



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar interior nos edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes

Identificação de medidas de melhoria

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Autor

Laura Maria Tarrafa Pereira da Silva

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Doutor José Joaquim da Costa

Júri

Presidente Professor Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva
Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Engenheiro João Alexandre Dias Carrilho

Vogais Estudante de Doutoramento da Universidade de Coimbra
Professor Doutor José Joaquim Costa
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, julho, 2015

“A preocupação com o Homem e o seu destino deve ser sempre o principal interesse de todos os avanços da técnica. Nunca se esqueçam disto quando estiverem às voltas com os vossos diagramas e equações.”

Albert Einstein

À minha família.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar e Professor Doutor José Joaquim Costa pela orientação na elaboração da presente dissertação, pelo conhecimento difundido, pela abertura para ouvir as minhas propostas e dúvidas, e pela motivação transmitida na realização da dissertação, o meu agradecimento.

Ao Engenheiro Gustavo Botte e a todos os trabalhadores da empresa WSBP por me terem recebido tão bem e pelos conhecimentos técnicos que transmitiram.

Ao Instituto Pedro Nunes e a todos os trabalhadores dos edifícios A e B por me fazerem sentir à vontade e colaborarem no estudo com tanto entusiasmo.

Ao Engenheiro João Carrilho por todo apoio técnico, sugestões e motivação que me deu ao longo deste trabalho, o meu agradecimento sincero.

À minha colega Marisa Simões pela ajuda na elaboração, distribuição e análise dos inquéritos.

À minha família que sempre me apoiou e ajudou a definir caminhos para alcançar objetivos académicos e pessoais, o meu agradecimento sincero.

Aos meus amigos pela amizade, camaradagem e desafios ao longo da minha vida académica.

Resumo

Nas sociedades modernas, a maioria da população despende o dia no interior de edifícios em atividades laborais, de lazer ou descanso. Este contexto explica o aumento de instalação de sistemas de climatização nas empresas verificada nas últimas décadas, sendo este investimento uma fatia dominante da faturação energética. Contudo, o uso racional dos sistemas de climatização possibilitará a redução de consumos energéticos e, por consequência, a diminuição dos custos, sem privação da qualidade do serviço prestado na garantia de um ambiente com qualidade.

Neste sentido, o objetivo da presente dissertação é propor medidas de melhoria, para o conforto térmico e para a qualidade do ar interior, de forma a promover a eficiência energética dos sistemas de climatização nos edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes (Coimbra, Portugal) adotado como caso de estudo. O estudo iniciou-se pela análise da situação atual do edifício por duas abordagens: a análise subjetiva e a objetiva. A abordagem subjetiva baseou-se num inquérito sobre a qualidade ambiente interior nos locais de trabalho, e foi complementada pela abordagem objetiva, baseada na recolha de dados e análise de parâmetros caracterizadores do conforto térmico e da qualidade do ar no interior de edifícios, com recurso a instrumentos de medição, no verão e no inverno.

Os resultados obtidos demonstram debilidades de alguns espaços, por exemplo, valores de índice de PMV fora do intervalo de conforto e amplitudes térmicas verticais alargadas, designadamente valores superiores a 4°C entre os pés e a nuca, entre outros.

Para melhorar o conforto dos trabalhadores e diminuir gastos energéticos foram propostas algumas medidas de melhoria, tais como a redução do pé direito de algumas salas, nas quais se prevê uma redução de 2% a 27% das perdas de calor pela envolvente, ou a instalação de um sistema de recirculação do ar, com uma redução de perdas de calor na gama dos 19% a 34%. Por outro lado, foram apresentadas propostas que visam a alteração do comportamento dos ocupantes, como a redução do uso de equipamentos auxiliares de climatização.

Palavras-chave: Conforto térmico, Qualidade do ar interior, Eficiência energética, Edifício de serviços, Auditoria de edifícios.

Abstract

In modern societies the majority of population spend the entire day inside of buildings, either working, entertaining or resting. This context explains the increase of climate systems installations in companies verified on last decades, being this investment the main parcel of energy costs. However, the rationally used of air conditioning systems will provide the reduce energy consumption and, consequently, reduce companies' costs, avoiding the decrease on the service quality ensuring indoor environment quality.

Hence, this dissertation aims to propose improvement measures either for thermal comfort as for indoor air quality, seeking to promote energy savings associated to the air conditioning systems on taking buildings A and B of Pedro Nunes' Institute (Coimbra, Portugal) as a case study. It started with the analysis of the buildings' current conditions, following two approaches: subjective and objective. The subjective approach was based on a survey regarding indoor environment quality at the workplaces and was complemented by objective approach based on data gathered and from the analysis of thermal comfort and indoor air quality parameters, by the use of measurement equipments, in summer and winter seasons.

The results indicate weaknesses in several rooms, e.g. PMV index values outside the range of comfort and wide vertical temperatures range, namely values greater than 4°C between the feet and nape, among others.

In order to improve workers' comfort and decrease energy costs were proposed some measures, such as decrease some rooms' height, that provide a reduction of 2% to 27% of heat loss through the surrounding, or replace radiator for fan coils, that reduce 19% to 34% of heat loss through the surrounding. On the other hand, proposals were made aimed at changing the behaviour of occupants, such as reducing the use of air conditioning ancillary equipments.

Keywords: Thermal comfort, Indoor air quality, Energy efficiency, Service buildings, Audit buildings.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xvii
Simbologia e Siglas	xix
Simbologia	xix
Siglas	xx
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Motivação e objetivos	2
1.3. Estrutura	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Conforto térmico.....	5
2.1.1. Os índices de PMV e PPD	6
2.1.2. Desconforto térmico local.....	8
2.1.3. Categorias de ambientes térmicos	9
2.2. Qualidade do ar interior	9
2.2.1. Poluentes do ar interior.....	10
2.2.2. A legislação nacional para poluentes do ar interior	12
2.3. Conforto acústico	13
2.4. Conforto visual	15
2.5. Ergonomia	15
2.6. Eficiência energética e a qualidade do ambiente interior.....	16
3. CASO DE ESTUDO.....	19
3.1. Descrição dos Edifícios em estudo	19
3.2. Breve caracterização climática de Coimbra	21
3.3. O sistema de climatização do edifício	22
3.3.1. Estudos anteriores	23
3.3.2. Consumo energético nos Edifícios em estudo	24
3.4. Avaliação subjetiva da qualidade do ambiente interior	25
3.5. Campanhas de medição.....	25
3.6. Caracterização do ambiente térmico	26
3.7. Caracterização da qualidade do ar interior	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Avaliação subjetiva da qualidade ambiente interior	31
4.1.1. Caracterização da população e do local de trabalho	31
4.1.2. O sistema de climatização do edifício	31
4.1.3. A qualidade do ambiente interior.....	32
4.1.4. Avaliação dos fatores condicionantes da qualidade ambiente interior nos locais de trabalho	34

4.2.	Resultados do estudo de campo	35
4.2.1.	Conforto térmico – Estação de arrefecimento	35
4.2.2.	Conforto térmico – Estação de aquecimento.....	37
4.2.3.	Qualidade do ar interior	44
5.	MEDIDAS DE REDUÇÃO DE PERDAS DE ENERGIA.....	53
5.1.1.	Situação atual	53
5.1.2.	Medidas de melhoria propostas	54
6.	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS		
	ANEXO A – Equipamentos destinados à produção de energia térmica	A-1
	ANEXO B – Avaliação da QAI em novembro de 2013	B-1
	ANEXO C – Instrumentos de medição	C-1
APÊNDICES		
	APÊNDICE A – Questionário	A-i
	APÊNDICE B – Resultados dos inquéritos	B-i
	APÊNDICE C – Estação de arrefecimento – Resultado das medições de campo	C-i
	APÊNDICE D – Estação de aquecimento – Resultado das medições de campo	D-i
	APÊNDICE E – Decaimento da concentração de CO ₂	E-i

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Relação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e voto médio estimado (PMV) (ISO 7730,2005)	7
Figura 2.2 - Percentagem de pessoas insatisfeitas, com sapatos “leves”, em função da temperatura do pavimento (ISO 7730,2005).....	9
Figura 2.3 - Relação da percentagem de pessoas insatisfeitas com a assimetria da temperatura radiante (°C). Situação 1: Teto quente; Situação 2: Parede fria; Situação 3: Teto frio; Situação 4: Parede quente (ISO 7730, 2005).....	9
Figura 2.4 - Ergonomia em escritórios (Safetymed@, 2015)	16
Figura 3.1 - Vista superior do edifício A (obtido em janeiro de 2015, a partir de maps.google.pt)	19
Figura 3.2 - Vista superior do edifício B (obtido em janeiro de 2015, a partir de maps.google.pt)	19
Figura 3.3 - Planta do edifício A - Piso 0. O laboratório de geotecnia (espaço sombreado) foi sujeito a medições.....	20
Figura 3.4 - Planta do edifício A - Piso 1. A sala do projeto <i>ecomobile</i> e a sala de formação 2 (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.....	20
Figura 3.5 - Planta do edifício A - Piso 2. A sala da área administrativa do LIS e a sala de projetos 3 do LIS (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.....	20
Figura 3.6 - Planta do edifício B - Piso 1. O gabinete do LEDM e a sala de ensaios 1 do LEDM (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.....	21
Figura 3.7 - Planta do edifício B - Piso 2. O gabinete do laboratório de fitossanidade, o gabinete VCI e a sala de gestão de projetos (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.....	21
Figura 3.8 - Precipitação média mensal e temperatura média mensal no período de 1971 a 2000 (Adaptado de IPMA@,2014).....	22
Figura 3.10 - Consumo de gás natural.....	24
Figura 3.11 - Parede de vidro na sala de ensaios 1 do LEDM.....	28
Figura 3.12 - Instalação experimental de sensores de temperatura no gabinete do LEDM	28
Figura 4.1 - Avaliação do sistema de climatização do edifício.	32
Figura 4.2 - Utilização de equipamentos auxiliares.	32
Figura 4.3 - Ambiente térmico quente (verão).....	33
Figura 4.4 - Ambiente térmico frio (inverno).	33
Figura 4.5 - Poeiras no ar (verão).....	34
Figura 4.6 - Poeiras no ar (inverno).....	34

Figura 4.7 - QAI afeta a produtividade.	35
Figura 4.8 - QAI no local de trabalho.	35
Figura 4.9 - Conforto térmico afeta a produtividade.	35
Figura 4.10 - Conforto térmico no local de trabalho.	35
Figura 4.11 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no laboratório de geotecnia (norte).	37
Figura 4.12 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no gabinete do LEDM (norte).	37
Figura 4.13 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) na sala de gestão de projetos (sul).	37
Figura 4.14 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no laboratório de geotecnia (norte).	38
Figura 4.15 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no gabinete do LEDM (norte).	38
Figura 4.16 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) na sala de formação 2 (sul).	38
Figura 4.17 - Evolução temporal do índice PMV durante o período de ocupação em 17 dias no gabinete LEDM (norte).	40
Figura 4.18 - Evolução temporal do índice PMV durante o período de ocupação em 14 dias na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM (sul).	40
Figura 4.19 - Comparação da evolução temporal da temperatura do ar na ala norte e sul em dias com condições exteriores análogas. A temperatura média diária no exterior da sala norte é de 9,9°C (27/01/2015) e da sala sul 9,6°C (24/02/2015).	41
Figura 4.20 - Evolução temporal e distribuição espacial da temperatura do ar de 0,1m a 2,3m.	42
Figura 4.21 - Evolução temporal da amplitude térmica vertical compreendida entre os 0,1 m e os 1,1 m no gabinete LEDM (sala norte) no período laboral.	42
Figura 4.22 - Quadrante da temperatura média do ar e da amplitude térmica entre 0,1m e 1,1m a 23 de janeiro de 2015, no gabinete LEDM (norte).	43
Figura 4.23 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM (norte) e reta de regressão linear do método dos mínimos quadrados para estimar a temperatura do ar a 3,5 m do pavimento com dados recolhidos às 9h00 e 17h51 do dia 23 de janeiro de 2015.	44
Figura 4.24 - Evolução temporal da concentração de PM ₁₀ (linha contínua preta) no laboratório de geotecnia (norte).	45
Figura 4.25 - Concentração de partículas em suspensão no ar (valores médios) por classe dimensional no laboratório de geotecnia (norte).	45
Figura 4.26 - Evolução temporal da concentração de PM ₁₀ (linha contínua preta) na sala do projeto <i>ecomobile</i>	46

Figura 4.27 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional na sala do projeto <i>ecomobile</i>	46
Figura 4.28 - Evolução temporal da concentração de PM ₁₀ (linha contínua preta) no gabinete do LEDM.....	46
Figura 4.29 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional no gabinete LEDM.....	46
Figura 4.30 - Evolução temporal da concentração de PM ₁₀ (linha contínua preta) na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM.	47
Figura 4.31 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM.	47
Figura 4.32 - Evolução temporal da concentração de CO ₂ na sala de projetos 3 do LIS....	48
Figura 4.33 - Evolução da concentração de CO ₂ no laboratório de geotecnia.	49
Figura 4.34 - Evolução da concentração de CO ₂ na área administrativa do LIS.....	49
Figura 4.35 - Intervalos de decaimento de CO ₂ na sala de projetos 3 do LIS	49
Figura 4.36 - Regressão linear do decaimento I na sala de projetos 3 do LIS - Intervalo de almoço.....	50
Figura 4.37 - Regressão linear do decaimento II na sala de projetos 3 do LIS - Fim do período laboral.....	50
Figura 5.1 - Perdas de energia atuais pela envolvente do edifício no gabinete LEDM (medição ocorreu no dia 23/01/2015).	54
Figura 5.2 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM: Estimativa da temperatura do ar a 2,7 m do pavimento. A linha tracejada representa a localização do teto falso.	55
Figura 5.3 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM: Estimativa da temperatura do ar a 3 m do pavimento. A linha tracejada representa a localização do teto falso.	55
Figura 5.4 - Redução de perdas de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM resultado da instalação de um teto falso a 2,7 m de altura do pavimento.	55
Figura 5.5 - Redução de perdas de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM resultado da instalação de um teto falso a 3 m de altura do pavimento.....	55
Figura 5.7 - Redução de perda de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM pela instalação de um sistema de recirculação do ar para três cenários hipotéticos.	56
Figura 5.8 - Gradiente vertical de temperatura da situação atual e dos três cenários pela instalação de um teto falso a 2,7 m e de um sistema de recirculação do ar no gabinete LEDM. A linha tracejada corresponde á posição do teto falso.	57
Figura 5.9 - Redução de perda de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM pela instalação de um teto falso a 2,7 m de altura do pavimento e um sistema de recirculação do ar para três cenários.....	57

ANEXOS

Figura A.1 – Chiller.....	A-1
Figura A.2 – Caldeira.....	A-1
Figura A.3 - Reservatório de água.....	A-1
Figura A.4 - Válvulas manuais.....	A-1
Figura A.5 - UTAN na cobertura (R.P., 2013)	A-1
Figura A.6 - 1º Plano: Ventilador de extração dos sanitários; 2º Plano: Ventilador de extração do corredor (R.P., 2013).....	A-1
Figura A.7 – Radiador.....	A-1
Figura A.8 – Ventiloinvector.....	A-1
Figura C.1 - Lighthouse 3016	C-1
Figura C.2 - Sensotron PS 32.....	C-1
Figura C.3 - Fluke 975 AirMeterTM.....	C-1
Figura C.4 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær – Datalogger	C-3
Figura C.5 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura operativa.....	C-3
Figura C.6 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor da velocidade do ar.....	C-3
Figura C.7 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura do ar.....	C-3
Figura C.8 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura do ponto de orvalho.....	C-3
Figura C.9 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensores no tripé no decorrer do ensaio.....	C-3
Figura C.10 – Resultado da calibração dos sensores de temperatura (Spin&Turn).....	C-3
Figura C.11 – Spin&Turn - Sensor 1 (0,1 m).....	C-4
Figura C.12 – Spin&Turn - Sensor 2 (0,6 m).....	C-4
Figura C.13 – Spin&Turn - Sensor 3 (1,1 m).....	C-4
Figura C.14 – Spin&Turn - Sensor 4 (1,7 m).....	C-4
Figura C.15 – Spin&Turn - Sensor 5 (2,3 m).....	C-4

APÊNDICES

Figura B.1 - Pirâmide etária.....	B-i
Figura B.2 - Nível de escolaridade.....	B-i
Figura B.3 - Índice de massa corporal (IMC).....	B-i
Figura B.4 - Hábitos tabágicos.....	B-i
Figura B.5 - Local de trabalho	B-i
Figura B.6 - Período de ocupação.....	B-i
Figura B.7 - Tempo de residência.....	B-i
Figura B.8 - Ambiente térmico frio (verão).....	B-ii
Figura B.9 - Variação de temperatura (verão)	B-ii
Figura B.10 - Corrente de ar (verão)	B-ii
Figura B.11 - Ambiente térmico quente (inverno).....	B-ii
Figura B.12 - Variação de temperatura (inverno).....	B-ii
Figura B.13 - Corrente de ar (inverno).....	B-ii
Figura B.14 - Ar pesado (verão).....	B-iii
Figura B.15 - Ar seco (verão)	B-iii
Figura B.16 - Odores desagradáveis (verão)	B-iii
Figura B.17 - Ar pesado (inverno)	B-iii

Figura B.18 - Ar seco (inverno).....	B-iii
Figura B.19 - Odores desagradáveis (inverno)	B-iii
Figura B.20 – Ruído (verão)	B-iv
Figura B.21 – Ruído (inverno)	B-iv
Figura B.22 - Conforto visual: Iluminação natural suficiente	B-iv
Figura B.23 - Conforto visual: Utiliza iluminação pontual.....	B-iv
Figura B.24 - Conforto térmico: Fenómeno de encandeamento	B-iv
Figura B.25 - Conforto térmico: Necessário alterar o sistema de iluminação	B-iv
Figura B.26 – Avaliação do sistema de iluminação	B-iv
Figura B.27 - Estação do ano com pior qualidade ambiente interior.....	B-v
Figura B.28 - Fator mais importante para a qualidade ambiente interior	B-v
Figura B.29 - Evolução temporal da velocidade do ar na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM (sala a sul) no dia 19 de Fevereiro de 2015.....	B-v

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.2 - Escala de sensação térmica de sete pontos (ISO 7730, 2005).....	6
Tabela 2.3 - Categorias de ambientes térmicos I, II, III e IV da EN 15251 (2007) análogas às categorias A,B,C e D da ISO 7730.....	9
Tabela 2.4 - Descrição de poluentes não previstos na legislação nacional.....	13
Tabela 2.5 - Conceitos do ruído ambiente.....	14
Tabela 3.1 - Principais características dos <i>chillers</i> e das caldeiras (R.P., 2013).....	23
Tabela 3.2 - Principais características das UTANs (R.P., 2013).....	23
Tabela 3.3 - Consumo energético.....	24
Tabela 3.4 - Campanhas de medição.....	26
Tabela 3.5 - Características dos instrumentos de medição (ambiente térmico).....	26
Tabela 3.6 - Sensores de temperatura (APA, 2010).....	28
Tabela 3.7 - Características dos instrumentos de medição (qualidade do ar interior).....	29
Tabela 4.1 - Taxas de renovação de ar no período de almoço e no fim do período laboral.....	50
Tabela 4.2 - Caudal de ar novo (dia) e caudal de infiltrações (noite).....	52
Tabela 4.3 - Tabela resumo dos critérios para o cálculo e resultados das poupanças energéticas das medidas de melhoria propostas.....	58

ANEXOS

Tabela B.1 – Resultados da avaliação de parâmetros físico-químicos.....	B-1
Tabela B.2 – Resultados da avaliação dos parâmetros biológicos.....	B-2
Tabela C.1 - Especificações gerais do Lighthouse Handheld 3016 (LWS, 2005).....	C-1
Tabela C.2 - Especificações gerais do Fluke 975 AirMeter™ (Fluke Corporation, Rev. 2006).....	C-2
Tabela C.3 - Especificações gerais do Sensotron PS 32 (Sensotron, 2006).....	C-3

APÊNDICES

Tabela C.1- Estação de arrefecimento - Conforto térmico: Temperatura do ar e humidade relativa.....	C-i
Tabela C.2 - Estação de arrefecimento - QAI: Concentração partículas suspensas no ar (PM ₁₀).....	C-ii
Tabela C.3 - Estação de arrefecimento - QAI: Concentração de dióxido de carbono (CO ₂).....	C-iii
Tabela D.1 - Estação de aquecimento – Temperatura do ar e humidade do ar.....	D-i
Tabela D.2 - Estação de aquecimento - QAI: Concentração de dióxido de carbono (CO ₂).....	D-ii

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

Símbolo	Significado	Unidades
$\Delta T_{a,v}$	Amplitude térmica vertical do ar	[°C]
A	Área de superfície	[m ²]
A_p	Área da parede exterior	[m ²]
A_{ve}	Área do vão envidraçado	[m ²]
C	Concentração média instantânea do poluente	[mg/m ³]
C_{equi}	Concentração do poluente em equilíbrio	[mg/m ³]
C_{ext}	Concentração do poluente no exterior	[mg/m ³]
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção	[W/(m ² °C)]
h_r	Coefficiente de transferência de calor por radiação	[W/(m ² °C)]
$Q_{ar\ novo}$	Caudal de ar novo	[m ³ /h]
$Q_{infiltração}$	Caudal de infiltração de ar	[m ³ /h]
$Q_{perdido}$	Perdas térmicas	[W]
$T_{a,l}$	Temperatura do ar no local	[°C]
T_{amb}	Temperatura do ar ambiente (exterior)	[°C]
T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]
T_{ef}	Temperatura efetiva	[°C]
T_{eq}	Temperatura equivalente	[°C]
$T_{m,ar}$	Temperatura média do ar	[°C]
T_{op}	Temperatura operativa	[°C]
T_r	Temperatura média radiante	[°C]
T_u	Intensidade da turbulência local	[%]
u	Velocidade do ar	[m/s]
U	Coefficiente de transmissão térmica superficial	[W/m ² °C]
U_p	Coefficiente de transmissão térmica superficial da parede exterior	[W/m ² °C]
U_{ve}	Coefficiente de transmissão térmica superficial do vão envidraçado	[W/m ² °C]
$\bar{v}_{a,l}$	Velocidade média do ar no local	[m/s]
V	Volume da sala	[m ³]
Símbolos gregos	Significado	Unidades
Δ	Amplitude	
λ	Taxa de renovação do ar	[h ⁻¹]

Siglas

Sigla	Significado
ADAI	Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento ventilação e ar condicionado
COV	Compostos orgânicos voláteis
DEM/FCTUC	Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
EUA	Estados Unidos da América
IMC	Índice de massa corporal
IPN	Instituto Pedro Nunes
ISO	<i>International Standard Organization</i>
LEDM	Laboratório de Ensaios e Desgaste & Materiais
OMS	Organização Mundial de Saúde
PMV	<i>Predicted Mean Vote Index</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied Index</i>
QAI	Qualidade do ar interior
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
UE	União Europeia
UTAN	Unidade de tratamento de ar novo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Atualmente a maioria da população mundial, essencialmente dos países desenvolvidos, passa cerca de 23 horas diárias no interior de espaços sendo alguns deles artificialmente climatizados como por exemplo habitações, locais de trabalho, espaços destinados ao lazer e ao entretenimento e transportes (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010). Dados de 2013 revelam que em Portugal 66,1% da população empregada tem atividade no setor terciário, portanto no interior de edifícios (Pordata@, 2014).

Os edifícios protegem tanto pessoas como bens, mas a ocupação ininterrupta destes danifica a saúde dos ocupantes pela exposição a materiais de construção e poluentes nefastos, como produtos de limpeza (APA, 2010). E, muitas vezes, estas condições desencadeiam queixas e lesam a produtividade e saúde dos trabalhadores. Segundo os princípios basilares da Organização Mundial de Saúde (OMS) (OMS, 1946, p.1), “a saúde é o estado completo de bem-estar físico, mental e social e não meramente a ausência de doenças” que justifica o interesse crescente dos técnicos de saúde na qualidade ambiente interior. Esta última reflete a análise global da qualidade do ar, do conforto térmico, acústico e visual de um ambiente interior (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010).

A utilização de sistemas elétricos para manutenção das condições de conforto torna o ambiente aprazível e melhora a qualidade do ar. Todavia o seu uso intensivo origina gastos energéticos que, num cenário macro-económico, aprofunda os problemas estratégicos, económicos, sociais e ambientais dos países (Mendes, 2012). Em Portugal, dados de 2010 revelaram que o setor dos serviços foi responsável por 11,4% do consumo energético (DGEG@, 2014) e, segundo Pérez-Lombard *et al.* (2008) num escritório típico da União Europeia (UE) 50% da energia consumida destina-se unicamente à climatização dos espaços. A consequente dependência energética nacional subjuga o país aos interesses internacionais e encarece o produto. Por exemplo, em 2012 a dependência energética nacional era de 79,8% (APA, 2013), superior à média europeia para o mesmo ano, 53,8%

(Eurostat, 2013). No acesso à energia, somente 28% da população mundial consome 77% de toda a energia disponível, situação promotora de desigualdades e conflitos entre os povos (Mendes, 2012). Relativamente ao ambiente, em 2012 Portugal recorreu, maioritariamente, a fontes de energia primária poluentes e não renováveis (58% carvão e 23% petróleo), em detrimento de energia renovável (DGEG@, 2014). Adicionalmente, os requisitos europeus para a energia são cada vez mais exigentes, como provam os planos publicados recentemente (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - PNAEE e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis - PNAER) que preveem, para o setor residencial e de serviços, uma poupança de 42% e alcançar 31% da energia de consumo final proveniente de fontes renováveis até 2020.

A alteração dos comportamentos e a aplicação de medidas de poupança energética permitem a mudança do paradigma nacional e a redução das faturas das empresas, para além de promover o desenvolvimento sustentável.

1.2. Motivação e objetivos

A promoção da eficiência energética é fundamental para a poupança energética e financeira das instituições. Neste contexto, os edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes (IPN), localizados em Coimbra (Portugal), têm registado um aumento dos custos de gás natural e eletricidade.

Em 2013, os edifícios foram sujeitos a um processo de auditoria para certificação energética tendo sido atribuída a classe energética D, numa gama de A+ a G. O estudo concluiu ainda que a obsolescência de alguns componentes do sistema de climatização é um dos fatores que justifica os gastos energéticos atuais (R.P., 2013). Para além do estudo ter concluído que os edifícios têm elevado potencial de racionalização dos consumos de energia, vários utilizadores revelaram evidências de situações de desconforto, seja situações de calor no verão, de frio no inverno, assim como uma qualidade do ar deficitária.

Neste sentido, o presente estudo tem como principal objetivo a análise do conforto térmico dos ocupantes e da qualidade do ar interior nos edifícios A e B do IPN, abrangendo as duas estações do ano com condições extremas, o verão e o inverno. Pretende-se identificar as causas dos consumos de energia excessivos e das queixas dos ocupantes. Com base na avaliação são propostas medidas adequadas para a melhoria do ambiente

interior, procurando também diminuir os consumos energéticos sem prejudicar as condições de conforto.

1.3. Estrutura

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, de carácter introdutório, faz-se um enquadramento do tema, apresentam-se as principais motivações para desenvolver o estudo e os objetivos traçados, e por fim a estrutura da dissertação. O capítulo 2 é uma reflexão sobre estudos já realizados no âmbito do conforto dos ocupantes de edifícios de serviços, nomeadamente o conforto térmico, visual e acústico e a qualidade do ar no interior dos edifícios, a ergonomia no local de trabalho e a eficiência energética aliada a ambientes interiores confortáveis. No capítulo 3 descreve-se o estudo de caso e os métodos, materiais e equipamentos adotados para o estudo. No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos e as medidas de melhoria sugeridas, restando o último capítulo para as conclusões do presente estudo e propostas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para garantir a qualidade do ambiente interior nos edifícios é fundamental aprofundar conhecimentos sobre os fatores condicionantes do conforto térmico, visual e acústico, da qualidade do ar interior e das condições ergonômicas dos locais de trabalho, tal como compreender o equilíbrio entre consumo energético e o conforto.

2.1. Conforto térmico

A sensação térmica de cada indivíduo reflete o equilíbrio térmico global do corpo com o ambiente, sendo assegurado pelo sistema termorregulador do corpo humano que ativa mecanismos de controle para combater condições de desconforto (Fanger, 1973). Não obstante, manter a temperatura do corpo no intervalo de valores aceitáveis (35°C a 38°C) não é condição exclusiva para o conforto térmico (d'Ambrosio Alfano et al., 2010). Segundo a Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado Engenheiros (ASHRAE) (ANSI/ASHRAE 55, 2010, p.4), “o conforto térmico é o estado mental que revela satisfação com o ambiente térmico”, porquanto resulta da combinação de uma ampla gama de parâmetros individuais e ambientais. Os parâmetros individuais estão associados a condições específicas de cada indivíduo, como o metabolismo, o trabalho realizado e o isolamento térmico do vestuário (Fanger, 1973). Os parâmetros ambientais são a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade e umidade do ar mencionado pela Organização Internacional de Normalização (ISO) (ISO 7730, 2005).

Desta maneira, para atingir o conforto térmico é necessário proporcionar um ambiente confortável à maioria das pessoas que nele permanecem, sendo que existem vários índices para determinar o nível de conforto térmico.

Na Tabela 2.1 são apresentados os índices térmicos empíricos que descrevem ambientes térmicos moderados.

Tabela 2.1 - Índices térmicos empíricos para ambiente térmico moderados (Auliciems & Szokolay, 2007).

Descrição	
Temperatura operativa	$T_{op} = \frac{h_c T_{ar} + h_r T_r}{h_c + h_r}$ <p>Descreve a temperatura de um espaço negro, uniforme e isotérmico no qual um indivíduo troca calor, por convecção ou radiação, à mesma taxa que num ambiente não uniforme. Proposto por Winslow, Herrington e Gagge (1937).</p>
Temperatura efetiva	$T_{ef} = T_{ar} - 0,4(T_{ar} - 10) \left(1 - \frac{\text{Humidade Relativa}}{100}\right)$ <p>Proposto por Houghten e Yagloglou (1923) combina o efeito da temperatura com a humidade do ar. Traduz a temperatura de um ambiente ainda saturado, sem radiação.</p>
Temperatura equivalente	$T_{eq} = 0,522T_{ar} + 0,478T_r - 0,21\sqrt{u} (36,5 - T_{ar})$ <p>Simula um espaço fechado e uniforme no qual um corpo negro à temperatura de 24°C perderia calor à mesma taxa que absorveria. Proposta por Dufton em 1932.</p>

2.1.1. Os índices de PMV e PPD

A sensação de conforto de um determinado ambiente pode determinar-se pelo índice do voto médio estimado (PMV). Proposto por Fanger em 1972 é adotado por normas internacionais, tais como ISO e ASHRAE, e quantifica o grau de conforto dos ocupantes de um espaço (Jang *et al.*, 2007). Baseia-se numa escala de sete pontos relacionados com a sensação térmica, fundamentada pela equação de balanço térmico do corpo, descritos na Tabela 2.2 (ISO 7730, 2005).

Tabela 2.2 - Escala de sensação térmica de sete pontos (ISO 7730, 2005).

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

Apenas considerado válido com resultados de PMV compreendidos no intervalo [-2;+2], assim como os limites determinados para os parâmetros que o define, como a taxa metabólica [46 W/m²; 232 W/m²], isolamento do vestuário [0 m²K/W; 0,310 m²K/W], temperatura do ar [10 °C; 30 °C], temperatura média radiante [10 °C; 40 °C], velocidade do ar [0 m/s; 1 m/s] e pressão parcial do vapor de água [0 Pa; 2700 Pa] (ISO 7730, 2005).

A partir de PMV foi desenvolvido um índice que estima a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD). Experiências realizadas por Fanger, em 1970, demonstraram que, mesmo com os melhores resultados obtidos (PMV = 0), pelo menos 5% dos ocupantes

estão insatisfeitos e qualquer variação dos parâmetros de conforto só aumentará esse valor (Fanger, 1973). O cálculo do índice de PPD pode ser efetuado por (2.1) sabendo PMV, sendo a relação entre os dois índices descrita na Figura 2.1 (ISO 7730, 2005).

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (2.1)$$

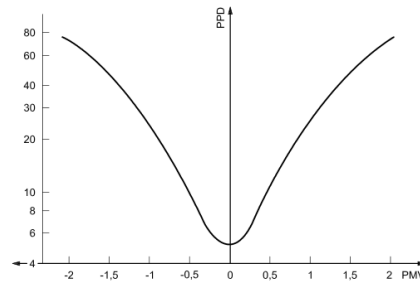


Figura 2.1 - Relação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e voto médio estimado (PMV) (ISO 7730,2005)

Eventualmente os índices anteriormente descritos podem ser determinados por instrumentação e a sua utilização é prática e fiável para a avaliação de ambientes térmicos em estudos de campo (Fanger, 1973).

Contudo, vários autores consideram a utilização dos índices PMV e PPD limitada a ambientes térmicos estáveis e similares às condições da câmara de climatização utilizada na experiência realizada por Fanger (Kuchen *et al.*, 2011; Humphreys & Nicol, 2002). Outros estudos acrescentam que a avaliação de alguns espaços com base nestes índices é ilusória já que ignora divergências entre as pessoas, erros de cálculo ou de medição, falhas inerentes às fórmulas de cálculo e variáveis que não são consideradas (Humphreys & Nicol, 2002), por exemplo assumir como preferencial a sensação térmica neutra (PMV = 0). Outro fator de discórdia é a capacidade de adaptação a ambientes térmicos moderados ligeiramente frios ou ligeiramente quentes. Um estudo realizado em 2011 em escritórios alemães revela que ocupantes de espaços ventilados naturalmente são mais tolerantes a amplitudes térmicas, contrariamente aos de edifícios climatizados (Kuchen *et al.*, 2011). Outro estudo conclui ainda que a adaptabilidade de cada pessoa a determinados ambientes térmicos gera expectativas (de Dear & Brager, 1998). Estudos revelaram ainda que a idade não interfere na perceção do desconforto, porém pessoas mais velhas são menos ativas o que incrementa a sensibilidade a correntes de ar e, acrescentam que o gênero feminino e pessoas cansadas são mais suscetíveis ao desconforto térmico (Griefahn & Künemund, 2001).

2.1.2. Desconforto térmico local

O conforto térmico global não garante o bem-estar do indivíduo, já que basta uma parte do corpo estar mais quente ou fria para criar uma situação de desconforto térmico (Fanger, 1973). A incidência de situações de desconforto térmico local é superior em pessoas com sensação térmica global ligeiramente mais fria ($PMV = -1$) e com atividade sedentária ($1,2 \text{ met}$) (Toftum & Nielsen, 1996). As causas do desconforto térmico local relacionam-se com correntes de ar, amplitudes térmicas verticais, temperatura do pavimento e assimetrias da temperatura radiante (ISO 7730, 2005).

O fenómeno de convecção, decorrente da existência de correntes de ar, reduz da temperatura da pele por remoção de calor da superfície desta que, dependendo da sensação térmica geral da pessoa, pode causar desconforto. A taxa de corrente de ar pode ser determinada pela equação seguinte.

$$DR = (34 - T_{a,l})(\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,37 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot T_u + 3,14) \quad (2.2)$$

Por outro lado, a amplitude térmica vertical origina diferenças de temperatura entre os tornozelos e a cabeça do ocupante, causando desconforto proporcional à amplitude do intervalo de temperaturas. A percentagem de pessoas insatisfeitas pode ser determinada pela equação (2.3), aplicável somente a situações com amplitude térmica inferior a 8°C (ISO 7730, 2005).

$$PD = \frac{100}{1 + e^{5,76 - 0,856\Delta T_{a,v}}} \quad (2.3)$$

Um pavimento quente ou frio proporciona desconforto térmico nos pés já que estão permanentemente em contacto, especialmente em atividades sedentárias. A Figura 2.2 relaciona a percentagem de pessoas insatisfeitas com a temperatura do pavimento.

Por outro lado, a assimetria da temperatura radiante faz oscilar a sensação térmica do corpo, que resulta da radiação térmica emitida de forma desigual por superfícies quentes, frias ou pela radiação solar direta. O desconforto térmico local é facilmente detetado em locais com tetos quentes (painéis radiantes) ou paredes frias (vãos envidraçados) (ISO 7730, 2005). A influência da assimetria térmica radiante no conforto, em diversas situações, pode ser analisada na Figura 2.3.

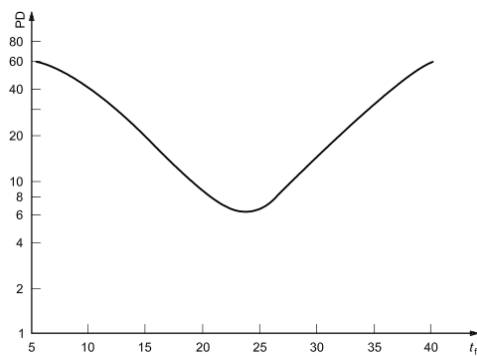


Figura 2.2 - Percentagem de pessoas insatisfeitas, com sapatos “leves”, em função da temperatura do pavimento (ISO 7730,2005).

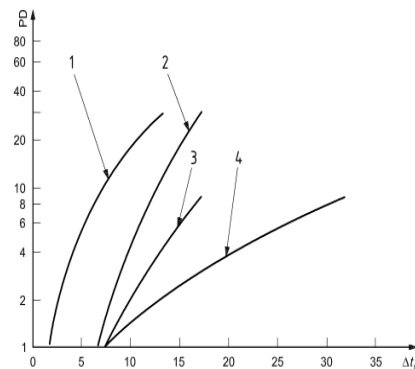


Figura 2.3 - Relação da percentagem de pessoas insatisfeitas com a assimetria da temperatura radiante (°C). Situação 1: Teto quente; Situação 2: Parede fria; Situação 3: Teto frio; Situação 4: Parede quente (ISO 7730, 2005).

2.1.3. Categorias de ambientes térmicos

Os ambientes são categorizados em quatro níveis que representam diferentes exigências para o conforto térmico de acordo com o tipo de edifício em análise, como descrito na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Categorias de ambientes térmicos I, II, III e IV da EN 15251 (2007) análogas às categorias A,B,C e D da ISO 7730.

Categoria	Descrição
I	Elevado nível de expectativa. Recomendado para espaços ocupados por pessoas frágeis e sensíveis ou com necessidades especiais (deficientes, doentes, crianças muito jovens e pessoas idosas);
II	Nível normal de expectativa e adotado para novas construções e renovações;
III	Nível aceitável com expectativa moderada e pode ser utilizado para os edifícios existentes;
IV	Valores fora dos critérios anteriores. Apenas deve ser aceite para uma parte limitada do ano.

2.2. Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior (QAI) é um fator decisivo para a saúde e produtividade dos trabalhadores de um espaço (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010). Segundo ANSI/ASHRAE 62.1 (2007, p.3) um ambiente interior com qualidade do ar aceitável ocorre caso “não apresente contaminantes em concentração potencialmente perigosa para a saúde, determinado por entidades competentes, e com a qual a maioria dos ocupantes expostos (80% ou mais) não expressem desagrado”. Todavia, somente o controle da

concentração dos poluentes não garante, por si só, a qualidade do ar interior. A diversidade das fontes e dos tipos de poluentes, como também a evolução dos parâmetros que afetam a percepção de conforto (temperatura do ar, humidade do ar, ruído e iluminação) e a gama de suscetibilidades das populações influenciam o conforto (ANSI/ASHRAE 62.1, 2007).

2.2.1. Poluentes do ar interior

A degradação da qualidade do ar interior é consequência da presença de contaminantes oriundos de fontes exteriores, como o tráfego rodoviário, e interiores, como os materiais de construção do edifício (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010). A fiscalização da QAI decorre pelo controlo de poluentes microbiológicos e físico-químicos descritos na Tabela 2.4 e Tabela 2.5, respetivamente.

Tabela 2.4 - Poluentes biológicos (APA, 2010).

	Descrição
Bactérias e fungos	A proliferação de fungos e bactérias decorre da existência de condições essenciais para o seu desenvolvimento como a humidade do ar em excesso, ventilação reduzida, nutrientes, temperatura adequada e fontes de contaminação. A sua presença em espaços interiores é um fator de risco para a saúde desencadeando, por exemplo, reações alérgicas e infeções (ex. doença do legionário - <i>Legionella spp.</i>). (APA, 2010).

Tabela 2.5 - Poluentes físico-químicos.

	Designação
Partículas em suspensão no ar	Material sólido ou líquido suspenso no ar com gama dimensional, composição química e biológica distinta. oriundos do sistema de ventilação, isolamento das tubagens e desinfetantes (APA, 2010) e classificam-se de acordo com as dimensões (OMS, 2005), tal como as PM ₁₀ e as PM _{2,5} .
- PM ₁₀	Entram no sistema respiratório, quando o nariz não as retém, e alcançam os pulmões obstruindo-os. Para além de provocarem alergias, olhos secos, irritação da pele e nariz, tosse e espirros, estão associadas à existência de pó, microrganismos, fumo e fibras têxteis, sendo que a concentração balança com os hábitos e as atividades desenvolvidas nos espaços (APA, 2010).
- PM _{2,5}	Provenientes de fumo de tabaco e pólenes, devido à baixa densidade perduram no ar e penetram facilmente no sistema respiratório (Carvalho, 2014).
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	Abrangem todos os compostos químicos que contenham carbono e hidrogénio com ponto de ebulição entre os 50 °C e 250°C. A concentração no ambiente é insignificante (inferior a 0,1mg/m ³), pelo que a concentração no interior provém, essencialmente, de fontes internas (como materiais de construção novos). Não são conhecidos os efeitos na saúde, porém associam-se a sintomas como odores desagradáveis e irritações para concentrações de 0,3 a 3 mg/m ³ e, para concentrações superiores, sintomas como aperto no peito e náuseas (APA, 2010).
Monóxido de carbono	Gás tóxico, porém incolor e inodoro (APA, 2010). Resulta de processos de combustão incompletos decorrentes de queimadores a gás, fumo de tabaco e exaustão dos veículos a motor. A afinidade com a hemoglobina, em substituição do oxigénio, resulta em asfixia que, em concentrações altas (1374 mg/m ³), pode provocar a morte (CCOHS, 2004).
Formaldeído	Presente na atmosfera e, embora incolor, tem um odor característico que permite deteta-lo. Os materiais de construção do edifício emitem formaldeído, assim como tapetes, colas, adesivos, isolamentos, mobiliário e produtos de limpeza. O poluente desencadeiam irritações dos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, problemas de concentração e memória, náuseas e falta de ar (APA, 2010).
Dióxido de carbono	Inodoro e incolor, é um gás presente na atmosfera (683,8 mg/m ³) que, embora não seja tóxico, inibe a presença de oxigénio, provocando sonolência. No interior dos edifícios com ocupação a concentração de CO ₂ deve-se, essencialmente, ao CO ₂ metabólico (respiração) (APA, 2010).
Radão	Gás radioativo, resultante do decaimento natural do urânio presente nos solos, águas e ar, cujos produtos do decaimento que potencializam o risco de cancro. A Portaria nº 353-A/2013 obrigados a realizar fiscalizações periódicas em zonas graníticas.

2.2.2. A legislação nacional para poluentes do ar interior

Na Tabela 2.6 e na Tabela 2.7 são apresentados os limiares de proteção e condições de referência para poluentes microbiológicos e físico-químicos, respetivamente, presentes no interior dos edifícios.

Tabela 2.6 - Condições de referência para poluentes microbiológicos (Portaria nº353-A/2013).

	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	[UFC/m ³]	A concentração de bactérias totais no interior deve ser inferior à concentração no exterior em 350 UFC/m ³ .
<i>Legionella spp</i>	Água	[UFC/L]	Concentração inferior a 100 UFC/L, com exceção dos tanques de torres de arrefecimento cuja concentração deve ser inferior a 1000 UFC/L. Ausência de <i>Legionella pneumophila</i> .
Fungos	Ar	[UFC/m ³]	Concentração de fungos no interior inferior à concentração no exterior.

Tabela 2.7 - Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos (Portaria nº 353-A/2013).

	Unidade ¹	Limiar de proteção ²	Margem de tolerância [%] ³
Partículas em suspensão (PM ₁₀)	[µg/m ³]	50	100
Partículas em suspensão (PM _{2,5})	[µg/m ³]	25	100
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	[µg/m ³]	600	100
Monóxido de carbono (CO)	[mg/m ³]	10	---
	[ppmv]	9	---
Formaldeído (HCHO)	[µg/m ³]	100	---
	[ppmv]	0,08	---
Dióxido de carbono (CO ₂)	[mg/m ³]	2250	30
	[ppmv]	1250	
Radão (Rn)	[Bq/m ³]	400	---

No entanto, com a atual legislação nacional alguns parâmetros nocivos para a saúde e que influenciam o conforto não são considerados, nomeadamente a humidade do

¹ As concentrações µg/m³ e mg/m³ referem-se às condições ambientais com temperatura do ar =20°C e pressão =1 atm.

² Média de 8 horas.

³ Aplicável a edifícios existentes e novos sem sistema mecânicos de ventilação.

ar, fumo de tabaco, óxidos de azoto e ozono. Assim, os limites de proteção apresentados na Tabela 2.8 são de normas internacionais.

Tabela 2.8 - Descrição de poluentes não previstos na legislação nacional.

Poluentes	Descrição
Humidade do ar	A humidade do ar no interior de edifícios provém do ambiente exterior, da presença de ocupantes ⁴ e das atividades desenvolvidas. Valores baixos de humidade provocam desidratação dos olhos, nariz e garganta (Wolkoff & Kjærgaard, 2007) e valores altos a proliferação de microrganismos e degradação do edifício. Assim, deve compreender um intervalo de valores de 30% a 70% (ISO 7730, 2005).
Fumo de tabaco	Essencialmente proveniente dos cigarros e contém poeiras, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis (COV's) que provocam efeitos nefastos nos ocupantes como desconforto, tosse, problemas de respiração e irritação dos olhos e da garganta e aumentam o risco de cancro do pulmão (CCOHS, 2004). Em Portugal a Lei n.º 37/2007 proíbe a prática de fumo do interior de espaços para promoção da saúde pública.
Óxidos de azoto	Presentes nos gases de combustão de veículos a <i>diesel</i> , fogões e queimadores a gás, prejudicam o sistema respiratório e representam um grupo amplo de gases altamente reativos, pelo que o dióxido de azoto (NO ₂) é usado como indicador (CCOHS, 2004). A Agência de Proteção do Ambiente dos Estados Unidos da América (EUA) prevê o limiar de proteção de 1ppm ⁵ e média anual inferior a 0,053ppm (EPA@, 2015a).
Ozono	Existe naturalmente no ambiente e provem de fontes interiores tais como fotocopiadoras, impressoras a laser e purificadores de ar (CCOHS, 2004). É um poluente oxidante, reativo e perigoso para a saúde humana em altas concentrações como dores no peito, tosse, irritação de garganta e olhos e lesa o sistema respiratório (APA, 2010), sendo também responsável pelo fenómeno <i>smog</i> (ANSI/ASHRAE 62.1, 2007). Organizações internacionais definem o limite de concentração de ozono em 0,075 ppm em média de 8 horas (EPA@, 2015a).

2.3. Conforto acústico

A perceção de conforto acústico num espaço depende de aspetos pessoais e das características das ondas sonoras. Estas provocam oscilação nas moléculas de ar, sendo interpretada pelas pessoas de forma distinta, de acordo com o estado de saúde e idade. Por exemplo, um jovem saudável deteta ondas sonoras com frequências compreendidas entre

⁴ Taxa de produção de vapor por pessoa é 110g/h, na execução de uma atividade ligeira

⁵ Representa a concentração máxima diária.

20Hz e 20 000Hz, enquanto pessoas idosas não ouvem as gamas mais altas (Hansen, 1995).

Muitas vezes a poluição acústica é descartada em detrimento de outras formas de poluição, mesmo afetando milhões de trabalhadores europeus diariamente expostos ao ruído (AESST, 2005). O ruído define-se como o som indesejado e incomodo que interfere com a atividade diária das pessoas como dormir, conversar e trabalhar (EPA@, 2015b).

O conforto acústico num espaço interior sofre interferências exteriores e interiores ao edifício. A geração de ruído no interior depende das atividades desenvolvidas e da operação e condicionamento dos equipamentos dos sistemas de ventilação (CCOHS, 2004). O ruído exterior é consequência de atividades humanas e do tráfego rodoviário por transmissão aérea ou percussão.

A exposição a níveis de ruído excessivos é prejudicial para a saúde dos ocupantes com efeitos fisiológicos (ex.: perda de audição), não auditivos (ex.: doenças cardíacas), físicos (ex.: danifica a inteligibilidade do discurso) e psicológicos (ex.: *stress*) (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010). O ambiente acústico de escritórios não é suscetível de causar perda de audição, contudo revela-se perturbador e com consequências negativas na produtividade, bem-estar e conforto (CCOHS, 2004). O conhecimento de alguns conceitos do ruído ambiente e o cumprimento de requisitos acústicos assegura um ambiente acústico confortável (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 - Conceitos do ruído ambiente.

Indicador	Designação
Nível sonoro contínuo equivalente com ponderação em A	Traduz a energia do ruído flutuante real numa pressão sonora de um som constante, durante um intervalo de tempo, com a mesma energia do ruído real (Hansen, 1995). A curva de ponderação em A é a mais próxima do sistema auditivo humano e é recomendado pela OMS (Carvalho, 2014).
Tempo de reverberação	É o intervalo de temporal necessário para que o nível de pressão sonora decaia 60 dB após a interrupção de uma fonte de ruído estacionário.
Isolamento acústico	Fundamental para que o ambiente acústico interior não seja perturbado por ruído exterior e ajuda na conservação térmica (d'Ambrosio Alfano <i>et al.</i> , 2010).

2.4. Conforto visual

O sistema de iluminação tem como objetivo facilitar a execução de tarefas de forma confortável e promover a produtividade dos trabalhadores (IES@, 2015). Ambientes com iluminação inadequada desencadeiam problemas de saúde nos utilizadores, sendo as principais queixas a fadiga ocular, visão turva, irritação e secura dos olhos e dores de cabeça (CCOHS, 2004).

A iluminação adequada para a execução de tarefas resulta da iluminação natural, da iluminação artificial ou da combinação de ambas. A iluminação natural provém dos vãos envidraçados, colocados nas paredes laterais ou tetos, com fim à entrada de luz natural. No entanto, estes podem desencadear efeitos indesejados tais como brilhos, reflexos e aquecimento dos espaços, o que obriga à instalação de dispositivos de proteção da radiação direta (por exemplo: persianas) (Pais, 2011). A iluminação natural é ainda regulada pelas condições atmosféricas e pela duração do dia.

Por outro lado, a utilização de iluminação artificial acarreta custos e não é tão benéfica para a saúde e produtividade quanto a natural. Contudo, Linhart & Scartezzini (2011) concluíram que trabalhar sob condições de iluminação artificial, ao final do dia e em períodos curtos, tem mais efeitos positivos do que efeitos negativos. Concluíram também que o nível de iluminação tem maior influência nos trabalhos em papel do que em computador.

Uma boa iluminação melhora o desempenho de tarefas, mas um nível de iluminação adequado não é condição única para maior conforto, pois depende de fatores individuais, como a integridade da imagem na retina e a sensibilidade ao contraste. Por outro lado, as variáveis objetivas são manipuláveis o que permite ampliar o conforto de todos, designadamente a iluminância (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2010).

Para a iluminação no interior de edifícios as normas internacionais definem níveis de iluminação para diversas atividades, valores também adotados em Portugal, nomeadamente 500 lux para atividades de leitura e escrita (Dossier EN 12464-1, 2012).

2.5. Ergonomia

A ergonomia é a ciência que estuda a relação entre o local de trabalho e os trabalhadores, com a finalidade de conceber o local de trabalho melhor adaptado à tarefa. A promoção de melhores condições de trabalho satisfaz quer trabalhadores quer

empregadores. Os trabalhadores desenvolvem as suas tarefas em ambientes mais saudáveis e seguros, portanto aumentam a produtividade e beneficiam o empregador (OIT, 1996).

Em escritórios, as posições anatómicas adotadas causam essencialmente desconforto músculo-esquelético, resultado da taxa de repetição, da força muscular e das posturas inadequadas exigidas durante longos períodos. Alguns sintomas que denunciam problemas ergonômicos são dores de cabeça, pescoço rígido, ombros curvados e tensos, dores nas costas e tendinites (CCOHS, 2004). A Figura 2.4 representa a posição correta a adotar em escritórios.



Figura 2.4 - Ergonomia em escritórios (SafetyMed@, 2015)

Estudos demonstram que melhores condições ergonômicas beneficiam trabalhadores e empregadores. Vink & Kompier (1996) concluíram que os trabalhadores elegem como melhores os locais de trabalho sujeitos a intervenção no âmbito de programas de melhorias ergonômicas, pois estas reduzem o desconforto físico (pescoço e ombro) e melhoram a produtividade. Outros estudos acrescentam que o período de retorno dos investimentos em intervenções ou implementação de programas de saúde e bem-estar são inferiores a um ano (Goggins *et al.*, 2008).

2.6. Eficiência energética e a qualidade do ambiente interior

Vários estudos comprovam que um ambiente com qualidade não exige, obrigatoriamente, consumos energéticos desmesurados. A capacidade de adaptação dos ocupantes a ambientes diversos, as expectativas criadas e o conhecimento do funcionamento do edifício, nomeadamente do sistema de climatização, podem criar oportunidades de poupança energética.

Um estudo desenvolvido em 2007 analisou primeiramente satisfação da população relativamente ao ambiente e posteriormente os parâmetros ambientais, e

concluiu que existia margem para ajustar o sistema de climatização do edifício e introduzir melhorias para poupanças energéticas (Wagner *et al.*, 2007).

Um estudo datado de 2011, verifica que ocupantes em situações de contacto frequente com o espaço exterior, pela ventilação natural, tornam-se mais tolerantes a amplas variações de temperatura, contrariamente aos trabalhadores de espaços totalmente climatizados (Kuchen *et al.*, 2011).

Homod *et al.* (2012) revelam que o facto da operação dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) basear-se em apenas dois dos seis fatores instigadores da sensação térmica - temperatura e humidade do ar - dificilmente atinge os valores de conforto e desencadeiam consumos energéticos desnecessários.

Estudos realizados comprovam que a subjetividade interfere na perceção do conforto. Yang *et al.* (2014) concluíram que as expectativas, a cultura, a religião, a educação e experiência de cada um altera a perceção do ambiente térmico. Em 2009, um estudo comparou a análise objetiva e subjetiva de um ambiente e concluíram que não existe qualquer relação entre estes. Enquanto os inquiridos consideraram o ambiente térmico desconfortável, o resultado das medições concluiu que o ambiente compreendia os limites de conforto. A situação é justificada pelas expectativas criadas pelos ocupantes perante a possibilidade de alterar as condições do local de trabalho (Hens, 2009). Por outro lado, Kuchen *et al.* (2011) e de Dear & Brager (1998) testemunharam, por análises de campo, a desadequação dos limites definidos para zona de conforto, quando o controlo dos sistemas de aquecimento e arrefecimento é retificado pelos ocupantes.

Saari *et al.* (2006) verificaram que, o investimento na melhoria na qualidade do ar interior de um edifício torna-se rentável devido aos efeitos positivos na saúde e na produtividade dos trabalhadores.

3. CASO DE ESTUDO

No presente capítulo são relatados os métodos e equipamentos aplicados no estudo do conforto térmico e da qualidade do ar interior, utilizados no caso de estudo escolhido.

3.1. Descrição dos Edifícios em estudo

Os ensaios experimentais foram desenvolvidos em dois edifícios identificados como A e B, e que constituem parte das instalações onde se encontra instalado o Instituto Pedro Nunes (IPN), entidade criada pela Universidade de Coimbra em 1991 (IPN@, 2014). Localizado na margem norte do rio Mondego, na zona sul da cidade de Coimbra, destina-se ao desenvolvimento de atividades empresariais nas mais diversas áreas de negócio, com especial ênfase para a investigação, desenvolvimento e ciência. As empresas recém-criadas têm à disposição espaços diversos, adequados à atividade que desenvolvem.

Em 2013, o número de ocupantes por edifício era de 327 e 103 pessoas, respetivamente no edifício A e B, com flutuações anuais e diárias. A área útil total do pavimento dos edifícios A e B do IPN é de 3809 m², sendo assim abrangido pelo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei nº 118/2013). Os edifícios encontram-se lado a lado, com uma forma de implantação retangular de eixo principal este-oeste, com o edifício B a sul do edifício A (Figura 3.1 e Figura 3.2).



Figura 3.1 - Vista superior do edifício A (obtido em janeiro de 2015, a partir de maps.google.pt)



Figura 3.2 - Vista superior do edifício B (obtido em janeiro de 2015, a partir de maps.google.pt)

As salas a norte são caracterizadas por serem pequenas, enquanto as salas orientadas a sul apresentam espaços amplos. As plantas dos edifícios com vista ao estudo

são apresentadas da Figura 3.3 à Figura 3.5, referentes ao edifício A, e nas Figuras 3.6 e 3.7 do edifício B. Em cada imagem está assinalada a orientação dos espaços do edifício e os espaços selecionados para as campanhas de medições, com análise pormenorizada na secção 3.5.

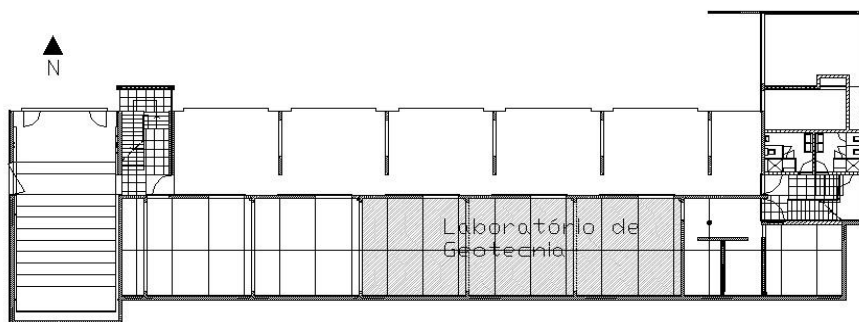


Figura 3.3 - Planta do edifício A - Piso 0. O laboratório de geotecnia (espaço sombreado) foi sujeito a medições.

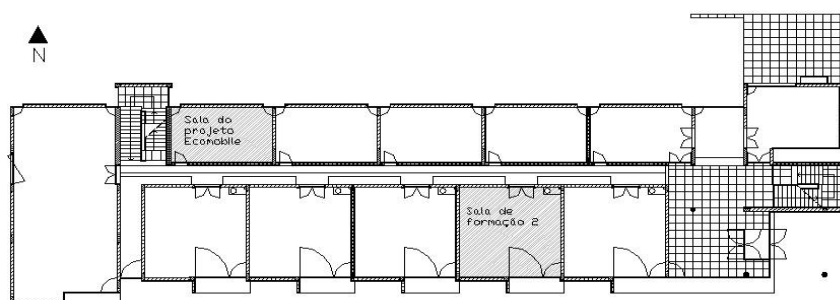


Figura 3.4 - Planta do edifício A - Piso 1. A sala do projeto *ecomobile* e a sala de formação 2 (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.

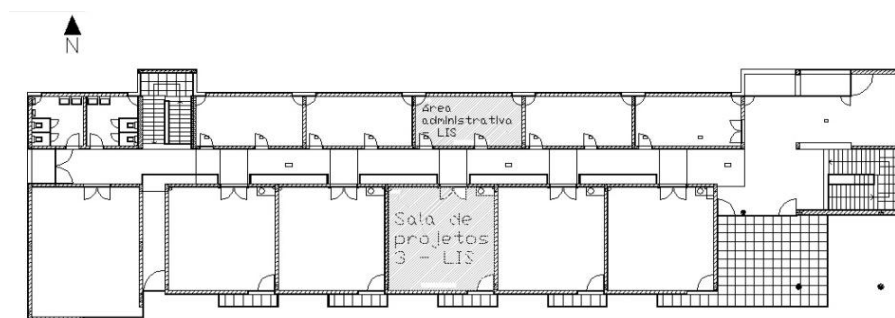


Figura 3.5 - Planta do edifício A - Piso 2. A sala da área administrativa do LIS e a sala de projetos 3 do LIS (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.

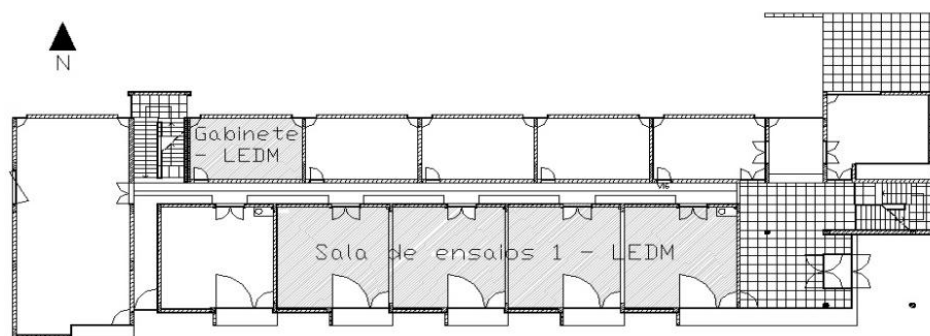


Figura 3.6 - Planta do edifício B - Piso 1. O gabinete do LEDM e a sala de ensaios 1 do LEDM (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.

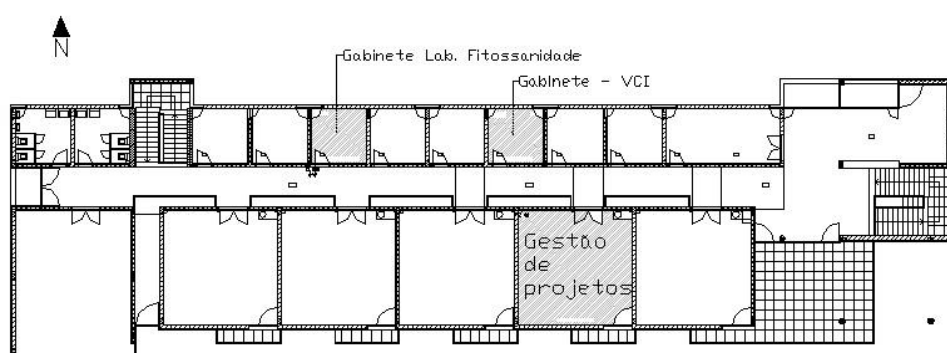


Figura 3.7 - Planta do edifício B - Piso 2. O gabinete do laboratório de fitossanidade, o gabinete VCI e a sala de gestão de projetos (espaços sombreados) foram sujeitos a medições.

3.2. Breve caracterização climática de Coimbra

Conhecer o clima do local do estudo é fundamental para compreender as necessidades de climatização dos edifícios. O clima predominante em Coimbra é o mediterrânico, caracterizado por verões quentes e secos e invernos instáveis e húmidos. A Figura 3.8 apresenta a temperatura média mensal (linha) e a precipitação média mensal (barras) registada na estação meteorológica de Bencanta, a 4,3 km de Coimbra (linha reta), referente ao período de 1971 a 2000 (29 anos). Os dados foram cedidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA@, 2014).

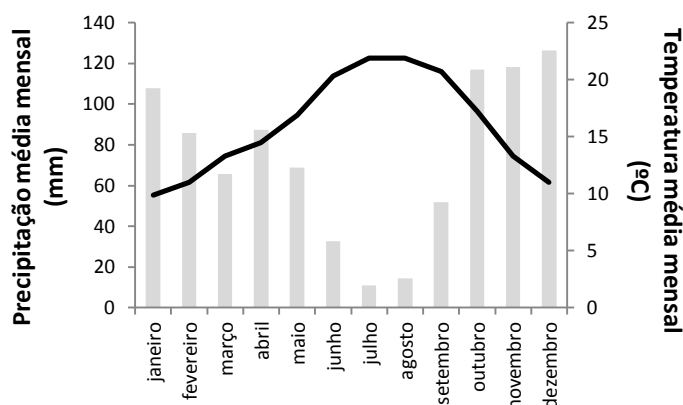


Figura 3.8 - Precipitação média mensal e temperatura média mensal no período de 1971 a 2000 (Adaptado de IPMA@,2014).

No período analisado verifica-se que os meses mais quentes coincidem com os meses mais secos, julho e agosto, com 21,9 °C de temperatura média mensal e 10,9 mm e 14,9 mm de precipitação média mensal, respetivamente. Os meses mais frios são janeiro e fevereiro com temperaturas de 9,9°C e 11°C, enquanto o mês mais chuvoso é dezembro com 126,2 mm de precipitação média mensal.

3.3. O sistema de climatização do edifício

Os edifícios do estudo de caso estão equipados com um sistema de AVAC similar e cada um frui de sistema de produção de energia térmica, sediado na central térmica do respetivo edifício. O sistema produz frio e calor alternadamente segundo as necessidades de climatização, sendo controlado por válvulas manuais. A respetiva central térmica aloja um *chiller*, uma caldeira a gás natural, um reservatório de água e um sistema de válvulas manuais.

Os destinatários finais do fluido térmico são as baterias das Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTANs), os ventiloconvectores e os radiadores. As UTANs estão instaladas na cobertura do respetivo edifício e aquecem ou arrefecem o ar de distribuição que, após tratamento, circula pelas condutas para ser insuflado nas salas, por meio de grelhas de insuflação de ar instaladas na parte superior da parede interior ou no teto. Posteriormente, o ar é extraído pelas grelhas de extração de ar, localizadas na parte inferior das portas com ligação para o corredor do edifício, e conduzido para o ventilador de extração geral do edifício, fixado na cobertura deste. Para além do ventilador geral de cada edifício existem dois ventiladores de extração exclusivos para as instalações sanitárias,

sendo a restante ventilação do edifício executada por via natural, excetuando o auditório e o laboratório de geotecnia (R.P., 2013). As salas a norte são equipadas com radiadores que funcionam durante o inverno, para o aquecimento dos espaços, e as salas a sul são abastecidas por ventiloconvectores ativos no verão e no inverno, uma vez que permitem o aquecimento e arrefecimento dos espaços.

A primeira visita ao edifício decorreu em março de 2014 e iniciou com uma reunião com o Engenheiro João Dias, responsável pelos sistemas técnicos de climatização do edifício, na qual descreveu o sistema de climatização dos edifícios e apresentou as principais críticas dos ocupantes. Posteriormente ocorreu a visita ao edifício A e B e à central térmica do edifício A. Nas Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam-se as principais características dos *chillers*, caldeiras e UTANs do sistema de climatização dos edifícios A e B. Adicionalmente são apresentados os equipamentos para produção de energia térmica, as UTANs, os ventiloconvectores e radiadores no anexo A.

Tabela 3.1 - Principais características dos *chillers* e das caldeiras (R.P., 2013).

Equipamento	Nº	Marca / Modelo	Potência (kW)		Eficiência /rendimento	Fonte de energia
			Aquecimento	Arrefecimento		
<i>Chiller</i>	2	CARRIER / 30DY-020-9	-	70	EER 2,45	Energia elétrica
Caldeira 1	1	ROCA G100/90 IE	103	-	93,6%	Gás natural
Caldeira 2	1	ROCA G1000/07	99,4	-	92%	Gás natural

Tabela 3.2 - Principais características das UTANs (R.P., 2013).

Equipamento	Nº	Potência (kW)		Caudal de ar insuflado (m ³ /h)
		Aquecimento	Arrefecimento	
UTAN 1	1	33,0	15,3	4850
UTAN 2	1	32,3	15	4750

3.3.1. Estudos anteriores

Em novembro de 2013 foram realizadas medições *in situ* de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, para avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios. Pela legislação em vigor no período de medições, o RSECE, apenas o parâmetro microbiológico referente à concentração de fungos excedeu o valor limite estabelecido no ponto exterior ao edifício e no laboratório de geotecnia. À luz da nova legislação, a Portaria n.º 353-A/2013, não existem inconformidades no que respeita aos parâmetros

microbiológicos já que a concentração no ponto exterior é superior a todos os pontos de amostra no interior. Os resultados podem ser consultados no anexo B.

3.3.2. Consumo energético nos Edifícios em estudo

O consumo de energia elétrica nos edifícios cresceu entre de 2010 e 2012, embora tenha ocorrido um decréscimo em 2011 (Tabela 3.3). Contudo, pela análise da Figura 3.9, verifica-se que os custos associados foram continuamente crescentes. Para além de outras finalidades, o consumo de energia elétrica ocorre, essencialmente, de junho a outubro para abastecimento dos *chillers*. Por outro lado, o consumo de gás natural aumentou de 2010 a 2012, sendo 2011 o ano que registou maior consumo (Tabela 3.3). No entanto, é em 2012 que a faturação é maior. O consumo de gás natural destina-se essencialmente ao abastecimento de caldeiras nos meses de novembro a março (Figura 3.10).

Tabela 3.3 - Consumo energético

	Energia Elétrica		Gás natural		
	kWh	€	m ³	kWh	€
2010	241.910,00	28.456,75	10.190	131.875	6.698,88
2011	237.835,00	32.861,44	11.868	149.118	9.931,05
2012	253.733,00	38.568,27	11.242	133.188	11.513,14

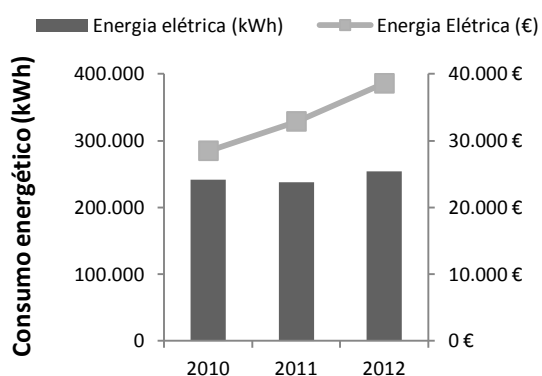


Figura 3.9 - Consumo de energia elétrica

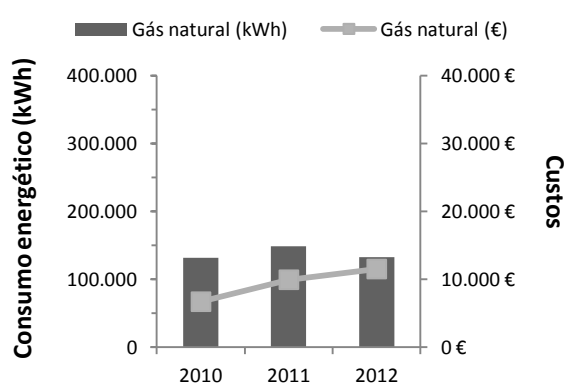


Figura 3.10 - Consumo de gás natural

3.4. Avaliação subjetiva da qualidade do ambiente interior

Para a avaliação subjetiva da qualidade do ambiente interior elaborou-se um questionário, posteriormente distribuído aos ocupantes que tenham demonstrado disponibilidade em colaborar no estudo. A campanha decorreu de 29 a 30 de maio e de 2 a 3 de junho de 2014 e foram inquiridas 87 pessoas, das quais 50 do edifício A e 37 do edifício B (60 da ala sul e 27 da ala norte). A discrepância de valores justifica-se pela maior ocupação do edifício A e das salas a sul nos dois edifícios.

O questionário foi baseado num exemplar da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Espacial (ADAI) previamente testado em estudos similares. Ressalva-se uma pequena falha detetada na alínea a) da questão 4 por ser restrita a três níveis qualitativos, sendo mais adequada uma análise quantitativa prévia com escala mais ampla de classificação. O inquérito é constituído por cinco grupos de questões e espaço livre para comentários, tendo como objetivo recolher informação pessoal, características do local de trabalho, avaliação do conforto visual, a avaliação geral do ambiente interior e o impacto que cada fator tem na qualidade ambiente interior de cada indivíduo. O inquérito está disponível para consulta no apêndice A.

3.5. Campanhas de medição

Para uma caracterização holística do conforto térmico e da qualidade do ar interior do estudo de caso foram realizadas medições no verão e no inverno. Os locais sujeitos a medição, assinalados nas plantas anteriormente apresentadas (da Figura 3.3 à Figura 3.7), foram definidos de acordo com a ocupação, o tipo de atividade desenvolvida (escritório ou laboratório), a orientação da sala e resultados dos inquéritos, apresentados no capítulo 4.

As medições foram agendadas consoante a disponibilidade dos trabalhadores, que criou alguma dificuldade especialmente no verão. A maior parte das salas selecionadas foram estudadas em ambas as estações, excluindo-se o gabinete do laboratório de fotossíntese (estação de arrefecimento) e do gabinete VCI (estação de aquecimento). As campanhas de medição da estação de aquecimento e arrefecimento são apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Campanhas de medição.

Estação de arrefecimento	julho: 21-25 e 30	2014
	agosto: 18-22	
	setembro: 1-3 e 30	
	outubro: 1-3	
Estação de aquecimento:	janeiro: 8-31	2015
	fevereiro: 1-25	

3.6. Caracterização do ambiente térmico

A apreciação do conforto térmico do ambiente interior é conseguida pela medição de parâmetros diversos, sendo seguidamente descritos os equipamentos e parâmetros de conforto térmico medidos para análise dos edifícios em estudo e posteriormente descarregados no computador, com auxílio do *software* aconselhado pelo fabricante (Tabela 3.5). Adicionalmente, os equipamentos são apresentados no anexo C.

Tabela 3.5 - Características dos instrumentos de medição (ambiente térmico).

Instrumento de medição	Data da última calibração	Parâmetro/ Poluente	Gama	Precisão	Resolução
<i>Lighthouse Handheld</i> 3016 IAQ	2008	Temperatura do ar	0 a 50°C	± 0,5°C	0,1°C
		Humidade relativa	15 a 90%	± 2%	0,1%
<i>Sensotron</i> PS32	2008	Temperatura do ar	10 a 45°C	± 0,5°C	0,1°C
		Humidade relativa	0 a 100%	± 3,5%	0,1%
<i>Fluke 975 AirMeter™</i>	2008	Temperatura do ar	-20° a 50°C	±0.9 °C de 40°C a 50°C; ±0.5 °C de 5°C a 40°C; ±1.1 °C de -20°C a 5°C.	0,1°C
		Humidade relativa	10 a 90%	±4%	0,1%
<i>Indoor Comfort Analyser Type</i> 1213	2008	Temperatura do ar	-20 a 50 °C	± 0,2°C de 5 a 40°C ± 0,5°C de -20°C a 50°C	0,1°C
		Velocidade do ar	0,05 a 1 m/s	± 5%	0,01m/s
Sensores de temperatura (<i>Spin&Turn</i>)	2014	Temperatura do ar	-4 a 70°C	± 0,5°C	0,1°C

Os procedimentos e os métodos adotados para a apreciação dos parâmetros de conforto térmico são variáveis com as exigências dos equipamentos e análise pretendida.

Os instrumentos de medição da temperatura e da humidade do ar analisaram as salas monitorizadas na estação de arrefecimento e aquecimento, num período mínimo de 24 horas. Foram colocados nas secretárias dos trabalhadores, com um afastamento mínimo da parede de 1 m e protegidos da exposição direta à luz solar.

Por outro lado, a determinação do índice PMV e da velocidade do ar ocorreu no gabinete do Laboratório de Ensaio e Desgaste de Materiais (LEDM) e na sala de ensaios 1 do LEDM. O primeiro localiza-se na ala norte do edifício B, no qual trabalham 2 pessoas e o último na ala sul do edifício B, com 7 trabalhadores. A sala de ensaios 1 do LEDM está dividida em dois espaços, escritório partilhado e laboratório, por porta de correr de vidro (Figura 3.11). O instrumento de medição foi colocado no escritório partilhado, com os sensores instalados num tripé a 1 m do pavimento, próximo da altura da mesa de trabalho e com distância da parede de 1 m (ver anexo C). O equipamento interrompe o registo de dados a partir das 00h00 de cada dia, sendo reativado no início da ocupação. Contudo, não afeta o estudo, uma vez que interessa fundamentalmente estudar o período com ocupação.

A instalação experimental para avaliação do perfil vertical de temperatura do ar baseou-se numa estrutura construída para o efeito, constituída por uma vara metálica com 4x300x3cm⁶ para colocar os sensores de temperatura do ar. Estes foram numerados de acordo com a distância ao pavimento, colados com fita-cola de dupla face e posteriormente ligados em série à alimentação (Figura 3.12). A disposição dos sensores de temperatura foi baseado no guia técnico para a avaliação da qualidade do ar em espaços interiores, como descrito na Tabela 3.6.

⁶ Largura x comprimento x profundidade.



Figura 3.11 - Parede de vidro na sala de ensaios 1 do LEDM.

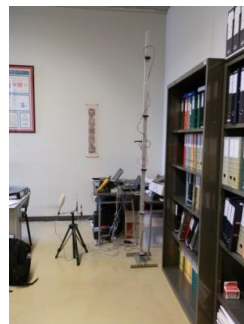


Figura 3.12 - Instalação experimental de sensores de temperatura no gabinete do LEDM

Tabela 3.6 - Sensores de temperatura (APA, 2010).

N.º do sensor	Distância relativamente ao pavimento	
1	Zona dos pés	0,1 m
2	Zona da cintura (pessoa sentada)	0,6 m
3	Zona de respiração (pessoa sentada)	1,1 m
4	Zona de respiração (pessoa em pé)	1,7 m
5	Próximo do teto	2,3 m

O ensaio realizou-se no gabinete do LEDM de 19 de janeiro a 5 de fevereiro de 2015. O teste realizou-se no inverno já que é a estação com indicação de maiores queixas sobre o conforto térmico, essencialmente nas salas a norte. A escolha de uma sala a norte justifica-se pelos resultados dos inquéritos que revelaram desconforto térmico superior às salas a sul, nos edifícios A e B no inverno, nomeadamente por sentirem frequentemente o ambiente frio nesta estação. Simultaneamente o conforto térmico foi considerado, pelos mesmos ocupantes, como o fator mais importante para a qualidade ambiente interior.

Falhas de conexão entre os sensores e o computador provocaram interrupções no dia 1, 10 e 11 da campanha de medição. Os dados foram descarregados em formato de folha *Excel* e posteriormente foi desenvolvido um gráfico no programa *Mathlab* para melhor compreensão dos resultados.

3.7. Caracterização da qualidade do ar interior

A avaliação efetuou-se nos períodos definidos anteriormente e com recurso a instrumentação disponibilizada para medição de parâmetros avaliadores da qualidade do ar interior (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Características dos instrumentos de medição (qualidade do ar interior).

Instrumento de medição	Parâmetro/ Poluente	Gama	Precisão	Resolução
<i>Lighthouse Handheld</i> 3016 IAQ	Partículas suspensas no ar	0,3 a 10 µm	Eficiência de contagem 50% para $d_p=0,3$ µm 100% para $d_p=0,45$ µm	0,01mg/m ³
<i>Sensotron</i> PS32	Dióxido de carbono	0 a 5000 ppm	± 10ppm	1 ppm

A concentração de partículas suspensas no ar foi analisada no verão e a concentração de dióxido de carbono no verão e no inverno nas salas monitorizadas, num período mínimo de 24 horas. Os equipamentos foram dispostos nas secretárias dos trabalhadores com um afastamento mínimo da parede de 1 m e protegidos da zona de respiração direta do trabalhadores ou de zonas próximas de equipamentos.

Adicionalmente determinou-se a taxa de renovação de ar com recurso ao método dos gases traçadores que consiste na libertação de um gás bem conhecido, em quantidade e propriedades específicas, no local sujeito a estudo. O gás traçador utilizado é o CO₂, proveniente do metabolismo dos trabalhadores presentes, sendo a técnica de decaimento aplicada quando não há emissão de CO₂, isto é, no período após ocupação. A diminuição da concentração deve-se ao sistema de ventilação e à ausência de ocupantes, no período de almoço, e às fugas de ar, no período noturno.

A formulação matemática da evolução temporal da concentração de CO₂ num espaço interior com comportamento de unizona descrita e deduzida em d'Ambrosio Alfano *et al.* (2010) é adotada no presente estudo sendo utilizada a expressão (3.1).

$$\ln\left(\frac{C(t) - C_{\text{equi}}}{C_{\text{ext}} - C_{\text{equi}}}\right) = -\lambda t \quad (3.1)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo apresentam-se os resultados do estudo subjetivo relativo à qualidade ambiente interior e aos do estudo de campo no que respeita ao conforto térmico e à qualidade do ar interior, no verão e no inverno, nos edifícios em estudo.

4.1. Avaliação subjetiva da qualidade ambiente interior

Os resultados estão agrupados pela orientação e por edifício, pois assim se subdividem as divergências mais relevantes na perceção da qualidade do ambiente nos locais de trabalho. As figuras apresentadas de seguida referem-se aos resultados mais importantes, sendo que os restantes podem ser consultados no apêndice B.

4.1.1. Caracterização da população e do local de trabalho

A população do edifício é jovem, compreendendo o intervalo de idades de 26 a 35 anos, e maioritariamente do género masculino. Cerca de 94,3% tem estudos de nível superior e os restantes o ensino secundário. O índice de massa corporal (IMC) da população do estudo corresponde, na generalidade, ao peso normal (64%) e somente 13% assume ter hábitos tabágicos.

O posto de trabalho da grande parte da população é o laboratório e o escritório fechado e partilhado. O período de ocupação é o horário laboral comum na população portuguesa, das 9h às 18h, com uma hora de almoço, das 13h às 14h. No entanto, é vulgar os trabalhadores prolongarem o horário para o período noturno. O tempo de residência superior a um ano é maioritário (61 indivíduos e 26 indivíduos inferior a 1 ano). Na análise de questões que envolvem a estação de verão e de inverno são excluídas as respostas dos inquiridos com residência inferior a 1 ano.

4.1.2. O sistema de climatização do edifício

A classificação da eficiência do sistema de climatização mecânico do edifício é idêntica nos dois edifícios e positiva, com a classificação “razoável” como a mais comum.

No edifício A e B a insatisfação nas salas a norte é maior do que nas salas a sul (Figura 4.1). Embora a classificação do sistema de climatização seja no geral positiva, alguns inquiridos comprovam a utilização de equipamentos auxiliares, sendo o aquecedor o equipamento mais utilizado e com maior incidência nas zonas cuja classificação da eficiência do sistema de climatização foi negativa (“muito má” e “má”), isto é, nas alas a norte (Figura 4.2).

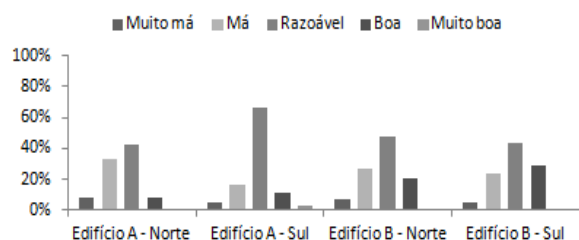


Figura 4.1 - Avaliação do sistema de climatização do edifício.

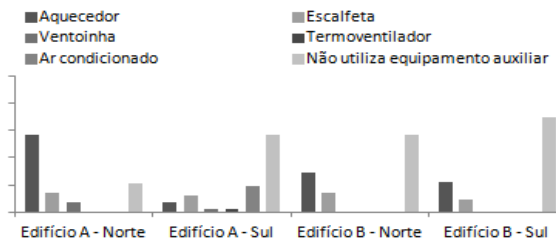


Figura 4.2 - Utilização de equipamentos auxiliares.

4.1.3. A qualidade do ambiente interior

- Conforto térmico

No que respeita ao conforto térmico, os inquiridos foram questionados sobre a sensação de ambiente térmico frio, ambiente térmico quente, variação de temperatura e corrente de ar.

No verão, a maioria considera que nunca sentiu frio, contrariamente à sensação de ambiente térmico quente que é “frequente”, especialmente a norte do edifício B e sul do edifício A (Figura 4.3). No que concerne à variação da temperatura, a opinião geral é que apenas sucede “algumas vezes”, assim como correntes de ar a norte do edifício B e sul do edifício A, e nos demais espaços consideram que nunca foi sentida.

No inverno, nas salas a norte dos dois edifícios registam-se ambientes térmicos frios com “frequência”, porém os a sul consideram que apenas ocorre “algumas vezes” (Figura 4.4). Nas salas a sul no edifício A sente-se o ambiente quente “algumas vezes” ao invés da ala norte cuja maioria dos ocupantes nega a ocorrência. Por outro lado, no edifício B as opiniões dividem-se igualmente em “nunca” e “algumas vezes”. A variação da temperatura é sentida “algumas vezes”, de acordo com a maioria dos ocupantes dos edifícios A e B, e apenas os ocupantes da ala sul do edifício B consideram que “nunca” sentiram corrente de ar.

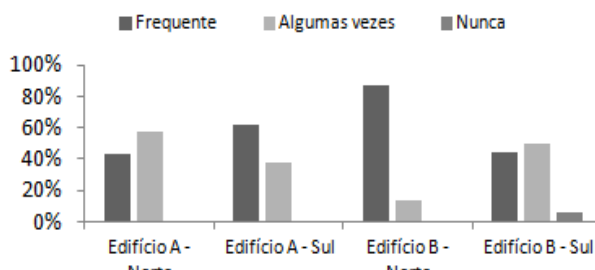


Figura 4.3 - Ambiente térmico quente (verão).

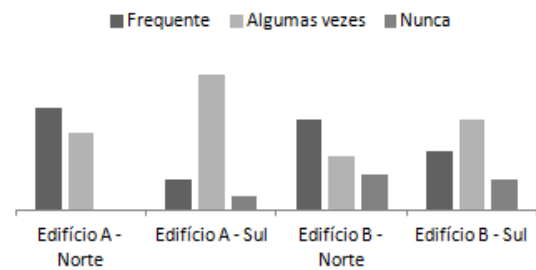


Figura 4.4 - Ambiente térmico frio (inverno).

• Qualidade do ar interior

No que respeita à qualidade do ar no interior do edifício os ocupantes foram questionados sobre a sensação de ar pesado, ar seco, poeiras no ar e odores desagradáveis.

No verão, os inquiridos da ala sul do edifício A confirmam que “algumas vezes” sentem o ar pesado, contrariamente aos restantes inquiridos que, na sua maioria, afirmam que tal “nunca” ocorre. Quanto à sensação de ar seco, “algumas vezes” é a resposta mais comum no edifício A, todavia, na ala sul do edifício B a maioria considera que “nunca” ocorreu. Na ala norte as opções mais votadas igualam-se, “algumas vezes” e “nunca”. A constatação de situações de ar seco e de ar pesado demonstram debilidades do sistema de AVAC, na humedificação e fornecimento do caudal para renovação do ar. No que respeita a poeiras no ar, somente os inquiridos do edifício A registam, a qual é explicada pela existência de um estaleiro de obras a norte do edifício A num período anterior à distribuição dos inquéritos (Figura 4.5). No edifício B os inquiridos afirmam sentir odores desagradáveis “algumas vezes”, o que contrasta com aos ocupantes do edifício A, que “nunca” sentiram. A justificação prende-se pelas atividades desenvolvidas nos laboratórios do edifício B.

Durante o inverno a maioria divide-se quanto à sensação de ar pesado, sendo que alguns consideram que “nunca” sentiram e outros apenas “algumas vezes”, com exceção da ala norte do edifício B cuja maioria dos inquiridos não regista ocorrência. Globalmente, a população afirma que “nunca” ocorrem episódios de ar seco e poeiras no ar, com exceção da ala norte do edifício A, onde ocorre com “frequência”, tal como no verão (Figura 4.6). Os ocupantes do edifício A consideram ainda que “nunca” sentem odores desagradáveis, contrariamente às opiniões dos ocupantes do edifício B que sentem “algumas vezes”, assim como no verão.

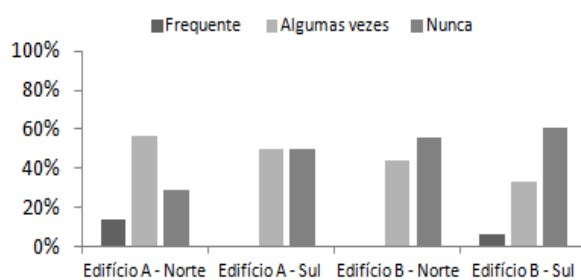


Figura 4.5 - Poeiras no ar (verão).

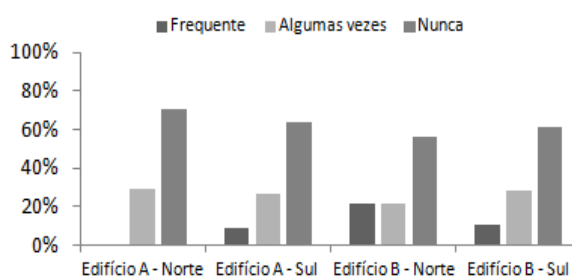


Figura 4.6 - Poeiras no ar (inverno).

- **Conforto acústico**

Na opinião maioritária da população, episódios de ruído são registados “algumas vezes” em ambas as estações. As salas a sul revelam maior incidência de ruído, uma vez que a opção “frequente” é a mais votada que se justifica pelo tipo de atividade aí desenvolvida (laboratório), especialmente no edifício B.

- **Conforto visual**

A iluminação natural é considerada insuficiente apenas na ala norte do edifício A, contudo, a utilização de iluminação artificial é geral. Quanto ao fenómeno de encandeamento, os inquiridos dos edifícios concordam que “nunca” sucede e questionados sobre a necessidade de alterar o atual sistema de iluminação a maioria considera desnecessário. A classificação geral do sistema de iluminação é “boa”.

4.1.4. Avaliação dos fatores condicionantes da qualidade ambiente interior nos locais de trabalho

Os ocupantes foram questionados sobre o impacto da falta de QAI e conforto térmico na produtividade e como o classificam no seu local de trabalho. Em relação à falta de QAI a grande parte dos trabalhadores afirma que não afeta a sua produtividade (Figura 4.7) e quase toda a população considera-a aceitável no seu local de trabalho (Figura 4.8). Quanto ao conforto térmico os inquiridos do edifício A consideram que a falta deste influencia negativamente a produtividade, contrariamente aos do edifício B que na ala norte consideram que não afeta, sendo que a sul as opiniões dividem-se (Figura 4.9). Os ocupantes do edifício B e edifício A ala sul avaliam-no como aceitável, contrariamente a norte do edifício A, no qual há divisão (Figura 4.10).

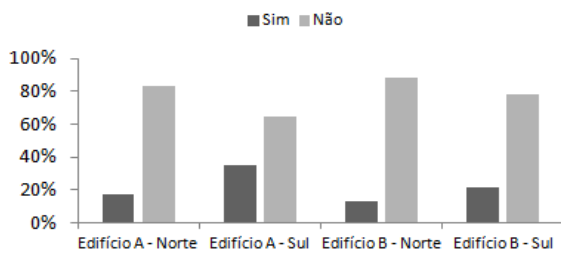


Figura 4.7 - QAI afeta a produtividade.

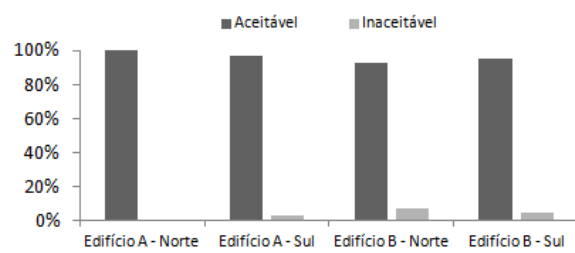


Figura 4.8 - QAI no local de trabalho.

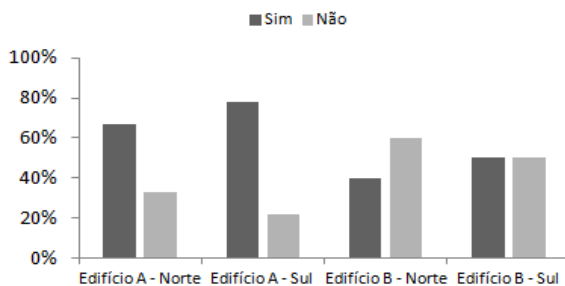


Figura 4.9 - Conforto térmico afeta a produtividade.

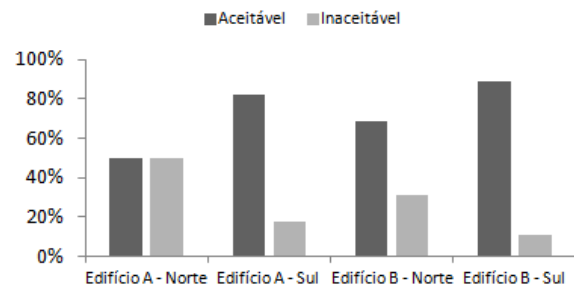


Figura 4.10 - Conforto térmico no local de trabalho.

Adicionalmente, os inquiridos revelaram a estação do ano que consideram como a pior relativamente à qualidade ambiente interior. Nas salas a sul a grande parte dos ocupantes considera o verão, contrariamente à resposta maioritária dos ocupantes da ala norte do edifício A que consideram o inverno. No edifício B ala norte as votações dividem-se entre inverno e verão.

Para o desenvolvimento da atividade laboral a maioria dos ocupantes considera como fator mais importante para a qualidade ambiente interior o conforto térmico, seguido da iluminação a par da QAI.

4.2. Resultados do estudo de campo

Na presente secção são apresentados os resultados referentes às campanhas de medição no âmbito do conforto térmico e da QAI realizadas nos edifícios em estudo. Os resultados relativos ao conforto térmico são divididos por estação do ano, correspondente às diferentes necessidades de funcionamento do edifício e características exteriores.

4.2.1. Conforto térmico – Estação de arrefecimento

De seguida são apresentados os resultados dos parâmetros para avaliação do ambiente térmico no verão.

- **Temperatura e humidade do ar**

A medição dos parâmetros ambientais decorreu durante 24 horas nos espaços analisados. Os resultados de três casos representativos da realidade dos edifícios são demonstrados de seguida, nomeadamente do laboratório de geotecnia, da sala de gestão de projetos e do gabinete do LEDM. Nas figuras seguintes a linha tracejada e a linha ponto traço pretas representam a temperatura máxima do ar aconselhada e a temperatura de conforto térmico para a estação de arrefecimento, respetivamente. A linha tracejada cinzenta representa o valor mínimo da humidade relativa do ar para o conforto, a zona sombreada os períodos sem ocupação e a zona não sombreada os períodos com ocupação.

No laboratório de geotecnia a temperatura do ar nunca iguala a temperatura considerada de conforto para a estação de arrefecimento (25°C) e, pelo contrário, a humidade relativa supera sempre o limite mínimo exigido (30%) (Figura 4.11). A Figura 4.12 traduz a evolução da temperatura e da humidade do ar no gabinete do LEDM. A temperatura do ar é constante e ligeiramente inferior à temperatura de conforto para o verão (25°C), durante o período de ocupação. Os valores de humidade relativa são superiores ao limite mínimo para o conforto (30%). Por outro lado, a temperatura do ar na sala de gestão de projetos é superior a 25°C, assim como a humidade do ar supera sempre o limite mínimo para garantir conforto, como verificado na Figura 4.13. Os resultados referentes aos restantes espaços examinados podem ser consultados no apêndice C.

Durante o verão não existem problemas de humidade do ar nem de temperatura do ar, porém é observável a diferença da evolução térmica do ambiente nas salas a norte e a sul. Embora estas últimas apresentem sistema de arrefecimento, devido às grandes áreas dos vãos envidraçados e à orientação, as temperaturas são sempre superiores.

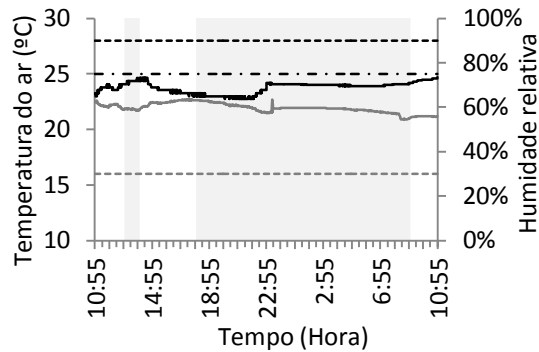


Figura 4.11 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no laboratório de geotecnia (norte).

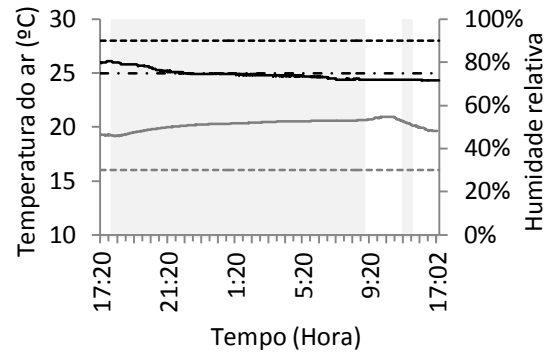


Figura 4.12 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no gabinete do LEDM (norte).

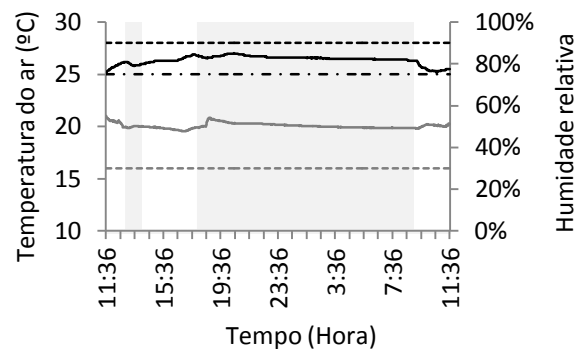


Figura 4.13 - Evolução da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) na sala de gestão de projetos (sul).

4.2.2. Conforto térmico – Estação de aquecimento

Os resultados da avaliação do ambiente térmico são analisados de seguida. Por causa da variabilidade ocupacional típica do verão as medições no edifício B, do piso 2 da ala norte, respeitam ao gabinete VCI em substituição do gabinete do laboratório de fitossanidade.

- **Temperatura e humidade do ar**

A temperatura e a humidade do ar foram registadas durante um dia, nos espaços sujeitos a estudo, e os resultados de três casos representativos de ambos os edifícios são apresentados de seguida. Nas figuras apresentadas a linha tracejada e a linha ponto traço pretas representam a temperatura máxima do ar aconselhada e a temperatura de conforto térmico para a estação de arrefecimento, respetivamente. A linha tracejada

cinzenta representa o valor mínimo da humidade relativa do ar para o conforto, a zona sombreada os períodos sem ocupação e a zona não sombreada os períodos com ocupação.

No laboratório de geotecnia, a temperatura do ar está abaixo da temperatura considerada de conforto para a estação de aquecimento (20°C) em todo o período de medição. A humidade relativa do ar é superior ao limite mínimo exigido (30%) como demonstra a Figura 4.14. A Figura 4.15 exhibe a evolução da temperatura e da humidade do ar no gabinete do LEDM. A temperatura do ar é constantemente superior à temperatura de conforto (20°C) e com valores superiores no período de ocupação. A humidade relativa é superior a 30% em todo o período de medição. Na sala de formação 2, a temperatura do ar supera a temperatura de conforto (20°C) durante o período de ocupação e é inferior durante a noite. A humidade relativa é superior a 30% em todo o período de medição, contudo aproxima-se do limite mínimo no final da manhã e início da tarde, como expõe a Figura 4.16. Os resultados referentes aos restantes espaços examinados podem ser consultados no apêndice D.

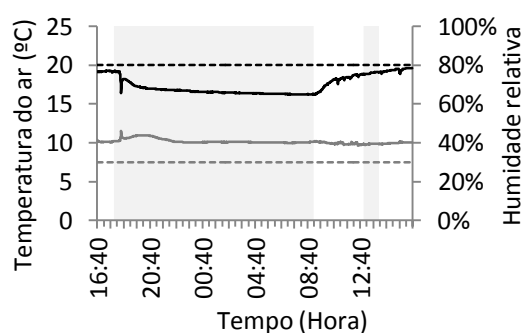


Figura 4.14 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no laboratório de geotecnia (norte).

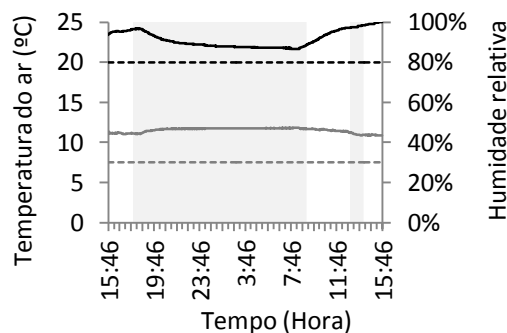


Figura 4.15 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) no gabinete do LEDM (norte).

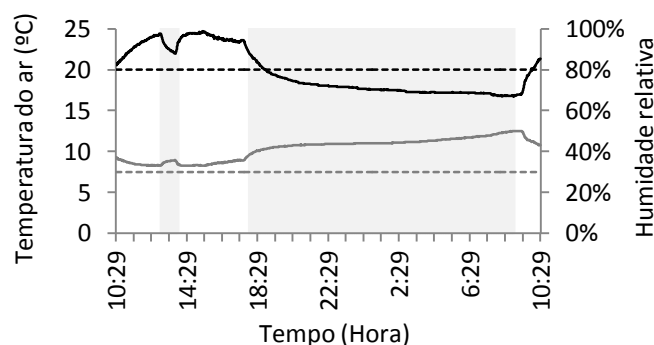


Figura 4.16 - Evolução temporal da temperatura do ar (linha contínua preta) e da humidade do ar (linha contínua cinzenta) na sala de formação 2 (sul).

Em quase todos os espaços são utilizados equipamentos auxiliares para aquecimento e, mesmo assim, alguns apresentam temperaturas do ar abaixo do valor recomendado. No geral, as salas a sul apresentam valores de temperatura mais elevados do que as salas a norte, pois as primeiras são aquecidas por ventiloconvectores e as segundas por radiadores. Nesta estação, as percentagens de humidade relativa do ar aproximam-se do limite mínimo quando as temperaturas do ar são elevadas, superiores a 25°C.

- **Índice de conforto térmico numa sala norte e numa sala a sul**

Nesta secção apresentam-se os resultados da comparação do índice de conforto térmico PMV verificado numa sala norte e outra a sul.

A Figura 4.17 representa a evolução do índice PMV na sala norte (gabinete LEDM) em 17 dias. A sua análise permite verificar que a dispersão das amostras reduz progressivamente no decorrer da semana, dado existir uma redução da variabilidade do índice. O índice de PMV compreende os valores de conforto definidos para espaços de categoria III⁷ de acordo com a EN 15251 (2007), de - 0,7 a + 0,7, representados pelas linhas a tracejado nas figuras seguintes. Mas, em alguns momentos, os limites de conforto são excedidos representando um ambiente térmico ligeiramente frio ($PMV < - 0,7$), nomeadamente nos dias 3, 4, 9 e 15. No dia 3 é registada a temperatura mínima (16,3°C) de toda a campanha de medição neste espaço e durante a ocupação. Nos restantes dias, os índices são baixos ao início da manhã com maior ênfase para o início da semana.

A evolução temporal do índice PMV na sala sul (sala de ensaios 1 do LEDM) está patente na Figura 4.18 e corresponde a 14 dias. O índice PMV cresce durante a manhã, inverte na pausa de almoço e decresce até ao final do horário laboral. A sala compreende os valores de PMV de conforto para espaços de categoria III, no entanto no dia 6 os valores atingem o máximo pois a temperatura do ar máxima é registada neste dia, com 26,2°C, das 13h às 14h.

No geral, ambos os espaços compreendem valores de conforto limite para um espaço de categoria III, embora seja clara a tendência da sala sul para sensação térmica quente e da sala norte para sensação térmica fria.

⁷Categoria III - Nível aceitável, com expectativa moderada e pode ser utilizado para os edifícios existentes (EN 15251, 2007).

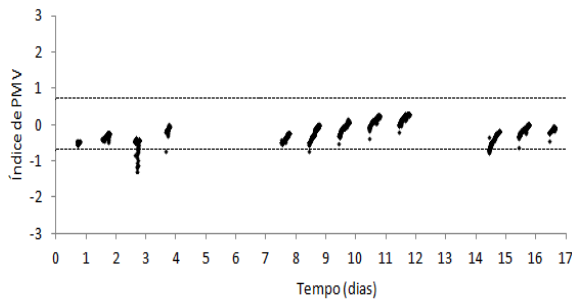


Figura 4.17 - Evolução temporal do índice PMV durante o período de ocupação em 17 dias no gabinete LEDM (norte).

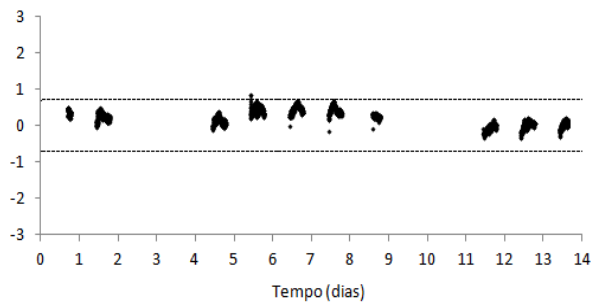


Figura 4.18 - Evolução temporal do índice PMV durante o período de ocupação em 14 dias na sala de ensaios 1 do LEDM (sul).

- **Velocidade do ar**

A velocidade do ar registada não condiciona o conforto térmico e não demonstra ocorrência de corrente de ar, uma vez que apresenta valores insignificantes. O valor mais elevado é registado na sala sul, 0,1m/s, sendo que de acordo com a norma EN 15251 (2007) apenas valores superiores a 0,2m/s têm impacto na perceção da temperatura do ar, e portanto no conforto térmico (ver apêndice D – Figura D.1).

- **Comparação da temperatura do ar na sala sul e norte com condições exteriores análogas**

No gabinete LEDM (norte) e na sala de ensaios 1 do LEDM (sul) a temperatura mínima é de 20°C, sendo portanto assegurado o conforto térmico. Na sala norte, a temperatura do ar cresce gradualmente durante a manhã e atinge o valor máximo no final do horário laboral. Na sala sul, a temperatura do ar oscila ao longo da manhã e à tarde estabiliza. Após a desocupação, a temperatura do ar decresce em ambas as salas. A sala sul tem mais ocupantes que a sala norte, pelo que a saída e entrada de pessoas faz oscilar a temperatura do ar. Por outro lado, na sala norte é comum o recurso a equipamentos auxiliares para aquecimento e, como o volume da sala é menor, o espaço atinge as temperaturas mais elevadas, com a proximidade do final do período laboral. Com o avançar do dia as temperaturas tendem a coincidir. A evolução da temperatura do ar na sala norte e sul pode ser verificado pela Figura 4.19.

Este teste revela que as salas a norte têm mais dificuldade em atingir temperaturas mais altas, análogas às do espaço a sul, com condições externas semelhantes.

Mesmo com a utilização de equipamentos auxiliares para aquecimento e a reduzida interação com espaços mais frios.

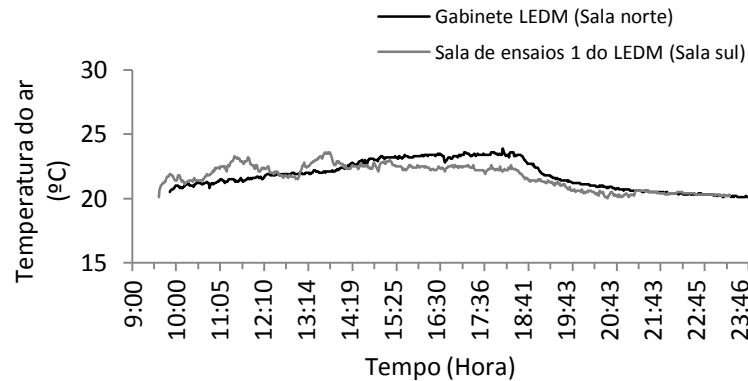


Figura 4.19 - Comparação da evolução temporal da temperatura do ar na ala norte e sul em dias com condições exteriores análogas. A temperatura média diária no exterior da sala norte é de 9,9°C (27/01/2015) e da sala sul 9,6°C (24/02/2015).

- **Estratificação vertical da temperatura do ar na sala norte**

Os resultados da monitorização da temperatura do ar em cinco níveis, com o respetivo distanciamento ao pavimento, denunciam um padrão comportamental divergente entre a semana e o fim-de-semana. De segunda-feira a sexta-feira, a temperatura do ar aumenta com o decorrer da semana em todos os pontos de medição, e diverge, com a distância ao pavimento. A Figura 4.20 facilita a compreensão da evolução temporal e espacial da temperatura do ar.

No início da manhã, a temperatura do ar é a mais baixa do dia e aumenta a partir das 9h com o início da ocupação, contrariamente ao que ocorre no período da tarde. Durante a semana, a temperatura mínima regista-se na segunda-feira enquanto a máxima é assinalada na sexta-feira. A segunda-feira é o dia da semana com maior variabilidade de temperatura, especialmente entre as 8h e as 9h, com uma diferença de temperatura do ar de 4°C, proporcionado pela reativação do sistema de aquecimento. No entanto, a partir das 18h as temperaturas do ar aproximam-se das temperaturas dos restantes dias da semana.

No fim-de-semana a temperatura do ar decresce desde o início de sábado até ao fim de domingo, em todos os níveis, razão pela qual a segunda-feira amanhece com as temperaturas mais baixas da semana. Os valores da temperatura do ar mínimos ocorrem na conclusão de cada dia e os máximos no início.

Assim, ao longo da semana o ar frio desce dando lugar a ar quente. Por isso, nos dias mais próximos do fim de semana a temperatura do ar é mais elevada nos pontos mais baixos, já que durante o fim-de-semana o ar quente dissipa-se e obriga a reiniciar o processo de aquecimento dos espaços no início de cada semana.

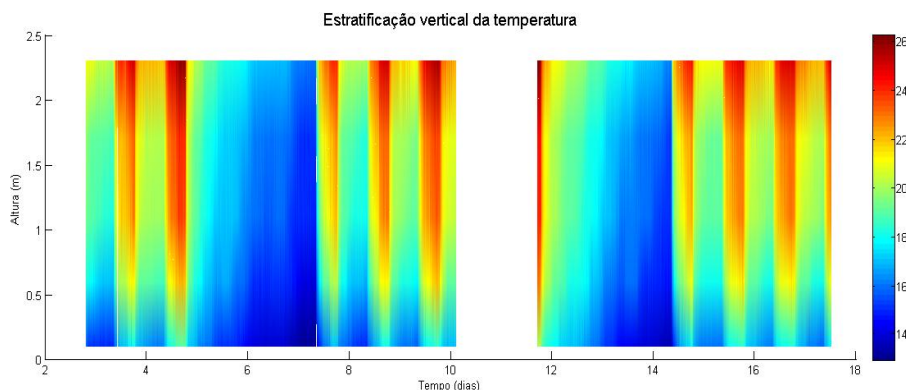


Figura 4.20 - Evolução temporal e distribuição espacial da temperatura do ar de 0,1m a 2,3m.

Desconforto térmico local - Amplitude térmica vertical

A amplitude térmica vertical entre a nuca e os pés de uma pessoa sentada (de 0,1 m a 1,1 m) causa desconforto quando a diferença de valores é significativa, que varia de acordo com a classificação do edifício. Para os edifícios em estudo, classificados como categoria III pela EN 15251 (2007), amplitudes térmicas superiores a 4°C são motivo para desconforto térmico local. A Figura 4.21 demonstra que durante o período laboral a amplitude térmica vertical supera com frequência o limite máximo aconselhado.

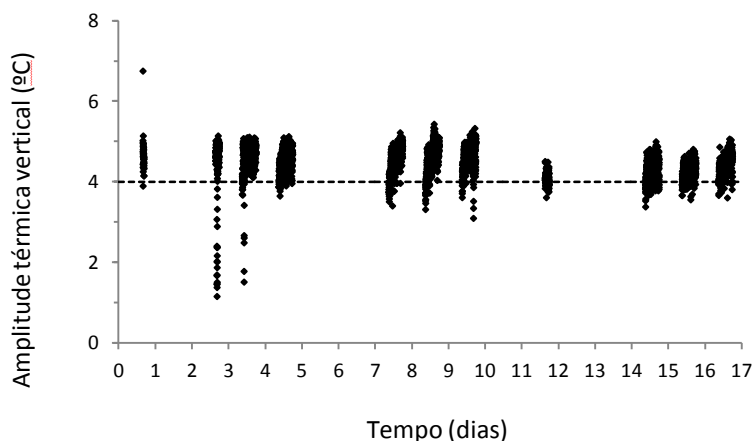


Figura 4.21 - Evolução temporal da amplitude térmica vertical compreendida entre os 0,1 m e os 1,1 m no gabinete LEDM (sala norte) no período laboral.

A Figura 4.22 compara a temperatura média do ar e a amplitude térmica do ar no início de cada hora (por exemplo às 9h00), traduzido pelos marcadores que representam a média de cinco minutos da temperatura e amplitude térmica do ar de cada hora. Por

exemplo, o marcador das 9h00 resulta da média da temperatura do ar registada nos minutos 08:58, 08:59, 09:00, 09:01 e 09:02. O mesmo processo é adotado para a determinação da amplitude térmica do ar registada em cada hora.

Conclui-se que no período de ocupação, a maioria dos pontos concentra-se no 2º quadrante, então a sala tem valores de temperatura média do ar superiores à temperatura de conforto (20°C) e amplitudes térmicas superiores a 4°C. Durante a ocupação, apenas às 9h00 a amplitude térmica é inferior ao limite máximo e aproxima-se da temperatura média do ar de conforto, 20°C. No período sem ocupação a amplitude térmica é sempre inferior a 4°C e a temperatura média do ar inferior a 20°C.

Em suma, o espaço apresenta amplitudes térmicas superiores ao aconselhado, a maioria no período com ocupação, o que provoca situações de desconforto térmico local, embora as temperaturas médias do ar sejam superiores a 20°C. Tal reforça a necessidade de redução da estratificação vertical da temperatura do ar de forma a homogeneizar o espaço termicamente.

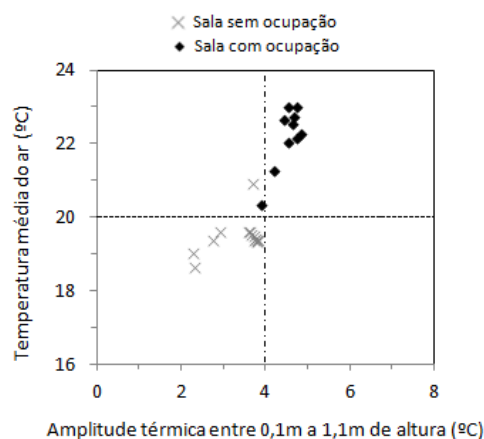


Figura 4.22 - Quadrante da temperatura média do ar e da amplitude térmica entre 0,1m e 1,1m a 23 de janeiro de 2015, no gabinete LEDM (norte).

Estimativa da temperatura do ar a 3,5 metros do pavimento (próximo do teto)

A medição de campo que pretendia verificar a estratificação vertical da temperatura apresenta o sensor mais afastado do pavimento a apenas 2,3 m, mas o pé direito da sala é de 3,5 m. Por conseguinte, foi estimado o valor da temperatura do ar para os 3,5 m pela equação da regressão linear resultante da aplicação do método dos mínimos quadrados aos valores de temperatura dos cinco sensores às 9h00 e no minuto em que se registou a temperatura do ar mais elevada, às 17h51, com base nos dados recolhidos na medição de campo.

Às 9h00, a temperatura do ar a 3,5 m de altura é de 26,5°C e a média da temperatura do ar nesse momento iguala os 21,4°C. Às 17h51, a 3,5 m de altura, a temperatura do ar é de 30,6°C e a temperatura média do ar da sala é de 24,3°C. Pela Figura 4.23 conclui-se que com o decorrer do dia a estratificação vertical da temperatura acentua-se.

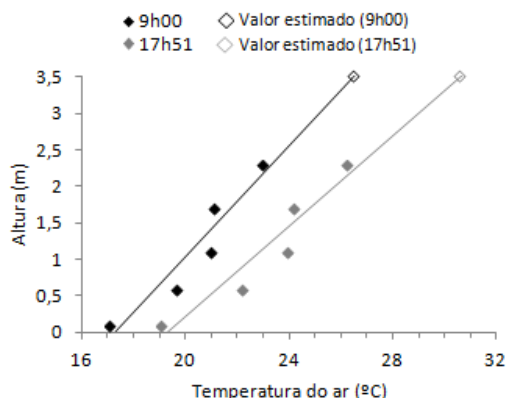


Figura 4.23 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM (norte) e reta de regressão linear do método dos mínimos quadrados para estimar a temperatura do ar a 3,5 m do pavimento com dados recolhidos às 9h00 e 17h51 do dia 23 de janeiro de 2015.

4.2.3. Qualidade do ar interior

Para a avaliação da qualidade do ar interior estudaram-se dois parâmetros físico-químicos: a concentração de partículas suspensas no ar (PM_{10}) e a concentração de dióxido de carbono (CO_2), sendo esta última analisada no verão e no inverno. Relativamente às salas que excedem o limite legal da concentração de partículas em suspensão, para além da análise da evolução temporal, apresentam-se as várias classes dimensionais e a análise comparativa do período com ocupação e sem ocupação, que coincidem com o funcionamento e desativação do sistema de AVAC, respetivamente. Os resultados da concentração de CO_2 são apresentados em função do tempo.

- **Concentração de partículas suspensas no ar (PM_{10})**

As concentrações de PM_{10} foram medidas durante um dia, de forma contínua, e são expressas em mg/m^3 . As seguintes figuras gráficas correspondem aos casos que registaram concentrações de PM_{10} superiores ao limite máximo legal durante a ocupação ($0,05mg/m^3$ com 8h de exposição). As figuras seguintes apresentam uma zona sombreada que representa o período sem ocupação e a zona não sombreada o período com ocupação. A linha tracejada preta traduz o limite máximo para a concentração de PM_{10} definido pela

Portaria nº 353-A/2013. Os resultados dos restantes espaços examinados podem ser consultados no apêndice D (Tabela D.2).

A Figura 4.24 retrata a concentração de PM_{10} no laboratório de geotecnia. O limite máximo legal é pontualmente igualado e ultrapassado no período de ocupação, nomeadamente das 10h às 11h, às 14h e às 16h, e logo após a desocupação, às 18h. Durante a ocupação verifica-se o domínio de partículas com diâmetro superior a $1\mu m$, especialmente na gama de $2,5\mu m$ a $5\mu m$ (Figura 4.25). Durante o período de medição não decorreram ensaios laboratoriais.

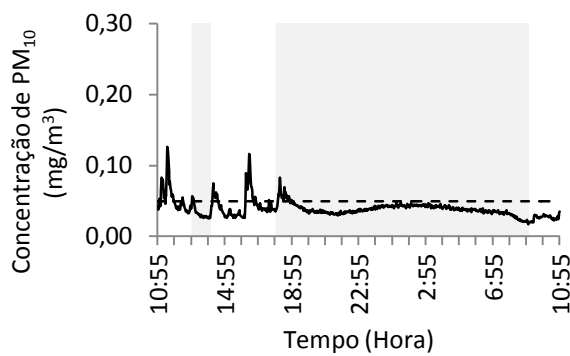


Figura 4.24 - Evolução temporal da concentração de PM_{10} (linha contínua preta) no laboratório de geotecnia (norte).

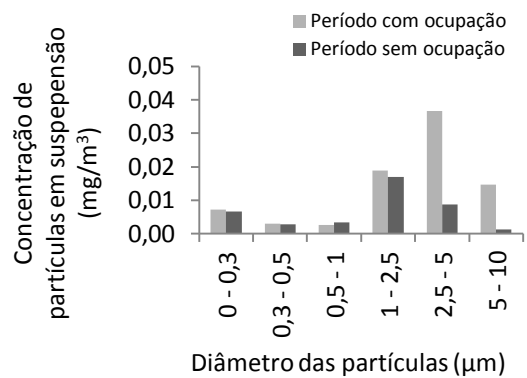


Figura 4.25 - Concentração de partículas em suspensão no ar (valores médios) por classe dimensional no laboratório de geotecnia (norte).

Na sala do projeto *ecomobile* o limite legal é alcançado em três momentos, durante a ocupação: às 12h40, das 15h às 16h e das 9h às 10h, e também após a desocupação, das 19h às 20h. A evolução temporal da concentração de PM_{10} na sala do projeto *ecomobile* é representada pela Figura 4.26. Na presença de trabalhadores são as partículas com diâmetro superior a $1\mu m$ que predominam (Figura 4.27).

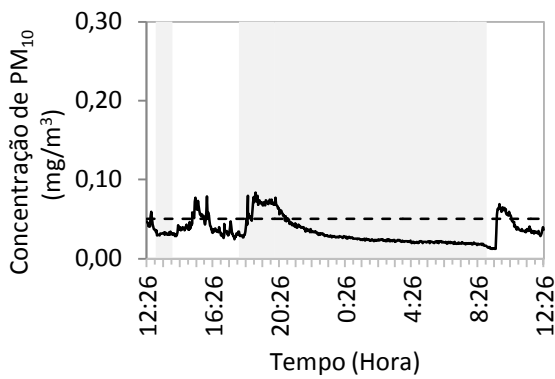


Figura 4.26 - Evolução temporal da concentração de PM_{10} (linha contínua preta) na sala do projeto *ecomobile*.

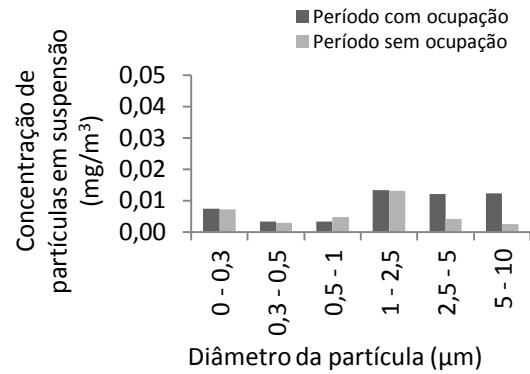


Figura 4.27 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional na sala do projeto *ecomobile*.

Nestes dois casos, o excesso de partículas de dimensões superiores a $1 \mu m$ está relacionado com a interação dos ocupantes e ligação com o exterior, isto é, à ressuspensão provocada pela movimentação de pessoas e bens tal como a abertura de portas e janelas. Realça-se ainda que a fachada envidraçada está orientada para um terreno em terra batida.

Os dois casos seguintes excederam o limite máximo de concentração de partículas suspensas no ar num período sem ocupação. A Figura 4.28 representa a evolução temporal da concentração de PM_{10} no gabinete do LEDM, no qual o limite legal é superado às 18h, com valor máximo de $0,28 mg/m^3$ às 18h30 que passa a margem de tolerância definida na legislação nacional ($0,10 mg/m^3$). A concentração PM_{10} é dominada por partículas finas ($PM_{0,5}$) no período sem ocupação (Figura 4.29).

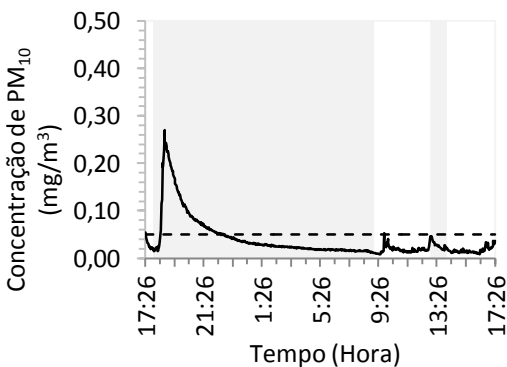


Figura 4.28 - Evolução temporal da concentração de PM_{10} (linha contínua preta) no gabinete do LEDM.

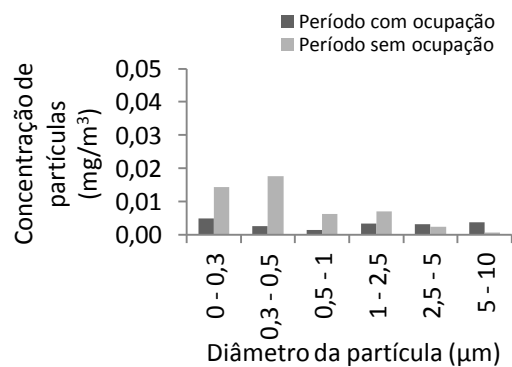


Figura 4.29 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional no gabinete LEDM.

A Figura 4.30 representa a concentração de PM_{10} durante um dia na sala de ensaios 1 do LEDM (escritório). A margem de tolerância é excedida no fim do horário laboral, com $0,2 mg/m^3$ às 18h53, e os valores aconselhados só são restabelecidos às

20h45. Na pausa de almoço, a concentração de partículas atinge o limite máximo legal. A concentração de partículas com diâmetros inferiores a $0,5 \mu\text{m}$ é superior, especialmente no período sem ocupação (Figura 4.31).

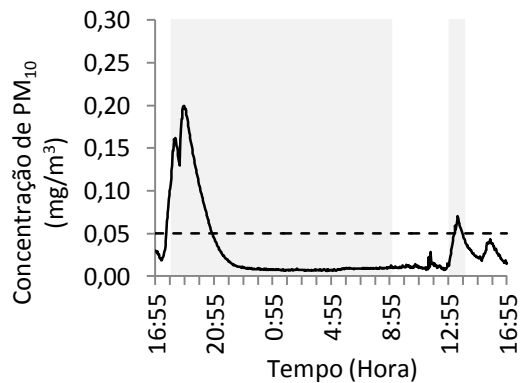


Figura 4.30 - Evolução temporal da concentração de PM₁₀ (linha contínua preta) na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM.

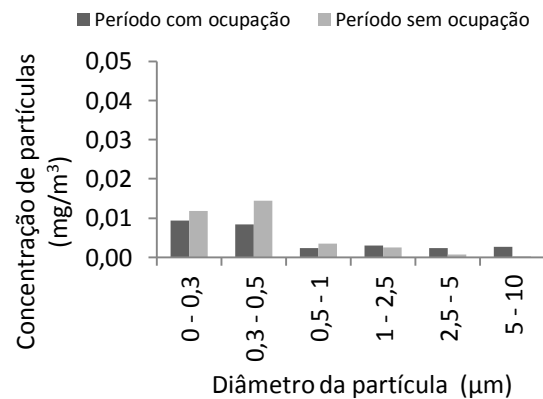


Figura 4.31 - Concentração de partículas em suspensão (valores médios) por classe dimensional na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM.

Nos casos anteriormente descritos são as partículas finas que predominam. Estas provêm de pólenes, equipamentos e fumo de tabaco e, por serem leves, demoram a depositar-se, o que justifica o decréscimo gradual da concentração de partículas após atingido o ponto máximo, num período já sem a presença de trabalhadores. O gabinete LEDM tem uma impressora utilizada frequentemente, que emite partículas finas, e a sala de ensaios 1 (escritório), embora seja destinada a atividades de leitura e escrita, tem acesso direto ao laboratório onde decorrem ensaios com libertação de pós.

• Concentração de dióxido de carbono

Analisou-se a evolução da concentração de CO₂ ao longo de 24 horas e verificou-se a conformidade com os limites definidos pela legislação portuguesa das salas alvo de estudo. Nas figuras gráficas apresentada de seguida, tanto no verão como inverno, a zona sombreada nas figuras representa o período sem ocupação e a zona sem sombra representa o período com ocupação, sendo que a linha tracejada preta se refere ao limite máximo para a concentração de CO₂ definido pela Portaria nº 353-A/2013.

A Figura 4.32 representa a evolução temporal de CO₂, registada em mg/m³, na sala de projetos 3 do LIS, caso representativo da realidade dos dois edifícios na estação do verão. A presença dos ocupantes aumenta a concentração do poluente e o abandono faz

decair a sua concentração, uma vez que nos espaços estudados a concentração de CO₂ resulta essencialmente da atividade metabólica dos trabalhadores presentes.

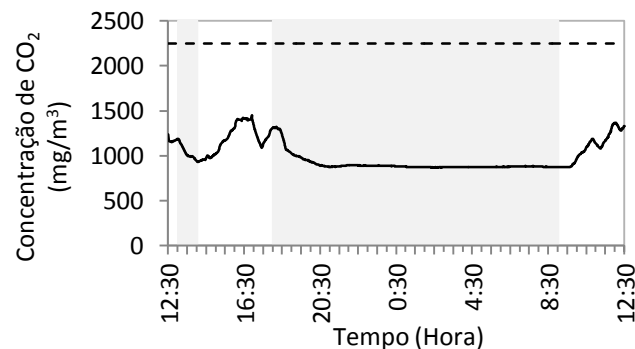


Figura 4.32 - Evolução temporal da concentração de CO₂ na sala de projetos 3 do LIS.

A par da sala apresentada todos os espaços estudados cumprem o limite máximo, essencialmente devido ao período do ano em estudo proporcionar condições para a ventilação natural (abertura de portas e janelas), o que dilui a concentração do poluente no interior das salas de trabalho (consultar apêndice E).

Para avaliação da concentração do dióxido de carbono durante o inverno apresenta-se a sua evolução temporal, ao longo de um dia, em duas salas examinadas, verificando-se ainda a conformidade com os limites plasmados na legislação portuguesa. Os casos descritos são representativos da realidade do edifício A e B do IPN e o resultado das restantes sala podem ser consultados no apêndice E.

No laboratório de geotecnia a ocupação durante a medição foi de duas pessoas. O baixo número de ocupantes e o grande volume da sala origina uma concentração de CO₂ baixa, como mostra a Figura 4.33, contudo é perceptível o decréscimo noturno e aumento diurno. Por outro lado, na área administrativa do LIS é evidente a divergência de concentração de CO₂ no período diurno e noturno, embora a ocupação seja reduzida, a sala é pequena. No período de almoço é perceptível a diminuição da concentração de CO₂ devido à pausa laboral (Figura 4.34). Nenhum dos espaços estudados excede o limite máximo legal de concentração de CO₂, porém, a área administrativa do LIS é a que mais se aproxima do limite legal, contudo não o alcança.

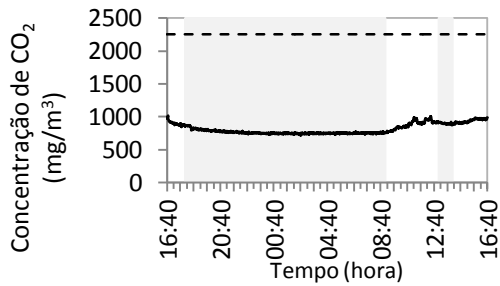


Figura 4.33 - Evolução da concentração de CO₂ no laboratório de geotecnia.

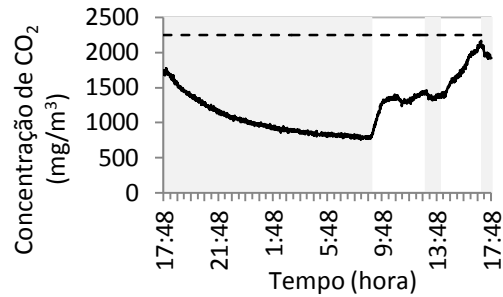


Figura 4.34 - Evolução da concentração de CO₂ na área administrativa do LIS.

Determinação do caudal de ar novo efetivo e verificação de caudais de infiltração

De seguida apresenta-se a taxa de renovação de ar em cada um dos espaços estudados, de acordo com a concentração de CO₂ nas salas no inverno. As figuras gráficas de cada espaço apresentam dois decaimentos de CO₂: o decaimento I, no período de almoço, e o decaimento II, no final do período laboral. A definição dos intervalos de decaimento de CO₂ parte do pressuposto que a hora de almoço é igual em todas as salas (das 13h às 14h) e que a jornada laboral termina às 18h. No entanto, o intervalo foi adaptado ao caso, escolhendo-se o momento em que o decaimento é significativo. Depois de definidos os intervalos de decaimento de CO₂ aplicou-se o método dos mínimos quadrados resultando a equação da reta de regressão linear.

Como exemplo, a Figura 4.35 representa os decaimentos do gás traçador verificados na sala de projetos 3 do LIS. Neste caso, o decaimento I decorreu das 12h50 às 13h40 e o decaimento II das 18h00 às 20h30.

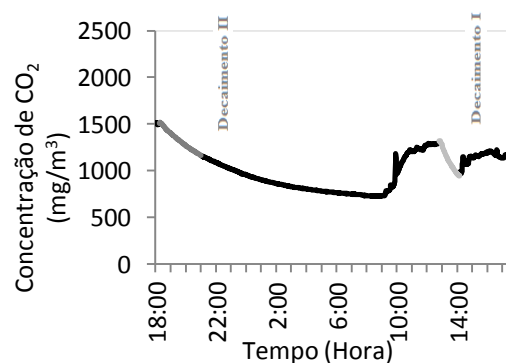


Figura 4.35 - Intervalos de decaimento de CO₂ na sala de projetos 3 do LIS .

As Figura 4.36 e 4.37 demonstram o logaritmo natural resultante da diferença entre a concentração de CO₂ na sala e no exterior do edifício ao longo do tempo. São acompanhadas da equação da regressão linear, do traçado da reta do método dos mínimos quadrados e do coeficiente de correlação. O módulo do declive da equação da reta corresponde à taxa de renovação de ar do espaço.

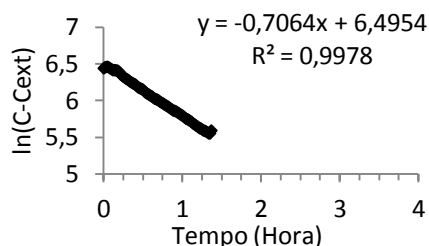


Figura 4.36 - Regressão linear do decaimento I na sala de projetos 3 do LIS - Intervalo de almoço.

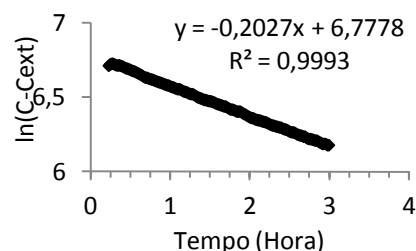


Figura 4.37 - Regressão linear do decaimento II na sala de projetos 3 do LIS - Fim do período laboral.

Na generalidade das salas analisadas, a taxa de renovação de ar no período de almoço é superior à taxa de renovação de ar no fim do horário laboral (ver Tabela 4.1). A exceção é o laboratório de geotecnia, cujos dados utilizados para o cálculo da taxa de renovação de ar no período de almoço não são representativo da realidade. Este resultado que poderá ter sido influenciado pelo fato da recolha dos dados ter sido realizada perto da hora de saída dos ocupantes. Por outro lado, no gabinete VCI, as taxas de renovação de ar dos dois períodos são muito semelhantes. A justificação para o decaimento similar pode estar associado à abertura da janela ou da porta para o corredor, o que permite a diluição rápida da concentração do gás traçador, no término do horário laboral.

Tabela 4.1 - Taxas de renovação de ar no período de almoço e no fim do período laboral.

Salas	Intervalo de almoço		Fim do período laboral	
	λ_{Dia} (h ⁻¹)	R ²	λ_{Noite} (h ⁻¹)	R ²
Laboratório de geotecnia	0,0905	0,6357	0,2277	0,9297
Sala do projeto <i>ecomobile</i>	0,7247	0,9832	0,3659	0,9961
Área administrativa	0,3032	0,9943	0,2225	0,8995
Sala de formação 2	0,6109	0,9458	0,3972	0,9686
Sala de projeto 3 do LIS	0,7064	0,9978	0,2027	0,9993
Gabinete LEDM	0,7612	0,9972	0,2470	0,9592
Sala ensaios 1 do LEDM (escritório)	2,359	0,7574	0,3516	0,9715
Gabinete VCI	1,0336	0,9965	0,9148	0,9948
Gestão de projetos	0,5749	0,9959	0,2668	0,9922

Segundo a Portaria nº 353-A/2013, o caudal de ar novo mínimo para escritórios resulta do somatório de 24 m³/h-pessoa, devido à carga poluente provocada pela ocupação,

e $3\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, pela poluição dos materiais do edifício e utilização deste. Contudo, considerou-se apenas como caudal mínimo de ar novo os $24\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pessoa}$, uma vez que o edifício não é recente, sendo a contribuição da carga poluente do próprio edifício insignificante. Assim, conhecido o volume e o número de ocupantes de cada sala foi calculado, para cada espaço, o caudal de ar novo, no período diurno, e o caudal de infiltração, no período noturno.

$$Q_{ar\ novo} = \frac{\lambda_{Dia} \times V}{n^{\circ}\ ocupantes} \quad (4.1)$$

$$Q_{infiltração} = \lambda_{Noite} \times V_{sala} \quad (4.2)$$

Durante o dia, a sala de ensaios 1, a sala do projeto *ecomobile*, a área administrativa e a sala de formação 2 apresentam caudais de ar novo inferiores ao mínimo aconselhado pela lei. Isto revela que o sistema de ventilação não esteve em funcionamento durante as campanhas de medição no edifício A, porém nenhum dos espaços alcança concentrações de CO_2 preocupantes. A ativação do sistema de ventilação e o aumento dos caudais de ar novo nos espaços poderá melhorar as condições de conforto (ver Tabela 4.2).

Para o período noturno, a norma EN 15251 (2007) define um intervalo de valores para garantir a ventilação dos espaços nas horas sem ocupação, de $0,1\text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ a $0,2\text{ l/s}\cdot\text{m}^2$. Tal evita a necessidade de pré-ventilar os espaços antes da ocupação, sendo que caudais de ar em excesso originam perdas energéticas que podem tornar-se significativas. Neste caso, apenas a sala de ensaios 1 do LEDM compreende os valores aconselhados. Os restantes espaços apresentam caudais inferiores, o que descarta a existência de caudais de infiltração no período noturno (ver Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Caudal de ar novo (dia) e caudal de infiltrações (noite).

Salas	Dados		Dia		Noite		
	Nº ocupantes	Volume (m ³)	Q _{mínimo legal} (m ³ /h·pessoa)	Q _{ar novo} (m ³ /h·pessoa)	Q _{mínimo legal} (m ³ /h)	Q _{máximo legal} (m ³ /h)	Q _{infiltração} (m ³ /h)
Laboratório de geotecnia	2	446,8	24	20,2	168,5	337,0	101,7
Sala do projeto <i>ecomobile</i>	4	106,4	24	19,3	50,4	100,8	38,9
Área administrativa	2	134,2	24	20,3	62,8	125,6	29,9
Sala de formação 2	3	83,8	24	17,1	43,5	86,9	33,3
Sala de projeto 3 do LIS	3	180,2	24	42,4	72,5	145,0	36,5
Gabinete LEDM	2	106,0	24	40,4	50,3	100,5	26,2
Sala de ensaios 1 do LEDM (escritório+laboratório)	7	708,8	24	238,9	234,7	469,4	249,2
Gabinete VCI ⁸	1	31,5	24	32,6	21,7	43,3	28,8
Gestão de projetos	4	177,2	24	25,5	71,6	143,2	47,3

⁸ Os dados recolhidos não são representativos da realidade.

5. MEDIDAS DE REDUÇÃO DE PERDAS DE ENERGIA

Nesta secção são apresentados os resultados da avaliação das perdas energéticas, pela envolvente do edifício na situação atual do gabinete LEDM (norte). São também analisadas medidas de melhoria propostas para possibilitar a redução de perdas energéticas, sem prejudicar o conforto dos ocupantes.

5.1.1. Situação atual

De forma simplificada, foram estimadas as perdas de energia (calor) pela envolvente do edifício, nomeadamente pela parede exterior e pelos vãos envidraçados, com a aplicação da equação (5.1) a cada uma das superfícies do gabinete LEDM (norte). O cenário real corresponde ao minuto 17h51 do dia 23 de janeiro de 2015, o momento em que é registada a temperatura máxima do dia.

$$Q_{perdido} = U \times A \times (T_{mar} - T_{amb}) \quad (5.1)$$

A temperatura do ambiente exterior (T_{amb}) registada no dia 23 de janeiro de 2015 ao minuto 17h51 é de 12,4°C, valor adquirido pela estação meteorológica da ADAI, localizada no DEM/FCTUC. Por outro lado, a temperatura média do ar (T_{mar}) resulta da média dos valores de temperatura registados nos cinco sensores da *Spin&Turn* e da temperatura do ar estimada para as zonas próximas do teto (3,5 m) que, pela Figura 4.23, é de 30,6°C. Adicionalmente, os valores do coeficiente de transmissão térmica de ambas as superfícies são retirados do relatório de peritagem (2013), sendo o valor para a parede exterior de 0,47 W/m²°C e para o vão envidraçado de 4,21 W/m²°C. As respetivas áreas de superfície foram determinadas a partir das plantas dos edifícios, com 19,84 m² para a parede exterior e 4,68 m² de área envidraçada. Estes valores são adotados para o estudo das medidas de melhoria propostas na secção seguinte, apresentados na Tabela 4.3, assim como o procedimento para determinação da temperatura do ar no ponto mais próximo do teto.

A Figura 5.1 confirma a existência de perda de energia pela envolvente na situação atual do edifício (346 W), destacando-se as perdas pelos vãos envidraçados em relação à parede exterior, embora apresentem uma área bastante reduzida.

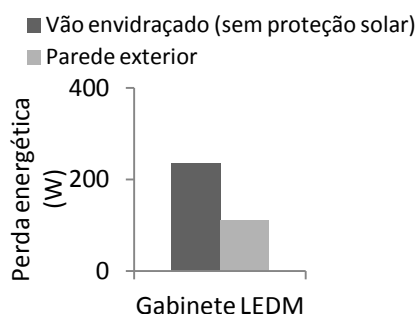


Figura 5.1 - Perdas de energia atuais pela envolvente do edifício no gabinete LEDM (medição ocorreu no dia 23/01/2015).

5.1.2. Medidas de melhoria propostas

- **Instalação de um teto falso estanque**

Nesta seção supõe-se a instalação de um teto falso a 2,7 m e 3 m do pavimento, uma vez que o ar mais quente está próximo do teto e afastado dos ocupantes. Isto pode tornar-se problemático, já que há, simultaneamente, consumo de energia excessivo e desconforto térmico dos ocupantes. O Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951) define que estabelecimentos comerciais e de serviços devem ter um pé direito livre mínimo de 3 m, mas prevê algumas exceções. Por outro lado, a alínea c) do artigo 4º do Decreto-Lei n.º 243/86 (p.2101) prevê que “O pé direito dos locais de trabalho não deve ser inferior a 3 m, admitindo-se, nos edifícios adaptados, uma tolerância até 2,7 m”. Posto isto, as poupanças de energia foram calculadas para as duas situações.

Para a instalação do pé direito a 2,7 m de altura a estratificação vertical da temperatura do ar é representada pela Figura 5.2 e para os 3 m de altura na Figura 5.3. A redução do pé direito da sala implica recalcular apenas a área da parede exterior para as duas situações, já que supomos que o vão envidraçado não será coberto para não obstruir a entrada de luz natural. Como resultado, o ar que atualmente migra para o teto fica aprisionado em zonas mais próximas dos ocupantes. A redução da área da parede resulta numa área de parede exterior de 15,1 m² para a instalação do teto falso a 2,7 m e de 16,8 m² para a instalação a 3 m, sendo que a temperatura média do ar diminui para 23,9 °C e 24,1 °C, respetivamente. Os restantes parâmetros necessários para o cálculo de perdas térmicas apresentam-se na Tabela 4.3.

O teto falso a 2,7 m do pavimento resulta em poupanças de energia de 27% para a parede exterior e apenas 4% para o vão envidraçado (Figura 5.4), e o teto falso a 3 m em 17% e 2%, respetivamente (Figura 5.5).

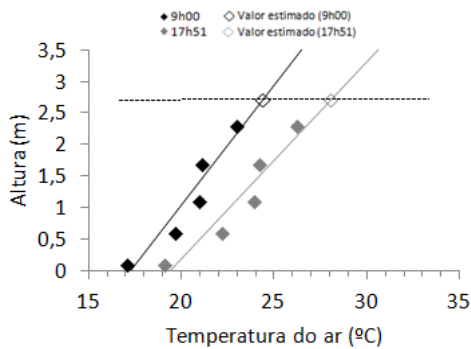


Figura 5.2 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM: Estimativa da temperatura do ar a 2,7 m do pavimento. A linha tracejada representa a localização do teto falso.

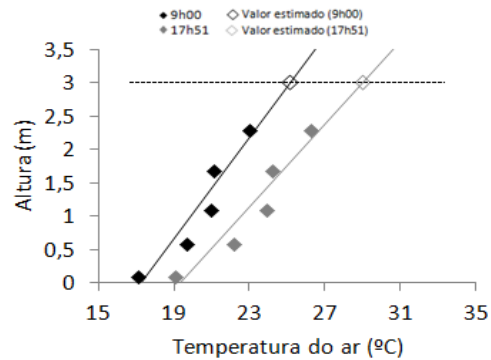


Figura 5.3 - Gradiente vertical da temperatura no gabinete LEDM: Estimativa da temperatura do ar a 3 m do pavimento. A linha tracejada representa a localização do teto falso.

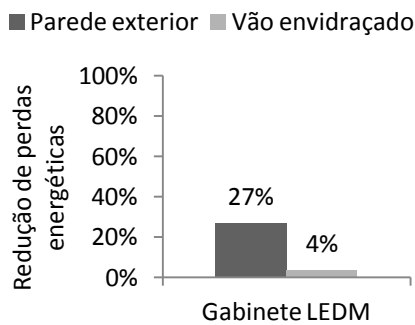


Figura 5.4 - Redução de perdas de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM resultado da instalação de um teto falso a 2,7 m de altura do pavimento.

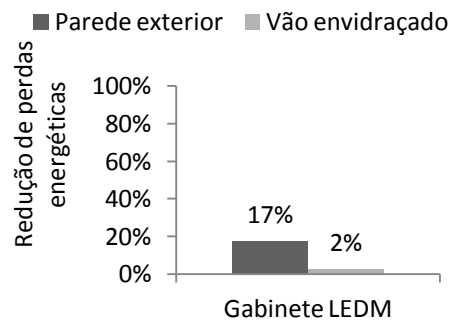


Figura 5.5 - Redução de perdas de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM resultado da instalação de um teto falso a 3 m de altura do pavimento.

- **Instalação de um sistema de recirculação de ar**

A segunda medida de melhoria resulta da necessidade de homogeneizar as temperaturas do ar de forma a diminuir a estratificação térmica. A homogeneização é conseguida pela substituição dos radiadores por ventiloconectores ou instalação de um sistema de aspiração do ar quente no topo e injeção na zona ocupada. Assim, a estratificação dilui-se e os declives das retas de regressão linear da estratificação vertical da temperatura do ar aproximam-se da posição vertical.

Os três cenários criados representam um aumento do declive da estratificação vertical da temperatura do ar relativamente à situação atual de 10% para o cenário A, de 15% para o cenário B e 20% para o cenário C (Figura 5.6). Tal resulta numa variação da temperatura média do ar para cada uma das situações, nomeadamente 22,1°C, 21,2°C e 20,3°C, respetivamente. A par desta redução, ocorre a redução da temperatura do ar no teto

com 27,8°C para o cenário A, 26,6°C para o cenário B e 25,5°C para o cenário C. Os restantes parâmetros necessários para o cálculo de perdas térmicas apresentam-se na Tabela 4.3, assim como os resultados. Adicionalmente teve-se em conta a temperatura do ar aos 1,1 m para manter as condições de conforto térmico.

No cenário A a redução de perdas energéticas é de 19%, relativamente à situação atual, com temperatura do ar a 1,1 m próxima da temperatura de conforto (20,8°C) e temperatura média do ar de 22,1°C. O cenário B reduz as perdas em 27%, com temperatura do ar a 1,1 m de 19,9°C e temperatura média do ar de 21,2°C. O cenário C reduz as perdas energéticas em 34%, com a temperatura a 1,1 m do pavimento em 19,1°C e a temperatura média de 20,3°C. As estimativas de redução das perdas energéticas para cada cenário podem ser consultadas na Figura 5.7 e Tabela 4.3.

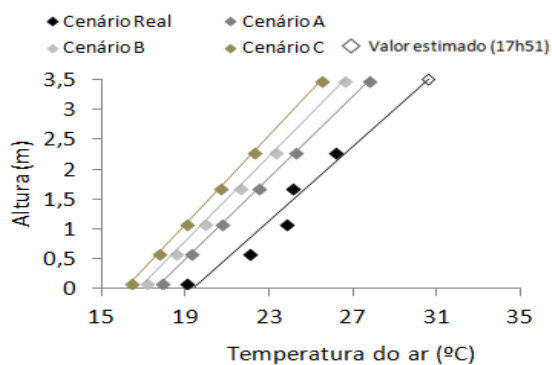


Figura 5.6 - Representação do gradiente vertical de temperatura dos cenários hipotéticos pela aplicação de um sistema de recirculação do ar no gabinete LEDM.

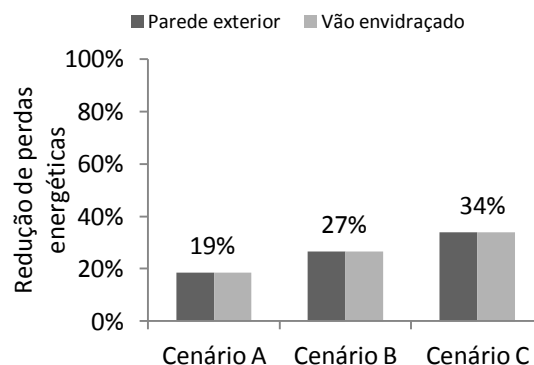


Figura 5.7 - Redução de perda de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM pela instalação de um sistema de recirculação do ar para três cenários hipotéticos.

- **Instalação de um teto falso a 2,7m de altura do pavimento e de um sistema de recirculação do ar**

Na medida de melhoria proposta de seguida supôs-se a aplicação de um teto falso e de um sistema que permita a recirculação do ar para eliminar a estratificação vertical da temperatura do ar. Para tal, considerou-se a instalação do teto a 2,7 m e os cenários de aumento do declive, propostos anteriormente (Figura 5.8). Uma vez que a legislação prevê a possibilidade do pé direito mínimo de 2,7 m e como representa a solução mais económica é a hipótese aplicada em conjunto com os cenários anteriores.

A junção do cenário A e do teto falso resulta numa redução das perdas energéticas de 41% e 22%, relativamente à situação atual, pela parede exterior e vão envidraçado, respetivamente. Por outro lado, o cenário B com a instalação do teto falso

resulta numa redução de perdas energéticas de 47% pela parede exterior e 30% pelo vão envidraçado. O cenário C e a instalação do teto falso resulta numa redução de 52% e 37% das perdas de energia, relativamente à situação atual, pela parede exterior e vão envidraçado, respetivamente. Os resultados são apresentados na Figura 5.9 e simultaneamente na Tabela 4.3, a par dos critérios adotados no cálculo.

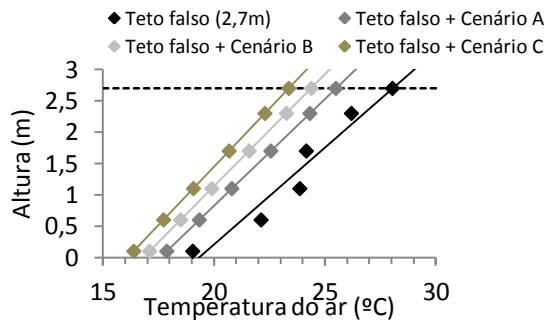


Figura 5.8 - Gradiente vertical de temperatura da situação atual e dos três cenários pela instalação de um teto falso a 2,7 m e de um sistema de recirculação do ar no gabinete LEDM. A linha tracejada corresponde à posição do teto falso.

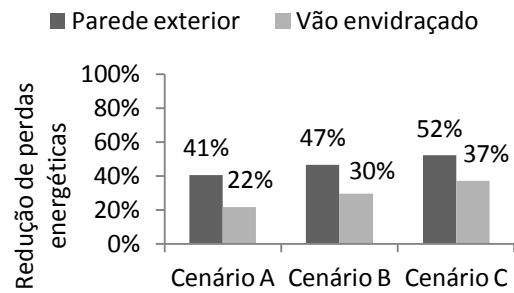


Figura 5.9 - Redução de perda de energia pela envolvente do edifício no gabinete LEDM pela instalação de um teto falso a 2,7 m de altura do pavimento e um sistema de recirculação do ar para três cenários.

Pela análise da Tabela 4.3 conclui-se que qualquer uma das medidas melhorias propostas anteriormente reduz as perdas de energia que ocorrem na situação atual. A medida que prevê a redução do teto falso diminui a área da parede exterior e, portanto reduz a temperatura média do ar que resulta numa poupança energética, já que reduz as perdas energéticas pela envolvente. Contudo, a amplitude térmica, compreendida entre os 0,1 m e os 1,1 m, mantêm-se o que proporciona desconforto térmico local dos trabalhadores. Por outro lado, a aplicação de um sistema que permita a recirculação do ar, para além de diminuir a temperatura média do ar e reduzir as perdas energéticas, diminui a amplitude térmica para valores inferiores ao limite máximo aconselhado pela legislação para os edifícios em estudo (categoria III definida pela EN 15251 (2007)). A combinação de um teto falso estanque com um sistema de recirculação de ar diminui a temperatura média do ar, amplitude térmica vertical e perdas de energia. No entanto, o cenário C combinado pode causar desconforto devido às temperaturas do ar a 1,1 m inferior a 20°C.

Tabela 5.1 - Tabela resumo dos critérios para o cálculo e resultados das poupanças energéticas das medidas de melhoria propostas.

	Critérios		Ponto onde se registou a temperatura do ar máxima								Resultados			
	A _p (m ²)	A _{ve} (m ²)	U _p (W/m ² °C)	U _{ve} (W/m ² °C)	T _{amb} (°C)	Altura (m)	T _{ar-teto} (°C)	T _{ar-1,1m} (°C)	T _{mar} (°C)	ΔT _{a,v} (°C)	Perdas energéticas (W)		Redução de perdas relativamente à situação atual (%)	
											Parede exterior	Vão envidraçado	Parede exterior	Vão envidraçado
	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	3,5	30,6	23,9	24,3	4,82	111	235	---	---
2,7 m	15,1	4,68	0,47	4,21	12,4	2,7	28,0	23,9	23,9	4,82	82	227	27%	4%
3 m	16,8	4,68	0,47	4,21	12,4	3	29	23,9	24,1	4,82	92	230	17%	2%
Cenário A	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	3,5	27,8	20,8	22,1	2,9	92	191,8	19%	19%
Cenário B	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	3,5	26,6	19,9	21,2	2,8	82	172,9	27%	27%
Cenário C	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	3,5	25,5	19,1	20,3	2,7	74	155,5	34%	34%
Cenário A+RA	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	2,7	25,5	20,8	21,7	2,9	66	184	41%	22%
Cenário B+RA	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	2,7	24,9	19,9	20,8	2,8	60	165	47%	30%
Cenário C+RA	19,84	4,68	0,47	4,21	12,4	2,7	19,1	19,1	19,9	2,7	53	148	52%	37%

- **Medidas de melhoria adicionais**

Nesta secção apresentam-se medidas de melhoria adicionais que resultam da observação no campo e interação com os ocupantes. Estas devem ser adotadas tanto pelos trabalhadores como pela administração dos edifícios.

1. Implementação de um sistema de gestão de energia: prevê a execução de um plano que prevê a melhoria contínua da gestão da energia que, para além de estabelecer padrões de consumo, exige a criação de um plano de ação com medidas a implementar e a avaliação da sua eficiência.
2. Instalação de um sistema de monitorização de parâmetros de qualidade do ar - concentração de partículas suspensas no ar e de CO₂ - e de parâmetros ambientais - temperatura do ar e humidade do ar - em duas salas por piso, com exposição solar oposta.
3. Manutenção anual, no período anterior ao funcionamento, de equipamentos produtores de calor e frio, dos radiadores e dos ventiloconvectores.
4. Colocação de vedante nas janelas e portas e mante-las fechadas.
5. Reguladores de caudal ajustados para temperaturas de acordo com as condições exteriores, nomeadamente no inverno devem estar programados para os 20°C e no verão para 25°C.
6. Desligar os ventiloconvectores e radiadores após ocupação de salas temporariamente utilizadas, como salas de reuniões, e, num período de ausência longo, reduzir para os 15°C;
7. Reduzir a utilização de equipamentos auxiliares para aquecimento e arrefecimento dos espaços climatizados;

6. CONCLUSÕES

A promoção da eficiência energética em edifícios de serviços é fundamental para a redução dos custos de faturação e do consumo de recursos energético, cada vez mais escassos. Os sistemas de climatização existentes nos espaços interiores representam uma parte significativa dos consumos energéticos, revelando-se contudo importantes para garantir as condições básicas de conforto e assim, indispensáveis para assegurar a produtividade dos trabalhadores.

O estudo descrito na presente dissertação engloba uma análise preliminar sobre as condições de conforto da população, por inquéritos, e a análise de parâmetros de conforto térmico e de qualidade do ar interior em nove salas dos edifícios A e B do IPN. Esta abordagem permitiu detetar, primeiramente, as principais razões de queixa dos ocupantes, identificar as áreas com necessidade de intervenção urgente, e consecutivamente detetar as debilidades, algumas comprovadas por testes, com recurso a instrumentação nos edifícios. Uma vez que as alterações propostas visam combater a improdutividade associada ao desconforto sentido, a envolvência dos trabalhadores foi basilar.

Com o presente trabalho confirmou-se a existência de consumos energéticos elevados que não são traduzidos em conforto térmico dos ocupantes, essencialmente durante o inverno. Embora os resultados da análise subjetiva indiquem que a população do estudo considera a eficiência do sistema de climatização como “razoável”, a utilização recorrente de equipamentos auxiliares revela a sua insuficiência, garantindo-se o conforto térmico apenas com a combinação dos dois sistemas.

Pelo estudo de campo, confirmaram-se perdas de calor pela envolvente do edifício verificado pela diminuição contínua da temperatura do ar no fim de semana. Por outro lado, a estratificação térmica vertical revelou-se problemática, uma vez que o sistema de climatização permite o aquecimento dos espaços mas o ar quente acumula-se nas zonas mais altas da sala, próximas do teto. Tal situação, obriga ao aquecimento contínuo do espaço até que nas zonas de trabalho, a 1,1 m de altura do pavimento, as temperaturas sejam razoáveis. Esta situação verificou-se na sala norte (gabinete LEDM), durante a

ocupação, que atingiu temperaturas médias do ar superiores a 20°C (temperatura de ar associada ao conforto para o inverno), embora a amplitude térmica seja frequentemente superior a 4°C, entre os 0,1 m e os 1,1 m, o que provoca desconforto térmico local nos trabalhadores.

A comparação da sala a norte com a sala a sul no inverno permitiu verificar que o sistema de aquecimento a sul, por ventiloconvectores, é mais eficaz do que o sistema a norte, com os radiadores. Os utilizadores das salas a norte recorrem com mais frequência a equipamentos auxiliares de aquecimento que se reflete na redução da humidade relativa do ar para valores próximos de 30% (limite mínimo legal). Contudo, a sensação térmica é ligeiramente fria, enquanto a sul é ligeiramente quente. No verão, a temperatura do ar nas salas é sempre inferior a 28°C e a humidade relativa do ar superior ao limite mínimo, pelo que não foram detetadas situações anómalas, embora os inquéritos revelem queixas relativamente a ambientes bastante quentes.

Algumas das reservas relatadas pelos ocupantes quanto à qualidade do ar interior não são justificadas pelos resultados dos testes. Em nenhuma das estações do ano a concentração de CO₂ excedeu o limite máximo legal, contrariamente ao afirmado por alguns inquiridos que apresentaram queixas relativamente a ar pesado. Por outro lado, a concentração de partículas apenas excedeu os limites (no período laboral) em espaços com janelas abertas e movimentação de pessoas, o que permite a entrada de partículas grosseiras e a sua ressuspensão, respetivamente, como comprovam os inquéritos do bloco A. No entanto, pelas análises do caudal de ar novo efetivo, durante o período laboral, o sistema de ventilação não estava em funcionamento ou funcionava com caudais abaixo do aconselhado pela Portaria nº 353-A/2013, no caso do edifício A. Por outro lado, não foram verificadas fugas de ar, pelo contrário, a maioria das salas não apresenta caudais de ar durante a noite que atinjam os valores aconselhados pela EN 15251 (2007).

As medidas de melhoria indicadas são importantes pelo facto de não exigirem um investimento avultado e reduzirem significativamente as perdas energéticas. Estas ocorrem essencialmente através da parede exterior pelo que a instalação de um teto falso, a 2,7 m ou a 3 m, reduziria a área de transferência de calor, e, portanto, geraria oportunidades de poupanças energéticas e financeiras. Igualmente verificaram-se poupanças associadas à substituição de radiadores por ventiloconvectores, para homogeneização das temperaturas do ar. Embora não se tenha comprovado a existência de fugas de ar, a instalação de vedante nas janelas e portas poderá reduzir perdas de calor que

ocorrem no período noturno, tal como evita a entrada de partículas mais finas suspensas no ar. As medidas comportamentais, associadas à alteração de hábitos dos ocupantes, como o controlo de reguladores de caudais obrigará a gerir os gastos energéticos.

Para trabalhos futuros propõe-se a aplicação das medidas de melhoria indicadas pela dissertação e o estudo do impacto da sua implementação. Relativamente à instalação de um teto falso, aconselha-se primeiramente a instalação numa sala piloto, e só posteriormente a aplicação noutros espaços. Propõe-se ainda um teste a realizar durante o inverno, somente após a instalação de vedantes nas janelas e portas, que permita manter o sistema de aquecimento ligado no mínimo durante o fim de semana e comparar os consumos com a situação atual, em que o sistema é totalmente desligado durante o fim de semana. Adicionalmente propõe-se uma análise económicas das medidas propostas de forma a validar as medidas de melhoria indicadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESST (2005), *Uma introdução ao ruído no trabalho*, Factsheet 56 PT, Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, Bilbao, Espanha.
- ANSI/ASHRAE 55 (2010), *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Geórgia.
- ANSI/ASHRAE 62.1 (2007), *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Geórgia.
- APA (2010), *Qualidade do ar em espaços interiores – Um guia técnico*, Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Amadora, Portugal
- APA (2013), *Relatório do Estado do Ambiente*, Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Portugal
- Auliciems, A. & Szokalay, S. V. (2007), *Thermal comfort – PLEA notes – note 3 passive and low energy architecture international design tools and techniques*. Departamento de Arquitetura, Universidade de Queensland, Austrália.
- Carvalho, P. A. M. (2014), *Índice Multicritério da percepção de qualidade do ambiente interior*, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- CCOHS (2004), *Indoor Air Quality Health & Safety Guide*, 1ª Edição (1999) 2ª Edição (Revisão), Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Canada.
- d'Ambrosio Alfano, F. R. (ed.), Bellia, L., Boerstra, A., Dijken, F. van, Ianniello, E., Lopardo, G., Minichiello, F., Romagnoni, P. & Silva, M. C. G. (2010), *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas – 1ª Parte: Princípios*, Manual REHVA n.º 13, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto de 1986, “Diário da República n.º 190/86 – I Série”. Ministério do Trabalho e da Segurança Social. Lisboa
- de Dear, R. & Brager, G. S. (1998), *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*, ASHRAE Transaction, Vol 104(1), pp. 145-167.
- DGEG@ (2014), <http://www.dgeg.pt/> (página da internet oficial), Direção-Geral da Energia e Geologia. Consultado em abril de 2014.
- Dossier EN 12464-1 (2012), *Descrição resumida da norma*, edição 2, Excellent Lighting, Saving Energy, Carnaxide, Portugal.

- 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*. Norma Europeia. Bruxelas.
- EPA@ (2015a), <http://www.epa.gov/air/criteria.html#2> (Página de internet oficial), Environmental Protection Agency, Estados Unidos da América. Consultado em dezembro de 2014.
- EPA@ (2015b), <http://www.epa.gov/air/noise.html> (Página de internet oficial), Environmental Protection Agency, Estados Unidos da América. Consultado em dezembro de 2014.
- Eurostat (2013), *Energy, transport and environment indicators*, Comissão Europeia, Bruxelas.
- Fanger, P. O. (1973), *Assessment of man's thermal comfort in practice*, British Journal of Industrial Medicine, 30, pp.313-324.
- Fluke Corporation (Rev. 2006), *Manual do usuário AirMeter™ Test tool 975 Fluke*. Eindhoven, Holanda.
- R.P. (2013), *Relatório de peritagem: Avaliação do desempenho energético e identificação de medidas de melhoria em grandes edifícios de serviços existentes (Instituto Pedro Nunes, Edifício A e B)*, Portugal.
- Goggins, R. W., Spielholz, P. & Nothstein, G. L. (2008), *Estimating the effectiveness of ergonomics interventions through case studies: Implications for the predictive cost-benefit analysis*, Journal of Safety Research, 39, pp 339-344.
- Griefahn, B. & Künemund, C. (2001), *The effects of gender, age, and fatigue on susceptibility to draft discomfort*, Journal of Thermal Biology, 26, pp.395-400.
- Hansen, C. H. (1995), *Fundamentals of acoustics*, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Adelaide, Austrália.
- Hens, H. S. L. C. (2009), *Thermal comfort in office buildings: Two case studies commented*, Buildings and Environment, 44, pp.1399–1408.
- Homod, R. Z., Sahari, K. S. M., Almurib, H. A. F. & Nagi, F. H. (2012), *RLF and TS fuzzy model identificatopn of indoor thermal comfort based on PMV/PPD*, Building and Environment, 45, pp. 141 – 153.
- Humphreys, M. A. & Nicol, J. F. (2002), *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*, Energy and Buildings, 34, pp.667-684.
- IES@ (2015), <http://www.ies.org/lighting/applications/interior-office.cfm> (Página da internet oficial), Illuminating Engineering Society, Estados Unidos da América. Consultado em janeiro de 2014.
- IPMA@ (2014), <http://www.ipma.pt/> (Página da internet oficial) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Portugal. Consultado em dezembro de 2014.

-
- IPN@, (2014), <https://www.ipn.pt/si/initapplication.do> (página da internet oficial), Instituto Pedro Nunes, Portugal. Consultado em abril de 2014.
- ISO 7730 (2005), *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 – International Organization for Standardization, Geneva.
- Jang, M. S., Koh, C. D. & Moon, I. S (2007), *Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels*. Building and Environment, 42, pp.55-61.
- Kuchen, E., Fisch, M. N., Gonzalo, G. E. & Nozica, N. G. (2011), *Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha*, Ambiente Construído, V.11, n.º 3, pp. 39-53.
- Linhart, F. & Scartezzini, J. (2011), *Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance*, Building and Environment, 46, pp. 981 – 989.
- LWS (2005), *Manual Operacional do contador de partículas Handheld*, Lighthouse Worldwide Solutions Modelo 3016/5016, Califórnia, Estados Unidos da América
- Mendes, P. F. S. (2012), *Isolamentos térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética. Recomendações de Projeto*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa. Porto
- OIT (1996), *Ergonomia. A sua saúde no trabalho: uma coleção de módulos*, Organização internacional do trabalho, Portugal.
- OMS (1946), *Constitution of the world health organization*, Organização Mundial de Saúde. Nova Iorque. Estados Unidos da América.
- OMS (2005), *Air quality guidelines: Global Update 2005*, Organização Mundial de Saúde, Copenhaga, Dinamarca.
- Pais, A. M. G. (2011), *Condições de Iluminação em Ambiente de escritório: Influência no conforto visual*, Dissertação de Mestrado em Ergonomia na Segurança no Trabalho, Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C. (2008), *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings, 40, pp. 394-398.
- PNAEE 2020 (2013), *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis*, Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. Diários da República, 1º série – N.º70-10 de abril de 2013. Portugal
- PNAER 2016 (2013), *Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética*, Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. Diários da República, 1º série – N.º70-10 de abril de 2013. Portugal.
-

- Pordata@ (2014), <http://www.pordata.pt>, (Página da internet oficial), Base de Dados Portugal Contemporâneo, Consultado a 13 novembro de 2014.
- Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, Diário da República n.º 235 – 1.ª Série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.
- RGEU (1951), *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*, Ministério das Obras Públicas, Lisboa.
- R.P. (2013), *Relatório de peritagem: Avaliação do desempenho energético e identificação de medidas de melhoria em grandes edifícios de serviços existentes (Instituto Pedro Nunes, Edifício A e B)*, Certificação Energética e Ar Interior Edifícios. Portugal.
- Saari, A., Tissari, T., Valkama, E. & Seppänen, O. (2006), *The effect of a redesigned floor plan, occupant density and the quality of indoor climate on the cost of space, productivity and sick leave in an office building – A case study*, Building and Environment, 41, pp. 1961 – 1972.
- Safetymed@ (2015), <http://safetymed.net.br> (Página da internet oficial). *Gestão de segurança e saúde no trabalho*. Brasil.
- Sensotron (2006), *The user's guide of indoor air quality monitor, the PS32 model*, Sensotron – Aparatura Elektroniczna, Mikołów, Polónia.
- Toftum, J. & Nielsen R. (1996), *Draught sensitivity is influenced by general thermal sensation*, Industrial Ergonomics, 18, pp. 295-305.
- Vink, P. & Kompier, M. A. J. (1997), *Improving office work: a participatory ergonomic experiment in a naturalistic setting*, Ergonomics, 40, pp. 435-449.
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, Th. & Leonhart, R. (2007), *Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of field studies on German low energy office buildings*, Energy and Buildings, 39, pp.758–769.
- Wolkoff, P. & Kjærgaard, S. K. (2007), *The dichotomy of relative humidity on indoor air quality*, Environment International, 33, pp. 850 – 857.
- Yang, L., Yan, H. & Lam, J. C. (2014), *Thermal comfort and building energy consumption implications – A review*, Applied Energy, 115, pp.164-173.

ANEXO A – Equipamentos destinados à produção de energia térmica



Figura A.1 - Chiller



Figura A.2 - Caldeira



Figura A.3 - Reservatório de água



Figura A.4 - Válvulas manuais



Figura A.5 - UTAN na cobertura (R.P., 2013)



Figura A.6 - 1º Plano: Ventilador de extração dos sanitários; 2º Plano: Ventilador de extração do corredor (R.P., 2013).



Figura A.7 - Radiador



Figura A.8 - Ventiloinvector

ANEXO B – Avaliação da QAI em novembro de 2013

Tabela B.1 – Resultados da avaliação de parâmetros físico-químicos

Espaço	Edifício	Piso	Temperatura do ar (°C)	Humidade relativa (%)	PM ₁₀ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	O ₃ (mg/m ³)	HCHO (ppm)	COV _{totais} (mg/m ³)
Ponto no Exterior	A	0	---	---	---	---	---	---	---	---
Laboratório de geotecnia	A	0	23,2	46,9	0,09	1013	0,7	0	0,01	0
Laboratório de informática e sistemas – sala de projetos 3	A	2	23,8	38,5	0,05	1312	0,7	0	0,01	0
Laboratório de ensaios, desgaste de materiais – sala de ensaios 1	B	1	21,8	39,6	0,02	833	1,4	0	0,01	0
Laboratório de ensaios, desgaste de materiais – gabinete da direção		2	23,7	41,9	0,03	1256	1,4	0	0,01	0
Laboratório de automática e sistemas	B	2	25,5	42,2	0,05	1734	0,9	0	0,01	0
Unidade de caracterização e certificação de material granulado	B	1	21,9	39,1	0,02	1435	3,2	0	0,01	0
Recepção	B	1	23,8	36,7	0,02	958	1,2	0	0,01	0
Sala de convívio		2	22,4	45,5	0,01	1013	1,0	0	0,01	0
Concentração máxima de referência					0,15	1800	12,5	0,2	0,08	0,6
Concentração máxima a incluir no CE					0,09		3,2	0,0	0,0	0,0
1º Critério de conformidade					Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
2º Critério de conformidade					N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.

Tabela B.2 – Resultados da avaliação dos parâmetros biológicos

Espaço	Edifício	Piso	Bactérias (UFC/m ³)	Fungos (UFC/m ³)
Ponto no Exterior	A	0	132	628
Laboratório de geotecnia	A	0	384	622
Laboratório de informática e sistemas – sala de projetos 3	A	2	424	470
Laboratório de ensaios, desgaste de materiais – sala de ensaios 1	B	1	164	418
Laboratório de ensaios, desgaste de materiais – gabinete da direção		2	192	102
Laboratório de automática e sistemas	B	2	N.R.	N.R.
Unidade de caracterização e certificação de material granulado	B	1	N.R.	N.R.
Receção	B	1	N.R.	N.R.
Sala de convívio		2	N.R.	N.R.
Concentração máxima de referência			500	500
Concentração máxima a incluir no CE			424	622
1º Critério de conformidade			Cumpre	Não cumpre
2º Critério de conformidade			N.a.	N.a.

ANEXO C – Instrumentos de medição



Figura C.1 - *Lighthouse 3016*



Figura C.2 - *Sensotron PS 32*



Figura C.3 - *Fluke 975 AirMeter™*

Tabela C.1 - Especificações gerais do Lighthouse Handheld 3016 (LWS, 2005)

Gama dimensional	0.3 – 10.0 µm
Canais limiares	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.5, 5.0 microns
Taxa de fluxo	0.1 CFM
Eficiência de contagem	50%
Fonte de laser	Laser de diodo
Nível de contagem zero	<1 contagem / 5 minutos
Calibração	NIST Traceable
Modos de contagem	Concentração, manual/automático, sinal sonoro (bipe), cumulativo/diferencial
Armazenamento de dados	Armazenamento superior a 3000 registos, e inclui dados de partículas e ambientes, adicionalmente a localização e a hora
Modos de comunicação	RS 232 ou RS 485 via RJ-45 para o PC ou impressora
Software de suporte	LMS XChanfe Data Transfer Software, LMS Express/RT/RT Plus
Sensores ambientais	Sensor de temperature: 32 – 122°F (0 – 50°C) ± 1°F (0,5°C); Sensor de humidade relativa: 15 – 90% ±2%
Ecrã tátil	3.8'' (9.25cm), 320x240

Tabela C.2 - Especificações gerais do Fluke 975 AirMeter™ (Fluke Corporation, Rev. 2006)

Temperatura	
- Intervalo	-20° A 50°C
- Resolução	0,1°C
- Precisão	±0.9 °C de 40°C a 50°C ±0.5 °C de 5°C a 40°C ±1.1 °C de -20°C a 5°C
Humidade relativa	
- Intervalo	10 a 90% de humidade relativa, sem condensação
- Resolução	0,1%
- Precisão	± 3% HR de 10% HR a 90% de HR, inclui 1% de histerese
Velocidade do ar	
- Intervalo	0,25 a 15 m/s
- Resolução	0,001m/s
- Precisão	±4% ou 4 fpm ±4% ou 0,20m/s; vale o mais alto
Dióxido de carbono	
- Intervalo	0 a 5000ppm
- Resolução	1 ppm
- Precisão	Tempo de aquecimento: 1 min(5minutos para alcançar plenamente a especificação) 2,75% + 75 ppm
Monóxido de carbono	
- Intervalo	0 a 500ppm
- Resolução	1 ppm
- Precisão	±5% ou ±3ppm, valendo o mais alto, a 20°C e 50% HR Redução extra da capacidade normal com a temperatura: ±0.6%/°C da temperatura de calibração ±0.6%/°C < 20°C Desvio a longo prazo: < 2% por mês Desvio máximo em condições áridas ou húmidas de armazenagem: ± 0.6% por dia (Condições de teste de armazenamento de referência: 50°C, 15% HR e 30°C, 95% de HR)

Tabela C.3 - Especificações gerais do Sensotron PS 32 (Sensotron, 2006)

Temperatura	
- Faixa de medição	10°C a 45°C
- Incerteza	±0,5°C
Humidade relativa	
- Faixa de medição	0% a 100%
- Resolução	0,1%
- Incerteza	±3,5%
Dióxido de carbono	
- Faixa de medição	0 a 5000ppm
- Resolução	1 ppm
- Precisão	± 10 ppm
- Intervalo de confiança	95%
Capacidade de armazenamento	67000 Registos



Figura C.4 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Datalogger



Figura C.5 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura operativa



Figura C.6 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor da velocidade do ar



Figura C.7 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura do ar



Figura C.8 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensor de temperatura do ponto de orvalho

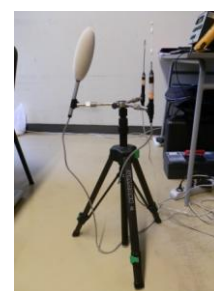


Figura C.9 - Indoor Comfort Analyser Type 1213 da Brüel and Kjær - Sensores no tripé no decorrer do ensaio

Valor obtido da ADC vs Temperatura

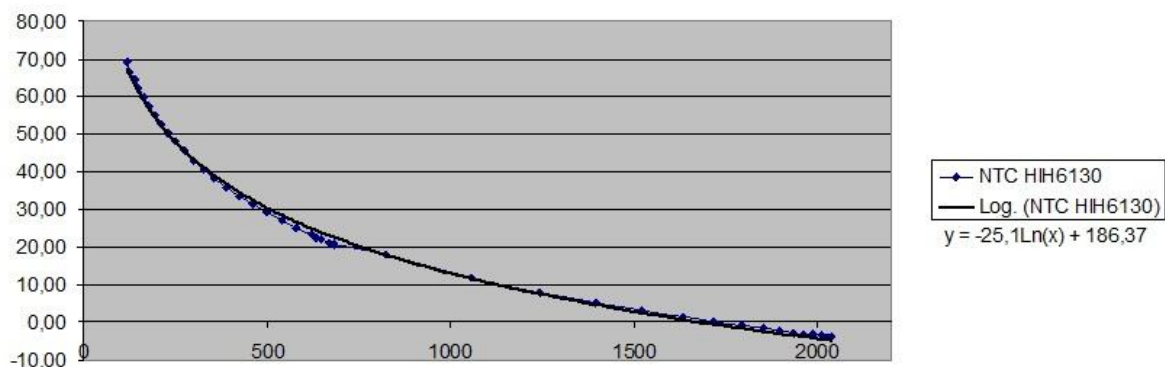


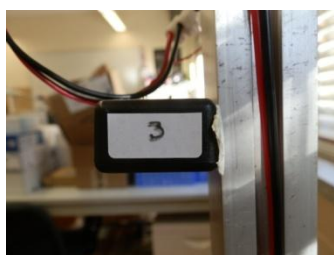
Figura C.10 – Resultado da calibração dos sensores de temperatura (Spin&Turn)



**Figura C.11 – *Spin&Turn* -
Sensor 1 (0,1 m)**



**Figura C.12 – *Spin&Turn* -
Sensor 2 (0,6 m)**



**Figura C.13 – *Spin&Turn* -
Sensor 3 (1,1 m)**



**Figura C.14 – *Spin&Turn* -
Sensor 4 (1,7 m)**



**Figura C.15 – *Spin&Turn* -
Sensor 5 (2,3 m)**

APÊNDICE A – Questionário

Questionário – Utilizador dos edifícios de IPN

O presente questionário surge no âmbito da realização de um estudo académico sobre as condições de conforto visual e térmico, assim como, da qualidade do ar interior do edifício. Conjuntamente é feita a caracterização dos utilizadores do edifício. Toda a informação é anónima e confidencial.

1. Informação pessoal

- | | | |
|---|---|---|
| <p>a. Sexo:</p> <p><input type="checkbox"/> Feminino</p> <p><input type="checkbox"/> Masculino</p> | <p>c. Fumador:</p> <p><input type="checkbox"/> Sim</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p> | <p>f. Habilitações literárias:</p> <p><input type="checkbox"/> 1º Ciclo</p> <p><input type="checkbox"/> 2º Ciclo</p> <p><input type="checkbox"/> 3º Ciclo</p> <p><input type="checkbox"/> 12º Ano</p> <p><input type="checkbox"/> Nível superior</p> |
| <p>b. Idade:</p> <p><input type="checkbox"/> 18 a 25 anos</p> <p><input type="checkbox"/> 26 a 35 anos</p> <p><input type="checkbox"/> 36 a 45 anos</p> <p><input type="checkbox"/> 46 a 55 anos</p> <p><input type="checkbox"/> Mais de 55 anos</p> | <p>d. Peso: ____</p> <p>e. Altura: ____</p> | |

2. Caracterização do local de trabalho

- | | |
|--|--|
| <p>a. Localização do posto de trabalho</p> <p>Bloco ____</p> <p>Piso ____</p> <p>Sala/Gabinete/Secção ____</p> | <p>e. O seu local de trabalho tem janelas para o exterior?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p> |
| <p>b. Há quantos anos trabalha neste edifício:</p> <p><input type="checkbox"/> Menos de 1 ano</p> <p><input type="checkbox"/> 1 a 3 anos</p> <p><input type="checkbox"/> 3 a 5 anos</p> <p><input type="checkbox"/> 5 a 10 anos</p> <p><input type="checkbox"/> Mais de 10 anos</p> | <p>f. Se sim, qual a orientação?</p> <p><input type="checkbox"/> Norte</p> <p><input type="checkbox"/> Sul</p> <p><input type="checkbox"/> Este</p> <p><input type="checkbox"/> Oeste</p> |
| <p>c. Qual o seu horário de trabalho?</p> <p>_____</p> | <p>g. Para além da climatização do edifício utiliza equipamentos auxiliares?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim. Qual? _____</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p> |
| <p>d. O seu local de trabalho é:</p> <p><input type="checkbox"/> Laboratório</p> <p><input type="checkbox"/> Escritório fechado e privado</p> <p><input type="checkbox"/> Escritório fechado, partilhado</p> <p><input type="checkbox"/> Espaço aberto sem divisões</p> <p><input type="checkbox"/> Outro _____</p> | <p>h. Como classificaria a eficácia da climatização do edifício?</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 1 – Muito mau</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 2 – Mau</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 3 – Razoável</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 4 – Bom</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 5 – Muito bom</p> |

3. Conforto visual

- | | |
|--|---|
| <p>a. Considera a iluminação natural suficiente?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p> | <p>d. Em geral como avalia o nível de luz artificial e natural (combinado):</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 1 – Muito mau</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 2 – Mau</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 3 – Razoável</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 4 – Bom</p> <p><input type="checkbox"/> Nível 5 – Muito bom</p> |
| <p>b. Tem necessidade de utilizar iluminação pontual?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p> | |

c. Acha necessário alterar o sistema de iluminação?

- Sim
 Não

e. A luz utilizada causa encadeamento?

- Frequentemente
 Às vezes
 Nunca

4. Avaliação do ambiente interior

a. Dos seguintes problemas relacionados com o ambiente interior, diga quais se fizeram sentir no seu local de trabalho:

<u>Inverno</u>				<u>Verão</u>		
Frequente	Algumas vezes	Nunca		Frequente	Algumas vezes	Nunca
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ar seco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ar pesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Poeiras no ar interior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ambiente térmico frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ambiente térmico quente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Variações de temperatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correntes de ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ruído	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Odores desagradáveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Outro _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

b. Considera que, em termos globais, a sua produtividade é afetada negativamente:

i. Pela falta de qualidade do ar interior:

- Sim
 Não

ii. Pela falta de conforto térmico:

- Sim
 Não

c. No seu local de trabalho como considera:

i. A qualidade do ar interior:

- Aceitável
 Inaceitável

ii. O conforto térmico:

- Aceitável
 Inaceitável

d. Qual a estação do ano em que se sente pior qualidade do ambiente interior?

- Primavera
 Verão
 Outono
 Inverno

5. Indique qual é, no seu entender, a ordem a atribuir aos seguintes fatores, numerando-os de 1 a 4, sendo o valor 1 o parâmetro mais importante e o valor 4 referente ao menos importante para qualidade do ambiente interior.

- Conforto térmico
 Conforto Acústico
 Iluminação
 Qualidade do ar interior

Tem algum comentário ou recomendação adicional a fazer sobre o seu local de trabalho ou o edifício no seu global?

Obrigada pela sua colaboração!

APÊNDICE B – Resultados dos inquéritos

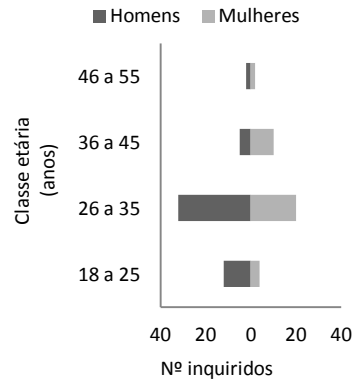


Figura B.1 - Pirâmide etária

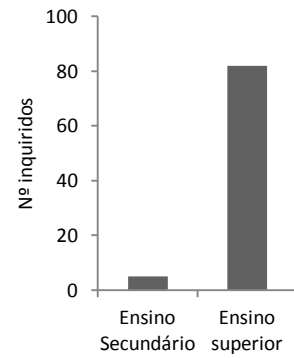


Figura B.2 - Nível de escolaridade

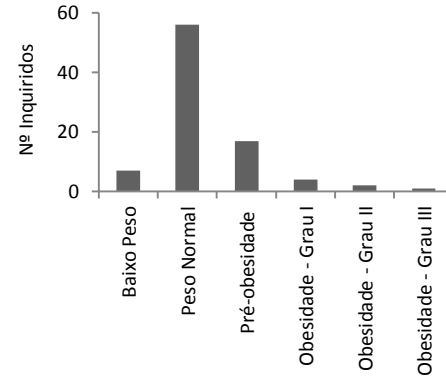


Figura B.3 - Índice de massa corporal (IMC)

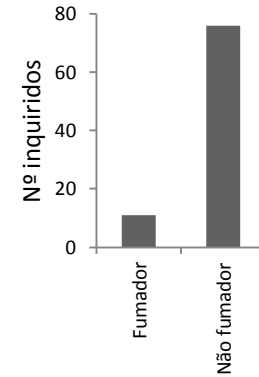


Figura B.4 - Hábitos tabágicos

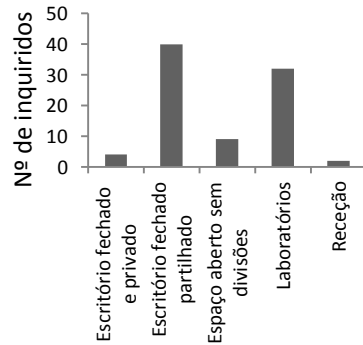


Figura B.5 - Local de trabalho

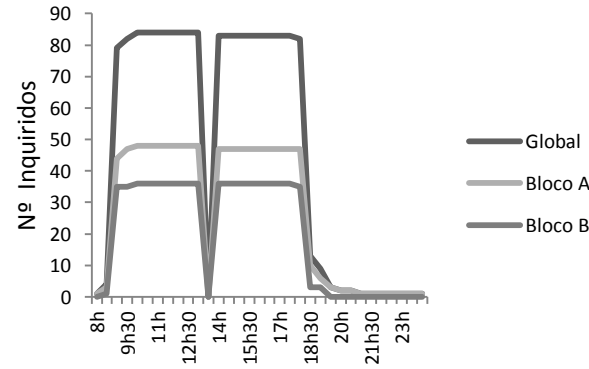


Figura B.6 - Período de ocupação

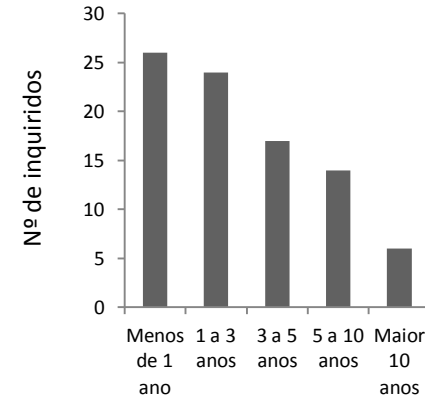


Figura B.7 - Tempo de residência

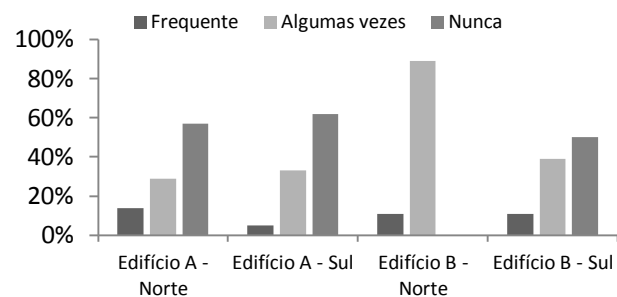


Figura B.8 - Ambiente térmico frio (verão)

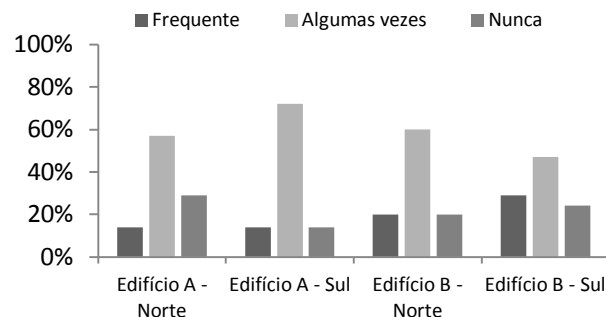


Figura B.9 - Variação de temperatura (verão)

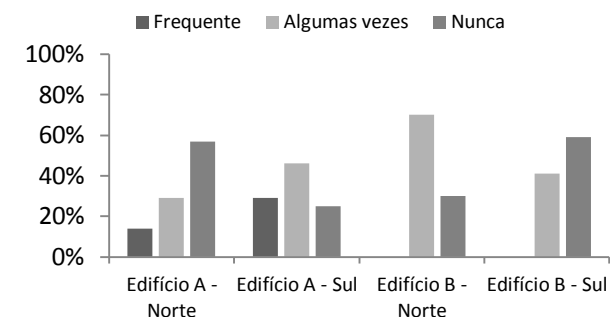


Figura B.10 - Corrente de ar (verão)

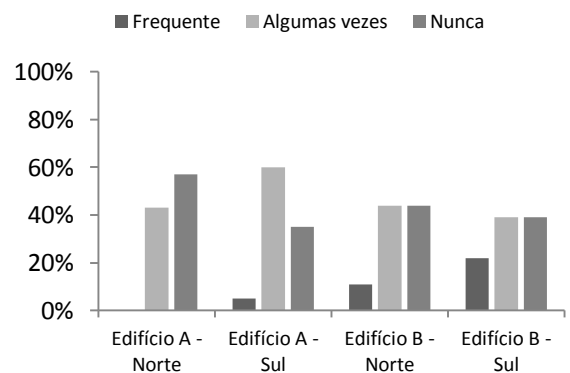


Figura B.11 - Ambiente térmico quente (inverno)

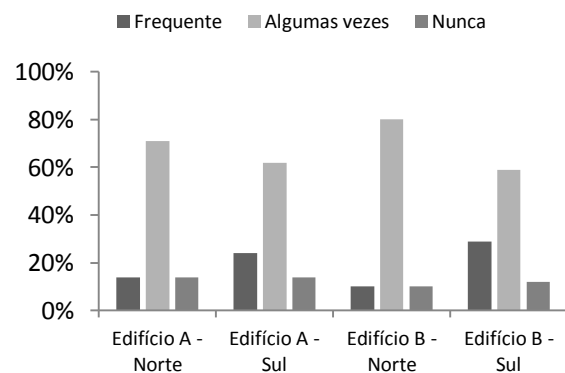


Figura B.12 - Variação de temperatura (inverno)

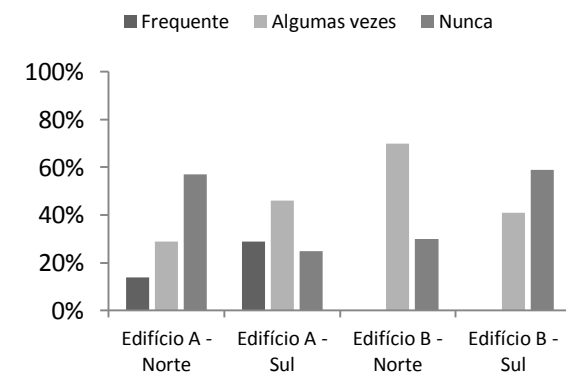


Figura B.13 - Corrente de ar (inverno)

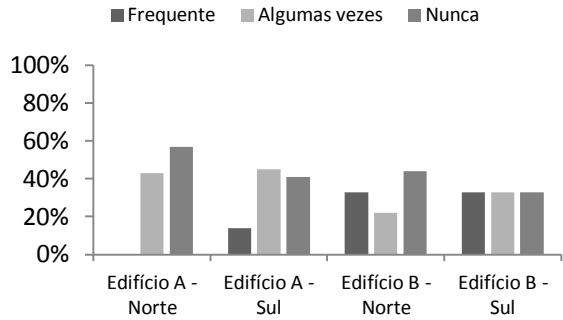


Figura B.14 - Ar pesado (verão)

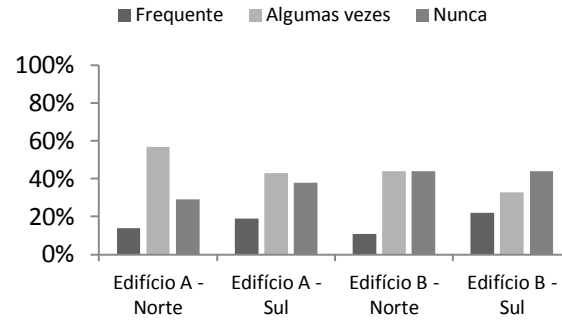


Figura B.15 - Ar seco (verão)

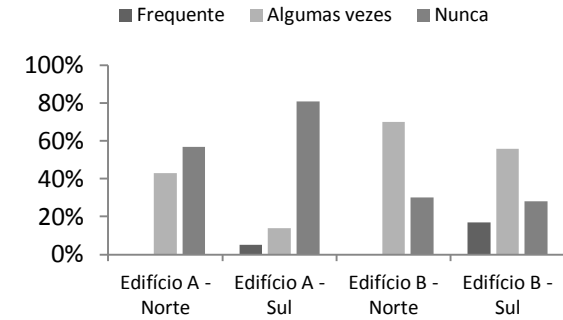


Figura B.16 - Odores desagradáveis (verão)

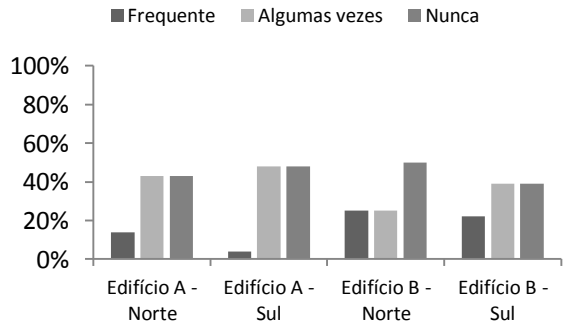


Figura B.17 - Ar pesado (inverno)

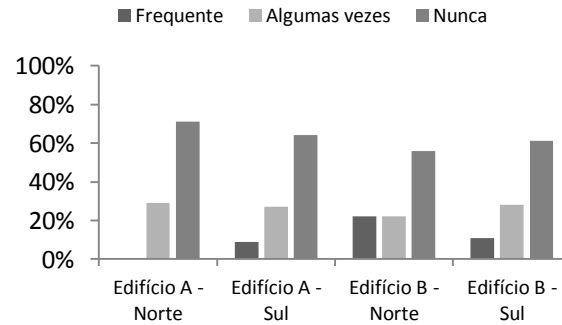


Figura B.18 - Ar seco (inverno)

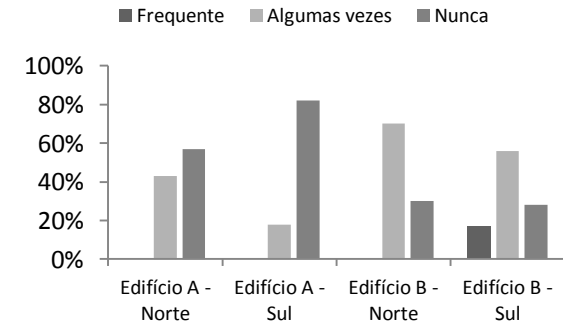


Figura B.19 - Odores desagradáveis (inverno)

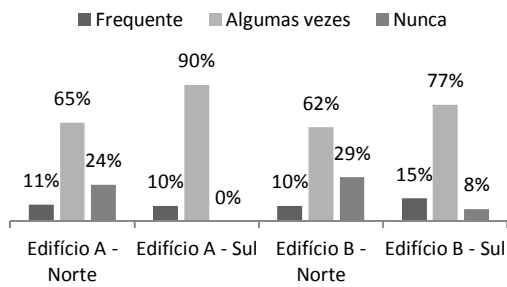


Figura B.20 – Ruído (verão)

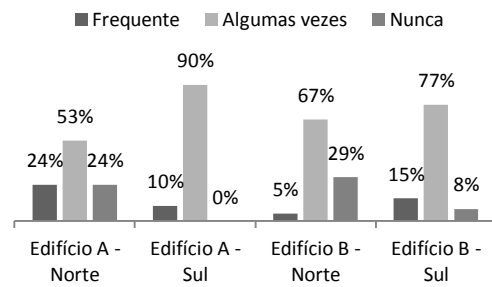


Figura B.21 – Ruído (inverno)

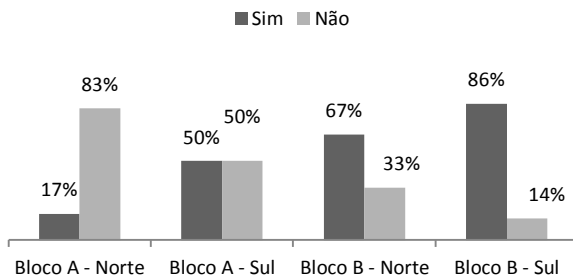


Figura B.22 - Conforto visual: Iluminação natural suficiente

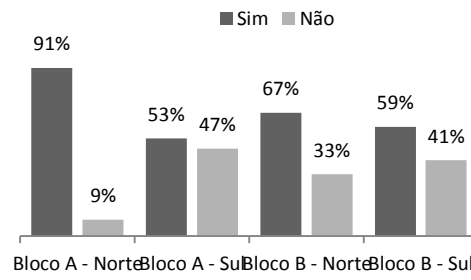


Figura B.23 - Conforto visual: Utiliza iluminação pontual

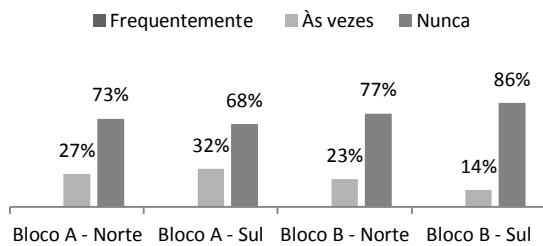


Figura B.24 - Conforto térmico: Fenómeno de encandeamto

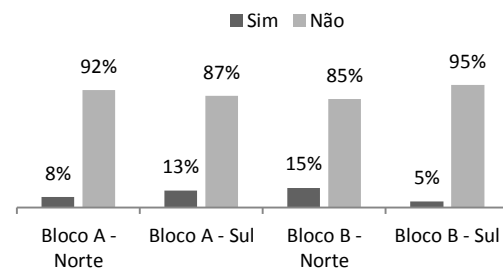


Figura B.25 - Conforto térmico: Necessário alterar o sistema de iluminação

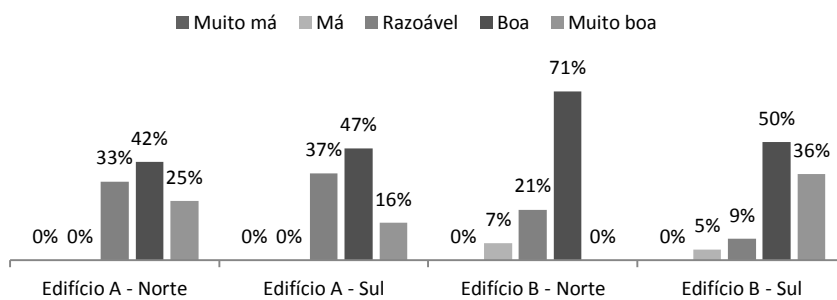


Figura B.26 – Avaliação do sistema de iluminação

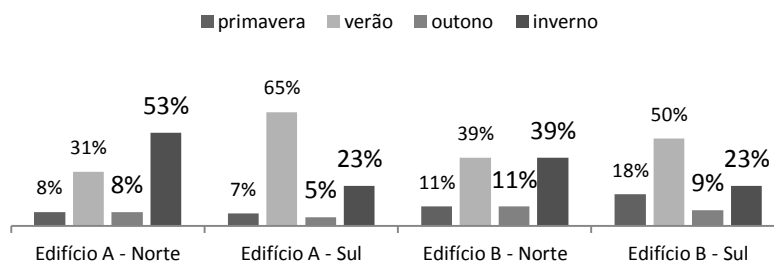


Figura B.27 - Estação do ano com pior qualidade ambiente interior

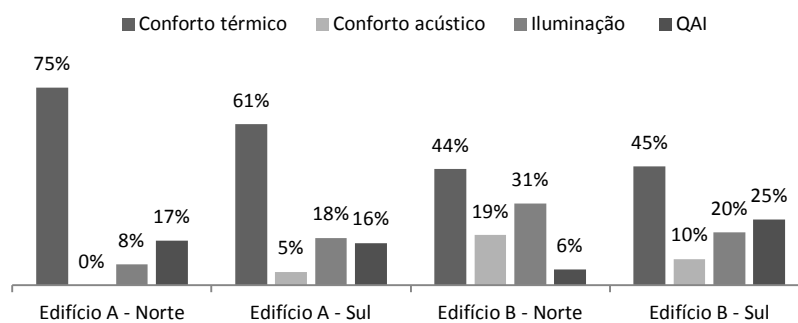
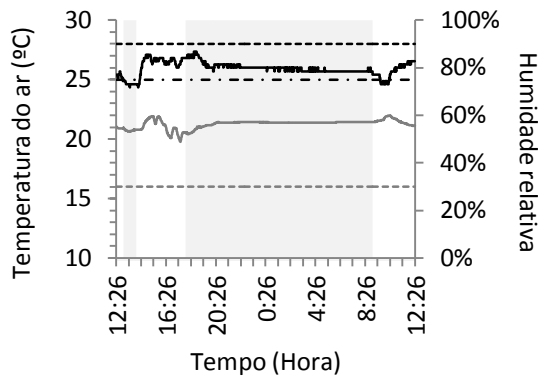


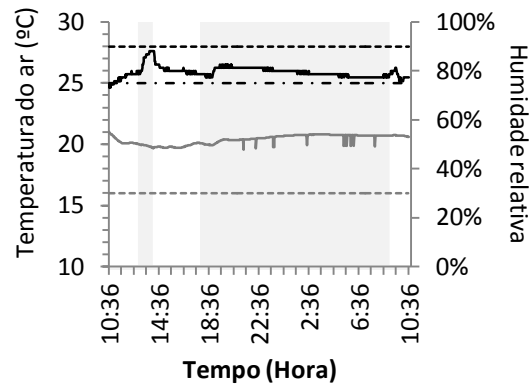
Figura B.28 - Fator mais importante para a qualidade ambiente interior

APÊNDICE C – Estação de arrefecimento – Resultado das medições de campo

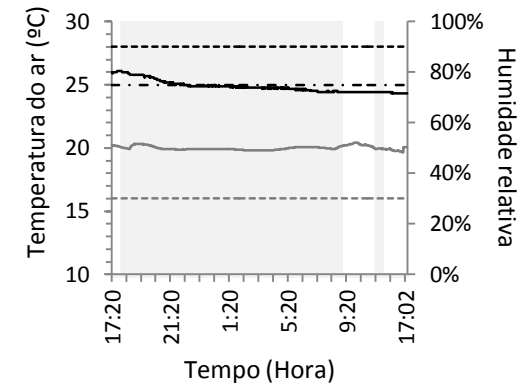
Tabela C.1 - Estação de arrefecimento – Temperatura do ar e humidade relativa do ar



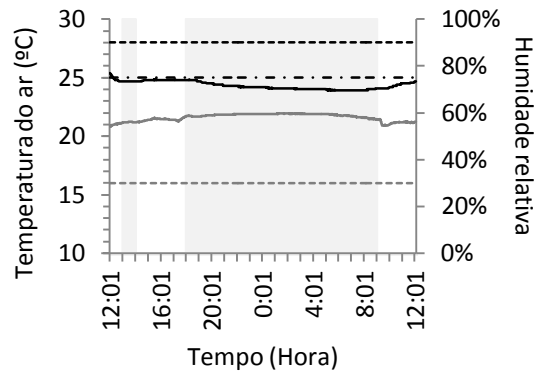
Sala do projeto *Ecomobile*



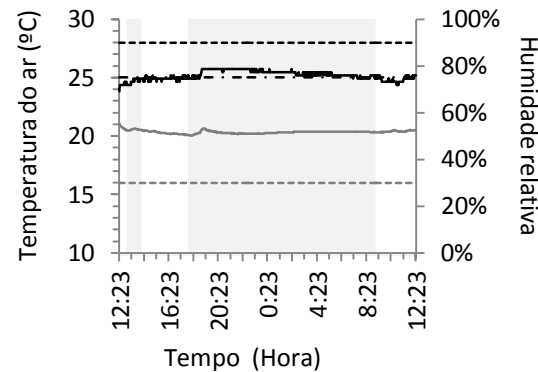
Sala de formação 2



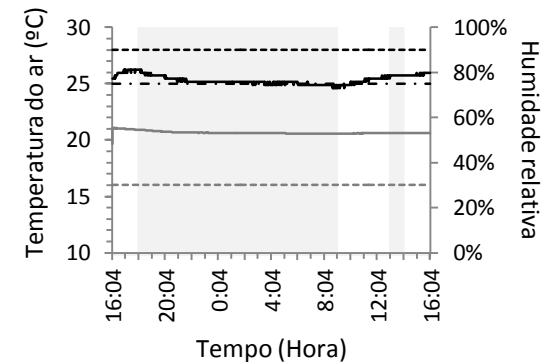
Sala de ensaios 1 - LEDM



Área administrativa - LIS



Sala de projetos 3 – LIS



Gabinete – Laboratório de fitossanidade

Tabela C.2 - Estação de arrefecimento - QAI: Concentração partículas suspensas no ar (PM₁₀)

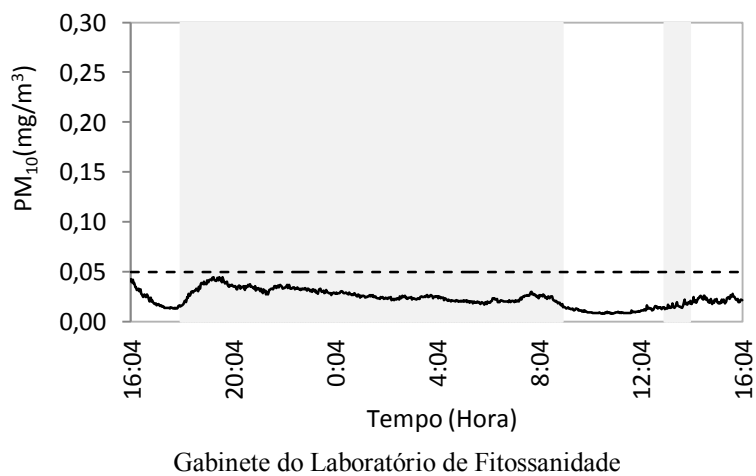
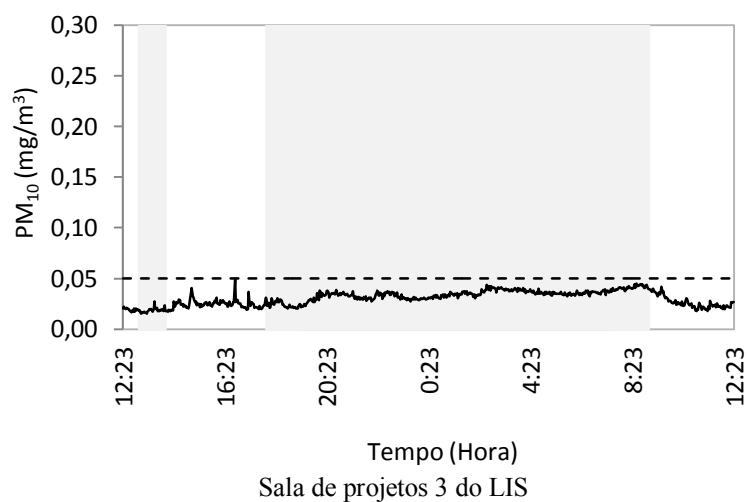
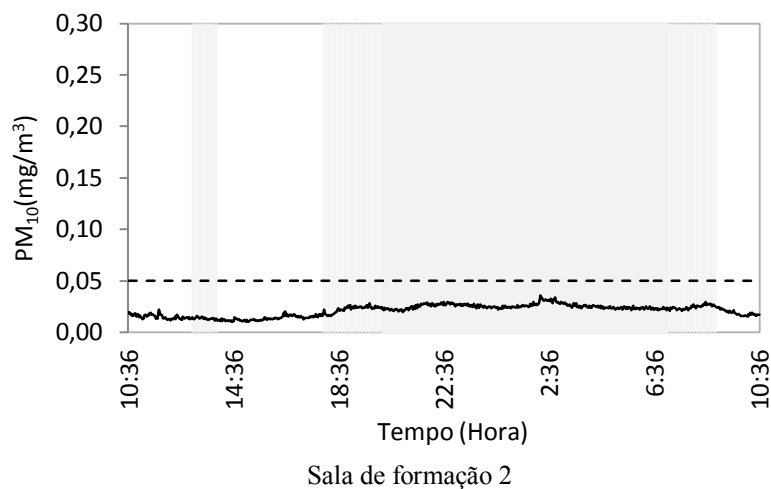
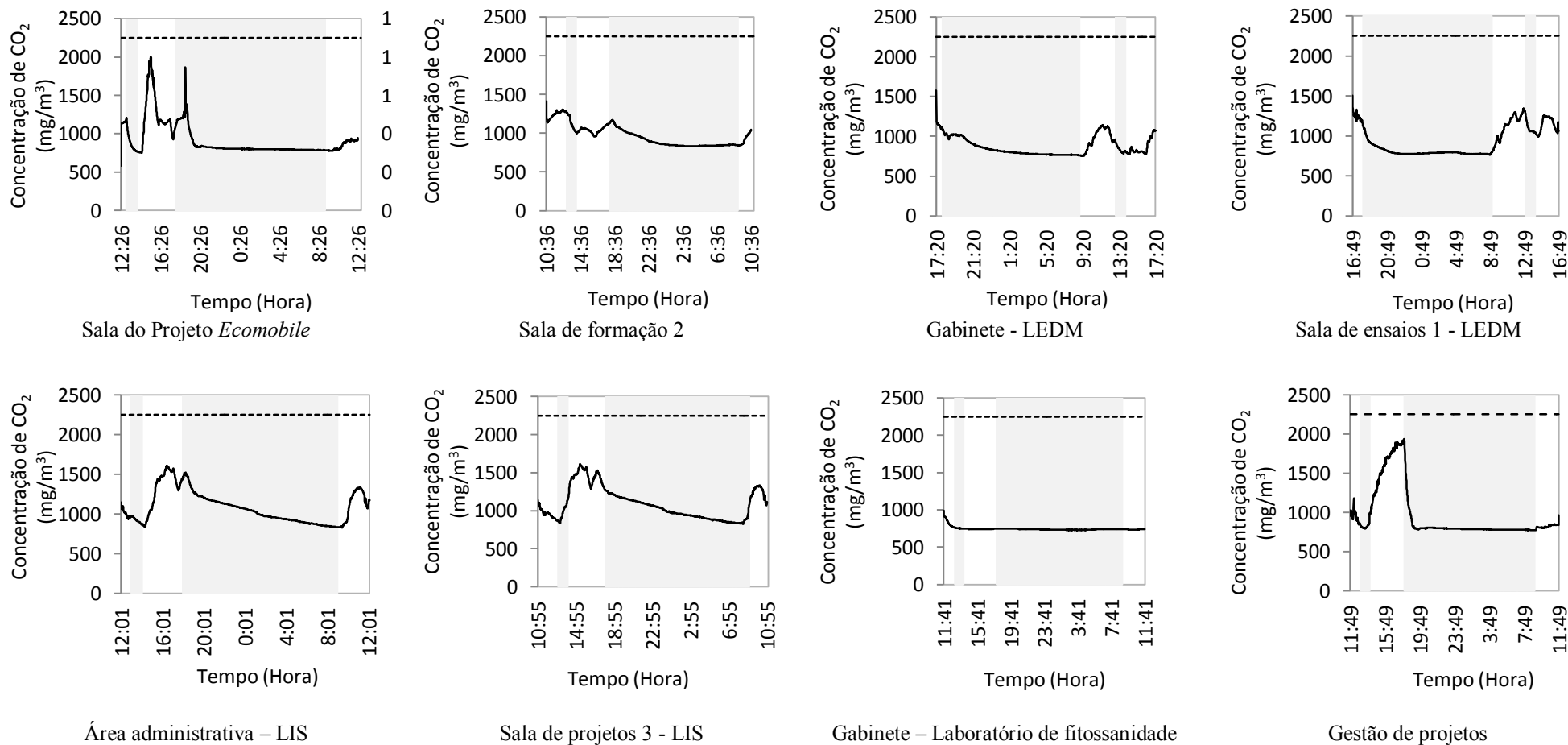
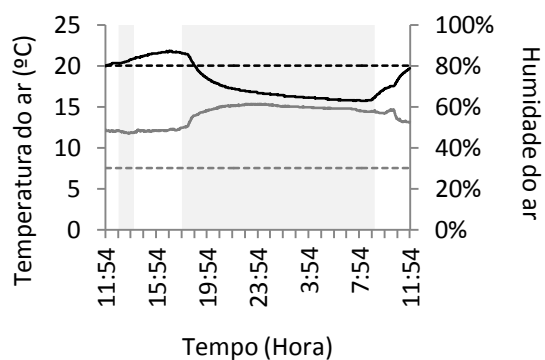


Tabela C.3 - Estação de arrefecimento - QAI: Concentração de dióxido de carbono (CO₂)

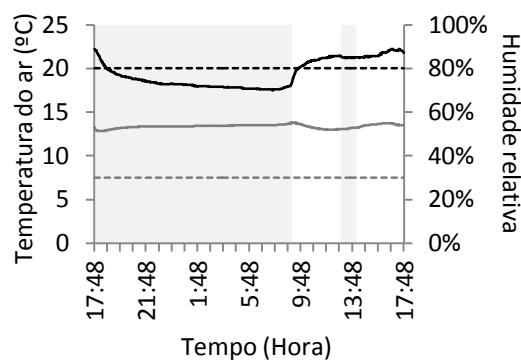


APÊNDICE D – Estação de aquecimento – Resultado das medições de campo

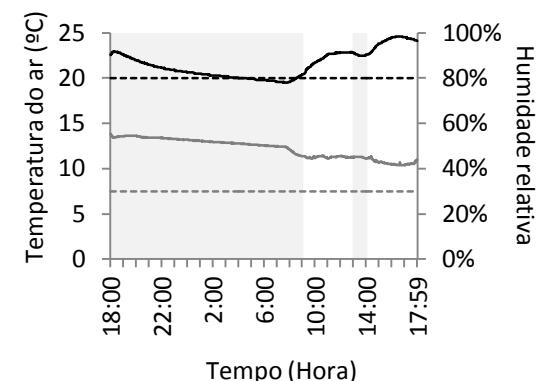
Tabela D.1 - Estação de aquecimento – Temperatura do ar e humidade do ar



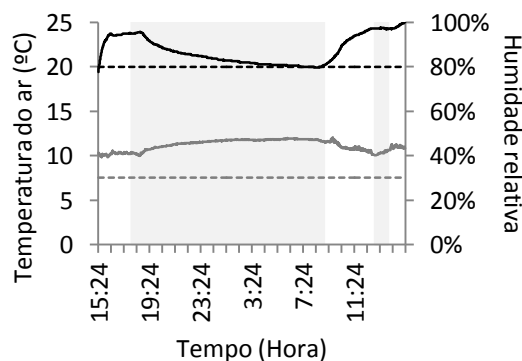
Sala do projeto *ecomobile*



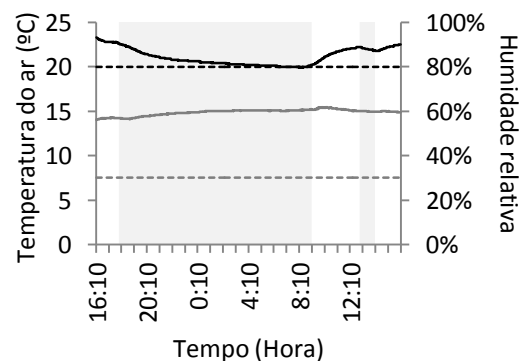
Área administrativa - LIS



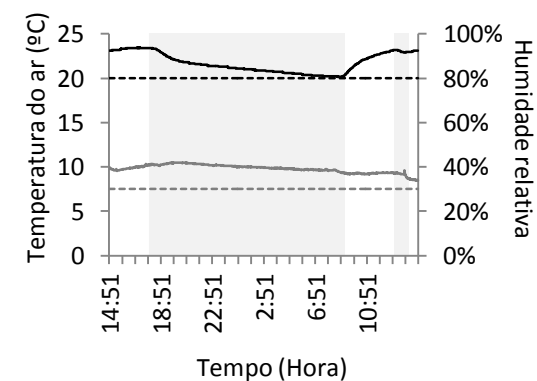
Sala de projetos 3 - LIS



Sala de ensaios 1 - LEDM

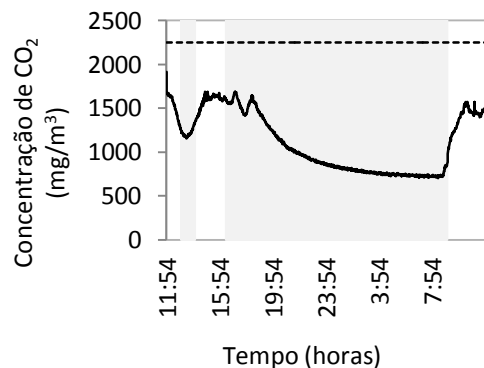


Gabinete – VCI

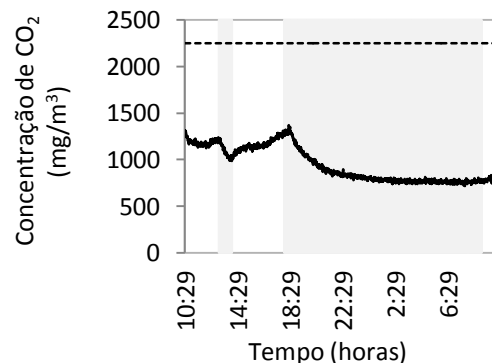


Gestão de projetos

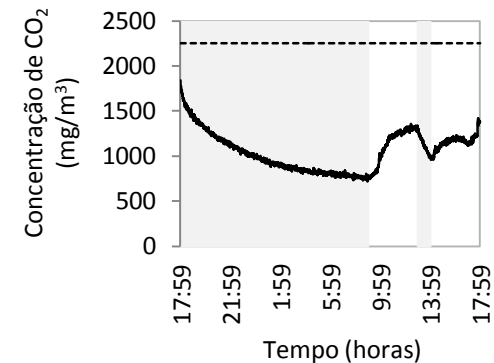
Tabela D.2 - Estação de aquecimento - QAI: Concentração de dióxido de carbono (CO₂)



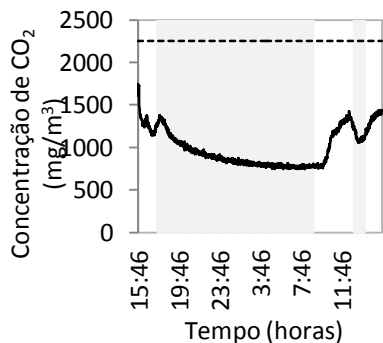
Sala do projeto ecomobile



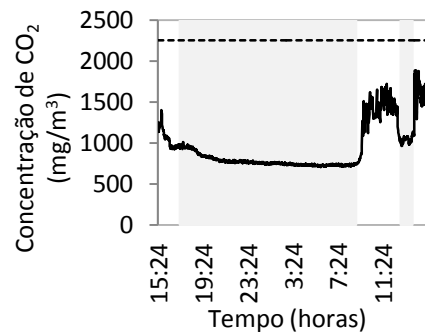
Sala de formação 2



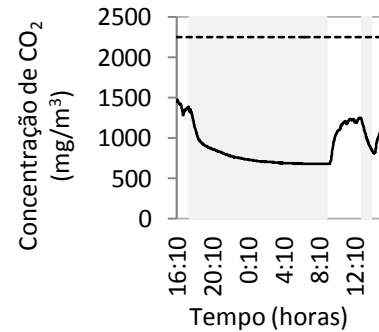
Sala de projetos 3 - LIS



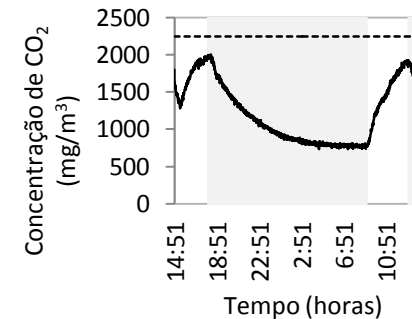
Gabinete - LEDM



Sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM



Gabinete VCI



Gestão de projetos

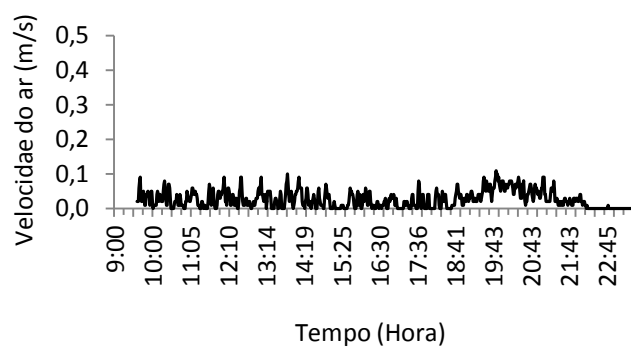
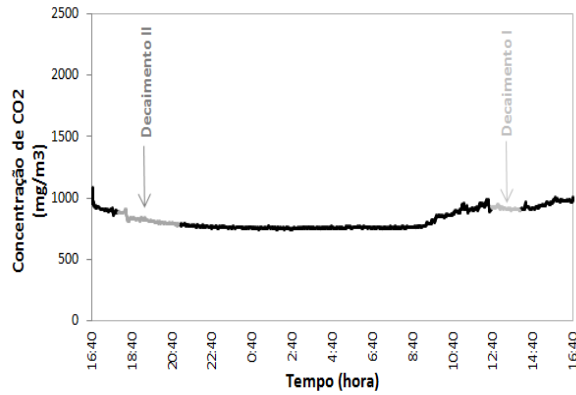
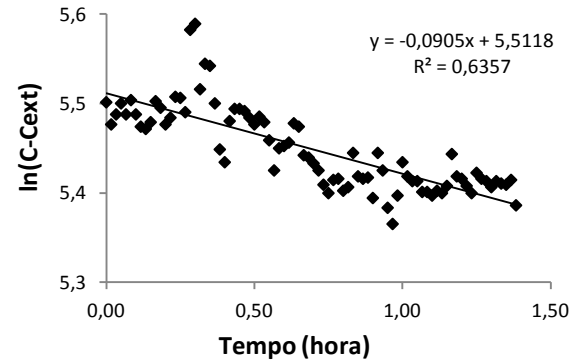


Figura D.1 - Evolução temporal da velocidade do ar na sala 1 da sala de ensaios 1 do LEDM (sala a sul) no dia 19 de fevereiro de 2015.

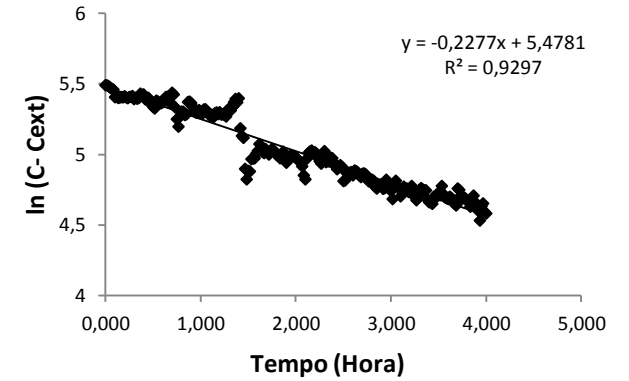
APÊNDICE E – Decaimento da concentração de CO₂



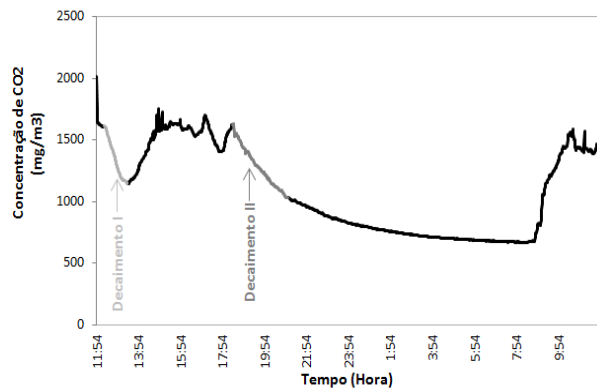
Intervalos de decaimento no laboratório de geotecnia



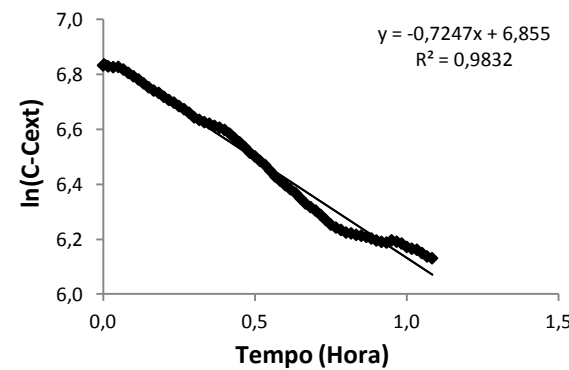
Decaimento I – Intervalo de almoço



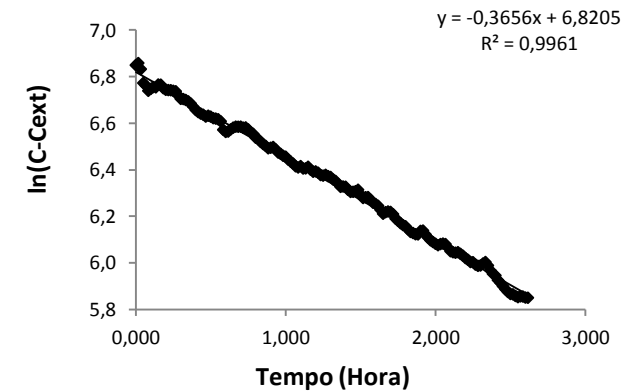
Decaimento II – Fim do horário laboral



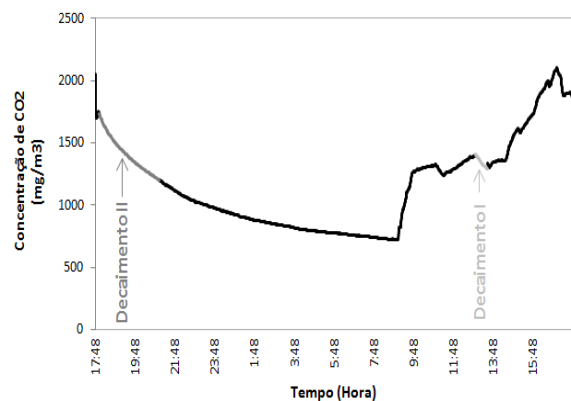
Intervalos de decaimento na sala do projeto *ecomobile*



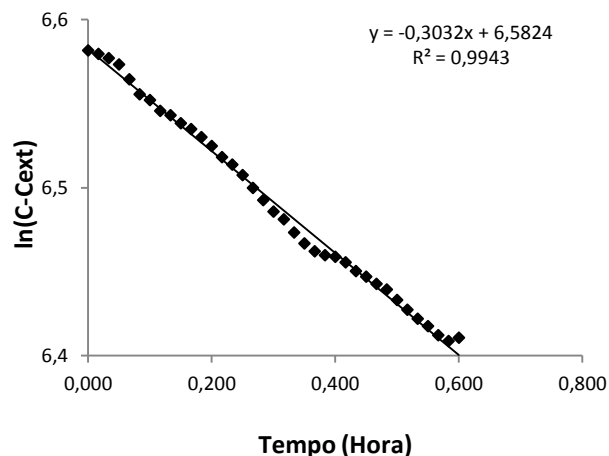
Decaimento I – Intervalo de almoço



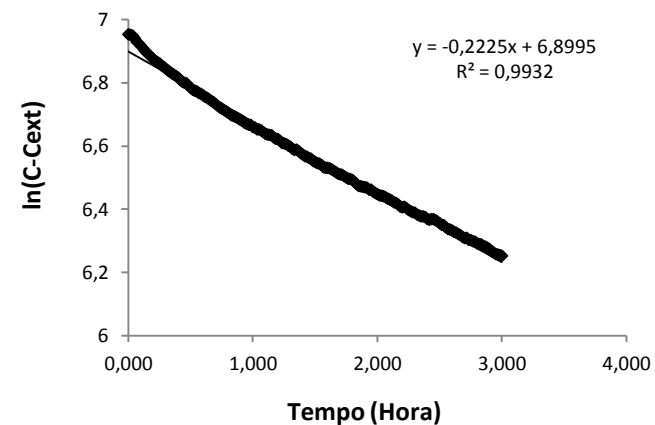
Decaimento II – Fim do horário laboral



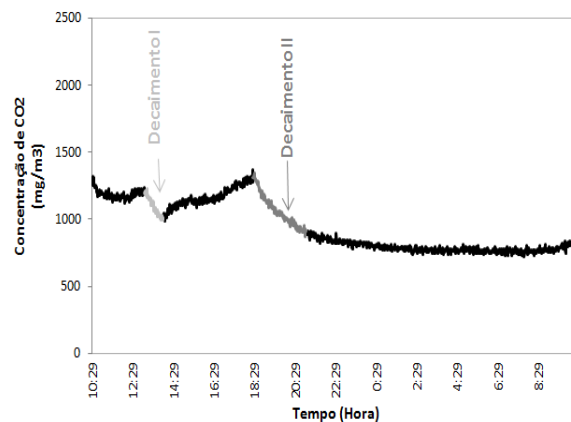
Intervalos de decaimento na área administrativa



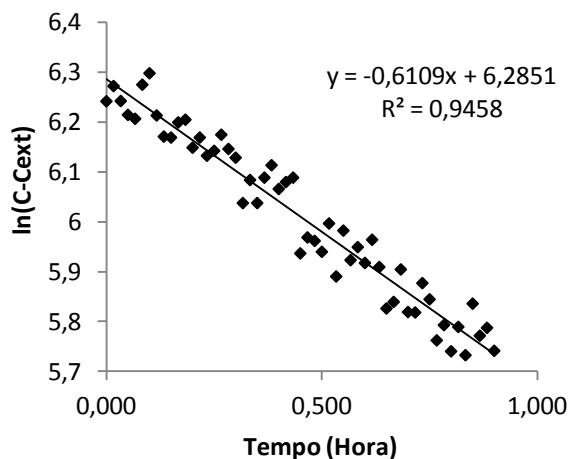
Decaimento I – Intervalo de almoço



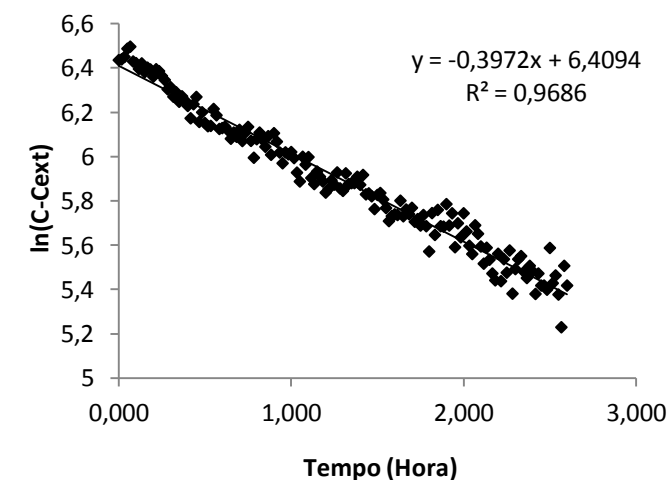
Decaimento II – Fim do horário laboral



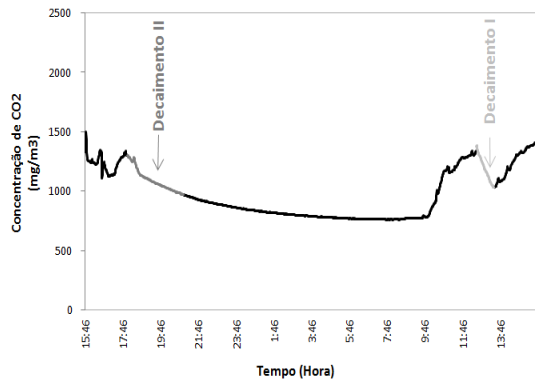
Intervalos de decaimento na sala de formação 2



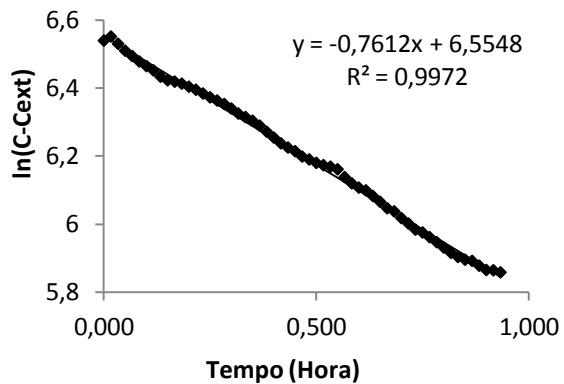
Decaimento I – Intervalo de almoço



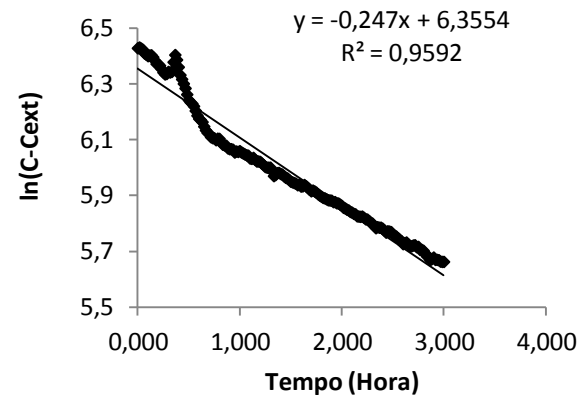
Decaimento II – Fim do horário laboral



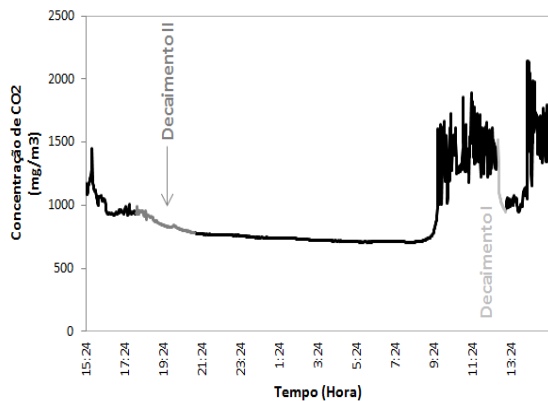
Intervalos de decaimento no gabinete do LEDM



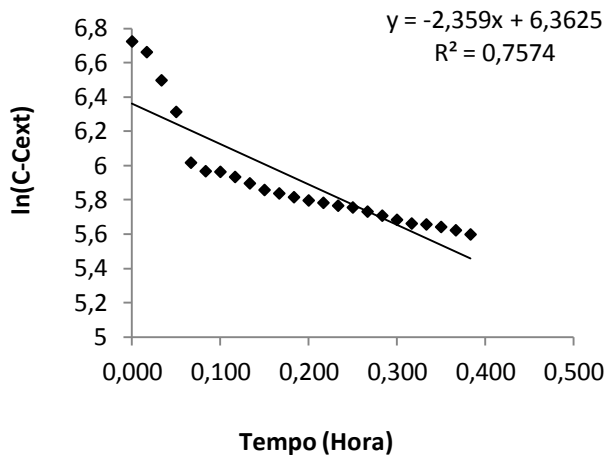
Decaimento I – Intervalo de almoço



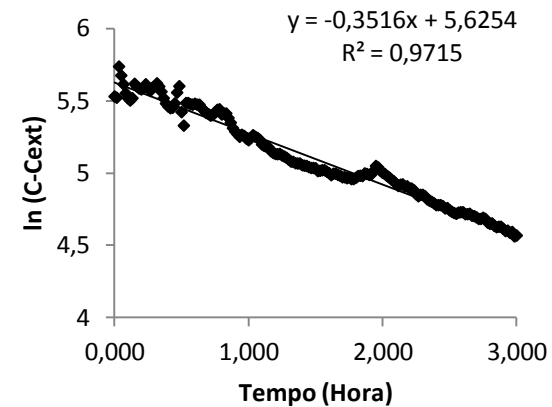
Decaimento II – Fim do horário laboral



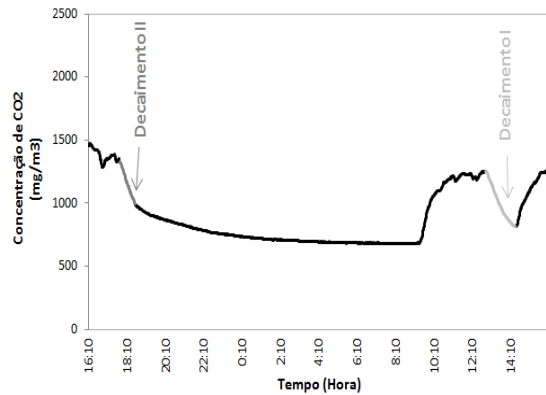
Intervalos de decaimento sala 1 da sala de ensaios
 1 do LEDM



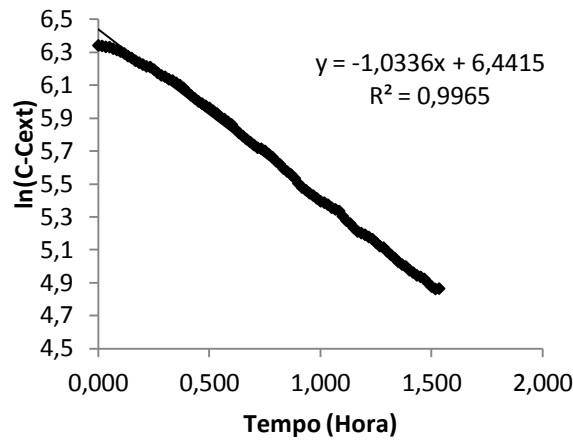
Decaimento I – Intervalo de almoço



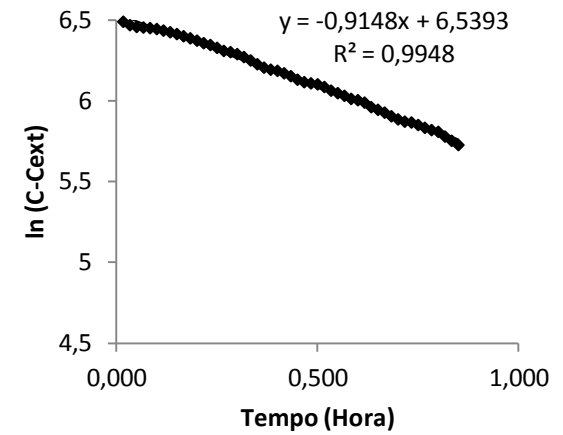
Decaimento II – Fim do horário laboral



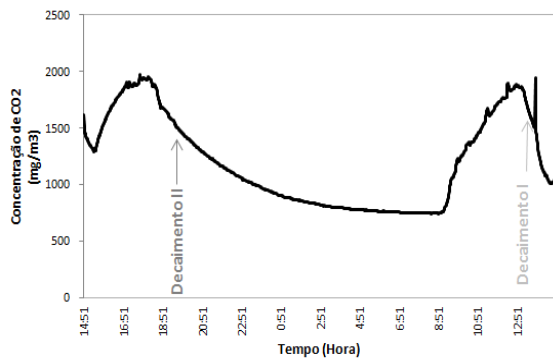
Intervalos de decaimento gabinete VCI



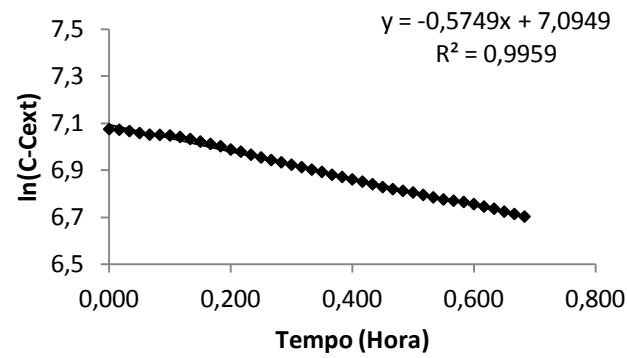
Decaimento I – Intervalo de almoço



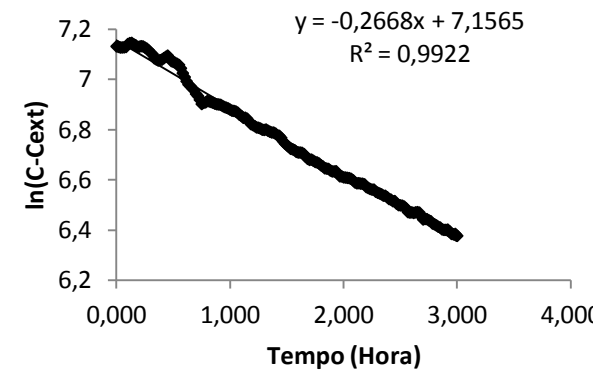
Decaimento II – Fim do horário laboral



Intervalos de decaimento gestão de projetos



Decaimento I – Intervalo de almoço



Decaimento II – Fim do horário laboral