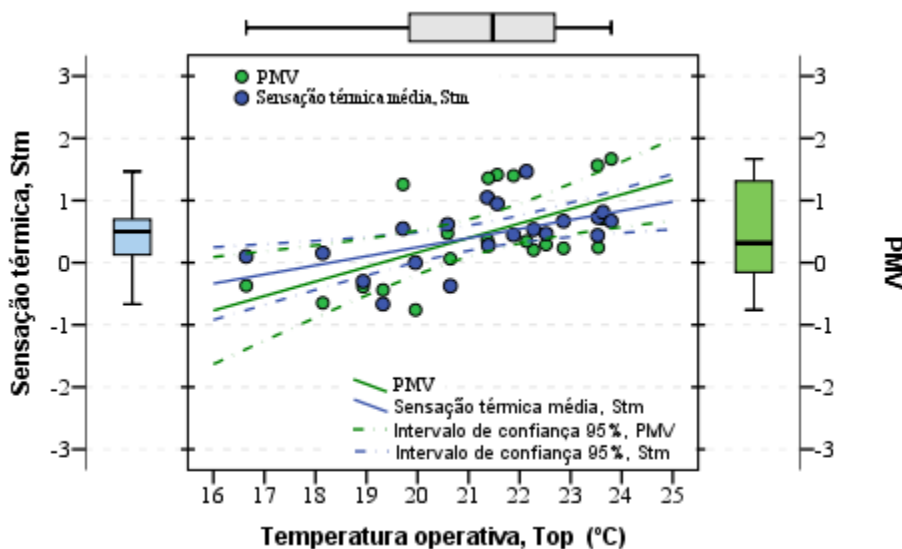


Figura 5-12: Ajustamento entre a *Stm* e o índice *PMV* de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração dos respetivos *boxplots*

Quadro 5-3: Valores dos coeficientes de correlação e determinação

Parâmetro	Coefficiente de correlação, R	Coefficiente de determinação, R^2
<i>Stm</i>	0,567	0,322
<i>PMV</i>	0,597	0,357

Ainda na mesma figura, observando os *boxplots*, verifica-se que as sensações médias encontram-se ligeiramente menos dispersas do que os índices *PMV*, não existindo em nenhum dos dois valores anormais (*outliers*).

Apresenta-se também a Figura 5-13, que mostra o mesmo tipo de análise aplicado à variação da preferência térmica média, *Ptm*. Verifica-se que com o aumento da temperatura operativa, como já seria de prever, os inquiridos preferiram cada vez menos ambientes mais quentes.

Para completar esta informação apresenta-se também a amostragem da distribuição da preferência térmica individual. Dos 192 inquiridos, mais de metade (108) preferiu manter o ambiente tal como estava. Dos restantes, prevê-se que a maioria dos 45 que afirmaram preferir um ambiente mais quente ($pti=1$ e $pti=2$) estavam presentes nas salas onde foram registadas as temperaturas operativas mais baixas, assim como a maioria dos 39 que preferiam um ambiente mais frio estavam presentes nas salas onde foram registadas as temperaturas operativas mais elevadas.

No Quadro 5-4 apresentam-se os coeficientes de correlação e determinação, evidenciando-se serem muito próximos aos do Quadro 5-3.

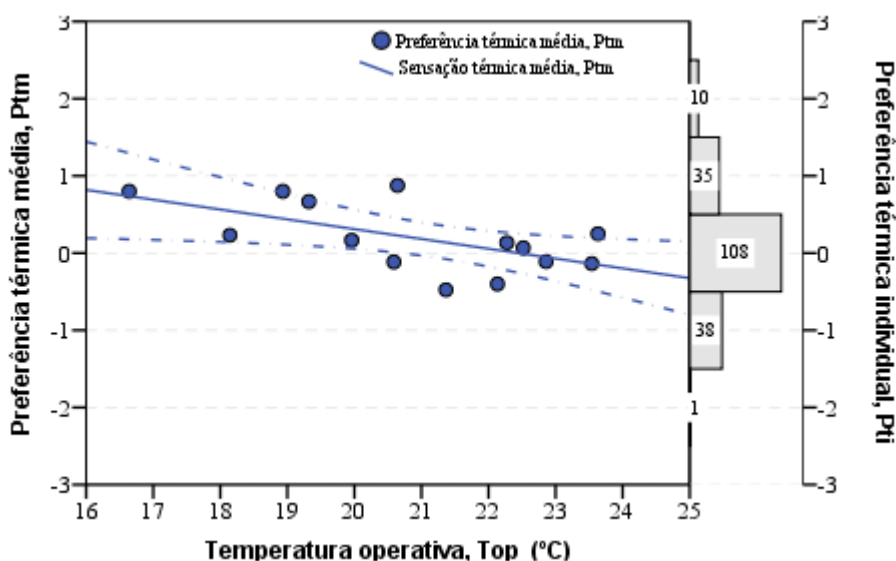


Figura 5-13: Ajustamento entre Ptm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração da Pti

Quadro 5-4: Valor dos coeficientes de correlação e determinação

Parâmetro	Coeficiente de correlação, R	Coeficiente de determinação, R ²
Ptm	0,604	0,365

Para além da análise efetuada da relação da temperatura com os parâmetros PMV, Stm e Ptm, considera-se conveniente analisar a relação direta que existe entre estes últimos. Assim, como forma de complementar a informação já existente apresenta-se na Figura 5-14 a) e b) a relação das sensações com as preferências térmicas médias e com os índices PMV, respetivamente.

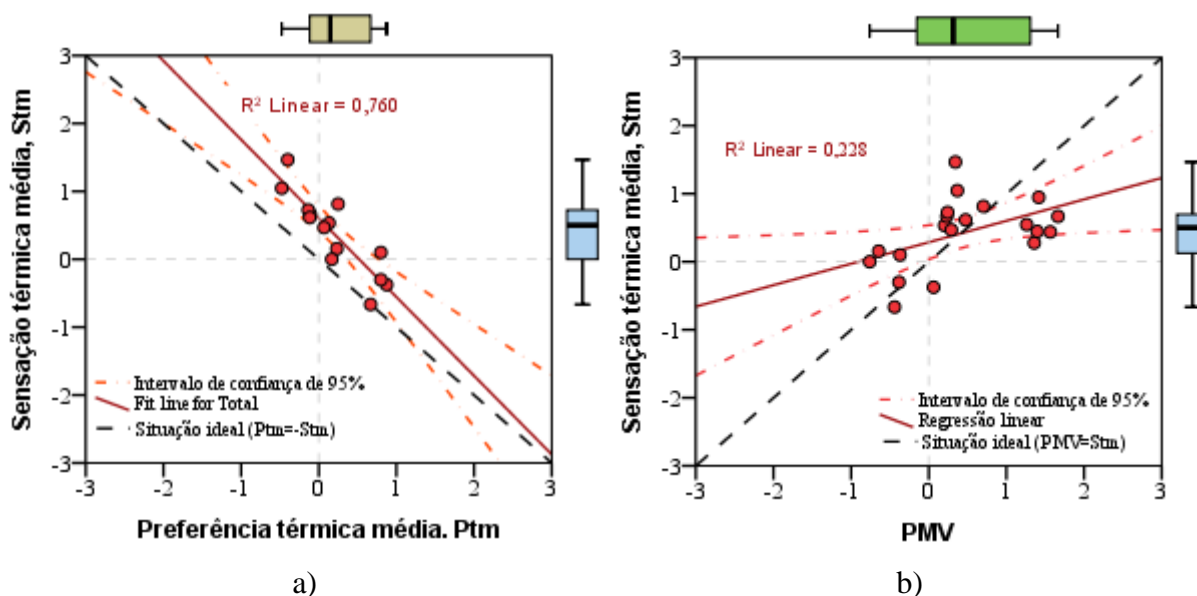


Figura 5-14: a) relação da Stm com a Ptm; b) relação da Stm com o índice PMV

Da observação da primeira relação (Figura 5-14 a)) realçam-se as seguintes conclusões:

- À medida que os alunos expressavam sensações térmicas mais baixas as suas preferências térmicas aumentavam, traduzindo-se o ajustamento dos resultados dos levantamentos numa regressão linear bastante próxima e semelhante à reta que caracteriza a situação ideal;
- A dispersão dos valores de Stm e Ptm , evidenciada nos *boxplots*, mostra-se bastante parecida, não revelando qualquer valor anormal (*outlier*).

Relativamente à relação entre sensação térmica média e o índice PMV verifica-se que:

- Alguns dos levantamentos traduzem um ajustamento ideal entre o valor calculado e o valor sentido pelos alunos;
- A regressão linear não deve ser tomada em conta devido ao valor do coeficiente de determinação demonstrar que apenas a 22,8% das amostras da sensação térmica se explicam linearmente através das amostras do índice PMV.
- O *boxplot* associado à sensação térmica média mostra que aproximadamente 75% dos levantamentos (amostras) apresentam uma escala de conforto térmico positiva (entre 0 e 1,5 aproximadamente), demonstrando que a maioria das sensações foram de neutralidade, ligeiro calor ou de calor. O *boxplot* associado ao índice PMV apresentou valores também muito semelhantes para aproximadamente a mesma percentagem de levantamentos. Mostrou portanto que a previsão calculada estava de acordo com a realidade.

Considera-se importante realçar-se por fim o facto da *boxplot* apresentada da sensação térmica não ser igual nos dois gráficos. Tal acontece devido a terem sido incluídas menos amostras na relação Stm/Ptm , visto que, ao contrário da sensação térmica, a preferência térmica não foi analisada na pré-escola.

5.3.4 Desconforto localizado

Para avaliação do desconforto localizado foram medidas as temperaturas do pavimento e a assimetria da temperatura radiante, obtendo-se conseqüentemente as respetivas percentagens de insatisfeitos, PD, calculadas de acordo com o modelo analítico proposto na norma ISO 7730 (2005).

Foi avaliada também a possível existência de uma sensação de desconforto por parte dos alunos do ensino superior, ao nível dos pés, através da colocação de uma pergunta para o efeito no questionário, permitindo realizar uma comparação dos resultados com os valores calculados da percentagem de insatisfeitos devido ao pavimento demasiado quente ou demasiado frio.

A Figura 5-15 ilustra as respostas obtidas nos inquéritos, de forma global e por escola. Observa-se que dos 89 inquiridos, 24,4% expressaram uma sensação de desconforto na zona corporal já referida, encontrando-se a maioria (23,2%) em salas de aula. Nas salas de biblioteca a percentagem de alunos que demonstraram desconforto foi praticamente irrelevante, tendo mesmo sido nula na sala VI-D.

Atendendo também à hora de preenchimento dos inquéritos, verifica-se que foi no período da manhã que existiu maior número de insatisfeitos (13,4%), mesmo tendo em conta o inferior número de inquiridos neste período relativamente ao período da tarde.

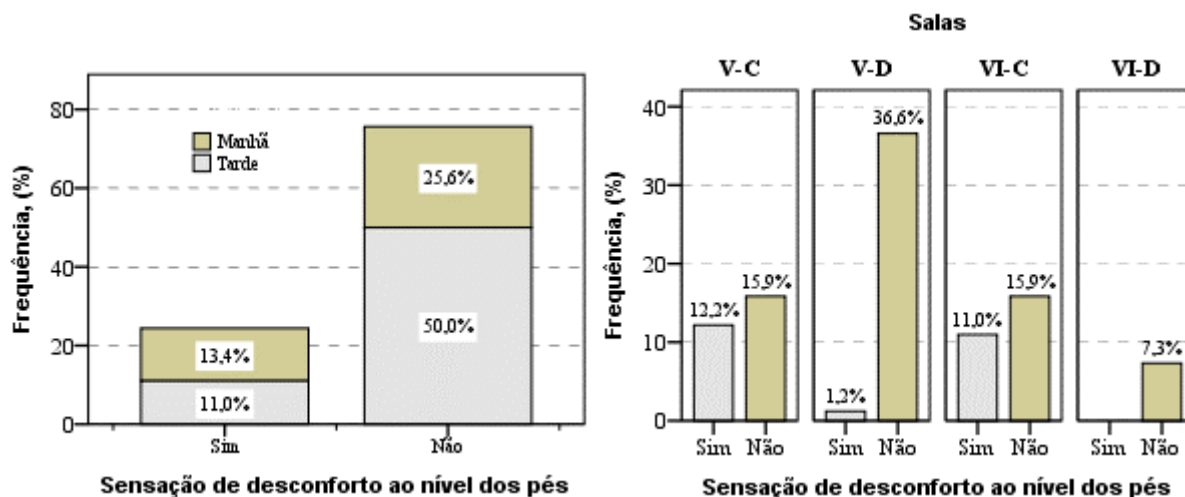


Figura 5-15: Avaliação global e em função da sala da quantidade de alunos com desconforto ao nível dos pés

A análise das percentagens de insatisfeitos é apresentada na Figura 5-16 em termos de valores mínimos, médios e máximos e em função da sala de aula e do período do dia.

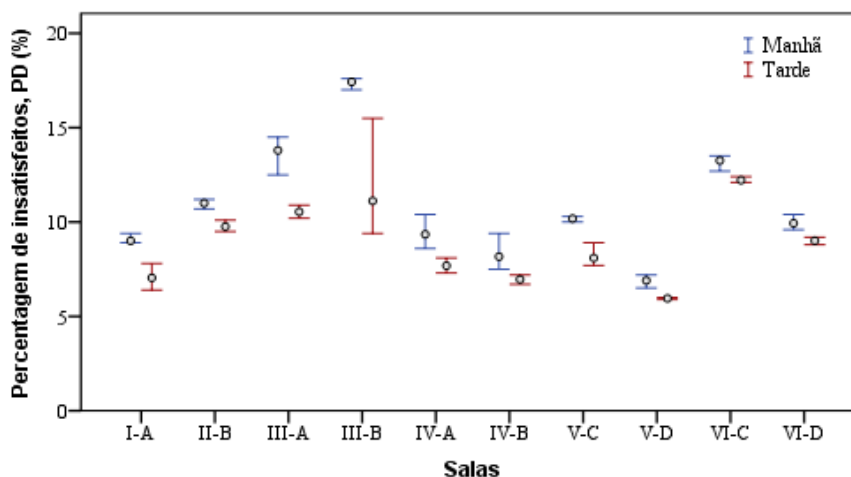


Figura 5-16: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura do pavimento

Observando a figura verifica-se que:

- No período da manhã foram obtidas para todas as salas percentagens de insatisfeitos, PD, sempre superiores às obtidas no período da tarde;
- Não existiu grande disparidade de valores entre a maioria das salas, evidenciando-se no entanto, que três delas (III-A, III-B e VI-C) apresentaram um desempenho consideravelmente inferior às demais demonstrado pelos valores de PD mais elevados;

- Das quatro salas onde foram analisadas as sensações dos alunos, verifica-se que é a sala VI-C a que apresenta maiores valores, estando portanto de acordo com o facto de esta ter sido uma das duas salas onde uma parte considerável dos alunos expressou desconforto;
- Curiosamente a sala VI-D apresentou valores de PD semelhantes aos da sala V-C, sendo que no entanto na primeira ninguém sentiu desconforto, enquanto que na segunda quase metade dos inquiridos sentiram-se desconfortáveis. Este facto mostra a relatividade desta questão, mostrando que a existência de desconforto ao nível dos pés não depende apenas da temperatura do pavimento, mas também de outros fatores como o tipo de calçado usado, por exemplo.

Relativamente à percentagem de insatisfeitos devido à assimetria da temperatura radiante, apresenta-se através da Figura 5-17 uma análise igual à da situação anterior.

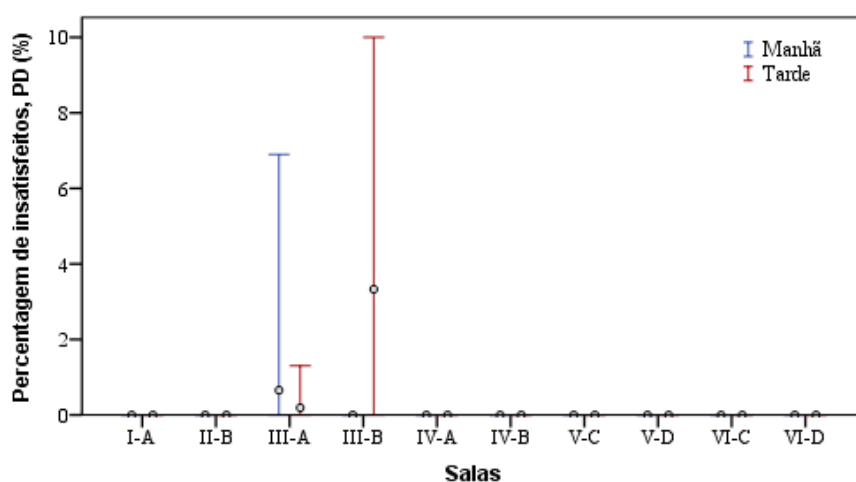


Figura 5-17: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura de assimetria radiante

É possível verificar que na maioria das salas os valores de PD são nulos, com exceção apenas das salas III-A e III-B. Pela observação das barras de limite máximo bastante abrangentes, mas com médias relativamente baixas, acredita-se que houve incidência da radiação solar durante alguns momentos na sonda de medição da assimetria da temperatura radiante enquanto se realizaram os levantamentos, nestas duas salas.

5.4 Análise individualizada da segunda campanha

5.4.1 Introdução

Da 2ª campanha, que foi realizada entre 5 e 12 de maio em 6 espaços escolares resultou uma base de dados menos extensa do que da 1ª campanha, devido à impossibilidade de a concluir por motivos de natureza logística (§4.2).

Apesar de tal contratempo, foi possível efetuar uma análise da relação existente entre os índices PMV decorrentes do método analítico, que caracterizam o ambiente termicamente, e as percepções térmicas expressas pelos inquiridos.

A análise dos dados foi efetuada seguindo a estrutura apresentada na 1ª campanha.

5.4.2 Percepção térmica individual

5.4.2.1 Introdução

Tal como na 1ª campanha, a percepção térmica dos alunos relativamente ao ambiente interior das salas onde estavam inseridos foi analisada em termos de sensação, preferência, confortabilidade e tolerância.

5.4.2.2 Sensação térmica

De forma global, na 2ª campanha os inquiridos apresentaram uma sensação térmica média de ligeiro calor ($Stm=0,72$), influenciada sobretudo pelos 38,6% que se sentiam ligeiramente quentes ($sti=1$) e pelos 10,3% que revelaram uma sensação de calor ($sti=2$). Comparativamente com a 1ª campanha, além de um valor médio de sensação mais elevado, verifica-se também a existência de um maior número de respostas onde foi referida uma sensação de muito calor ($sti=3$) e a ausência de insatisfeitos devido a uma sensação de frio ($sti=-2$ e -3) (Figura 5-18). Globalmente 15,7% dos inquiridos expressaram uma sensação de insatisfação ($sti=2$ e 3).

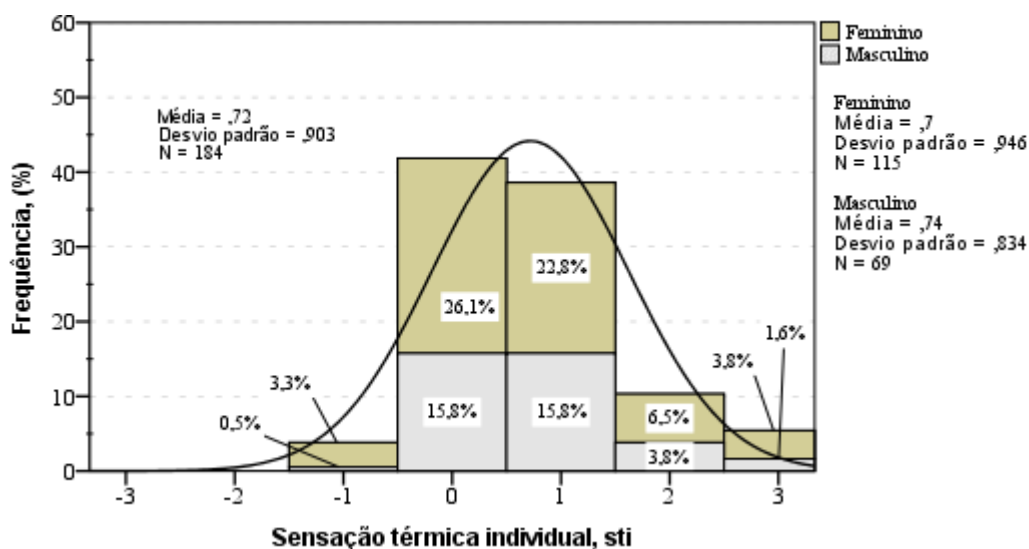
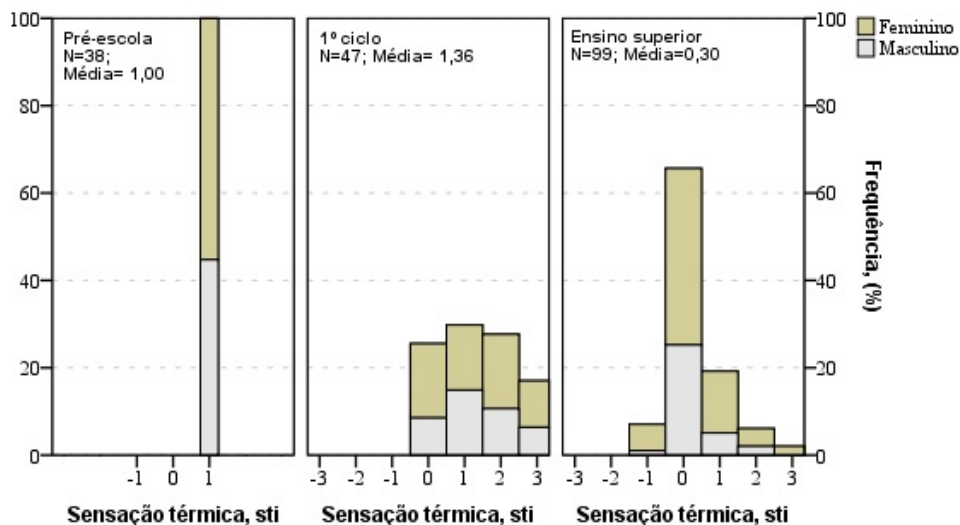


Figura 5-18: Distribuição das respostas de sensação térmica

Da análise por género, tanto os inquiridos do sexo masculino, como do sexo feminino expressaram valores médios de sti bastante próximos, com uma tendência para uma sensação de calor.

A Figura 5-19 apresenta as sensações expressas em função da tipologia escolar. Na pré-escola (infantário), as crianças demonstraram sentirem-se todas com calor.



* - A pergunta relativa à preferência térmica não foi colocada no questionário da pré-escola (§4.6.4)

Figura 5-19: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar

Relativamente ao 1º ciclo evidencia-se que o número de repostas às escalas térmicas sti=0, 1, 2 e 3 foi muito idêntico, realçando-se os cerca de 27% de jovens que referiram sentir calor e os 18% que referiram sentir muito calor. Pelo contrário, no ensino superior, já se verifica a existência maioritária de sensações de neutralidade e um reduzido número de insatisfeitos devido à sensação de calor ou muito calor.

5.4.2.3 Preferência térmica

A distribuição das respostas referentes à preferência térmica individual é representada na Figura 5-20, sendo observável que mais de metade dos inquiridos (58,3%) expressaram a preferência de não alterar o ambiente térmico, mantendo-o tal como está (pti=0), enquanto que 26,1% preferiam que estivesse mais frio (pti=-1) e 11,6% preferiam que estivesse mais quente (pti=1).

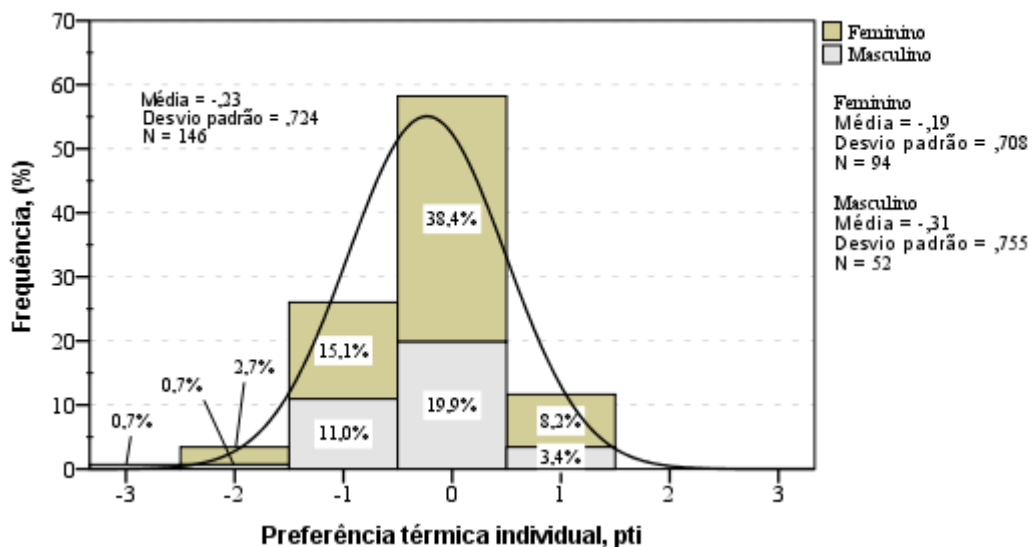
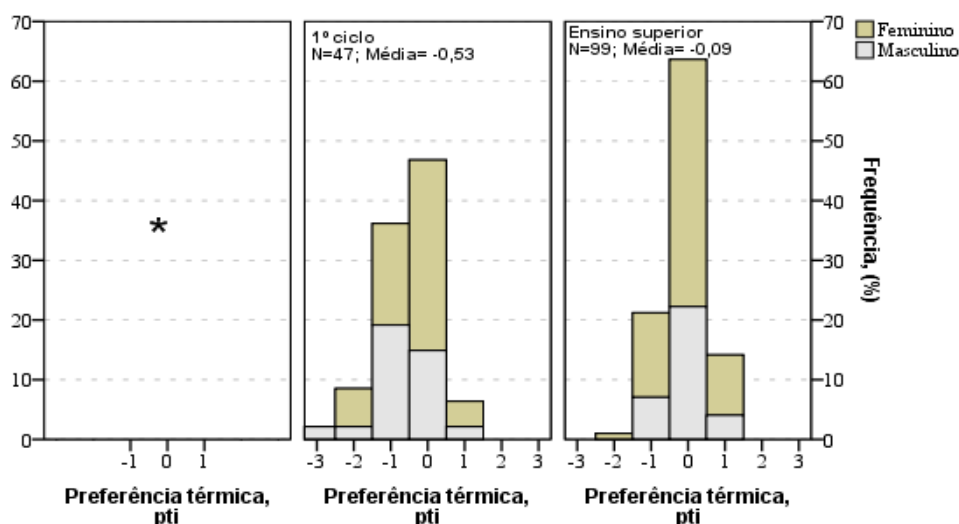


Figura 5-20: Distribuição das respostas de preferência térmica

Em termos médios, o valor da preferência térmica ($P_{tm}=-0,23$), indica uma preferência por um ambiente ligeiramente mais frio, sendo essa preferência ligeiramente mais elevada nos inquiridos do sexo masculino do que nos do sexo feminino ($P_{tm}=-0,31$ e $P_{tm}=-0,19$, respetivamente).

Pela análise detalhada por tipologia (Figura 5-21) percebe-se que no 1º ciclo perto de metade dos inquiridos demonstraram vontade em querer manter o ambiente térmico tal como estava, enquanto que cerca de 37% preferiam um ambiente “ligeiramente mais frio” ($pti=-1$), e 9% um ambiente “mais frio”. De forma global o valor médio ($P_{tm}=-0,53$) demonstra uma preferência pela redução da sensação de calor sentida ($Stm=1,3$).



* - A pergunta relativa à preferência térmica não foi colocada no questionário da pré-escola (§4.6.4)

Figura 5-21: Distribuição das respostas de sensação térmica em função da tipologia escolar

Relativamente ao ensino superior é de notar os cerca de 65% de alunos que indicaram uma preferência por manter o ambiente tal como estava. Observando a distribuição das respostas realça-se o valor médio muito próximo de zero ($P_{tm}=-0,09$) concluindo-se que apesar dos alunos terem expressado uma sensação de algum calor, os votos de preferência térmica indicam que essa era a sensação desejada.

5.4.2.4 Confortabilidade térmica

De acordo com a Figura 5-22, verifica-se que 73,9% dos inquiridos considerou o ambiente confortável termicamente, sendo este um valor muito próximo ao obtido na 1ª campanha.

Dos restantes, 20,5% referiram estar ligeiramente desconfortáveis e apenas 5,5% deles mostraram um descontentamento maior. Observa-se também, através da análise em função da tipologia, que no 1º ciclo o número de respostas a cada escala de confortabilidade foi mais equilibrado do que no ensino superior, evidenciando-se nesta última uma maioria de alunos a expressarem conforto.

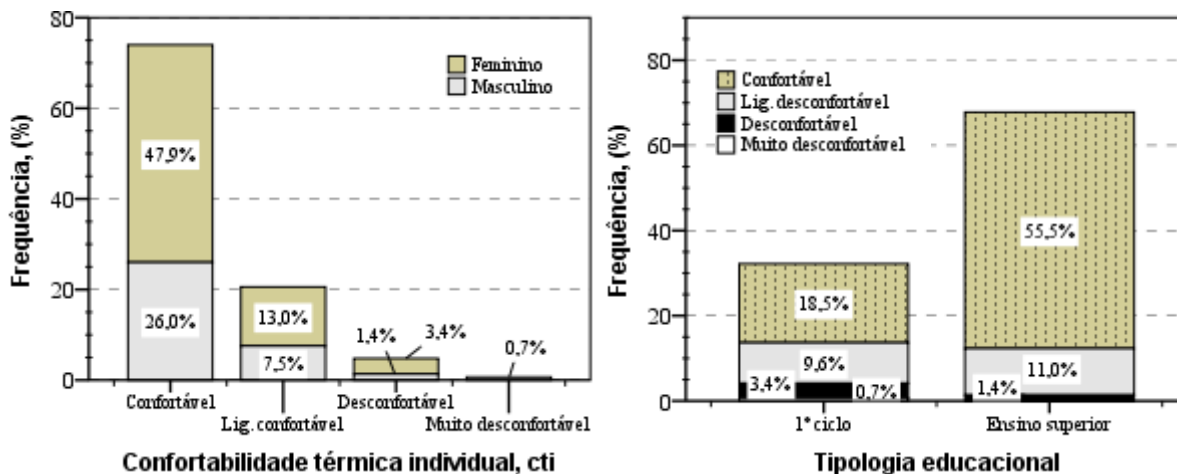


Figura 5-22: Avaliação da confortabilidade térmica

5.4.2.5 Tolerância térmica

Relativamente à tolerância térmica, os gráficos apresentados na Figura 5-23 demonstram que 84,9% dos inquiridos mostraram-se toleráveis ao ambiente térmico (valor muito próximo ao obtido na 1ª campanha), ao contrário dos 14,4%, que o consideraram “pouco tolerável” e dos 0,7% que o consideraram “muito pouco tolerável”.

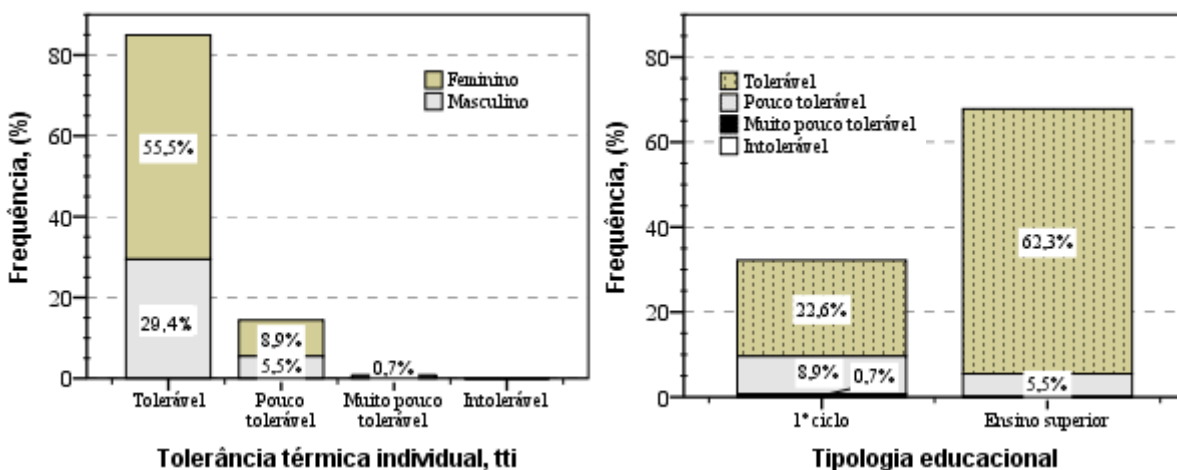


Figura 5-23: Avaliação da tolerância térmica

Da análise por tipologia verifica-se que dos inquiridos que o consideraram “pouco tolerável” ou “muito pouco tolerável” a maior parte (9,6%) são alunos do 1º ciclo. Tal facto é justificado pela existência de alunos desta tipologia escolar que expressaram a sua preferência térmica utilizando escalas extremas, consideradas de elevada insatisfação ($pti = -2$ e -3), tendo sido sobretudo estes os que caracterizaram o ambiente como “pouco tolerável” ou “intolerável”.

5.4.3 Perceção térmica média e índices analíticos

Procede-se agora à apresentação do estudo de correspondência entre dois dos fatores de perceção, a sensação e a preferência térmica, com o índice PMV calculado. Foi considerado ainda o efeito da temperatura operativa.

Foram utilizados os valores médios de cada levantamento efetuado, realçando-se o facto das análises que englobam a preferência térmica possuírem menos amostras, devido à não avaliação deste parâmetro na pré-escola, tal como na 1ª campanha, por se ter considerado que crianças de 4 e 5 anos ainda não têm perfeita capacidade de expressar tais opiniões.

A Figura 5-24 ilustra a robustez da associação entre as sensações térmicas médias, *Stm*, e os índices PMV médios, bem como a sensibilidade destes ao aumento da temperatura operativa, sendo perceptível uma proximidade muito grande entre a maioria das sensações e dos índices PMV calculados. Relativamente às linhas de regressão linear, tal como aconteceu na 1ª campanha, também aqui não se podem retirar grandes conclusões visto que os coeficientes de correlação (Quadro 5-5) expressam uma correlação moderada e os coeficientes de determinação não expressam uma percentagem suficientemente elevado que permita afirmar que o modelo de regressão linear consegue explicar os valores observados.

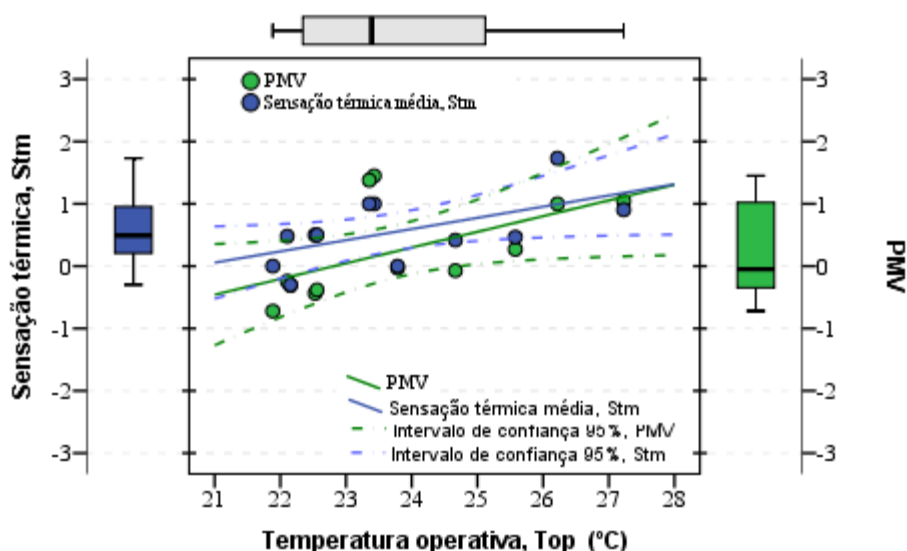


Figura 5-24: Ajustamento entre a *Stm* e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração dos respetivos *boxplots*

Quadro 5-5: Valores dos coeficientes de correlação e determinação

Parâmetro	Coefficiente de correlação, R	Coefficiente de determinação, R^2
<i>Stm</i>	0,579	0,336
PMV	0,580	0,337

Ainda na mesma figura, observando os *boxplots*, verifica-se que os limites máximo e mínimo das sensações médias são ligeiramente mais elevados do que os mesmos limites dos índices PMV, não existindo em nenhum dos dois valores anormais (*outliers*).

Abordando também a variação da preferência térmica média, em função da temperatura operativa (Figura 5-25) evidencia-se que as preferências térmicas dos alunos, em termos de escala de conforto, mantiveram-se praticamente constantes com o aumento desta última e que são sobretudo preferências por manter o ambiente tal como estava ou por torná-lo ligeiramente mais frio. Tal conclusão é facilmente justificável pelos, apenas, 17 dos 146

alunos preferirem uma escala térmica correspondente a um ambiente ligeiramente mais quente (pti=1).

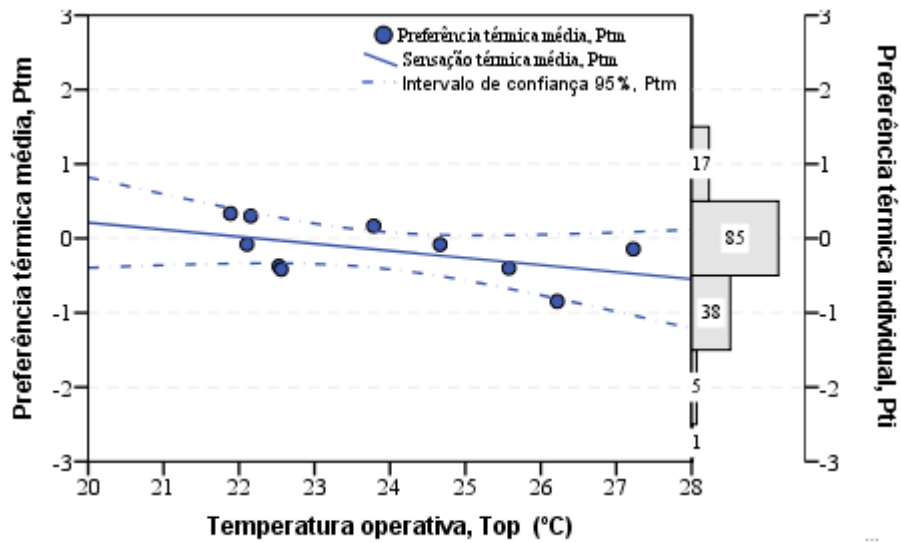


Figura 5-25: Ajustamento entre Ptm e o índice PMV de cada levantamento em função da temperatura operativa e ilustração da Pti

No Quadro 5-6 apresentam-se os coeficientes de correlação e determinação, evidenciando-se serem ligeiramente inferiores aos do Quadro 5-5.

Quadro 5-6: Valor dos coeficientes de correlação e determinação

Parâmetro	Coefficiente de correlação, R	Coefficiente de determinação, R ²
Ptm	0,501	0,251

Para complementar a informação já existente apresenta-se na Figura 5-26 a) e b) a relação das sensações com as preferências térmicas e com os índices PMV médios, respetivamente.

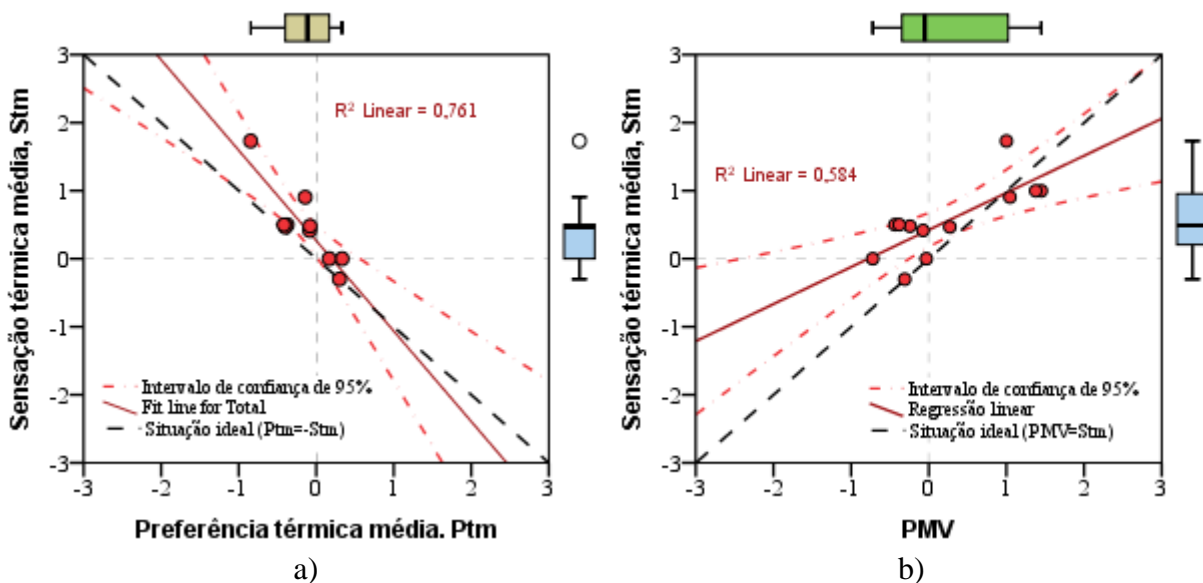


Figura 5-26: a) relação da Stm com a Ptm; b) relação da Stm com o índice PMV

Da observação da primeira relação (Figura 5-26 a)) realçam-se as seguintes conclusões:

- À medida que os alunos expressavam sensações térmicas mais baixas as suas preferências térmicas aumentavam, sendo que as relações entre estes dois parâmetros apresentam-se, de forma generalizada, ainda mais próximas da situação ideal comparativamente com a 1ª campanha.
- A regressão linear traduz uma correlação forte entre estas duas variáveis;
- A dispersão dos valores de Stm e Ptm , evidenciada nos *boxplots*, mostra-se bastante parecida. Observa-se também a existência de um valor anormal (*outlier*) na amostra global da sensação térmica média;

Relativamente à relação entre sensação Stm e o índice PMV, verifica-se que:

- Alguns dos levantamentos traduzem um ajustamento ideal entre o valor calculado e o valor sentido pelos alunos;
- A regressão linear, comparativamente com a da 1ª campanha, apresenta-se mais ajustada à reta que caracteriza a situação ideal, apresentando também melhores coeficientes de correlação e de determinação;
- A *boxplot* do índice PMV, mostra que cerca de 50% das amostras apresentam uma escala térmica positiva (com elevada dispersão), enquanto que para a sensação térmica média, o mesmo acontece, mas para mais de 75% delas.

Refere-se por fim que, tal como na 1ª campanha, devido a terem sido incluídas menos amostras na relação Stm/Ptm , a *boxplot* apresentada da sensação térmica não é igual nos dois gráficos.

5.4.4 Desconforto localizado

Para avaliação do desconforto localizado, foram calculadas as percentagens de insatisfeitos, PD, dos mesmos parâmetros de desconforto localizado referidos e analisados na 1ª campanha. Adicionalmente, foi efetuada a mesma avaliação subjetiva aos alunos do ensino superior. Assim foi possível verificar uma possível existência da sensação de desconforto ao nível dos pés, permitindo realizar uma comparação das sensações expressas com os valores calculados da percentagem de insatisfeitos devido ao pavimento demasiado quente ou demasiado frio.

A Figura 5-27 ilustra as respostas obtidas nos inquéritos, de forma global e por escola, sendo que dos 99 inquiridos, 14,6% expressaram uma sensação de desconforto nos pés. Observa-se também que a sala VI-C foi a que mais contribuiu para essa percentagem e que tal como na 1ª campanha a sala de biblioteca VI-D não registou qualquer insatisfeito.

Atendendo também à hora de preenchimento dos inquéritos, verifica-se que número de alunos desconfortáveis do período da manhã (6,8%) foi bastante semelhante ao número de desconfortáveis do período da tarde (7,8%).

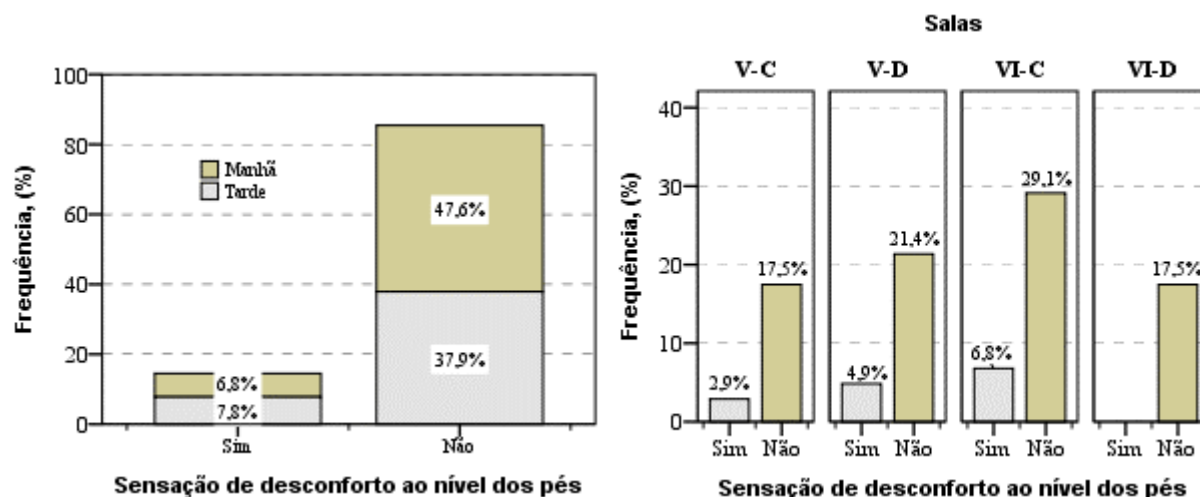


Figura 5-27: Avaliação global e em função da sala da quantidade de alunos com desconforto ao nível dos pés

A análise das percentagens de insatisfeitos, PD, é apresentada na Figura 5-28 em termos de valores mínimos, médios e máximos e em função da sala de aula e do período do dia.

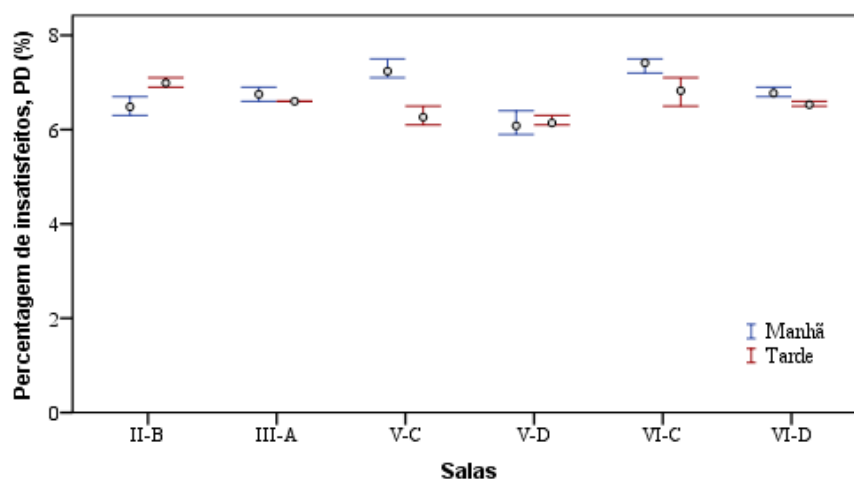


Figura 5-28: Representação dos valores máximos, médios e mínimos da percentagem de insatisfeitos devido à temperatura do pavimento

Observando a figura verifica-se que:

- Os valores obtidos de PD do período da manhã foram semelhantes aos obtidos no período da tarde, contrariamente ao evidenciado na 1ª campanha;
- Não existiu grande disparidade de valores entre a maioria das salas e, de forma individual, cada espaço apresentou limites mínimos e máximos relativamente próximos;
- Das quatro salas onde foram analisadas as sensações dos alunos, verifica-se que, tal como na 1ª campanha, é na sala VI-C que se observam valores mais elevados, estando portanto de acordo com as sensações expressas pelos alunos dessa sala nos inquéritos (Figura 5-27).

Relativamente à percentagem de insatisfeitos devido à assimetria da temperatura radiante, esta foi nula em todas as escolas. Considera-se por isso desnecessário debater e apresentar qualquer tipo de análise. Conclui-se apenas que estes resultados seguem a linha dos da 1ª campanha, onde apenas 3 dos 20 levantamentos apresentam valores de PD.

5.5 Discussão e análise crítica entre campanhas

5.5.1 Introdução

Ao longo deste capítulo foram utilizados os resultados obtidos nos levantamentos efetuados, com o intuito de desenvolver uma caracterização detalhada e concisa, quer das opiniões dos alunos quanto ao ambiente térmico em que estavam inseridos, quer da avaliação do mesmo utilizando o índice analítico PMV e alguns dos parâmetros de desconforto localizado referidos na norma ISO 7730.

Para tal, inicialmente houve a necessidade de prever quais os melhores ajustamentos que se deveriam efetuar à taxa de metabolismo das crianças, para prever o índice PMV da forma mais exata possível, tendo em conta que as normas existentes pouco referem a esse respeito.

Realizada essa análise, procedeu-se à caracterização individual das campanhas, apresentando-se de seguida uma comparação resumida entre elas.

5.5.2 Perceção térmica individual

A análise global da perceção térmica individual entre campanhas não evidencia grandes diferenças, tendo os alunos mostrado, salvo algumas exceções, que a diferença registada em termos de temperatura do ambiente interior das salas entre a 1ª e a 2ª campanha de medição não foi suficientemente elevada para uma mudança drástica de opiniões/perceções.

A Figura 5-29 ilustra as semelhanças observadas na sensação e na preferência térmica, entre campanhas.

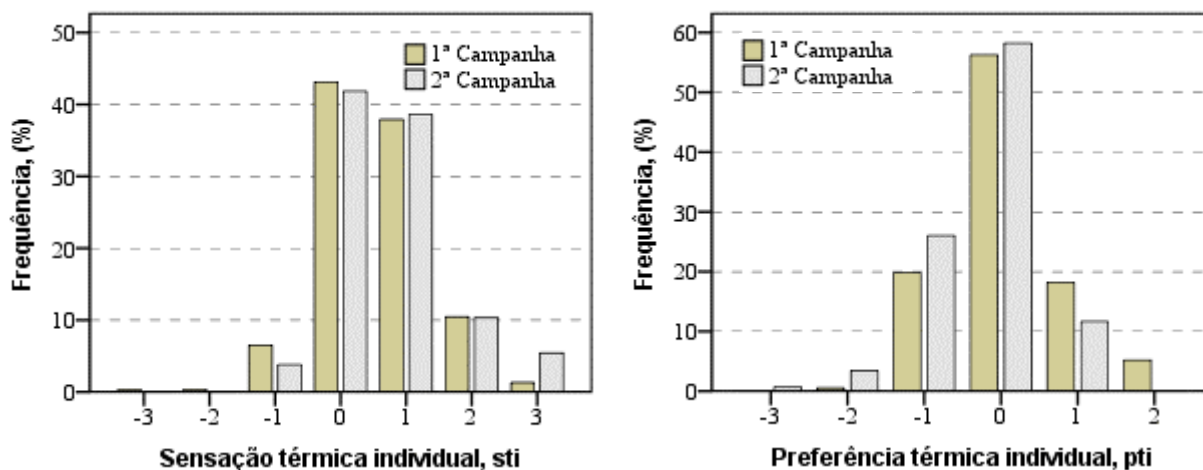


Figura 5-29: Comparação das sensações e preferências térmicas entre campanhas

5.5.3 Percepção térmica média e índices analíticos

O objetivo principal da elaboração de análises que permitissem relacionar os fatores de percepção térmica com o índice PMV centrou-se sobretudo em perceber até que ponto este modelo proposto pela ISO 7730 consegue ser realista ao prever uma avaliação de conforto. Com as análises individualizadas das campanhas foi possível obter respostas concretas a esta questão, evidenciando-se na Figura 5-12 e na Figura 5-24, como já referido uma elevada associação entre a sensação térmica dos alunos e a índice PMV, permitindo concluir que efetivamente, com o ajustamento da taxa de metabolismo das crianças o modelo conseguiu prever minimamente uma avaliação de conforto.

No entanto, observa-se pela Figura 5-30 b), que reúne os dados das duas campanhas, que esta associação, sendo minimamente aceitável, não traduz ainda a situação ideal, observando-se sobretudo no 1º quadrante amostras relativamente dispersas, sendo a maioria amostras de infantários que evidenciam um índice PMV superior às sensações térmicas das crianças.

Considerando as opiniões deste grupo de crianças como completamente expressivas das suas sensações térmicas, pode-se concluir portanto que o valor que foi utilizado para ajustar a taxa de metabolismo dos alunos da pré-escola deveria ter sido ligeiramente inferior.

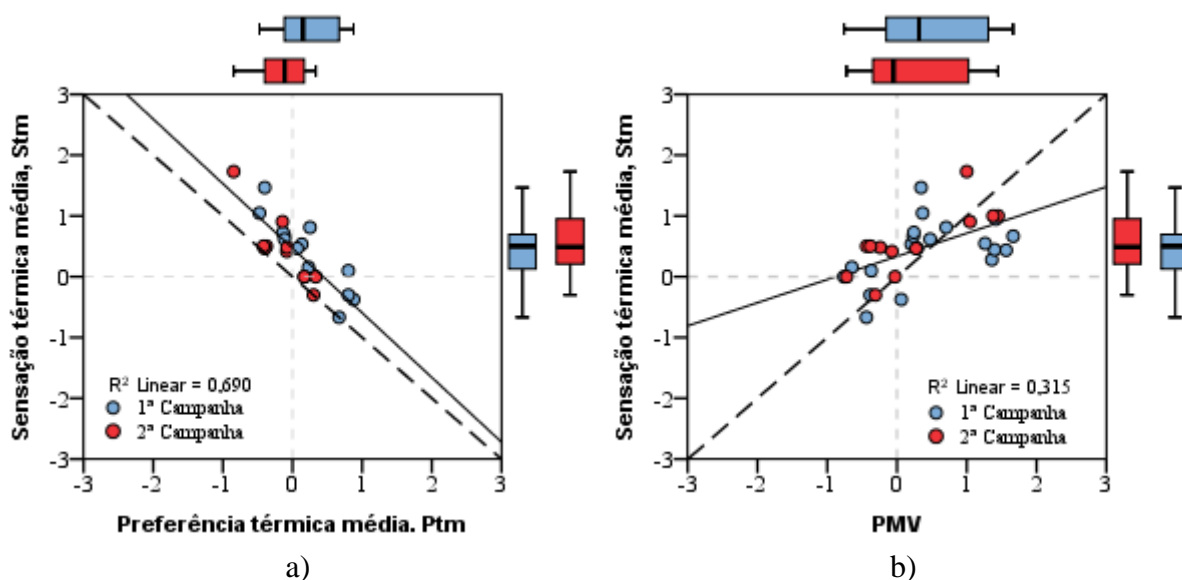


Figura 5-30: a) relação da Stm com a Ptm; b) relação da Stm com o índice PMV

Relativamente à relação entre as preferências e as sensações térmicas médias, ilustradas na Figura 5-30 a) depende-se desde logo a existência de pouca dispersão entre as amostras.

Pode-se afirmar que globalmente existiu, em termos médios, uma preferência por ambientes “ligeiramente quentes”, visto que para a escala de sensação $Stm=1$ as correspondentes preferências encontra-se muito próximas da escala de neutralidade ($Ptm=0$).

5.5.4 Desconforto localizado

A avaliação global da possível existência de desconforto nos pés permitiu concluir que, relativamente ao ensino superior, a percentagem de pessoas que sentiram desconforto nesta zona corporal foi ligeiramente inferior na 2ª campanha (Figura 5-31 a)), o que está de acordo com os valores da percentagem de insatisfeitos, PD, calculados pela ISO 7730 (Figura 5-31 b)), já que a aplicação deste método permitiu também prever uma percentagem de insatisfeitos menor na 2ª campanha.

De forma abrangente verifica-se que esta previsão (de menor valor de PD na 2ª campanha) aconteceu para todas as salas onde foi possível comparar valores.

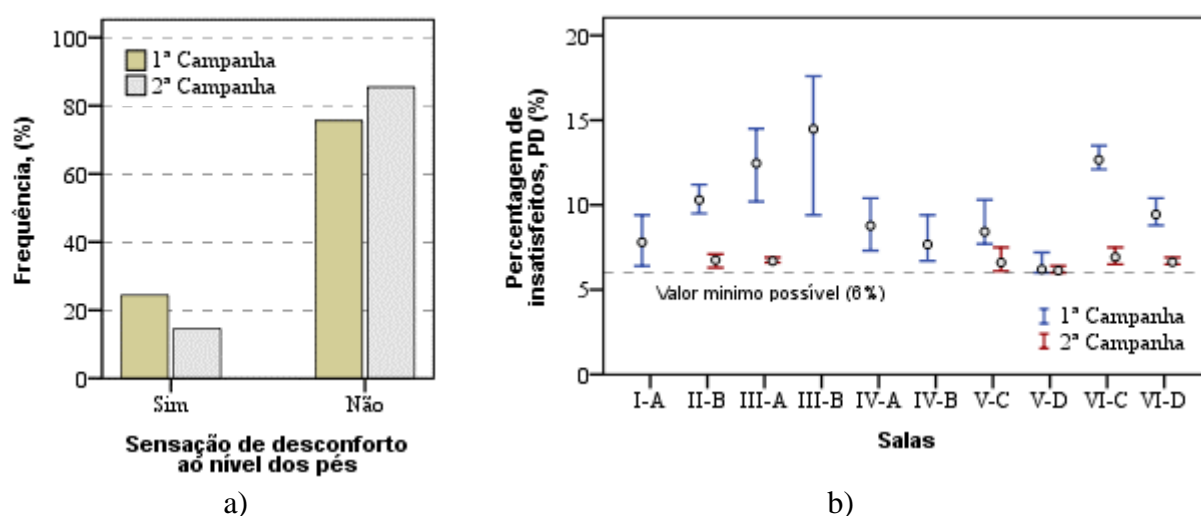


Figura 5-31: a) avaliação da sensação dos inquiridos; b) previsão da percentagem de insatisfeitos pelo modelo normalizado

Relativamente ao desconforto localizado provocado pela assimetria da temperatura radiante não se considera necessário efetuar qualquer comparação entre campanhas visto que, na 2ª os valores calculados presumiram não existir qualquer percentagem de insatisfeitos.

6. Aplicação dos modelos normalizados

6.1 Introdução

A avaliação do conforto térmico em ambientes interiores de edifícios pode ser realizada através de duas abordagens distintas, a analítica e a adaptativa, que se distinguem pelos princípios de formulação que ambas possuem (§2.2). Dado este facto considerou-se conveniente utilizar tanto uma, como a outra, na avaliação do conforto das salas de aula e das bibliotecas.

Relativamente à primeira abordagem foram utilizados os índices e as recomendações propostas pela norma europeia ISO 7730 (ISO, 2005), permitindo uma avaliação de todos os edifícios escolares, com e sem sistema de climatização, independentemente da tipologia, do clima exterior e das características sociais e culturais dos seus ocupantes (Matias et al., 2006). Já a avaliação pela abordagem adaptativa foi realizada de acordo com os modelos de avaliação sugeridos pela ASHRAE 55, pela EN15251 e pelo LNEC, que se baseia no modelo elaborado por Matias (Matias, 2010). Este último adquire especial importância por poder ser aplicado a qualquer edifício, independentemente do seu sistema de climatização, ao contrário dos dois primeiros que só se devem aplicar a edifícios não climatizados.

Na organização do texto optou-se por incluir uma avaliação para cada campanha, com apresentação da dispersão dos parâmetros em estudo ao longo dos levantamentos e dos respetivos valores médios.

6.2 Modelo analítico

As recomendações de condições satisfatórias sugeridas pela ISO 7730 para cada classe (§2.4), são expressas utilizando os índices PMV e PPD como avaliação do conforto térmico global, traduzindo respectivamente, o voto médio previsível de sensação e a percentagem de insatisfeitos dos ocupantes dos espaços, e os índices PD, que traduzem a percentagem de insatisfeitos dos vários parâmetros de desconforto localizado.

A mesma norma refere que todos estes parâmetros são dependentes uns dos outros, sendo necessário para a existência de conforto térmico que todos eles estejam dentro dos limites impostos.

Importa ainda referir que nos resultados apresentados foram incluídos os limites de todas as classes (A,B e C), permitindo criar zonas de conforto térmico e perceber assim quais delas são cumpridas em cada sala avaliada.

Na 1ª campanha, relativamente ao voto médio previsível de sensação térmica, observa-se na Figura 6-1 a) algumas salas (I-A, III-A, III-B, VI-C e VI-D) com registos fora das zonas de conforto, sendo que das restantes, quase todas conseguiram cumprir as exigências da classe B, representada nos gráficos pelas linhas intermitentes a verde ($-0,5 < PMV < +0,5$). Observa-se também uma tendência para resultados superiores nas salas da pré-escola e do 1º ciclo. Efetuando também uma análise por período do dia verifica-se que as medições realizadas no período da manhã e as realizadas no período da tarde apresentam uma proximidade de valores, em termos médios, para a maioria das salas.

No que toca à análise do índice PPD (Figura 6-1 b), verifica-se que as salas que não cumpriram qualquer um dos três limites do índice anterior, são também as que não cumpriram os limites da percentagem de insatisfeitos, como já seria de esperar visto este índice está diretamente relacionado com o índice PMV (§2.2.1):

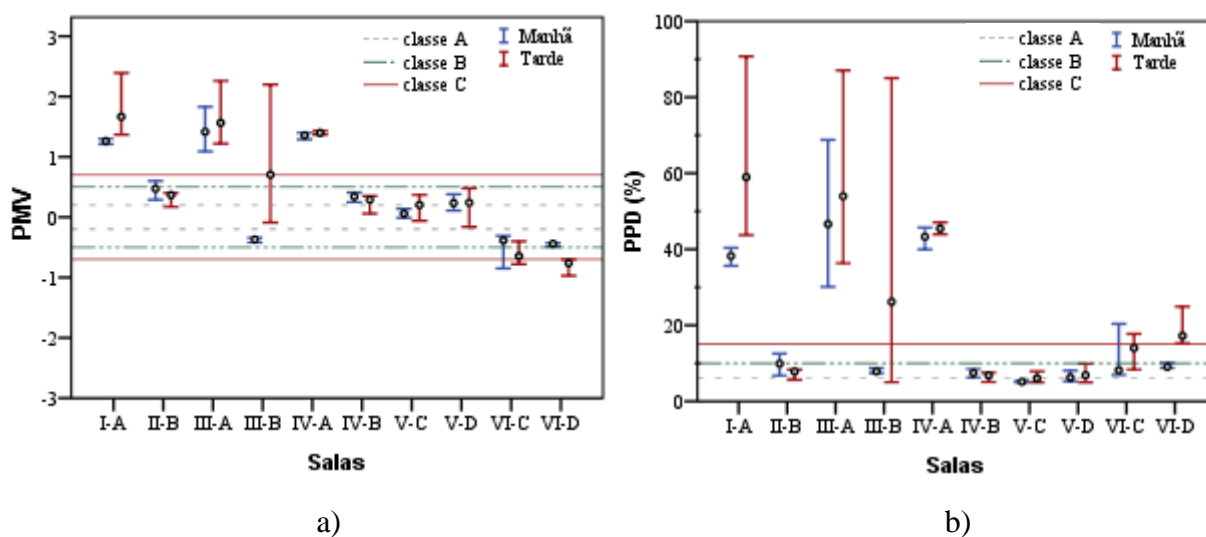


Figura 6-1: Avaliação do conforto térmico global da 1ª campanha de acordo com a abordagem analítica. a) índice PMV; b) índice PPD

Realça-se por fim um pormenor interessante na sala VI-C, visto que esta apresenta registos fora das zonas de conforto, mas que no entanto apresenta um valor médio dentro dos limites da classe B e muito próximo dos valores máximos registados (valores negativos), mostrando portanto que houve apenas um curto período de tempo em que não existiu conforto térmico global, provavelmente devido à exposição solar.

Relativamente ao desconforto localizado foram avaliadas duas das quatro causas que o podem provocar, como já referido nos pontos §4.4.2 e §5.3.4.

Verifica-se através da percentagem de insatisfeitos calculada devido ao pavimento demasiado frio ou demasiado quente (Figura 6-2 a) que todas as salas, à exceção da III-B cumprem a classe menos exigente (classe C), estando mesmo algumas delas dentro dos limites admissíveis das classes A e B ($PD < 10\%$). Realça-se também que o valor mínimo que cada uma delas poderia apresentar nunca pode ser inferior a 6%, de acordo com a fórmula exposta na ISO 7730 (ISO, 2005).

Observando por fim a Figura 6-2 b) relativa à percentagem de desconforto devido à temperatura de assimetria radiante, verifica-se que este parâmetro de desconforto localizado não tem influência na avaliação global de conforto térmico, visto que nenhuma das salas se enquadra fora das zonas que permitem afirmar a existência de conforto.

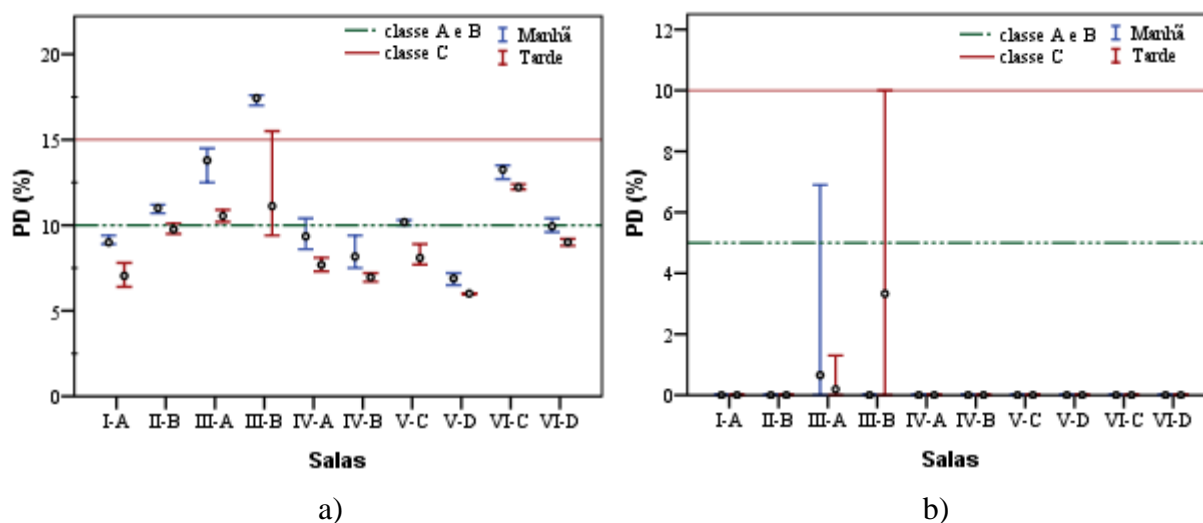


Figura 6-2: Avaliação do desconforto localizado da 1ª campanha. a) índice PD devido à temperatura do pavimento; b) índice PD devido à temperatura de assimetria radiante

Globalmente, na 1ª campanha, verifica-se uma aparente existência de conforto nas salas II-B, IV-B, V-C, V-D e VI-D, sendo que nesta última apenas no período da manhã. Analisando-as por tipologia educacional percebe-se que estão incluídas nesta lista uma sala da pré-escola, outra do 1º ciclo e duas do ensino superior, sendo uma de aula e outra de biblioteca. Evidencia-se, portanto, uma transversalidade em termos de tipologia.

Por fim, nota para o facto de que só seria possível afirmar categoricamente a existência de conforto nestas salas se também tivessem sido avaliadas (com resultados aceitáveis) os dois fatores de desconforto localizados restantes.

A 2ª campanha, que procurou retratar as condições típicas de meia-estação (primavera), apresentou resultados ligeiramente menos satisfatórios, evidenciando-se que três das seis salas avaliadas (II-B, III-A, V-C no período da manhã) não propiciaram conforto aos seus alunos na totalidade ou em grande parte do tempo de medição e que uma outra sala (VI-C, no período da tarde) também não, mas esta apenas esta em situações pontuais.

As Figura 6-3 e Figura 6-4 exemplificam a aplicação do método analítico nesta 2ª campanha. Não foi considerada necessária a inclusão da análise da percentagem de desconfortáveis devido à assimetria da temperatura radiante, visto que esta foi nula em todas as salas.

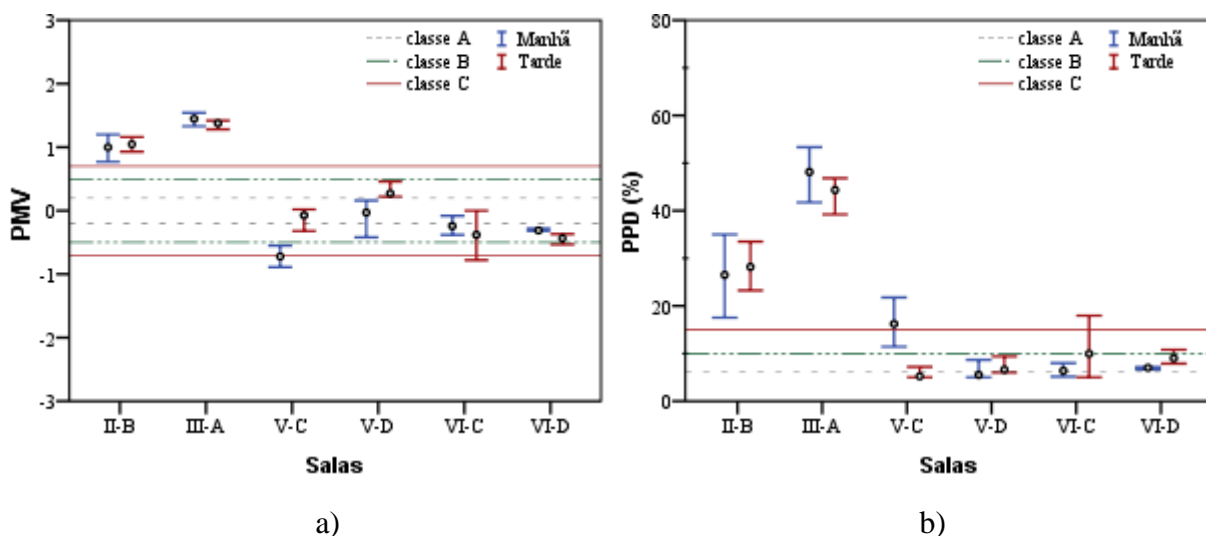


Figura 6-3: Avaliação do conforto térmico global da 2ª campanha de acordo com a abordagem analítica. a) índice PMV; b) índice PPD

Da comparação dos registos dos índices PMV e PPD da 1ª campanha com os agora apresentados, para as mesmas salas, o que mais se realça é sem dúvida a menor dispersão de registos verificada na sala III-A e a observação de desconforto devido ao sobreaquecimento durante a totalidade dos dois períodos de medições na sala II-B.

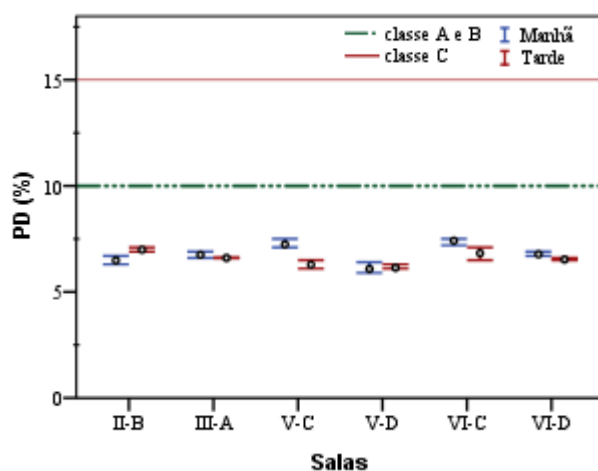


Figura 6-4: Avaliação do desconforto localizado da 2ª campanha, pelo índice PD devido à temperatura do pavimento;

Comparando também os resultados da percentagem de desconfortáveis devido à temperatura do pavimento com os da 1ª campanha é notório que estes são bastante mais satisfatórios nesta campanha, não se observando qualquer sala que provoque desconforto a este nível.

Finalizada a avaliação fundada na abordagem analítica e diferindo esta consideravelmente, em termos de fundamentos da adaptativa, torna-se pertinente perceber que diferenças existem entre elas na prática.

Para isso foi abordado o carácter subjetivo da sensação térmica dos ocupantes dos espaços (Figura 6-5) avaliando quantos demonstraram insatisfação com as condições térmicas. Da respetiva análise foi obtida uma gama de sensação (Stm) dentro da qual os alunos se consideraram confortáveis, possibilitando uma posterior comparação com os limites sugeridos pela ISO 7730. Admite-se que um indivíduo encontra-se insatisfeito quando expressa uma sensação dentro da escala ± 2 ou ± 3 (§2.2.1).

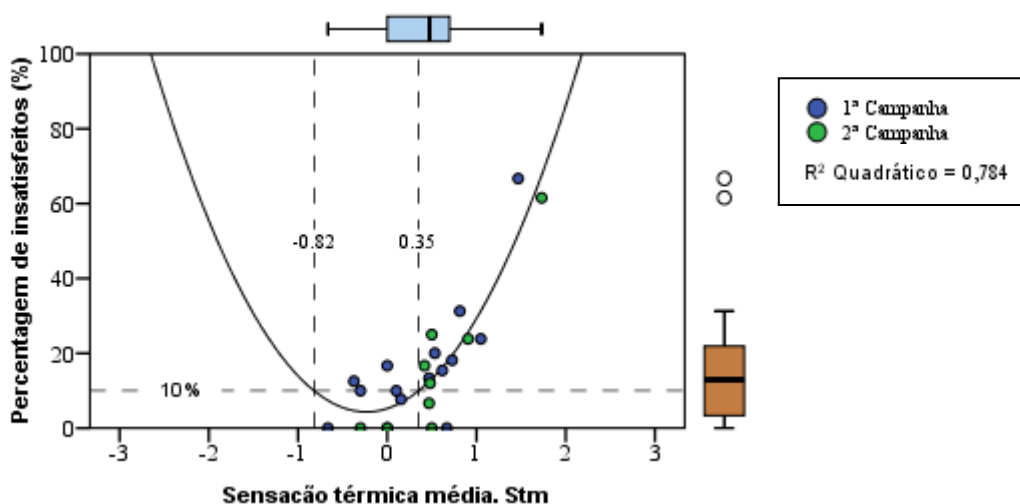


Figura 6-5: Relação entre a sensação térmica e a percentagem de insatisfeitos

A relação de dependência entre a sensação térmica média e a percentagem de insatisfeitos de cada levantamento efetuado permitiu estimar a curva de regressão, através da qual é possível concluir que para um dado ambiente, de acordo com a classe B, as condições térmicas são consideradas aceitáveis se a Stm variar entre -0,82 e +0,35, visto que é esta gama de valores que garante uma percentagem de insatisfeitos inferior a 10%, de acordo com as perceções expressas pelos inquiridos.

Segundo a abordagem analítica para este valor de percentagem de insatisfeitos o voto médio estimado (PMV) deve variar entre -0,5 e +0,5. A diferença verificada evidência uma maior tolerância ao arrefecimento do ambiente e uma menor tolerância ao sobreaquecimento do mesmo, por parte da teoria adaptativa (considera-se que as medições foram desenvolvidas segundo os princípios desta teoria, ou seja, em condições reais de utilização dos espaços).

Como nota final realça-se que esta conclusão caracteriza apenas a amostra em estudo e que esta não é suficientemente grande para outro tipo de conclusões.

6.3 Modelos adaptativos

6.3.1 Modelo proposto pela ASHRAE 55

A avaliação do conforto térmico pelo modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) permitiu facilmente obter uma visão global do nível de conforto propiciado aos alunos dos espaços em estudo.

As recomendações de condições satisfatórias por parte deste método são expressas em função da temperatura operativa, que se assume como o parâmetro mais adequado para caracterizar o ambiente interior, e da temperatura exterior média dos 30 dias anteriores ao dia de medição.

Os resultados relativos a este último parâmetro encontram-se, para a maioria das salas avaliadas, fora dos limites admissíveis (10 °C a 33,5 °C). Apesar da norma indicar que o método não deve ser tido em conta para estas situações, os registos foram incluídos nesta análise, dada a proximidade dos valores relativamente ao limite inferior (10 °C). Assim, mesmo não sendo possível retirar conclusões definitivas, pode-se sempre obter uma visão global da variação entre salas. Realça-se ainda que foram retiradas da base de dados as salas com sistema de climatização ativo (IV-A e IV-B).

A Figura 6-6 apresenta os resultados obtidos, observando-se claramente uma grande dispersão nos registos realizados nas salas I-A, III-A e III-B, conduzindo a problemas de sobreaquecimento.

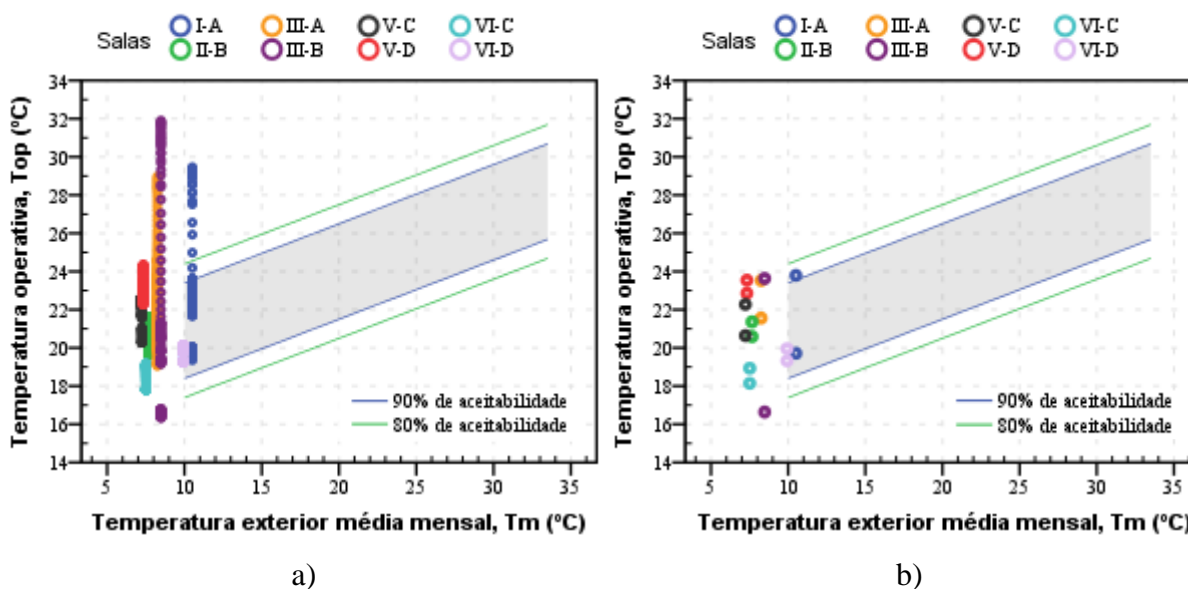


Figura 6-6: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela ASHRAE (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

Relativamente à 2ª campanha já podem ser tecidas conclusões mais definitivas, visto que as temperaturas exteriores médias já se apresentam dentro dos limites admissíveis (Figura 6-7).

É desde logo visível a sobreposição dos registos das salas, o que mostra que o valor da temperatura exterior média não sofreu grande variação entre salas.

Observa-se também que os resultados relativos ao conforto térmico foram muito satisfatórios, registando-se apenas como exceção a sala II-B, em que é possível observar períodos significativos de desconforto devido ao sobreaquecimento. Das restantes salas, a única que não cumpre as condições exigíveis para 90% de aceitabilidade é a sala de biblioteca V-D no período da tarde, embora cumpra para 80%.

Constata-se ainda pela análise dos registos médios que a variação das condições térmicas de conforto durante o dia foi relativamente pequena na maioria das salas, já que cada uma delas apresenta os dois valores médios (dos períodos da manhã e da tarde) bastante próximos.

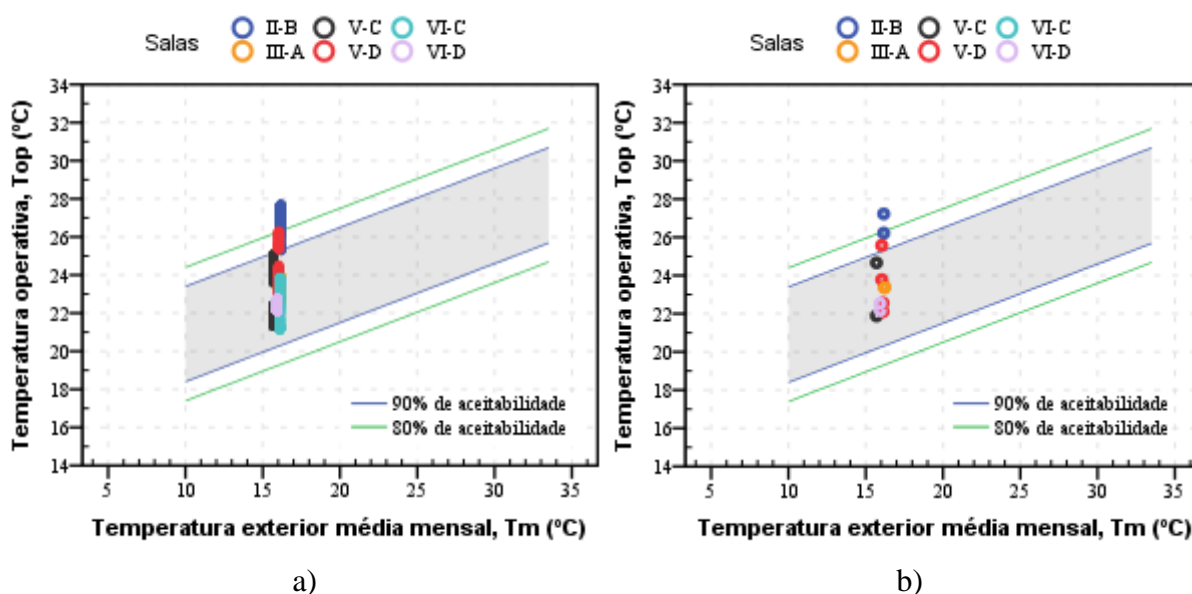


Figura 6-7: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela ASHRAE (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

6.3.2 Modelo proposto pela EN 15251

O modelo adaptativo apresentado na norma europeia EN 15251 (2007) segue os princípios do método anterior, destacando-se apenas como principais fatores de diferenciação a utilização da temperatura exterior média ponderada, T_{mp} , em vez da temperatura média mensal e a inclusão de temperaturas de conforto constantes delimitadoras da zona de conforto para temperaturas exteriores inferiores a 15 °C. Tal consideração advém do facto de esta norma assumir que, nestas condições, os espaços interiores estão sempre climatizados.

Contrariamente ao modelo anterior é agora possível retirar conclusões mais definitivas relativamente à 1ª campanha. Para tal, a Figura 6-8 ilustra a dispersão total dos registos obtidos e os respetivos valores médios.

Verificam-se resultados satisfatórios, com a maioria das salas a propiciarem condições de conforto aos alunos durante grande parte ou mesmo na totalidade do tempo de medição.

As únicas exceções são claramente as salas III-B e VI-C que apresentaram um ambiente termicamente menos confortável (apenas no período da manhã, de acordo com os valores médios observáveis).

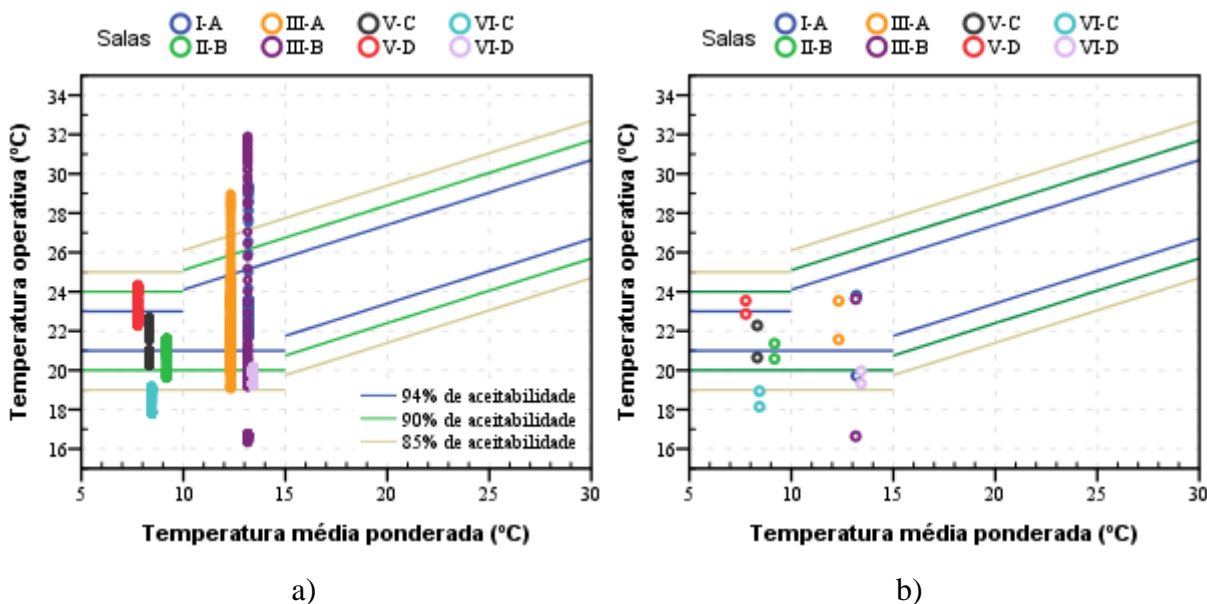


Figura 6-8: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

Relativamente aos registos obtidos na 2ª campanha, verifica-se através da Figura 6-9 que a aplicação deste modelo conduziu a situações de conforto térmico em todos os levantamentos realizados.

Algumas das salas monitorizadas conseguiram mesmo, para um período do dia específico (período da tarde) estar dentro dos limites mais exigentes, ou seja, conseguiram garantir 94% de aceitabilidade.

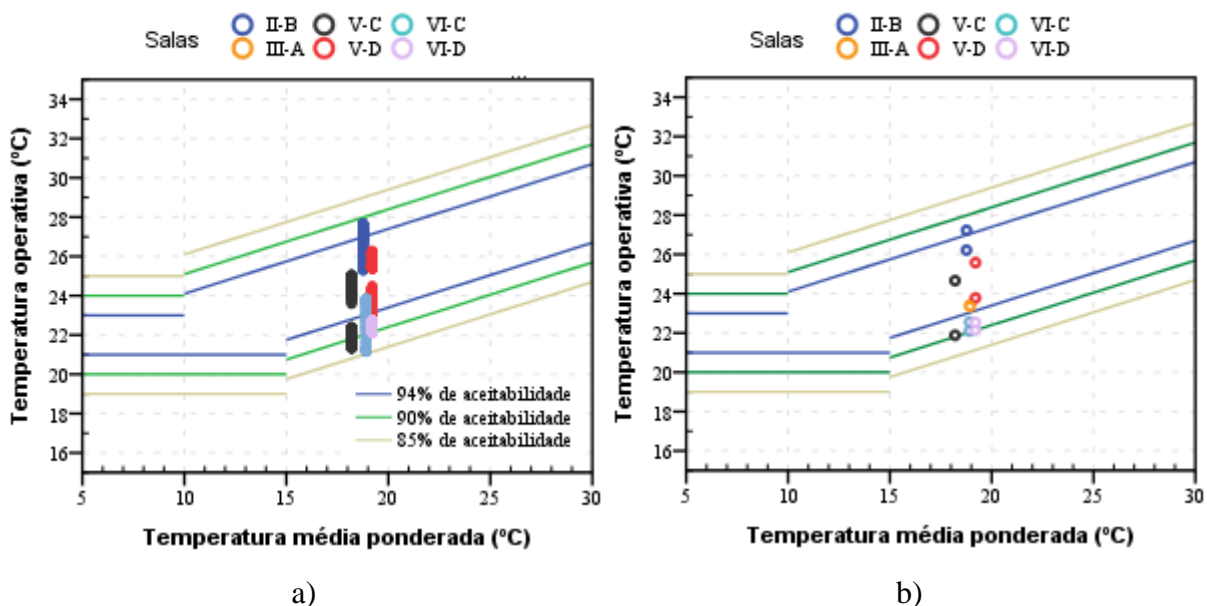


Figura 6-9: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

6.3.3 Modelo proposto pelo LNEC

No modelo desenvolvido por Matias (2010), tal como nos últimos dois modelos, são considerados além dos fatores físicos, também os fatores psicológicos e fisiológicos dos ocupantes dos espaços.

A Figura 6-10 ilustra a avaliação da 1ª campanha, que apresenta como principal novidade a capacidade de avaliar também as salas com climatização ativa (IV-A e IV-B).

Contrariamente ao modelo anterior, este avalia o ambiente da sala V-D como desconfortável e o da sala VI-C como propício de conforto. Pode-se portanto concluir que garante maior flexibilidade na avaliação de ambientes com temperaturas operativas mais baixas mas é mais exigente quando elas são mais elevadas.

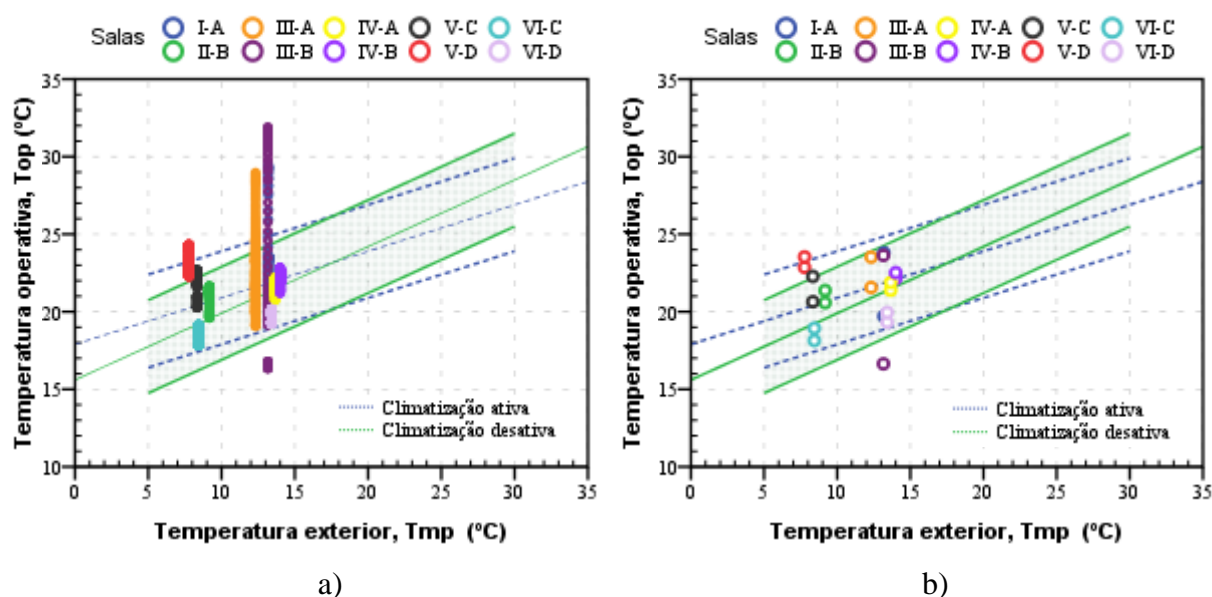


Figura 6-10: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pelo LNEC (1ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

Da avaliação das salas monitorizadas na 2ª campanha (Figura 6-11) observa-se que, globalmente, todas elas apresentam um ambiente confortável. A única exceção foi a sala II-B, embora apenas no período da tarde, como se verifica pelos registos médios (em todas elas as temperaturas operativas médias do período da tarde foram mais elevadas do que as temperaturas operativas médias do período da manhã).

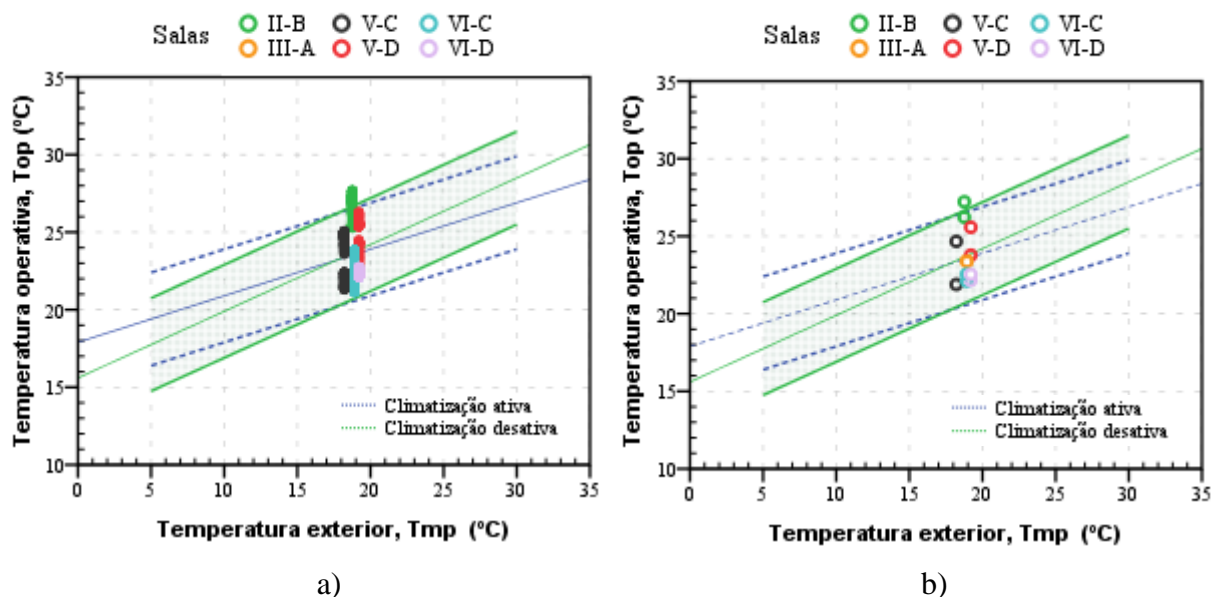


Figura 6-11: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pelo LNEC (2ª campanha). a) registos totais; b) registos médios

6.4 Discussão e análise crítica final dos modelos aplicados

A avaliação do conforto térmico realizada nas salas de aula e de biblioteca, a partir dos registos obtidos nas medições, permitiu caracterizar o desempenho destas identificando de forma rápida as situações de desconforto e permitiu comparar os resultados da aplicação do método analítico proposto pela ISO 7730 com os modelos adaptativos propostos pela ASHRAE, pela EN15251 e pelo LNEC.

Verificou-se que o método analítico apresentou, sobretudo na 1ª campanha, um conjunto elevado de salas com os registos da totalidade do tempo de medição fora das zonas de conforto térmico.

Já o método adaptativo proposto pela norma ASHRAE 55 mostrou-se bastante limitado para poder ser aplicado a condições de inverno, já que não avalia nenhum ambiente interior onde a temperatura exterior (média mensal) tenha sido inferior a 10°C. Globalmente, para as salas onde foi possível aplicar o modelo verificou-se uma conformidade generalizada com os limites propostos. Apenas em situações pontuais se verificou um sobreaquecimento do ambiente.

Relativamente ao modelo proposto pela norma EN 15251, quando comparado com o anterior, verificou-se que este é mais exigente face aos ambientes mais frios, mas também mais flexível as ambientes mais quentes. A título de exemplo remete-se para as observações dos registos das medições e das zonas de conforto para 90% de aceitabilidade da Figura 6-7 a) e da Figura 6-9 a).

O modelo proposto pelo LNEC tem a particularidade de ter sido desenvolvido com uma parte significativa da amostra a ser obtida de edifícios escolares. Verificou-se que este modelo permitiu uma maior flutuação de temperaturas em situações de inverno.

Por fim refere-se ainda que estes dois últimos modelos comparativamente com o da ASHRAE têm a vantagem de utilizar a temperatura exponencialmente ponderada que conduz a resultados mais fiáveis, uma vez que a temperatura média mensal torna os resultados dependentes de temperaturas registadas em dias muito anteriores aos dias das medições, cujo efeito na capacidade de adaptação psicológica às condições ambientais por parte dos indivíduos já é reduzido ou mesmo inexistente.

Na generalidade os modelos adaptativos, que estão mais de acordo com os princípios das medições realizadas, evidenciaram-se mais permissíveis na análise de conforto térmico do que o modelo analítico.

7. Conclusões

7.1 Conclusões gerais

A qualidade do ambiente interior dos espaços educativos do nosso país é uma matéria pertinente de se abordar uma vez que proporcionar as melhores condições possíveis de aprendizagem aos alunos conduz a um efeito positivo no desempenho escolar destes.

Desta forma, o estudo agora concluído visou avaliar o desempenho térmico de salas de aula e salas de biblioteca de diversas escolas do centro urbano de Viseu.

De forma global o estudo desenvolvido permitiu retirar as seguintes conclusões:

- Adotando a abordagem analítica, através dos índices térmicos PMV e PPD, na avaliação do conforto térmico de espaços com crianças existe a necessidade de corrigir os valores normativos recomendados da taxa de metabolismo, que foram desenvolvidos para adultos, para que permitam caracterizar a atividade metabólica das crianças;
- De acordo com os resultados aqui apresentados a correção mais adequada segue o princípio do ajuste da taxa às áreas de superfície corporal dos ocupantes, que apesar de ter sobrestimado ligeiramente o voto médio previsível na pré-escola, apresentou valores muito satisfatórios nas avaliações térmicas do 1º ciclo (§5.3.3);
- As perceções térmicas expressas pelos ocupantes dos espaços enquanto se realizavam as medições não mostraram grandes alterações entre a campanha realizada na estação de inverno e a campanha realizada na estação de primavera, observando-se nas duas sensações médias de ligeiro calor e uma percentagem de insatisfeitos idêntica (cerca de 12% na primeira e 15,7% na segunda);

- Ainda dentro da análise das percepções térmicas observou-se uma preferência em termos médios quase generalizada, por parte dos alunos, por manterem o ambiente tal como estava;
- As temperaturas operativas registadas na 1ª campanha variaram entre 17 e 24 °C, encontrando-se 75% dos valores médios entre 20 e 24 °C. Na segunda campanha a variação foi de 22 a 27 °C, encontrando-se 75% dos valores entre 22 e 25 °C (valores aproximados). As gamas de valores próximas para 75% da amostra explicaram o porque da existência de sensações idênticas entre campanhas (Figura 5-12 e Figura 5-24);
- Quando se adotam os limites recomendados para os índices PMV e PPD, as condições ambientais interiores são, em parte das salas avaliadas, consideradas insatisfatórias. Curiosamente e ao contrário do que se evidencia com a aplicação dos modelos da abordagem adaptativa, a 2ª campanha respondeu ligeiramente pior às exigências estabelecidas;
- A temperatura do pavimento é um parâmetro de avaliação do desconforto localizado a ter em conta no período de inverno. Remete-se para título de exemplo a 1ª campanha onde as percentagens de insatisfeitos, PD, apresentaram-se de forma global bastante mais elevadas do que na 2ª, observando-se mesmo uma sala (III-B) na qual foi obtido, no período da manhã, um PD médio superior a 15%. Já a influência da assimetria da temperatura radiante é praticamente inexistente;
- A aplicação dos modelos adaptativos mostrou que este tipo de abordagem possui limites de conforto mais tolerantes. No entanto, na 1ª campanha, todos eles mostraram que algumas salas não refletiam as condições de conforto. Na 2ª campanha as avaliações foram significativamente mais favoráveis.

7.2 Desenvolvimentos futuros

A avaliação realizada e apresentada nesta dissertação não abrange na totalidade as diversas e vastas matérias do domínio da qualidade do ambiente interior de edifícios escolares. Seria portanto interessante tornar objeto de estudo os seguintes aspetos:

- Complementar o estudo realizado com a realização de mais estudos de campo a edifícios escolares das mesmas tipologias educacionais consideradas neste estudo e ainda de outras que não foram avaliadas;
- Efetuar estudos idênticos para as mesmas tipologias educacionais, em regiões onde o clima é substancialmente diferente, permitindo realizar comparações críticas entre estudos;
- Complementar as correções efetuadas da taxa de metabolismo para ser aplicada a crianças, com novas amostras e novos métodos de análise;

- Estudar o desenvolvimento de um modelo com o principal propósito de avaliar o conforto térmico interior de edifícios escolares, incluindo no estudo apenas amostras de salas escolares.

REFERÊNCIAS

- Almeida, H.S. 2010. *Análise do Conforto Térmico de Edifícios Utilizando as Abordagens Analítica e Adaptativa*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa.
- Almeida, R.M.S.F. 2011. *Avaliação do Desempenho Higrotérmico do Parque Escolar Reabilitado*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2009. *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals*. ASHRAE, Atlanta, USA.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2010. *Ansi/Ashrae Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE, Atlanta, USA.
- Baker, N. & Standeven, M., 1996. *Thermal comfort for free-running buildings*; Energy and Buildings. pp. 175-182, 1996;
- Brager, G., Paliaga, G. & De Dear, R., 2004. *The Effect of Personal Control and Thermal Variability on Comfort and Acceptability*. ASHRAE – RP-1161 - Final Report, ASHRAE, Atlanta, USA.
- Buratti, C. & Ricciardi, P., 2006. *Thermal–hygrometry comfort in university classrooms: Experimental results in north and central Italy universities conducted with new methodologies based on the adaptive model*. In 3rd International Building Physics Conference, Montreal (pp. 27-31).
- CEN - Comité Européen de Normalisation, 2007. *EN 15251:2007 – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. CEN, Brussels, Belgium.
- Fabbri, K., 2013. *Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire*. Building and Environment, 68, pp. 202-214.
- Fanger, P.O., 1970. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Denmark: McGraw-Hill.
- Haddad, S., King, S., Osmond, P. & Heidari, S., 2012. *Questionnaire Design to Determine Children's Thermal Sensation, Preference and Acceptability in the Classroom*. PLEA, 2012.
- Havenith, G., 2007. *Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities*. Ergonomics, 50(10), pp. 1689-1701
- Holaday, B., Turner-Henson, A. & Swan, J., 1991. *Stability of School-age Children's Survey Responses*, Journal of Nursing Scholarship, 23(2), pp. 109-114.

ISO - International Organization for Standardization, 1998. *ISO 7726 - Ergonomics of the Thermal Environment, Instruments for measuring physical quantities*. ISO, Genève, Switzerland.

ISO - International Organization for Standardization, 2001. *ISO 10551 - Ergonomics of the Thermal Environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*. ISO, Genève, Switzerland.

ISO - International Organization for Standardization, 2004. *ISO 8996 - Ergonomics of the Thermal Environment, Determination of metabolic rate*. ISO, Genève, Switzerland.

ISO -International Organization for Standardization, 2005. *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*. ISO, Genève, Switzerland.

Maroco, J., 2007. *Análise estatística com utilização do SPSS (3ª ed.)*. Lisboa: Edições Sílabo.

Kameda, K. I., Murakami, S., Ito, K. & KANEKO, T., 2007. *Study on productivity in the classroom (part 3): nationwide questionnaire survey on the effects of IEQ on learning performance*. In Proceedings of Clima, pp. 1608-11.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a. *Net Zero Energy School – Reaching the community. Escola Secundária de Vergílio Ferreira. Condições ambientes no período de Inverno de 2010. Relatório 180/2010 – ES/LNEC*.

Matias, L., 2010. *Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*. Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

Matias, L.; Pina Santos, S. & Correia Guedes, C., 2006. *Condições de Conforto Térmico em edifícios em Portugal. Modelo adaptativo*. Actas do Encontro Nacional de Qualidade e Inovação (QIC2006), pp. 355-365. Lisboa: LNEC, 21 a 24 de Novembro de 2006.

McCartney, K. & Nicol, F., 2002. *Developing an adaptive control algorithm for Europe*. Energy and Buildings 34, 2002, pp. 623-635.

McIntyre, D. A., 1982. *Chamber studies--reductio ad absurdum?*. Energy and Buildings, 5(2), pp. 89-96.

Mors, S. T., Hensen, J. L., Loomans, M. G. & Boerstra, A. C., 2011. *Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts*. Building and Environment, 46(12), pp. 2454-2461.

Nicol, F. & Humphreys, M., 2010. *Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free running buildings in European standard EN 15251*; Building and Environment 45, pp. 11-17.

Nicol, F.; Humphreys, M.; Sykes, O. & Roaf, S., 1995. *Standards for Thermal Comfort. Indoor air temperature standards for the 21st century*. London: E & FN Spon, 1995 (First edition).

Nikolopoulou, M. & Steemers, K., 2003. *Thermal Comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. *Energy and Buildings* 35, 2003, pp. 95-101.

Portaria nº 353-A/2013, 2013. *Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (recs) requisitos de ventilação e qualidade do ar interior*. Diário da República, 1 Série N°235, 4 de dezembro de 2013.

Rodrigues, M.A. 2009. *Condições de Trabalho e Conforto em Bibliotecas do Ensino Superior*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Humana. Universidade do Minho.

Teli, D., Jentsch, M. F. & James, P. A., 2012. *Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children*. *Energy and Buildings*, 53, pp. 166-182.

Teli, D., Jentsch, M. F., James, P. A. & Bahaj, A. S., 2012. *Field study on thermal comfort in a UK primary school*. In *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world*.



Torun, B., 1983. *Inaccuracy of applying energy expenditure rates of adults to children*. *The American Journal of Clinical Nutrition* 38 (5), 1983, pp. 813–815.

Wargocki, P. & Wyon, D. P., 2007. *The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257)*. *HVAC&R Research*, 13(2), pp. 193-220.

Yun, H., Nam, I., Kim, J., Yang, J., Lee, K. & Sohn, J., 2014. *A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children*. *Building and Environment*, 75, pp. 182-189.

ANEXO I – INQUÉRITOS DISTRIBUIDOS AOS OCUPANTES DOS ESPAÇOS EM ESTUDO


I.1 - INQUÉRITO DISTRIBUÍDO NAS SALAS DE PRÉ-ESCOLA (INFANTÁRIO)

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO 


Inquérito sobre Conforto Térmico

Pinta o que estás a sentir neste momento.


(FRIO)




(NEM CALOR NEM FRIO)




(CALOR)



I.2 - INQUÉRITO DISTRIBUÍDO NAS SALAS DE 1º CICLO



INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO



Inquérito sobre Conforto Térmico

Hora de preenchimento: __h__min

Dados Pessoais

Sou:

um rapaz uma rapariga

Tenho: ____ anos

Assinala com uma cruz a zona da sala em que te encontras.

Quadro			
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	← Primeira fila
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	← Filas do meio
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	← Última fila

Conforto Térmico

O que estás a sentir neste momento?

Muito Frio	Frio	Ligeiramente Frio	Nem Quente nem Frio	Ligeiramente Quente	Quente	Muito Quente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Como consideras o ambiente térmico, neste momento?

Confortável	Ligeiramente desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Como gostarias que estivesse o ambiente térmico, neste momento?

Muito mais Frio	Mais Frio	Ligeiramente mais Frio	Tal como está	Ligeiramente mais Quente	Mais Quente	Muito mais Quente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Na tua opinião, o ambiente a nível térmico é:

Tolerável	Pouco tolerável	Muito pouco tolerável	Intolerável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Agora é importante saber que roupas tens vestidas. De todas as que estão listadas assiná-la as que tens vestidas.

Roupa interior


boxer  (0,04)

cueca  (0,03)

Camisa/Blusa

camisa de verão, manga comprida  (0,20)


camisa de inverno  (0,25)

blusa de verão, manga comprida  (0,15)

t-shirt  (0,09)

Camisola/Pulôver

sem mangas  (0,12)

de verão, (fina)  (0,20)

de meia-estação  (0,28)

de inverno, (malha)  (0,35)

Meias

finas  (0,02)

grossas  (0,05)

collants  (0,10)

Sapatos

sola fina, ténis/sapato  (0,02)




sola grossa, ténis desportivo  (0,04)

bota  (0,10)

Calças

- de meia-estação/ (ganga)  (0,25)
- de inverno/ (flanela)  (0,28)
- calções  (0,06)

Vestido/Saia

- saia comprida, de inverno  (0,25)
- vestido, manga curta, (de verão)  (0,20)
- vestido, manga comprida, (de inverno)  (0,40)


Acessórios

- cachecol  (0,05)
- bata  (0,20)


Casaco

- de verão   (0,25)
- de inverno   (0,35)

I.3 - INQUÉRITO DISTRIBUÍDO NAS SALAS DE ENSINO SUPERIOR



INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO



Inquérito sobre Conforto Térmico

Hora de preenchimento: ___h___min

Dados pessoais

Sexo:
 Masculino Feminino

Idade: ____ (anos)

Assinala com uma cruz a zona da sala em que te encontras.

Quadro			
█	█	█	← Primeira fila
□	□	□	
█	█	█	← Filas do meio
□	□	□	
█	█	█	← Última fila
□	□	□	

Conforto Térmico

O que estás a sentir neste momento?

Muito Frio	Frio	Ligeiramente Frio	Nem Quente nem Frio	Ligeiramente Quente	Quente	Muito Quente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Como consideras o ambiente térmico, neste momento?

Confortável	Ligeiramente desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Como gostarias que estivesse o ambiente térmico, neste momento?

Muito mais Frio	Mais Frio	Ligeiramente mais Frio	Tal como está	Ligeiramente mais Quente	Mais Quente	Muito mais Quente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Na tua opinião, o ambiente a nível térmico é:

Tolerável	Pouco tolerável	Muito pouco tolerável	Intolerável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sentes os teus pés mais quentes ou mais frios do que as restantes partes do teu corpo, ou seja, sentes desconforto ao nível dos pés?

Sim Não

Além das condições ambientais, também a roupa utilizada influencia as condições de conforto térmico.

Por isso pede-se que assinales no seguinte quadro a combinação de roupas que tens vestidas neste momento. (Ou a que se aproxima mais).

Roupa interior

- boxer (0,04)
- cueca (0,03)
- lingerie (0,03)
- sutiã (0,01)

Camisa/Blusa

- camisa de verão, manga comprida (0,20)
- camisa de inverno (0,25)
- camisa de flanela, manga comprida (0,30)
- blusa de verão, manga comprida (0,15)
- t-shirt (0,09)

Camisola/Pulôver

- sem mangas (0,12)
- de verão, (fina) (0,20)
- de meia-estação (0,28)
- de inverno, (malha) (0,35)

Meias

- finas (0,02)
- grossas, pelo tomazelo (0,05)
- grossas, pelo joelho (0,10)
- de nylon (0,03)
- collants (0,10)

Sapatos

- sola fina, ténis/sapato (0,02)
- sola grossa, ténis desportivo (0,04)
- bota (0,10)

Calças

- de verão (0,20)
- de meia-estação/ (ganga) (0,25)
- de inverno/ (flanela) (0,28)
- calções (0,06)

Vestido/Saia

- saia curta, de verão (0,15)
- saia comprida, de inverno (0,25)
- vestido, manga curta, (de verão) (0,20)
- vestido, manga comprida, (de inverno) (0,40)

Acessórios

- cachecol (0,05)
- bata (0,20)

Casaco

- de verão (0,25)
- de inverno (0,35)

ANEXO II – PLANTAS DAS SALAS ESTUDAS COM RESPECTIVA LOCALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Para a realização das medições dos parâmetros ambientais interiores todo o equipamento necessário foi, preferencialmente, colocado no centro da respetiva sala. Em várias salas, por motivos maiores, tal não foi possível, tendo-se portanto colocado em locais recomendados pelos docentes. De seguida apresentam-se de forma esquemática as plantas de todas as salas estudadas com a localização do equipamento de medição. Salienta-se ainda que esta não diferiu da 1ª para a 2ª campanha de monitorização.

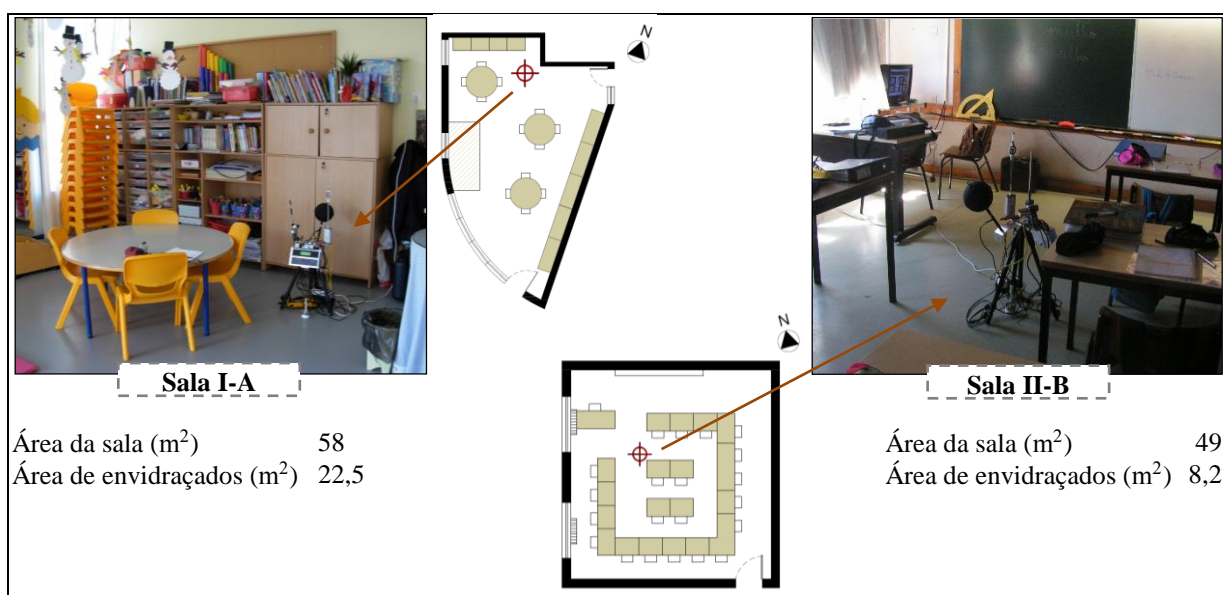


Figura II-1: Localização do equipamento nas salas I-A e II-B

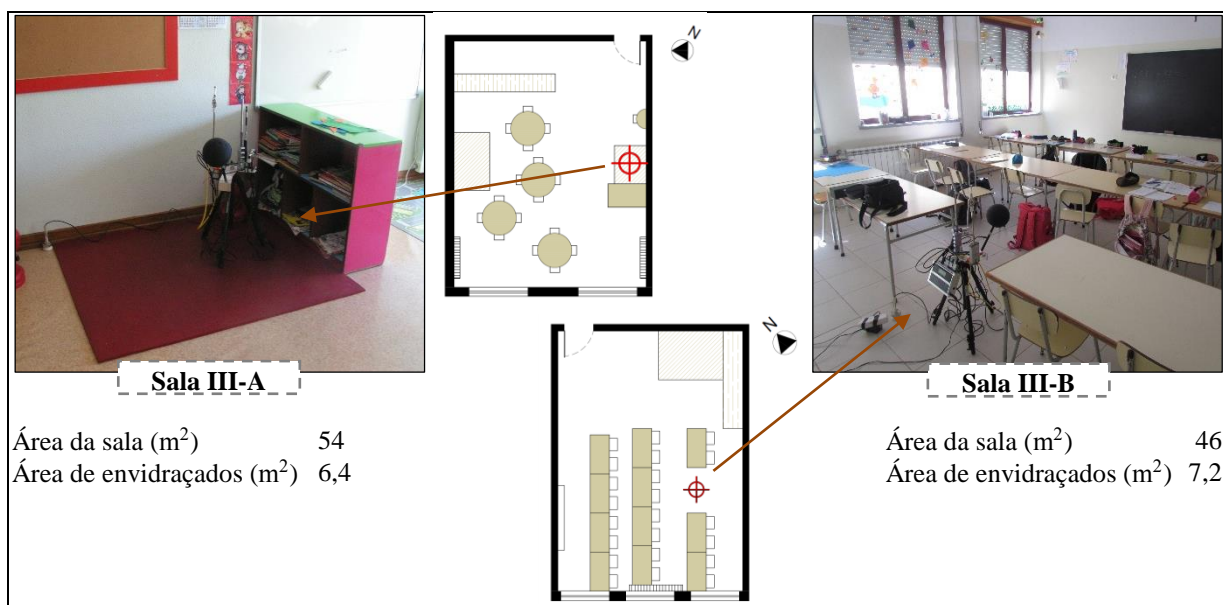


Figura II-2: Localização do equipamento nas salas III-A e III-B

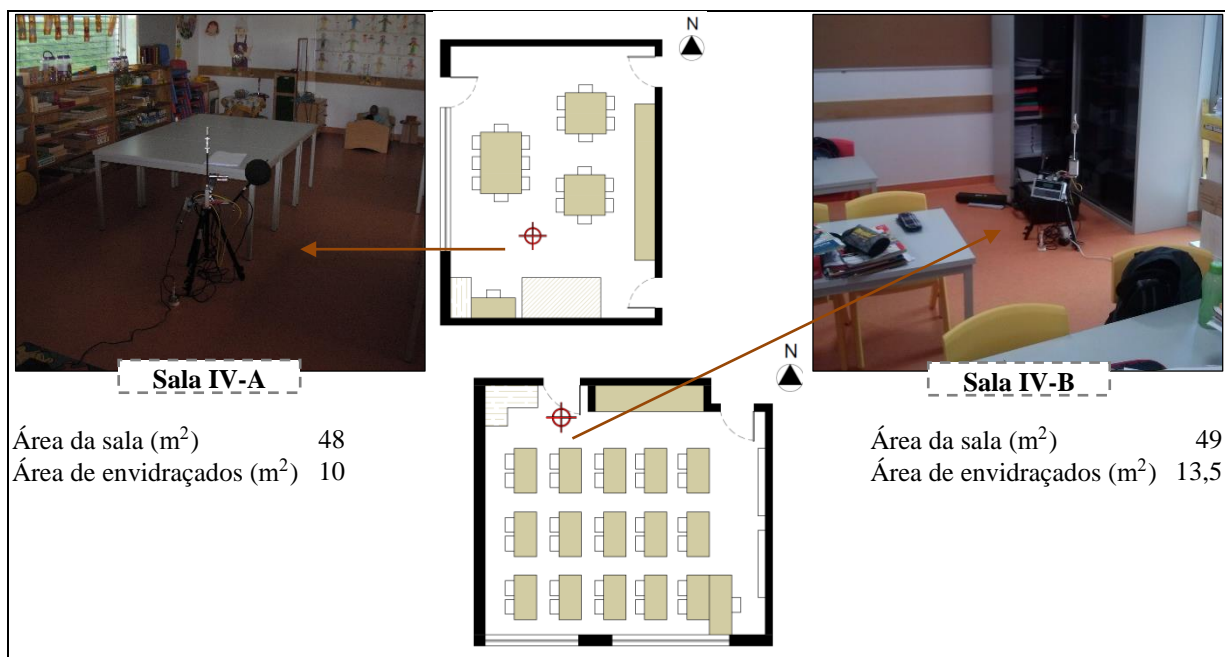


Figura II-3: Localização do equipamento nas salas IV-A e IV-B

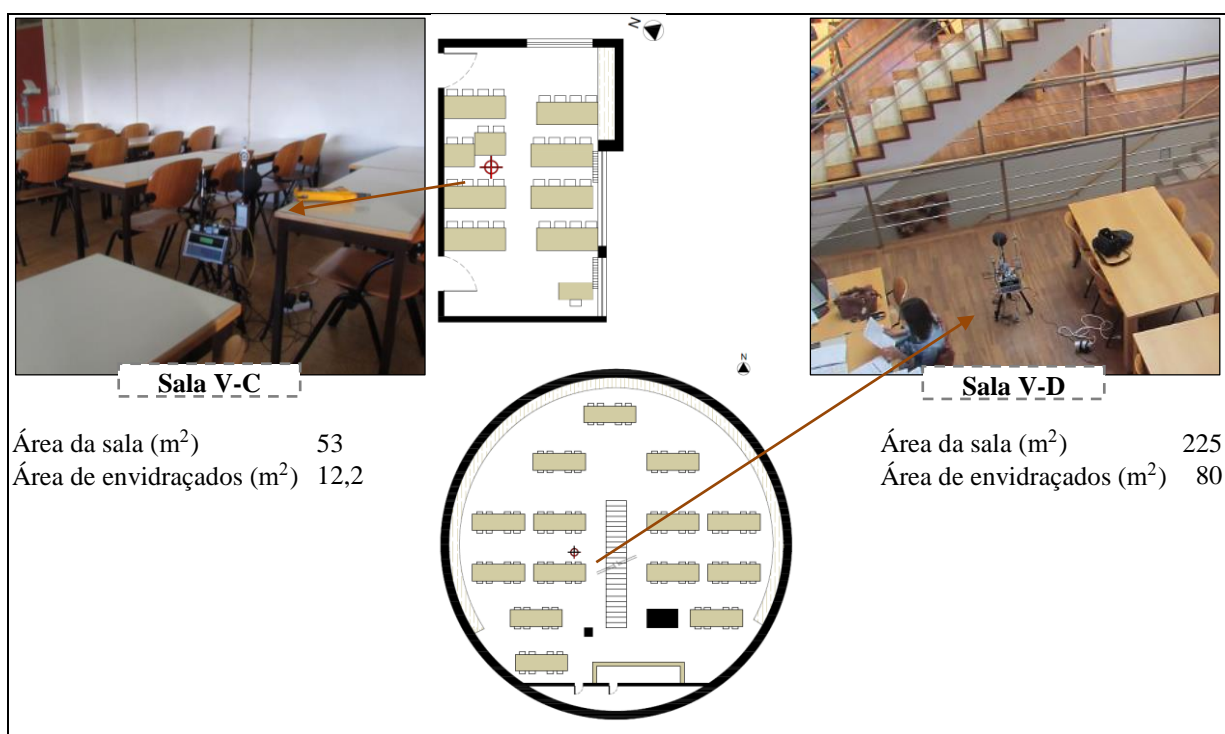


Figura II-4: Localização do equipamento nas salas V-C e V-D

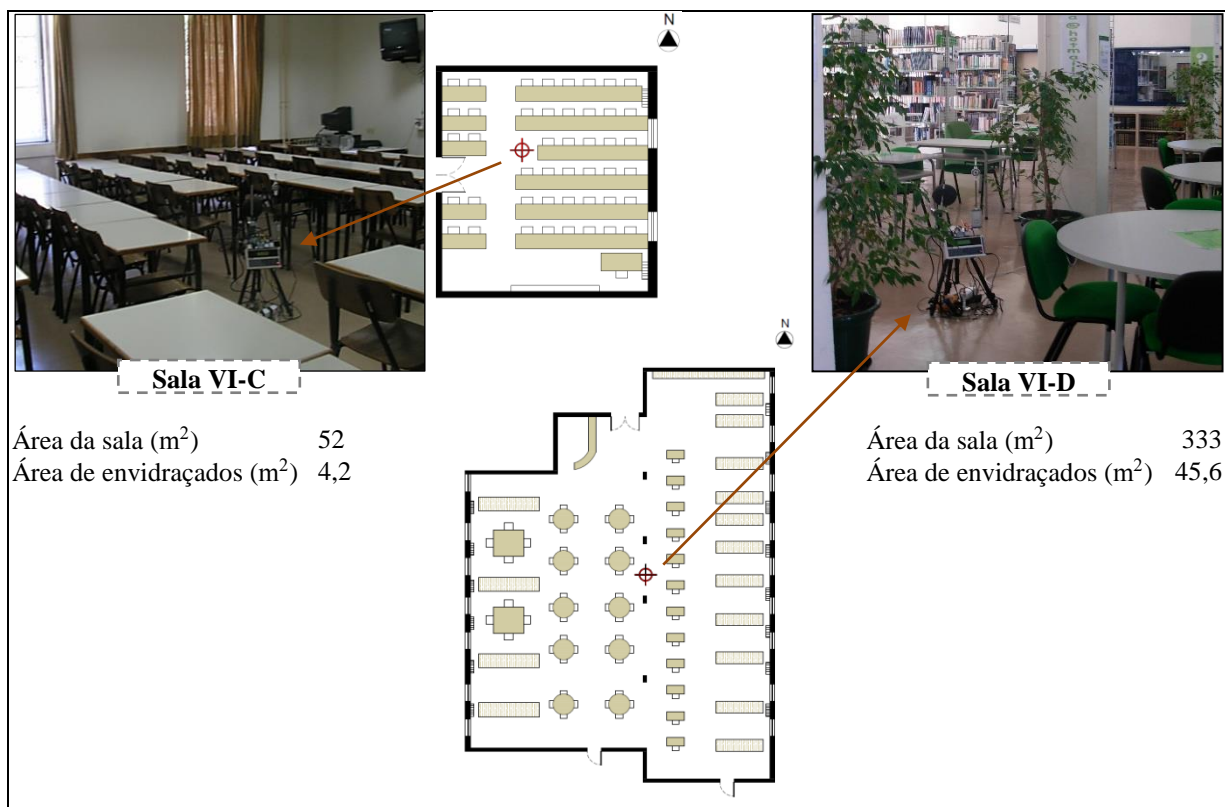


Figura II-5: Localização do equipamento nas salas VI-C e VI-D

ANEXO III – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a realização da avaliação das condições ambientes exteriores e interiores foi necessário recorrer à utilização de uma série de equipamentos que permitissem registar todos os parâmetros necessários ao objetivo do estudo. Neste anexo é apresentada uma caracterização de cada um deles. No primeiro subcapítulo (III.1) são apresentados e caracterizados todos os instrumentos de medição dos parâmetros ambientais interiores, incluindo as sondas e o equipamento de leitura e registo de dados. No subcapítulo III.2 apresenta-se e caracteriza-se o equipamento utilizado no registo da temperatura exterior.

III.1 – EQUIPAMENTO DE REGISTO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS INTERIORES

Temperatura do ar

A sonda *EST 101*, apresentada na Figura III-1, permitiu medir a temperatura do ar, T_a [°C]. Possui na sua constituição um sensor resistivo de platina (*Pt100*) devidamente envolvido para não sofrer efeitos da radiação térmica.



Características:

- Gama de medição: -50 °C a 80 °C
- Precisão: $\pm 0,15$ °C

Figura III-1: Sensor de medição da temperatura do ar interior

Humidade relativa do ar

A sonda *ESU 102*, apresentada na Figura III-2, efetuou a medição das temperaturas de bolbo seco e de bolbo húmido, permitindo ao sistema de registo e leitura (*BABUC*) utilizar essas quantidades para calcular a humidade relativa do ar, HR [%].



Características:

- Gama de medição: 0 a 100%
- Precisão: 2%

Figura III-2: Sensor de medição da humidade relativa do ar interior

Temperatura média radiante

A sonda *EST 131*, apresentada na Figura III-3, permitiu obter a temperatura média radiante T_{mr} [°C], de acordo com a norma ISO 7726.



Características:

- Gama de medição: Dependente do sistema de aquisição de dados
- Precisão: $\pm 0,15$ °C
- Globo negro de 15 cm (diâmetro)

Figura III-3: Sensor de medição da temperatura média radiante

Temperatura do pavimento

A sonda *EST 130*, apresentada na Figura III-4, foi utilizada para medir a temperatura superficial do pavimento, permitindo posteriormente ao sistema de registo e leitura de dados (*BABUC*) calcular a percentagem de insatisfeitos, PD [%] de acordo com a norma ISO 7730.



Características:

- Gama de medição: Dependente do sistema de aquisição de dados
- Precisão: $\pm 0,15$ °C

Figura III-4: Sensor de medição da temperatura do pavimento

Assimetria da temperatura radiante

A sonda *ESR 231*, apresentada na Figura III-5, foi utilizada para medir a assimetria da temperatura radiante, permitindo posteriormente ao sistema de registo e leitura de dados (*BABUC*) calcular a percentagem de insatisfeitos, PD [%] de acordo com a norma ISO 7730. Na prática esta sonda, que é constituída por duas faces planas idênticas, mede a temperatura radiante de cada uma das faces. A diferença entre os respetivos valores dá-nos o valor da assimetria da temperatura radiante.



Características:

- Gama de medição: T_{op} -30 °C a 70°C
- Precisão: 3%

Figura III-5: Sensor de medição da assimetria radiante

Sistema de registo e leitura

A aquisição de todos os parâmetros ambientais medidos pelas sondas referidas foi efetuada utilizando o *data logger BABUC* A ilustrado na Figura III-6. A recolha dos dados armazenados para posterior tratamento foi realizada com o auxílio do *software InfoGap*.

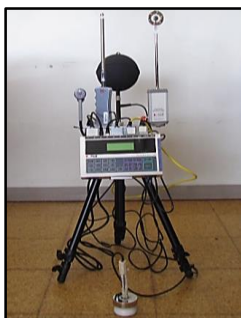


Figura III-6: *Data logger* utilizado no registo dos parâmetros ambientais interiores

Características:

- Nº de entradas: 11
- Memória: 256 KB
- *Display*: 20 caracteres
- Gama de funcionamento: T_a 0 °C a 50 °C

Velocidade do ar

Para a medição da velocidade do ar, devido à indisponibilidade técnica da sonda habitualmente utilizada da linha *BABUC*, recorreu-se à utilização do aerómetro *Fluke 975*. Este é um instrumento de mão (Figura III-7) com a possibilidade de uso de cinco sensores para diagnosticar diversos parâmetros da qualidade do ar interior. No estudo foi utilizado apenas para medir a velocidade do ar v_{ar} [m/s].



Figura III-7: Instrumento para medição da velocidade do ar

Características:

- Gama de medição: 0,25 m/s a 15 m/s
- Precisão: 0,015 m/s válida para leituras acima de 0,25 m/s

III.2 - EQUIPAMENTO DE REGISTO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS EXTERIORES

Temperatura do ar exterior

Para medição da temperatura do ar exterior foi utilizado o *data logger Hobo H08-03-02* (Figura III-8), programado para registar a referida temperatura a cada 3 minutos de forma constante ao longo do dia. Os dados registados começaram a ser analisadas 30 dias antes do início do primeiro levantamento, possibilitando o cálculo da temperatura média mensal, T_m , e da temperatura exponencialmente ponderada, T_{mp} .



Figura III-8: *Data logger* utilizado no registo da temperatura exterior

Características:

- Gama de medição: -20°C to +70°C
- Precisão: $\pm 0,7$ °C
- Resolução: 0,4 °C