



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DIRECÇÃO
Projecto Especial Edificação Sustentável

Proc. 5101/14/17250

NET ZERO ENERGY SCHOOL – REACHING THE COMMUNITY

**ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA
CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010**

Projecto MIT-Pt/SES-SUES/0037/2008

LISBOA • Junho de 2010

I & D EDIFÍCIOS
RELATÓRIO 180/2010 - ES/LNEC

Net Zero Energy School – Reaching the Community

ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010

RESUMO

Ao abrigo do programa MIT-Portugal está em curso um projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) denominado “*Net Zero Energy School – Reaching the Community*” (Ref.^a MIT-Pt/SES-SUES/0037/2008), no qual participam o Instituto Superior Técnico (IST), coordenador do projecto, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e o Instituto de Ciências Sociais (ICS).

O presente projecto centra-se no estudo do impacte das acções (activas e passivas) visando a melhoria das condições de conforto ambiente, de aprendizagem e de eficiência energética implementadas numa escola “tradicional” (segunda metade do século XX) e dos seus efeitos multiplicadores a nível de mudança de comportamentos no contexto residencial. As intervenções a realizar na escola serão acompanhadas por uma análise continuada dos resultados de cada acção.

Nesta fase do projecto de investigação em curso, de modo a avaliar o impacte que as obras de reabilitação da escola irão ter em termos, quer das condições ambientes dos locais de aprendizagem, quer da satisfação dos respectivos utentes, planeou-se a realização de diversos levantamentos pontuais, antes e após as intervenções previstas, abrangendo em ambos os casos períodos das estações fria e quente.

Nesse sentido, no Inverno de 2009/2010 (*período de aquecimento*) realizou-se um primeiro conjunto de levantamentos das condições ambientes interiores em diversas salas de aulas da escola secundária *Vergílio Ferreira* antes de serem sujeitas a obras de reabilitação.

Os levantamentos efectuados entre 29 de Janeiro e 8 de Fevereiro de 2010 foram orientados para a recolha de diversos parâmetros ambientes relevantes para a avaliação das condições de conforto térmico, e foram acompanhadas pelo preenchimento pelos alunos presentes de um questionário específico sobre este tema desenvolvido pelo LNEC.

A avaliação das condições de conforto térmico foi complementada com uma avaliação ambiental mais vasta, orientada para aspectos de qualidade do ar interior. Nesse sentido, no interior de duas salas de aula foram ainda medidas e registadas em contínuo as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), a temperatura e a humidade relativa.

No presente documento apresentam-se os resultados e a análise de todas as medições efectuadas, assim como dos questionários recolhidos junto dos alunos inquiridos, de modo a avaliar as condições ambientes e as percepções dos alunos nas salas de aula seleccionadas.

Net Zero Energy School – Reaching the Community

VERGÍLIO FERREIRA'S SCHOOL ENVIRONMENTAL CONDITIONS DURING THE WINTER OF 2010

ABSTRACT

Under the MIT-Portugal Programme a research project called "Net Zero Energy School - Reaching the Community" (Ref. MIT-Pt/SES-SUES/0037/2008), funded by the Foundation for Science and Technology (FCT), is currently being developed. This research project involves the Technical Higher Institute (IST), project coordinator, the National Laboratory for Civil Engineering (LNEC) and the Institute of Social Sciences (ICS).

This project focuses on studying the impact of actions leading to the improvement of environmental comfort, learning and energy efficiency in a "traditional" school (second half of the twentieth century) and its multiplier effects in terms of behaviour changes in the residential context. Interventions at school will be followed up by a continuous analysis of the results of each action.

In the scope of the research project several surveys have been planned before and after the interventions, covering in both cases periods of the heat and cool seasons.

In the winter of 2009/2010 (heating period) a first set of indoor environmental surveys was carried out in some classrooms of *Vergílio Ferreira's* school before undergoing rehabilitation works.

The surveys were carried out between January 29th and February 8th and consisted on the measurement of several environmental parameters and questionnaires filled up by students, regarding their thermal perception.

The evaluation of thermal comfort conditions was complemented by an environmental assessment focused on indoor air quality. Accordingly, the concentration of carbon dioxide (CO₂) emissions, temperature and relative humidity, were also measured and recorded in two classrooms.

This report describes the results and the analysis of all measurements, as well as the answers from inquired students to the questionnaires, in order to assess the environmental conditions and perceptions of students in selected classrooms.

Net Zero Energy School – Reaching the Community

ÉCOLE DE VERGÍLIO FERREIRA CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES PENDANT L'HIVER 2010

RESUME

Dans le cadre du Programme MIT-Portugal un projet intitulé "Net Zero Energy School - Reaching the Community" (Ref. MIT-Pt/SES-SUES/0037/2008), financé par la Fondation pour la Science et la Technologie (FCT), est actuellement en développement. Dans ce projet de recherche participent l'Institut Supérieur Technique (IST), coordinateur du projet, le Laboratoire National de Génie Civil (LNEC) et l'Institut des Sciences Sociales (ICS).

Ce projet vise à étudier l'impact des mesures (actives et passives) visant à améliorer les conditions de confort environnemental, d'apprentissage et d'efficacité énergétique implémentées dans une école « traditionnelle » (deuxième moitié du XX^{ème} siècle), de ses effets multiplicateurs au niveau des changements de comportement dans le contexte résidentiel. Les interventions à l'école seront accompagnées d'une analyse continuée des résultats de chaque action.

A cette phase du projet plusieurs campagnes de mesures ont été planifiées pour être réalisées avant et après les interventions prévues, couvrant dans les deux cas les périodes de saisons chaudes et froides.

Ainsi, pendant l'hiver de 2009/2010 (période de chauffage) une première série de mesures des conditions intérieures a été réalisée dans quelques classes de l'école *Vergílio Ferreira* avant de subir les travaux de réhabilitation.

La campagne de mesures a été effectuée entre le 29 janvier et le 8 février et a été composée par la mesure de divers paramètres et par la collecte des questionnaires remplis par les étudiants, reportant leur perception thermique.

L'appréciation des conditions de confort thermique a été complétée par une évaluation de l'environnement intérieur, focalisé sur la qualité de l'air. Par conséquence, la concentration de dioxyde de carbone (CO₂), la température et l'humidité relative, ont également été mesurées et enregistrées dans deux classes.

Ce rapport décrit les résultats et l'analyse des mesures obtenues, ainsi que les questionnaires recueillis auprès des étudiants, afin d'évaluer les conditions environnementales et leurs perceptions dans quelques classes de l'école.

Net Zero Energy School – Reaching the Community
ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA
CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010

ÍNDICE DO TEXTO

	<i>Pág.</i>
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA DO ESTUDO DESENVOLVIDO.....	4
2.1. Generalidades.....	4
2.2. Descrição dos espaços estudados.....	4
2.3. Avaliação das condições ambientais.....	8
2.3.1. Conforto térmico.....	8
2.3.2. Qualidade do ar interior (QAI).....	11
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	13
3.1. Critério de avaliação.....	13
3.1.1. Conforto térmico.....	13
3.1.2. Qualidade do ar interior (QAI).....	17
3.2. Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos.....	18
3.3. Percepções térmicas.....	22
3.4. Qualidade do ar interior (QAI).....	27
4 - CONCLUSÕES.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	33
ANEXO I. FOTOGRAFIAS DAS SALAS ESTUDADAS.....	I.3
ANEXO II. INSTRUMENTAÇÃO.....	II.3
ANEXO III. INQUÉRITO.....	III.3

Net Zero Energy School – Reaching the Community

ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Fig. 1 – Planta de implantação da escola secundária de Vergílio Ferreira [Google Earth].....	5
Fig. 2 – Planta do piso 2 e aspecto das fachadas do Bloco B.....	5
Fig. 3 – Planta do piso 2 e aspecto das fachadas do Bloco F.....	6
Fig. 4 – Dispositivos de aquecimento existentes nas salas estudadas.....	7
Fig. 5 – Sistemas de medição e de registo de parâmetros ambientais.....	9
Fig. 6 - Escala de sensação térmica (<i>sti</i>).....	10
Fig. 7 – Escala de preferência térmica (<i>pti</i>).....	10
Fig. 8 – Equipamentos de medição e de registo em contínuo do CO ₂ , da temperatura e da humidade relativa do ar.....	12
Fig. 9 – <i>Percentagem Previsível de Insatisfeitos, PPD</i> , em função do <i>Voto Médio Previsível, PMV</i> [6].	14
Fig. 10 – Temperaturas de conforto térmico para espaços interiores.....	16
Fig. 11 – Evolução da temperatura operativa, <i>T_{op}</i> , ao longo dos levantamentos efectuados.....	20
Fig. 12 – Evolução da humidade relativa, <i>HR</i> , ao longo dos levantamentos efectuados.....	21
Fig. 13 – Distribuição das respostas de <i>sensação</i> térmica dos inquiridos.....	23
Fig. 14 – Distribuição das respostas de <i>preferência</i> térmica dos inquiridos.....	24
Fig. 15 – Resultados de <i>stm</i> e de <i>PMV</i> nos levantamentos efectuados.....	26
Fig. 16 – Resultados de <i>Pins</i> e de <i>PPD</i> nos levantamentos efectuados.....	26
Fig. 17 – Evolução da concentração de CO ₂ na sala B9.....	27
Fig. 18 – Evolução da concentração de CO ₂ na sala B5.....	28

Net Zero Energy School – Reaching the Community
ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA
CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1 – Elementos referentes às salas de aulas da escola secundária <i>Vergílio Ferreira</i> objecto de medições	7
Quadro 2 – Levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária <i>Vergílio Ferreira</i>	11
Quadro 3 – Ambientes térmicos e respectivas exigências [3]	14
Quadro 4 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [7]	15
Quadro 5 – Caudais de ar novo de referência em salas de aula	17
Quadro 6 – Concentração máxima de CO ₂ acima do valor exterior	17
Quadro 7 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária <i>Vergílio Ferreira</i>	20
Quadro 8 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária <i>Vergílio Ferreira</i>	25
Quadro 9 – Resumo dos critérios e resultados das medições dos caudais de ar	29

Net Zero Energy School – Reaching the Community

ESCOLA SECUNDÁRIA DE VERGÍLIO FERREIRA CONDIÇÕES AMBIENTES NO PERÍODO DE INVERNO DE 2010

1. INTRODUÇÃO

Ao abrigo do programa MIT-Portugal está em curso um projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) denominado “*Net Zero Energy School – Reaching the Community*” (Ref.^a MIT-Pt/SES-SUES/0037/2008), no qual participam o Instituto Superior Técnico (IST), coordenador do projecto, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e o Instituto de Ciências Sociais (ICS).

Em Portugal o sector residencial representa 60% do consumo total de electricidade, apresentando uma tendência de aumento devido às crescentes necessidades de níveis de conforto e à proliferação de equipamentos domésticos. É urgente abordar a racionalização do uso da energia e a eficiência energética como um problema interdisciplinar, envolvendo simultaneamente as dimensões tecnológicas e sociológicas. Neste processo, torna-se necessário desenvolver abordagens estratégicas a curto, médio e longo-prazo.

Um dos campos centrais nas dinâmicas de mudança prende-se com a educação. Através das crianças e adolescentes, que actuam como embaixadores junto das famílias, é possível alcançar o sector residencial, difundindo os comportamentos de eficiência energética para além do contexto escolar. No contexto escolar, em paralelo com a disseminação de acções de sensibilização neste domínio, diversas escolas estão a ser objecto de intervenções, mais ou menos profundas, que afectam a qualidade do edificado e dos sistemas disponíveis (nomeadamente, controlo ambiente, iluminação e tecnologias de informação). Em consequência destas intervenções, novos “ambientes” e expectativas serão criados e a relação com o uso de energia sofrerá alterações face aos padrões tradicionais.

O presente projecto centra-se no estudo do impacto das acções (activas e passivas) visando a melhoria das condições de conforto ambiente, de aprendizagem e de eficiência energética implementadas numa escola “tradicional” (segunda metade do século XX) e dos seus efeitos multiplicadores a nível de mudança de comportamentos no contexto residencial. As intervenções a realizar na escola serão acompanhadas por uma análise continuada dos resultados de cada acção.

Para o desenvolvimento do projecto foi possível seleccionar um edifício escolar que faz parte de um conjunto de edifícios de ensino integrados no *Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário (Fase 2)* dirigido pela empresa Parque Escolar, E.P.E.

No âmbito desta fase do Programa está prevista a realização de intervenções passivas e activas em setenta e cinco estabelecimentos escolares espalhados de Norte a Sul do País com o objectivo principal de recuperar e modernizar os edifícios, potenciando uma cultura de aprendizagem, divulgação do conhecimento e aquisição de competências.

Com base em diversos critérios de selecção, nomeadamente, a calendarização das obras de modernização da escola e a caracterização sociocultural da sua população, o estabelecimento escolar seleccionada para desenvolvimento do referido estudo foi a escola secundária de *Vergílio Ferreira*, situada na Quinta dos Inglesinhos em Lisboa.

Nesta fase do projecto de investigação em curso, de modo a avaliar o impacto que as obras de reabilitação da escola irão ter em termos, quer das condições ambientes dos locais de aprendizagem, quer da satisfação dos respectivos utentes, planeou-se a realização de diversos levantamentos pontuais, antes e após as intervenções previstas, abrangendo em ambos os casos períodos das estações fria e quente.

Nesse sentido, no Inverno de 2009/2010 (*período de aquecimento*) realizou-se um primeiro conjunto de levantamentos das condições ambientes interiores em diversas salas de aulas da escola secundária *Vergílio Ferreira* antes de serem sujeitas a obras de reabilitação.

No final do mês de Maio do corrente ano prevê-se¹ a realização de um novo conjunto de levantamentos nas mesmas salas de aulas (ainda não intervencionadas), para avaliar as condições ambientes no Verão (*meia estação/período de arrefecimento*).

As salas objecto de monitorização nesta fase do estudo vão ser sujeitas a um processo de reabilitação, que se prevê irá decorrer a partir do final do mês de Maio.

No decorrer do próximo ano lectivo, após a realização das obras de reabilitação, as condições ambientes nas salas de aulas renovadas, assim como a satisfação dos seus ocupantes, serão novamente analisadas de modo a avaliar as melhorias previstas e resultantes. As observações efectuadas serão complementadas por outros estudos desenvolvidos em paralelo, contemplando aspectos do domínio da psicologia ambiental e da eficiência energética.

Os levantamentos já efectuados entre 29 de Janeiro e 8 de Fevereiro de 2010 foram orientados para a recolha de diversos parâmetros ambientes (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar) relevantes para a avaliação das condições de conforto térmico,

¹ - Caso as obras nos edifícios em estudo só sejam iniciadas mais tarde (Junho).

e foram acompanhadas pelo preenchimento pelos alunos presentes de um questionário específico sobre este tema desenvolvido pelo LNEC.

A avaliação das condições de conforto térmico baseada em medições pontuais (com a duração de uma hora) foi complementada com uma avaliação ambiental mais vasta, orientada para aspectos de qualidade do ar interior. Nesse sentido, no interior de duas salas de aula foram ainda medidas e registadas em contínuo, durante aproximadamente um dia, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), a temperatura e a humidade relativa.

No presente documento apresentam-se os resultados e a análise de todas as medições efectuadas, assim como dos questionários recolhidos junto dos alunos inquiridos, de modo a avaliar as condições ambientes e as percepções dos alunos nas salas de aula seleccionadas.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO DESENVOLVIDO

2.1. Generalidades

No âmbito do projecto acima referido encontra-se em desenvolvimento um programa de avaliação das condições ambientais em espaços interiores da escola secundária *Vergílio Ferreira*.

No decorrer deste programa, de modo a estudar o impacte das alterações resultantes das obras de reabilitação previstas para a escola, em termos das condições ambientais interiores, foi planeada a realização de várias campanhas de medições em salas de aula, em períodos de “Inverno” e de “Verão”; numa primeira fase em edifícios existentes da escola, e numa fase posterior nos mesmos edifícios após a sua reabilitação.

Nessas campanhas experimentais são efectuados uma série de levantamentos nos quais são avaliadas as condições ambientes interiores mediante a realização de medições pontuais (durante uma hora) de vários parâmetros que influenciam o conforto térmico dos utentes dos espaços. No final de cada período de medição os alunos presentes nas salas de aula estudadas são inquiridos acerca das suas percepções térmicas, através de um inquérito simples desenvolvido para o efeito (*vd.* Anexo III).

A avaliação da qualidade do ar também é considerada neste estudo através da medição das concentrações de CO₂, efectuada durante períodos de um dia, coincidentes com a realização das medições pontuais de conforto térmico.

Em paralelo, um grupo de especialistas da área das ciências sociais estudará, entre outros aspectos, a influência que as alterações tecnológicas e ambientais introduzidas pela intervenção de modernização em curso terá nas expectativas, nas atitudes e nos comportamentos e dos utentes da escola.

2.2. Descrição dos espaços estudados

A Escola Secundária *Vergílio Ferreira* está situada na antiga Quinta dos Inglesinhos, na confluência geográfica de duas freguesias: Carnide e Lumiar, em Lisboa. Em 1923 a Quinta dos Inglesinhos foi transformada num conjunto de instituições escolares.

A Escola foi inaugurada em 1983, servindo nesta data apenas uma população estudantil do 3º ciclo do Ensino Básico, distribuída por 36 turmas. Em 1986 a escola viu aumentados os seus recursos físicos, sendo ampliada com a construção de mais três blocos.

Em 1995, para fazer face ao aumento da carga curricular do 12º ano, a escola é novamente ampliada com a construção de mais um bloco.

A construção do pavilhão gimnodesportivo dá-se em 1999 e, em 2002 foi construído o Centro Documental Multimédia – a partir de um velho edifício pertencente ao recinto escolar cuja traça original se respeitou [1].

No que diz respeito aos recursos físicos a escola é composta por vários pavilhões, ou blocos, distribuídos em planta conforme ilustrado na Fig. 1.

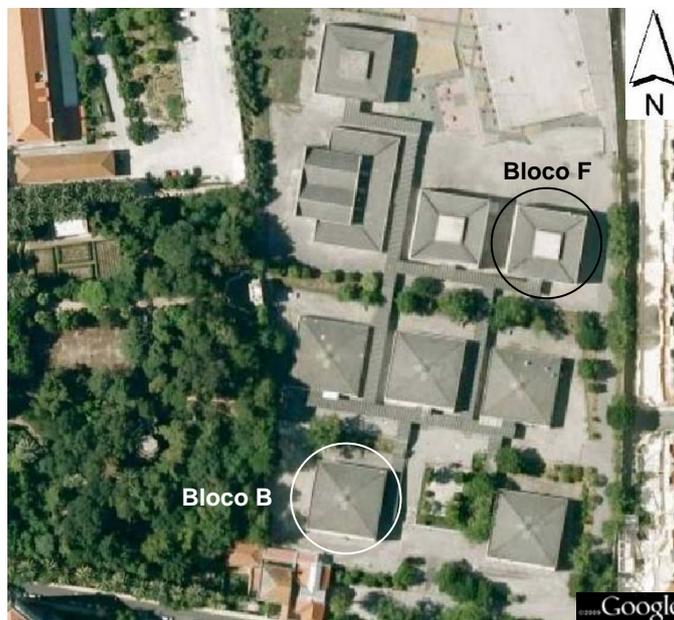


Fig. 1 – Planta de implantação da escola secundária de *Vergílio Ferreira* [Google Earth]

Para a realização do projecto seleccionaram-se várias salas de aula dos blocos B e F (Fig. 1) pelo facto de estes serem os primeiros edifícios a serem alvo de obras de reabilitação.

Nas figuras 2 e 3 apresentam-se as plantas do último piso (piso 2) de cada bloco com a identificação das salas de aula objecto de medições no presente estudo, assim como, o aspecto geral das fachadas dos dois edifícios.

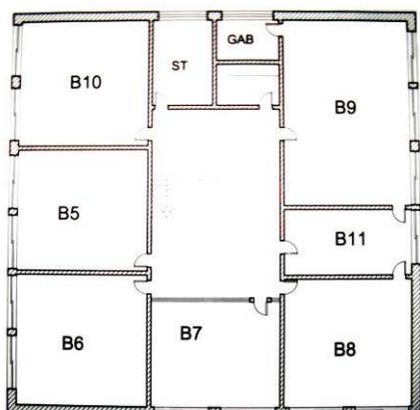


Fig. 2 – Planta do piso 2 e aspecto das fachadas do **Bloco B**

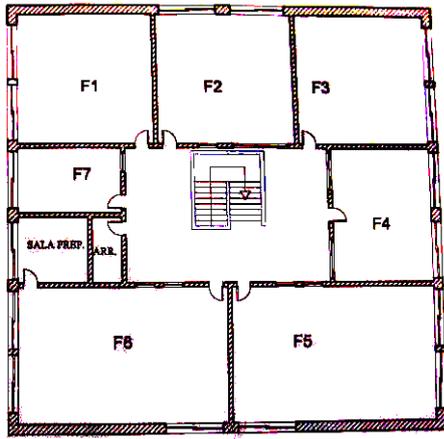


Fig. 3 – Planta do piso 2 e aspecto das fachadas do **Bloco F**

Tendo em conta a escassez de informação disponível relativa às soluções construtivas dos edifícios, estima-se, pela data de construção e pelas observações efectuadas no local que, em termos gerais, os dois edifícios são constituídos por uma estrutura resistente de betão armado, fachadas realizadas por paredes duplas de alvenaria de tijolo (ou de blocos) furado (muito provavelmente sem isolamento térmico entre panos) e caixilharia de alumínio (de correr) preenchida com vidro simples.

Os vãos das janelas exteriores possuem estores interiores de lâminas horizontais no bloco B (Fig. 2) e persianas exteriores de réguas horizontais de plástico no bloco F (Fig. 3).

O bloco B possui uma cobertura inclinada com desvão ventilado sobre esteira horizontal em laje nervurada. O revestimento exterior da cobertura é realizado por chapas de fibrocimento e por chapas plásticas translúcidas (Fig. 1).

A cobertura do bloco F é inclinada com desvão não-ventilado e a esteira horizontal é, provavelmente, uma laje maciça. O revestimento exterior da cobertura é realizado por chapas de fibrocimento (Fig. 1).

Não foi identificada em qualquer das coberturas a aplicação de isolamento térmico.

Relativamente ao pavimento interior, nas salas do bloco B o revestimento de piso é constituído por diversos tipos de revestimento vinílico, no bloco F o revestimento é composto por ladrilhos cerâmicos.

A selecção das salas de aula objecto de estudo teve como principais critérios, as respectivas dimensões, lotação e exposição solar dos vãos envidraçados.

No Quadro 1 apresenta-se e sintetiza-se a informação relativa às salas de aulas nas quais foram realizadas medições de parâmetros ambientes. Nesse quadro referem-se: a

identificação e a lotação das salas; as áreas úteis² dos pavimentos e dos vãos envidraçados; e a exposição solar destes últimos. Refira-se ainda que o pé-direito³ das salas é de cerca de 3,2 m.

Quadro 1 – Elementos referentes às salas de aulas da escola secundária *Vergílio Ferreira* objecto de medições

Bloco	Sala	Lotação	Área de pavimento (m ²)	Área de fachadas/empenas (m ²)	Vãos envidraçados	
					Exposição solar	Área (m ²)
B	B5	33	49	22	Sul	13
	B7	29	40	22	Este	13
	B8	33	49	45	Este	13
	B9	32	74	34	Norte	19
	B10	33	49	45	Sul	13
F	F2	33	49	22	Norte	5
	F5	53	74	56	Sul e Este	10

Relativamente aos dispositivos de aquecimento existentes nas salas de aula verificou-se a presença, em geral, de um único dispositivo eléctrico – aquecedor a óleo ou termoventilador – em cada sala estudada (Fig. 4).



Fig. 4 – Dispositivos de aquecimento existentes nas salas estudadas

No Anexo I apresentam-se fotografias das salas de aulas estudadas, as quais dão informação adicional sobre, quer o espaço e aos seus sistemas (iluminação, protecção solar e aquecimento), quer os seus ocupantes.

² - Valores aproximados medidos no local com um distanciómetro digital.

³ - No bloco B o pé-direito foi medido do pavimento até à lâmina de compressão da laje nervurada.

2.3. Avaliação das condições ambientais

2.3.1. Conforto térmico

A forma mais simples de especificar e de avaliar as condições de conforto térmico ambiente recorre apenas à **temperatura do ar**⁴.

No entanto, no sentido de integrar de uma forma global a influência de outros factores relevantes podem ser utilizadas temperaturas fictícias que combinam a temperatura do ar com outros parâmetros ambientes.

A **temperatura operativa**, T_{op} , é uma temperatura fictícia frequentemente utilizada na avaliação das condições de conforto térmico em ambientes interiores moderados, que combina a influência da temperatura do ar, T_a , da temperatura média radiante⁵, T_{mr} , e da velocidade do ar, v_a .

A temperatura operativa pode ser obtida numericamente, mediante a medição dos três parâmetros ambientes referidos⁶, ou directamente por medição, utilizando um transdutor específico (vd. Anexo II).

No entanto, sendo a percepção de conforto térmico (como qualquer outra noção de conforto) o resultado de sensações humanas onde intervém uma forte componente subjectiva, depende de inúmeros factores, nomeadamente, de carácter físico (parâmetros ambientes ou individuais), fisiológico e psicológico, por vezes difíceis de quantificar [6].

Face a esta complexidade utilizam-se também índices térmicos que pretendem, dentro de certos limites, combinar numa única variável os efeitos de diversos factores, quer ambientais quer individuais (vestuário e actividade), influentes nas respostas fisiológicas e sensoriais de um indivíduo.

Face ao exposto, para avaliar as condições de conforto térmico nos espaços interiores da escola secundária *Vergílio Ferreira* foi realizado um conjunto de levantamentos (de curta duração) das condições ambientes em várias salas. Para esse efeito, no decorrer de várias aulas, foram medidos e registados diversos parâmetros ambientais que influenciam a satisfação de conforto térmico dos ocupantes das salas.

Os referidos parâmetros ambientais, nomeadamente, a temperatura do ar, T_a , a temperatura média radiante, T_{mr} , a humidade relativa do ar, HR , e a velocidade do ar, v_a , foram medidos de minuto em minuto, durante um período de uma hora.

⁴ - Os regulamentos energéticos actualmente em vigor em Portugal [4, 5] indicam temperaturas do ar para especificar condições de conforto.

⁵ - Temperatura que permite quantificar o efeito da radiação emitida pelas superfícies envolventes (por exemplo um pavimento aquecido) ou através delas (radiação solar a atravessar um vão envidraçado).

⁶ - Para velocidades do ar inferiores a 0,20 m/s, T_{op} é a média aritmética entre T_a e T_{mr} [2, 3].

Na Fig. 5 apresentam-se os equipamentos de medição das condições ambientes utilizados nos levantamentos efectuados e no Anexo II indicam-se as principais características dos transdutores que os constituem.



Fig. 5 – Sistemas de medição e de registo de parâmetros ambientais

Nos levantamentos efectuados no âmbito do presente estudo procurou-se sempre colocar os aparelhos de medida em locais não sujeitos à incidência directa da radiação solar, a cerca de 0,6 m do nível do pavimento⁷, e em local discreto de modo a provocar o mínimo de interferência no desenrolar da aula (vd. Fig. 5).

Com base nas medições dos parâmetros ambientais acima referidos, e na estimativa de parâmetros individuais⁸, designadamente, a resistência térmica conferida pelo vestuário⁹ de um indivíduo e a sua actividade metabólica, foram determinados dois índices térmicos: o *Voto Médio Previsível*, **PMV** (*Predicted Mean Vote*) e a *Percentagem Previsível de Insatisfeitos*, **PPD** (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), os quais pretendem estimar as percepções térmicas sentidas por um indivíduo num dado espaço interior.

A quantificação destes índices permite, de acordo com limites especificados em normalização em vigor (vd. 3.1), estimar se as condições existentes correspondem a níveis convencionais de conforto térmico.

Com o intuito de conhecer directamente as percepções térmicas dos utentes das salas de aulas em que se efectuaram medições, no final de cada aula monitorizada foi solicitado aos alunos presentes o preenchimento de um pequeno questionário (Anexo III), através do qual

⁷ - Altura que corresponde ao nível do abdómen de uma pessoa sentada (posição natural numa sala de aula) [2].

⁸ - Os dois parâmetros individuais foram estimados com base em observações visuais efectuadas *in loco*.

⁹ - Inclui-se ainda a resistência térmica resultante do contacto do indivíduo com o assento da cadeira de madeira.

foram inquiridos acerca do ambiente no interior da sala. Optou-se por não aplicar o questionário aos docentes para que estes pudessem esclarecer qualquer dúvida que surgisse aos alunos durante o preenchimento dos seus questionários. No entanto, face à facilidade evidenciada pelos alunos no preenchimento dos questionários pondera-se, nos próximos levantamentos a realizar, inquirir também os docentes.

A análise das percepções dos alunos nas salas de aulas estudadas permitiu não só avaliar se as condições existentes eram consideradas satisfatórias (do ponto de vista do conforto térmico) pelos ocupantes dos espaços (vd. 3.3), mas também comparar a apreciação global subjectiva dos inquiridos com os índices calculados com base nas medições dos parâmetros ambientais.

Para esse efeito foram usadas as respostas obtidas no questionário referentes à pergunta que questionava os inquiridos acerca da sua **sensação térmica** “Como se SENTE neste momento?” (pergunta 1.1, vd. Anexo III e Fig. 6).

A votação dos inquiridos relativamente à **sensação térmica** é expressa na escala apresentada na Fig. 6. As respostas indicadas pelos inquiridos são comparadas com os índices térmicos analíticos (*PMV* e *PPD*), determinados com base nas medições dos parâmetros ambientais e na estimativa dos parâmetros individuais (vd. 3.1).



Fig. 6 - Escala de sensação térmica (*sti*)

Em termos de **percepção térmica**, os inquiridos foram ainda questionados acerca da sua preferência térmica aquando da realização das medições.

Os inquiridos foram convidados a exprimirem a sua **preferência térmica**, *pti*, utilizando para o efeito a escala apresentada na Fig. 7. Assim, no final de cada aula cada inquirido manifestou-se acerca de como “GOSTARIA que estivesse a temperatura ?” (pergunta 1.2, vd. Anexo III).

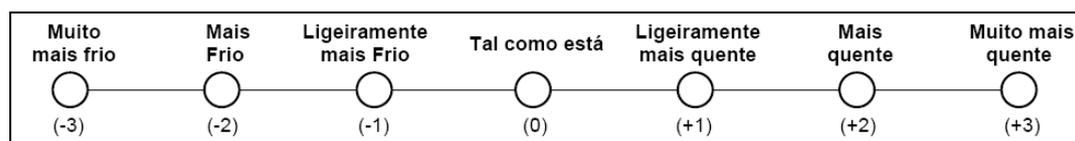


Fig. 7 – Escala de preferência térmica (*pti*)

No Quadro 2 identifica-se e caracteriza-se o conjunto de levantamentos das condições ambientes efectuados nas salas de aulas objecto de estudo nos blocos B e F da escola secundária *Vergílio Ferreira*, entre os dias 29 de Janeiro e 8 de Fevereiro do corrente ano,

que permite avaliar as correspondentes condições de conforto térmico.

Nesse quadro apresenta-se, ainda, para cada um dos levantamentos efectuados, outra informação complementar relevante, nomeadamente: o ano de escolaridade dos alunos; o número da turma; a idade média dos alunos que compõem a turma; o número de questionários obtidos.

Quadro 2 – Levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária *Vergílio Ferreira*

Levantamento	Bloco	Sala	Data	Horário	Ano	Turma	Idade	Nº de inquiridos	
Lev 1	B	B7	2 Fev	10:15-11:45	7º	2ª	12	18	
Lev 2		B8		10:15-11:45	7º	5ª	12	23	
Lev 3		B9	1 Fev	10:15-11:45	8º	2ª	13	22	
Lev 4			4 Fev	10:15-11:45	11º	5ª	16	27	
Lev 5		B10	1 Fev	10:15-11:45	10º	4ª	15	13	
Lev 6				10:15-11:45	9º	2ª	14	26	
Lev 7			4 Fev	13:45-15:15	7º	1ª	12	17	
Lev 8			F	F2	5 Fev	10:15-11:45	12º	1ª	17
Lev 9		8 Fev			10:15-11:45	12º	10ª	18	13
Lev 10		F5		29 Jan	12:00-13:30	10º	2ª	15	30
Lev 11	5 Fev		15:30-17:00	11º	4ª	16	11		

Salienta-se que foram inquiridos alunos de todos os anos de escolaridade nos levantamentos efectuados (vd. Quadro 2), abrangendo assim toda a faixa etária da escola.

2.3.2. Qualidade do ar interior (QAI)

Nas salas B5 (dia 19 de Fevereiro) e B9 (dia 25 de Março) foram também medidas e registadas as concentrações de CO₂, durante um período de aproximadamente um dia, em simultâneo com a temperatura e a humidade relativa do ar.

Para esse efeito foram utilizados (Fig. 8) um equipamento com sensor de infravermelhos para medir a concentração de CO₂ que permitiu medir e registar as concentrações do referido gás, de dois em dois minutos, e um dispositivo que possibilitou a aquisição dos valores referentes à temperatura e à humidade relativa do ar interior, durante o mesmo intervalo de tempo.



Fig. 8 – Equipamentos de medição e de registo em contínuo do CO₂, da temperatura e da humidade relativa do ar.

As medições em contínuo da concentração de CO₂ permitiram avaliar um dos aspectos relevantes para a percepção da qualidade do ar interior e estimar a taxa de renovação de ar das salas monitorizadas.

A estimativa da taxa de renovação de ar da sala foi obtida com base na taxa de decaimento da concentração de CO₂ quando a sala se encontra vazia depois das aulas. Efectivamente, após a sala de aula se encontrar vazia, se for considerado que o caudal de ventilação é aproximadamente constante, a evolução da concentração de CO₂ medida pode ser aproximada pela expressão 2 (obtida através da resolução da equação de conservação de massa em regime transiente, Eq. 1) e dessa forma ser determinada a taxa média de renovação do ar da sala de aula nesse período (Eq. 3).

$$V \cdot \frac{\partial c_{in}}{\partial t} = Q \cdot (c_{out} - c_{in}) \quad \text{Eq. 1}$$

$$c_{in}(t) = c_{out} + (c_{in}(0) - c_{out}) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Rph = Q / V \cdot 3600 \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

- t é o tempo (s)
- V é o volume interior do ar (m³);
- c_{in} é a concentração de CO₂ no ar interior;
- c_{out} é a concentração de CO₂ no ar exterior;
- Q é o caudal volúmico de ar de ventilação (m³/s);
- Rph é a taxa de renovação do ar.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Critério de avaliação

3.1.1. Conforto térmico

As recomendações de condições satisfatórias de conforto térmico aplicáveis a espaços interiores são expressas em termos, quer de temperaturas do ar ou operativa, quer de índices térmicos. Apresentam-se a seguir algumas dessas recomendações, especificadas em documentos regulamentares ou normativos, as quais serviram de base à apreciação das condições registadas no presente estudo.

a) Temperatura do ar

No domínio regulamentar o actual *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) [4] – que estabelece as regras a observar no projecto de edifícios de modo a assegurar a obtenção de condições interiores de conforto térmico sem consumo excessivo de energia – considera que *as condições ambientes de conforto de referência¹⁰ são uma temperatura do ar de 20 °C, para a estação de aquecimento, e uma temperatura do ar de 25 °C, e 50 % de humidade relativa, para a estação de arrefecimento.*

O *Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios* (RSECE) [5] adopta os requisitos de conforto térmico de referência fixados do RCCTE, *tendo ainda em conta que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e que quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados.* Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes [6].

b) Índices PMV e PPD

Com a determinação do índice *PMV* (*Voto Médio Previsível*) pretende-se estimar a sensação térmica num dado espaço interior a partir do conhecimento de parâmetros ambientais (temperaturas do ar e média radiante, velocidade e humidade do ar) e individuais (actividade física e vestuário). O *PMV* representa a opinião média de um grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, e expressa as respectivas sensações térmicas de acordo com a escala de sete níveis apresentada na Fig. 6.

O índice *PPD* procura estabelecer uma previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas

¹⁰ -Estes valores de referência são igualmente utilizados para o cálculo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

com as condições térmicas existentes. Este índice estima, para um grupo significativo de pessoas, a percentagem daquelas susceptíveis de se sentirem incomodadas termicamente, isto é, aquelas que escolheriam os valores +3, +2, -2 ou -3 (Fig. 6) para descrever a sua sensação térmica [2 e 8].

Os dois índices estão relacionados através da equação representada na figura seguinte.

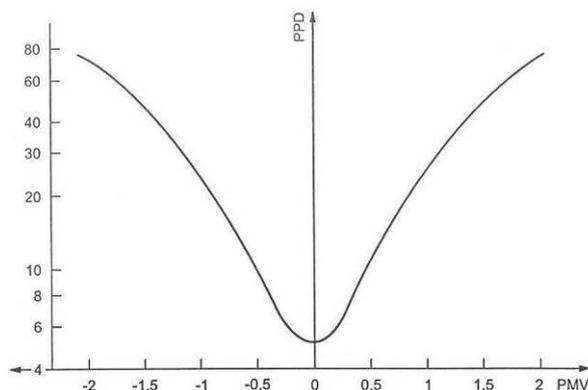


Fig. 9 – Percentagem Previsível de Insatisfeitos, *PPD*, em função do Voto Médio Previsível, *PMV* [6].

Os referidos índices térmicos são especificados para ambientes térmicos moderados e constituem a base da norma europeia EN ISO 7730 [8], sendo também considerados nas normas ASHRAE 55 [8] e EN 15251 [7], para a caracterização de ambientes interiores de edifícios climatizados.

Com base nos índices térmicos *PMV* e *PPD*, a normalização existente recomenda valores máximos de *PPD* para ambientes térmicos moderados (temperatura do ar < 26 °C) que correspondem a determinados intervalos de valores de *PMV*.

No Quadro 3 apresentam-se os valores recomendados, para várias classes de ambientes térmicos (com diferentes níveis de exigência que diminuem da classe A para a classe C), de modo a que um dado ambiente térmico seja considerado aceitável em termos dos índices *PPD* e *PMV*.

Quadro 3 – Ambientes térmicos e respectivas exigências [3]

Classe	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

A classe A (elevada expectativa) é recomendada pela norma para espaços ocupados por pessoas debilitadas com necessidades especiais (crianças, idosos e deficientes); a classe B é indicada para edifícios novos ou sujeitos a acções de reabilitação; finalmente, a classe C, pode adoptar-se em edifícios já existentes.

De acordo com a descrição dos edifícios estudados (vd. 2.2), para os espaços avaliados na presente fase do estudo pode admitir-se que a classe dos ambientes a considerar é a C. Tendo em conta os valores referidos no Quadro 3 são recomendados uma percentagem prevista de insatisfeitos (PPD) inferior a **15 %**, e um voto médio previsível (PMV) compreendido entre **- 0,7 e 0,7**.

Salienta-se, ainda, que a norma considera que poderá haver uma flexibilidade dos valores limites acima referidos quando os utentes do espaço em análise têm possibilidade, em períodos quentes, de utilizarem as janelas da envolvente exterior para alterar as condições ambientes interiores [3].

c) *Temperatura operativa*

Tal como já foi referido (vd. 2.3.1), a temperatura operativa do ar, T_{op} , é um parâmetro muito frequentemente utilizado para especificar as condições ambientes satisfatórias.

A norma europeia EN 15251 - *Criteria for the indoor environment including thermal, indoor air quality, lighting and noise* [7], refere-se à qualidade do ambiente interior em edifícios (ambiente térmico, qualidade do ar, iluminação e ruído). A referida norma especifica os critérios de concepção a utilizar no dimensionamento dos sistemas, assim como os parâmetros físicos mais influentes a considerar nos métodos de cálculo do desempenho energético dos edifícios e na avaliação do ambiente interior.

Em termos de conforto térmico a norma classifica os ambientes térmicos em função do grau de exigência estabelecido para o edifício em análise e para os seus ocupantes¹¹ (Quadro 4).

Quadro 4 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [7]

Classe	Descrição	Gama aceitável
I	Elevado nível de expectativa apenas usado em espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e débeis	± 2 °C
II	Expectativa normal (edifícios novos e reabilitados)	± 3 °C
III	Expectativa moderado (edifícios existentes)	± 4 °C
IV	Valores fora dos critérios acima estabelecidos (períodos limitados)	> 4 °C

A referida norma indica um critério de cálculo (modelo adaptativo) das gamas de temperatura aceitáveis para edifícios de serviços e residenciais, sem sistemas de climatização mecânicos activos¹², o qual considera que o facto de uma pessoa ter a possibilidade de se adaptar, alterando o seu vestuário, abrindo/fechando uma janela ou até

¹¹ - As classes de I a III (Quadro 4) são equivalentes às classes A a C apresentadas no Quadro 3.

¹² - Para edifícios climatizados a norma específica os limites aceitáveis dos índices *PMV* e *PPD* [7].

reduzindo a sua actividade, a torna mais tolerante (menos expectante) relativamente ao ambiente térmico circundante [7].

No modelo de cálculo constante da norma EN 15251 [7] a temperatura de conforto é determinada com base na temperatura exterior observada nos dias que antecedem as medições (temperatura média ponderada), e o “desvio” definido em torno daquele valor (o qual determina a gama de temperatura aceitável) depende da categoria em que o ambiente térmico é classificado (Quadro 4).

Atribuindo uma classe III (Quadro 4) aos espaços estudados e atendendo aos valores da temperatura exterior registados nos dias que antecederam as medições¹³, a temperatura operativa mínima considerada adequada pela norma referida é de **18,0 °C**.

Com base num estudo integrado num outro projecto de investigação¹⁴ foi desenvolvido no LNEC um modelo adaptativo que pretende avaliar e definir as condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios em Portugal [6]. Esse modelo adaptativo envolveu uma equipa interdisciplinar de investigadores das áreas das Ciências Sociais e de Engenharia, e baseou-se num conjunto significativo de resultados obtidos em levantamentos efectuados em edifícios de serviços (convencionais e de ensino) e residenciais (convencionais e especiais / lares de idosos).

De acordo com o modelo proposto resultante desse estudo (Fig. 10), o limite inferior da temperatura de conforto térmico, para as temperaturas exteriores¹⁵ verificadas no período de medição, é de **17,0 °C**.

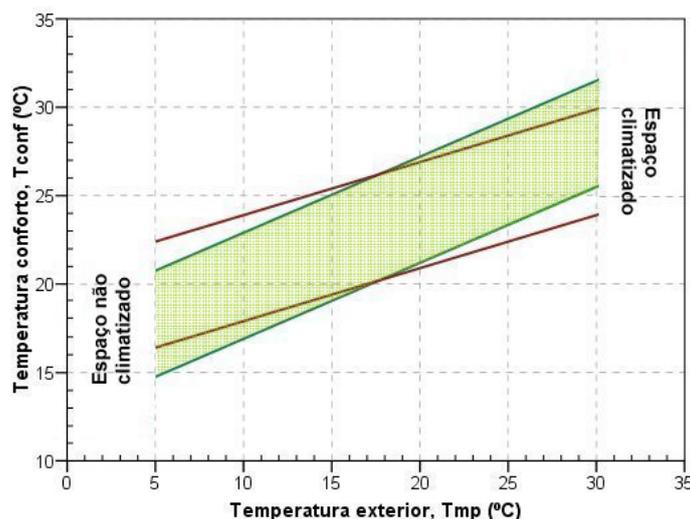


Fig. 10 – Temperaturas de conforto térmico para espaços interiores

¹³ - As temperaturas médias ponderadas exteriores para os períodos de medição considerados variaram entre (10,5 a 12,0 °C).

¹⁴ - Projecto FCT n.º PTDC/ECM/71914/2006.

¹⁵ - Expressas, tal como na norma EN 15251 [7], em termos de temperatura média exterior, exponencialmente ponderada, dos últimos sete dias [6].

3.1.2. Qualidade do ar interior (QAI)

De acordo com a legislação vigente RSECE [5] numa sala de aula é recomendado um caudal de ar novo de 30 m³/(h.ocupante), afectado pela eficácia de ventilação. Por outro lado, para assegurar a qualidade do ar interior a concentração de dióxido de carbono (CO₂) não deve exceder o valor máximo de 1800 mg/m³ (980 ppm) [5].

No Quadro 5 apresentam-se valores do caudal de ar novo propostos em normas europeias e americanas. Conclui-se que o valor de 30 m³/(h.ocupante) é de certa forma concordante com as classes médias (B e II) dos documentos normativos europeus [7][11], sendo claramente superior às classes de menor qualidade do ar interior (C e III) aplicáveis por exemplo a edifícios com ventilação natural. No Quadro 6 apresentam-se as concentrações de CO₂ máximas recomendadas para assegurar condições de conforto/qualidade do ar.

De acordo com valores do anexo B da norma ASHRAE 62.1 [10] o valor máximo absoluto recomendado para a concentração de CO₂ é de 5000 ppm, valor a partir do qual se manifestam sintomas como dores de cabeça e a perda de faculdades.

Quadro 5 – Caudais de ar novo de referência em salas de aula

Guia Referência	Observações	Caudal de ar [m³/(h/p)]
RSECE, 2006 [5]		30
ASHRAE 62.1, 2007 [10]		25
CR 1752, 1998 [11]	Classe A	43
	Classe B	30
	Classe C	17
EN 15251, 2007 [7]	Classe I	50
	Classe II	35
	Classe III	20

Valores determinados considerando edifícios com materiais sem classificação

Quadro 6 – Concentração máxima de CO₂ acima do valor exterior

Guia Referência	Observações	CO₂ (ppm)
RSECE, 2006 [5]		534 ¹
ASHRAE 62.1, 2007 [10]		700
CR 1752, 1998 [11]	Classe A	460
	Classe B	660
	Classe C	1190
EN 13779, 2007 [12]; EN 15251, 2007 [7]	Classe I	350
	Classe II	500
	Classe III	800

¹ Foi considerada uma concentração de CO₂ no ar exterior de 450 ppm e o valor limite do RSECE de 984 ppm

No âmbito da presente campanha de medições, a avaliação da qualidade do ar interior nas salas de aula foi efectuada medindo e analisando a concentração de CO₂ durante o período de medições.

3.2. Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos

Durante o período de medições que decorreu entre 29 de Janeiro e 8 de Fevereiro de 2010 (campanha experimental de Inverno) foram efectuados onze levantamentos das condições ambientes em quatro salas do bloco B e duas salas do Bloco F da escola secundária *Vergílio Ferreira* (vd. 2.2).

No Quadro 7 apresentam-se os resultados dos principais parâmetros ambientes interiores registados durante os levantamentos efectuados (*Lev.*), nomeadamente: os valores mínimos, médios e máximos da temperatura operativa e da humidade relativa; os valores médios da temperatura do ar interior e da temperatura média exterior, assim como a humidade relativa exterior registados¹⁶ durante o período de medição (1 hora).

No quadro 7 indicam-se ainda, os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) calculados com base nos parâmetros interiores registados e em valores individuais estimados (actividade e vestuário). Tendo em conta a actividade física desenvolvida pelos alunos no decorrer das aulas, típica de uma aula normal (aluno sentado a escrever), e face à informação recolhida da observação visual do técnico que efectuou os levantamentos, os valores estimados para os referidos parâmetros individuais no cálculo dos índices térmicos foram:

- Taxa de metabolismo, *M*: **1,1 Met**
- Resistência térmica do vestuário, *I_{CL}*: **1,1 clo**¹⁷

Salienta-se no entanto que a aplicação dos índices térmicos é mais apropriada para edifícios climatizados (vd. 3.1.1). Assim, tendo em conta que durante os levantamentos efectuados no âmbito do presente estudo não houve, em geral, aquecimento artificial dos espaços, podem colocar-se sérias reservas quanto à estimativa das condições de conforto térmico através do uso dos referidos índices térmicos.

Constam ainda do quadro seguinte outros factores influentes nas condições térmicas ambientes (condições na sala de aula), registados no decorrer dos levantamentos efectuados.

¹⁶ - Embora, no âmbito do presente projecto já tenha sido instalada uma estação meteorológica no recinto da escola, durante o período de medição do presente estudo ainda não existiam registos do clima exterior local. Nesse sentido utilizaram-se valores medidos e registados em Lisboa [9].

¹⁷ - Além da resistência térmica do vestuário, considerou-se, ainda, uma resistência térmica adicional (0,10 *clo*) resultante do contacto de um indivíduo com a superfície de uma cadeira [6].

Quadro 7 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária Vergílio Ferreira

Lev.	Sala	Condições na sala de aula	Parâmetros ambientais										Índices térmicos	
			T _a (°C)	T _{op} min	T _{op} med	T _{op} max	HR min	HR med	HR max	T _{ext}	HR _{ext}	PMV	PPD (%)	
Lev 1	B7	Janela entreaberta	17,6	15,6	17,3	17,8	46	52	57	8,0	76	-1,0	25,3	
Lev 2	B8	Janela entreaberta Iluminação ligada	16,8	15,1	15,9	16,1	50	54	57	8,0	76	-1,2	35,2	
Lev 3	B9	Janela entreaberta Iluminação ligada	14,6	13,6	14,2	14,4	69	71	73	10,0	82	-1,7	61,8	
Lev 4		Iluminação ligada	16,1	15,2	15,6	15,8	79	85	86	14,0	100	-1,2	35,2	
Lev 5	B10	Janela entreaberta Iluminação ligada	17,2	14,9	16,2	17,1	62	64	65	10,0	82	-1,0	26,1	
Lev 6			17,3	15,4	16,7	17,0	77	79	82	14,0	100	-0,9	22,9	
Lev 7			16,3	15,7	16,3	17,2	81	89	96	15,0	100	-1,1	30,5	
Lev 8	F2	Iluminação ligada	17,0	15,1	16,6	17,2	67	71	74	15,0	67	-1,0	26,1	
Lev 9			15,8	15,3	15,6	15,9	78	79	82	15,0	77	-1,3	40,3	
Lev 10	F5	Aquecimento ligado Iluminação ligada	16,6	15,7	16,2	16,5	68	70	72	13,0	82	-1,3	40,3	
Lev 11		Janela entreaberta Iluminação ligada	16,5	16,1	16,4	16,5	66	68	70	16,0	63	-1,3	40,3	

T_a – Temperatura do ar interior

T_{ext} – Temperatura do ar exterior

PMV – Voto Médio Previsível

T_{op} – Temperatura operativa do ar

HR_{ext} – Humidade relativa do ar exterior

HR – Humidade relativa interior

PPD – Percentagem Média de Insatisfeitos

Os valores obtidos para o índice *PMV* indicam que, de acordo com a escala de sensação térmica (Fig. 6), a opinião média estimada para um grupo de indivíduos varia entre o “ligeiramente frio” ($PMV = -0,9$) e o “frio” ($PMV = -1,7$), o que corresponde a uma percentagem de insatisfeitos (*PPD*) de 23 %.

Relativamente à temperatura operativa, T_{op} , verifica-se que esta variou, ao longo de todos os levantamentos efectuados, entre uma temperatura mínima de 13,6 °C e uma máxima de cerca de 18,0 °C.

Em termos médios os valores de T_{op} variaram entre **14,0 e 17,0 °C**.

Com se pode verificar na Fig. 11 a temperatura operativa foi sempre subindo ao longo de cada um dos levantamentos efectuados. O aumento de temperatura observada, em cada período de uma hora, variou entre 0,5 °C e cerca de 2,0 °C (Quadro 7).

Tendo em conta que apenas num dos levantamentos efectuados o sistema de aquecimento (aquecedor ou termoventilador) estava ligado (*Lev. 10*, *vd. Quadro 7*), aliado ao facto do céu ter estado quase sempre encoberto (ganhos solares reduzidos), conclui-se que o aumento de temperatura evidenciado no gráfico da Fig. 11 se deve, maioritariamente, ao calor produzido no interior das salas pelos respectivos ocupantes.

Salienta-se, ainda, que na maioria das salas de aulas existia uma janela entreaberta durante o período de medições (Quadro 7). Tendo em conta as baixas temperaturas exteriores, características da época do ano, a abertura das janelas teve como objectivo renovar o ar interior das salas para assegurar condições de qualidade do ar interior¹ (QAI).

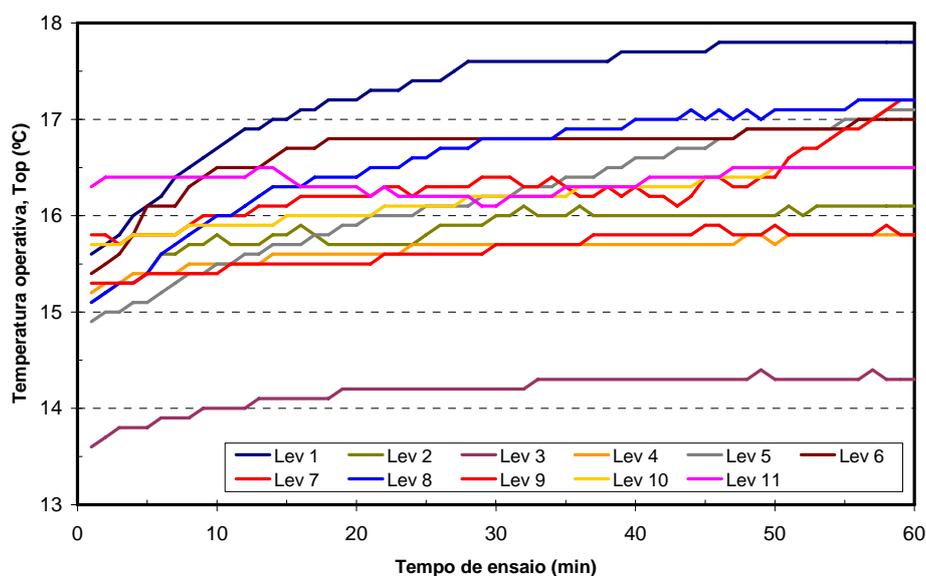


Fig. 11 – Evolução da temperatura operativa, T_{op} , ao longo dos levantamentos efectuados

¹ - Facto confirmado por alguns docentes.

No que diz respeito à humidade relativa interior, em termos gerais, os valores mantiveram-se estáveis ao longo de cada levantamento (Fig. 12). Todavia os valores registados nos vários levantamentos da campanha de medições efectuada variaram, consideravelmente, entre 45% e 95% (Quadro 7). De referir que em várias salas a humidade relativa se manteve com valores superiores a 70%.

Apesar de grande parte das salas de aula terem as suas janelas entreabertas, o número de ocupantes, as elevadas humidades relativas exteriores registadas no decorrer dos levantamentos efectuadas (vd. 3.2, Quadro 7) e as temperaturas interiores relativamente baixas, justificam a ocorrência de humidades relativas interiores elevadas.

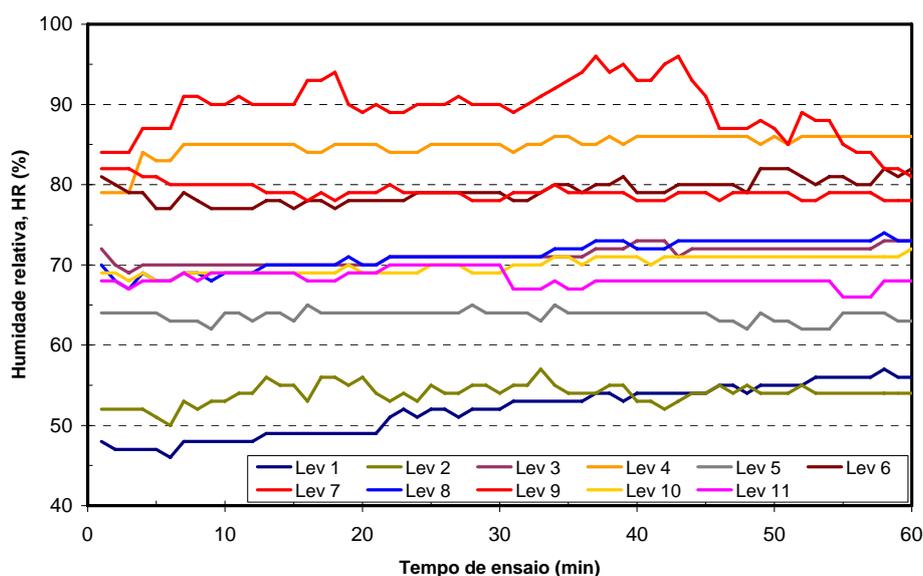


Fig. 12 – Evolução da humidade relativa, *HR*, ao longo dos levantamentos efectuados

A análise dos resultados apresentados no Quadro 7, face às recomendações indicadas em 3.1, permite retirar as seguintes ilações acerca das condições térmicas registadas nas salas de aula:

- Tendo em conta a temperatura de *referência* de conforto indicada na legislação energética (vd. 3.1a) actualmente em vigor em Portugal (**20,0 °C** no período de aquecimento), os resultados das medições obtidos, cujo valor máximo da temperatura do ar foi de **17,6 °C** (Quadro 7), evidenciam que as condições registadas se afastaram das condições de referência de conforto indicadas na regulamentação, por diferenças de mais de **2,0 °C** (tendo-se registado uma diferença máxima de 5,4 °C);
- considerando os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) – que entram já em conta com os efeitos de outros parâmetros ambientais além da temperatura do ar e, ainda, com parâmetros individuais (actividade e vestuário) –, e os limites recomendados (vd. 3.1b) nas normas EN ISO 7730 e ASHRAE 55 ($PPD < 15\%$; $-0,7 < PMV < 07$), verifica-se que os resultados dos índices calculados (Quadro 7) se afastam dos valores mínimos

especificados, indiciando situações nítidas de desconforto térmico, segundo os critérios propostos por aquelas normas. Os resultados obtidos revelam que, com as condições ambientes existentes, no mínimo 23% dos ocupantes estão desconfortáveis;

- numa abordagem adaptativa (vd. 3.1c), isto é adoptando modelos que consideram que, além dos factores físicos, os factores psicológicos e fisiológicos também têm um forte influência na definição de conforto térmico, os limites indicados para situações de conforto térmico são mais tolerantes. Neste caso como atrás se referiu, para as temperaturas exteriores registadas no período em estudo, a temperatura mínima de conforto é de **18,0 °C** ou de **17,0 °C**, respectivamente, aplicando o modelo adaptativo especificado na norma europeia EN 15 251 [7] ou o modelo proposto num estudo de investigação desenvolvido pelo LNEC [6].

Comparando a temperatura mínima resultante da aplicação do segundo modelo adaptativo (17 °C), com as temperaturas operativas registadas durante alguns levantamentos (*Lev 6 e Lev 8*, vd. Quadro 7) verifica-se que os valores obtidos nas medições são muito próximos da referida temperatura mínima de conforto, inclusive no levantamento 1 (vd. Quadro 7), a temperatura média operativa é superior aquele valor mínimo.

3.3. Percepções térmicas

No sub-capítulo anterior apresentaram-se os resultados referentes aos parâmetros ambientais (objectivos) determinantes na descrição da percepção térmica dos utentes, e na consequente definição das suas condições de conforto térmico.

De seguida descrevem-se e analisam-se as percepções térmicas individuais dos utentes, nomeadamente, a *sensação* e a *preferência* térmicas expressas nos questionários aplicados aos alunos aquando da realização dos levantamentos.

De modo a avaliar a sensação humana no contexto de um determinado ambiente térmico interior foi utilizada a escala atrás descrita (vd. 2.3.1, Fig. 6), através da qual cada inquirido manifestou a sua *sensação* térmica durante o período em que decorreu a medição dos parâmetros ambientais interiores.

Na Fig. 13 representa-se a distribuição de todas as respostas referentes à *sensação* térmica (Fig. 6) fornecidas pelo conjunto de alunos inquiridos (N = 224) ao longo dos levantamentos efectuados nos várias salas estudadas (Quadro 1).

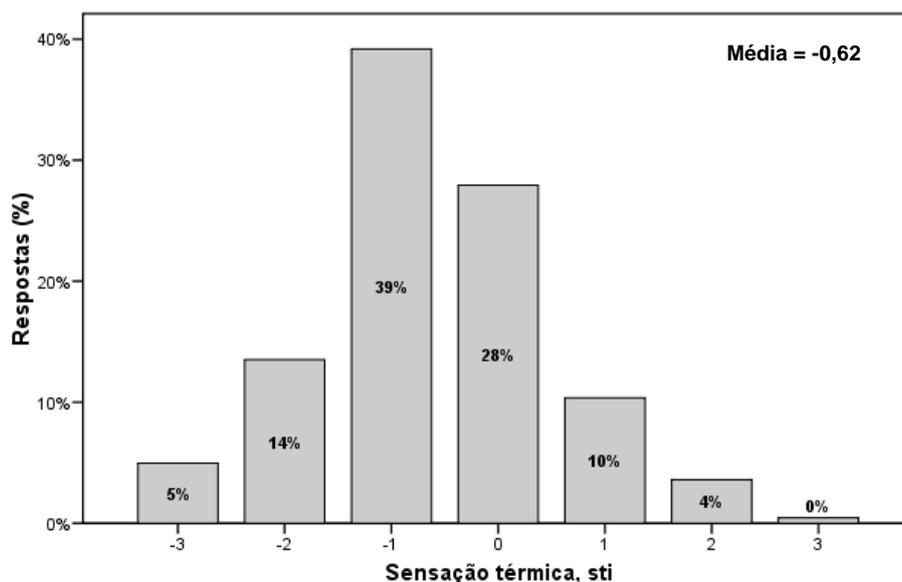


Fig. 13 – Distribuição das respostas de *sensação térmica* dos inquiridos

De uma forma global, observando a figura anterior podem ser retiradas as seguintes ilações:

- A distribuição de respostas indica uma tendência para uma sensação global de frio, visto cerca de 60% dos inquiridos terem respondido entre “*ligeiramente frio*” ($sti = -1$) e “ *muito frio*” ($sti = -3$);
- ainda assim, cerca de 30 % de inquiridos consideraram não ter “*nem frio nem calor*” ($sti = 0$).
- considerando que os valores de $sti = \pm 2$ e ± 3 correspondem a sensações de desconforto térmico (insatisfação), verifica-se que cerca de 23% do total das respostas revela uma sensação de insatisfação dos utentes face às condições ambientes existentes.

Tal como já foi referido (vd. 2.3.1), após a indicação da sensação térmica nos questionários, os inquiridos foram convidados a exprimirem a sua *preferência* térmica, *pti*, utilizando para o efeito a escala apresentada na Fig. 7 (vd. 2.3.1).

A distribuição das respostas referentes à preferência térmica, proporcionadas por todos os alunos inquiridos durante os levantamentos efectuados é representada na Fig. 14.

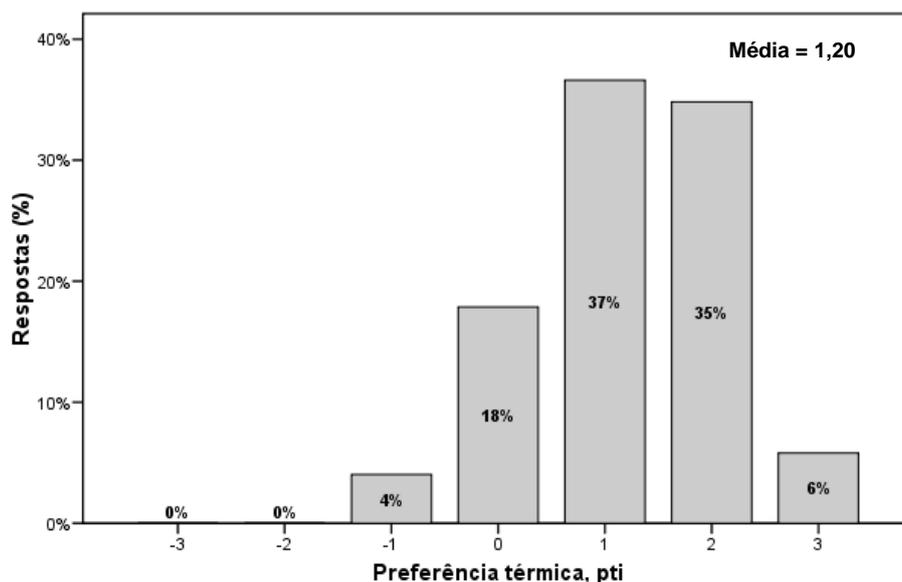


Fig. 14 – Distribuição das respostas de *preferência* térmica dos inquiridos

Analisando o gráfico da figura anterior podem-se fazer as seguintes observações:

- Cerca de 20% dos inquiridos preferia manter as condições ambientes interiores como estavam ($pti = 0$);
- a grande maioria das restantes respostas (78 %) indica uma preferência para temperaturas mais elevadas ($pti = 1$ a 3);
- apesar de, apenas 19% dos inquiridos terem referido sentirem com “frio” ou com “muito frio” ($sti = -2$ e -3 ; vd. Fig. 13), 35% de alunos manifestou vontade de estar “mais quente”, ou “muito mais quente” ($pti = 2$ e 3).

A análise anteriormente efectuada avaliou as percepções térmicas em termos individuais (sti e pti). De seguida considera-se a *sensação* térmica média¹, **stm**, calculada para cada levantamento. Nesse sentido apresenta-se no Quadro 8 a *sensação* térmica média obtida em cada aula objecto de estudo, assim como a correspondente temperatura interior.

Indica-se, ainda, no mesmo quadro, a percentagem de insatisfeitos, **Pins**, calculada para cada levantamento, a qual corresponde à percentagem de votos de *sensação* térmica individuais de desconforto ($sti = \pm 2$ e ± 3).

¹ - Média aritmética de todas as *sensações* térmicas individuais (sti) obtidas num levantamento.

Quadro 8 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em salas de aulas dos blocos B e F da escola secundária *Vergílio Ferreira*

Levantamento	Sala	Temperatura operativa (T_{op})	Sensação térmica média (stm)	Percentagem de insatisfeitos ($Pins$)
Lev 1	B7	17,6	0,8	38,9
Lev 2	B8	16,8	- 0,3	8,7
Lev 3	B9	14,6	- 0,7	19,0
Lev 4		16,1	- 1,7	63,0
Lev 5	B10	17,2	- 0,6	23,1
Lev 6		17,3	- 0,1	11,5
Lev 7		16,3	- 0,9	17,6
Lev 8	F2	17,0	- 0,3	4,2
Lev 9		15,8	- 0,9	15,4
Lev 10	F5	16,6	- 1,0	17,2
Lev 11		16,5	- 0,8	27,3

Os valores obtidos para a sensação térmica média, stm , indicam que, de acordo com a escala de sensação térmica (vd. 2.3.1, Fig. 6), a opinião média dos inquiridos expressa nos questionários, com a excepção de dois levantamentos (*Lev 1* e *Lev 4*), varia entre o "nem quente nem frio" ($stm = - 0,3$) e o "ligeiramente frio" ($stm = - 1,0$).

Em termos de percentagem de insatisfeitos, $Pins$, os valores obtidos variaram entre 4% e 63%.

Comparando os resultados apresentados no quadro anterior com os índices térmicos PMV e PPD obtidos (vd. 2.3.1, Quadro 7) que, justamente, pretendem estimar, quer a sensação térmica média de um grupo de indivíduos, quer a percentagem de insatisfeitos, verifica-se uma clara divergência entre os votos estimados (índices) e expressos (questionário) pelos alunos em todos os levantamentos efectuados (Fig. 15 e Fig. 16).

Este facto justifica a tendência verificada nas últimas versões da normalização internacional [7][8] no sentido de recomendar a não utilização dos índices térmicos (PMV e PPD) para a avaliação das condições de espaços não-climatizados.

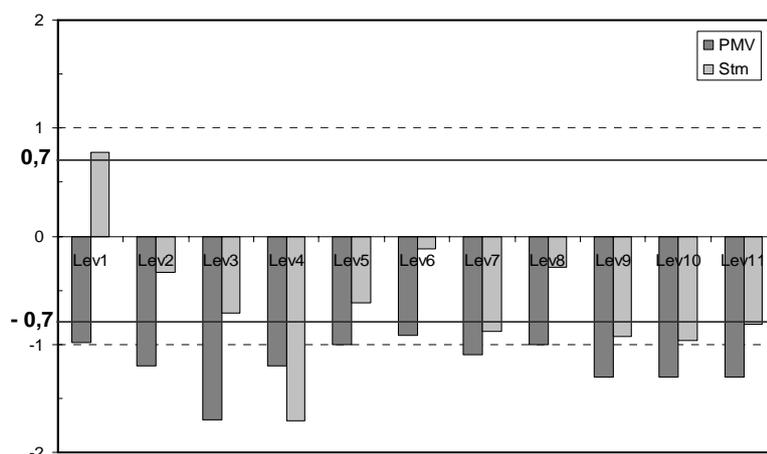


Fig. 15 – Resultados de *stm* e de *PMV* nos levantamentos efectuados

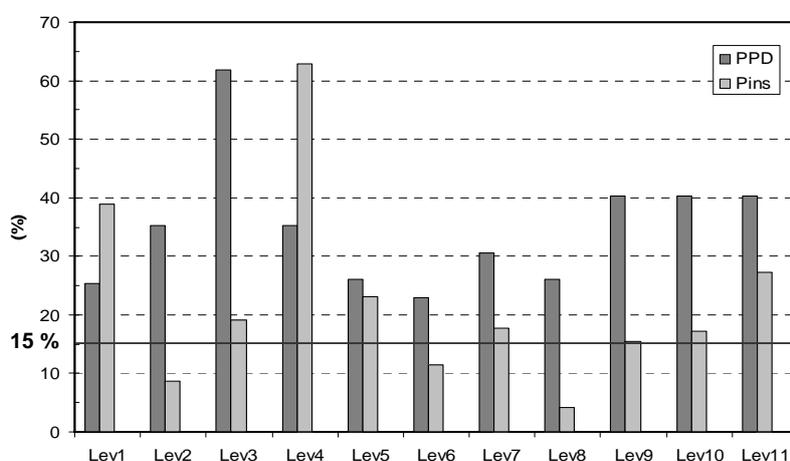


Fig. 16 – Resultados de *Pins* e de *PPD* nos levantamentos efectuados

Considerando os valores médios calculados (para cada levantamento), referentes à *sensação térmica (stm)* e à percentagem de insatisfeitos (*Pins*), e tendo em conta os limites recomendados, respectivamente, para *PMV* e *PPD* na normalização existente ($-0,7 < PMV < +0,7$; $PPD < 15\%$) [3], verifica-se que, com base na opinião dos ocupantes dos espaços analisados, as condições ambientes observadas nalguns levantamentos efectuados foram satisfatórias¹ (*Lev 2, 6 e Lev 8*, Fig. 15 e Fig. 16).

No caso dos levantamentos 6 e 8, estas observações estão em concordância com as considerações tecidas no resultado da aplicação de modelo adaptativo desenvolvido no LNEC (vd. 3.2), nas quais se concluiu que foram atingidas condições mínimas de conforto térmico nesses levantamentos.

¹ - Levantamentos nos quais os critérios para *stm* e *Pins* foram simultaneamente cumpridos ($-0,7 < stm < 0,7$ e $Pins < 15\%$).

Nesse sentido considera-se que a aplicação do referido modelo adaptativo foi adequada para a avaliação das condições de conforto dos espaços analisados, tendo em conta as actuais expectativas baseadas na vivência anterior dos utentes (alunos).

3.4. Qualidade do ar interior (QAI)

Na Fig. 17 apresenta-se a evolução da concentração de CO₂ na sala de aula B9. A concentração de CO₂ medida no ar exterior é de 470 ppm.

Nessa figura é possível verificar que após o início do registo existe o decaimento exponencial da concentração de CO₂, para o qual se estima uma taxa de renovação de ar da sala Rph de 0,22. Nesse período encontravam-se fechadas todas as janelas da sala de aula.

Das 15h40 até às 17h30 existe ocupação da sala, onde possivelmente são entreabertas janelas. Neste período verifica-se que a concentração de CO₂ excede claramente os valores de conforto (vd. 3.1.2, Quadro 6), contudo não é excedido o valor máximo absoluto recomendado para a concentração de CO₂ de 5000 ppm (ASHRAE [10]).

Depois da sala se encontrar vazia, através do decaimento da concentração de CO₂ é possível estimar uma taxa de renovação de ar (Rph) de cerca de 0,35 h⁻¹, devido à provável existência de algumas janelas parcialmente abertas.

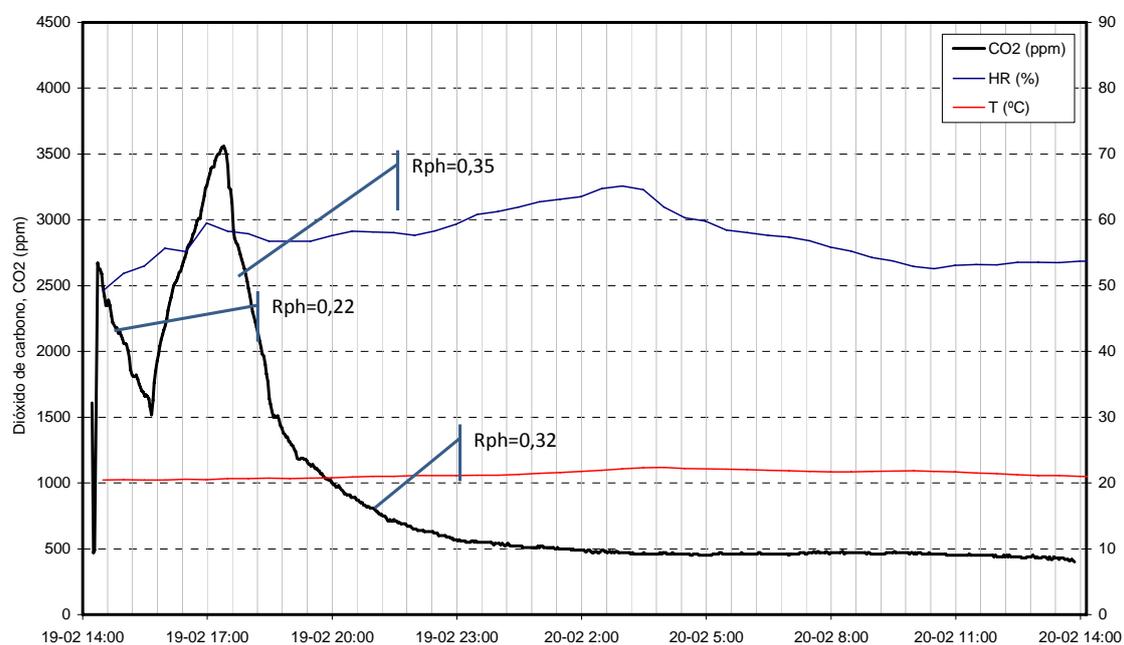


Fig. 17 – Evolução da concentração de CO₂ na sala B9

Atendendo a que a sala tem um volume de cerca de 237 m³, para as duas taxas de renovação de ar determinadas são estimados caudais de ar novo de 52 m³/h e de 83 m³/h.

Tendo a sala 32 lugares seria recomendável, de acordo com o RSECE (vd. 3.1.2, Quadro 6), ter uma taxa de renovação de ar de 960 m³/h. Por outro lado, se fosse adoptada a classe III de qualidade do ar interior prevista na norma EN 15251 seria recomendável um caudal de ar novo de 665 m³/h ($R_{ph} = 2,7 \text{ h}^{-1}$). Portanto, em qualquer dos casos, os caudais de ar medidos são manifestamente inferiores aos caudais recomendados.

Na Fig. 18 apresenta-se a evolução da concentração de CO₂ na sala de aula B5.

Nessa figura é possível verificar que após o início do registo existe o decaimento exponencial da concentração de CO₂ que conduz a uma taxa de renovação de ar de 0,83 h⁻¹. No dia seguinte, na primeira aula (eventualmente com todas as janelas fechadas) a taxa média de renovação de ar é de 0,32 h⁻¹. Nos períodos subsequentes em que a sala se encontra vazia as taxas médias de renovação de ar são de 0,97 e 0,63 h⁻¹.

Nos períodos de ocupação verifica-se que a concentração de CO₂ excede claramente os valores de conforto (vd. 3.1.2, Quadro 6), contudo não é excedido o valor máximo absoluto de 5000 ppm recomendado para a concentração de CO₂.

Dos registos da temperatura e da humidade relativa do ar efectuados durante as medições da concentração de CO₂ também se infere que a ocupação conduz a um aumento da temperatura e a um aumento importante da humidade relativa do ar interior que, neste caso particular, não chega a exceder o valor de 70% HR.

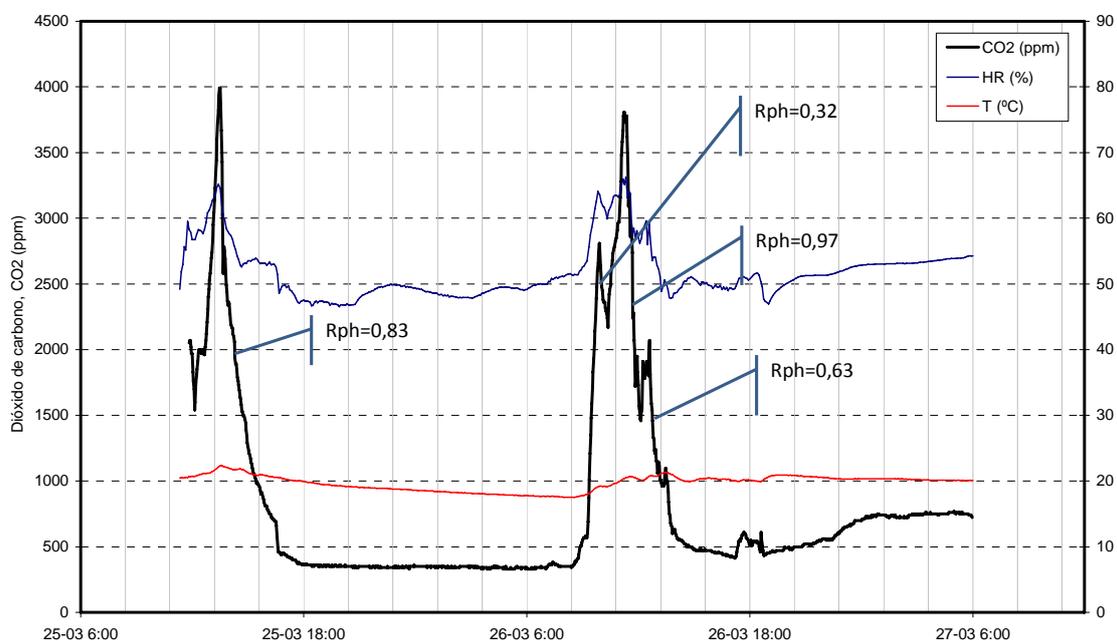


Fig. 18 – Evolução da concentração de CO₂ na sala B5

Atendendo a que esta sala tem um volume de cerca de 157 m³, é estimado um caudal de ar novo de 130 m³/h.

A sala tendo 33 lugares (32 lugares para alunos e 1 professor), seria recomendável ter uma taxa de renovação de ar de 990 m³/h. Portanto o caudal de ar novo existente na sala é claramente inferior ao recomendado pelas normas e pelo RSECE (vd. 3.1.2, Quadro 5).

No Quadro 9 seguinte sintetizam-se os resultados obtidos na estimativa dos caudais de ar novo e os valores recomendados na regulamentação e na norma europeia EN 15251 [7].

Quadro 9 – Resumo dos critérios e resultados das medições dos caudais de ar

Sala	B5	B9
Ocupantes	33	32
Volume (m ³)	157	237
Requisitos RSECE		
m ³ /h	990	960
<i>Rph</i>	6,3	4,1
EN 15251 - Classe III		
m ³ /h	665	645
<i>Rph</i>	4,2	2,7
Caudais de ar medidos		
<i>Rph</i> - Infiltração	0,32	0,22
<i>Rph</i> - Ventilação	0,97	0,35

4 - CONCLUSÕES

Nos capítulos precedentes apresentaram-se os resultados de um programa de levantamentos pontuais efectuados em diversas salas de aulas dos blocos B e F da Escola secundária *Vergílio Ferreira*, durante o período compreendido entre 29 de Janeiro e 8 de Março de 2010.

Aquando da realização deste primeiro programa de medições a generalidade das salas de aula dos edifícios estudados – com características de uma escola “tradicional” (último quarto do século XX) – possuía um número limitado de dispositivos de aquecimento isolados (aquecedores a óleo ou termoventiladores). A renovação do ar desses espaços era assegurada por meio da abertura de janelas.

Os levantamentos consistiram na medição de vários parâmetros ambientais interiores no decorrer das aulas, assim como da recolha da opinião dos alunos que frequentam os espaços estudados, através de um inquérito por questionário, relativamente às condições ambientes interiores.

Durante o período de um dia foram ainda medidas e registadas em contínuo, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), de modo a avaliar, quer um dos parâmetros relevantes para a qualidade do ar interior, quer as taxas de renovação no interior de duas salas de aula.

Com este conjunto de medições pretendeu-se avaliar as condições ambientes no interior das salas de aulas de dois blocos da Escola, antes de estes serem sujeitos a obras de reabilitação e de modernização no âmbito do projecto Parque Escolar.

As principais conclusões que se podem retirar do programa de levantamentos efectuados no período de Inverno são as seguintes:

- as condições ambientes (temperaturas médias entre cerca de 15 °C e 18 °C) afastam-se da temperatura convencional de referência de conforto actualmente indicada na regulamentação nacional [4][5] em vigor;
- se se adoptarem os valores normativos recomendados para os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) [3][7][8] (embora mais vocacionados para aplicação a espaços climatizados), também nesta opção se identificam situações de desconforto térmico em todos os levantamentos realizados;
- quando se considera uma aproximação adaptativa, mais adequada à avaliação das condições ambientes em edifícios não-climatizados, os valores determinados para a temperatura operativa interior aproximam-se, um pouco mais, dos limites inferiores propostos (17/18 °C) em função das condições climáticas exteriores registadas.

Em particular, a aplicação de um modelo adaptativo recentemente desenvolvido no LNEC considera atingidas condições mínimas de conforto térmico nalguns dos levantamentos

efectuados, em concordância com as percepções térmicas expressas pelos utentes dos espaços correspondentes. Este facto permite concluir que o referido modelo traduz melhor as anteriores e, ainda, actuais *percepções e expectativas* (ou *adaptação*) dos alunos no que se refere às condições ambientes das salas de aulas.

Quando os alunos das salas de aula estudadas foram, directamente, inquiridos por questionário acerca das suas percepções térmicas (durante a estação fria) verifica-se que a percentagem de *insatisfeitos* representa apenas cerca de 23% dos alunos inquiridos, embora a grande maioria (78%) tenha expressado uma *preferência* por uma temperatura ambiente mais elevada.

No que diz respeito à qualidade do ar interior (QAI), salienta-se que a escola não se encontra dotada de um sistema de ventilação natural ou mecânica, registando-se concentrações interiores de CO₂ superiores aos limiares de conforto (Quadro 6), bem como a estimativa das taxas de renovação de ar são substancialmente inferiores aos caudais de ar novo preconizado no RSECE e em normas de referência (Quadro 5). A concentração máxima de CO₂ atinge valores de 4000 ppm, indicando uma baixa qualidade do ar interior (perceptível pelo odor corporal existente na sala), sem contudo se considerar que a concentração de CO₂ coloque em causa a saúde dos ocupantes, pois é um valor inferior ao valor limite de 5000 ppm.

Das medições efectuadas verifica-se que os ocupantes tentam controlar a QAI intensificando a renovação do ar através da abertura das janelas. De uma forma geral, com as janelas fechadas a taxa de renovação de ar devido às infiltrações é de 0,2 *Rph* e com a abertura de algumas folhas de correr é possível obter uma taxa de renovação de ar *Rph* de 1,0. Este valor (*Rph* = 1,0) continua a ser insuficiente face aos valores correspondentes à classe III de qualidade ao ar da norma EN 15251. No entanto, caso o edifício estivesse dotado de grelhas de ventilação ou de bandeiras de ventilação que deflectissem o ar novo para a zona do tecto, poderia aumentar-se a taxa de renovação de ar, sem comprometer o conforto dos ocupantes, e dessa forma possivelmente atingir valores que fossem compatíveis com a classe III de qualidade do ar interior da norma EN 15251.

Os levantamentos e os inquéritos por questionário a efectuar no próximo período quente (Maio) irão permitir completar a apreensão das condições ambientais existentes nas salas de aula e da forma com os respectivos utentes as percebem.

Prevê-se que a intervenção de reabilitação a que a Escola está a ser submetida poderá vir a introduzir alterações significativas, quer naquelas condições, quer nos consumos energéticos associados aos novos sistemas a instalar e às novas *exigências/expectativas* dos utentes.

Após a conclusão da intervenção de reabilitação e o retorno dos alunos às salas de aulas estudadas realizar-se-á um novo programa de medições e de inquéritos. Com este programa

pretende-se analisar a alteração das expectativas, das exigências e da satisfação dos alunos, professores e demais população escolar com as novas condições criadas, a par da compreensão do relacionamento e da interação com os novos meios e tecnologias disponibilizados.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Junho de 2010.

VISTO

O Chefe da Equipa de Projecto Especial
Edificação Sustentável



Carlos Alberto Pina dos Santos

O Conselho Directivo



Carlos Pina
Vice-Presidente do LNEC

AUTORIAS



Luís Matias
(Assistente de Investigação)



Carlos Alberto Pina dos Santos
(Investigador Principal)



Armando Teófilo Pinto
(Investigador Auxiliar)

BIBLIOGRAFIA

1. *Escola Secundária de Vergílio Ferreira – Projecto educativo*. Disponível em <URL:http://www.esec-vergilio-ferreira.rcts.pt/projecto/projecto_educativo.pdf> (consulta em Março de 2010).
2. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN) – *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726:1998)*. EN ISO 7726: 2001.
3. CEN – *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 7730:2005)*. EN ISO 7730:2005.
4. /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril)*. Diário da República nº 67, I SÉRIE-A, p. 2468 a 2513.
5. /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril)*. Diário da República nº 67, I SÉRIE-A, p. 2416 a 2468.
6. MATIAS, L. – *Desenvolvimento de um modelo adaptativo para avaliação das condições de conforto térmico em Portugal*. Tese de Doutoramento entregue no IST para apresentação pública. Lisboa: Outubro de 2009.
7. CEN – *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. EN 15251:2007.
8. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) – *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004.
9. *Weather Underground. Estação meteorológica da Portela*. Disponível em <URL:<http://www.wunderground.com>> (consulta em Abril de 2010).
10. ASHRAE – *Ventilation and acceptable indoor air quality*. Atlanta: ASHRAE 62.1:2004.
11. CEN – *Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment*. Brussels: CR 1752: 1998.
12. CEN – *Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*. Brussels: EN 13799:2007.

ANEXO I – FOTOGRAFÍAS DAS SALAS ESTUDADAS



Sala B5 (orientação Sul)



Sala B7 (orientação Este)



Sala B8 (orientação Este)

Fig. I.1 – Aspecto das salas de aulas estudadas do bloco B



Sala B9 (orientação Norte)



Sala B10 (orientação Sul)

Fig. I.1 (cont.) – Aspecto das salas de aulas estudadas do **bloco B**



Sala F2 (orientação Norte)



Sala F5 (orientação Sul e Este)

Fig. I.2 – Aspecto das salas de aulas estudadas do **bloco F**

ANEXO II – INSTRUMENTAÇÃO

II.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES

Para a avaliação das condições ambientes foram utilizados dois equipamentos de análise de condições em ambientes térmicos interiores que incluem, cada um, cinco sondas da marca BRÜEL & KJÆR. Estas sondas permitiram a medição de vários parâmetros ambientes, nomeadamente, a temperatura e a humidade relativa do ar, a velocidade do ar, a temperatura operativa e a temperatura média radiante.

Os parâmetros sujeitos a medição foram registados durante o período de uma hora com um intervalo de registo de um minuto. Seguidamente são referidas as principais características das sondas utilizadas.

Temperatura do ar

O sonda de medição da temperatura do ar (resistência de platina Pt 100) apresentava as seguintes características principais:

- **Gama de medida:** - 20 a 50 °C
- **Exactidão:** $\pm 0,5$ °C (indicação do fabricante)

Humidade relativa do ar

A sonda de medição da humidade relativa utilizada era um transdutor de ponto de orvalho com as seguintes características gerais:

- **Gama de medida:** Temp. do ar (T_a) - temp. do ponto de orvalho (T_{po}) < 25 °C
- **Exactidão:** $T_a - T_{po} < 10$ °C : $\pm 0,5$ °C
 $T_a - T_{po} < 25$ °C : $\pm 1,0$ °C

Velocidade do ar

As características principais da sonda de medição da velocidade do ar (anemómetro de elipsóide omnidireccional) eram as seguintes:

- **Gama de medida:** 0,05 a 1 m/s
- **Exactidão:** $\pm 0,05$ m/s

Temperatura operativa

As características principais da sonda de medição da temperatura operativa eram as seguintes:

- **Gama de medida:** 5 a 40 °C
- **Exactidão:** $\pm 0,3$ °C

Para a medição da concentração de CO₂ foi utilizado um equipamento da marca GFG modelo G750 Polytecor II, constituído por uma sonda de infravermelhos com as seguintes características principais:

- **Gama de medida:** 0 a 10.000 ppm
- **Resolução:** 50 ppm

II.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE LEITURA E DE REGISTO DE DADOS

O registo dos parâmetros ambientes medidos foi efectuado utilizando os analisadores dos equipamentos de medição de condições em ambientes térmicos interiores, os quais apresentavam as seguintes características:

- **Intervalo de registo:** 1, 6, 24 ou 120 horas
- **Memória:** 60 valores de cada parâmetro pré-seleccionado
- **Display:** 20 caracteres alfanuméricos
- **Impedância de saída:** < 50 Ω

A recolha e o tratamento dos dados armazenados nos analisadores foram realizados com o auxílio dos *softwares* fornecidos com os equipamentos, respectivamente, *DUMPGW* e *COMFGW*.

A concentração de CO₂ foi medida e registada em intervalos de 2 minutos.

ANEXO III – INQUÉRITO



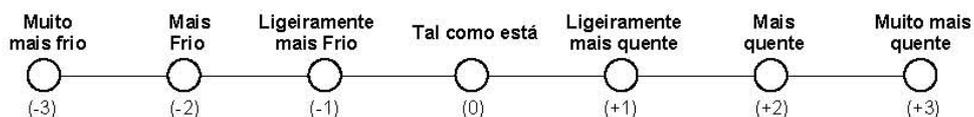
INQUÉRITO SOBRE: CONFORTO TÉRMICO

1 Considerando apenas a sala onde se encontra NESTE MOMENTO, responda às seguintes questões:

1.1 Como se SENTE, neste momento ?



1.2 Neste momento, como GOSTARIA que estivesse a temperatura ?



1.3 Acha que está CONFORTÁVEL ?

NÃO SIM

2 Se achar que está DESCONFORTÁVEL, em termos da temperatura, o que acha que poderia ser feito ?

3 Assinale se EM SUA CASA tem algum dos seguintes sistemas de aquecimento ou arrefecimento:

- | | | | |
|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. AQUECEDOR | <input type="radio"/> | 3. AR CONDICIONADO | <input type="radio"/> |
| 2. LAREIRA | <input type="radio"/> | 4. VENTONHA | <input type="radio"/> |
| | | 5. NÃO TENHO NENHUM | <input type="radio"/> |

3.1 Nesta altura do ano o AQUECIMENTO costuma estar ligado em sua casa ?

SIM NÃO

3.2 Quando SENTE FRIO em sua casa o que costuma fazer ?

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. Ligo o AQUECIMENTO | <input type="radio"/> | 3. Bebo uma BEBIDA quente | <input type="radio"/> |
| 2. Visto uma peça de ROUPA | <input type="radio"/> | 4. Não faço NADA | <input type="radio"/> |

4 Assinale dos seguintes factores, os que considera mais importantes para se sentir BEM (CONFORTÁVEL) nesta sala de aula (identificar os três primeiros com 1º, 2º e 3º).

- | | | | |
|------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 1. Não haver RUIDO de fora da sala | ___ | 5. Estar uma boa TEMPERATURA | ___ |
| 2. Haver uma boa LUZ das janelas | ___ | 6. Ter boa QUALIDADE O AR que respira | ___ |
| 3. Haver uma boa LUZ das lâmpadas | ___ | 7. Outro factor: _____ | ___ |

Género: Masculino Feminino

Data de nascimento: / /
(ano) (mês) (dia)

Nº de aluno: _____

MUITO OBRIGADO

