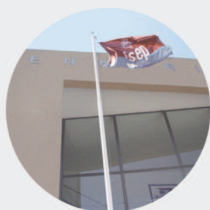
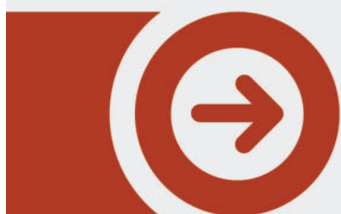


INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

isep



REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA DE EDIFÍCIOS DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO CONSTRUÍDOS ENTRE A DÉCADA DE 60 E 90

FÁBIO ANDRÉ ALVES NEVES

Outubro de 2013



Instituto Superior de
Engenharia do Porto

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA
DE EDIFÍCIOS DE ESTABELECIMENTOS DE
ENSINO CONSTRUÍDOS ENTRE A DÉCADA
DE 60 E 90

Fábio André Alves Neves

Orientador: Eng.º José Manuel Sousa

Outubro 2013

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Eng.º José Sousa, pelo impulso e motivação dado no início do trabalho, e pela disponibilidade, atenção, e pela partilha de conhecimentos que foram fundamentais para a realização deste trabalho. O meu muito obrigado!

Agradeço ainda ao Laboratório de Física das Construções do ISEP, em especial ao Eng.º Duarte Lopes, pelo apoio e disponibilização dos equipamentos de medição.

À colega Adriana pelo apoio na execução das medições nas escolas e pela disponibilização dos dados termográficos para a realização deste trabalho.

À Parque Escolar EPE, em especial à Eng.ª Catarina Costa e Eng.ª Margarida Alpalhão, pela disponibilidade, colaboração e apoio.

A todas as Escolas envolvidas neste trabalho, pelo acolhimento e disponibilidade, com especial agradecimento ao Professor Carlos Grilo.

À Eng.ª Aurora Santos pela constante motivação e força.

Aos meus amigos de curso, em especial à Margarida, à Rosana e ao Ricardo pela amizade e incentivo durante a realização deste trabalho.

Finalmente aos meus pais e irmã, pela paciência, apoio, motivação e a ajuda constante que foram estímulos fundamentais durante todo este percurso académico.

PALAVRAS-CHAVE

Conforto Térmico; Comportamento Termo-Higrométrico; Humidade; Temperatura; Ventilação; Condensações; Reabilitação Termo-Higrométrica

RESUMO

Em consequência da elevada permanência das pessoas em espaços interiores de edifícios, surge actualmente uma maior preocupação com o conforto térmico e qualidade do ar no seu interior.

Apesar da grande evolução tecnológica dos sistemas de conservação de energia térmica e controle da qualidade do ar interior (QAI) na construção, os edifícios existentes acabam por não acompanhar essa evolução, apresentando um comportamento térmico e higrométrico que por vezes podem comprometer quer o conforto, quer a saúde e actividades dos seus utilizadores.

Nos estabelecimentos de ensino, o comportamento termo-higrométrico assume um papel importante face à permanência diária de um grande número de crianças e jovens no seu interior.

Com este estudo pretende-se caracterizar a qualidade do ambiente no interior de oito escolas, através de uma análise aos principais parâmetros de natureza higrotérmica de oito salas de aulas, tais como: a temperatura (ambiente e superficial), a humidade relativa (do ambiente e da superfície da envolvente exterior opaca), bem como o nível de escoamento do ar interior.

Neste trabalho são apresentados os resultados das medições efectuadas em oito salas de aula que permitiram a comparação de características termo-higrométricas entre as respectivas escolas. É ainda apresentada a estimativa do nível de conforto térmico face às condições ambientais registadas, bem como a análise do risco de ocorrência de condensações interiores.

KEYWORDS

Thermal Comfort; Thermo-hygrometric behavior; Humidity, Temperature, Ventilation, Condensation; Thermo-hygrometric Rehabilitation

ABSTRACT

As a result of the increased amount of time that people tend to stay indoors nowadays, it has grown the concern about thermal comfort and air quality.

Although there is a huge technological evolution on the thermal energy conservation systems and indoor air quality, on construction nowadays, the preexisting buildings are not following the evolution, ending up presenting a thermo-hygrometric behavior that can sometimes jeopardize the comfort, health or activities of its users.

With that in mind, and due to the great amount of children and young people, it can be understood why the thermo-hygrometric behavior plays an important role in schools.

The purpose of this study it is to characterize the indoor environment quality in eight schools, through a detailed analysis of the hydrothermic main parameters of eight classrooms, such as: the temperture (environment and surface), the relative humidity (environment and engaging surface), and the air flow level.

This dissertation presents the results of measurements made in eight classrooms, that have allowed the thermo-hygrometric characteristics comparison between all eight respective schools. It is also presented, in order to supplement the theme, the estimated level of termal confort, due to the acquired environmental conditions, and interior condensation risk analysis.

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	79
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	79
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	80
CAPÍTULO 2 – NORMALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO	81
2.1. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	81
2.2. NORMALIZAÇÃO COMPLEMENTAR.....	83
CAPÍTULO 3 – O CONFORTO TÉRMICO	85
3.1. NOÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	85
3.2. CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS	85
3.2.1. VARIÁVEIS HUMANAS.....	86
3.2.1.1. Metabolismo.....	87
3.2.1.2. Balanço Térmico	88
3.2.1.3. Adaptação Térmica	90
3.2.1.4. Termorregulação	90
3.2.1.5. Ambiente Térmico	91
3.2.2. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	91
3.2.2.1. Radiação Solar	92
3.2.2.2. Temperatura do ar	93
3.2.2.3. Humidade Relativa do ar.....	93
3.2.2.4. Velocidade do ar	94
3.2.3. VARIÁVEIS ARQUITECTÓNICAS	94
3.2.3.1. Factor de forma	95
3.2.3.2. Orientação	96
3.2.3.3. Envolvente do edifício	96
3.2.3.4. Organização dos espaços.....	97
3.2.3.5. Sombreamento.....	98
3.3. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE CONFORTO	98

3.3.1. O ÍNDICE PMV	98
3.3.2. O ÍNDICE PPD.....	100
3.3.3. MÉTODO GRÁFICO DA ASHRAE 55:2010	101
CAPÍTULO 4 – O COMPORTAMENTO TERMO-HIGROMÉTRICO	103
4.1. A HUMIDADE NOS EDIFÍCIOS	103
4.1.1. FORMAS DE HUMIDADE	105
4.1.2. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	106
4.1.3. HIGROSCOPICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	107
4.1.3.1. A variação do teor de humidade.....	107
4.1.3.2. Mecanismos de transporte da humidade nos materiais	111
4.2. PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM O COMPORTAMENTO TERMO- HIGROMÉTRICO.....	111
4.2.1. AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES.....	112
4.2.2. A VENTILAÇÃO.....	114
4.2.2.1. Formas de processamento da ventilação	116
4.2.2.2. A Ventilação Natural.....	118
4.2.2.2.1. A acção do vento.....	119
4.2.2.2.2. Acção do gradiente térmico	121
4.2.3. A TEMPERTURA.....	122
4.2.3.1. Formas de transmissão de calor.....	123
4.2.3.1.1. Transmissão de calor por condução.....	123
4.2.3.1.2. Transmissão de calor por convecção	124
4.2.3.1.3. Transmissão de calor por radiação.....	124
4.2.4. A HUMIDADE.....	125
4.2.4.1. A OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES	127
4.2.4.1.1. Condensações superficiais	128
4.2.4.1.2. Condensações Internas.....	129
4.2.4.2. O EQUILÍBRIO TERMO-HIGROMÉTRICO	131
4.3. A IMPORTÂNCIA DO EQUILÍBRIO TERMO-HIGROMÉTRICO DOS EDIFÍCIOS NA SAÚDE E BEM-ESTAR DOS UTILIZADORES	133

4.4. A REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA.....	134
4.4.1. PRINCIPAIS PATOLOGIAS ASSOCIADAS AO COMPORTAMENTO TERMO HIGROMÉTRICO.....	134
4.4.2. FERRAMENTAS DE APOIO AO DIAGNÓSTICO.....	135
4.4.3. INTERVENÇÕES NO ÂMBITO DA REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA..	139
4.4.3.1. Intervenções de melhoramento do desempenho térmico	139
4.4.3.2. Melhoramento da resistência térmica da envolvente	141
4.4.3.3. Intervenções de melhoramento da ventilação	145
4.4.3.4. Intervenções de tratamento dos diferentes tipos de humidade	146
4.4.3.4.1. Tratamento da humidade ascensional	146
4.4.3.4.2. Tratamento da humidade por condensação.....	147
4.4.3.4.3. Tratamento da humidade higroscópica.....	148
4.4.3.4.4. Tratamento da humidade de precipitação	148
4.4.3.4.5. Ocultação de anomalias	149
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS.....	151
5.1. INTRODUÇÃO.....	151
5.2. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE ENSAIO	152
5.2.1. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ENSAIO.....	152
5.2.1.1. Parâmetros a medir.....	152
5.2.1.2. Aparelhos de medição	153
5.2.1.3. Posicionamento dos aparelhos de medição	154
5.2.2. DEFINIÇÃO DA FICHA DE LEVANTAMENTO.....	156
5.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	157
5.3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS SALAS DE AULA.....	157
5.3.2. PRINCIPAIS ANOMALIAS DETECTADAS.....	161
5.3.3. PRINCIPAIS ANOMALIAS CONTRUTIVAS DETECTADAS COM RECURSO À TERMOGRAFIA	163
5.3.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE FACTORES AMBIENTAIS REGISTADOS.....	168
5.3.4.1. Condições Climáticas Exteriores	168
5.3.4.2. Ventilação	169
5.3.4.3. Temperatura	172

5.3.4.4. Humidade Relativa	174
5.4. ANÁLISE DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES	178
5.4.1. Aplicação do método de Glaser na análise das escolas reabilitadas	180
5.5. ESTIMATIVA DO CONFORTO TÉRMICO NAS SALAS DE AULA.....	182
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	185
6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS	185
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	187
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189
BIBLIOGRAFIA	195

ÍDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Principais factores que influenciam o conforto térmico (adaptado de [13]).	86
Figura 3.2: Diagrama de inter-relação das variáveis que afectam a percepção de sensação térmica (fonte [13]).	86
Figura 3.3: Representação da variação do coeficiente de forma (COF) e da percentagem de perdas (Q), em função da variação proporcional do volume (V) e da área exterior (AE), de um edifício de forma constante (fonte [24]).	95
Figura 3.4: Representação em planta da hierarquia dos espaços (Fonte [24]).	97
Figura 3.5: Gráfico PPD em função de PMD (fonte [08]).	100
Figura 3.6: Zona de conforto térmico segundo o método gráfico de determinação da zona de conforto para ambientes interiores típicos (fonte [11]).	102
Figura 4.1: Diagrama de relação entre fontes de humidade, transporte e armazenamento, em edifícios (fonte: [28]).	104
Figura 4.2: Fotos nanoscópicas de um material poroso e diagrama exemplificativo das fases constituintes (fonte: [32] [26]).	107
Figura 4.3: Modelo genérico da curva de armazenamento de humidade de um material em condições isotérmicas (fonte [30]).	108
Figura 4.4: Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro, de acordo com a variação do teor de humidade de um material (fonte: [30]).	110
Figura 4.5: Representação gráfica das curvas higroscópicas de adsorção e desadsorção referente ao caso dos materiais de construção (adaptado de [31]).	110
Figura 4.6: Esquemas dos processos possíveis de transferência de humidade em função da variação do teor de humidade (adaptado de [26]).	111
Figura 4.7: Representação das zonas climáticas de Inverno e Verão, em Portugal Continental, de acordo com o RCCTE:2006 (fonte [26]).	114
Figura 4.8: Esquema exemplificativo da propagação do fluxo de ar no interior de um compartimento (adaptado de [35]).	119
Figura 4.9: Esquema simplificado de ventilação produzida pela acção do vento, de base ao método BRE (adaptado de [35]).	120
Figura 4.10: Esquema representativo da acção do gradiente térmico, num compartimento dotado de duas aberturas verticais (fonte [39]).	121
Figura 4.11: Curva de variação do coeficiente k_0 , em função das dimensões das aberturas de escoamento do ar (fonte [39]).	122
Figura 4.12: Diagrama psicométrico (fonte: [41]).	126
Figura 4.13: Exemplificação da leitura do diagrama psicométrico (adaptado de [41]).	127
Figura 4.14: Esquema elucidativo da forma como ocorre a condensação na superfície dos elementos da envolvente (adaptado de [42]).	128
Figura 4.15: Verificação gráfica da existência de condensação interna, no interior de um elemento construtivo (fonte [43]).	130

Figura 4.16: Comportamento térmico numa parede contendo elementos de madeira (fonte [46]).	137
Figura 5.1: Anemómetro “MiniAir20” e respectiva sonda “Probe Mini (Ø22 x 28 mm)” (adaptado de [51]).	153
Figura 5.2: Higrómetro – O higrómetro usado é da marca “GE - General Electric Co”, modelo “MMS Plus”. (fonte [52]).	154
Figura 5.3: Localização em planta do posicionamento dos equipamentos de medição (ESCR).	155
Figura 5.4: Localização pelo dado interior fachada do posicionamento dos equipamentos de medição (ESCR).	155
Figura 5.5: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESAN.	157
Figura 5.6: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola EBSL.	158
Figura 5.7: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESV.	158
Figura 5.8: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESJA.	159
Figura 5.9: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESCR.	159
Figura 5.10: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESGO.	160
Figura 5.11: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESSR.	160
Figura 5.12: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESP.	161
Figura 5.13: Caixilharia de madeira em elevado estado de deterioração junto à soleira, na escola ESAN.	161
Figura 5.14: Ocorrência de condensações e existência frinchas nos vãos exteriores da escola EBSL.	162
Figura 5.15: Infiltração de água no tecto e através da porta de acesso ao exterior, na sala de aula da escola EBSL.	162
Figura 5.16: Presença de machas de humidade no tecto da sala de aula da escola ESJA.	162
Figura 5.17: Registo termográfico da parede exterior da sala de aula da escola ESAN.	163
Figura 5.18: Registo termográfico da envolvente opaca exterior da sala de aula da escola EBSL.	164
Figura 5.19: Registo termográfico do canto inferior da fachada da sala de aula da escola EBSL.	164
Figura 5.20: Registo termográfico do canto superior, da parede exterior, da sala de aula da escola ESV.	164
Figura 5.21: Registo termográfico na zola do pilar, a meio da sala de aula da escola ESV.	165
Figura 5.22: Registo termográfico na zola do pilar, a meio da sala de aula da escola ESJA.	165
Figura 5.23: Registo termográfico do canto superior, da parede exterior, da sala de aula da escola ESV.	165
Figura 5.24: Registo termográfico de um vão exterior da sala de aula da escola ESCR.	166
Figura 5.25: Registo termográfico de parte da parede exterior da sala de aula da escola ESGO.	166
Figura 5.26: Registo termográfico do nó de ligação viga-pilar da sala de aula da escola ESGO.	167
Figura 5.27: Registo termográfico na zona de pilar, a meio da sala de aula da escola ESSR.	167
Figura 5.28: Registo termográfico no canto superior da fachada da sala de aula da escola ESSR.	168
Figura 5.29: Registo termográfico no canto do vão exterior da sala de aula da escola ESSR.	168
Figura 5.30: Registo termográfico no canto inferior da fachada da sala de aula da escola ESSR.	168

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Taxa metabólica referente a várias actividades (fonte [08]).	87
Tabela 3.2: Isolamento típico de algumas combinações de vestuário (fonte [11]).	88
Tabela 3.3: Escala de sensação térmica do índice PMV (fonte [08]).	99
Tabela 4.1: Valores de projecto da humidade absoluta exterior do RSECE:1998 (adaptado de [26]).	114
Tabela 4.2: Caudais mínimos de ar novo, de acordo com art.º4 do RSECE:2006 (fonte [22]).	116
Tabela 4.3: Principais vantagens e desvantagens de cada sistema de ventilação (adaptado de [05]).	117
Tabela 4.4: Tabela de classificação de edifícios, quanto á sua higrometria (adaptado de [31]).	132
Tabela 4.5: Exemplo de fontes de humidade no interior, e respectiva estimativa de produção de vapor de água, em litros por dia (fonte [28]).	132
Tabela 4.6: Efeito da humidade relativa na produtividade (fonte [26]).	133
Tabela 4.7: Características dos mecanismos de transporte de humidade e indicação das ferramentas de diagnóstico adequadas a cada caso (adaptado de [45]).	138
Tabela 4.8: Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica (fonte [03]).	144
Tabela 4.9: Coeficientes de condutibilidade térmica U (W/m ² .°C) máximos para a envolvente exterior, em função da respectiva zona climática (fonte [23]).	144
Tabela 4.10: Coeficientes de condutibilidade térmica U (W/m ² .°C) de referência para a envolvente exterior, em função da respectiva zona climática (fonte [23]).	145
Tabela 5.1: Lista de escolas e respectivas designações.	151
Tabela 5.2: Características arquitectónicas gerais das salas de aula.	157
Tabela 5.3: Tabela resumo das condições climáticas exteriores.	169
Tabela 5.4: Tabela resumo das características de ventilação registadas nas salas de aula.	170
Tabela 5.5: Quadro resumo da quantidade de ar renovado nas salas de aula.	171
Tabela 5.6: Tabela resumo do cálculo dos índices PMV e PPV.	182

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1: Temperatura média do ar exterior e interior por Escola, expressa em °C.....	172
Gráfico 5.2: Temperatura média de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa em °C.....	173
Gráfico 5.3: Temperatura média do ar e de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa °C.....	174
Gráfico 5.4: Humidade Relativa (HR) média do ar exterior e interior por Escola, expresso em %.....	175
Gráfico 5.5: Humidade Relativa (HR) média de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa em %.....	176
Gráfico 5.6: Humidade Relativa (HR) do ar e de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa %.....	177
Gráfico 5.7: Temperatura média e Humidade Relativa (HR) do ar interior, por Escola.....	178
Gráfico 5.8: Comparação entre a Amplitude térmica exterior e a temperatura média e Humidade Relativa (HR) do ar interior, por Escola.....	179
Gráfico 5.9: Variações médias mensais de temperatura e humidade relativa no distrito do Porto (Fonte [26] e [53])......	180
Gráfico 5.10: Representação gráfica dos índices PMV e PPV estimados, por escola.....	183

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I: Ficha de Identificação das escolas.....	A01
Anexo II: Ficha Modelo de Levantamento de Dados.....	A11
Anexo III: Fichas de levantamento de Dados das Escolas.....	A19
Anexo IV: Folhas de Cálculo: Análise do risco de Ocorrência de condensações.....	A79

SIGLAS E ABREVIATURAS

ANSI/ASHRAE	American National Standards Institute and American Society of Heating, Refrigerating, Air conditioning Engineers
BRE	Building Research Establishment
CFD	Computer Fluid Dynamics
EBSL	Escola Básica e Secundária de Lordelo
ESAN	Escola Secundária António Nobre
ESCR	Escola Básica e Secundária de Clara de Resende
ESGO	Escola Secundária de Garcia de Orta
ESJA	Escola Secundária de Joaquim de Araújo
ESP	Escola Secundária de Penafiel
ESSR	Escola Secundária de Soares dos Reis
ESV	Escola Secundária de Valongo
Hr	Humidade Relativa
ISO	International Organization for Standardization
OMS	Organização Mundial de Saúde
PE	Parque Escolar, E.P.E.
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
PTL	Ponte Térmica Línear
PTP	Ponte Térmica Plana
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SED	Síndrome de Edifícios Doentes
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

NOTA: *A redacção desta Dissertação não respeita o Acordo Ortográfico de 1990, vulgo Novo Acordo Ortográfico.*

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

A preocupação com o conforto térmico e qualidade do ar no interior dos edifícios é um tema que tem vindo a ganhar uma maior importância com a publicação, em 1991, do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), posteriormente em 1998 do RSECE (Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) e, em 2006, uma actualização do RCCTE e RSECE.

De acordo com estudos recentes, os ambientes com reduzida taxa de renovação do ar apresentam frequentemente elevada concentração de dióxido de carbono, partículas e microrganismos, bem como uma considerável percentagem humidade. Todas estas condições associadas a um mau desempenho térmico da envolvente do edifício afectam não só a durabilidade e o aspecto das construções como também poderão potenciar a presença de alergénios, fungos e bactérias relacionados com muitos dos sintomas respiratórios manifestados utilizadores [01].

A preocupação pelo conforto e qualidade do ar ganha maior importância quando se trata de espaços de reduzida dimensão que acolhem um grande número de crianças e jovens por longos períodos de tempo, como é o caso das salas de aula. Nestes espaços, o mau desempenho térmico e a qualidade do ar condicionam negativamente a aprendizagem e o desempenho dos alunos.

Por esse motivo, o presente trabalho surge com o objectivo de analisar o comportamento termo-higrométrico das escolas e estimar o seu conforto térmico, por forma a caracterizar a qualidade do ambiente no seu interior. Esta análise permite o conhecimento da resposta térmica da envolvente dos edifícios quando sujeita às variações climáticas interiores e exteriores, tais como variações de temperatura, de humidade relativa e ainda das pressões de vapor de água (risco de ocorrência de condensações).

Assim, entende-se que é de grande interesse dispor de resultados quantitativos, obtidos através de medições com base numa amostragem representativa do parque escolar edificado português, que permitam a interpretação e a caracterização do desempenho termo-higrométrico dos elementos construtivos com este tipo de características, podendo assim servir para comparação com outras escolas.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação encontra-se dividida em seis partes:

- Na primeira parte (Capítulo 1) é apresentado um resumo dos objectivos deste trabalho e introduz os restantes capítulos;
- Na segunda parte (Capítulo 2) efectua-se um enquadramento regulamentar e normativo sobre o tema da presente dissertação;
- Na terceira parte (Capítulo 3) apresenta-se um estudo bibliográfico do estado actual do conhecimento no domínio do conforto térmico humano.
- Na quarta parte (Capítulo 4) apresenta-se um estudo bibliográfico do estado actual do conhecimento no âmbito do comportamento termo-higrométrico de edifícios, fazendo uma abordagem à humidade como principal agente responsável pela degradação das construções e a forma como se manifesta, aos principais factores que condicionam o comportamento termo-higrométrico nos edifícios, ao impacto do seu desempenho na saúde dos utilizadores, ao problema das patologias e respectivas formas de tratamento;
- Na quinta parte (Capítulo 5) é realizado um estudo experimental sobre o comportamento higrotérmico de oito salas de aula de escolas diferentes, fazendo-se uma pequena descrição da metodologia usada para realização das medições “*in situ*”. São apresentados os resultados obtidos e a análise dos respectivos valores, é efectuada uma análise do risco de ocorrência de condensações nas salas de aula das “novas” escolas, bem como a apresentação da estimativa do conforto térmico no interior destes espaços.
- Na sexta e última parte (Capítulo 6) apresentam-se as principais conclusões resultantes da elaboração deste trabalho, e indicam-se ainda alguns aspectos a merecer desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2 – NORMALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO

2.1. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

Com a preocupação crescente em promover a melhoria do desempenho dos edifícios, nas últimas décadas tem-se assistido a uma constante evolução regulamentar quer ao nível do desempenho energético, qualidade do ar interior (QAI) e conforto térmico.

A QAI é resultado da relação de causa e efeito entre as condições ambientais de trabalho e a redução da produtividade dos ocupantes decorrente de agressões ao bem-estar e conforto observadas nesses locais, isto é, o nível de qualidade do ar reflecte-se directamente na saúde, produtividade e bem-estar dos seus ocupantes [02].

Em 1982, o Comité Técnico da Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu como “Síndrome de Edifícios Doentes” (SED) um conjunto de sintomas evidenciados pelos ocupantes tais como: dor de cabeça, fadiga, letargia, prurido e ardor nos olhos, irritação de nariz e garganta, anormalidades na pele e falta de concentração, que poderão ter origem [02]:

- Biológica - bioaerossóis formados por bactérias, fungos, vírus e outras substâncias produzidas por esses agentes;
- Química - monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrogénio (processos de combustão e cigarros), formaldeído (vernizes, aglomerados de madeira, espumas de isolamento) e ozono (impressoras, fotocopiadoras);
- Partículas - micro fibra de amianto, lã de vidro, fibras naturais, pólenes;
- De concepção - número de renovações de ar, humidade do ar, iluminação inadequada e a exposição a elevados níveis de ruído.

A actual preocupação com a monitorização e melhoria da qualidade do ar interior levou à elaboração de diversos documentos e guias técnicos, cujo principal objectivo é fornecer linhas de orientação no processo de avaliação da QAI, nomeadamente na selecção dos métodos a utilizar.

Essas linhas de orientação regem-se por factores relacionados com a ventilação dos espaços, o conforto térmico, e a necessidade de redução do consumo energético inerente à correcção das características do ambiente interior.

Uma grande parte do parque construído em Portugal carece de intervenções que visam melhorar as características de habitabilidade, qualidade térmica e desempenho energético. Este facto fez com que surgisse a necessidade de criação de um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas do parque construído, com linhas de orientação para adaptar os edifícios às realidades climáticas do próprio local [03].

Assim, em 1990 surge o primeiro documento normativo nacional, o Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro (RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), com o objectivo de salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia através do estabelecimento de requisitos mínimos dos elementos da envolvente dos edifícios.

Posteriormente, em complemento ao RCCTE, é publicado em 1998 o Decreto-Lei 119/98 (RSECE - Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios), com o objectivo de assegurar as condições da QAI e de conforto em edifícios de serviços, através do recurso a sistemas de ventilação e climatização mecânica.

Mais tarde, com a publicação da Directiva Europeia para a Eficiência Energética dos Edifícios, Directiva 2002/91/CE, verifica-se a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade com base nas condições climáticas externas e condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica. Esta publicação fez com que surgisse a necessidade de adaptação da regulamentação em vigor [04].

Por conseguinte, é publicado o Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que, em conjunto com os novos regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (RCCTE, Decreto-Lei 80/2006) e aos edifícios de serviços (RSECE, Decreto-Lei 79/2006), define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações e edifícios já construídos [04].

Apesar de estes regulamentos apresentarem como principal objectivo o melhoramento da eficiência energética e da qualidade do ar interior, estes também regulam, em fase de projecto, todos os parâmetros que influenciam a higrotérmica de edifícios procurando a minimização das situações patológicas nos elementos de construção, com impacto negativo na durabilidade dos materiais de construção e na QAI.

Um dos problemas mais comuns, no âmbito da higrotérmica de edifícios, é a ocorrência de condensações na superfície dos elementos interiores. Estes problemas observam-se em edifícios que apresentam soluções construtivas inadequadas, em edifícios demasiado estanques ao ar (dificultando a sua ventilação) ou até em envolventes com isolamento insuficiente [05].

Estes regulamentos, apesar de estabelecerem requisitos mínimos de qualidade, não são de carácter prescritivo ao nível das soluções técnicas, pelo que permite aos intervenientes neste sector uma grande liberdade e criatividade na adopção das soluções técnicas a implementar, contribuindo assim para a inovação, como é desejável [06].

2.2. NORMALIZAÇÃO COMPLEMENTAR

As normas conforto térmico são uma ferramenta essencial para estimar e prever um ambiente interior termicamente confortável para os seus ocupantes.

As normas de referência neste âmbito, e que serviram de base à realização ao presente trabalho são as desenvolvidas pela *International Organization for Standardization (ISO)* e as publicadas pela *American National Standards Institute* e *American Society of Heating, Refrigerating, Air conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE)*, das quais se destacam:

- ISO 9920:2007 [07] – Esta Norma especifica os métodos para estimar as características térmicas (resistência ao calor seco e perda de calor por evaporação), em condições de estado estacionário para um conjunto de roupas baseada em valores para conhecidos de peças de vestuário. Examina influência do movimento do corpo e a penetração de ar no isolamento térmico e resistência ao vapor de água.
- ISO 7730:2005 [08] – Apresenta métodos para estimar a sensação térmica e grau de desconforto (insatisfação térmica) de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados, através da determinação analítica e interpretação de conforto térmico utilizando cálculo dos índices PMV (voto médio estimado) e PPD (percentagem prevista de insatisfeitos), bem como os critérios de desconforto local.
- ISO 7726:1998 [09] – Especifica as características mínimas dos instrumentos de medição de grandezas físicas para caracterização de um ambiente, bem como os métodos para a medição das grandezas físicas deste ambiente.
- ISO 8996:2004 [10] – Apresenta diferentes métodos para a determinação da taxa metabólica no contexto ergonómico do ambiente de trabalho, em função dos diversos níveis de actividade.
- ANSI/ASHRAE 55:2010 [11] – Esta norma especifica as condições térmicas ambientais adequadas á ocupação humana, com base em ambientes específicos padrão. Sua aplicação é na concepção e ensaio de edifícios e outros espaços com ar-condicionado, além de avaliação de ambientes térmicos naturalmente ventilados. Os cálculos incluem o método de PMV e PPD, e ainda aplica o conceito de adaptação térmica. É a primeira norma que considera as duas abordagens para estudar o conforto térmico, embora cada uma para um caso específico.

CAPÍTULO 3 – O CONFORTO TÉRMICO

3.1. NOÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico humano representa as condições adequadas de ambiente térmico, para as quais o indivíduo pode realizar as suas actividades com menor esforço. Estas condições são função de diversas variáveis intrínsecas ao ser humano e ao meio ambiente em que este se encontra.

A norma internacional ISO 7730:2005 [08], descreve o conforto térmico como uma “ (...) *condição mental que expressa a satisfação do Homem com o ambiente*”. Esta condição está principalmente relacionada com o equilíbrio térmico do seu corpo como um todo, na qual é influenciado pela actividade física, vestuário utilizado e os principais parâmetros que caracterizam o meio ambiente, (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade do ar) [08].

Em suma, pode-se descrever o conforto térmico como a sensação de comodidade e bem-estar verificada por um indivíduo, resultado da combinação satisfatória entre as condições ambientais do local onde se encontra e o sistema termorregulador do seu organismo [12].

3.2. CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS

Para assegurar o conforto térmico no interior dos edifícios, o seu ambiente deverá permitir que os utentes, com vestuário apropriado, possam realizar as suas actividades sem sensação de desconforto [12]. Este depende essencialmente de três grupos de variáveis: Variáveis Humanas, Climáticas e Arquitectónicas. O estudo e análise destas variáveis torna-se fundamental para a determinação do nível de conforto de um edifício, bem como a respectiva determinação do balanço térmico global.

O balanço térmico global, por sua vez, deverá permitir que no Inverno os ganhos térmicos sejam superiores que as perdas e no Verão as perdas térmicas sejam superiores que os ganhos térmicos, por forma a assegurar uma temperatura ideal de conforto no interior do edifício.

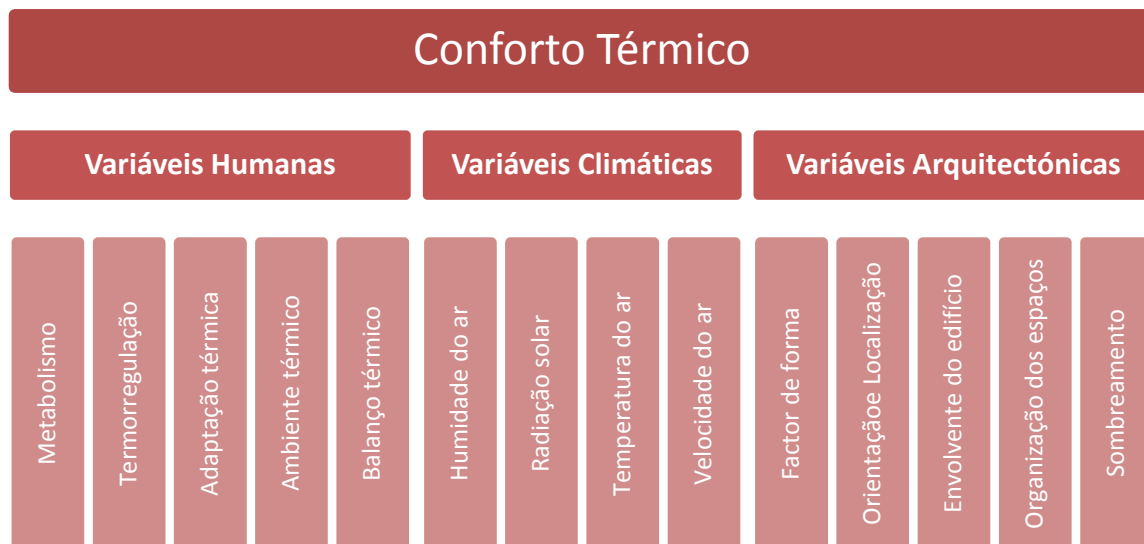


Figura 3.1: Principais factores que influenciam o conforto térmico (adaptado de [13]).

3.2.1. VARIÁVEIS HUMANAS

É a percepção humana de sensação térmica que determina o nível de conforto num determinado edifício. Essa percepção consiste num processo que engloba um conjunto de variáveis físicas e psicológicas.

Identificar e compreender essas variáveis permite determinar os aspectos a serem considerados no projecto e avaliação de um determinado espaço. De acordo com Morales et al 2013 [13], as variáveis que influenciam a percepção de conforto são:



Figura 3.2: Diagrama de inter-relação das variáveis que afectam a percepção de sensação térmica (fonte [13]).

3.2.1.1. Metabolismo

Segundo Fanger, 1982 [15], o metabolismo é o efeito combinado das reacções químicas que ocorrem nas células do corpo, isto é, consiste na conversão de energia química em energia mecânica e térmica.

De acordo com a norma ISO 7730:2005 [08], a taxa metabólica mede a quantidade de energia associada a um determinado esforço muscular. A unidade de medida é o *met* que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso – 100 W. Considerando que, em média, as pessoas têm uma superfície de pele de 1.8 m², 1 *met* equivale, em unidades SI, a 58.15 W/m² [08].

A taxa metabólica é importante para a determinação do nível de conforto resultante de uma exposição a um ambiente térmico. Em climas quentes, o elevado nível de produção de calor metabólico associado a uma actividade, que implique esforço muscular, poderá levar a um agravamento do desconforto térmico devido à quantidade de energia calorífica que é necessário dissipar, principalmente por meio de evaporação de suor.

A Tabela 3.1 apresenta a taxa metabólica para diferentes actividades humanas.

Actividade	Taxa Metabólica	
	W/m ²	<i>met</i>
Dormir	46	0.8
Sentado (em repouso)	58	1.0
Actividade sedentária (escritório, escola, laboratório, em casa)	70	1.2
De pé, em actividade leve (compras, laboratório, indústria leve)	93	1.6
Permanentemente de pé, em actividade média (assistente de loja, trabalho doméstico)	116	2.0
Andar a pé em terreno plano (2 km – 5 km)	110 - 200	1.9 – 3.5

Tabela 3.1: Taxa metabólica referente a várias actividades (fonte [08]).

Um outro factor que influencia significativamente o conforto térmico é o tipo de vestuário utilizado por cada pessoa.

O vestuário garante uma atenuação da sensação de desconforto devido à sua resistência térmica, isto é, permite minimizar a perda de calor por condução e convecção ao permitir a criação de uma camada de ar, não renovada, junto à superfície corporal. O isolamento térmico correspondente a cada tipo de vestuário (ou resistência térmica uniforme equivalente) resulta do quociente entre o gradiente de temperatura entre as duas superfícies da peça de vestuário (a condução) e a perda de calor por unidade de área de superfície corporal (o fluxo) [07].

O isolamento térmico proporcionado pelo vestuário é geralmente expressa em *clo*, que equivale a 0.155 m².°C/W. A Tabela 3.2 apresenta o valor da resistência térmica, em *clo*, de para algumas combinações de vestuário obtidos a partir de medições em um manequim térmico instalado num ambiente cujo movimento do ar apresentava valores abaixo de 0,2 m/s (ISO 9920:2010):

Vestuário	Resistência térmica (<i>clo</i>)
Calções e camisa de manga curta	0.36
Calças e camisa de manga curta	0.57
Calças e camisa de manga comprida	0.61
Calças, camisa de manga comprida e casaco	0.96
Calças, camisa de manga comprida, t-shirt e camisola	1.01
Calças, camisa de manga comprida, t-shirt, camisola e casaco	1.30
Saia até ao tornozelo, camisa de manga curta e sandálias	0.54
Roupa desportiva (calças e camisola de manga comprida)	0.74

Tabela 3.2: Isolamento típico de algumas combinações de vestuário (fonte [11]).

3.2.1.2. Balanço Térmico

Dado que um indivíduo irradia constantemente calor para o ambiente e, por sua vez, está constantemente a receber o calor emitido por outros organismos, o balanço térmico no corpo humano é função da energia produzida no interior do corpo e das perdas e ganhos de energia térmica resultado da sua interacção com o ambiente [12].

Os ganhos de energia térmica, num indivíduo, ocorrem das seguintes formas [14]:

- Através do próprio metabolismo;
- Por radiação de calor emitida pelos corpos que se encontram no mesmo ambiente;
- Por convecção, recebendo o calor do ar (ou água) que está em contacto com ele;
- Pela respiração, inspirando o ar quente cuja temperatura está acima de sua temperatura corporal;
- E por condução, ao receber o calor dos sólidos que estão em contacto directo com ele.

Por sua vez, perde calor através de:

- Radiação de calor;
- Convecção, fornecendo calor ao ar (ou água) que está em contacto com ele (a uma temperatura inferior);
- Pela respiração;
- Pela evaporação do suor, fornecendo calor que permita a evaporação deste;

- E por condução, fornecendo calor para os sólidos que estão em contacto directo com ele e a uma temperatura inferior.

Os mecanismos com maior relevância na interacção térmica Homem-Ambiente são as trocas de calor por convecção, por radiação e pelas trocas de calor latente produzido pela evaporação de suor (com um efeito de 30% cada). As perdas através da respiração têm um efeito menor, representando cerca de 10% da perda de energia térmica total [13].

Para que se verifique o equilíbrio térmico, a variação de calor entre um indivíduo e o seu meio deverá ser a menor possível (aproximadamente nula).

Segundo Fanger [15], é possível estabelecer uma equação que traduz o equilíbrio entre a taxa de produção de energia do corpo humano (actividade metabólica) e a soma das taxas de produção de calor (\dot{Q}) e de trabalho (\dot{W}) [12]:

$$\dot{Q} + \dot{W} - M \times A_c = 0 \quad (3.1)$$

Sendo:

M – Actividade metabólica (W/m^2);

A_c – Área superficial do corpo humano (m^2);

\dot{W} – Trabalho produzido (W);

\dot{Q} – Fluxo de calor instantâneo (W), que se traduz na soma de perdas térmicas entre o corpo humano e o ambiente em que se encontra, nomeadamente: perdas pela pele por condução (\dot{Q}_{con}), por radiação (\dot{Q}_{rad}) e por evaporação (\dot{Q}_{evap}), bem como as perdas de calor latentes ($\dot{Q}_{resp.lat}$) e sensíveis ($\dot{Q}_{resp.sens}$) inerentes à respiração:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{con} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{evap} + \dot{Q}_{resp.lat} + \dot{Q}_{resp.sens} \quad (3.2)$$

Na prática, com a excepção das actividades intensas, as perdas de calor através da respiração e da condução podem ser desprezadas devido ao reduzido valor da taxa metabólica [14].

Da equação de equilíbrio térmico, em função da situação em análise, é possível efectuar as seguintes interpretações:

- $\dot{Q} + \dot{W} - M \cdot A_c = 0$, verifica-se as condições físicas essenciais ao conforto térmico;
- $\dot{Q} + \dot{W} - M \cdot A_c > 0$, desequilíbrio derivado a condições críticas de calor, ocorrência de ganhos térmicos,
- $\dot{Q} + \dot{W} - M \cdot A_c < 0$, desequilíbrio derivado a condições críticas de ausência de calor, ocorrência de perdas térmicas;

A condição de neutralidade térmica é necessária para uma pessoa estar em conforto térmico. Porém, não é suficiente, já que o indivíduo pode estar sujeito a algum tipo de desconforto localizado (por exemplo: sujeito a uma assimetria de radiação significativa) [16].

3.2.1.3. Adaptação Térmica

A adaptação térmica é a resposta do organismo à diminuição gradual de exposições repetidas dos estímulos recebidos a partir de um ambiente específico. De acordo com Morales et al 2013 [13], a adaptação subdivide-se em:

- Adaptação fisiológica – também designada por aclimação, isto é, a adaptabilidade do organismo perante a alteração do clima.
- Adaptação psicológica – está relacionada sobretudo com a naturalidade do espaço, a expectativa e experiência do utilizador; o tempo de exposição ao ambiente proporcionado; o controlo de percepção adquirida; a estimulação do meio ambiente; ambiente sociocultural; hábitos e preferências.

O ambiente sociocultural como variável da adaptação psicológica refere-se ao conjunto de condições inerentes aos estilos de vida e costumes, bem como o conhecimento empírico do clima que determina os tipos de construção, vestuário e formas de interacção social que, por sua vez, influenciam a expectativa da sensação térmica devido à experiência de várias gerações [17].

Segundo Matias et al (2012) [17], *“a tolerância dos utentes é tanto maior quanto maior for a possibilidade de adaptação térmica, quer através da interacção com os elementos constituintes do edifício e os seus sistemas, quer individual mediante alteração do vestuário, da actividade, da postura ou do local de permanência”*.

Assim, verifica-se uma grande influência do ambiente cultural, do tipo de actividades, do tempo e da duração de utilização do espaço no processo de aclimação.

3.2.1.4. Termorregulação

O ser humano é um ser homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal, dentro de um certo intervalo pré-determinado, em função das variações térmicas do meio ambiente. A essa capacidade de regulação de uma temperatura corporal estável dá-se o nome de termorregulação.

A termorregulação apenas se verifica para um dado limite de condições exteriores, ou seja, se uma pessoa estiver exposta a temperaturas muito baixas ou muito altas, por um grande período de tempo, este mecanismo não possui capacidade de resposta [18].

3.2.1.5. Ambiente Térmico

No que se refere ao ambiente térmico, os principais factores ambientais que influenciam a percepção da sensação de conforto são, nomeadamente: a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a humidade relativa e a velocidade do ar.

A temperatura do ar é o indicativo mais simples e prático de calor ou frio. É influenciada pela estratificação do ar devida à diferença de densidade entre ar frio e quente, pelas características do local e pela temperatura média radiante obtida a partir das temperaturas das superfícies envolventes.

A velocidade do ar, por sua vez, determina a troca de calor do corpo por convecção e, conseqüentemente, a capacidade de evaporação e arrefecimento deste. Porém, para temperaturas elevadas, o aumento da velocidade do ar reduz a resistência da camada de ar junto à superfície corporal provocando um aumento das perdas térmicas e da sensação de desconforto. Assim, deverão ser evitadas velocidades do ar elevadas [13].

A humidade relativa tem um impacto relativamente baixo no conforto de pessoas em repouso. Esta não afecta directamente a carga térmica de funcionamento do corpo humano, mas determina a capacidade de evaporação do ar, afectando a refrigeração ou a não transpiração [13].

3.2.2. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

O clima é o factor que influencia não só a actividade humana como também o desempenho energético de um edifício.

A compreensão das condições climáticas locais permite adoptar medidas que influenciam significativamente o desempenho do edifício ao nível do conforto térmico e, consecutivamente, o consumo energético associado. Isto é, a sua adaptação ao clima contribui para a diminuição das necessidades de consumo energético inerentes à obtenção dos níveis de conforto requeridos pelos ocupantes [19].

Como tal, serão abordados no presente subcapítulo as variáveis que apresentam maior impacto no conforto térmico de um edifício, nomeadamente: a radiação solar, temperatura do ar, humidade relativa e a velocidade do ar.

3.2.2.1. Radiação Solar

O sol é a principal fonte de energia térmica de um edifício. Compreender a sua interacção com os edifícios, quer em termos energéticos (valores da radiação solar), quer em termos da sua posição ao longo de todo o ano, é fundamental para a determinação do conforto térmico em qualquer edifício. No Inverno constitui uma fonte de calor muito importante pois contribui para o aumento da temperatura interior. Por sua vez, no Verão, constitui uma fonte de calor a evitar, precisamente para impedir o aumento da temperatura no interior dos edifícios [20].

A energia solar recebida por qualquer superfície pode chegar de 3 modos distintos:

- Radiação directa - mais intensa;
- Radiação difusa - radiação de menor intensidade difundida em todas as direcções pela massa de ar que constitui a atmosfera;
- Radiação reflectida – radiação reflectida por outras superfícies.

A radiação solar varia consoante a nebulosidade e a percentagem de radiação difusa, num dia com nuvens, pode variar entre 10 a 100% da radiação que chega ao solo. Por sua vez, num dia de céu limpo, a percentagem de radiação que chega ao solo é cerca de 50% da emitida pelo Sol.

Devido à rotação da Terra em torno do seu eixo e aos seus movimentos de translação, segundo um plano inclinado $23^{\circ}27'$ em relação ao equador (posição dos trópicos definidas por este ângulo), os dois hemisférios recebem quantidades distintas de radiação solar ao longo do ano. [21]

Os picos de radiação solar máximos e mínimos designam-se por solstícios e ocorrem, em Portugal, duas vezes no ano [20]:

- O solstício de Inverno - 21 de Dezembro - o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se próximo da orientação Sudoeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano.
- O solstício de Verão - 21 de Junho - o sol nasce relativamente próximo da orientação Nordeste e põe-se próximo da orientação Noroeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano.

Há um momento exacto em que o sol nasce na orientação Este e põe-se na orientação Oeste. Este fenómeno é designado por equinócio e ocorre duas vezes no ano - 21 de Março e 21 de Setembro.

O conhecimento da disponibilidade de radiação solar directa e a sua incidência na temperatura do ar torna-se fundamental na determinação das características da envolvente exterior dos edifícios, nomeadamente quanto ao comportamento térmico dos materiais que constituem as fachadas e à penetração dos raios solares através de vãos envidraçados.

3.2.2.2. Temperatura do ar

A temperatura depende essencialmente da radiação solar, do vento, da altitude e da natureza do solo.

A transmissão de energia térmica ocorre essencialmente de 3 formas: por condução, convecção e radiação. Estes processos serão descritos com maior detalhe no capítulo seguinte.

O sol aquece indirectamente a atmosfera dado que o solo acumula a energia solar que recebe e reemite o calor por radiação e convecção. A propagação deste calor é assegurada ou por condução, ou por difusão através da turbulência do ar ou vento.

A diferença térmica entre o interior e o exterior de um edifício dá origem a fluxos térmicos que ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, no qual o sentido do fluxo é do interior para o exterior do edifício (perdas térmicas), e no Verão o sentido do fluxo é inverso (ganhos térmicos) havendo uma contribuição para o aumento da carga térmica no interior [20].

Os regulamentos energéticos em Portugal indicam como valores constantes de temperatura ambiental para obtenção de conforto, os seguintes [23]:

- 20 °C, para a estação de aquecimento;
- 25 °C, para a estação de arrefecimento.

Para tal, é necessário dotar a envolvente do edifício com tecnologia construtiva que permita controlar os fluxos térmicos, por forma a contribuir satisfatoriamente para a melhoria das condições de conforto térmico no seu interior.

3.2.2.3. Humidade Relativa do ar

Dado que o ar é composto por uma mistura de ar seco e vapor de água, a humidade relativa traduz a percentagem de água que o ar contém. Se a quantidade de água que o ar contém é superior à percentagem possível para aquela temperatura (ar saturado), todo o excedente será condensado [21].

A percentagem de humidade que um determinado volume de ar poderá conter está intrinsecamente ligada com a temperatura a que este se encontra. No Capítulo seguinte, será analisado com maior detalhe a relação entre a humidade relativa e a temperatura ar.

Esta percentagem de água é influenciada não só pela temperatura do ar mas também pelo volume de precipitações, pela vegetação, pelo tipo de solo e pelas condições climatéricas (ventos e exposição solar).

No âmbito do conforto térmico, a humidade relativa determina a capacidade de evaporação do ar, condicionando, por sua vez, a capacidade de refrigeração do corpo humano através da evaporação do suor.

3.2.2.4. Velocidade do ar

A utilização dos edifícios inclui actividades de que resultam substâncias poluentes ou incómodas, cuja remoção é importante para a existência de um ambiente adequado à permanência dos ocupantes.

Dado que o ar é um fluido, o seu escoamento no interior do edifício poderá ser assegurado por meio de ventilação natural, mecânica, ou por combinação de ambas.

Inerente ao escoamento do ar, surge a velocidade como variável do conforto térmico devido à sua influência nas trocas de calor por convecção e na capacidade evaporação do ar pois, com o aumento da sua velocidade, verifica-se o aumento das perdas de calor por convecção pelo corpo humano e da taxa de evaporação ao nível da pele [12].

De acordo com o RSECE de 2006 [22], para que sejam assegurados os requisitos exigenciais de conforto térmico, a velocidade do ar interior não deverá exceder os 2,0 m/s.

3.2.3. VARIÁVEIS ARQUITECTÓNICAS

A forma como o edifício é concebido é fundamental para estabelecer o equilíbrio do balanço térmico entre o Homem e o Clima.

Da definição da forma volumétrica do edifício e a organização dos compartimentos interiores até à definição da envolvente e respectivas orientações, dotada ou não de dispositivos de sombreamento, devem ser fundamentadas na análise das variáveis humanas e climáticas.

Como tal, no presente subcapítulo serão abordadas as variáveis arquitectónicas que, sob o ponto de vista estratégico, contribuem para a diminuição do consumo energético e, simultaneamente, para a obtenção do conforto térmico no interior do edifício.

3.2.3.1. Factor de forma

É através da envolvente que ocorrem as trocas térmicas entre o edifício e o meio ambiente onde está inserido. Dado que estas trocas de calor determinam a eficiência do balanço térmico global, a análise da forma do edifício é fundamental para a optimização das perdas térmicas.

O factor de forma, segundo o RCCTE de 2006, é definido como o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício e o respectivo volume interior, isto é, traduz a razão entre a área da envolvente na qual ocorrem trocas térmicas e o volume de ar no interior do edifício [23].

Partindo desta definição, conclui-se que os edifícios que apresentam maior área de envolvente exposta, com saliências e reentrâncias, estão mais vulneráveis às diferenças de temperatura exteriores. Quanto mais compacto o edifício, menores serão as trocas de calor associadas.

Todavia, no caso de edifícios de forma constante, a área da envolvente aumenta de forma mais lenta que o seu volume, pelo que um edifício grande tem, proporcionalmente, menos perdas térmicas que um edifício pequeno [24].

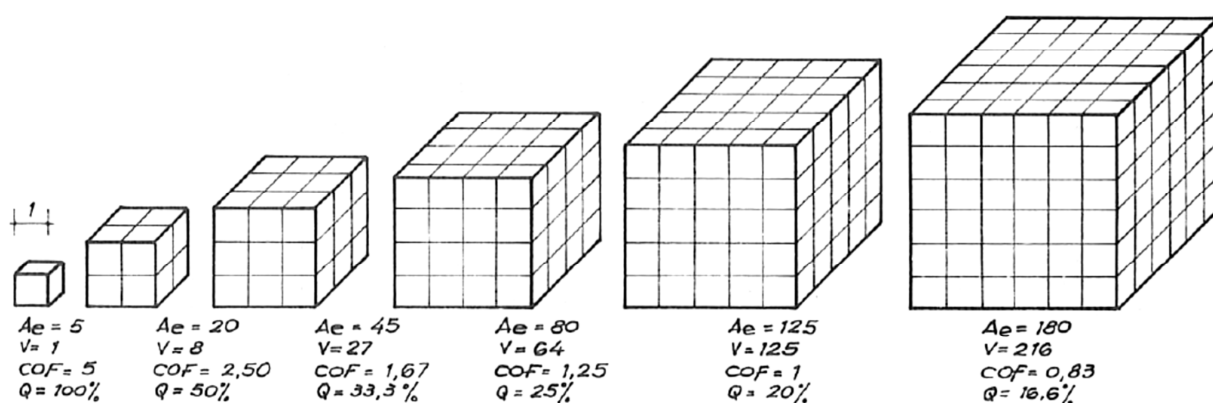


Figura 3.3: Representação da variação do coeficiente de forma (COF) e da percentagem de perdas (Q), em função da variação proporcional do volume (V) e da área exterior (AE), de um edifício de forma constante (fonte [24]).

Deve-se ainda considerar, na forma geral do edifício, a sua exposição à acção aerodinâmica dos ventos dominantes que influenciam a dissipação da energia térmica da fachada, e o tipo de radiação solar a que este irá estar sujeito (radiação directa ou difusa) [24].

3.2.3.2. Orientação

No que concerne à orientação de um edifício, o factor mais importante a ter em conta é a radiação solar disponível, dado que tem influência directa nos ganhos solares deste. Para tal, é necessário saber se o clima é propício a esses ganhos solares nas diferentes estações do ano.

Uma má orientação do edifício poderá levar a que este seja mais frio no inverno e mais quente no verão afectando desse modo o balanço térmico global [20].

Em Portugal, para a potenciar os ganhos solares num edifício, é importante que a maior fachada fique orientada a Sul para receber o máximo de radiação possível durante todo o ano tendo, no entanto, sombreamentos de forma a controlar o aumento da carga térmica no Verão.

As fachadas orientadas a Este e Oeste recebem pouca radiação directa durante o inverno todavia, no verão, a radiação solar incidente é abundante nas fachadas com estas orientações.

Quanto às fachadas orientadas a Norte, apenas recebem radiação difusa partir da abóbada celeste e, no Verão, apenas se verifica uma pequena incidência da radiação solar directa no princípio da manhã e fim da tarde. [20]

Um outro aspecto importante na definição da orientação do edifício é a acção dos ventos dominantes e a sua influência na ventilação natural e infiltrações.

3.2.3.3. Envolvente do edifício

É a envolvente do edifício que estabelece a separação física entre o ambiente interior e o ambiente exterior. O seu desempenho contribui para a obtenção da economia energética, para o cumprimento das exigências regulamentares e, simultaneamente, para a melhoria das condições de conforto térmico interior [25].

Do ponto de vista térmico, é importante efectuar a distinção dos elementos que constituem a envolvente segundo a sua opacidade à radiação solar, isto é, deverá ser efectuada uma análise térmica da envolvente opaca e da envolvente não opaca, separadamente.

Na envolvente opaca, a estratégia para satisfazer tais exigências consiste em incluir, correctamente, materiais isolantes adequados de forma a reduzir as perdas de calor no Inverno e os ganhos de calor no Verão.

De acordo com o RCCTE de 2006, entende-se por isolamento térmico o material que apresenta um coeficiente de condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, ou cuja resistência térmica é superior a $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ [23]. A sua aplicação deverá abranger toda a envolvente de forma a evitar a ocorrência de diferentes fluxos térmicos (pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas). O posicionamento do isolamento térmico na envolvente (pelo exterior, interior ou interposta com os materiais que a constituem) não só influencia o aquecimento e arrefecimento dos materiais, como

também a capacidade de retenção e emissão do calor devido à sua massa térmica, isto é, influencia a inércia térmica do edifício [21].

A envolvente não opaca corresponde ao conjunto de todos os elementos translúcidos presentes na envolvente. Dos materiais que constituem estes elementos, o vidro é o que requer maior análise devido ao seu coeficiente de condutibilidade térmica elevado e pelo facto de este permitir a transferência directa para o interior de uma parte da radiação solar incidente.

Existem diferentes tipos de vidros que variam entre si consoante as capacidades distintas em absorver, reflectir e transmitir radiação solar. A escolha do tipo de vidro deverá ser realizada em função do respectivo factor solar, isto é, em função da razão entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia solar incidente.

3.2.3.4. Organização dos espaços

A organização dos espaços, em função da insolação do edifício, constitui uma das estratégias para a melhoria dos níveis de conforto térmico.

A concepção espacial interior dos edifícios deverá ser realizada tendo em conta a hierarquização térmica dos espaços através da atribuição de graus de importância aos compartimentos em função da sua utilização. Assim, deverá ser atribuída prioridade às zonas mais habitadas para que estas fiquem orientadas a sul, enquanto que arrecadações, escadas, corredores devem ficar situados a norte de forma a criar zonas térmicas intermédias e com o mínimo possível de fenestração [24].

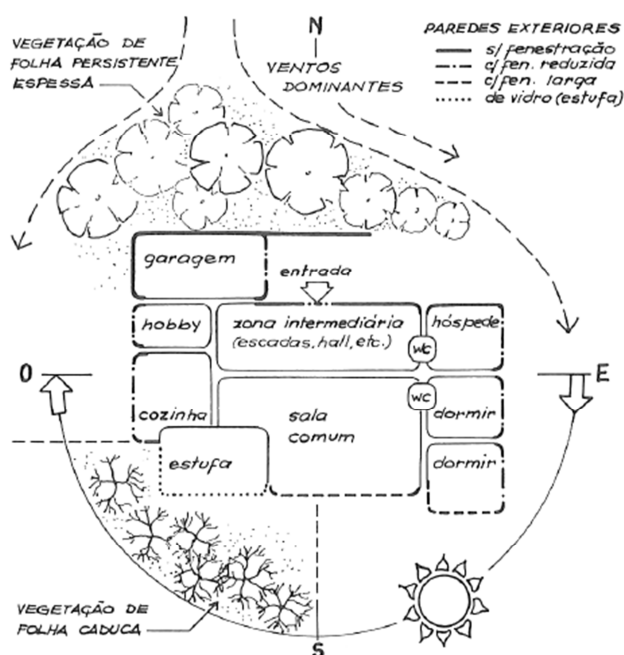


Figura 3.4: Representação em planta da hierarquia dos espaços (Fonte [24]).

3.2.3.5. Sombreamento

Conforme já referido anteriormente, é importante orientar as fachadas dos edifícios por forma potenciar os ganhos térmicos no Inverno através da radiação solar. Porém, durante o Verão, estes ganhos deverão ser evitados de forma a impedir o aumento da carga térmica no seu interior. Surge assim a necessidade de inclusão de elementos de sombreamento para protecção de superfícies envidraçadas da envolvente.

A eficácia dos dispositivos de sombreamento varia em função da quantidade de energia transmitida para o interior que é função do tipo de dispositivo de sombreamento (lâminas auto-reguláveis; estores; palas horizontais; dispositivos com características isolantes, etc.), do dimensionamento e posicionamento na envolvente (interior ou exterior) [24].

Os dispositivos aplicados pelo interior da envolvente apresentam menor eficiência que os aplicados pelo exterior, uma vez que contribuem para o aquecimento do ambiente devido ao efeito de convecção [24].

3.3. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE CONFORTO

São vários os métodos existentes para determinar a temperatura de conforto térmico, porém são os apresentados pela ISO 7730:2005 [08] e a ASHRAE 55:2010 [11] os mais usados.

A norma ISO 7730:2005 [08] apresenta métodos para prever a sensação térmica e grau de desconforto (insatisfação térmica) de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados. Estabelece a determinação analítica e a interpretação do conforto térmico através do cálculo do índice PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) [08].

Por sua vez, a norma ASHRAE 55:2010 [11], propõe um método gráfico simplificado para a determinação da zona de conforto, em função da resistência térmica proporcionada pelo vestuário.

3.3.1. O ÍNDICE PMV

O método de determinação do índice PMV (voto médio estimado) apresentado na norma internacional ISO 7730:2005 é baseado num modelo estático de transferência de calor, calibrado a partir de um grande número de pessoas numa câmara climática e com base numa escala de sensação térmica definida pela norma, esta tem os seguintes níveis de sensação térmica [08]:

PMV	Sensação
Muito frio	-3
Frio	-2
Levemente frio	-1
Confortável	0
Levemente quente	1
Quente	2
Muito Quente	3

Tabela 3.3: Escala de sensação térmica do índice PMV (fonte [08]).

Este índice PMV é determinado de acordo com as seguintes fórmulas [08]:

$$PMV = [0.303 \times e^{(-0.036 \times M + 0.028)}] \times (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 \times (M - W) - p_a] - 0.42 \times [(M \times W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - p_a) - 0.0014 \times M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_{cl} + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \quad (3.3)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \times (M - W) - I_{cl} \times [3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)] \quad (3.4)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25}, & \text{para: } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \times \sqrt{\vartheta_{ar}} \\ 12.1 \times \sqrt{\vartheta_{ar}}, & \text{para: } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \times \sqrt{\vartheta_{ar}} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \times I_{cl}, & \text{para } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1.05 + 0.645 \times I_{cl}, & \text{para } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (3.6)$$

Sendo:

M – Taxa metabólica, W/m^2

W – Energia mecânica efectiva inerente à actividade, W/m^2

I_{cl} – Resistência térmica proporcionada pelo vestuário, $m^2 \cdot K/W$

f_{cl} – Factor de área de superfície do vestuário

ϑ_{ar} – Velocidade do ar, m/s

t_a – Temperatura do ar, $^{\circ}C$

t_r – Temperatura média radiante, $^{\circ}C$

p_a – Pressão parcial de vapor de água, Pa

t_{cl} – Temperatura na superfície da roupa, $^{\circ}C$

h_c – Coeficiente de transferência de calor por convecção, $W/(m^2 \cdot K)$

A equação do voto médio estimado é complexa e de difícil manipulação, pelo que norma ISO 7730:2005 [08] apresenta diversas tabelas, cada uma delas referente a um tipo de metabolismo em ambiente com 50% de humidade relativa. A partir destas tabelas, o PMV é obtido em função da resistência térmica do vestuário, da velocidade relativa do ar e da temperatura de conforto.

3.3.2. O ÍNDICE PPD

Com base no método PMV, que estima o voto médio dos utilizadores, é possível estimar a percentagem de pessoas insatisfeitas, isto é, pessoas que se possam sentir desconfortavelmente quentes ou frias [08].

O PPD é um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de insatisfeitos. Esse índice é determinado em função PMV, de acordo com a seguinte fórmula [08]:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \quad (3.7)$$

Esta equação é representada pela curva de probabilidade da Figura 3.5, que tem um valor mínimo na abscissa $PMV = 0$, representando a condição de conforto óptimo $PPD = 5\%$, ou seja, 5% de pessoas insatisfeitas e 95% de pessoas satisfeitas. No entanto a referida norma estabelece uma insatisfação máxima de 10%, ou seja, um índice PPD a 10%.

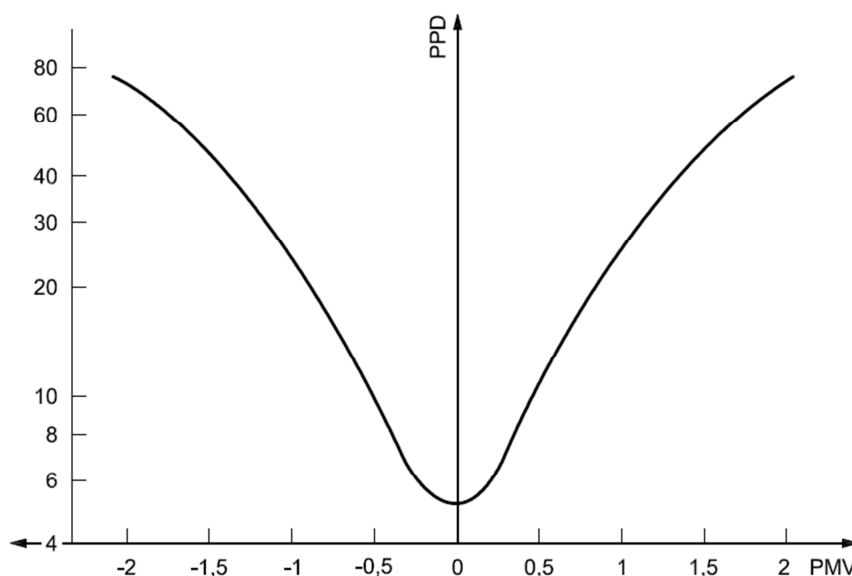


Figura 3.5: Gráfico PPD em função de PMV (fonte [08]).

3.3.3. MÉTODO GRÁFICO DA ASHRAE 55:2010

A norma ASHRAE 55:2010 [11] propõe um método gráfico simplificado para a determinação da zona de conforto, em função da resistência térmica proporcionada pelo vestuário.

O método gráfico de determinação da zona de conforto para ambientes interiores típicos, de acordo a referida norma, pode ser aplicado na concepção e ensaio de edifícios e outros espaços com ar-condicionado, bem como a avaliação de ambientes térmicos naturalmente ventilados.

Os cálculos consideram a temperatura, a radiação térmica, a velocidade do ar e da humidade, bem como o isolamento da própria roupa. Incluem ainda o método de PMV / PPD e o conceito de adaptação térmica. Porém, é aplicável em espaços cujos ocupantes têm níveis de actividade que resultam taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 *met* e em que o vestuário fornece entre 0,5 e 1,0 *clo* de isolamento térmico (situação de Verão e Inverno, respectivamente), nomeadamente salas de aula e escritórios e gabinetes em geral [11].

A zona de conforto é definida por uma faixa de temperaturas de conforto (designada na norma por temperaturas operacionais) que oferecem condições ambientais térmicas aceitáveis. A zona de conforto, delimitada por uma temperatura máxima e mínima de conforto, pode ser determinada para valores intermediários de isolamento roupas por interpolação linear entre os limites de 0,5 e 1,0 *clo*, através as seguintes relações:

$$T_{min,Icl} = \frac{(I_{cl} - 0.5_{clo}) \cdot T_{min,1.0clo} + (1.0_{clo} - I_{cl}) \cdot T_{min,0.5clo}}{0.5_{clo}} \quad (3.8)$$

$$T_{max,Icl} = \frac{(I_{cl} - 0.5_{clo}) \cdot T_{max,1.0clo} + (1.0_{clo} - I_{cl}) \cdot T_{max,0.5clo}}{0.5_{clo}} \quad (3.9)$$

Em que:

$T_{min,Icl}$; $T_{max,Icl}$ – Limite mínimo e máximo de temperatura de conforto, respectivamente;

I_{cl} – Isolamento do vestuário em questão, em *clo*.

$T_{min,1.0clo}$; $T_{max,1.0clo}$ - Limite mínimo e máximo de temperatura de conforto de um isolamento do vestuário correspondente a 1.0 *clo*, respectivamente, obtidos através do gráfico infra;

$T_{min,0.5clo}$; $T_{max,0.5clo}$ - Limite mínimo e máximo de temperatura de conforto de um isolamento do vestuário correspondente a 0.5 *clo*, respectivamente, obtidos através do gráfico da Figura 3.6.

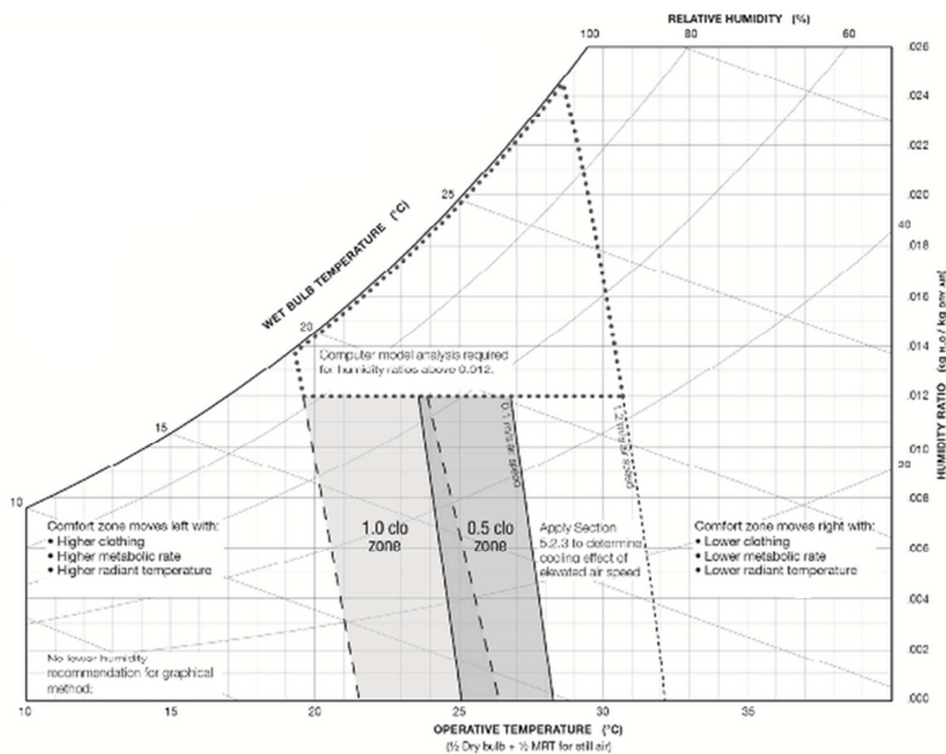


Figura 3.6: Zona de conforto térmico segundo o método gráfico de determinação da zona de conforto para ambientes interiores típicos (fonte [11]).

A gama de temperaturas de conforto apresentada na Figura 3.6, corresponde a 80% de aceitabilidade por parte dos ocupantes. Isto é, baseado num critério de insatisfação de 10%, dos índices PMV-PPD, mais um adicional de 10% de insatisfação que pode ocorrer, em média, devido desconforto associado à assimetria térmica. Esta zona é específica para ambientes onde as velocidades de ar não são maiores do que 0,20 m/s [11].

Este método considera ainda aceitável a utilização de velocidades de ar elevadas para aumentar o limite de temperatura superior para a zona de conforto, em determinadas circunstâncias, pelo que prevê os respectivos ajustes para tais situações.

Porém, como o conforto térmico envolve variáveis ambientais e também variáveis subjectivas, não é possível que várias de pessoas que se encontrem sujeitas ao mesmo ambiente, durante o mesmo período de tempo, estejam totalmente satisfeitas com as condições térmicas do mesmo, devido às características pessoais cada indivíduo.

CAPÍTULO 4 – O COMPORTAMENTO TERMO-HIGROMÉTRICO

Com o aumento do nível de conforto exigido nos edifícios surge uma maior preocupação no controlo da humidade e da temperatura no seu interior pois, do ponto de vista dos utilizadores, as características do ar interior terão impacto directo e decisivo na sua saúde, no seu conforto, na sua produtividade e na economia energética [26].

Assim, o comportamento termo-higrométrico torna-se um parâmetro chave na obtenção dos requisitos mínimos exigidos para o ambiente interior das edificações, pois permite estudar os mecanismos de transferência de calor e humidade através da envolvente dos edifícios.

A higrometria traduz o aumento ou diminuição da pressão de vapor de água no interior de um local em relação ao exterior e, simultaneamente, define o gradiente de pressão de vapor de água a que se encontra submetida a sua envolvente. O clima interior dos edifícios e as condições climáticas exteriores determinam esses gradientes de pressão, que por sua vez condicionam o fluxo de difusão de vapor através dos elementos que compõem a envolvente.

Como tal, no presente capítulo será abordado a importância do equilíbrio termo higrométrico com base na análise dos principais factores condicionantes e as formas de manifestação de humidade no interior dos edifícios.

4.1. A HUMIDADE NOS EDIFÍCIOS

A principal função dos edifícios é satisfazer os fins para o qual foram concebidos tornando-se um refúgio agradável e adequado às actividades humanas. Para tal, deverão ter capacidade de resposta a várias solicitações a que irão estar sujeitos, nomeadamente: as cargas permanentes e específicas de serviço, variações de temperatura, humidade, neve, vento e até mesmo as solicitações mais raras como os terremotos. Devem ainda proporcionar um ambiente interior saudável, permitindo a eliminação dos poluentes do ar ao longo de toda a sua vida útil.

No entanto, a maioria desses atributos podem ser afectados pela humidade. A presença descontrolada de humidade nos edifícios afecta negativamente as características mais importantes de um edifício, dando origem a perturbações funcionais, de habitabilidade, estéticas, diminuição da durabilidade e até mesmo a própria desvalorização. Pode afectar a saúde dos ocupantes através da criação de um ambiente propício ao surgimento de organismos nocivos, tornando o espaço insalubre. Por outro lado, a redução excessiva do teor de humidade do ar provoca desconforto térmico e respiratório nos ocupantes.

Assim, a humidade é um parâmetro necessário à construção de um ambiente confortável, cujo desafio não passa pela sua eliminação, mas pelo seu controlo.

Há duas estratégias gerais que permitem controlar e manter níveis de humidade toleráveis [27]:

- Através da limitação da acção da humidade exterior, isto é, aumentando a estanquidade e resistência ao vapor de água, reduzindo assim o volume de água da chuva penetrada e absorvida.
- Projectar e construir o edifício para maximizar a sua tolerância à humidade, isto é, através do desenho inteligente do edifício (geometria; orientação; ventilação; etc.) e da utilização de materiais que possibilitem a absorção, armazenamento e evaporação da humidade.

Para isso, é necessário compreender o efeito da acção da humidade nos edifícios e a sua interacção com os materiais de construção, tendo em conta que a natureza e a magnitude da acção da humidade irá variar em função das condições climáticas e da sua ocupação.

A compreensão de como se processa o transporte e a deposição de humidade, bem como os mecanismos pelos quais elas ocorrem, são requisitos fundamentais para diagnosticar e corrigir grande parte dos problemas de construção.

Seguidamente apresenta-se um diagrama dos principais processos de transferência de humidade:

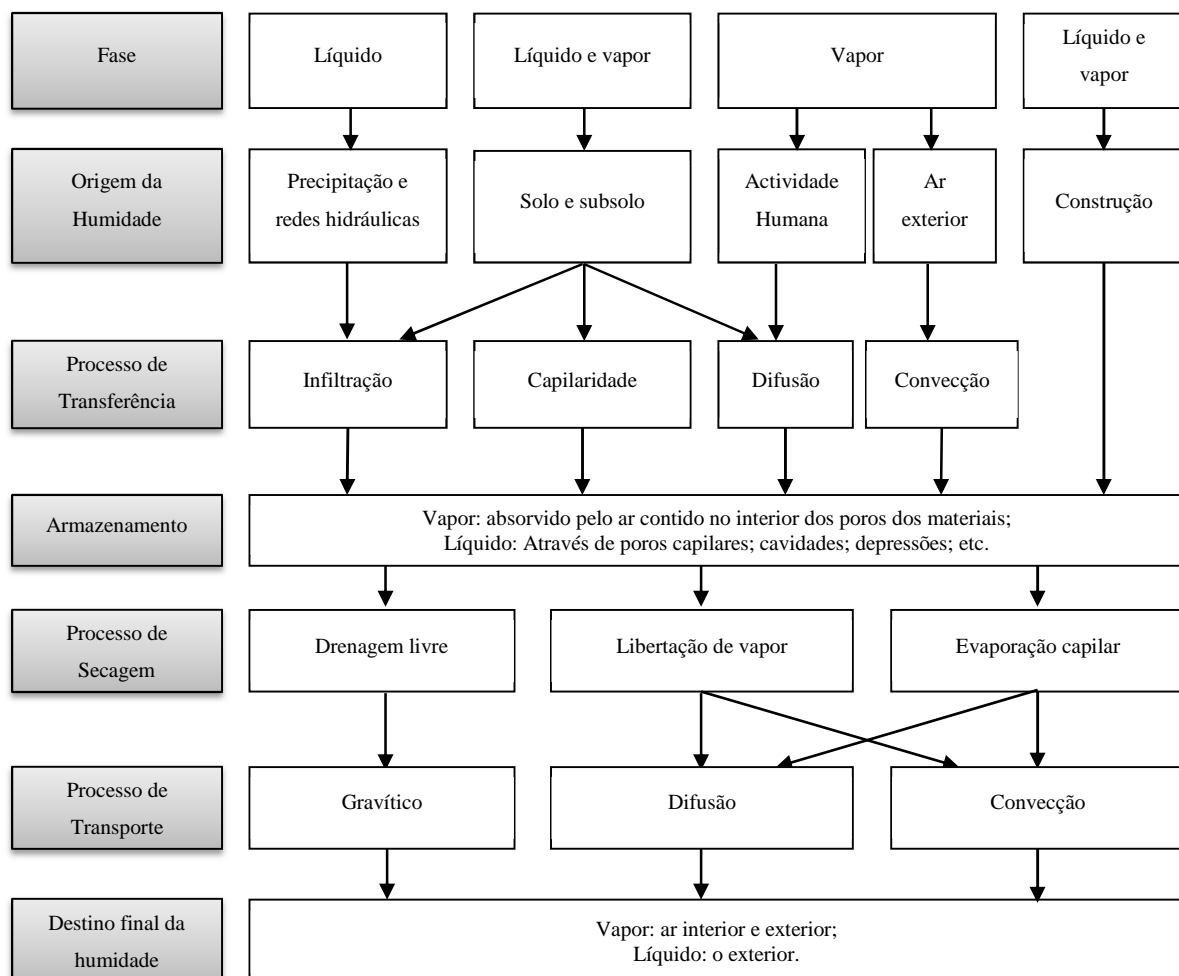


Figura 4.1: Diagrama de relação entre fontes de humidade, transporte e armazenamento, em edifícios (fonte: [28]).

4.1.1. FORMAS DE HUMIDADE

A presença de humidade nos edifícios, sob a forma líquida ou gasosa, poderá ter diversas origens [29]:

- Humidade de obra – resultante do processo construtivo dos edifícios, está presente no betão, argamassas, rebocos, madeiras e outros materiais de construção durante o tempo de construção. No caso dos elementos de madeira, estes poderão perder cerca de 10% do seu peso em humidade. Quanto aos elementos de betão, mediante as suas características, poderão conter cerca de 200kg de água por metro cúbico sendo que metade se evapora durante os primeiros anos. Este tipo de humidade, em geral, diminui gradualmente até desaparecer ao fim de certo tempo.
- Humidade proveniente do solo – decorrente da ascensão capilar do solo húmido, através das fundações e paredes, devido aos materiais constituintes apresentarem elevada capilaridade e por se verificar a inexistência de corte hídrico. A água presente no solo poderá ter origem nos níveis freáticos e nas águas de superfície.
- Humidade de infiltração – proveniente da água exterior (chuva ou neve) infiltrada através dos elementos da envolvente ou suas juntas causando, consecutivamente, o humedecimento dos paramentos interiores. Este tipo de humidade provoca um acréscimo do teor em humidade dos elementos da envolvente causando uma diminuição da respectiva resistência térmica, potenciando a ocorrência de condensações no interior dos elementos.
- Humidade de condensação – resulta da condensação do vapor de água interior ou exterior (atmosférico) nas superfícies expostas ou no interior de elementos de construção. O arrefecimento do ar pode provocar a condensação do vapor de água, sempre que seja atingido o respectivo limite de saturação correspondente a uma dada temperatura.
Em diversos tipos de edifícios, uma quantidade considerável de água poderá ter origem na actividade dos ocupantes, pela humidade transportada pelos sistemas de ventilação (ou por sistemas de insuflação que transportam o ar directamente para o interior, ou por meio de sistemas de únicos de extracção que, devido à diminuição da pressão no interior dos compartimentos provoca a entrada de ar húmido através de aberturas nos vãos exteriores do edifício), ou pelo atravessamento do vapor de água por difusão através dos elementos da envolvente.
- Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade – A higroscopicidade é uma propriedade dos materiais que os caracteriza pela sua capacidade de fixação da humidade. Os materiais de construção apresentam na sua composição sais solúveis em água com propriedades higroscópicas, isto é, capacidade de absorver a humidade do ar (normalmente quando expostos a uma humidade relativa superior a 70%), dissolvendo-se. A presença

destes sais à superfície irá permitir a absorção de humidade do ar, sempre que a humidade relativa apresente valores superiores a determinado patamar, dando-se assim a dissolução dos sais e provocando o humedecimento da parede.

- Humidade devida a causas fortuitas – isto é, roturas de instalações de abastecimento de água ou drenagem de águas residuais domésticas ou pluviais.

4.1.2. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A transferência de humidade através dos materiais de construção ocorre geralmente por qualquer um dos quatro mecanismos de transporte de humidade: fluxo gravítico, capilaridade, convecção, difusão, ou por combinação destes processos.

O fluxo gravítico é o mais básico e poderoso mecanismo de transferência de humidade. Consiste no movimento da água sob a influência da acção da gravidade através de aberturas com dimensões superiores a 1 milímetro. Em aberturas de menor dimensão, as forças de sucção capilar podem atenuar o fluxo gravítico [28]. Normalmente este mecanismo de transporte é controlado através do uso de materiais impermeáveis ou pela drenagem na sua origem como é o caso de pisos enterrados em que a aplicação de dispositivos de drenagem de águas pluviais na base das fachadas ou através da instalação de geodrenos que possibilitem o rebaixamento do nível freático.

A capilaridade é o movimento de água no estado líquido em materiais porosos devido às forças resultantes da tensão superficial, na qual a humidade se transfere de uma região com elevada concentração líquida para regiões de reduzida concentração líquida [27]. Apesar da velocidade de transporte da humidade ser relativamente lenta, este mecanismo pode actuar durante vários anos. Ocorre essencialmente em elementos em contacto com o solo húmido ou nas superfícies molhadas pela chuva. Pode transportar grandes quantidades de água, tanto na vertical como na horizontal, e é controlada através da utilização de materiais que têm poros ou muito pequenos ou de muito grandes dimensões.

A difusão é o movimento do vapor de água resultante a partir de uma diferença de pressão de vapor. Esta actua para impulsionar o vapor de água pelo ar contido nos poros dos materiais, com a excepção de metal, vidro e alguns plásticos. Este mecanismo de transporte de humidade é relativamente fraco quando comparado com os restantes e, consecutivamente, o seu impacto nas características funcionais do edifício é reduzido.

Por sua vez, a convecção do vapor de água é o modo de transporte primário para mover a água através dos espaços de um edifício. Bastam pequenos fluxos de ar para mover grandes quantidades de vapor de água. Esta poderá ser controlada através do aumento da temperatura da superfície da envolvente (aumentando a resistência térmica) ou pela redução da humidade relativa do ar.

De todos os mecanismos de transporte de humidade, o fluxo gravítico e capilaridade são os que requerem maior cuidado pois da sua ocorrência resultam problemas graves de difícil reparação. A convecção e a difusão do vapor também são importantes, embora menos significativos no que respeita à contribuição da manifestação de humidade nos edifícios.

4.1.3. HIGROSCOPICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A forma como se processa a transferência de humidade nos materiais é um tema complexo que, para a realização desta dissertação, não terá muito interesse em ser aprofundado, no entanto optou-se fazer uma descrição sumária de como decorre este processo nos materiais de construção.

4.1.3.1. A variação do teor de humidade

Na construção, a maioria dos materiais utilizados têm um comportamento hidrófilo, ou seja, têm tendência a atrair as moléculas de água que se depositam ao longo da superfície de cada material devido à sua porosidade [30]. A sua constituição divide-se em três fases [31]:

- Fase sólida – correspondente à estrutura do material;
- Fase líquida – referente à água, livre e absorvidas, que se encontra no interior dos poros formados pela fase sólida;
- Fase gasosa – relativa ao ar que ocupa o espaço sobranante nos poros.

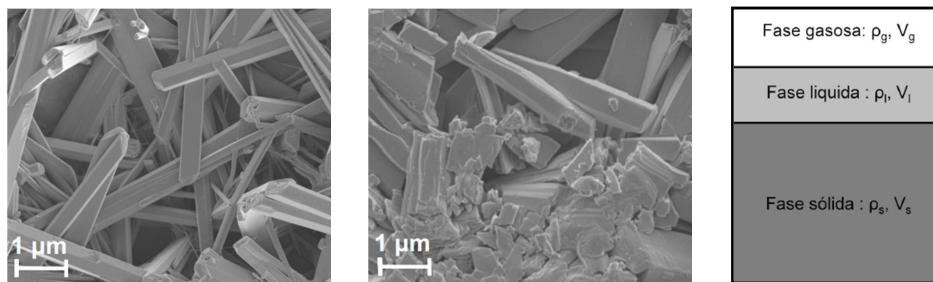


Figura 4.2: Fotos nanoscópicas de um material poroso e diagrama exemplificativo das fases constituintes (fonte: [32] [26]).

O teor de humidade (w) de um dado material é definido a partir da quantidade de água que se encontra no interior dos seus poros. Este parâmetro pode ser definido em função da massa (kg/kg), de acordo com a expressão seguinte:

$$w = \frac{m_t - m_{mat.seco}}{m_{mat.seco}} \quad (4.1)$$

Em que:

m_t – é a massa total do material, em kg ;

$m_{mat. seco}$ – é a massa do material seco, em kg ;

Assim, constata-se que o teor de humidade num dado material pode variar entre zero (ausência de humidade no material) e o teor de humidade máximo (w_{max}). O valor máximo da humidade correspondente à saturação total do material dificilmente é atingido devido à existência de pequenas bolsas de ar no interior dos poros, pelo que o valor máximo a ser considerado será o teor de água capilar (w_{sat}).

O valor do teor de humidade para o qual a difusão da água passa do estado de vapor para o estado líquido corresponde teor de humidade crítico (w_{cr}) [30].

O armazenamento da água no interior dos poros varia mediante as características dos materiais. No entanto, para os materiais usados na construção, que se encontram em condições isotérmicas, a variação do teor de humidade (w) pode ser representada graficamente em função da humidade relativa (Hr):

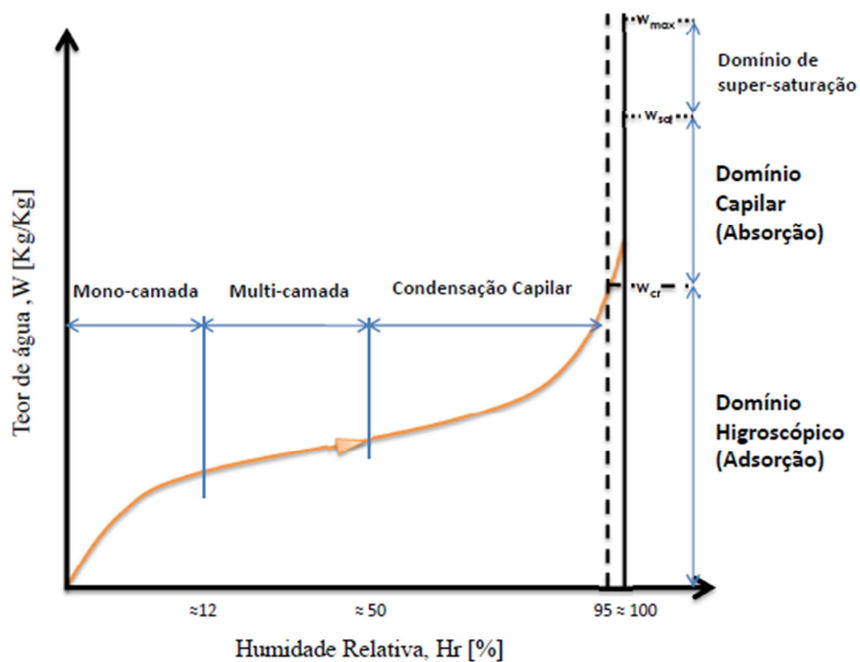


Figura 4.3: Modelo genérico da curva de armazenamento de humidade de um material em condições isotérmicas (fonte [30]).

Conforme se pode observar o gráfico da Figura 4.3, com o aumento do teor de água a quantidade de água armazenada não é linear devido ao efeito das forças intermoleculares no interior dos poros. Assim, em função do teor de humidade crítico (w_{cr}), é possível distinguir dois domínios de armazenamento [31]:

a) Domínio higroscópico:

Neste domínio, a fixação da humidade ocorre por difusão gasosa, devido às forças intermoleculares, até atingir o teor de humidade crítico (w_{cr}) variando, aproximadamente, entre 0% e 95% de humidade relativa (Hr). Com o aumento da humidade relativa é possível fazer a distinção de três etapas de adsorção distintas:

- Mono-camada (ou mono-molecular) – ocorre para valores baixos de Hr, variando entre 0% a aproximadamente 12%, com fixação de apenas uma camada de moléculas de água nas paredes dos poros através do fenómeno de adsorção (atração das moléculas de água à superfície dos poros).
- Multi-camada (ou pluri-molecular) – ocorre, aproximadamente, para valores de Hr entre 12% e 50%, com fixação de várias camadas de moléculas de água sobre a primeira adsorvida;
- Condensação capilar - que resulta da junção das multi-camadas dando origem à formação de meniscos. Esta etapa ocorre para valores de Hr compreendidos entre 50% a 95%, sensivelmente.

b) Domínio capilar:

O domínio capilar, conforme indicado no gráfico da Figura 4.4, é caracterizado pela difusão da humidade por meio líquido e pelo elevado nível de saturação dos poros. Em função da variação da humidade, é possível identificar duas regiões neste domínio [30]:

- Região sobre-higroscópica – correspondente a um estado de saturação parcial do material devido à existência de uma quantidade reduzida de bolsas de ar no interior dos poros (Hr compreendida entre 95% e 98%).
- Região de supersaturação – na qual se verifica a saturação total (Hr acima de 98%)

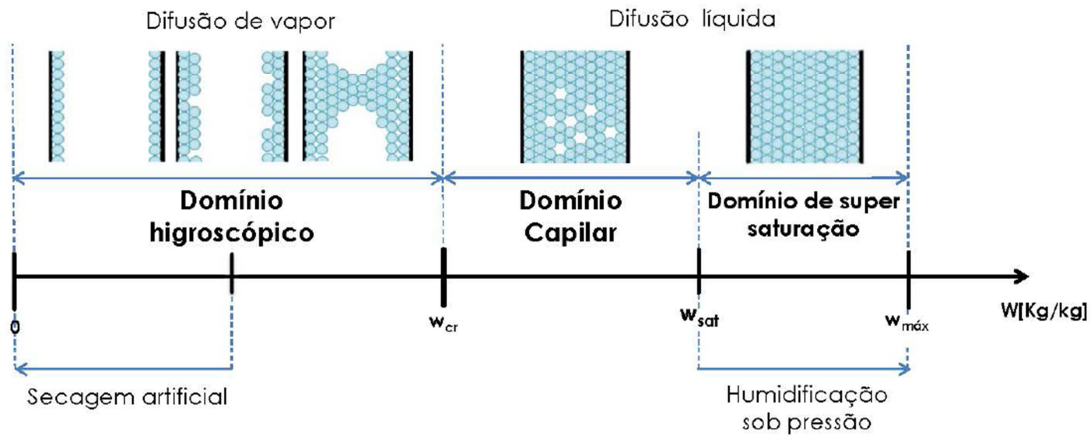


Figura 4.4: Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro, de acordo com a variação do teor de umidade de um material (fonte: [30]).

Assim, no domínio higroscópico, o processo de adsorção da humidade desempenha um papel preponderante. Porém, com a diminuição da humidade relativa na superfície dos materiais, o teor de humidade no seu interior também irá diminuir em função das características destes. Esse processo inverso é designado por desadsorção.

Aquando da representação gráfica destes dois processos, verifica-se a não coincidência das curvas higroscópicas (Figura 4.5), dado que os processos não ocorrem da mesma forma. Verifica-se maior fixação de água, em adsorção, que eliminação de água em desadsorção. A esse efeito dá-se o nome de histerese [31].

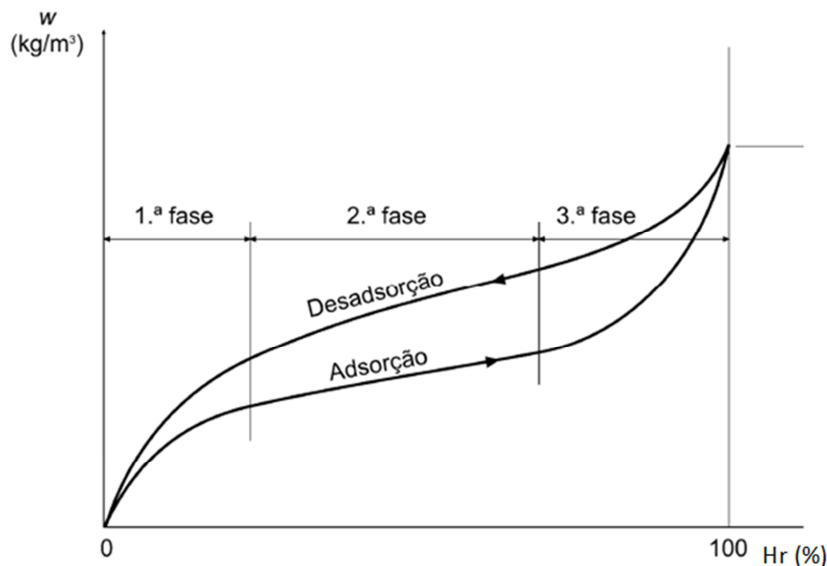


Figura 4.5: Representação gráfica das curvas higroscópicas de adsorção e desadsorção referente ao caso dos materiais de construção (adaptado de [31]).

4.1.3.2. Mecanismos de transporte da humidade nos materiais

Em função do teor de humidade e das características do próprio no material, a água pode ser transportada no interior dos poros sob a acção dos seguintes mecanismos [31]:

- Devido aos fluxos de ar no interior dos poros – esta acção implica uma transferência de vapor de água associada a um fluxo de ar. Existem três processos de transferência decorrentes desta acção, que variam em função do aumento da humidade relativa (Hr):
 - Difusão do vapor (ocorre para níveis de Hr baixos);
 - Série de vapor e água líquida (para uma Hr crescente);
 - Difusão de superfície (ocorre para níveis de Hr elevados, próximos da saturação).
- Sucção capilar pura – caracterizada pelo transporte de um fluxo de água líquida num meio saturado.

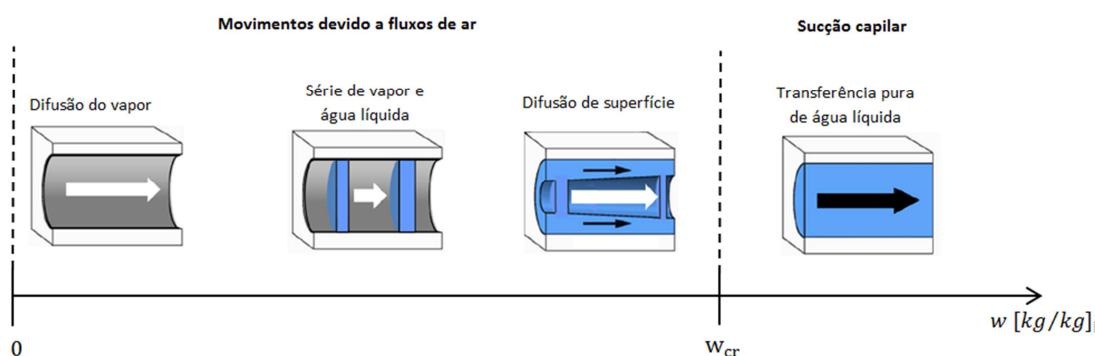


Figura 4.6: Esquemas dos processos possíveis de transferência de humidade em função da variação do teor de humidade (adaptado de [26]).

4.2. PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM O COMPORTAMENTO TERMO-HIGROMÉTRICO

São vários os factores que influenciam o comportamento termo higrométrico nos edifícios, de uma forma geral, podem ser agrupados em:

- Factores climáticos;
- Factores construtivos;
- Factores decorrentes do uso e ocupação do edifício.

As condições climáticas são caracterizadas pela temperatura e humidade relativa do ar exterior, velocidade e direcção do vento e radiação solar directa e difusa. São estes os factores que têm maior influência sobre o comportamento termo-higrométrico pois condicionam fortemente as trocas térmicas entre os edifícios e o ambiente que os rodeia, sobretudo através da temperatura do ar e da humidade [33].

Quanto aos factores construtivos, estes estão relacionados com o projecto, a construção e a manutenção do edifício, isto é, são caracterizados pelas condições de implantação (altitude e orientação solar), pelas condições de ventilação, pelos materiais escolhidos e pela preservação das condições inicialmente idealizadas. No que respeita às características da construção, a inércia térmica é que apresenta maior influência na variação térmica do ambiente interior, uma vez que caracteriza a resistência oferecida pelos sistemas de isolamento térmico à tentativa de alteração do seu estado termodinâmico. A inércia higroscópica, por sua vez, é a que apresenta maior influência nas flutuações de humidade do ar interior, dado que traduz a capacidade que os materiais de revestimento possuem em armazenar a humidade em excesso do ar e restituí-la ao ambiente quando se verifica um défice da mesma.

Por último, as características funcionais dos edifícios são caracterizadas pelos equipamentos utilizados, pelas actividades desenvolvidas e pela ocupação. Estes factores assumem uma grande influência nos consumos energéticos, dadas as diferentes exigências que as várias actividades impõem, no que respeita às condições ambientes interiores e à duração dos períodos em que tais condições devem ser asseguradas [34].

No presente capítulo serão abordados apenas os principais factores que condicionam o comportamento termo higrométrico, nomeadamente: o clima exterior, a ventilação dos edifícios; a temperatura ambiente e a humidade do ar.

4.2.1. AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES

O clima exterior tem influência directa sobre o ambiente interior dos edifícios. É em função das características climáticas do local de implantação que se define o desempenho do edifício ao nível do conforto térmico, visual, acústico, qualidade do ar interior e a conservação de energia.

De acordo com Oliveira (2007), os principais parâmetros que caracterizam o clima exterior são [06]:

- a radiação solar;
- a temperatura do ar;
- a velocidade e a direcção do vento;
- os níveis e incidência de precipitação;
- a existência de vegetação;

- e a existência de massas de água.

No entanto, estes parâmetros variam localmente em função de outros factores como a altitude (quanto maior a altitude, maior será a exposição ao vento e a temperatura tende a diminuir), a proximidade de grandes massas de água, e a própria malha urbana.

O conhecimento das características do clima tem grande importância no estudo do comportamento termo-higrométrico dos edifícios, dado que a temperatura do ar exterior e a radiação solar condicionam a temperatura interior assim como a humidade relativa exterior condiciona os valores de humidade relativa interior decorrentes da ventilação.

Na fase inicial da concepção da envolvente dos edifícios deve-se efectuar uma caracterização climática através da análise do clima local usando os dados climáticos das diferentes estações e da respectiva disponibilidade de radiação solar directa (geometria solar).

No caso do nosso país, de uma forma geral, apresenta um clima temperado (clima mediterrânico). No entanto, a influência de factores como o oceano Atlântico/Continentalidade e o próprio relevo, torna Portugal Continental num país de contrastes climáticos, nomeadamente entre o litoral que apresenta um clima mais ameno e as regiões do interior caracterizadas por possuírem uma humidade relativa mais baixa, amplitudes térmicas mais elevadas no Verão e Invernos mais frios. Assim, o clima mediterrâneo vai perdendo, em Portugal Continental, as suas características de Sul para Norte e do Litoral para o Interior [26].

Face a toda esta complexidade de caracterização do clima português, o RCCTE:2006 [23] apresenta uma caracterização do clima em Portugal e respectivas regiões autónomas, estabelecendo uma divisão do país, ao nível de cada conselho, em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), conforme representado na Figura 4.7, podendo ser ajustados em função da proximidade com o litoral e a altitude [06].

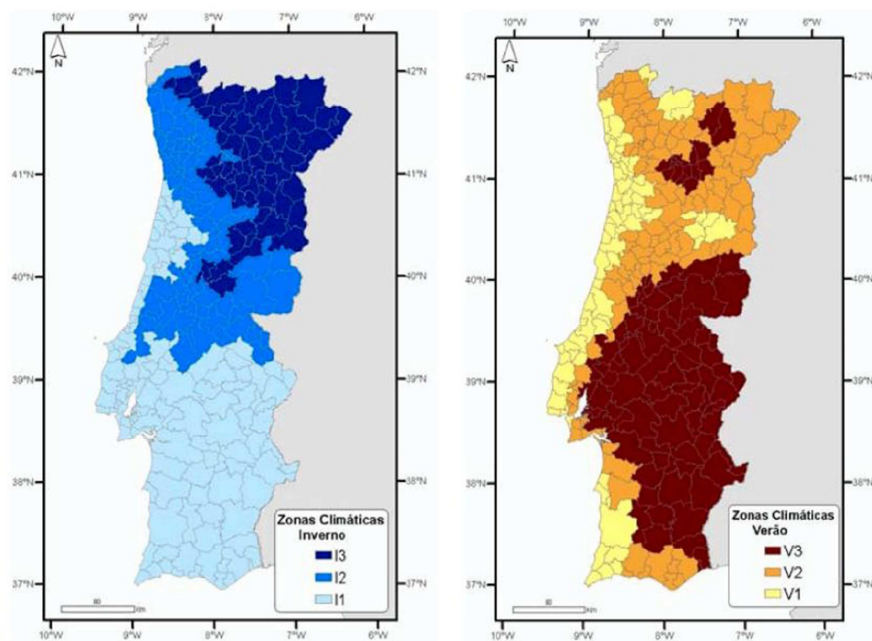


Figura 4.7: Representação das zonas climáticas de Inverno e Verão, em Portugal Continental, de acordo com o RCCTE:2006 (fonte [26]).

Porém, o referido regulamento não inclui informação referente á intensidade do vento e sua direcção predominante em cada localização.

No que concerne à humidade, é o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, RSECE:1998, que estabelece um conjunto de valores de referência para o projecto de climatização, em função das zonas climáticas anteriormente referidas:

Zona Climática – Inverno	I1	I2	I3	Açores	Madeira
Humidade de projecto (g/kg)	4	3	2	6	7
Zona Climática – Verão	V1	V2	V3	Açores	Madeira
Humidade de projecto (g/kg)	10	11	10	14	14

Tabela 4.1: Valores de projecto da humidade absoluta exterior do RSECE:1998 (adaptado de [26]).

Este tipo de dados são uteis para determinados tipos de estimativas porém, não são suficientes para efectuar uma análise termo-higrométrica detalhada, sendo necessário recorrer à informação de estações meteorológicas locais de forma a facultar uma informação mais detalhada do clima local.

4.2.2. A VENTILAÇÃO

A renovação e circulação do ar no interior dos edifícios, que se encontra saturado e poluído, é determinante para garantir um ambiente adequado à permanência dos ocupantes. Este processo

permite a mistura de massas de ar, equilibrando a sua constituição e promovendo a remoção de substâncias poluentes ou incómodas e o controlo da temperatura do ar.

Entre os principais poluentes do ar interior destacam-se as substâncias que resultam não só das actividades dos ocupantes (a produção de vapor de água, dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas e odores) como também da natureza do próprio edifício e lugar (compostos orgânicos voláteis; formaldeído; radão; entre outros) [02]. Estas substâncias para além de afectarem a comodidade, podem prejudicar a salubridade e, no limite, constituírem um potencial risco para a saúde dos ocupantes.

Do ponto de vista termo higrométrico, a ventilação torna-se essencial para reduzir a humidade relativa do ar e controlar a temperatura do mesmo. Em compartimentos onde se verifique uma produção de grandes quantidades de vapor de água, a redução da humidade relativa do ar é fundamental para evitar a ocorrência de condensações que poderão originar patologias e deficiências de construção graves.

Nos casos em que não sejam verificadas condensações, os mecanismos de ventilação são responsáveis por transportar para o exterior cerca de 95% do vapor de água produzido no interior sendo os restantes 5% transferidos através de mecanismos de difusão pela envolvente [33].

Por outro lado, a ventilação é responsável pelas trocas térmicas entre o exterior e o interior. Durante o inverno, contribui para o arrefecimento do edifício e, conseqüentemente, para o aumento das necessidades de consumos energéticos destinados à correcção da perda de calor. Uma forma de minimizar essas perdas de energia térmica através da ventilação, é o recurso a equipamentos mecânicos que utilizam essa energia térmica transportada pelo ar aquecido para aquecer o ar insuflado. Actualmente, os equipamentos mecânicos mais usados para esse fim são os recuperadores de calor e as unidades de tratamento de ar novo dotadas de roda térmica.

Em suma, a ventilação apropriada dos espaços interiores tem como objectivos [35]:

- Manter a qualidade do ar interior;
- Promover a refrigeração fisiológica dos usuários (conforto térmico);
- Remover a carga térmica adquirida pela edificação, em função dos ganhos externos e internos, evitando assim a ocorrência de condensações.

De acordo com o ponto 1, do artigo 4º do RSECE:2006 [22], a velocidade do ar não deverá ser superior a 2,0 m/s, por forma a assegurar o conforto térmico dos ocupantes, devendo ser assegurados os seguintes caudais de ar novo, em função da actividade afecta a cada compartimento:

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazenamento		5
	Vestiários		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de cocktail	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/suites	30	
	Corredores/átrios		5
Entretenimento	Corredores/átrios		5
	Auditório	30	
	Zona do palco, estúdios	30	
	Café/foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

Tabela 4.2: Caudais mínimos de ar novo, de acordo com art.º4 do RSECE:2006 (fonte [22]).

4.2.2.1. Formas de processamento da ventilação

De acordo com o RSECE:2006, a ventilação de um edifício pode processar-se por meios naturais com recurso a meios mecânicos, e são definidas como [22]:

- Ventilação Natural – é uma renovação do ar interior por ar novo atmosférico exterior recorrendo apenas a aberturas na envolvente com área adequada, autocontroladas ou por

regulação manual, e os mecanismos naturais do vento e das diferenças de temperatura causadoras de movimento de ar [22].

- Ventilação Mecânica (ou Forçada) – renovação do ar interior por extracção de ar do espaço e insuflação de ar exterior ou de ar tratado numa mistura de ar novo vindo do exterior e de ar de retorno utilizando um sistema de condutas e ventiladores como propulsores do ar [22]. Este sistema permite um maior controlo da taxa de renovação horária por parte do utilizador.
- Ventilação híbrida (ou Mista) – Resulta da combinação dos dois sistemas anteriores, ou seja, ao sistema de ventilação natural é acoplado um equipamento mecânico com o objectivo de produzir baixas pressões. O funcionamento deste equipamento não é permanente, isto é, entra em funcionamento apenas quando a ventilação natural não reúna condições que permitam caudais suficientes de renovação [26]. Assim, a ventilação mecânica funciona de forma alternativa ou complementar à ventilação natural.

Seguidamente, apresenta-se as principais vantagens e desvantagens de cada sistema [05]:

Sistema de Ventilação	Vantagens	Desvantagens
Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo de execução; • Sem consumo energético; • De melhor aceitação; • Sem produção de ruído. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não garante a qualidade do ar interior; • Requer maior exigência na fase de projecto; • Não permite uma renovação controlada; • Existência de perdas de calor significativas no Inverno e ganhos térmicos no Verão.
Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade da qualidade do ar (temperatura e humidade relativa); • Permite o controlo por parte do utilizador; • Permite uma ventilação contínua; • Há filtragem do ar insuflado; • Perdas térmicas reduzidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo energético; • Custo de fabrico e instalação elevado; • Requer manutenção periódica e especializada; • Produção de ruído.
Híbrida	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manutenção; • Custo reduzido; • De melhor aceitação; • Maior conforto acústico; • Permite o controlo por parte do utilizador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não permite a compensação térmica do ar insuflado. • Não garante a qualidade do ar interior; • Requer maior exigência na fase de projecto;

Tabela 4.3: Principais vantagens e desvantagens de cada sistema de ventilação (adaptado de [05]).

Face à grande importância da ventilação no conforto e desempenho energético dos edifícios, na presente secção será efectuada uma abordagem sucinta dos princípios da ventilação natural devido às suas vantagens técnico-económicas e também por apresentar maior exigência em projecto.

4.2.2.2. A Ventilação Natural

Segundo o RSECE:2006 [22], a ventilação natural é definida como uma “(...) *renovação do ar interior por ar novo atmosférico exterior recorrendo apenas a aberturas na envolvente com área adequada, autocontroladas ou por regulação manual e aos mecanismos naturais do vento e das diferenças de temperatura causadoras de movimento de ar.*”

Isto é, trata-se de um fluxo de ar que se produz devido a diferenças de pressão estáticas e dinâmicas, entre duas zonas. A pressão estática ocorre devido às diferentes densidades do ar interior e exterior que se encontra a diferentes temperaturas, isto é, devido à acção do gradiente de temperatura. Por sua vez, a pressão dinâmica ocorre devido à acção do vento sobre a envolvente do edifício. Estes fenómenos ocorrem do mesmo modo em diferentes escalas, desde grande massas de ar que se movem na atmosfera entre as diferentes partes do globo até à interacção no próprio edifício. No presente trabalho, é efectuada uma abordagem sucinta da ventilação a uma pequena escala, ou seja, à forma como se processa a ventilação natural nos edifícios.

Na estação de aquecimento, dado que o ambiente interior se encontra a uma temperatura superior que a do ambiente exterior, é desejável que a ventilação seja efectuada por acção do gradiente térmico.

Na estação de arrefecimento, por sua vez, a ventilação natural processa-se com base no diferencial de pressão provocada pela acção do vento sobre os vãos exteriores. Neste caso, a disposição dos compartimentos e a orientação das aberturas para o exterior devem estar orientadas em função dos ventos predominantes, de forma a favorecer a admissão de ar. No entanto, deverão ser evitadas velocidades localizadas superiores a 0,5 m/s [36].

De acordo com a norma NP 1037-1 [36], o caudal de ventilação é determinado em função da volumetria do compartimento. O fluxo de ventilação não deverá ser superior a 1,2 renovações por hora e inferior à taxa de renovação horária mínima [36]:

- Uma renovação por hora nos compartimentos principais (compartimentos sujeitos à permanência dos utentes).
- Quatro renovações por hora em compartimentos de serviço (compartimentos onde se registam maior produção de vapor de água e gases tóxicos), cumprindo sempre os valores mínimos de 45 ou 30 m³/h em sanitários e 60 m³/h em cozinhas, acrescidos de

4.3xQn m^3/h para aparelhos de queima instalados e 5xQn para caldeiras, de potência Qn (kW), considerando os coeficientes de simultaneidade do gás.

Face à forma como se processa este tipo de ventilação, não é possível assegurar uma taxa de renovação de ar constante e o controlo dos utilizadores baseia-se apenas na abertura ou fecho das grelhas de ventilação.

4.2.2.2.1. A acção do vento

A acção do vento sobre um determinado edifício é influenciada pelo local e região onde este se insere pois, a sua intensidade e a forma como se propaga, é função da rugosidade do terreno, da proximidade de com grandes massas de água, da altitude do local e da presença de vegetação [37].

A forma como o fluxo de ar se movimenta no interior do edifício depende do tamanho e a localização das aberturas de admissão de ar na envolvente, do tipo e a configuração das aberturas usadas e da localização de outros componentes arquitectónicos nas proximidades das aberturas como paredes divisórias e elementos de sombreamento exteriores (verticais e horizontais).

Na Figura 4.8, encontram-se representado um esquema exemplificativo da propagação do fluxo de ar no interior de um compartimento em função do tamanho das aberturas (A), da existência de paredes divisórias junto das aberturas (B), da localização em (C), tipo de aberturas (D), da existência de elementos verticais e horizontais exteriores (E e F, respectivamente) e da cota a que estas se encontram (G) (adaptado de [35]).

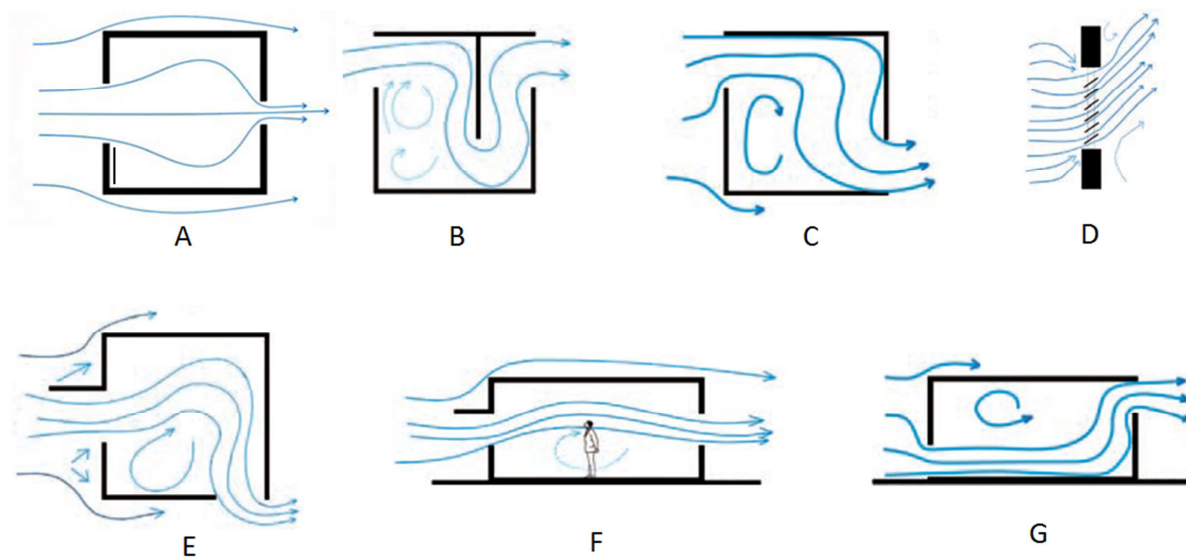


Figura 4.8: Esquema exemplificativo da propagação do fluxo de ar no interior de um compartimento (adaptado de [35]).

A acção do vento nas fachadas dos edifícios gera subpressões e sobrepressões em paramentos opostos, cujo valor depende da velocidade do vento, bem como da forma, dimensões, localização e características da envolvente do edifício, resultando efeito idêntico nas aberturas.

Existem diversos métodos para determinar o escoamento da ventilação natural por acção do vento desde métodos empíricos até exactos computacionais CFD (Computer Fluid Dynamics). Porém, para a presente dissertação, interessa apenas efectuar uma abordagem sucinta sobre a determinação do escoamento da ventilação natural no interior dos compartimentos pelo que seguidamente se apresenta o método simplificado teórico BRE (Building Research Establishment). O coeficiente (k) contabiliza as perdas no escoamento após o mesmo passar através das aberturas da envolvente e apresenta valores similares para aberturas superiores a 10mm [35]. Este método assume que, para vãos exteriores de grande área (portas e janelas), a área considerada no cálculo é igual à área livre das mesmas.

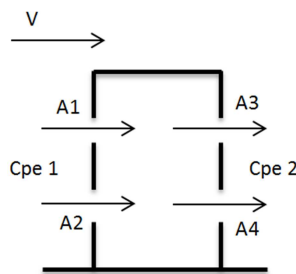


Figura 4.9: Esquema simplificado de ventilação produzida pela acção do vento, de base ao método BRE (adaptado de [35]).

$$Q_w = k \cdot S \cdot V \cdot (\Delta C_{pe}) \quad (4.2)$$

A área equivalente é dada por:

$$\frac{1}{S^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2} \quad (4.3)$$

Em que:

Q_w – caudal de ventilação (m^3/s);

S – área equivalente das aberturas de entrada e de saída de ar (m^2);

ΔC_{pe} – diferença entre os coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída do vento, de acordo com o EC1-4 [38];

V – velocidade do vento na altura da janela (m/s), de acordo com o EC1-4 [38];

k – coeficiente de descarga (varia de 0,5 a 0,9 em janelas abertas, sendo 0,65 o valor mais usual).

$A_{1,2,...}$ – área da abertura n.º “i” (m^2).

4.2.2.2.2. Acção do gradiente térmico

Na ausência de vento, é a acção do gradiente térmico que permite a renovação do ar em edifícios não dotados de sistemas mecânicos de ventilação. Este efeito tem origem na diferença de pressões estáticas (gradientes de pressão) que origina a circulação do ar nos compartimentos, permitindo assim as trocas de ar entre o interior e o exterior. Este fluxo de ar é gerado pela diferença de pesos específicos do ar a diferentes temperaturas, isto é, peso da coluna de ar interior é inferior ao peso da coluna de ar exterior, gerando uma sobrepressão interna na base da conduta (em contacto com o interior) e subpressão no topo (em contacto com o exterior).

A superfície na qual as pressões internas se igualam às pressões externas designa-se por zona neutra. Nesta zona, a existência de uma abertura não produz qualquer efeito na movimentação do ar [39].

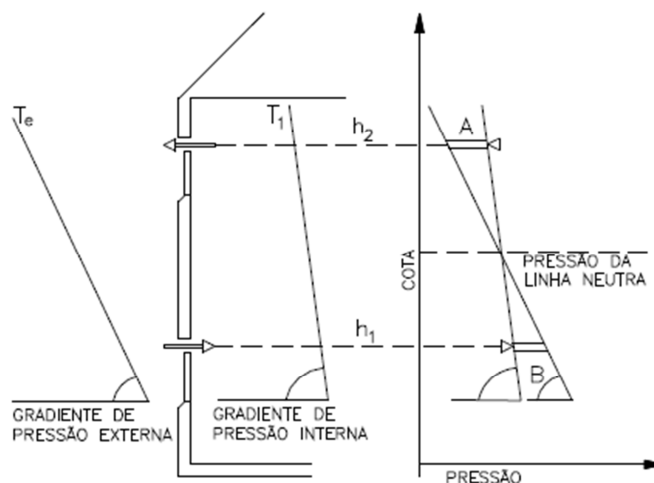


Figura 4.10: Esquema representativo da acção do gradiente térmico, num compartimento dotado de duas aberturas verticais (fonte [39]).

A determinação do fluxo de ar, por efeito de gradiente térmico poderá ser efectuada através da seguinte equação [39]:

$$Q_w = k_0 \cdot S \cdot \sqrt{h \cdot \Delta t} \quad (4.4)$$

Onde:

Q_w – caudal de ventilação (m^3/s);

S – área equivalente das aberturas de entrada e de saída de ar (m^2);

h – distância do centro de gravidade da abertura ao eixo neutro do sistema (m);

Δt – diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior ($^{\circ}C$);

k_0 – coeficiente de correcção que considera o efeito da aceleração da gravidade, densidade d ar e a perda de carga, cujos valores variam em função de $\frac{A_e}{A_s}$ ou $\frac{A_s}{A_e}$, conforme o gráfico representado na Figura 4.11.

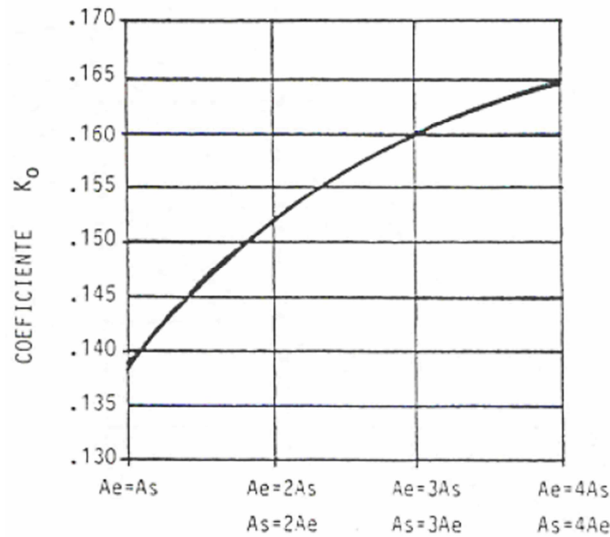


Figura 4.11: Curva de variação do coeficiente k_0 , em função das dimensões das aberturas de escoamento do ar (fonte [39]).

A_e – área das aberturas de entrada de ar (m^2)

A_s – área das aberturas de saída de ar (m^2)

4.2.3. A TEMPERTURA

A temperatura interior de um edifício depende dos seguintes factores [05]:

- Condições de ocupação e produção de vapor no interior;
- Produção de calor pelos sistemas de aquecimento;
- Renovação do ar nos espaços, através das condições de ventilação;
- Nível de desempenho térmico da envolvente;
- Temperatura do ambiente exterior;
- Radiação solar e a inércia térmica da envolvente.

No entanto são as grandes variações de temperatura proporcionadas pelo clima exterior ao longo do ano que apresentam maior impacto na estabilidade térmica do ambiente interior, nomeadamente através da radiação solar.

De acordo com Oliveira (2007), a transferência de calor por radiação solar ao nível do edifício dá-se por [06]:

- Radiação solar directa;
- Radiação solar difusa;
- Radiação solar reflectida pelo solo e pelos edifícios adjacentes;
- Radiação térmica emitida pelo solo aquecido;
- Radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).

4.2.3.1. Formas de transmissão de calor

A transmissão de calor assenta nas leis e princípios básicos da termodinâmica, isto é, a transmissão verifica-se sempre que entre dois elementos se estabeleça uma diferença de temperatura, no sentido do elemento a temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa e com conservação de energia.

A transmissão de energia térmica ocorre essencialmente de 3 formas: por condução, convecção e radiação.

4.2.3.1.1. Transmissão de calor por condução

O calor propaga-se através do contacto físico entre os materiais, isto é, em função do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais. É essa capacidade de condução térmica que o material apresenta que determina se este é um bom condutor ou se é um bom isolante.

Esta forma de transmissão de calor rege-se pela lei de Fourier e o fluxo de calor que atravessa um material, podendo ser determinado através da seguinte expressão:

$$Q = \frac{\lambda \cdot S \cdot (t_e - t_i)}{e} \quad (4.5)$$

Sendo:

Q – fluxo de calor que atravessa o material (W);

S – superfície da placa (m^2);

$t_e; t_i$ – temperaturas na face exterior e interior do material, respectivamente ($^{\circ}C$);

e – espessura do material (m);

λ – coeficiente de condutibilidade térmica da material ($W/m \cdot ^{\circ}C$).

A condutibilidade térmica de um dado material corresponde à quantidade de calor que atravessa perpendicularmente uma superfície de área unitária, por unidade de tempo, quando existe uma diferença de temperaturas de uma unidade entre essa superfície e outra igual, a uma distância unitária [40].

4.2.3.1.2. Transmissão de calor por convecção

O fluxo de calor, Q , transfere-se de um meio sólido para um fluido que escoar sobre esse sólido. Segundo Newton (1701), o calor transmitido por convecção entre uma superfície e um fluido é proporcional à área considerada e à diferença de temperaturas:

$$Q = h_c \cdot S \cdot (t_s - t_f) \quad (4.6)$$

Em que:

Q – fluxo de calor que atravessa o material (W);

S – superfície do material (m^2);

$t_s; t_f$ – temperaturas da superfície elemento e temperatura do fluido, respectivamente ($^{\circ}C$);

h_c – coeficiente de condutância térmica superficial por convecção ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$).

Esta designa-se por convecção natural ou forçada quando o escoamento/movimento tiver uma origem natural devido a gradientes de temperatura ou quando tem origem em ventos ou equipamentos mecânicos, respectivamente. Por sua vez, a convecção forçada poderá ocorrer sob regime laminar ou turbulento.

4.2.3.1.3. Transmissão de calor por radiação

Este modo de transmissão de calor não precisa de nenhum meio de propagação. Todos os corpos emitem radiação electromagnética cuja intensidade depende da sua temperatura. Ocorre em todos os materiais, em qualquer fase, e a lei que rege a quantidade de energia radiada por um corpo radiante puro (ponto negro) foi estabelecida por Stefan (1879) e comprovada por Boltzman (1884):

$$Q = \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (4.7)$$

Em que:

Q – fluxo de calor que atravessa o material (W);

S – superfície do material (m^2);

T^4 – Temperatura absoluta do material (K ou $^{\circ}C$);

σ – constante de Stefa-Boltzman de valor: $5,6697 \times 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$).

4.2.4. A HUMIDADE

O ar húmido consiste numa mistura de ar seco e vapor de água. Estes dois tipos de gases exercem a sua própria pressão, pressão parcial. Assumindo que a mistura de ar seco e vapor de água se comportam como gases ideais, relação entre a pressão parcial de vapor no ar, p_v , e a concentração de vapor de água no mesmo, v , poderá ser obtida através da lei geral dos gases (Hagentoft, 2001) em função da temperatura do ar T ($^{\circ}C$) e da constante universal dos gases, R_v (que para o vapor de água toma o valor de $461,4 J/(kg.K)$):

$$\frac{p_v}{v} = R_v \cdot (T + 273.15) \quad (4.8)$$

Sendo a pressão total do ar húmido, p_{ar} , dada por:

$$p_{ar} = p_{ar\ seco} + p_v \quad (4.9)$$

Se a quantidade de água que o ar contém é superior á percentagem possível para aquela temperatura (ar saturado), todo o excedente será condensado. O valor da pressão do vapor em regime de saturação pode ser calculado a partir da expressão seguinte, a qual é válida para temperaturas, T , entre $0^{\circ}C$ e $80^{\circ}C$:

$$p_{v,sat} = e^{\left(23.5771 - \frac{4042.9}{T+273.15-37.58}\right)}, \quad 0^{\circ}C \leq T \leq 80^{\circ}C \quad (4.10)$$

Designa-se por humidade absoluta, x_{ar} , a que corresponde à densidade de vapor de água contida num metro cúbico de ar (g/m^3). Varia em função da pressão do ar (pressão de um dado ponto da atmosfera) e a pressão de vapor de água, de acordo com a seguinte expressão:

$$x_{ar} = \frac{0,621 \cdot p_v}{p_{ar} - 0,379 \cdot p_v} \approx 6,21 \times 10^{-6} \cdot p_v \quad (4.11)$$

A relação entre a pressão vapor e a pressão de saturação de um mesmo ar designa-se por humidade relativa (Hr) e o seu valor, expresso em percentagem, é obtido pela expressão:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{v,sat}} \times 100 \quad (4.12)$$

Assim, verifica-se que a humidade relativa varia inversamente com o aumento da temperatura, isto é, para uma mesma massa de ar, um aumento da temperatura implica forçosamente uma diminuição da humidade relativa. Na Figura 4.12, apresenta-se o diagrama psicrométrico que representa graficamente as relações existentes entre as humidades absoluta, humidade relativa e a temperatura:

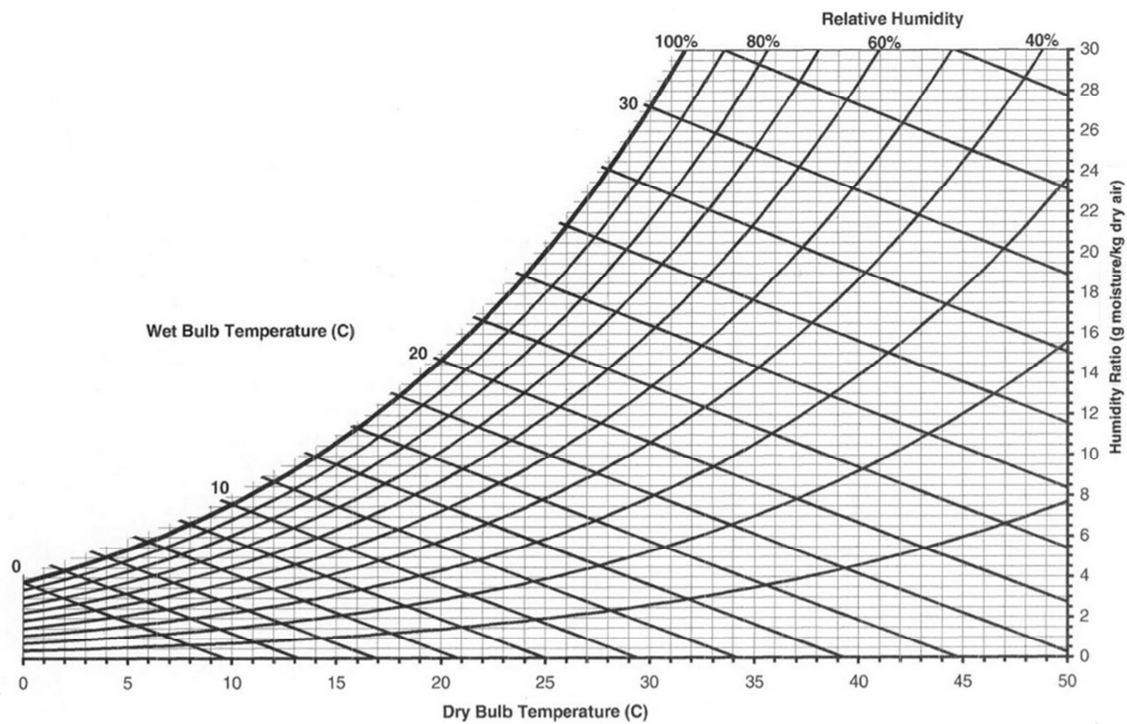


Figura 4.12: Diagrama psicrométrico (fonte: [41]).

A temperatura para a qual uma dada massa de ar atinge a saturação sem que para isso se verifique variação de pressão vapor, designa-se por ponto de orvalho, isto é, quando a humidade absoluta do ar é idêntica à respectiva humidade de saturação [29].

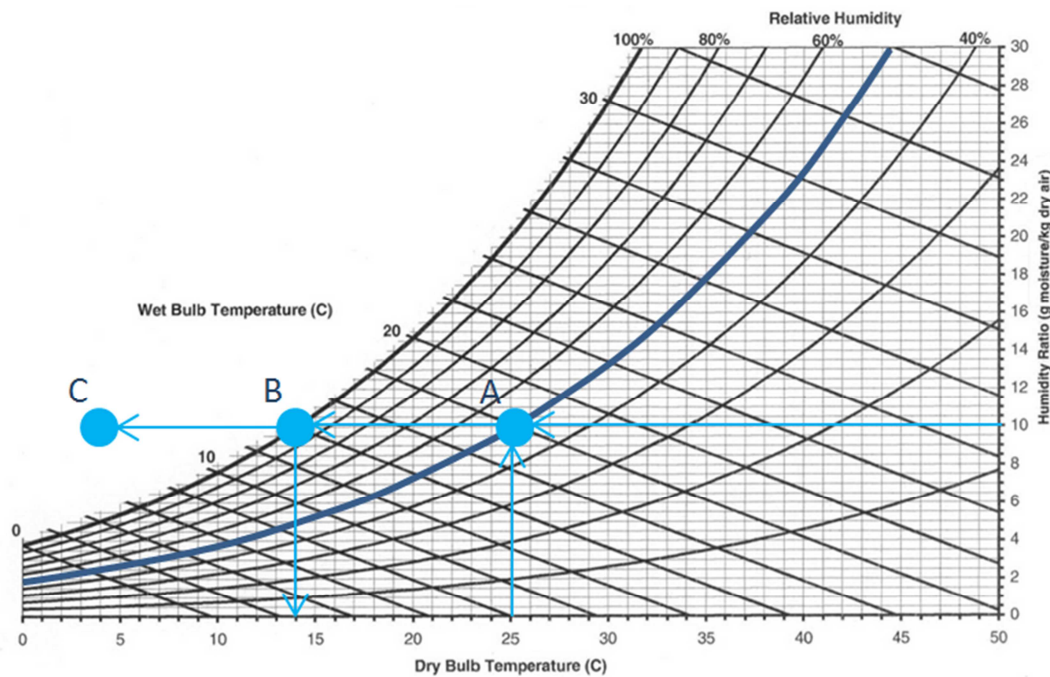


Figura 4.13: Exemplificação da leitura do diagrama psicrométrico (adaptado de [41]).

Por observação da figura 4.13, verifica-se para uma determinada condição ambiental (A), a redução de temperatura de um determinado volume de ar não saturado provoca um aumento da humidade até um limite máximo de 100% (B), também designado por ponto de orvalho. Se a temperatura baixar além desse limite dar-se-á a condensação do vapor de água (C) [29].

4.2.4.1. A OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES

Como referido anteriormente, o ar presente no interior dos edifícios não é isento de humidade. Este facto associado a factores que potenciam o aumento do teor de humidade do ar no interior dos edifícios, tais como a actividade humana, a variação da temperatura ambiente, a falta de ventilação, insuficiente isolamento térmico e, sobretudo, as condições meteorológicas exteriores, poderá originar a ocorrência de condensações nas edificações.

Estas condensações ocorrem essencialmente de duas formas: na superfície dos elementos (condensação superficial) e no interior dos elementos construtivos que constituem a envolvente.

Dado que este fenómeno é resultado do mau desempenho dos diversos factores que condicionam o equilíbrio termo-higrométrico nos edifícios, no presente capítulo será efectuada uma abordagem sucinta de como ocorrem essas condensações (no interior e na superfície dos elementos construtivos), com vista a compreensão e interpretação de diversas anomalias associadas ao mau comportamento termo higrométrico de um dado edifício existente.

4.2.4.1.1. Condensações superficiais

As condensações superficiais ocorrem sempre que a temperatura superficial de um elemento de envolvente seja inferior à temperatura de concentração máxima de vapor para as condições ambientes observadas (de temperatura e humidade relativa do ar).

Conforme esquematizado na Figura 4.14, com aproximação do ar húmido relativamente a uma superfície fria, provoca o arrefecimento desse volume de ar e, conseqüentemente, verifica-se o aumento da humidade relativa. Quando em contacto directo com a superfície fria, a temperatura do ar húmido desce para valores abaixo da temperatura do ponto de orvalho verificando-se assim a condensação do vapor de água presente no ar.

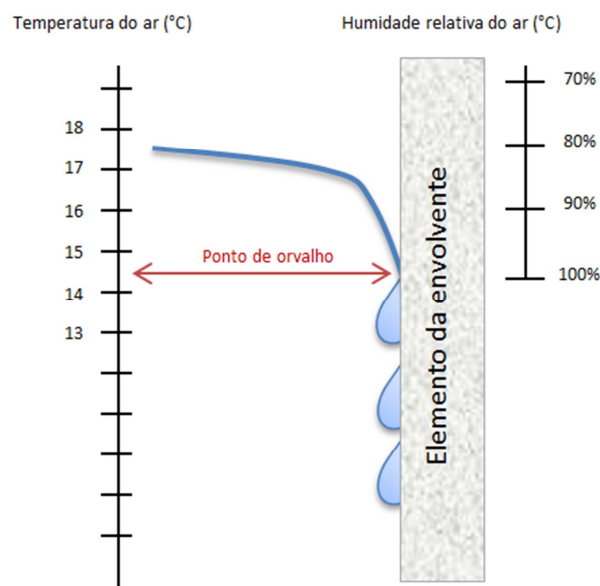


Figura 4.14: Esquema elucidativo da forma como ocorre a condensação na superfície dos elementos da envolvente (adaptado de [42]).

A distribuição de temperaturas superficiais, θ_{si} ($^{\circ}\text{C}$), pode ser facilmente calculada de acordo com as temperaturas do ambiente interior e exterior e com a transmissão térmica dos elementos da envolvente em estudo:

$$\theta_{si} = \theta_i - [U \cdot (\theta_i - \theta_{atm})] \cdot R_{si} \quad (4.13)$$

Em que:

θ_i – Temperatura média do ar interior, $^{\circ}\text{C}$;

θ_{atm} – Temperatura média do ar exterior, $^{\circ}\text{C}$;

U – Condutibilidade térmica do elemento da envolvente, constituído por n camadas de materiais, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} \quad (4.14)$$

λ_i – Coeficiente de condutibilidade térmica de um dado material “i”, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

h_i – Espessura do material “i”, m ;

R_{si} – Resistência térmica superficial interior, $m^2 \cdot ^\circ C/W$, cujos valores estão especificados no ITE50:2006 [40];

4.2.4.1.2. Condensações Internas

As condensações de vapor de água no interior dos elementos da envolvente resultam, sobretudo da difusão de vapor através da envolvente opaca. A ocorrência deste tipo de condensações acelera o processo de degradação dos materiais e afecta a resistência térmica dos mesmos, facto que pode dar origem à ocorrência de condensações superficiais [29].

Os diferentes materiais que constituem um determinado elemento construtivo, como é o caso das paredes exteriores, apresentam diferentes características de permeabilidade ao vapor de água.

A permeabilidade ao vapor de água de um determinado material, π , é definida pela quantidade de vapor de água que passa por unidade de tempo através da unidade de superfície do material de espessura unitária. A razão entre a permeabilidade e a espessura de uma camada homogénea de um dado material, π/e , designa-se por permeância, cujo inverso corresponde à resistência à difusão do vapor desse material [43].

Para determinar o risco de ocorrência de condensação no interior dos elementos construtivos heterogéneos, é necessário determinar os valores das temperaturas e pressões parciais em cada um dos pontos de separação entre camadas, a partir dos quais as variações lineares permitem calcular os valores no interior de cada camada. Para tal, pode recorrer-se ao Método de Glaser.

O Método de Glaser parte do princípio que, se um elemento de construção estiver sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, então a pressão de saturação será variável de ponto para ponto do interior do elemento. Deste modo, se a “curva” de pressões instaladas não intersectar a curva de pressões de saturação, não ocorrerão condensações internas. No caso de se verificarem intersecções das curvas, existirão condensações nas zonas em causa.

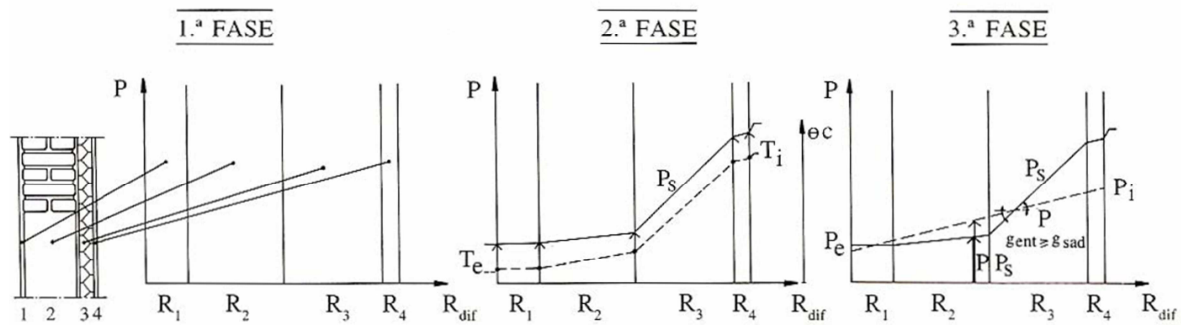


Figura 4.15: Verificação gráfica da existência de condensação interna, no interior de um elemento construtivo (fonte [43]).

Por simplificação, este método assume as seguintes hipóteses:

- a humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água, sem redistribuição do vapor condensado;
- não há transporte de ar através dos elementos de construção, pelo que a transferência de vapor se deve apenas à difusão e o transporte de calor ocorre apenas por condução, ambos em regime permanente;
- a difusão de vapor de água obedece à Lei de Fick e o fluxo de calor obedece à Lei de Fourier;
- os elementos construtivos são constituídos por uma sequência de materiais cujas faces são paralelas entre si;
- os materiais não são higroscópicos e os coeficientes de permeabilidade ao vapor de água e de condutibilidade térmica são constantes.

Considerando um elemento de construção constituído por materiais homogêneos, em camadas de faces planas e paralelas entre si, a difusão do fluxo de vapor é dada pela Lei de Fick em função da permeância dos diversos materiais e a variação de pressão que o elemento está sujeito:

$$g = \sum_{i=1}^n \frac{\pi_i}{e_i} \cdot (p_i - p_{atm}) \quad (4.15)$$

Em que:

g – fluxo de difusão de vapor de água por unidade de superfície ($kg/m^2.s$, ou $g/m^2.h$)

π_i – coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da camada i ($kg/m.s.Pa$, ou $g/m.h.mm$ de Hg)

e_i – espessura da camada i (m)

p_i, p_{atm} – pressão parcial de vapor de água no interior e no exterior, respectivamente (Pa , ou $mm\ de\ Hg$)

Por sua vez, o fluxo de calor obedece à Lei de Fourier e é função da resistência térmica dos diversos materiais e a variação de temperaturas que o elemento está sujeito:

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{e_i} \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) \quad (4.16)$$

Em que:

Q – é fluxo de calor por unidade de superfície (W/m^2);

λ_i – corresponde ao coeficiente de condutibilidade térmica da camada i ($W/m \cdot ^\circ C$)

e_i – é a espessura da camada i (m)

θ_i, θ_{atm} – temperatura no interior e no exterior, respectivamente ($^\circ C$)

A partir da Lei de Fourier é possível traçar a variação das temperaturas instaladas nos diferentes pontos do elemento construtivo e, a partir destas, obter a variação das pressões de saturação, através do diagrama psicrométrico.

Por outro lado, a Lei de Fick permite traçar a variação das pressões instaladas no elemento.

A eventual zona de ocorrência de condensações internas será determinada considerando que a pressão instalada, em qualquer ponto tem que ser menor ou igual à pressão de saturação na temperatura respectiva.

4.2.4.2. O EQUILÍBRIO TERMO-HIGROMÉTRICO

A humidade no interior, humidade absoluta, resulta do equilíbrio entre a produção de vapor e a forma como se processa a ventilação do local, caracterizada na expressão [31]:

$$W_i = W_e + \frac{W}{n \cdot V} \times 0.825 \quad (4.18)$$

Em que:

W_i – humidade absoluta do ar interior, g/kg ;

W_e – humidade absoluta do ar exterior, g/kg ;

W – produção de vapor no interior, g/h ;

n – número de renovação horária, h^{-1} ;

V – volume interior, m^3 ;

A produção de humidade, W , e o caudal de ventilação, $(n.V)$, são variáveis de acordo com a utilização. Ao quociente entre estas duas variáveis, $\frac{W}{n.V}$, designa-se por parâmetro higrométrico e permite classificar os edifícios quanto à sua produção de vapor de acordo com a tabela seguinte [31]:

Higrometria	$\frac{W}{n.V}$ (g/m ³)	Tipo de edifício
Fraca	< 2,5	Escolas e escritórios
Média	2,5 a 5,0	Habitacões bem ventiladas e sem excesso de ocupação
Forte	5,0 a 7,5	Habitacões mal ventiladas e indústria em geral
Muito forte	>7,5	Piscinas Certas Indústrias

Tabela 4.4: Tabela de classificação de edifícios, quanto à sua higrometria (adaptado de [31]).

Na maioria dos edifícios, uma quantidade considerável de humidade poderá ter origem na actividade dos ocupantes. Na Tabela 4.5 apresentam-se as principais fontes de humidade interior segundo o seu nível de importância:

Fonte	Produção de vapor de água (l/dia)
Banheira com água quente; jacuzzi com hidromassagem	2 – 20+
Evaporação por pessoa	0.75 - 5
Cozinhar para quatro pessoas	0.9 – 2
Lavagem manual de louça	0.5
Duche (por pessoa)	0.5
Plantas ou animais de estimação	0.2 – 0.5
Limpeza de pavimentos	0.2

Tabela 4.5: Exemplo de fontes de humidade no interior, e respectiva estimativa de produção de vapor de água, em litros por dia (fonte [28]).

Dada a imprevisibilidade do comportamento humano, será difícil estimar a produção de vapor de água ao longo do dia. O mesmo acontece com o controlo da temperatura e de ventilação do espaço, pois depende do estado de conforto cada ocupante, e da sua preocupação com os gastos e custos energéticos associados.

4.3. A IMPORTÂNCIA DO EQUILÍBRIO TERMO-HIGROMÉTRICO DOS EDIFÍCIOS NA SAÚDE E BEM-ESTAR DOS UTILIZADORES

Conforme se tem demonstrado ao longo da presente dissertação, a humidade relativa do ar, a temperatura e a própria ventilação dos espaços são factores que influenciam a qualidade do ar no interior dos edifícios e, consecutivamente, com influencia directa no conforto e saúde dos utilizadores.

De acordo com estudo elaborado por Simonson et al (2001), o desconforto térmico reduz produtividade humana, ou seja, para temperaturas elevadas, o aumento da humidade relativa conduz ao aumento da quebra de produtividade, conforme se pode verificar na Tabela 4.6 [44].

Humidade relativa (%) (temperatura de 25°C)	Decréscimo de produtividade (%)	Humidade relativa (%) (temperatura de 27°C)	Decréscimo de produtividade (%)
35	0.7	35	12.1
50	1.9	50	15.0
55	2.4	55	16.1
65	3.4	65	18.0
75	4.8	75	20.0

Tabela 4.6: Efeito da humidade relativa na produtividade (fonte [26]).

Quando a temperatura e a humidade excedem os níveis de conforto aceitáveis, podem afectar negativamente a qualidade do ar e prejudicar a saúde dos ocupantes.

A presença uma humidade relativa elevada conjugada com temperaturas elevadas e a ausência de ventilação, torna o ambiente propício á formação e proliferação de colónias de microorganismos, tais como fungos e bactérias [30].

O aparecimento e consequente proliferação de microorganismos poderá conduzir ao "Síndrome do Edifício Doente" (SED), termo que descreve situações de desconforto laboral e/ou de problemas agudos de saúde que podem ser despoletadas nos ocupantes de um edifício afectado. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, o SED pode ser definido como o conjunto dos seguintes sintomas: dor de cabeça, fadiga, letargia, prurido e ardor nos olhos, irritação de nariz e garganta, anormalidades na pele e falta de concentração [30].

Assim, de acordo com a norma ANSI/ASHRAE 55:2010 [11], que estabelece as exigências ao nível do conforto humano, para uma humidade relativa do ar demasiado baixas ou excessivamente elevadas verifica-se o desconforto dos ocupantes, pelo que a percentagem de humidade relativa ideal deverá variar entre os 30% e os 60%, em função da temperatura ambiente que não deverá ultrapassar os 25°C conjugada com a uma ventilação permanente e adequada do espaço interior.

4.4.A REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA

A reabilitação termo-higrométrica surge com o objectivo de melhorar a qualidade térmica e as condições de conforto dos seus utilizadores, através da redução do consumo energético (aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação) e correcção de patologias associadas à presença de humidade.

A principal causa verificada em diversas patologias nos edifícios antigos deve-se à presença da água. Esta provoca diferentes estragos em função da forma como se infiltra e se movimenta no interior dos elementos construtivos. Conforme abordado no início do presente capítulo, estas formas de manifestação de humidade no interior dos edifícios constituem um problema de elevada complexidade dado o conjunto de fenómenos que lhe estão associados.

Como tal, neste subcapítulo faz-se uma breve abordagem dos principais fenómenos patológicos associados à humidade e as respectivas intervenções de tratamento.

4.4.1. PRINCIPAIS PATOLOGIAS ASSOCIADAS AO COMPORTAMENTO TERMO HIGROMÉTRICO

As anomalias dos edifícios podem ocorrer de diversas formas: no que respeita aos locais, às funções afectadas, à origem e causas e aos períodos de ocorrência. Certo é que a grande maioria das anomalias detectadas em revestimentos e acabamentos, tem origem na presença de água e na consequente humedificação dos materiais.

Conforme se tem demonstrado ao longo da presente dissertação, de todas estas formas de manifestação, a humidade por condensação é a que resulta do mau desempenho termo-higrométrico do edifício, pois é função da associação de determinadas condições de temperatura, ventilação e a humidade relativa do ar.

Associada a esta anomalia, existe sempre uma fonte de humidade ou calor que é necessário identificar e que pode assumir os mais diversos aspectos, dos quais se destacam:

- Humidade ascensional;
- Humidade de condensações superficiais e internas;
- Humidade presente nos próprios materiais;
- Infiltrações através das platibandas e guardas de terraço;
- Infiltrações pela ligação caixilharia / fachada.

Assim, as principais patologias associadas ao comportamento termo-higrométrico têm como origem a ocorrência de condensações na superfície e no interior dos elementos. E, como a grande maioria dos materiais usados na construção, os componentes e sistemas construtivos são

vulneráveis à presença da água, este tipo de humidade é responsável por diversos danos dos quais se destacam [45]:

- Apodrecimento de elementos de madeira;
- Danos em elementos exteriores devido ao congelamento/descongelamento;
- Variações dimensionais dos elementos;
- Oxidação e corrosão de metais;
- Desenvolvimento de microorganismos;
- Descoloração de revestimentos;
- Eflorescências nos revestimentos das paredes;
- Perda da capacidade de isolamento.

4.4.2. FERRAMENTAS DE APOIO AO DIAGNÓSTICO

O diagnóstico das patologias associadas às acções termo-higrométricas pressupõe uma observação criteriosa dos defeitos e da sua evolução, das condições ambientais confinantes e das características químicas e físicas dos materiais. De entre estas destacam-se a capacidade de absorção, a capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água, a condutibilidade térmica, a presença de sais solúveis na sua composição e a sua dilatação/contracção reversível e irreversível sob a acção do calor e da humidade [45].

No entanto, a higrometria dos locais e a sua relação com as condições climáticas exteriores, bem como os níveis de ventilação, são dados relevantes no diagnóstico deste tipo de patologias e servem de base à análise global do comportamento termo-higrométrico do espaço.

Existem diversos testes, instrumentos e procedimentos de análise que servem de base e orientação ao diagnóstico das patologias, dos quais se destacam [45]:

- a) Teste de impermeabilidade ao vapor – Consiste na verificação da estanquidade ao vapor de um compartimento através da sua despressurização. É instalada, num dos vãos de acesso ao compartimento, uma porta dotada de um ventilador de elevada capacidade no qual permite efectuar a extracção do ar e medir a quantidade de vazamento de ar que ocorre no seu interior. Este método não só permite caracterizar quantitativamente a fuga de ar, mas pode também ser usado para identificar os locais onde estas ocorrem e fornecer uma indicação geral da intensidade de vazamento.

- b) Diagnósticos de pressão – Este método baseia-se na medição diversos diferenciais de pressão através de componentes de construção ou entre zonas de um edifício, seja em condições naturais ou através de algum tipo de pressurização mecânica.

- c) Teste de pulverização (Spray Test) – É geralmente usado para avaliar grau de infiltração e o respectivo movimento da chuva conduzida pelo vento. Consiste na pulverização de água sobre a superfície em análise, durante um determinado período de tempo (entre 5 a 15 minutos) e no final, através da análise das superfícies, verifica-se a eventual existência de infiltração de água.

- d) Teste de Polietileno – Este método é usado para determinar se a humidade se move por acção capilar. Consiste na aplicação na parede de folhas de polietileno (0.6mx0.6m), fixadas por fita adesiva, durante dois ou três dias. Após esse período de exposição, caso se verifique a presença de manchas na face da folha voltada para a superfície em análise, pode-se concluir que humidade não se está a mover em toda a superfície por acção capilar. Se ocorrer condensação no topo do polietileno, então a humidade provém de uma fonte interna ao edifício.

- e) Verificação de infiltração de água (Standing Water Test) – Esta verificação complementa o teste de polietileno na análise de superfícies horizontais. Consiste na aplicação de água sobre o lado oposto, por forma a averiguar se a humidade ocorre por acção capilar ou por infiltração (fluxo gravítico), pois a acção capilar não é capaz de transportar água para uma superfície em quantidades significativas que permitam o seu depósito e acumulação.

- f) Termografia - Baseia-se no princípio segundo o qual todos os corpos emitem radiação térmica, e uma vez que os diversos materiais reagem de forma diferente às solicitações térmicas provenientes do exterior, é possível, utilizando uma câmara termográfica sensível à radiação infravermelha, visualizar e registar os diferentes graus de emissividade na faixa do infravermelho (figura 4.16). Trata-se de uma técnica não destrutiva que permite efectuar um levantamento rigoroso de vários pormenores da constituição dos elementos sem prejudicar o revestimento superficial, bem como diagnosticar eventuais infiltrações de ar e problemas de condensação de superfície [46].

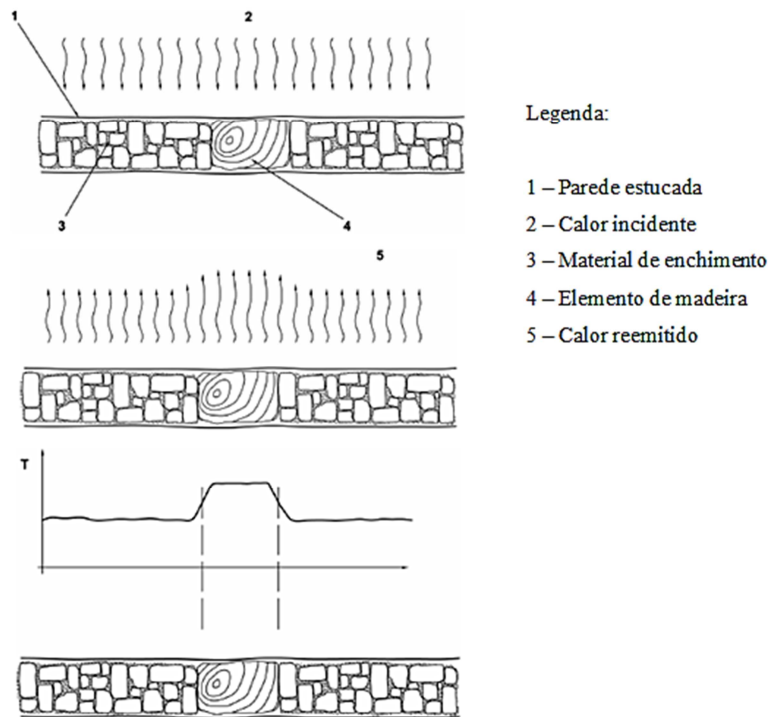


Figura 4.16: Comportamento térmico numa parede contendo elementos de madeira (fonte [46]).

- g) Cálculo do ponto de orvalho - Este procedimento é útil para o diagnóstico de problemas de condensação. A temperatura do ar e a humidade relativa são medidos, através de termómetros e higrómetros respectivamente, sob condições representativas por forma a para calcular o ponto de orvalho do ar, isto é, através destas medições, é possível estimar a o nível de humidade relativa máxima permitida, sem que haja ocorrência de condensação superficial. Se este nível de humidade calculado é excedido pelas condições observadas, então há ocorrência de condensações nessa superfície.

Em função das patologias associadas à humidade e respectivas características de manifestação, é possível estabelecer uma relação com os métodos mais apropriados para cada caso. Estes encontram-se resumidos na Tabela 4.7.

Mecanismo de transporte de humidade	Localização dos sintomas	Sintomas difundidos ou discretos?	Quando é que os sintomas são mais evidentes?	Características no material	Período de tempo sobre o qual o normalmente evento ocorre	Prevalência	Ferramentas de diagnóstico
Fluxo de ar	Na envolvente exterior do edifício, normalmente associado a vãos exteriores	Geralmente discreto	Durante a estação de aquecimento	Frinchas existentes na envolvente exterior	Meses	Muito comum	Testes de estanquidade; Diagnósticos de pressão; Termografia.
Difusão de vapor	Na envolvente exterior	Difundido	No final da estação de aquecimento	Nenhuma falha óbvia pode ser observada	Meses	Muito raro	
Capilaridade	Elementos em contacto com o solo	Muito difundido	Sempre que a temperatura da água é positiva	Ocorre através materiais porosos	Meses	Comum	Este de polietileno
Fluxo gravítico	Através de elementos horizontais, nomeadamente lajes de cobertura	Discreto	Sempre que a temperatura da água é positiva	Requer percursos de fuga abaixo do nível da fonte de água (fissurações ou fendas)	Horas a meses	Comum	Verificação de infiltração de água
Combinação de chuva e vento	Na envolvente exterior, de acordo com a direcção dos ventos dominantes	Geralmente muito difundido	Sempre que haja simultaneidade de chuva e vento	Requer percursos de infiltração na envolvente (fissurações ou fendas)	Horas	Comum	Teste de pulverização; Verificação de infiltração de água.
Condensação superficial	Em qualquer superfície fria	Geralmente discreto	Durante a estação de aquecimento	O condensado pode ser absorvido superfícies porosas	Horas a dias	Ocasional	Termografia; Determinação do ponto de orvalho.

Tabela 4.7: Características dos mecanismos de transporte de humidade e indicação das ferramentas de diagnóstico adequadas a cada caso (adaptado de [45]).

Em complemento a estas ferramentas de apoio ao diagnóstico existem fichas de anomalias e as ferramentas informáticas de apoio à decisão facilitam as acções de diagnóstico de anomalias que, por vezes, se prolongam no tempo, face à variação sazonal das condições climáticas e das acções atmosféricas.

É ainda de referir que alguns autores apresentam técnicas de diagnóstico baseadas na observação do teor de humidade dos diversos materiais, quer à superfície, quer no interior dos elementos, a vários níveis a contar do solo. Argumentam, por exemplo, que numa parede espessa sujeita a infiltrações pela face exterior, o grau de humidade não varia em altura mas diminui à medida que nos aproximamos da face interior. Numa parede em contacto com o solo, em que o teor de humidade varia ao longo da espessura da parede exclui, à partida, a hipótese de humidade ascensional com origem em águas freáticas.

4.4.3. INTERVENÇÕES NO ÂMBITO DA REABILITAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA

A reabilitação de elementos que apresentam problemas associados à humidade está frequentemente relacionada com o processo de eliminação da causa, com reforço das características dos elementos face a uma acção que não foi possível eliminar, ou ainda com a protecção da parede contra a acção que contribui para a sua deterioração. Deste modo, são muito diversas as soluções de reabilitação neste contexto.

De um modo geral, a metodologia de intervenção, no âmbito da reabilitação termo-higrométrica, assume os seguintes aspectos:

- Melhorar o desempenho térmico da envolvente exterior;
- Assegurar caudais de ventilação adequados;
- Controlar e anular fontes de humidade, e promover a sua secagem rápida.

Assim, neste subcapítulo, procura-se efectuar uma abordagem sumária às intervenções em função dos principais factores que condicionam o comportamento termo-higrométrico, nomeadamente ao nível do desempenho térmico, da ventilação e dos diferentes tipos de humidade.

4.4.3.1. Intervenções de melhoramento do desempenho térmico

Dado que a envolvente exterior está sujeita a um gradiente de temperatura provocado pelas diferenças climáticas interiores e exteriores, verifica-se através desta a ocorrência de fluxos de calor que poderão resultar em ganhos ou perdas térmicas consoante o seu sentido for do exterior para o interior ou do interior para o exterior, respectivamente [33]. Quanto maior a resistência da envolvente à ocorrência desses fluxos de calor, menor será a variação de temperatura no ambiente interior.

As intervenções de melhoramento do desempenho térmico que recorrem a sistemas solares passivos são relevantes não só pela sua viabilidade técnico-económica, como também são fundamentais para o comportamento termo-higrométrico do edifício devido à relação entre a configuração dos elementos construtivos e os ganhos e perdas de calor.

Como tal, no presente ponto, serão abordadas apenas as directrizes de melhoramento do desempenho térmico, com base nos sistemas solares passivos.

Os sistemas passivos são sistemas que contribuem para a climatização (aquecimento ou arrefecimento) do ambiente interior, tirando partido do Sol e das restantes variáveis climáticas do local, como o vento e a chuva, sem que para isso seja necessário recorrer a equipamentos de climatização para manter o nível de conforto interior.

Os sistemas de aquecimento passivo têm como estratégia a limitação das perdas por condução (através da aplicação de isolamento térmico na envolvente das edificações), por infiltração devido ao efeito da acção do vento no exterior do edifício (aplicando caixilharias de nível superior, protegendo as edificações dos ventos com vegetação) e pela promoção dos ganhos solares, nomeadamente [20]:

- Ganho Directo: Os ganhos solares são obtidos através dos vãos envidraçados bem orientados que possibilitem a incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes. As massas térmicas, tais como paredes e pavimentos, desempenham um papel estabilizador das condições interiores, dado que durante o dia, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência directa da radiação solar e, durante a noite, devolve-o ao espaço, atenuando assim a amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, sendo que também será mais difícil aquecer o edifício, sendo necessário um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo muito do tipo de edifício e localização do mesmo.
- Ganho Indirecto: Este sistema, tem como base a massa térmica presente no interior do edifício que absorve a energia solar nela incidente, libertando-a posteriormente para o espaço interior. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme o tipo de estratégia de circulação do ar adoptada. Dos exemplos mais comuns usados na reabilitação de edifícios destacam-se: Parede de Trombe, Parede Massiva, Colunas de água;
- Ganho Isolado: No qual a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios mas sim em áreas independentes a este, como é o caso de estufas ou colector de ar. No caso particular dos espaços estufa, a energia solar é transmitida ao espaço adjacente por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitem a circulação de ar.

Contudo, estas soluções de ganho indirecto e isolado, para além de nem sempre serem adaptáveis aos edifícios existentes, podem originar problemas de sobreaquecimento no interior dos edifícios. Pelo que é fundamental, nos casos onde é possível a sua introdução, prever a possibilidade de abertura dos vãos envidraçados, de modo a permitir a correcção, por meio ventilação, dos eventuais excessos de ganhos solares nos períodos quentes, bem como a aplicação de dispositivos de sombreamento ou protecções solares reguláveis e eficientes [47].

Por sua vez, as estratégias de arrefecimento promovem a ventilação natural, a limitação dos ganhos solares reduzindo a área de envidraçados nas orientações mais expostas à radiação solar e o

fomento do arrefecimento por evaporação ou por radiação através dos elementos da envolvente exterior [47].

A aplicação de materiais com características de isolante térmico tanto reduz as perdas de calor como mantém as superfícies internas a uma temperatura superior à que teria se não fosse isolada contribuindo assim para a diminuição risco de ocorrência de condensações na superfície dos elementos.

Em suma, a estratégia de melhoramento do desempenho térmico passa pelo aumento adequado da resistência térmica da envolvente, que pode ser realizado por [48]:

- Aumento do isolamento térmico da envolvente opaca e dos vãos envidraçados;
- Controlo dos ganhos solares correspondentes aos vãos envidraçados, por meio da instalação de protecções solares apropriadas de modo a adequar os ganhos térmicos às necessidades de aquecimento e arrefecimento.

4.4.3.2. Melhoramento da resistência térmica da envolvente

Para satisfazer os altos padrões de qualidade exigidos pelos utilizadores e regulamentação em vigor, é fundamental a adopção de materiais e sistemas construtivos com características de reflectividade, emissividade e condutibilidade térmica apropriados [48].

O reforço do isolamento das paredes exteriores pode ser realizado [49]:

- a) Pelo exterior do edifício – Normalmente esta solução está condicionada pelo desenho arquitectónico da envolvente exterior.

Tem custos associados mais elevados, no entanto apresenta sempre vantagens relativamente às outras soluções.

Possibilita a limitação da maioria das pontes térmicas, devendo existir um tratamento adequado nas ligações entre a fachada/vãos envidraçados e fachada/varandas. Há preservação da inércia térmica interior do edifício que durante o inverno permite absorver e armazenam calor, libertando-o mais tarde para o interior do espaço, aquecendo-o de forma natural e, no Verão, retarda o sobreaquecimento interior, ao dificultar a penetração da radiação solar.

Apresenta ainda como vantagens o melhoramento da resistência da envolvente às solicitações climáticas exteriores, nomeadamente no que se refere à estanqueidade dos elementos á infiltração da água de precipitação. A execução desta solução não requer a desocupação do edifício durante a execução dos trabalhos.

Porém, caso particular dos edifícios classificados como património pela UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), esta solução é de difícil implementação devido à necessidade de manter as características originais da fachada, pelo que neste tipo de casos particulares normalmente se recorre à aplicação de isolamento pelo interior sempre que não haja necessidade de recuperação e manutenção de ornamentos arquitectónicos interiores.

- b) Pelo interior do edifício - É uma solução versátil, menos dispendiosa e mais fácil de executar, no entanto a parede exterior torna-se mais susceptível a solicitações de natureza térmica decorrentes sobretudo da variação da radiação solar, bem como à acção da água de precipitação.

A inércia térmica é reduzida devido à anulação da parede exterior como massa de armazenamento térmico. E poderá potenciar situações de ponte térmica em diversas configurações construtivas.

Esta solução apresenta um maior risco de ocorrência de condensações na interface entre o material isolante térmico e a face interior da parede, quando comparada com as demais soluções de isolamento, pelo que deverá ser considerada a aplicação de isolamentos resistentes à humidade e a aplicação de uma barreira pára-vapor na face quente do material isolante.

Normalmente, neste tipo de solução, recorre-se à instalação de painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede e sistemas contra-fachadas (com interposição de um isolante térmico e com ou sem caixa-de-ar) e, face à natureza dos trabalhos envolvidos, poderá implicar o abandono dos habitantes do interior do edifício.

- c) Na caixa-de-ar - Esta solução é aplicável exclusivamente a edifícios em que as paredes exteriores sejam constituídas por dois panos. Consiste no preenchimento da caixa-de-ar existente, através de aberturas, na injeção de produtos isolantes a granel ou em espuma.

É ainda importante referir que antes da aplicação do isolamento pelo interior e na caixa-de-ar deverá ser efectuada uma análise adicional ao estado de conservação do paramento exterior, com vista à avaliação da necessidade de intervenção neste, pois eventuais infiltrações de água poderão afectar a condutibilidade térmica dos isolamentos.

No que concerne às coberturas, mediante a sua tipologia (inclinadas ou planas), as soluções de reabilitação térmica passam por:

- a) Coberturas inclinadas – Da análise das soluções apresentadas pelo ITE50 [40] a solução mais económica é aplicar o material isolante sobre a laje horizontal de cobertura, por ser de

mais fácil execução e possibilitar a maximização do aproveitamento do material. Caso o desvão seja acessível, é conveniente proceder à protecção deste (sobreposição de uma betonilha).

- b) Coberturas planas - A solução mais comum consiste na aplicação de isolamento na face superior da cobertura, sobre a camada de impermeabilização (cobertura plana invertida). Esta disposição permite a protecção da camada impermeabilizante contra as variações térmicas e radiação ultravioleta, aumentando assim a sua vida útil.

Para além das medidas solares passivas já referidas, é ainda importante referir a possibilidade de redução dos ganhos solares na envolvente opaca através da pintura das fachadas com cor clara e, se possível, execução de coberturas com materiais de revestimento de maior reflectância.

Em pavimentos em contacto directo com o exterior ou com espaços interiores não-aquecidos, também é necessário efectuar o reforço do isolamento térmico. A aplicação do isolamento poderá ser efectuada de três formas [03]:

- a) Isolamento térmico inferior - O isolamento poderá ser aplicado da parte inferior da laje de pavimento, caso o espaço subjacente ao pavimento seja acessível. É a solução mais eficiente do ponto de vista térmico, pois permite aumentar a massa térmica do edifício e eliminar as pontes térmicas lineares associadas. Porém, deverá ser verificada a existência de algum condicionalismo devido à redução do pé-direito do espaço subjacente.
- b) Isolamento térmico intermédio - Esta solução está limitada a pavimentos com vazios;
- c) Isolamento térmico superior - Neste tipo de solução, o revestimento é colocado sobre o material isolante tornando-o menos eficiente e é condicionada pela possibilidade de redução do pé-direito do espaço habitável.

Os principais isolamentos usados no melhoramento da resistência térmica da envolvente de edifícios são: o poliestireno expandido moldado (EPS); espuma de poliestireno extrudido (XPS), a espuma rígida de poliuretano (PUR); a lã mineral (MW); o aglomerado negro de cortiça (ICB); a vermiculita expandida (VA) e a argila expandida em grânulos (LWA).

A sua aplicação nas soluções de reabilitação térmica, em função das soluções anteriormente mencionadas, poderá ser da seguinte forma [03]:

Elementos Opacos	Constituição	Isolamento Térmico		Placas					Mantas	Material a granel				Espuma projectada		
		Localização	Solução	EPS	XPS	PUR	MW	ICB		Grânulos			Fibras			
									EPS	VA	JWA	MW	PUR			
Paredes de fachada	Simples	Exterior	Revestimento delgado ou espesso sobre o isolante	•			•									
			Revestimento independente com isolante no espaço de ar	•	•	•	•									
			Reboco isolante							•	•	•				
		Interior	Painéis isolantes	•	•	•	•									
			Contra-fachada com isolante no espaço de ar	•	•	•	•									
	Duplas	Intermédio	Preenchimento total da caixa-de-ar								•	•	•	•	•	
Pavimentos	-	Exterior	Revestimento sobre o isolante	•		•	•									
			Tecto falso com isolante na caixa-de-ar	•	•	•	•	•	•							
Cobertura	Plana	Exterior	Suporte isolante de impermeabilização Cobertura «invertida» Sobre a esteira Sobre a estrutura resistente Sob a estrutura resistente	•		•	•	•								
			Cobertura invertida	•	•											
	Inclinada	Nas vertentes	Na esteira horizontal	Sobre a esteira	•	•	•	•	•	•		•	•			
			Sobre a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•							
			Sob a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•							

Tabela 4.8: Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica (fonte [03]).

Qualquer que seja a solução, o seu nível de desempenho é caracterizado pelo seu coeficiente de transmissão térmica (U). Quanto maior for o seu valor, menor será a resistência térmica do elemento. Como tal, o RCCTE [23] restringe os valores de coeficientes de transmissão térmica (U) máximos e de referência, para cada situação (Tabela 4.9 e 4.10, respectivamente).

Elemento	I1	I2	I3
Zona opaca vertical	1,80	1,60	1,45
Zona opaca horizontal	1,25	1,00	0,90

Tabela 4.9: Coeficientes de condutibilidade térmica U (W/m².°C) máximos para a envolvente exterior, em função da respectiva zona climática (fonte [23]).

Elemento	I1	I2	I3
Zona opaca vertical	0,70	0,60	0,50
Zona opaca horizontal	0,50	0,45	0,40
Envidraçados	4,30	3,30	4,30

Tabela 4.10: Coeficientes de condutibilidade térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) de referência para a envolvente exterior, em função da respectiva zona climática (fonte [23]).

Os vãos envidraçados têm uma significativa influência no balanço energético dos edifícios, pois são os elementos termicamente mais vulneráveis da envolvente exterior de um edifício.

Nestes elementos a solução passa pela substituição dos vidros existentes por vidros com características isolantes (vidros duplos). Nos vãos voltados para o quadrante Sul, é recomendável a aplicação de dispositivos de sombreamento pelo exterior, tais como palas ou lâminas e precianas, ou até mesmo portadas com baixa permeabilidade ao ar, por forma permitir a redução de ganhos solares. Os dispositivos de protecção interiores devem ser usados apenas para controlo da luz natural pois são menos eficazes na redução dos ganhos solares [03].

Em edifícios históricos poderá haver a necessidade de manter as caixilharias originais. Neste caso, se a espessura dos caixilhos existentes não permitirem a aplicação de vidro duplo, será mais vantajoso, do ponto de vista do térmico, a aplicação de um segundo caixilho pelo interior dos vãos originais, associado à colocação de isolamento térmico pelo interior, na área de fachada compreendida entre o novo caixilho e a ombreira do vão existente.

É importante referir que todas as soluções existentes deverão ser equacionadas apenas quando o edifício for objecto de uma intervenção de reabilitação geral, pois só assim se justificam, em termos económicos e funcionais, algumas das soluções propostas.

4.4.3.3. Intervenções de melhoramento da ventilação

Nos compartimentos que possuam fontes de produção de vapor de água muito intensas, é necessário recorrer à ventilação do espaço, de forma a reduzir os níveis de humidade presente no ar e assim prevenir a ocorrência de condensações [12].

Nos edifícios antigos, face às suas características e à má vedação de frestas e juntas, são geralmente bem ventilados ou mesmo exageradamente ventilados, pelo que a metodologia de intervenção passa pela execução prévia de um projecto de ventilação. No entanto, é importante referir que nestes casos, a redução excessiva do caudal de ventilação e a má distribuição do fluxo de ar no compartimento é indutora de diversas patologias relacionadas com a humidade, nomeadamente condensações superficiais ou internas.

Assim, deverá ser assegurada uma ventilação adequada e permanente. Esta poderá processar-se sob a forma de ventilação natural, mecânica ou híbrida, conforme já abordado no ponto 4.2.2 da presente dissertação.

É fundamental referir que os respectivos utentes devem ser instruídos no sentido de adquirirem hábitos conducentes à criação de um ambiente termicamente confortável, tais como [03]:

- abertura das janelas para ventilação sempre que favorável (no Verão, durante a noite, quando a temperatura exterior é inferior à temperatura do ar interior; e no Inverno, quando se dá a situação inversa);
- abertura completa das janelas para ventilação por períodos curtos (em vez da abertura parcial das mesmas durante um longo período);
- oclusão dos vãos nos períodos nocturnos de Inverno, ou quando se verificarem ganhos solares excessivos.

4.4.3.4. Intervenções de tratamento dos diferentes tipos de humidade

Seguidamente é efectuada uma abordagem sumária aos princípios gerais de habilitação associados às formas de manifestação de humidade abordados anteriormente:

4.4.3.4.1. Tratamento da humidade ascensional

A humidade ascensional manifesta-se, em geral, pela humidificação de uma faixa de parede junto ao solo com a deterioração mais ou menos acentuada dos revestimentos, associada a fenómenos de eflorescências.

Existem diversas formas de reparação desta anomalia, porém todas têm como base o mesmo princípio: impedir o acesso da água à parede. Só após a limitação a ascensão da humidade por capilaridade na parede, por meio do afastamento das águas presentes no solo (drenagem periférica) e/ou pela criação de uma barreira horizontal (corte hídrico), é que é possível proceder à sua secagem e substituição dos elementos deteriorados.

É de referir que o recurso a revestimentos impermeáveis nas faces das paredes afectadas não é benéfico neste tipo de manifestação, uma vez que, para que se restabeleça o equilíbrio entre a água que sobe por capilaridade e a que se evapora, os efeitos da humidade ascensional vão acabar por se manifestar acima dessa barreira estanque superficial criada pelo revestimento [50].

Os métodos usados para reparar este tipo de anomalia classificam-se quanto ao tipo de barreira aplicada na base das paredes:

- Barreiras Físicas – Consiste na criação de uma barreira física na própria parede. Uma das técnicas é a redução da secção absorvente das paredes, através da execução de aberturas nesses locais, para que a água transportada através dos materiais possa evaporar-se ao encontrar esses espaços vazios. Esta técnica é a menos usual uma vez que pressupõe alterações ao nível do funcionamento estrutural e arquitectónico [33].

As técnicas mais comuns baseiam-se na substituição parcial da alvenaria por materiais impermeáveis do tipo betuminoso, actuando por troços sucessivos, em toda a espessura da parede e substituí-la por materiais impermeáveis. É um método de execução difícil e lento, é aplicável em paredes constituídas por elementos pequenos e regulares. Outra forma é a execução de um corte hídrico fazendo na parede, também por troços, rasgos que vão sendo preenchidos com materiais estanques e argamassas de ligantes sintéticos, garantindo a continuidade do material. Destas técnicas destacam-se:

- Método Massari - consiste na execução de uma série de carotagens sucessivas em troços de cerca de 50 cm de extensão, com superfícies tangentes umas às outras sendo preenchido com argamassa de ligantes sintéticos. Após consolidação avança-se para o troço seguinte. É adequado a paredes de qualquer espessura e bastando a existência de acesso a uma das faces da parede.
 - Método Schoner-Turn - consiste na introdução de chapas onduladas inoxidáveis nas paredes com recurso a martelos pneumáticos. Este método pressupõe a existência de juntas horizontais contínuas e bem definidas entre os elementos da parede. Dado a forma como se processa, esta é uma técnica que introduz vibrações na parede, o que é limitativo.
- Barreiras Químicas – Esta metodologia é pouco destrutiva quando comparada com os métodos anteriores. Consiste na introdução de produtos sintéticos, por difusão ou injeção, por meio de furos executados nas estruturas porosas dos materiais constituintes da parede. Este tipo de barreira deverá ser aplicada o mais próximo possível do nível do terreno.

4.4.3.4.2. Tratamento da humidade por condensação

O fenómeno das condensações superficiais é mais conhecido e o mais frequente, no qual estão associadas manifestações típicas: formação de fungos e bolores e deterioração de revestimentos.

Além das operações de limpeza efectiva e eventual reparação ou substituição dos revestimentos deteriorados, a eliminação do fenómeno consiste na adopção simultânea de 3 medidas: reforçar a resistência térmica da parede (isolando melhor a parede e/ou corrigindo as pontes térmicas),

ventilar melhor os espaços de forma a permitir a extracção do vapor de água que se acumula no interior dos espaços e reforçar o aquecimento contínuo.

Desta forma, além de se incrementar a temperatura interior, ocorre ainda uma diminuição da humidade relativa nos materiais limitando assim o risco de ocorrência de condensações. Assim, a secagem das paredes será efectuada de forma mais rápida e eficaz.

Neste caso, a simples reparação da parede sem a adopção das medidas complementares descritas, pode conduzir à repetição cíclica e evolutiva da anomalia.

4.4.3.4.3. Tratamento da humidade higroscópica

Conforme exposto anteriormente (ponto 4.1.3), este tipo de manifestação de humidade ocorre em função da porosidade dos materiais. Dado que na construção, a maioria dos materiais utilizados são porosos e contém sais na sua composição, a remoção total de humidade é impossível, criando assim grandes dificuldades para qualquer procedimento que vise a anulação dos seus efeitos.

A solução de correcção tem como princípio a substituição ou ocultação dos materiais de construção, por materiais de porosidade e porometria controlada, de forma a facilitar a evaporação superficial de diversos elementos e evitar o aparecimento da cristalização de sais e a ocorrência de eflorescências e criptofluorescências.

4.4.3.4.4. Tratamento da humidade de precipitação

Segundo Silva (2008) [33], o tratamento das anomalias associadas à humidade de precipitação baseia-se essencialmente na criação de soluções destinadas a resolver as deficiências de estanquidade das paredes e aos problemas de infiltrações através de fissurações.

Assim, para controlar e eliminar a penetração de água da chuva através da envolvente, a estratégia passa pela redução do número e o tamanho das aberturas, instalar elementos que permitam manter a água longe de qualquer abertura (como por exemplo, aumentar os beirais) e minimizar ou anular a acção das forças que promovem o movimento da água através das fissuras e juntas dos elementos que revestem a fachada, como é o caso da acção da força gravítica, da tensão superficial, sucção capilar, o impulso (energia cinética) e a diferença de pressão de ar no caso particular das fachadas ventiladas.

4.4.3.4.5. Ocultação de anomalias

Este método baseia-se não na resolução do problema, mas na sua ocultação. Esta técnica, apesar de simples e eficaz, tem como inconvenientes a redução da área útil, ocultar a parede original e obrigar a ajuste de dispositivos aplicados na parede (por exemplo aparelhagem eléctrica).

A forma mais eficaz de ocultação das anomalias consiste na execução de uma forra interior de pequena espessura (gesso cartonado hidrófugo, ou tijolo de 7 cm de espessura), separada da parede por um espaço de ar com cerca de 5 a 10 cm, sem qualquer contacto com a base, e ventilado para o exterior através de orifícios a diferentes níveis, de forma a facilitar a evaporação superficial.

A base da parede de forra deve ser impermeabilizada [33].

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS

5.1. INTRODUÇÃO

A melhor forma de compreender o comportamento termo-higrométrico no interior dos edifícios é efectuar estudos experimentais com base em medições realizadas “in situ”.

Um dos objectivos principais deste trabalho é analisar o comportamento termo-higrométrico dos estabelecimentos de ensino e estimar o respectivo impacto nos alunos e, como tal, optou-se por efectuar um conjunto de medições em oito salas de aula representando, cada uma, um estabelecimento de ensino diferente.

Os valores obtidos nas medições reflectem o comportamento termo-higrométrico real de cada sala de aula num determinado período do dia, em função das variações climáticas, características construtivas e o tipo de utilização inerente a cada sala de aula.

Com base nestas medições são obtidos os valores médios de cada escola que permitem efectuar uma comparação gráfica do desempenho termo-higrométrico, bem como a análise do risco de ocorrência de condensações internas e estimativa do nível de conforto térmico no interior de cada sala de aula.

Para além disso, este tipo de estudos experimentais têm como principal objectivo, além da caracterização termo-higrométrica da construção, a apresentação de propostas de melhoramento e correcção do edifício no âmbito do desempenho higrométrico tendo em conta todas as limitações que este tipo de construções possuem.

Para constituir esta amostra foram seleccionadas oito escolas secundárias, localizadas no distrito do Porto e construídas entre a década de 60 e 90 (por forma a permitir uma análise comparativa), das quais quatro foram intervencionadas no âmbito programa de modernização das escolas secundárias da empresa pública Parque Escolar, E.P.E. (PE) e as restantes, apesar de estarem incluídas no mesmo programa, ainda se encontram por intervencionar.

Nome da Escola	Sigla	Estado	Ano Inauguração	Localização (concelho)
Escola Secundária António Nobre	ESAN	Não Reabilitada	1972	Porto
Escola Básica e Secundária de Lordelo	EBSL	Não Reabilitada	1973	Paredes
Escola Secundária de Valongo	ESV	Não Reabilitada	1986	Valongo
Escola Secundária de Joaquim de Araújo	ESJA	Não Reabilitada	1997	Penafiel
Escola Básica e Secundária de Clara de Resende	ESCR	Reabilitada	1960	Porto
Escola Secundária de Garcia de Orta	ESGO	Reabilitada	1969	Porto
Escola Secundária de Soares dos Reis	ESSR	Reabilitada	1969*	Porto
Escola Secundária de Penafiel	ESP	Reabilitada	1960	Penafiel

*Antiga Escola Secundária Oliveira Martins

Tabela 5.1: Lista de escolas e respectivas designações.

As salas de aula em análise foram cedidas mediante a disponibilidade de cada escola, em função da orientação da envolvente exterior (voltada para o quadrante Norte ou Este por forma a estarem sujeitas á mínima radiação solar directa possível) e da sua localização no edifício (ao nível do rés-do-chão de forma a permitir o fácil acesso pelo exterior da fachada).

É ainda de referir que as salas de aula referentes às escolas reabilitadas encontravam-se em edifícios existentes (reabilitados) e aquando da realização dos ensaios, todas as salas de aula encontravam-se em utilização na hora anterior.

Foi efectuada apenas uma visita a cada escola para levantamento de dados e execução de medições, durante o mês de Abril de 2013 (estação de aquecimento), no período da tarde e com uma duração média de uma hora por escola.

Os elementos de projecto de apoio à realização deste estudo, foram cedidos pela empresa PE.

As fichas de identificação de cada escola encontram-se no Anexo I.

5.2. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE ENSAIO

5.2.1. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Seguidamente são apresentados os parâmetros medidos em cada visita às escolas, os aparelhos de medição usados e o respectivo procedimento de execução de medições.

5.2.1.1. Parâmetros a medir

Para efectuar a análise global do comportamento termo-higrométrico das salas de aula é necessário perceber a relação entre as condições ambientais interiores e exteriores, bem como o respectivo nível de ventilação da sala de aula. Como tal, é essencial a medição dos seguintes parâmetros:

- Temperatura e humidade relativa do ar exterior;
- Temperatura e humidade relativa do ar interior;
- Temperatura e humidade relativa da superfície exterior da fachada;
- Temperatura e humidade relativa da superfície interior da fachada;
- Velocidade e temperatura do ar no interior da sala de aula.

No presente estudo, foram consideradas oito medições por cada parâmetro.

5.2.1.2. Aparelhos de medição

Para a realização das medições pretendidas ao longo deste estudo, foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) Anemómetro – Foi usado o equipamento da marca “*Schiltknecht Messtechnik AG*”, modelo “*MiniAir20*” dotado de uma sonda de hélice de referência “*Probe Mini (Ø22 x 28 mm)*”, para medir a velocidade e temperatura do ar.

De acordo com as características do equipamento, esta sonda é de elevada sensibilidade e o seu movimento é linear para a velocidade do fluxo e não é afectado por pressão, temperatura, densidade e humidade, o que torna este equipamento ideal para a medição de velocidade de ar muito reduzidas (como é o caso da ventilação natural). Permite efectuar medições velocidade até 4 m/s, com uma precisão de 5% [51].



Figura 5.1: Anemómetro “*MiniAir20*” e respectiva sonda “*Probe Mini (Ø22 x 28 mm)*” (adaptado de [51]).

- b) Higrómetro – O higrómetro usado é da marca “*GE - General Electric Co*”, modelo “*MMS Plus*”. Este equipamento incorpora três medidores em um para identificar, diagnosticar e monitorar problemas de humidade [52]:

- O modo higrómetro mede a humidade relativa, a temperatura, o ponto de orvalho e a proximidade ao ponto de orvalho com um “*Hygrostick™*” modular e substituível;
- O modo de medida com pino determina o grau de humidade da madeira e o valor do equivalente de humidade em madeira (*WME, Wood Moisture Equivalent*) dos materiais de construção, bem como a temperatura através de um sensor de superfície.
- O modo de medida sem pino que recorre à frequência de rádio para detectar a humidade de forma não-invasiva.

As medições efectuadas por este equipamento apresentam uma precisão de 2,5% de HR e 0,3°C de temperatura.



Figura 5.2: Higrómetro – O higrómetro usado é da marca “GE - General Electric Co”, modelo “MMS Plus”. (fonte [52]).

Foram ainda usados uma fita laser, uma bússola (para confirmação da orientação das fachadas) e uma régua medidora de espessuras de vidros (simples e duplos).

Foi ainda usada uma máquina termográfica, da marca/modelo “Flir T400”, que permitiu registar a temperatura de superfície dos elementos, medir e avaliar as heterogeneidades de paredes e elementos estruturais, bem como o diagnóstico de determinadas anomalias.

Estes equipamentos foram cedidos pelo Laboratório de Física das Construções do ISEP.

5.2.1.3. Posicionamento dos aparelhos de medição

Para efectuar as medições de temperatura e Hr do ar interior, a sonda e o respectivo equipamento são posicionados em oito pontos equidistantes entre si por forma a abranger a área total da sala de aula, conforme indicado a vermelho na Figura 5.3.

Quanto às medições de temperatura e Hr do ar exterior, são efectuadas oito medições, equidistantes entre si, segundo dois alinhamentos paralelos à fachada e a uma distância desta e 1 e 2m, conforme representado a azul na Figura 5.3.

Em ambas as situações, a sonda está posicionada a uma altura de, aproximadamente, 1,30m do pavimento.

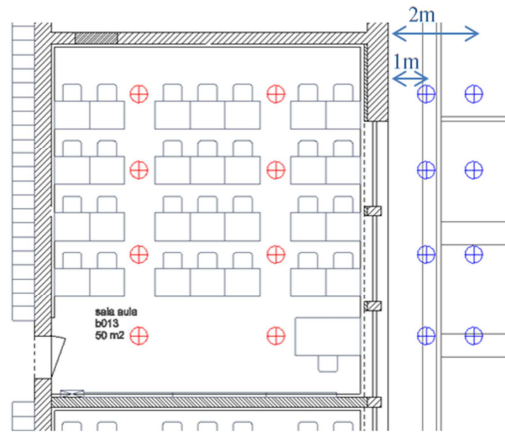


Figura 5.3: Localização em planta do posicionamento dos equipamentos de medição (ESCR).

O posicionamento das sondas para efectuar as medições de temperatura e Hr na superfície interior e exterior da envolvente opaca é definida em função da acessibilidade das características arquitectónicas da fachada de cada escola.

São seleccionados oito pontos de medição por forma a abranger a totalidade a envolvente, sendo certo que a sua ordem e localização deve ser coincidente com os pontos de medição pelo exterior, conforme indicado na Figura 5.4.

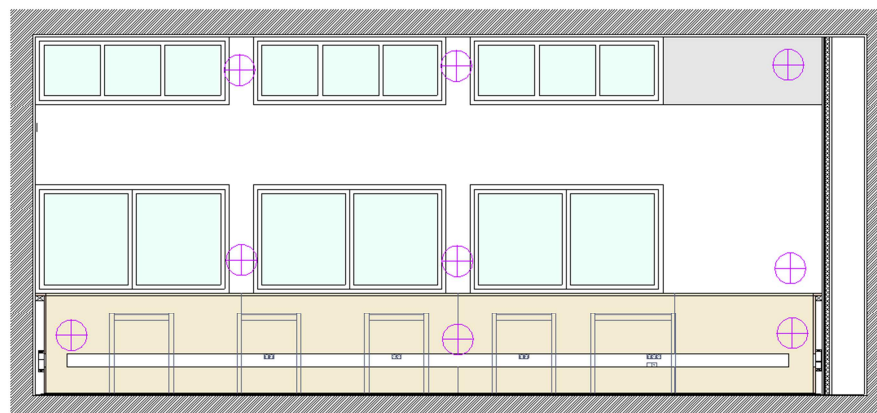


Figura 5.4: Localização pelo dado interior fachada do posicionamento dos equipamentos de medição (ESCR).

Para medição da velocidade e temperatura do fluxo de ar natural, é fixada a abertura da porta interior, por meio de um espaçador com 4,5 cm de largura, por forma a permitir a circulação natural do ar. A sonda do anemómetro é posicionada junto do bordo superior da porta, a uma altura entre 1,80 a 1,90m, e são efectuadas oito medições com uma duração de 1 minuto cada.

No caso da ventilação mecânica a sonda é aplicada junto das grelhas de extracção.

5.2.2. DEFINIÇÃO DA FICHA DE LEVANTAMENTO

Para auxiliar a recolha de dados nas escolas, foi criada uma ficha designada por: “Ficha de Levantamento de Dados”, composta por seis páginas no total, com o objectivo de compilar todos os dados essenciais ao presente estudo. Esta foi estruturada de forma a servir de orientação na sequência da recolha de informação.

A ficha está dividida em cinco partes, em que cada uma se refere a um conjunto distinto de informação (o modelo encontra-se no Anexo II):

- Parte 1: Identificação da Escola - Neste campo é registada a identificação básica da escola, nomeadamente: o nome da escola; a localização (morada); os contactos do responsável pelo acolhimento e disponibilização da sala de aula; o ano de inauguração e de remodelação da escola, o estado (remodelada ou não remodelada) e o nº de salas a analisar.
- Parte 2: Levantamento de Dados – São registados todos os dados que servem de base ao levantamento das medições:
 - Registo da data e hora, de início e fim das medições;
 - Descrição das condições climáticas observadas aquando da execução das medições (estado do tempo; velocidade e direcção do vento; estação do ano);
 - E a descrição detalhada das características da sala de aula (identificação e localização da sala de aula; orientação da respectiva envolvente exterior; identificação da constituição das paredes exteriores e interiores, pontes térmicas planas, pavimentos exteriores, coberturas, paredes e pavimentos em contacto com o solo; identificação de pontes térmicas lineares; descrição de vãos exteriores e interiores; e a identificação da forma como é processada a renovação do ar)
- Parte 3: Medições – Neste campo são registadas todas as medições efectuadas no ambiente exterior e interior (Temperatura e Hr do ar e da superfície do elemento), bem como do registo das renovações de ar (natural e mecânica) e dados termográficos.
- Parte 4: Levantamento de Anomalias – Na qual são registadas as anomalias que evidenciam a presença de humidade, no interior das respectivas salas de aula.
- Parte 5: Esquemas e Esboços – Foi ainda criado um campo destinado à execução de esquemas que permitam identificar o posicionamento das sondas dos aparelhos de medição no interior das salas de aula, em planta e em alçado, bem como a execução de esboços que definam a arquitectura quando se verifique a inexistência de elementos de projecto.

As fichas de levantamento de dados referente a cada escola encontram-se no Anexo III, da presente dissertação.

5.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS SALAS DE AULA

Conforme já referido, o presente estudo foi realizado a partir de salas de aula normais que, face às suas características de utilização, apresentam uma organização em planta semelhantes entre si. As respectivas características principais encontram-se resumidas na Tabela 5.2.

	Escola	Dimensões da sala de aula (m)			Área (m ²)	Volume (m ³)	Área de vãos exteriores (m ²)	Área de envolvente exterior opaca (m ²)
		Comprimento	Largura	Pé-direito				
Não reabilitadas	ESAN	4,75	7,75	2,79	36,81	102,71	8,41	4,84
	EBSL	6,52	9,35	3,2	60,96	195,08	14,91	5,95
	ESV	9,65	6,25	3,1	60,31	186,97	8,84	21,08
	ESJA	7,5	4,9	3,1	36,75	113,93	8,84	14,41
Reabilitadas	ESCR	7,55	6,7	2,8	50,59	141,64	9,00	12,14
	ESGO	7,83	7,4	3,2	57,94	185,41	14,40	10,66
	ESSR	7,4	7,6	2,8	56,24	157,47	6,03	14,69
	ESP	7,88	6,53	3	51,46	154,37	13,68	9,96

Tabela 5.2: Características arquitectónicas gerais das salas de aula.

Seguidamente apresenta-se uma descrição sucinta das características da envolvente exterior de cada sala de aula, de acordo com o levantamento efectuado que se encontra no Anexo III:

- ESAN – A parede exterior é constituída por parede dupla de alvenaria de tijolo com caixa-de-ar sem isolamento, rebocada e pintada em ambas as faces. Os elementos estruturais desta envolvente estão apenas revestidos por reboco pintado (zona de ponte térmica plana – PTP), apenas pelo lado interior. Os dois vãos exteriores são em caixilharia de madeira com vidro simples de 4mm.



Figura 5.5: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESAN.

- EBSL – A fachada da sala de aula desta escola é constituída apenas por elementos de betão armado sem revestimento e caixilharia de alumínio com vidro simples de 3 e 6 mm. Nesta está integrada uma pequena estufa, com uma área ajardinada de 0.33 m², orientada a nordeste. A cobertura é composta por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas, um revestimento exterior em telhas de fibrocimento, e um revestimento interior em cortiça.



Figura 5.6: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola EBSL.

- ESV - A parede exterior é constituída por parede dupla de alvenaria de tijolo com caixa-de-ar sem isolamento, rebocada e pintada em ambas as faces. Os elementos estruturais desta envolvente também estão revestidos a reboco pintado em todas as faces (PTP). Contém quatro vãos exteriores com caixilharia de alumínio e vidro simples de 4mm.



Figura 5.7: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESV.

- ESJA – As características da envolvente exterior desta escola são idênticas à da escola ESV.



Figura 5.8: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESJA.

- ESCR - A parede exterior é constituída, do exterior para o interior, por parede simples de alvenaria de granito (com uma espessura de aproximadamente 0,43 cm), um revestimento pelo lado interior em argamassa à base de cimento (espessura média de 2cm), caixa-de-ar com (10cm), isolamento térmico em lã de rocha com (6 cm) e um revestimento interior com duas placas de gesso cartonado (com uma espessura de 1,25 cm cada). Algumas zonas, nomeadamente por baixo dos vãos exteriores, a alvenaria de granito é substituída por alvenaria de tijolo rebocada em ambas as faces. Os elementos estruturais desta envolvente encontram-se do lado exterior relativamente ao isolamento térmico, apresentando um acabamento à base de areia e cimento, pintado. Os vãos exteriores (total de 6 unidades) são compostos por caixilharia em aço com corte térmico e vidro duplo 6+10+6.



Figura 5.9: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESCR.

- ESGO – A parede exterior é composta, do exterior para o interior, por parede de betão armado pintado pelo exterior, caixa-de-ar de 15cm, isolamento térmico de 5 cm e um

revestimento em alvenaria de tijolo (15cm) rebocado e pintado. Os elementos estruturais desta envolvente, nomeadamente os pilares e as soleiras dos vãos exteriores, encontram-se apenas pintados, sem qualquer tipo de revestimento ou isolamento adicional.

Os vãos exteriores (3 unidades) são constituídos por caixilharia de alumínio e vidro duplo de 8+7+8.



Figura 5.10: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESGO.

- ESSR – A fachada é constituída, do exterior para o interior, por revestimento térmico em sistema “*ETIC*” (*External Thermal Insulation Composite*) com 5 cm de espessura, parede em alvenaria existente, revestimento interior com 2cm, caixa-de-ar com 5 cm, e um revestimento interior com duas placas de gesso cartonado (com uma espessura de 1,25 cm cada). Os elementos estruturais desta envolvente também encontram-se revestidos por isolamento térmico do lado exterior.

Os vãos exteriores (quatro unidades) são compostos por caixilharia de alumínio e vidro duplo com 8+6+33.1.



Figura 5.11: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESSR.

- ESP - A fachada é constituída, do exterior para o interior, por revestimento térmico em sistema “*ETIC*” com 6 cm de espessura, parede de alvenaria existente, revestimento

interior em reboco com 2cm pintado. Os elementos estruturais desta envolvente também encontram-se revestidos por isolamento térmico do lado exterior.

Os vãos exteriores (três unidades) são compostos por caixilharia de alumínio e vidro duplo com 6+10+6.



Figura 5.12: Registo fotográfico da envolvente exterior da sala de aula da escola ESP.

5.3.2. PRINCIPAIS ANOMALIAS DETECTADAS

No decorrer das visitas realizadas às escolas foi possível identificar, nas escolas não intervencionadas, algumas anomalias que evidenciam a presença de humidade no interior das salas de aula, das quais se destacam:



Figura 5.13: Caixilharia de madeira em elevado estado de deterioração junto à soleira, na escola ESAN.



Figura 5.14: Ocorrência de condensações e existência frinchas nos vãos exteriores da escola EBSL.



Figura 5.15: Infiltração de água no tecto e através da porta de acesso ao exterior, na sala de aula da escola EBSL.



Figura 5.16: Presença de manchas de humidade no tecto da sala de aula da escola ESJA.

Como se pode observar pelas imagens anteriores, as escolas EBSL é a que apresentava o maior número de anomalias. Conforme registado na Figura 5.14, esta escola foi a única onde se observou a ocorrência de condensação no interior da sala de aula sendo, numa primeira análise, a que apresenta o pior desempenho termo-higrométrico.

Nas escolas reabilitadas, não se observaram anomalias que evidenciassem a presença de humidade no interior das salas de aula.

5.3.3. PRINCIPAIS ANOMALIAS CONTRUTIVAS DETECTADAS COM RECURSO À TERMOGRAFIA

Com o recurso à termografia, foi possível identificar zonas na envolvente opaca exterior que evidenciam a heterogeneidade da fachada, permitindo identificar zonas com deficiente dimensionamento do isolamento térmico e inclusive com ausência deste (PTL e PTP), das quais se destacam:

- Na escola ESAN, devido à heterogeneidade de temperatura da fachada, é possível comprovar a existência de uma caixa-de-ar na parte inferior da parede que se destaca na imagem termográfica (Figura 5.17) com uma temperatura de superfície mais elevada. Na sua base, é possível verificar uma variação gradual da temperatura (na transição entre o elemento de betão e a parede de tijolo), esta variação poderá indiciar a transferência de humidade por ascensão, entre os elementos construtivos.

Destaca-se ainda a heterogeneidade da caixilharia, nomeadamente a soleira de madeira que apresenta uma temperatura mais baixa, resultado da sua deterioração e consequente absorção da água.

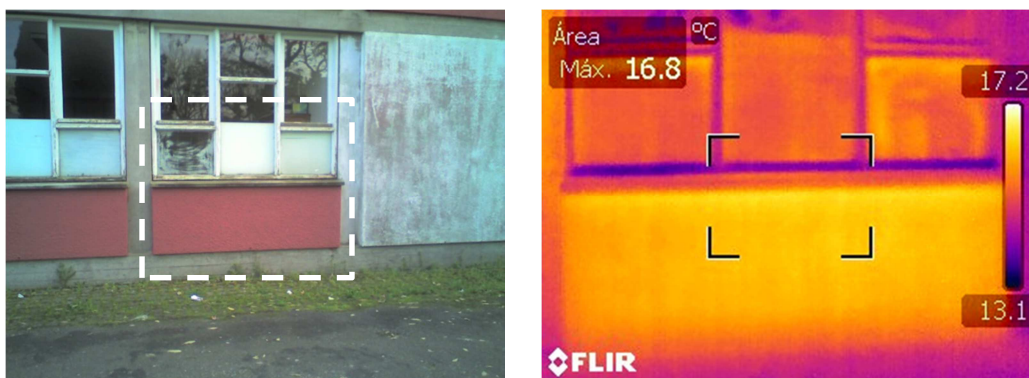


Figura 5.17: Registo termográfico da parede exterior da sala de aula da escola ESAN.

- Na escola EBSL, tal como referido no ponto 5.3.1. do presente capítulo, a fachada é constituída apenas por elementos de betão armado sem qualquer tipo de revestimento. E, de acordo com o registo termográfico efectuado pelo interior da sala de aula, é possível verificar a existência de uma temperatura mais baixa nestes elementos, constituindo assim zonas susceptíveis à ocorrência de condensações (Figura 5.18).

Na parede em contacto com o solo da estufa interior, é evidente a presença de humidade junto ao pavimento (Figura 5.19), derivado da acumulação da água de rega. Esta pequena área interior ajardinada constitui uma fonte de humidade que influencia a qualidade do ar interior.

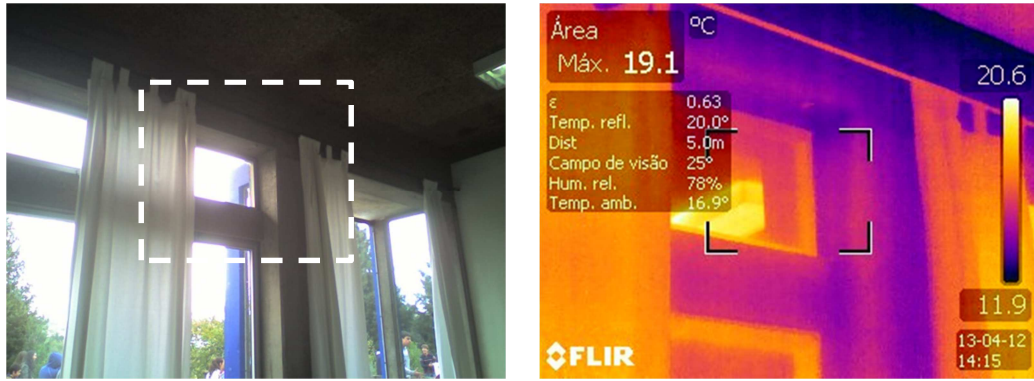


Figura 5.18: Registo termográfico da envolvente opaca exterior da sala de aula da escola EBSL.

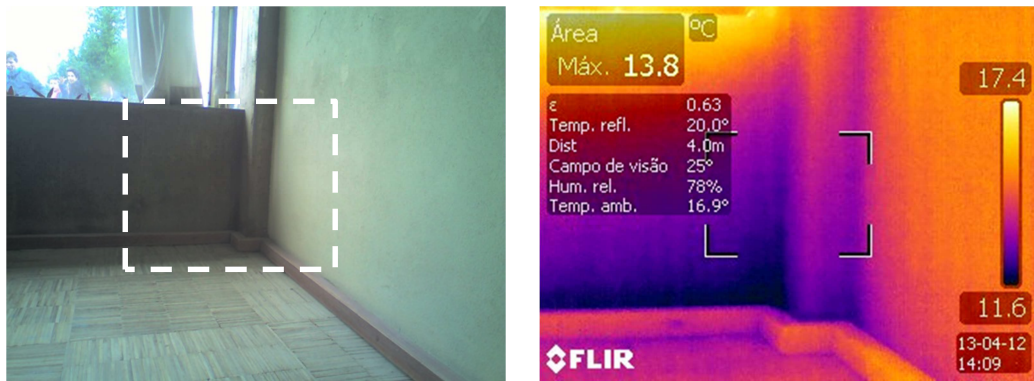


Figura 5.19: Registo termográfico do canto inferior da fachada da sala de aula da escola EBSL.

- Na escola ESV, regista-se existência de PTL na ligação entre o pavimento intermédio e a fachada (Figura 5.20), bem como a existência de PTP nas zonas de vigas e pilares embutidos na fachada (Figura 5.21).

Conforme se pode constatar na Figura 5.20, tecto apresenta uma temperatura superior que a parede pois encontra-se revestido a placas de cortiça pintada (isolante térmico).



Figura 5.20: Registo termográfico do canto superior, da parede exterior, da sala de aula da escola ESV.

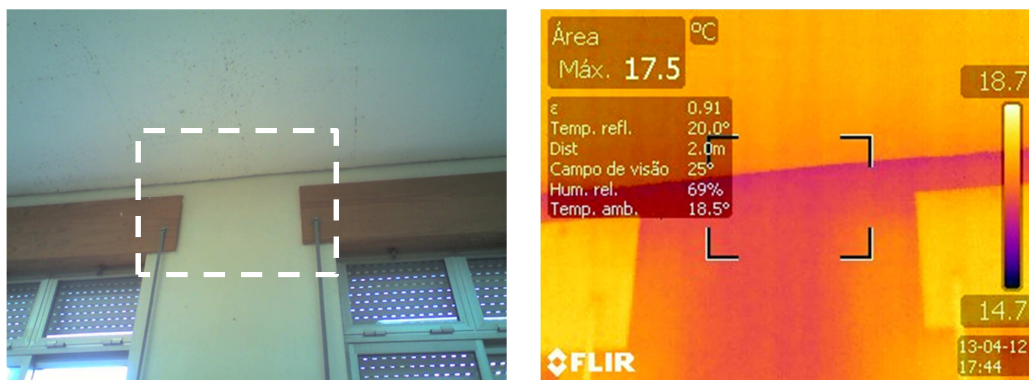


Figura 5.21: Registo termográfico na zola do pilar, a meio da sala de aula da escola ESV.

- Na escola ESJA, é evidente a existência de PTP nas zonas de vigas e pilares embutidos na fachada (Figura 5.22), bem como a existência de PTL na ligação ente fachadas e piso intermédio com fachada e na ligação entre fachadas (Figura 5.23).

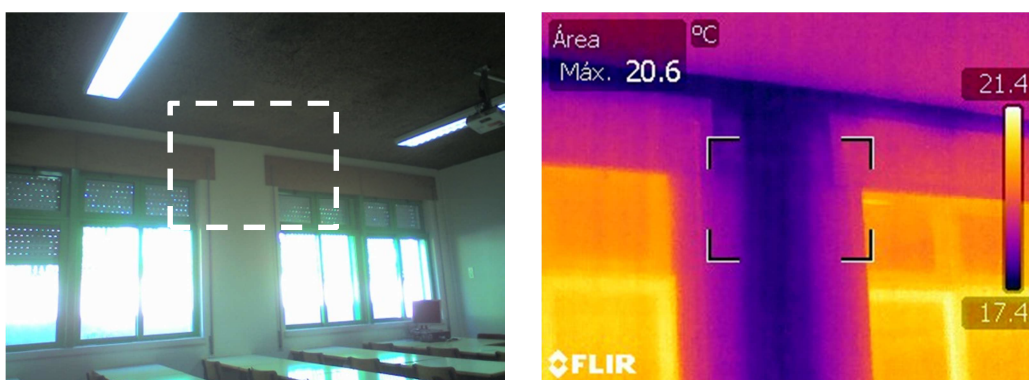


Figura 5.22: Registo termográfico na zola do pilar, a meio da sala de aula da escola ESJA.

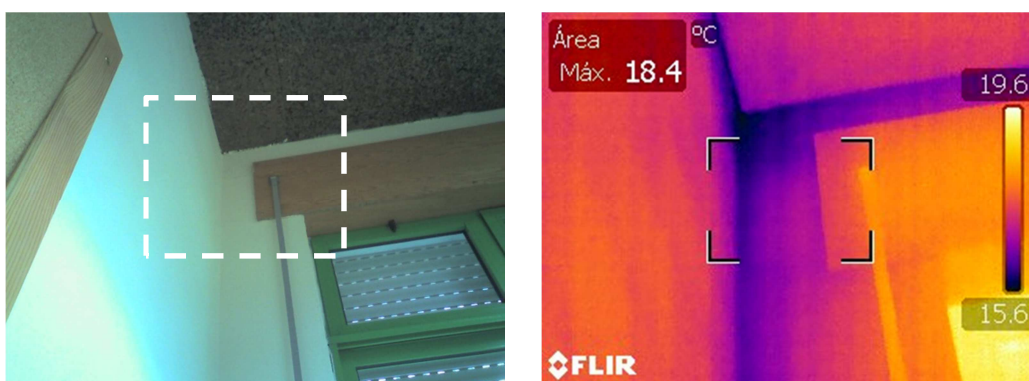


Figura 5.23: Registo termográfico do canto superior, da parede exterior, da sala de aula da escola ESV.

- Na escola ESCR, verifica-se a existência de PTL no perímetro dos vãos exteriores (Figura 5.24). As manchas mais escuras observadas nas ombreiras indicam a fixação das placas de gesso cartonado através da colagem, por pontos, directamente sobre o elemento de suporte existente.



Figura 5.24: Registo termográfico de um vão exterior da sala de aula da escola ESCR.

- Na escola ESGO, verifica-se a existência de PTL na ligação ente a fachada e paredes interiores, bem como na ligação entre a fachada e o pavimento térreo (Figura 5.25). Verifica-se ainda a existência de PTP através dos pórticos de betão, na zona de ligação com a fachada (Figura 5.26).

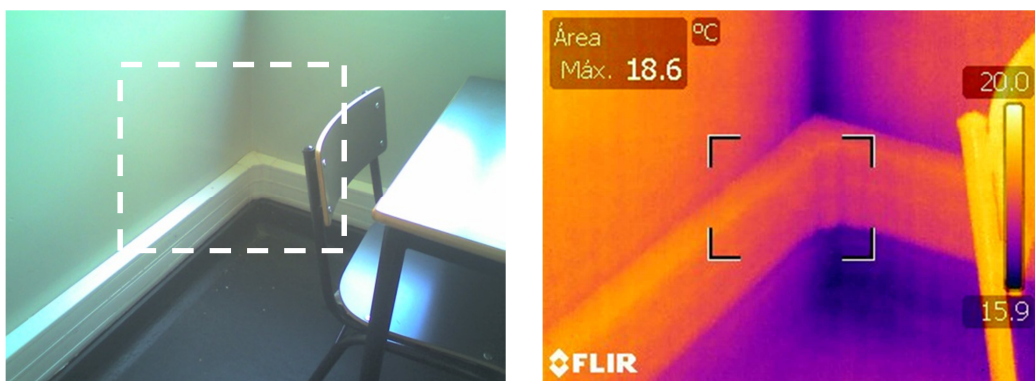


Figura 5.25: Registo termográfico de parte da parede exterior da sala de aula da escola ESGO.

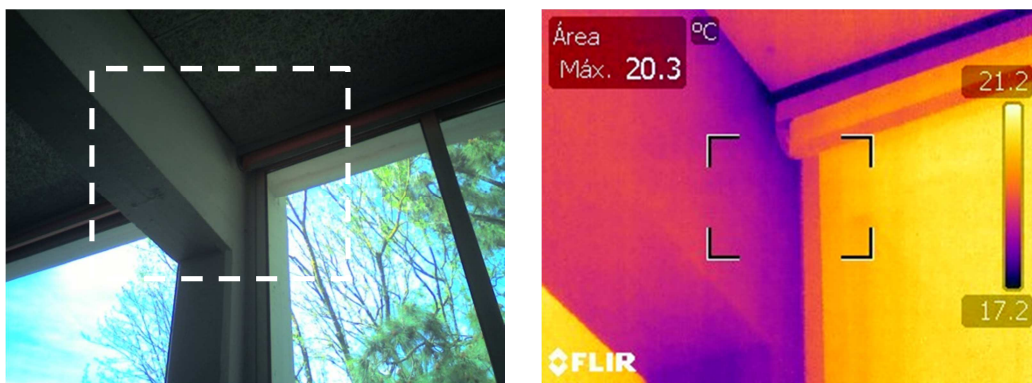


Figura 5.26: Registo termográfico do nó de ligação viga-pilar da sala de aula da escola ESGO.

- Na escola ESSR, regista-se a existência de PTP devido à da existência de elementos estruturais na fachada (pilares) que, de acordo com o registo termográfico das Figuras 5.27 e 5.28, evidencia a aplicação directa do revestimento em placas de gesso cartonado sobre os elementos de suporte existentes.

Pela análise da Figura 5.29, é possível verificar a existência de PTL no perímetro dos vãos exteriores. Nesta escola, também se observa manchas mais escuras nas ombreiras indicando a fixação do revestimento em placas de gesso cartonado por colagem (por pontos), directamente sobre o elemento de suporte existente.

Através do registo termográfico da Figura 5.30, foi ainda possível registar a existência de PTL na ligação entre a fachada e o pavimento térreo, sendo uma zona susceptível à acumulação de humidade.

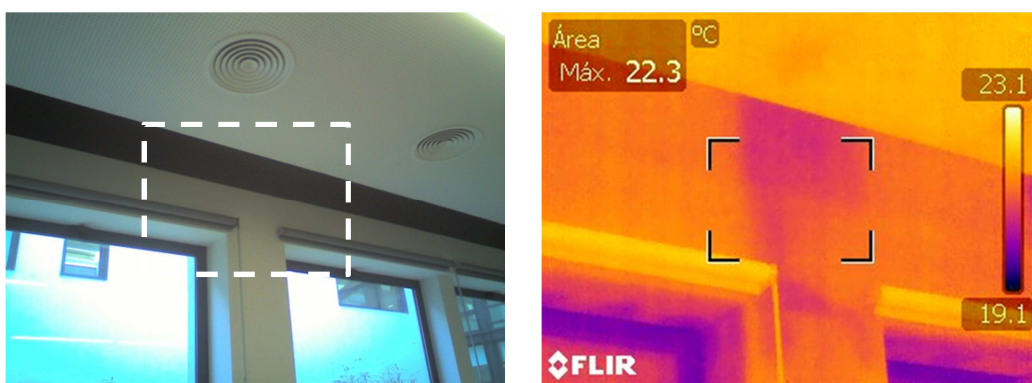


Figura 5.27: Registo termográfico na zona de pilar, a meio da sala de aula da escola ESSR.

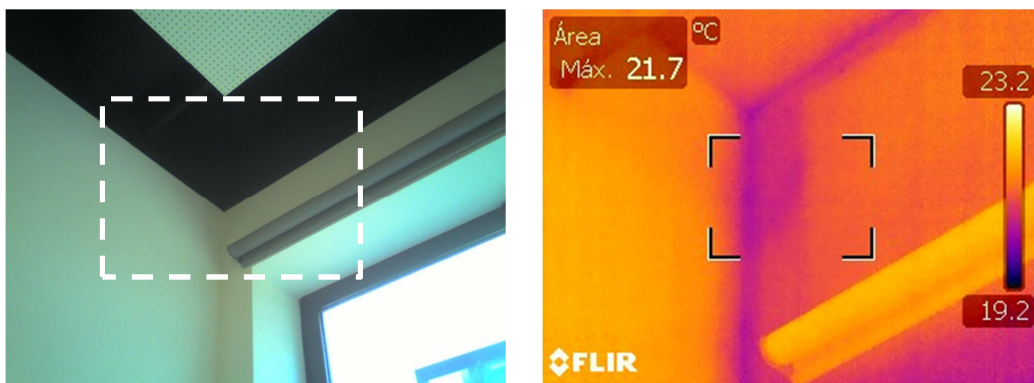


Figura 5.28: Registo termográfico no canto superior da fachada da sala de aula da escola ESSR.

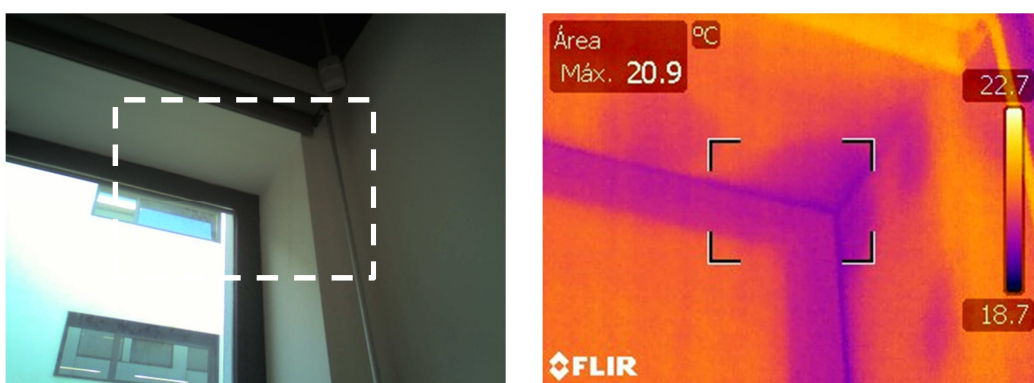


Figura 5.29: Registo termográfico no canto do vão exterior da sala de aula da escola ESSR.

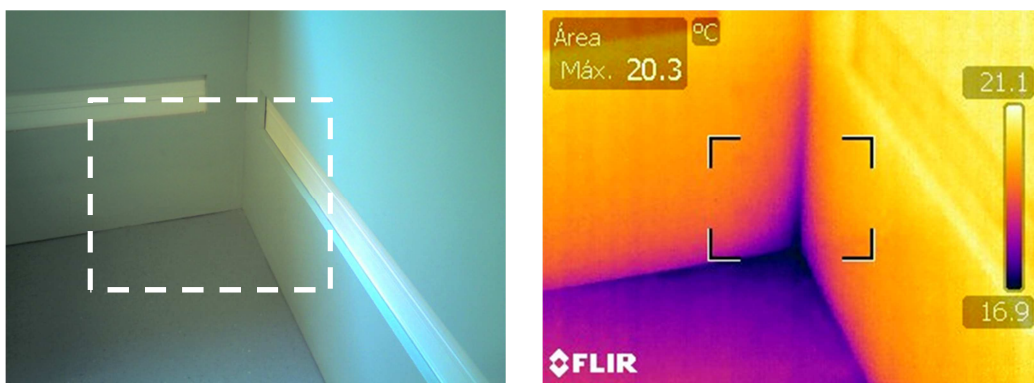


Figura 5.30: Registo termográfico no canto inferior da fachada da sala de aula da escola ESSR.

5.3.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE FACTORES AMBIENTAIS REGISTRADOS

5.3.4.1. Condições Climáticas Exteriores

Durante a execução das medições nas escolas, foram registadas as condições climáticas exteriores junto à fachada de cada sala de aula em análise, parâmetros fundamentais na análise do

desempenho termo-higrométrico. Os dados recolhidos no exterior de cada escola encontram-se na tabela seguinte (Tabela 5.3), sendo a amplitude térmica e variação da humidade relativa valores registados pela estação meteorológica do ISEP [54] durante o dia do ensaio.

Escola	Orientação da fachada da sala de aula	Estado do tempo	Temperatura média registada (°C)	Amplitude térmica diária registada (°C) (*)	Hr média registada (%)	Variação de Hr diária registada (%) (*)	Velocidade média do vento (m/s)	Direcção do vento
ESAN	Norte	Nebulosidade	15,4	5,8	54,5	33,0	0,34	W → E
EBSL	Nordeste	Precipitação	18,2	2,6	67,5	8,0	0,37	W → E
ESV	Nordeste	Nebulosidade	15,9	2,6	72,8	8,0	2,37	W → E
ESJA	Este	Sol	20,1	6,3	46,0	30,0	1,62	S → N
ESCR	Norte	Nebulosidade	15,3	6,1	30,2	31,0	1,99	W → E
ESGO	Nordeste	Sol	18,1	11,1	59,5	47,0	2,55	W → E
ESSR	Noroeste	Sol	16,9	11,1	65,9	47,0	0,90	W → E
ESP	Nordeste	Sol	20,5	6,3	48,4	30,0	1,21	W → E

(*) Amplitude térmica e humidade relativa registada durante o dia do ensaio, segundo os dados da estação meteorológica do ISEP [54]

Tabela 5.3: Tabela resumo das condições climáticas exteriores.

Através da sua análise verifica-se que, no mês de Abril, a temperatura média exterior varia entre os 15°C e os 20°C apresentando amplitudes térmicas elevadas que chegam aos 11°C. O ar exterior apresenta valores uma Hr elevados, cuja variação ocorre entre os 8% e os 47%. Estes valores são os normais para o mês em questão e enquadram-se nos valores característicos da estação de aquecimento.

Durante a realização das medições, a velocidade do vento era reduzida (vento fraco) e a sua direcção era paralela à fachada.

As fachadas das salas de aula não estavam sujeitas a radiação solar directa pois encontravam-se orientadas no quadrante Norte, com a excepção a escola ESJA que estava voltada para o quadrante Este, estando exposta à radiação solar apenas durante a manhã.

5.3.4.2. Ventilação

No que se refere à ventilação das salas de aula, constata-se que nas escolas não reabilitadas a renovação do ar é efectuada de forma natural através da abertura dos vãos exteriores e interiores. Nas escolas reabilitadas, por sua vez, a renovação do ar no interior realiza-se quer por meio de um sistema de ventilação mecânica ou por abertura dos vãos exteriores.

Aquando da realização das medições, apenas se verificou a existência de fluxos de ar no interior das salas de aula de 4 escolas:

- Escolas não reabilitadas: Apenas três escolas apresentavam um fluxo de ar natural (ESAN, EBSL e ESV) com os vãos exteriores fechados – ventilação segundo a orientação transversal à sala de aula;
- Escolas reabilitadas: Apenas a ESCR apresentava o sistema de ventilação das salas de aula em funcionamento. Nas restantes escolas, os respectivos equipamentos de ventilação encontravam-se desligados e não se registou qualquer movimentação do ar devido a acções naturais com os vãos exteriores fechados (gradiente térmico e/ou por acção da pressão dinâmica do vento nas fachadas) – ventilação forçada segundo a orientação longitudinal da sala de aula.

Nas escolas não reabilitadas, devido à elevada permeabilidade das caixilharias dos vãos exteriores e interiores, as salas de aula apresentam um fluxo de ar natural devido à infiltração do ar através de frinchas e folgas existentes nas caixilharias. Nestas salas de aula, a velocidade média do fluxo de ar registado encontra-se acima do limite regulamentar estabelecido no que se refere a ventilação natural - 0,2 m/s, conforme se pode verificar na Tabela 5.4.

	Escola	Tipo de fluxo de ar existente	Temperatura Média do Fluxo de Ar (°C)	Velocidade Média do Fluxo de Ar (m/s)
Não Reabilitadas	ESAN	Natural	18,9	0,22
	EBSL	Natural	18,1	0,25
	ESV	Natural	18,1	0,24
	ESJA	Natural	20,0	0,00
Reabilitadas	ESCR	Forçado	19,5	1,78
	ESGO	Forçado	18,6	0,00
	ESSR	Forçado	20,5	0,00
	ESP	Forçado	20,7	0,00

Tabela 5.4: Tabela resumo das características de ventilação registadas nas salas de aula.

Assim, depreende-se que as velocidades médias registadas são favoráveis à provocação da sensação de desconforto térmico nos ocupantes.

Comparando a Tabela 5.4 com o Gráfico 5.1, nos quais estão indicadas a temperatura média do fluxo de ar natural e a temperatura média do ambiente exterior respectivamente, verifica-se que nas escolas ESAN e ESV o fluxo de ar natural dá-se do interior para o exterior, verificando-se simultaneamente a ocorrência de perdas térmicas através da deslocação das massas de ar.

Por sua vez, na EBSL a ventilação da sala de aula do exterior para o interior, registando-se ganhos térmicos através da ventilação natural.

No caso particular da escola ESCR, única escola reabilitada com o sistema de ventilação em funcionamento, o equipamento mecânico responsável pela renovação contínua do ar (UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo) efectua uma compensação térmica do ar insuflado por forma a minimizar as oscilações de temperatura no interior da sala de aula (em função de uma temperatura pré-definida “*set point*” através do sistema de Gestão Técnica Centralizada (GTC)) ao mesmo tempo de renova toda a massa de ar no seu interior, independentemente das temperaturas registadas no ambiente exterior.

De acordo com o Anexo VI do RSECE [22], nas salas de aula o caudal mínimo de ar novo, por ocupante, para assegurar a qualidade mínima do ar interior é de 30 m³/h.ocupante e, conforme se pode constatar na Tabela 5.5, os caudais estimados de ventilação (determinados para 28 alunos + 1 professor) não cumprem o valor mínimo regulamentar. Nas escolas não reabilitadas o caudal de ventilação natural é muito reduzido (inferior a 4 m³/h), não sendo suficiente para assegurar a qualidade do ar no interior das salas. No entanto, como não é possível controlar esta ventilação, há ocorrência de perdas térmicas através da circulação do ar, tornando este factor desfavorável á criação de um ambiente termicamente confortável no interior das salas de aula.

Apesar de se ter registado na escola ESCR um caudal próximo do valor mínimo regulamentar, é a que apresenta a maior taxa de renovação de ar e a que assegura uma melhor qualidade do ar interior.

	Escola	Tipo de fluxo de ar existente	Volume da Sala de Aula	Estimativa do caudal total de ventilação (m ³ /h)	Estimativa do caudal de ventilação (m ³ /h.ocupante)	Taxa de renovação de ar (Nº de renovações de ar por hora)
Não Reabilitadas	ESAN	Natural	102,71	91,64	3,16	0,89
	EBSL	Natural	222,20	112,60	3,88	0,51
	ESV	Natural	186,97	105,17	3,63	0,56
	ESJA	Natural	113,93	0,00	0,00	0,00
Reabilitadas	ESCR	Forçado	141,64	797,47	27,50	5,63
	ESGO	Forçado	185,41	0,00	0,00	0,00
	ESSR	Forçado	157,47	0,00	0,00	0,00
	ESP	Forçado	154,37	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.5: Quadro resumo da quantidade de ar renovado nas salas de aula.

5.3.4.3. Temperatura

Da análise do Gráfico 5.1 verifica-se que, em 75% das escolas analisadas, a temperatura média do ambiente no interior das salas de aula é superior à temperatura média exterior. Apenas as escolas EBSL e ESJA, pertencentes ao grupo de escolas não reabilitadas da amostragem, apresentam uma temperatura média interior abaixo da temperatura média exterior.

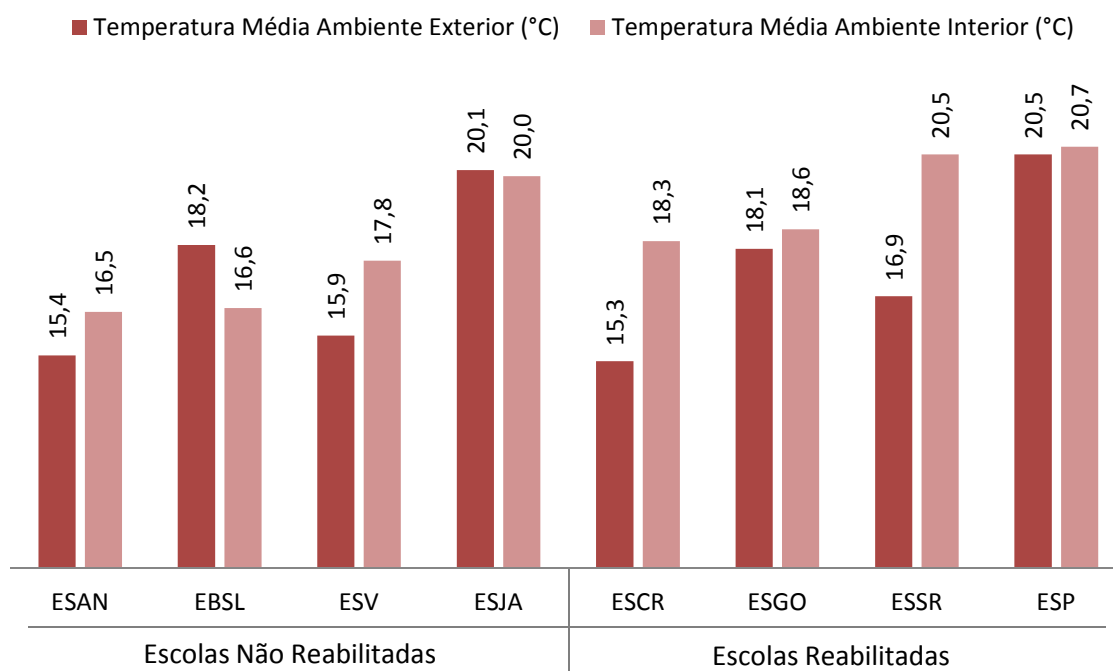


Gráfico 5.1: Temperatura média do ar exterior e interior por Escola, expressa em °C.

No entanto, dado que as salas estavam em utilização antes da realização das medições, deverá ser feita uma abordagem tendo presente quer as características térmicas da envolvente exterior, como também os ganhos térmicos com origem na carga térmica proporcionada pelos ocupantes.

Nas escolas não reabilitadas verifica-se que a temperatura ambiente interior aproxima-se da temperatura exterior. Apesar do contributo da carga térmica dos ocupantes para o aumento da temperatura média interior, a temperatura do ar nas salas de aula destas escolas encontra-se abaixo da temperatura de conforto regulamentar para esta estação (estação de aquecimento: 20°C). Este facto é indicador de um mau desempenho térmico das salas de aula.

Dado que a envolvente exterior da escola EBSL é composta por uma grande área de envidraçados sem propriedades térmicas (vidro simples e caixilharia de alumínio sem corte térmico) e elementos esbeltos em betão à vista, o ambiente interior é fortemente condicionado pelas condições ambientais exteriores. Porém, verifica-se uma diferença de 1,6°C. Esta diferença deve-se à

instabilidade meteorológica que se fez sentir no dia da realização das medições (ocorrência precipitação seguida de períodos de céu limpo).

Deste grupo de escolas, apenas a escola ESJA apresenta uma temperatura interior ideal no entanto, como é idêntica à temperatura exterior, não é possível concluir se a sala de aula apresenta um bom ou mau desempenho térmico.

Quanto às escolas reabilitadas, estas apresentam uma temperatura interior superior à temperatura exterior e próximas da temperatura de conforto regulamentar adequada para a estação em que foram realizadas as medições. Deste grupo de escolas, destacam-se as escolas ESCR e ESSR por apresentarem a maior diferença entre a temperatura exterior e interior evidenciando, à partida, um bom desempenho térmico do sistema adoptado na reabilitação da envolvente exterior.

Através da análise do Gráfico 5.2, no qual estão representadas as temperaturas médias registadas na superfície exterior e interior da envolvente opaca da fachada em cada escola, constata-se que apenas as escolas reabilitadas ESCR e ESSR apresentam a maior diferença de temperaturas entre a superfície exterior e interior, cerca de 4,8°C e 5,2°C respectivamente, evidenciando uma elevada resistência térmica da envolvente exterior opaca.

As escolas ESAN, ESV e ESJA, apesar de não intervencionadas, apresentam uma pequena resistência térmica devido ao facto de a parede de fachada ser constituída por alvenaria dupla de tijolo cerâmico vazado com caixa-de-ar, porém a resistência térmica proporcionada é insuficiente para minimizar as perdas térmicas por este elemento da envolvente.

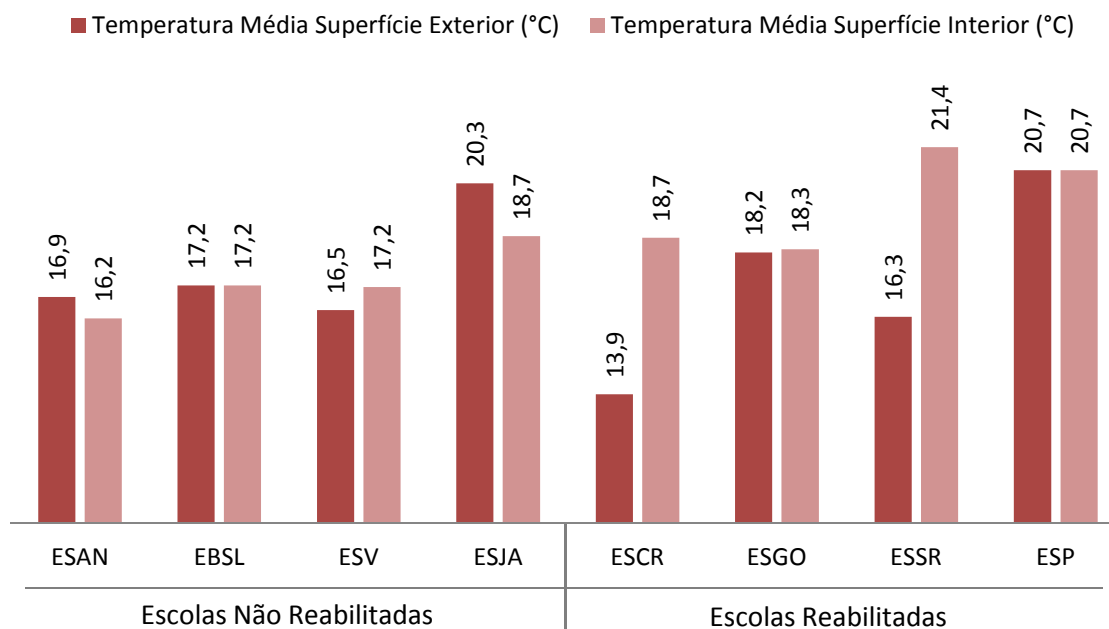


Gráfico 5.2: Temperatura média de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa em °C.

Comparando as temperaturas do ar e as temperaturas da superfície da fachada, conforme representado no Gráfico 5.3, é possível verificar o sentido do fluxo térmico na fachada que, na maioria dos casos, ocorre do interior para o exterior do edifício escolar, conforme seria espectável para a altura do ano em que foram realizadas as medições.

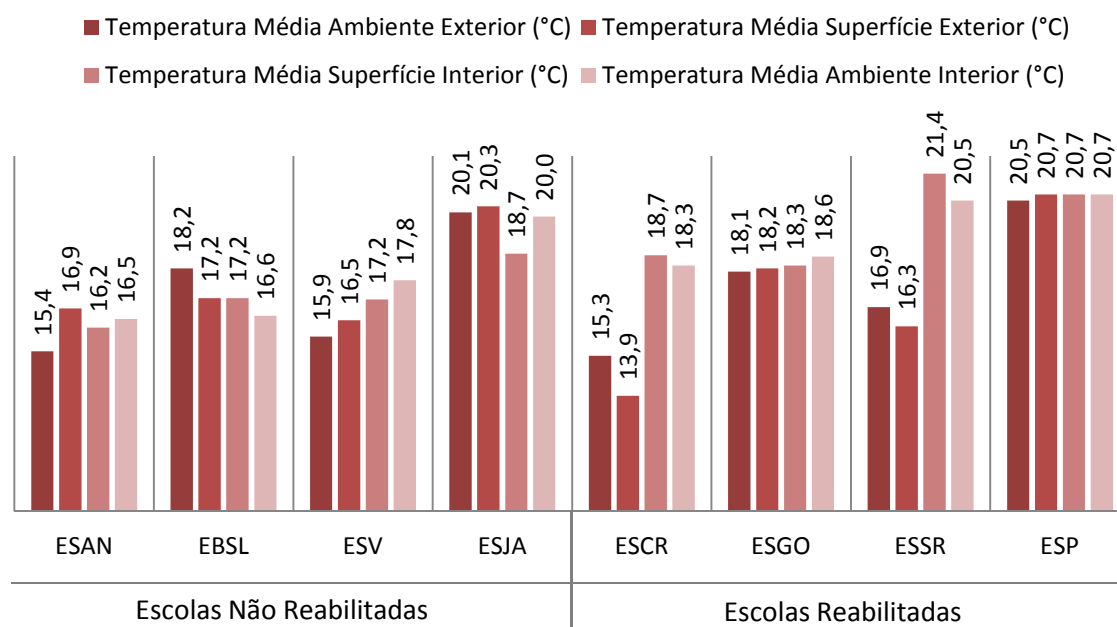


Gráfico 5.3: Temperatura média do ar e de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa em °C.

5.3.4.4. Humidade Relativa

Da análise do Gráfico 5.4 referente à Humidade Relativa (Hr) do ar, constata-se a presença de uma grande quantidade de vapor de água no ar interior, quer nas escolas reabilitadas, quer nas escolas não reabilitadas. Esta elevada concentração de humidade deve-se à produção de vapor de água resultante da presença e actividade dos ocupantes.

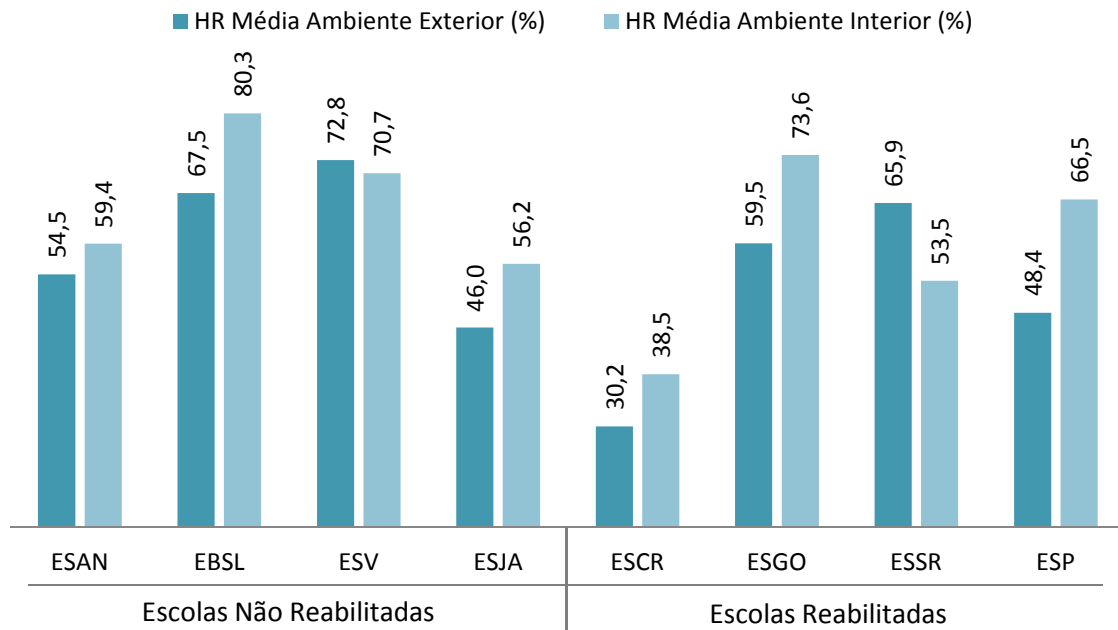


Gráfico 5.4: Humidade Relativa (HR) média do ar exterior e interior por Escola, expresso em %.

Verifica-se que todas as escolas apresentam uma Hr superior a 50%, com a exceção da escola ESCR que apresenta uma Hr do ar interior de 38,5%. Este facto justifica-se por ser a única escola, de toda a amostragem, cujo sistema de renovação de ar interior se encontrava em funcionamento aquando da realização das medições.

As escolas não reabilitadas EBSL, ESV e a escola reabilitada ESGO são as que apresentam uma percentagem de Hr do ar mais elevada, acima dos 70%. Esta percentagem está relacionada com a ausência de uma ventilação adequada do ar interior.

Verifica-se ainda que as escolas reabilitadas ESGO, ESSR e ESP apresentam maior diferença entre a Hr interior e a Hr exterior devido à baixa permeabilidade ao ar das caixilharias e pela ausência de ventilação (natural ou mecânica).

Por sua vez, nas escolas não reabilitadas, a Hr interior aproxima-se da Hr exterior devido à existência de fluxos de ar natural no interior das salas de aula, consequente da elevada permeabilidade ao ar das caixilharias dos vãos interiores e exteriores. Apesar destes fluxos de ar apresentarem um valor reduzido, são suficientes para transportar uma quantidade significativa de vapor de água do exterior para o interior e vice-versa.

Relativamente à percentagem de Hr existente na superfície exterior e interior da envolvente opaca, verifica-se que todas as escolas apresentam valores abaixo dos 15% (Gráfico 5.5), o que indica a presença de vapor de água, em domínio higroscópico, nos materiais de revestimento aquando da realização das medições.

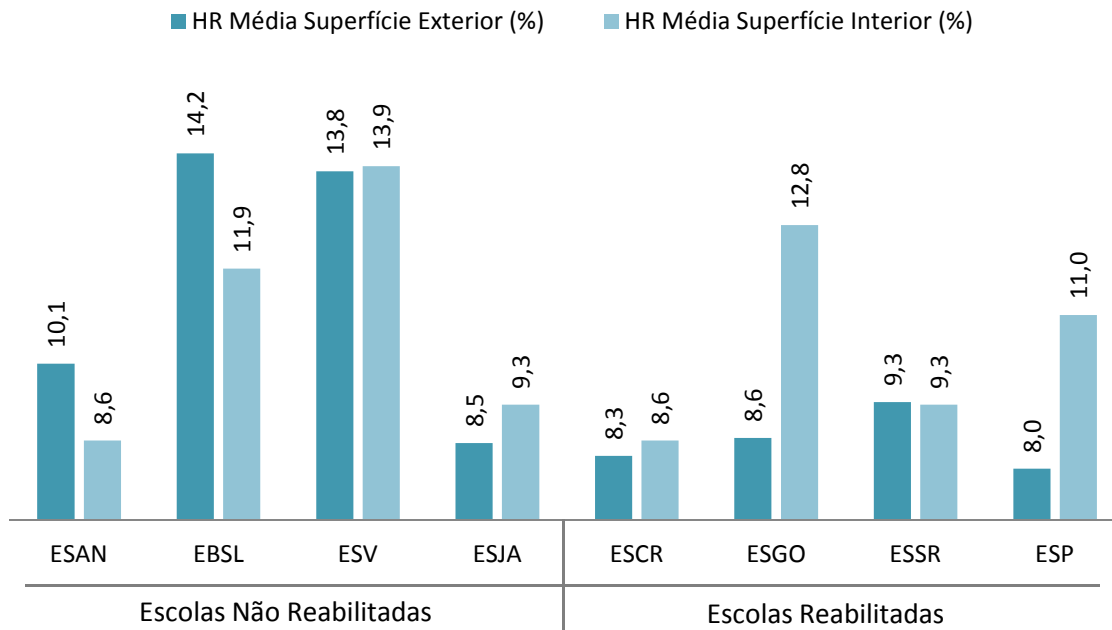


Gráfico 5.5: Humidade Relativa (HR) média de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa em %.

Face à elevada concentração de vapor de água presente no ar, seria espectável que os materiais de revestimento, devido às suas características higroscópicas, apresentassem uma percentagem de Hr também elevada (exemplo dos revestimentos em placas de gesso cartonado nas escolas reabilitadas e da existência de rebocos interiores à base de gesso nas escolas não intervencionadas). Através da análise do Gráfico 5.6, constata-se uma pequena adsorção do vapor de água nos materiais de revestimento face à elevada percentagem Hr presente no ar. Este facto deve-se, essencialmente, ao efeito impermeabilizante das tintas utilizadas no acabamento dos materiais.

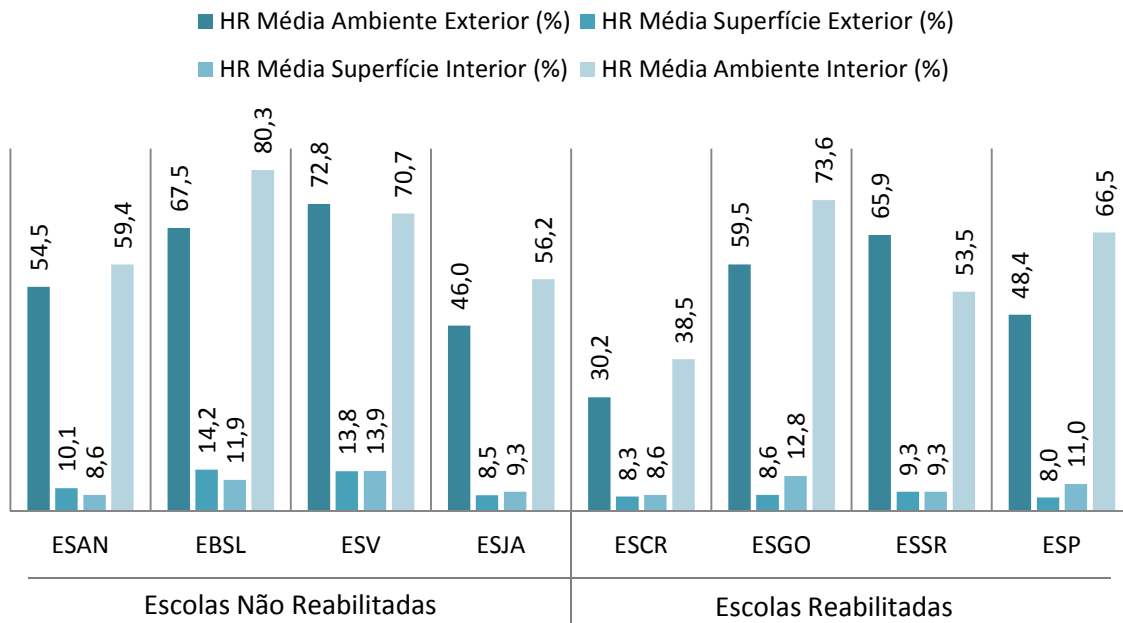


Gráfico 5.6: Humidade Relativa (HR) do ar e de superfície da envolvente exterior e interior por Escola, expressa %.

Esta atenuação das características higroscópicas é favorável nos revestimentos exteriores uma vez que minimiza a penetração do vapor de água proveniente do exterior, situação que se verifica em todas as escolas. Porém, no caso dos revestimentos interiores, é fundamental assegurar a inércia higroscópica dos materiais, por forma a minimizar as flutuações de Hr no ambiente interior.

Quando comparada Hr e temperatura do ar interior, Gráfico 5.7, verifica-se que as escolas não reabilitadas apresentam características do ar interior susceptíveis de provocar desconforto térmico e consequente redução da produtividade dos ocupantes, pois apresentam temperaturas baixas e uma Hr do ar muito elevada.

Nas salas de aula destas escolas, a redução de temperatura do ar não saturado provoca um aumento da humidade neste até atingir o ponto de orvalho havendo, consequentemente, o risco de ocorrência de condensações sobre os paramentos interiores.

Assim, o caso mais gravoso é o registado na escola EBSL, com uma HR na ordem dos 80,3% e uma temperatura média interior de 16,6°C, como seria previsível face às características da envolvente e anomalias registadas.

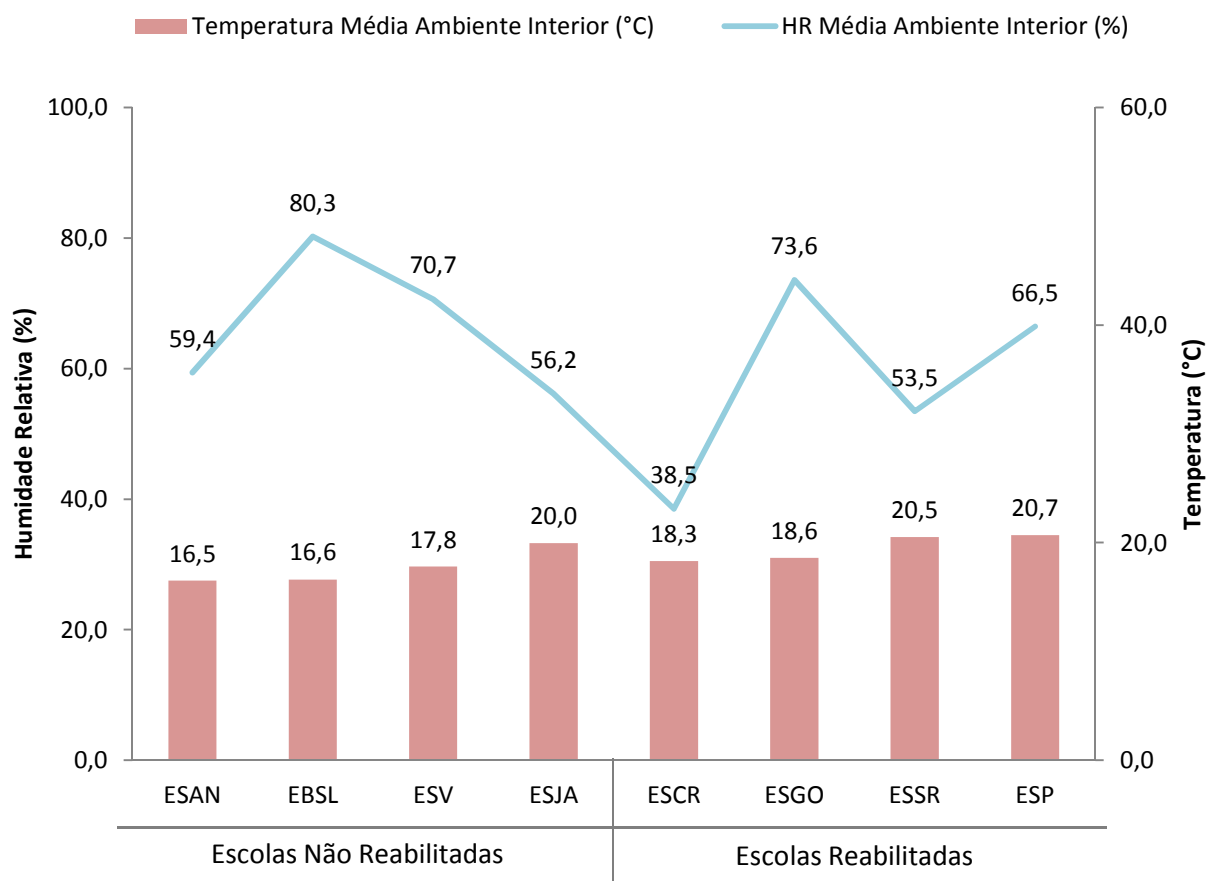


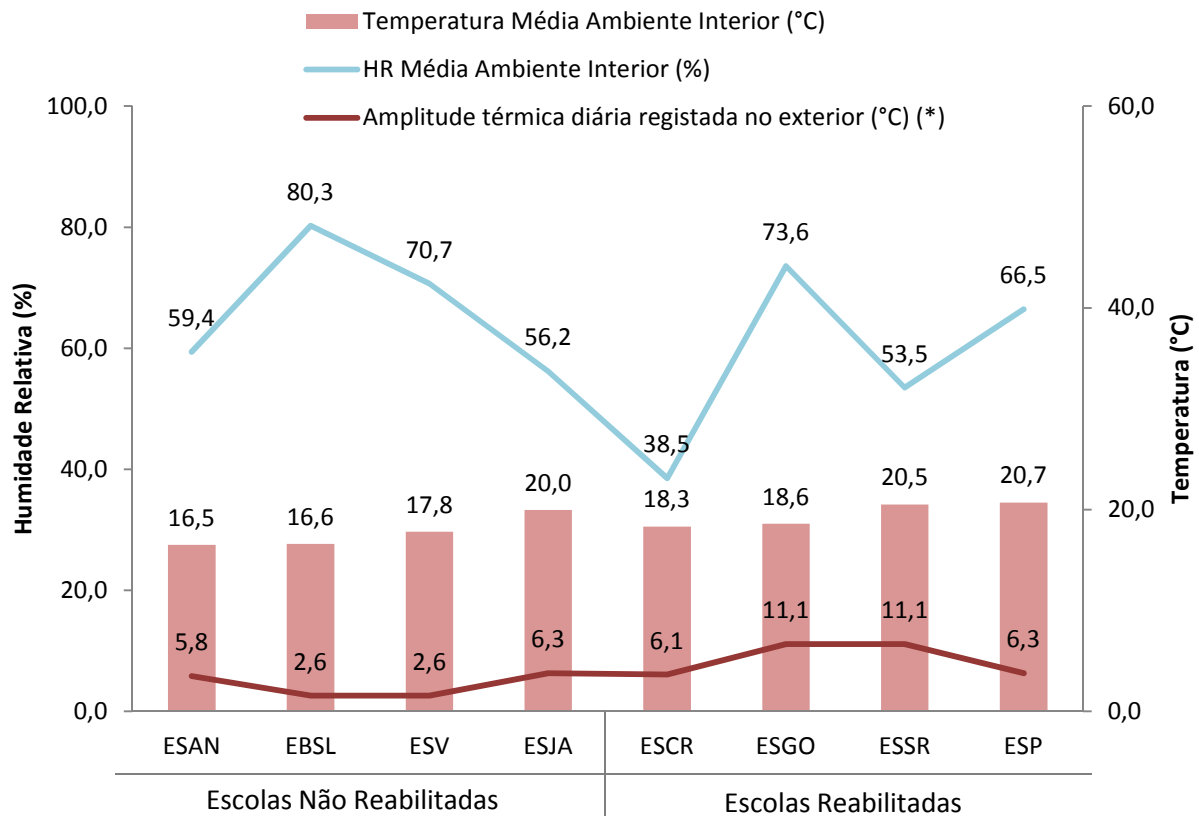
Gráfico 5.7: Temperatura média e Humidade Relativa (HR) do ar interior, por Escola.

5.4. ANÁLISE DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES

No presente subcapítulo é efectuada uma análise do risco de ocorrência de condensações no interior das salas de aula, com base nos dados das medições efectuadas.

Face à inexistência de informação das espessuras dos elementos constituintes da envolvente exterior das escolas não reabilitadas, será apenas efectuada uma análise detalhada (determinação do risco de condensação interna, durante o ano, através do método de Glaser) para as escolas reabilitadas.

Conforme referido no ponto anterior, perante a elevada percentagem de vapor de água presente no interior das salas de aula, há o risco de ocorrência de condensações superficiais no interior das salas de aula. Ao efectuar a comparação entre a amplitude térmica exterior e a temperatura média e Hr do ar interior (Gráfico 5.8) constata-se que, no dia em que foram realizadas as medições, todas as escolas eram susceptíveis à ocorrência de condensações.



(*) Amplitude térmica exterior registada durante o dia em que foram realizadas as medições, segundo os dados da estação meteorológica do ISEP [54].

Gráfico 5.8: Comparação entre a Amplitude térmica exterior e a temperatura média e Humidade Relativa (HR) do ar interior, por Escola.

Nas escolas não reabilitadas, face à inexistência de isolamento térmico na envolvente, esse risco é agravado.

A escola EBSL, apesar de estar exposta a uma amplitude térmica menor que as restantes, é a que apresenta a Hr interior mais elevada (80.3%) verificando-se assim uma probabilidade elevada de ocorrência condensações no interior (na superfície dos vãos envidraçados e nos elementos de betão que compõe a fachada). Facto que se verificou no dia da execução das medições nesta escola (Figura 5.14).

Nas escolas ESAN, ESV e ESJA, apesar que existir uma caixa-de-ar no interior da fachada, são susceptíveis à ocorrência de condensações nas superfícies dos elementos da envolvente que apresentam menor resistência térmica como é o caso dos vãos envidraçados (vidro simples), elementos estruturais (PTP), zonas de ligação entre elementos (PTL), bem como a ocorrência de condensações no interior da caixa-de-ar.

No que se refere às escolas reabilitadas, numa primeira análise, constata-se que a escola ESGO é a que apresenta maior probabilidade de ocorrência de condensações na superfície dos elementos de betão da fachada.

Na escola ESCR, o risco de ocorrência de condensações é muito baixo porém dever-se-á ter em atenção o perímetro das caixilharias (zona de ponte térmica linear), conforme referido no ponto 5.3.3. do presente capítulo.

As escolas ESSR e ESP, também apresentam um risco de ocorrência de condensações baixo devido à existência de isolamento térmico pelo exterior que confere uma inércia térmica forte à envolvente.

Seguidamente é efectuada uma análise do risco de ocorrência de condensações no interior das salas de aula, com maior detalhe, através da aplicação do Método de Glaser. Dado não existirem elementos de projecto referentes às escolas não reabilitadas que evidenciem os materiais que constituem as fachadas das escolas, a presente análise contempla apenas as escolas reabilitadas.

5.4.1. Aplicação do método de Glaser na análise das escolas reabilitadas

Para verificar a ocorrência de condensações nas salas de aula foi elaborada uma folha de cálculo, com base no método de Glaser e a Norma ISO 13788, na qual são comparadas as pressões de vapor do ar e a saturação da pressão de vapor ao logo dos elementos da fachada.

Numa primeira fase, é verificada a possibilidade de ocorrência de condensações internas mediante os valores médios de temperatura e humidade relativa do ar medidos em cada sala de aula.

Posteriormente é efectuada a análise do risco de ocorrência de condensações superficiais ao longo do ano, bem como a verificação da ocorrência de condensações internas para o mês mais gravoso (Janeiro), tendo como referência os dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) [53], nomeadamente a média da temperatura média das normais climatológicas referentes ao período de 1981 a 2010 (dados provisórios), bem como os valores médios de humidade relativa registados no mesmo período, no distrito do Porto [26].

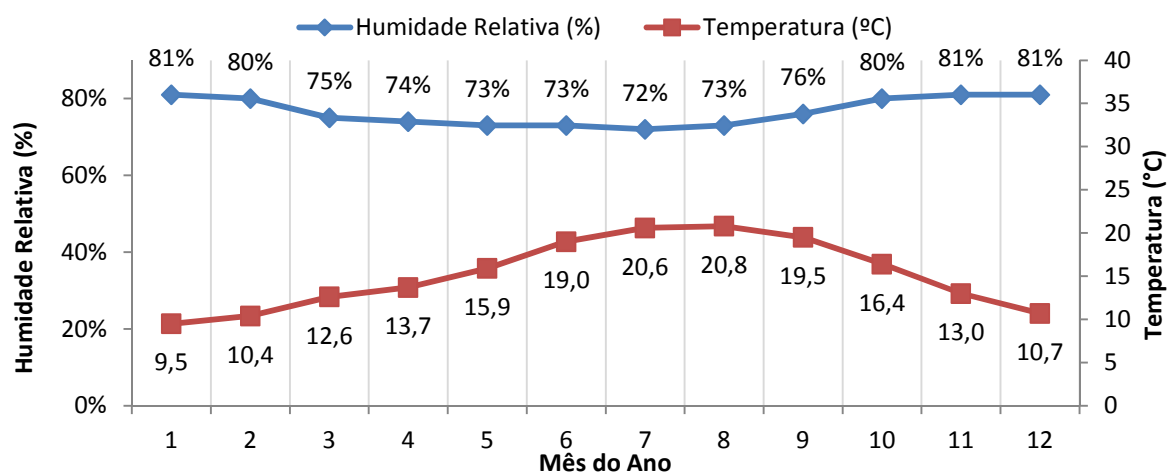


Gráfico 5.9: Variações médias mensais de temperatura e humidade relativa no distrito do Porto (Fonte [26] e [53]).

A análise é efectuada para duas soluções construtivas presentes na envolvente exterior opaca de cada sala de aula: solução de parede exterior e zona de elementos estruturais (PTP), identificadas segundo a referência constante nas respectivas fichas de levantamento de dados (Anexo III): PE.A1 e PE.A2, respectivamente.

De acordo com a simulação efectuada (Anexo IV), verifica-se que nenhuma das escolas apresenta risco de condensação interna mediante as condições ambientais observadas no local, apresentando uma elevada diferença entre a pressão de saturação e a pressão de ar.

No entanto, para a análise efectuada com base nos valores médios de Hr e temperatura do mês de Janeiro (Gráfico 5.9), constata-se o seguinte:

- ESCR – apresenta ocorrência teórica de condensações no interior da caixa-de-ar na zona de parede (PE.A1) e também no interior da zona de PTP (PE.A2);
- ESGO – apresenta ocorrência teórica de condensações no interior da zona de parede (PE.A1). Dado que esta escola apresenta um elemento em betão sem qualquer revestimento ou isolamento (peitoril dos vãos exteriores) verificou-se que, dada à sua dimensão de 60cm, não apresenta risco de condensação superficial;
- ESSR – apresenta ocorrência teórica de condensações apenas no interior da caixa-de-ar, na zona dos elementos estruturais (PE.A2).

Nestas escolas, este fenómeno termo-higrométrico pode levar à degradação dos materiais e também à alteração das suas características térmicas, pois os isolamentos como a lã de rocha (e outros materiais) quando estão húmidos perdem significativamente a sua resistência térmica. Isto significa que a capacidade do isolamento cumprir a sua função fica comprometida, podendo as condensações gerar problemas de ordem térmica, como é o caso das escolas ESCR e ESGO que apresentam o respectivo isolamento térmico na caixa-de-ar. Estas duas escolas não possuem um sistema de escoamento da caixa-de-ar o que agrava substancialmente a degradação destes materiais.

A escola ESSR como tem um revestimento térmico pelo exterior em sistema ETIC, não seria espectável a ocorrência de condensações no interior da envolvente. No entanto, verifica-se a ocorrência teórica de condensações no interior da caixa-de-ar (proporcionada pela estrutura de fixação das placas de gesso cartonado) devido ao deficiente dimensionamento do isolamento térmico. A sua ocorrência poderá dar origem a manchas de humidade e formação de fungos e bolores no revestimento interior.

Da simulação efectuada, verificou-se ainda que nenhuma escola reabilitada apresenta risco de ocorrência de condensações superficiais durante o ano.

Assim, pode-se concluir que na estação de aquecimento este fenómeno é agravado pois as temperaturas exteriores descem a valores muito baixos fazendo com que a higrotermia nos edifícios seja mais elevada.

Como tal, verifica-se a necessidade de ventilar as salas de aula, aumentar a sua temperatura interior e aumentar a resistência à difusão do vapor de água da envolvente.

5.5. ESTIMATIVA DO CONFORTO TÉRMICO NAS SALAS DE AULA

Para efectuar a estimativa do conforto térmico nas salas de aula, é usado no presente capítulo o método apresentado pela norma ISO 7730:2005 [08] para determinação analítica do voto médio estimado (PMV) e da percentagem prevista de insatisfeitos (PPD).

Nesta estimativa, são considerados os valores médios registados nas escolas, nomeadamente: a velocidade média do fluxo de ar (ϑ_{ar}), a temperatura média do ambiente interior (t_a), a temperatura média de superfície da envolvente opaca (t_r) e a humidade relativa média do ambiente interior (HR_a).

Para a caracterização do ocupante modelo (um aluno com idade entre os 10 e os 18 anos) são considerados os valores das Tabelas 3.1 e 3.2 do capítulo 3, referentes à taxa metabólica e isolamento térmico proporcionado pelo vestuário, respectivamente. Uma vez que as medições foram realizadas na estação de aquecimento, considera-se as características aproximadas de um aluno durante nesta estação, durante uma aula normal (actividade física reduzida):

- Taxa metabólica (M) – Actividade sedentária – 1,2 *met*
- Vestuário (I_{cl}) – Calças, camisa de manga comprida, t-shirt e camisola – 1.01 *clo*

No presente cálculo considerou-se que energia mecânica efectiva (W) inerente à reduzida actividade é praticamente nula ($W = 0$).

Através da aplicação das fórmulas de cálculo apresentadas no ponto 3.3.1 e 3.3.2 do Capítulo 3, obtiveram-se os seguintes resultados:

Escola	ϑ_{ar} (m/s)	t_a (°C)	t_r (°C)	HR_a (%)	I_{cl} (clo)	M (met)	PMV	PPD (%)
ESAN	0,22	16,5	16,2	59,4	1,01	1,2	-1,34	43
EBSL	0,25	16,6	17,2	80,3	1,01	1,2	-1,20	36
ESV	0,24	17,8	17,2	70,7	1,01	1,2	-1,05	28
ESJA	0	20	18,7	56,2	1,01	1,2	-0,39	8
ESCR	1,78	18,3	18,7	38,5	1,01	1,2	-1,74	64
ESGO	0	18,6	18,3	73,6	1,01	1,2	-0,53	11
ESSR	0	20,5	21,4	53,5	1,01	1,2	-0,09	5
ESP	0	20,7	20,7	66,5	1,01	1,2	-0,06	5

Tabela 5.6: Tabela resumo do cálculo dos índices PMV e PPV.

O voto estimado para todas as escolas é um voto médio negativo e, atendendo à Tabela 3.3 (tabela referente à escala de sensação térmica do método PMV - ponto 3.3.1, capítulo 3), pode-se concluir que em média os ocupantes apresentam uma leve sensação de frio.

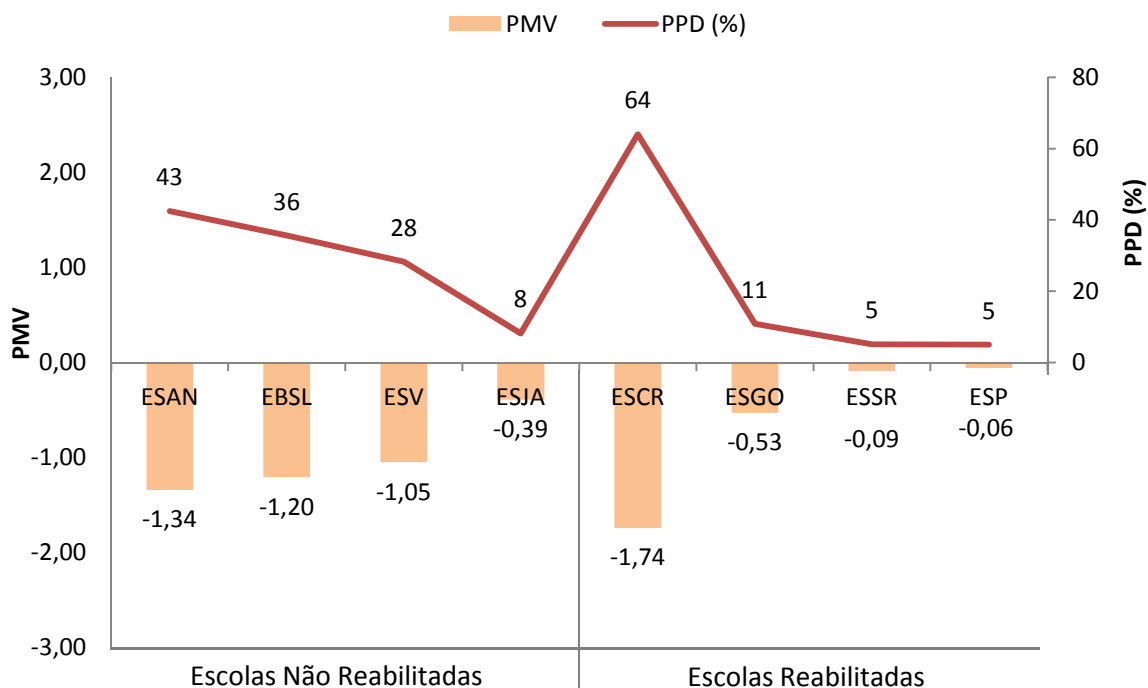


Gráfico 5.10: Representação gráfica dos índices PMV e PPD estimados, por escola.

Nas escolas não reabilitadas, estima-se que os seus ocupantes manifestam maior desconforto térmico que nas escolas reabilitadas, o que origina uma maior percentagem estimada de insatisfeitos (PPD).

Os valores de PMV estimados para as escolas reabilitadas são próximos de 0, o que traduz uma sensação de conforto. O único caso divergente neste grupo de escolas é a escola ESCR que apresenta um índice PMV próximo de -2 (ambiente frio), isto deve-se o facto de se ter registado uma velocidade do ar no interior da sala elevado que provoca um aumento das perdas de calor por convecção na pele devido ao movimento do ar. Consequentemente, a percentagem estimada de insatisfeitos (PPD) nesta escola será maior que nas restantes.

É de referir que este método apenas tem em conta os factores ambientais e as características básicas dos ocupantes, tendo como base a estimativa da sensação térmica manifestada pelos ocupantes, não considerando características de qualidade do ar (como por exemplo a taxa de renovação de ar) que propiciam um ambiente adequado à ocupação humana.

Desta análise pode-se deduzir que, nas salas de aula das escolas não reabilitadas, o ambiente térmico poderá afectar negativamente o desempenho dos alunos.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Com o trabalho efectuado nesta dissertação, pretende-se dar um contributo para a concepção dos edifícios no âmbito do comportamento termo-higrométrico de forma a proporcionar um ambiente interior com níveis de qualidade satisfatórios para os seus utilizadores.

Embora o trabalho aqui efectuado incida apenas na análise de oito escolas, procurou-se com este estudo experimental identificar e caracterizar o comportamento higrotérmico deste tipo de construções, por forma a compreender o desempenho de outras construções com as mesmas características.

Quanto aos conhecimentos básicos, razão de ser do Capítulo 3 e 4 referentes ao Conforto Térmico e o Comportamento Termo-Higrométrico respectivamente, ressalta o papel fundamental da fase inicial do processo de concepção dos edifícios. Nesta fase é essencial que a equipa de projecto equacione todos os aspectos relevantes que possam influenciar de forma decisiva o modo como a relação entre o edifício e o seu utilizador se irá desenvolver.

O conforto térmico dos ocupantes é afectado por diversos factores não só humanos, mas também factores ambientais tais como a temperatura do ar, temperaturas superficiais, humidade relativa e a circulação do ar. O desempenho destes factores ambientais é decisivo no comportamento termo-higrométrico ao longo da vida útil do edifício, sendo certo que o seu desequilíbrio tem implicações sobre a saúde dos ocupantes.

A análise efectuada ao conforto térmico e ao comportamento termo-higrométrico das oito salas de aula permite obter uma percepção do desempenho destes espaços antes e após as obras de reabilitação, sendo possível observar uma evolução do grau de exigência das condições de conforto no interior. Contudo, nas escolas reabilitadas, apesar de satisfazerem as exigências regulamentares, os métodos usados para atingir os requisitos de conforto interior são os menos racionais, isto é, verifica-se a instalação sistemática de equipamentos mecânicos de climatização em vez do aproveitamento das condições climáticas locais através da implementação de sistemas de aquecimento e arrefecimento passivos. Este facto leva a um maior consumo energético e a uma maior dependência de um sistema de ventilação puramente mecânico.

Consecutivamente, as escolas não possuem um poder económico que permita manter os equipamentos de ventilação e climatização das salas de aula em funcionamento. Sem estes sistemas, o conforto e as condições ambientais interiores são seriamente agravadas, podendo inclusive apresentar níveis de conforto e de qualidade do ar piores que antes da sua intervenção, conforme se constatou no Capítulo 5.

O valor do caudal mínimo de ar novo definido no RSECE para as salas de aulas (30 m³/h.ocupante) é elevado quando se tem em consideração a rotina diária de ocupação das salas de aula normais e as características antropométricas dos ocupantes. Pois, de acordo com a análise efectuada à escola ESCR, única escola com o sistema de renovação de ar em funcionamento e que apresenta um caudal de ar novo de 27,5 m³/h.ocupante, verificou-se que o índice de desconforto estimado é muito elevado, quando comparada com as escolas não reabilitadas cuja ventilação se processa apenas de forma natural. Este índice de desconforto é consequência do nível de ventilação presente no interior da sala que provoca um aumento das perdas de calor por convecção na pele devido ao movimento do ar.

Em síntese, a análise efectuada às salas de aula das oito escolas permitiu concluir que as escolas não intervencionadas para além de não apresentam estabilidade térmica no seu interior, o que se deve à fraca inércia térmica das suas paredes, apresentam ainda elevados valores de humidade relativa e não possuem ventilação suficiente para realizar a extracção do vapor de água produzido no seu interior.

Nestas escolas é conveniente uma reabilitação térmica global, tendo presente o desempenho higrométrico e o respectivo impacto económico na fase de utilização. Deverá ainda ser ponderada a implementação de sistemas simples e económicos de ventilação natural ou híbrida, tendo em conta as limitações do sistema e a variabilidade de distribuição de pressões devidas à circulação atmosférica e à convecção térmica.

Quanto às escolas reabilitadas, apesar das salas de aula possuírem temperaturas mais agradáveis e constantes, regista-se uma grande quantidade de vapor de água no seu interior resultado da falta de ventilação dos espaços. Este facto combinado com a susceptibilidade de algumas escolas apresentarem risco de ocorrência de condensações internas, poderá conduzir a uma degradação acelerada dos materiais e ao aparecimento de manchas de humidade, fungos e bolores no revestimento. Dado que nestas escolas os espaços foram organizados e concebidos em função dos sistemas de ventilação mecânica, propõe-se a instrução e sensibilização dos utilizadores no sentido de adquirirem hábitos conducentes à ventilação dos espaços através da abertura dos vãos exteriores e interiores para ventilação sempre que possível (abertura completa das janelas durante os intervalos e abertura parcial das mesmas durante os períodos de aulas).

Uma vez que a maioria das salas de aula das escolas reabilitadas possui vãos fixos interiores, propõe-se ainda a readaptação destes de forma a possibilitar a sua abertura e permitir a ventilação transversal das salas de aula.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com este trabalho pretendeu-se dar um contributo para o estudo do comportamento higrotérmico das escolas, no entanto, com desenvolvimento desta pesquisa observou-se um vasto campo de investigação neste domínio.

De seguida referem-se alguns aspectos que se consideraram importantes para futuros desenvolvimentos:

- Incluir uma análise experimental, com aparelhos de medição contínua das condições ambientais interiores e exteriores;
- Analisar a influência de sais higroscópicos na variação da humidade relativa no interior;
- Procurar estender o tipo de análise desenvolvida neste trabalho para outros estabelecimentos de ensino.
- Analisar o desempenho da ventilação natural nas salas de aula, através da caracterização de coeficientes de pressão aerodinâmica nos diferentes alçados para as principais orientações do vento e simulação de fluxos de ar no interior do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] Fraga S., Ramos E., Martins A., Samúdio M. J., Silva G., Guedes J., Fernandes E. O., Barros H. 2008. Qualidade do ar interior e sintomas respiratórios em escolas do Porto. Revista Portuguesa de Pneumologia, Vol XIV, nº4, pp. 487 – 506.

[02] Da Cruz Bernardes Â. C., 2006. Análise dos métodos de auditoria à qualidade do ar interior – RSECE. Universidade de Aveiro. pp. 15 - 45 (Dissertação de Mestrado).

[03] Anselmo I., Nascimento C., Maldonado E.. Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Direcção Geral de Geologia e Energia - DGGE / IP-3E. 2004. pp. 5 – 38.

[04] ADENE – Agência para a Energia. Certificação energética e ar interior de edifícios. Legislação. <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Legislacao/Paginas/default.aspx> (consultado em 18 de Julho de 2013).

[05] Ferreira Duarte J., 2010. Condensações superficiais interiores – Avaliação do risco. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 5 – 50 (Dissertação de Mestrado).

[06] Freitas de Oliveira A. M., 2007. Avaliação da qualidade térmica de edifícios – Proposta de indicadores para projecto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 11 – 96 (Dissertação de Mestrado).

[07] ISO - International Organization for Standardization, 2007. Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble, ISO 9920. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland. pp. 1 – 73.

[08] ISO - International Organization for Standardization, 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 7730. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland. pp. 2 – 25.

[09] ISO - International Organization for Standardization, 1998. Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities, ISO 7726. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland. pp. 1 – 11.

- [10] ISO - International Organization for Standardization, 2004. Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate, ISO 8996. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland. pp. 1 – 3.
- [11] ANSI/ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE 55 – 2010, American National Standard, Atlanta, USA. pp. 2 – 20.
- [12] Pereira da Silva P. C., 2006. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. pp. 23 - 60 (Dissertação de Mestrado).
- [13] Morales G. B., León A. L., 2013. Conforto Térmico. Facultad de Arquitectura y Diseño da Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México. pp. 6 – 65.
- [14] Mondelo P. R., Torada E.G., Úriz S.C., Vilella E. C., Lacambra E. B., 1999. Conforto y estrés térmico - Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. pp. 11 – 36.
- [15] Fanger P. O, Robert E. Krieger, Malabar, FL, 1982. Thermal Comfort -Analysis and Application in Environmental Engineering. Copenhagen.
- [16] Pereira D.A., Leite J. P., Barbosa R. F., Lima O. F., 2012. Avaliação do desempenho da ventilação natural para a promoção do conforto térmico em um bloco educacional público. VIII Congresso nacional de Excelência em Gestão. Brasil. pp. 3 – 10.
- [17] Matias L., Pina dos Santos C.. Critérios para um conforto térmico sustentável nos edifícios em Portugal. Engenharia para a sociedade investigação e inovação – Jornadas LNEC.
- [18] Magalhães S., Albuquerque R. R., Pinto J. C., Moreira A. L., 2001. Termorregulação. Serviço de Fisiologia da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. pp 3 – 11.
- [19] Isolani P., 2008. Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residenciais. EnerBuilding, Energy Efficiency. pp. 7 – 22.
- [20] Gonçalves H., Graça J. M.. Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Direcção Geral de Geologia e Energia - DGGE / IP-3E. 2004. pp. 4 – 45.

- [21] Tavares M., 2006. Reabilitação Térmica. Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa. pp. 1 – 22.
- [22] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – RSECE. Diário da República – 1 série-A, n.º67, Portugal. pp. 2416 – 2431.
- [23] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE. Diário da República – 1 série-A, n.º67, Portugal. pp. 2469 – 2513.
- [24] Moita F., 1987. Energia Solar Passiva. Direcção Geral de Energia. Portugal. pp. 5 – 100.
- [25] Pinto A. M., 2011. Reabilitação térmica de fachadas - Estudo de caso através de simulação numérica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 3 – 39 (Dissertação de Mestrado).
- [26] Melão D. B., 2009. Análise experimental da variação da humidade relativa em compartimentos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 3 – 61 (Dissertação de Mestrado).
- [27] Steffen M., 2000. Moisture and Wood-Frame Buildings. Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario, Canada. pp 6 – 7.
- [28] Straube J. F., 2012. La humedad en los edificios. Guia ferial de AHR Expo – México 2012. pp. S14 –S19.
- [29] Lança P., Física dos edifícios - Humidade nos edifícios. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja. Portugal. pp. 5 – 34.
- [30] Correia J. T., 2013. Avaliação da higroscopicidade de materiais correntes. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. pp. 3 – 20 (Dissertação de Mestrado).
- [31] Ramos M. N., 2007. A importância da inércia higroscópica no comportamento higratérmico dos edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 39 – 69 (Dissertação de Mestrado).

[32] Song K. , Mitchell J., Gladden L.F., 2009. Observing Microstructural Evolution During Plaster Hydration. Department of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge, U.K. The Open-Access Journal for the Basic Principles of Diffusion Theory, Experiment and Application. 3 pp.

[33] Silva T. A., 2008. Estudo experimental do comportamento higrotérmico de igrejas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 3 –20 (Dissertação de Mestrado).

[34] Ruas A. C, 1999. Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho. Fundacentro – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Ministério do Trabalho e do Emprego do Brasil. pp. 9 – 83.

[35] Bittencourt L, Candido C., 2010. Ventilação natural em edificações. Procel Edifica – Eficiência energética em edificações, Rio de Janeiro, Brasil. pp. 11 – 64.

[36] Norma Portuguesa NP 1037-1, 2002. Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural. IPQ – Instituto Português da Qualidade. pp. 8 – 47.

[37] Botelho da Silva J. M., 2012. Ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. pp. 3 – 20 (Dissertação de Mestrado). pp. 5 – 19.

[38] Norma Portuguesa NP EN 1991-1-4, 2010. Eurocódigo 1 – Acções em estruturas, Parte 1-4: Acções gerais, Acções do vento. CEN – Comité Europeu de Normalização. pp. 41 – 157.

[39] Chiarello J. A., 2006. Ventilação natural por efeito chaminé – Estudo em modelo reduzido de pavilhões industriais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. pp. 19 –39 (Dissertação de Mestrado).

[40] Pina dos Santos C., Matias L., 2006. ITE50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pp. 1 – 10.

[41] Universidad de Alcalá, Madrid, España. Diagrama Psicométrico <http://www2.uah.es/rosal/virtual/tablas/Psicrometric.jpg> (consultado em 09 de Agosto de 2013).

- [42] Coleman G. R., 2001. Remedial Technical Services, Specialist independent consultancy and laboratory services for dampness & timber infestation investigations http://www.buildingpreservation.com/index.php?option=com_content&view=article&id=95:condensation-the-basics&catid=7:dampness&Itemid=84 (consultado em 15 de Julho de 2013).
- [43] Reis M. L., 2005. Risco de ocorrência de condensações - Método de Glaser. Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Tomar. pp. 1 – 12.
- [44] Simonson C.J., Salonvaara M., Ojanen T., 2001. Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures. VTT – Technical research centre of Finland. pp. 172 – 183.
- [45] Proskiw G., 2007. Case Studies of Moisture Problems in Buildings. Case Studies of Moisture Problems in Buildings, ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Publication 2007.
- [46] Oz - Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda. Ficha de levantamentos termográficos. <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20021.pdf> (consultado em 13 de Agosto de 2013).
- [47] Santos M. D., 2010. Reabilitação energética de um edifício escolar. Universidade do Minho. pp. 21 – 31 (Tese de Mestrado).
- [48] Nunes J. A., 2008. Reabilitação do ponto de vista térmico de fachadas no centro histórico do Porto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 85 – 88 (Dissertação de Mestrado).
- [49] Henriques F., 2007. Reabilitação térmica de Edifícios. Alambi – Associação para o estudo e defesa do ambiente do concelho de Alenquer. pp. 6 – 17.
- [50] Freitas V. P., 2007. Reabilitação de fachadas de edifícios antigos – Argamassas pré-doseadas vs argamassas tradicionais. Concreta 2007.
- [51] PCE. Anemómetro Multifunção MiniAir 20 / MiniWater 20. <http://www.pce-medidores.com.pt/fichas-dados/anemometro-mini-air20-mini-water20.htm>. (consultado em 25 de Março de 2013).
- [52] GE Protimeter Surveymaster. Higrómetro. <http://www.ge-mcs.com/en/moisture-and-humidity/moisture-meters/protimeter-kits.html>. (consultado em 25 de Março de 2013).

[53] IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Normais Climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Porto, Serra do Pilar. <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>. (consultado em 5 de Setembro de 2013).

[54] ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto. Estação Meteorológica, arquivo. http://meteo.isep.ipp.pt/almanac_Plus.htm (consultado em 5 de Setembro de 2013).

BIBLIOGRAFIA

Abreu M. I., 2003. Correção de pontes térmicas em intervenções de reabilitação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Dissertação de mestrado)

ADENE – Agência para a Energia. Certificação energética e ar interior de edifícios. Nota Técnica NT-SCE-01,2009. Método de cálculo simplificado para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE.

ADENE – Agência para a Energia. Certificação energética e ar interior de edifícios. Perguntas e Respostas RSECE- QAI, Versão 2.0 – Maio 2011.

Andresen S. V., 2009. Moisture in buildings.VIA University College Campus Horsens.

Andresen S. V., 2009. Moisture in buildings.VIA University College Campus Horsens. (Apresentação)

Araújo A. B., 2003. Humidade e degradação de edifícios. Instituto Superior Técnico. (Tradução)

Assis E. S., Ferreira C. C., 2006. Comparação entre modelos empíricos e computacionais para a estimativa de ventilação em ambientes interiores. NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitectura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Batista J. B., Silva L. B., Coutinho A. S., Santos F. R., Adissi P. J., Conforto térmico no ambiente de ensino: Implicações no desempenho e na aprendizagem. Universidade Federal de Paraíba.

Blyth A., Almeida R., Forrester D., Gorey A., Hostens G., 2012. Modernising Secondary School Buildings in Portugal. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development.

Carvalho C. V., Martha L. F., Teixeira W., 2005. FLUXOVENTO – Um simulador gráfico interactivo para estudo de ventilação em ambientes construídos. Tecnologia Computação Gráfica , Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Correia J. T., Henriques F. M., 2013. Isolamento e impermeabilização – Efeitos da humidade higroscópica no comportamento térmico dos materiais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Directiva 2002/91/CE. Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Danish Enterprise and Construction Authority, Copenhagen, 2007. Building Regulations.

Fraga Carneiro J., 2010, A eficiência energética, a qualidade do ar e a climatização nas escolas. Implicações do RSECE nos projectos - custo inicial, de manutenção e exploração. 10^{as} Jornadas de Climatização. Parque Escolar E.P.E.

Gonçalves H., Cabrito P., Oliveira M., Patrício A., 1997. Edifícios solares passivos em Portugal. INETI – Instituto Nacional de Engenharia e tecnologia Industrial.

Jorne F. J., Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. (Dissertação de Mestrado)

Nicolau M. R., 2002. Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação – Uma aplicação a Portugal continental. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. (Dissertação de Doutoramento).

Nunes D. A., 2006. Estudo da ventilação natural por efeito do vento em pavilhões industriais utilizando modelos reduzidos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado).

Nunes L. M., 2011. Eficiência energética de edifícios: Contributo dos PCMs e Parede de Trombe. Universidade de Aveiro. (Dissertação de Mestrado).

Porto Vivo, SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana, 2010. Reabilitação de edifícios no centro histórico do Porto – Guia de termos de referência.

Reis M. L., 2005. Isolamentos Térmicos. Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Tomar.

Silva A. C., Malato J. J., 1969. Geometria de insolação de edifícios. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Versage R., 2009. Ventilação Natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS. Universidade Federal da Santa Catarina. (Dissertação de Mestrado).

Viegas J. C.. Ventilação natural em edifícios de habitação. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (Apresentação).

Viegas J.C., Pinto A., 2006. Ventilação natural e mista em edifícios. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (Apresentação).

ANEXO I

Fichas de Identificação das Escolas

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA ANTÓNIO NOBRE

Abreviatura: ESAN

Localização: Rua do Aval de Cima, nº128, 4200 Porto

Orientação da Escola:

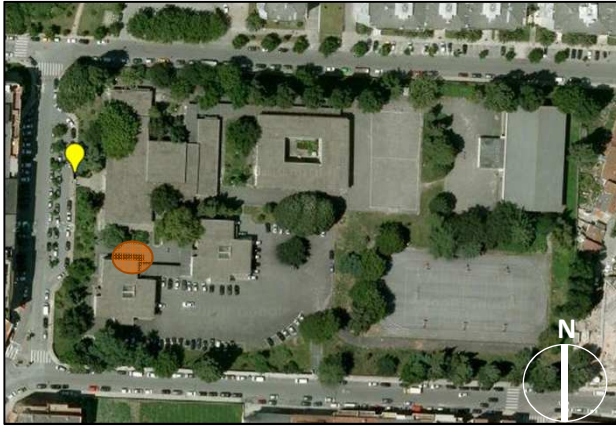
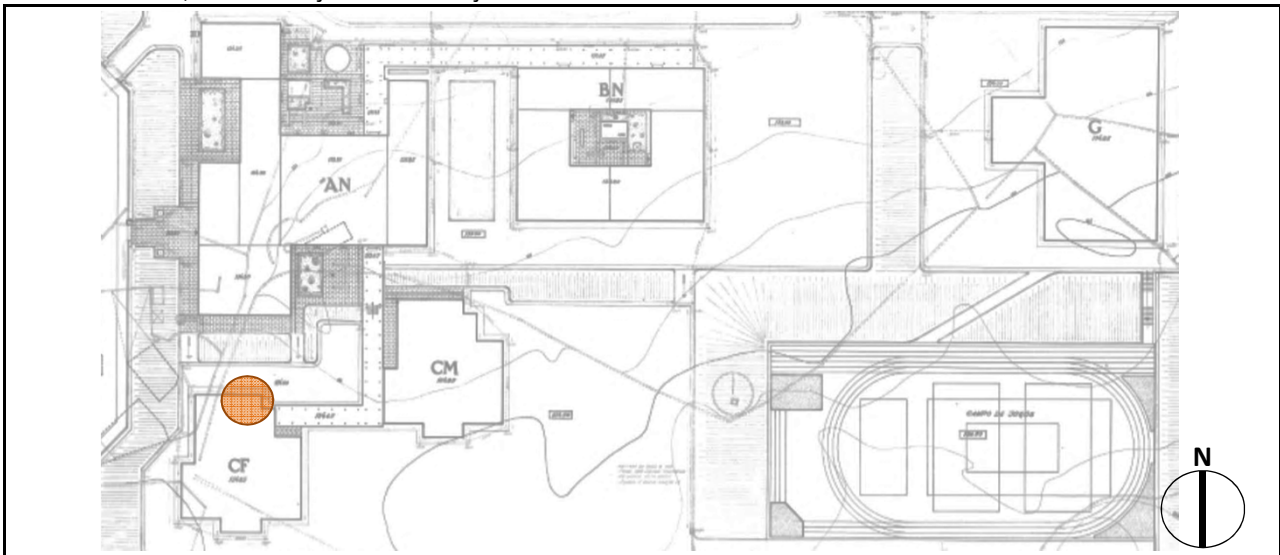


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1972

Localização específica da sala de aula:

Estado: Não intervencionada

Designação: A1 Bloco: A (CF)

Nível de ensino: 3º Ciclo e Secundário

Orientação: Norte Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DE LORDELO

Abreviatura: EBSL

Localização: Estrada Nacional 209, 4580 - 439 Lordelo, Paredes, Porto

Orientação da Escola:

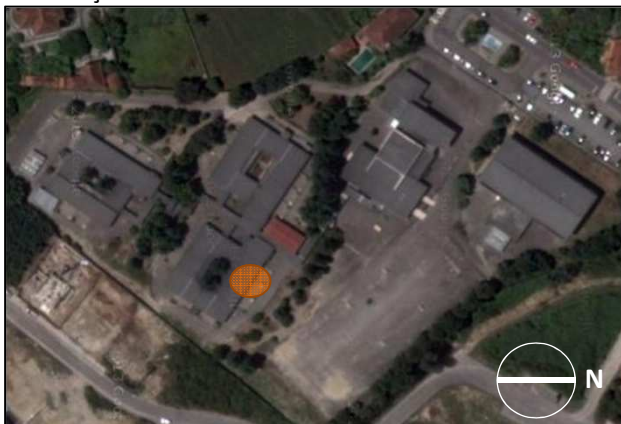
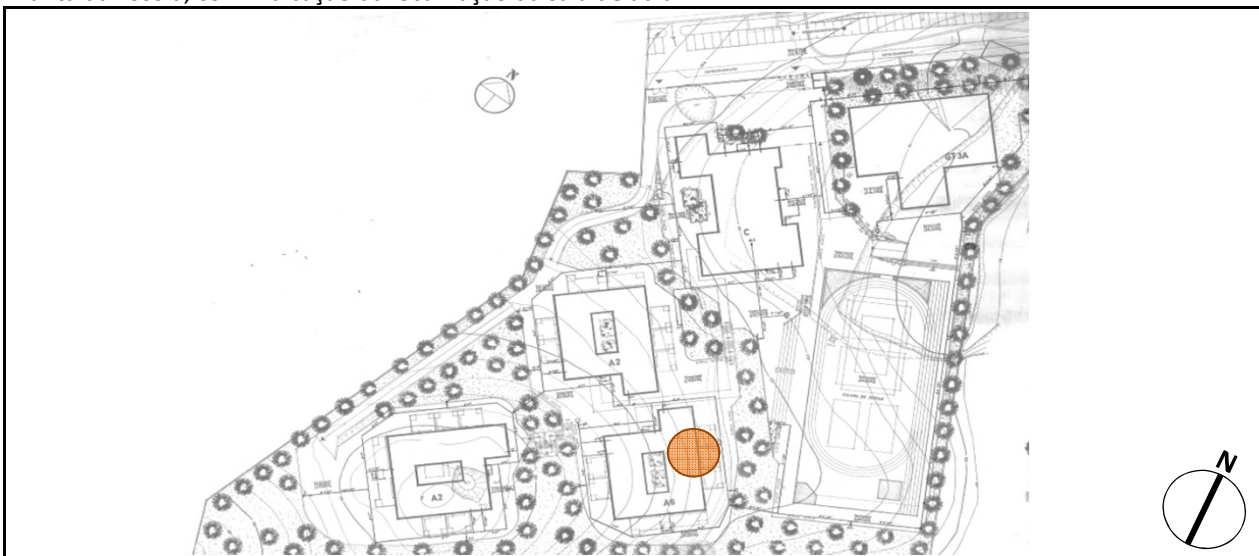


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1973

Localização específica da sala de aula:

Estado: Não intervencionada

Designação: 6B Bloco: B

Nível de ensino: Básico e Secundário

Orientação: Nordeste Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE VALONGO

Abreviatura: ESV

Localização: Rua Visconde Oliveira Paço, 4440 - 708, Valongo, Porto

Orientação da Escola:

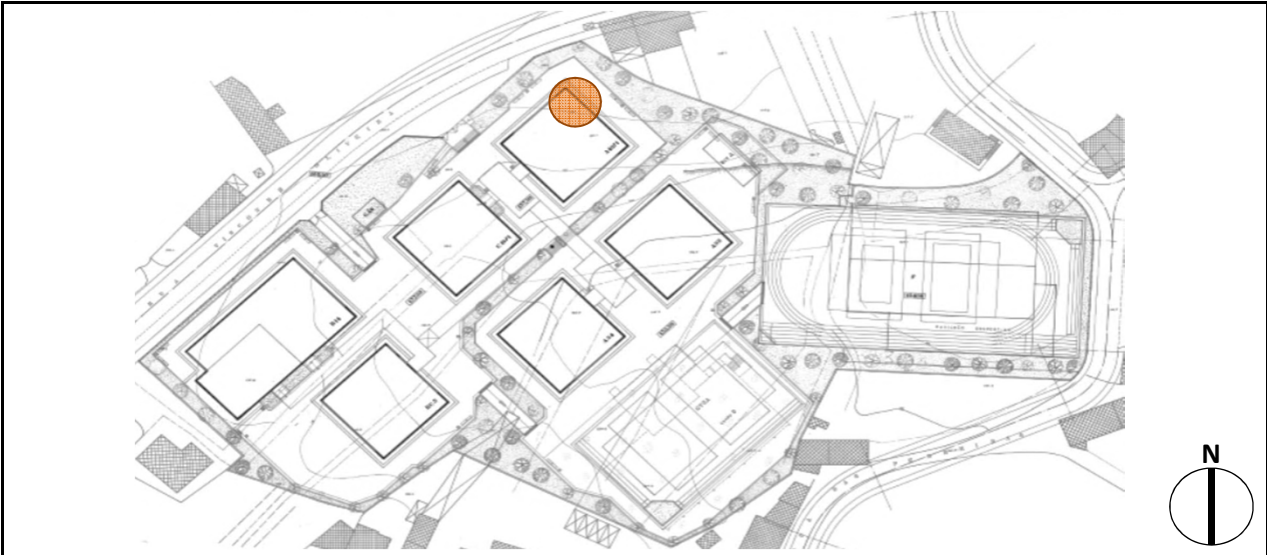


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1986

Localização específica da sala de aula:

Estado: Não intervencionada

Designação: Sala 3 Bloco: A

Nível de ensino: 3º Ciclo e Secundário

Orientação: Nordeste Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA JOAQUIM DE ARAÚJO

Abreviatura: ESJA

Localização: Rua 3 de Março, 4560 - 641, Penafiel, Porto

Orientação da Escola:



Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1997

Localização específica da sala de aula:

Estado: Não intervencionada

Designação: Sala 21A Bloco: 3

Nível de ensino: 3º Ciclo e Secundário

Orientação: Este Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA CLARA DE RESENDE

Abreviatura: ESCR

Localização: Rua O Primeiro de Janero, S/Nº, 4100-365 Porto

Orientação da Escola:

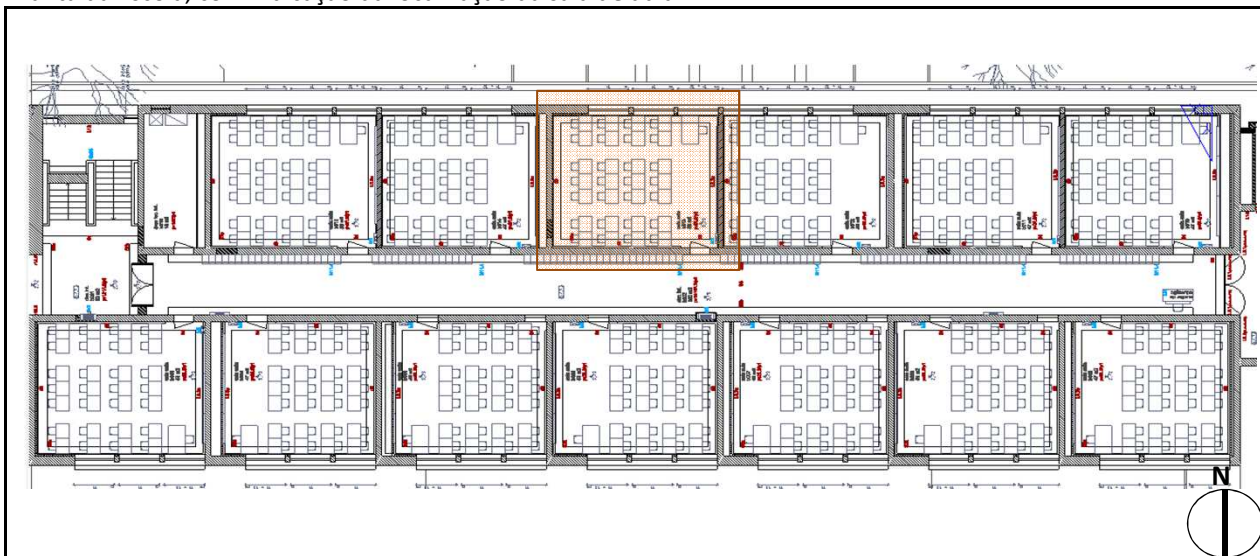


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1960

Localização específica da sala de aula:

Estado: Intervencionada

Designação: Sala 9 Bloco: B

Nível de ensino: Básico e Secundário

Orientação: Norte Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA GARCIA DE ORTA

Abreviatura: ESGO

Localização: Rua de Pinho Leal, 4150 - 620 Porto

Orientação da Escola:

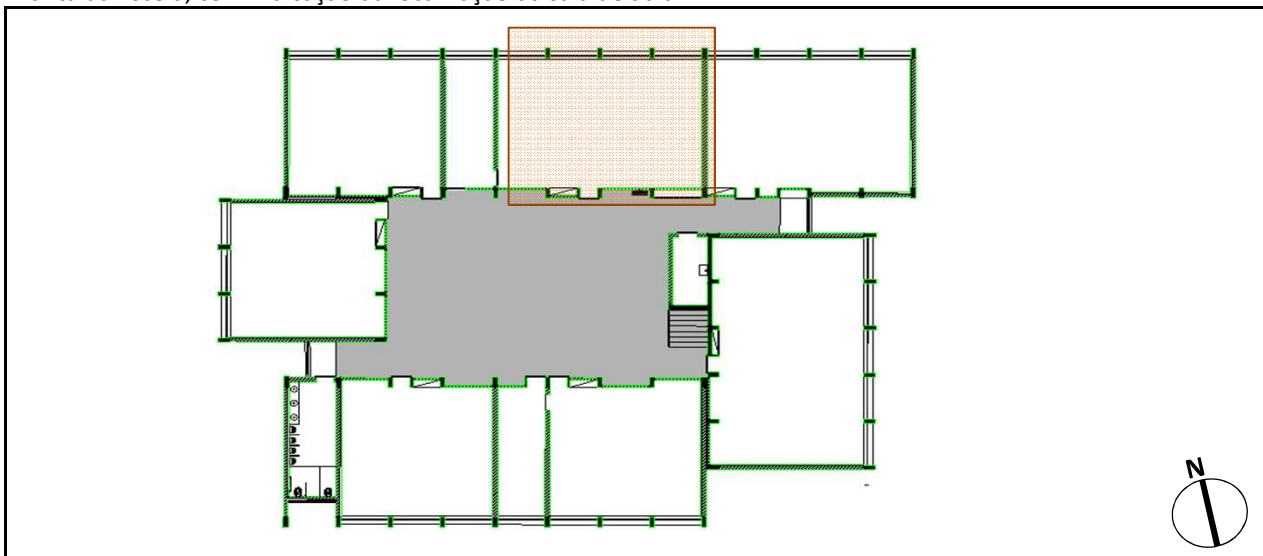


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1969

Localização específica da sala de aula:

Estado: Intervencionada

Designação: 404 Bloco: A4

Nível de ensino: 3º Ciclo e Secundário

Orientação: Nordeste Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE SOARES DOS REIS

Abreviatura: ESSR

Localização: Rua Major David Magno, 4000 - 191, Porto

Orientação da Escola:

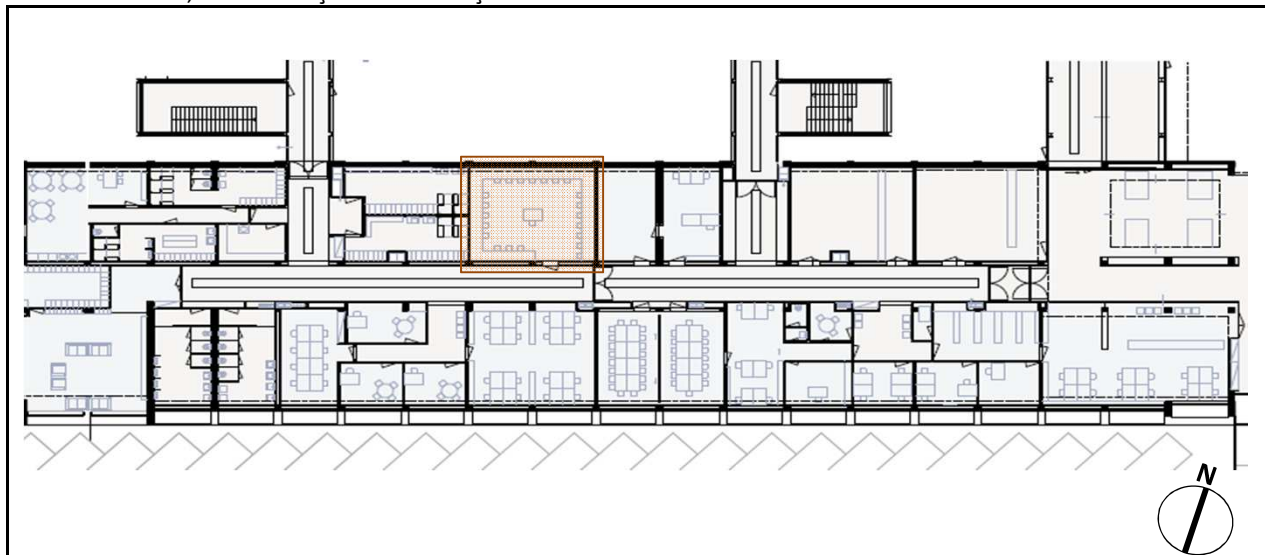


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1969

Localização específica da sala de aula:

Estado: Intervencionada

Designação: A0.10 Bloco: A

Nível de ensino: Secundário

Orientação: Noroeste Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE PENAFIEL

Abreviatura: ESP

Localização: Rua Dr. Alves Magalhães, 4560 - 491, Penafiel, Porto

Orientação da Escola:

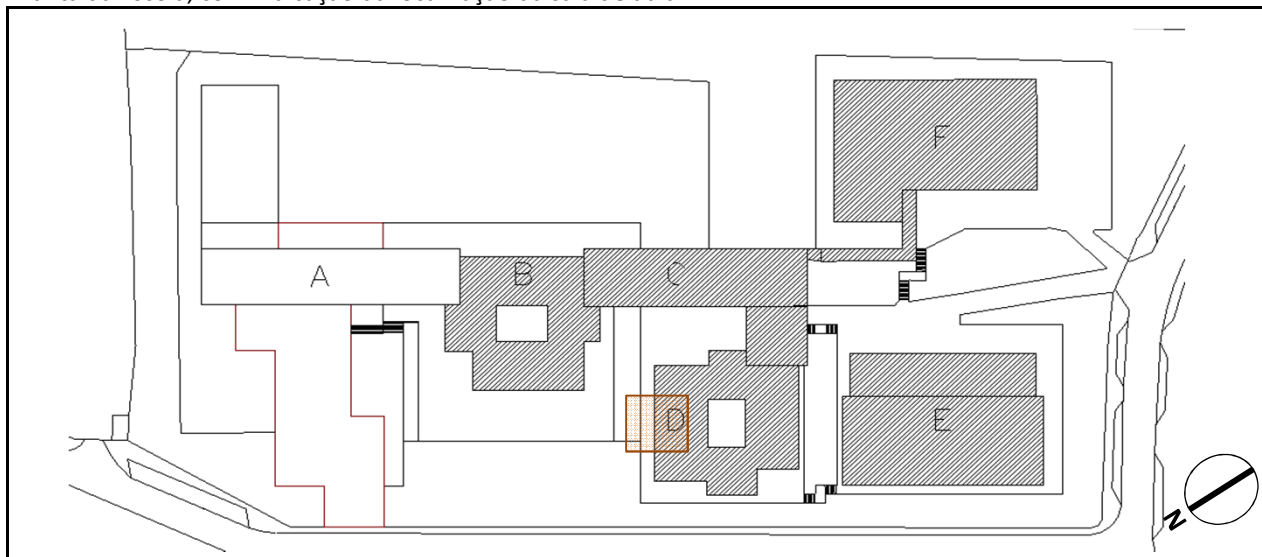


Foto:



2. Localização da Sala de Aula

Planta da Escola, com indicação da localização da sala de aula:



3. Informação Geral

Ano de Inauguração: 1960

Localização específica da sala de aula:

Estado: Intervencionada

Designação: 106 Bloco: D

Nível de ensino: 3º Ciclo e Secundário

Orientação: Nordeste Piso: 0

Nº máximo de alunos por sala/turma: 28

ANEXO II

Modelo da Ficha de Levantamento de Dados

1. Identificação da Escola

Escola: _____

Localização: _____

Contactos: _____

Ano de Inauguração _____ Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: _____

Ano de Remodelação _____ Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: _____ Hora início: _____

Data fim: _____ Hora fim: _____

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano _____

Direcção do vento _____ Velocidade do vento _____ m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: _____ Bloco: _____ Pé-direito: _____ Largura: _____

Orientação: _____ Piso: _____ Comprimento: _____ Climatização? _____

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto

2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos			
Fachada com Pavimentos			
Fachada com Pavimentos intermédios			
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço			
Fachada com Varanda			
Duas Paredes verticais			
Fachada com Caixa de estore			
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril			
Outras:			

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? _____ Aberturas Auto-Regulaveis? _____

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento _____

Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura (°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade

	1	2	3	4	5	6	7	8
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
J								
K								
L								
M								
N								
O								

ANEXO III

Fichas de Levantamento de Dados das Escolas

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA ANTÓNIO NOBRE
 Localização: RUA DO AVAL DE CIMA, N.º 128, 4200 - PORTO
 Contactos: 22 509 67 71
 Ano de Inauguração: 1972 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: - Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 02.04.2013 Hora início: 15:45 h
 Data fim: 02.04.2013 Hora fim: 18:45 h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano: AQUECIMENTO
 Direcção do vento: E → W Velocidade do vento: 0,34 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: A1 Bloco: A Pé-direito: 2,79 m Largura: 7,75 m
 Orientação: NORTE Piso: 0 Comprimento: 4,75 m Climatização? NÃO

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE.A1	REBOCO INT + TIJOLO + C.A. + TIJOLO + REBOCO INT.	0,75 x 4,37	0511/0522
PE.A2	REBOCO INT + PILAR DE BETÃO	(0,165 + 0,28) x 2,79	0533

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PAV.1	(PAVIMENTO) MOSAICO + CANADA REG. + LAJE.	4,75 x 7,75	0536
/	/	/	/

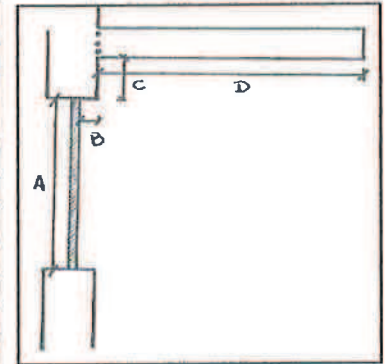
2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	SIM	7,75	0511
Fachada com Pavimentos	NÃO	-	-
Fachada com Pavimentos intermédios	SIM	7,75	-
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	NÃO	/	/
Fachada com Varanda	NÃO	/	/
Duas Paredes verticais	NÃO	/	/
Fachada com Caixa de estore	NÃO	/	/
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	SIM	OMB. (1,82 m) solei (2,31 m)	0538
Outras:	-	-	-

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras (mm)	Foto
2	1,82 x 2,31	MADEIRA	Simplex	4 mm	-
/	/	/	/	/	/

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
Podielca (Face CAIX.)		X		0,10		
Ombreira (" ")	X			0,15		



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PI.A1	REBOCO (1cm) + Tijolo (15cm) + REBOCO (1cm)	1,73 x 4,75	0513
PI.A2	REBOCO (1cm) + Tijolo (15cm) + REBOCO (1cm)	2,45 x 2,79	0525

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
P5	REBOCO (1cm) + Pilau Betão + REBOCO (1cm)	(0,10 + 0,165) x 2,79	-
P6	REBOCO (1cm) + Pilau Betão + REBOCO (1cm)	(0,165 + 0,28) x 2,79	-
V4	REBOCO (1cm) + VIGA Betão + REBOCO (1cm)	(0,15 + 0,235) x 4,75	-

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros (mm)
1	2,0 x 9,80	Madeira	-
1	0,9 x 2,30	Madeira	3mm
1	0,8 x 2,30	Madeira	3mm

2.2.12. Renovações de Ar

Natural

Mecânica

Obs. Vãos "VI" c/ frinchas.

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	17:00	16.0	55.0	NORTE	
AE.2	17:11	15.8	53.1	"	
AE.3	18:00	15.4	54.9	"	
AE.4	18:01	15.4	54.7	"	
AE.5	18:02	15.4	54.5	"	
AE.6	18:05	15.4	54.3	"	
AE.7	18:10	15.3	54.5	"	
AE.8	18:22	15.2	51.8	"	C / VENTO

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	18:17	15.8	8.8	NORTE	
SE.2	18:17	16.2	10	"	
SE.3	18:18	16.5	10.1	"	
SE.4	18:19	16.6	10.5	"	
SE.5	18:20	17.1	8.4	"	
SE.6	18:22	17.1	9.6	"	
SE.7	18:23	17.5	12.9	"	
SE.8	18:25	17.2	12.0	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	17:01	16.6	57.8	norte	
AI.2	17:03	16.7	58.1	"	
AI.3	17:04	16.6	59.0	"	
AI.4	17:05	16.5	59.1	"	
AI.5	17:07	16.5	59.7	"	
AI.6	17:08	16.5	59.9	"	
AI.7	17:09	16.5	60.5	"	
AI.8	17:10	16.5	60.8	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	18:27	16.2	8.9	NORTE	
SI.2	18:28	16.2	8.4	NORTE	
SI.3	18:28	16.5	8.3	NORTE	
SI.4	18:29	16.6	8.7	NORTE	
SI.5	18:29	16.3	8.8	NORTE	
SI.6	18:30	16.2	8.8	NORTE	
SI.7	18:31	15.8	7.8	NORTE	
SI.8	18:31	15.9	8.1	NORTE	

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? NÃO Aberturas Auto-Reguláveis? NÃO

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs		
1	17:29	16.4	0,13	Med: 0,45	Med: 0.0	60 seg.
2	17:35	17.4	0,30	Med: 0,54	Med: 0.0	60 seg.
3	17:37	18.4	0,12	Med: 0,45	Med: 0.0	60 s
4	17:40	18.2	0,12	Med: 0,41	Med: 0.0	60 s
5	17:43	19.4	0,29	Med: 0,59	Med: 0.0	60 s
6	17:50	19.8	0,24	Med: 0,59	Med: 0.0	60 s
7	17:55	19.8	0,19	Med: 0,63	Med: 0.0	60 s
8	17:58	19.9	0,27	Med: 0,59	Med: 0.0	60 s

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento _____

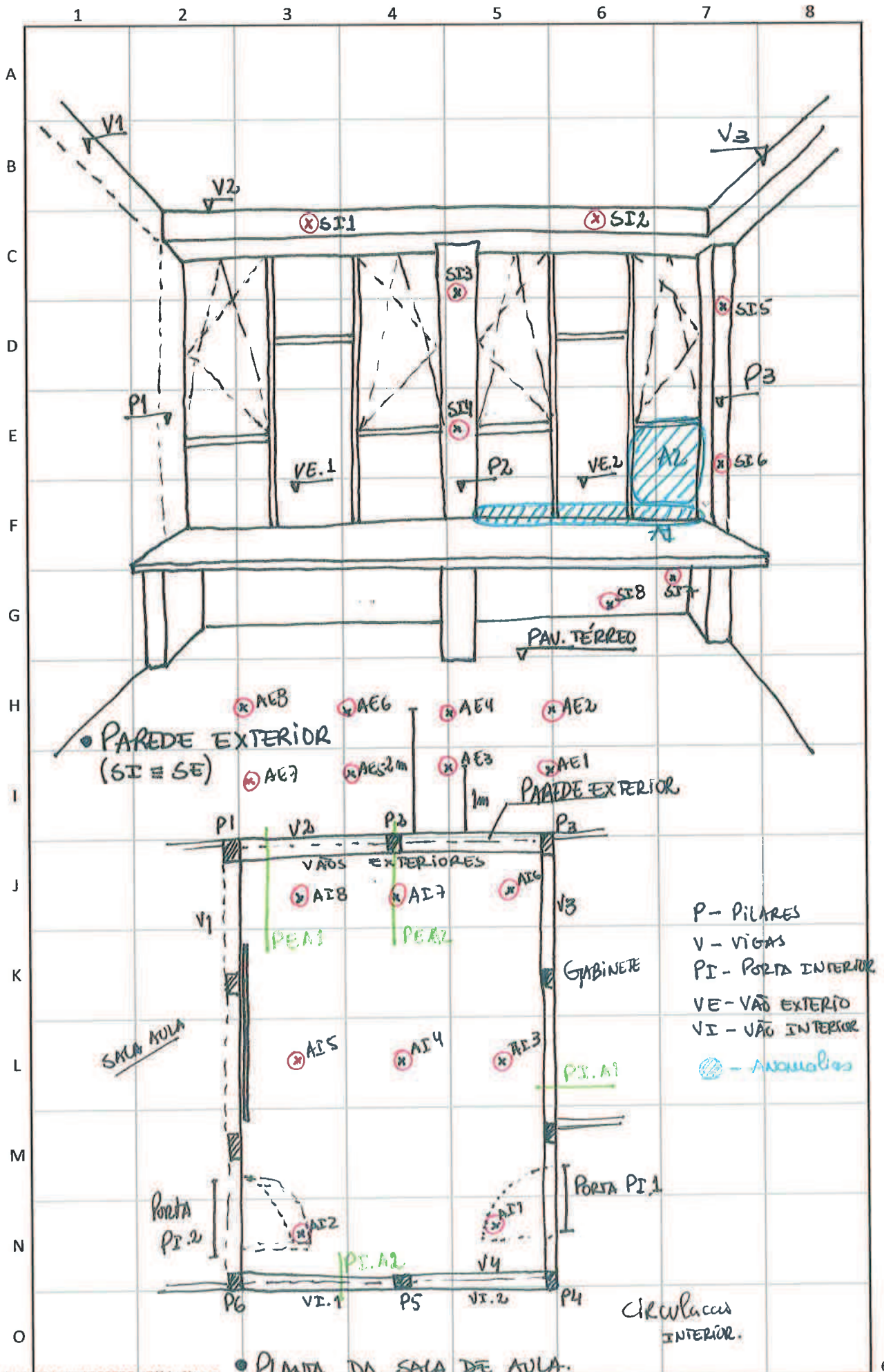
Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura (°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			



3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
I		NORTE		REBOCO BRANCO (0,91)
II		"		"
III		"		"
IV		"		"
V		"		"
VI		"		"
VII		"		"

⊛ Trabalho realizado no âmbito de outro projecto.



1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DE LORELO - PAREDES
 Localização: ESTRADA NACIONAL 209, 4580-439, LORELO - PAREDES
 Contactos: 22 444 2520
 Ano de Inauguração: 1973 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: - Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 12.04.2013 Hora início: 14:00h
 Data fim: 12.04.2013 Hora fim: 16:15h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO
 Direcção do vento W → E Velocidade do vento 1,62 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: GB Bloco: B Pé-direito: 3,20 m Largura: 10,65 m
 Orientação: NE Piso: 0 Comprimento: 6,52 m Climatização? NÃO

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref. ^a	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE.A1	ELEMENTOS DE BETÃO À VISTA	VER CROQUI	0621

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref. ^a	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref. ^a	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
A	TELHA FIBROC. + LAJE BETÃO + REVS. CORTIÇA	VER CROQUI	0644/0647
B	TELHA FIBROC. + LAJE BETÃO + REBOCO	VER CROQUI	0648

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref. ^a	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PAV	(PAVIMENTO) SOLAIO EM MADEIRA + CANA. REG. + LAJE	VER CROQUI	-

2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	SIM	6,52 m	0641/0624
Fachada com Pavimentos	NÃO		
Fachada com Pavimentos intermédios	NÃO		
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	SIM	6,52 m	0641/0644
Fachada com Varanda	NÃO		
Duas Paredes verticais	NÃO		
Fachada com Caixa de estore	NÃO		
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	SIM	(VER CROQUI)	
Outras:	-	-	-

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	14:44	18,0	70,8	NE	
AE.2	14:45	18,2	69,5	"	
AE.3	14:46	18,6	69,0	"	
AE.4	14:47	18,4	68,0	"	
AE.5	14:48	18,2	65,6	"	
AE.6	14:49	18,2	65,8	"	
AE.7	14:50	18,1	67,0	"	
AE.8	14:51	18,1	66,5	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	15:58	17,1	14,5	NE	
SE.2	16:10	16,9	14,7	"	
SE.3	16:11	17,7	13,5	"	
SE.4	16:02	17,8	14,3	"	
SE.5	16:04	18,0	12,0	"	
SE.6	16:06	17,1	13,0	"	
SE.7	16:07	17,2	14,0	"	
SE.8	16:08	17,2	15,5	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	14:53	17,0	77,4	NE	
AI.2	14:54	16,9	78,4	"	
AI.3	14:55	16,7	78,6	"	
AI.4	14:56	16,6	79,8	"	
AI.5	14:56	16,6	80,7	"	
AI.6	14:58	16,4	81,0	"	
AI.7	14:58	16,4	82,2	"	
AI.8	14:59	16,4	82,4	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	15:04	16,9	9,1	NE	
SI.2	15:06	17,2	11,6	"	
SI.3	15:07	17,2	12,2	"	
SI.4	15:08	17,7	12,7	"	
SI.5	15:10	17,5	12,4	"	
SI.6	15:10	17,7	9,8	"	
SI.7	15:11	17,0	13,1	"	
SI.8	15:12	16,9	10,9	"	

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? nao

Aberturas Auto-Regulaveis? nao

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1	15:15	16,7	0,23	MAX: 0,68 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
2	15:18	16,7	0,33	MAX: 1,26 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
3	15:20	17,2	0,27	MAX: 0,77 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
4	15:28	17,9	0,17	MAX: 0,50 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
5	15:32	18,3	0,43	MAX: 0,90 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
6	15:34	18,5	0,20	MAX: 0,50 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
7	16:35	18,7	0,11	MAX: 0,45 / MIN: 0,0 / Dur. 60s
8	15:37	18,9	0,27	MAX: 0,68 / MIN: 0,0 / Dur. 60s

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento _____

Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

3.4. Termografia

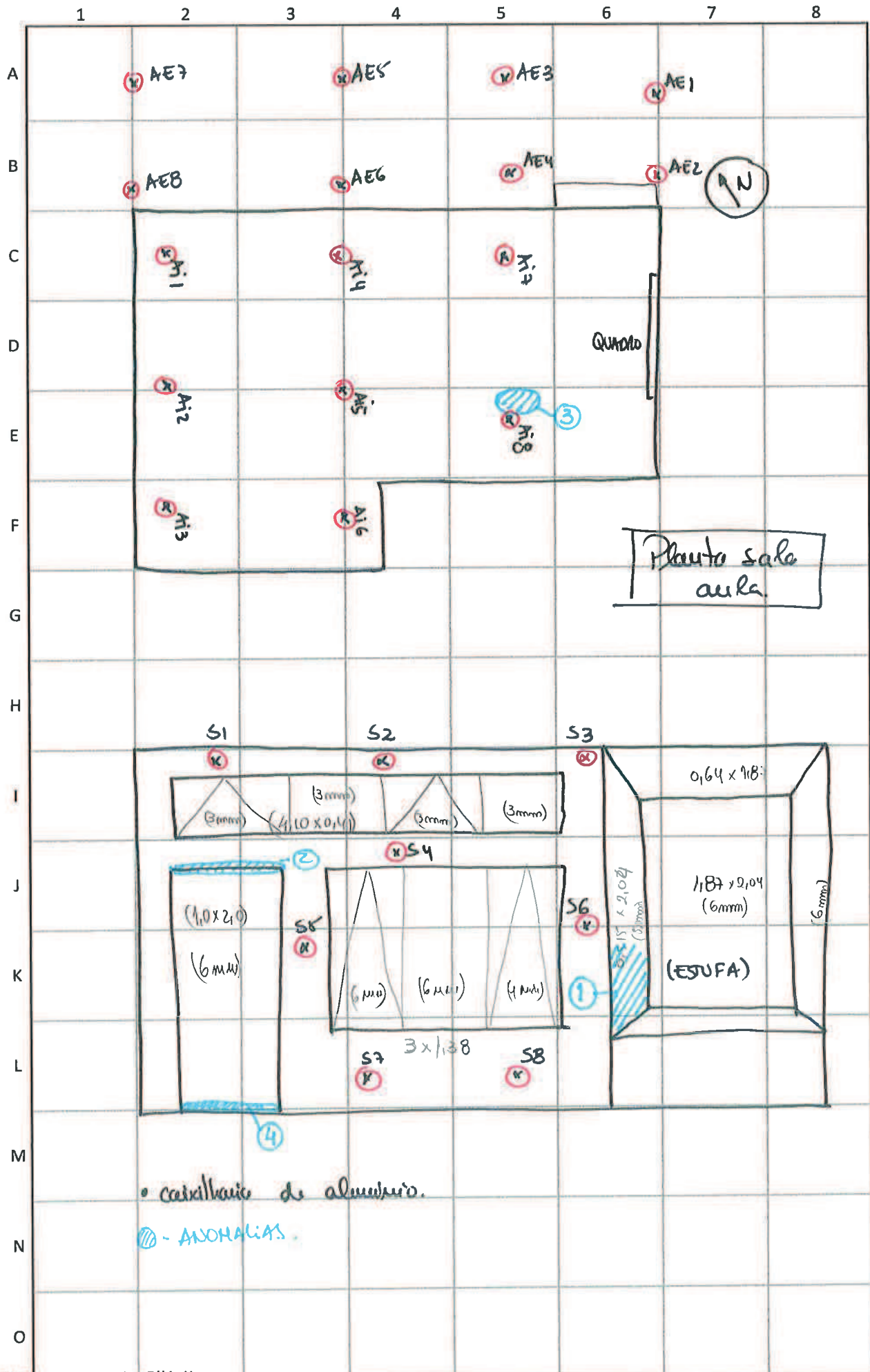
Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
II		NORTE		Betão (0,63)
IV		"		"
V		"		"
VI		"		"
VII		"		"
VIII		"		"
IX		"		"

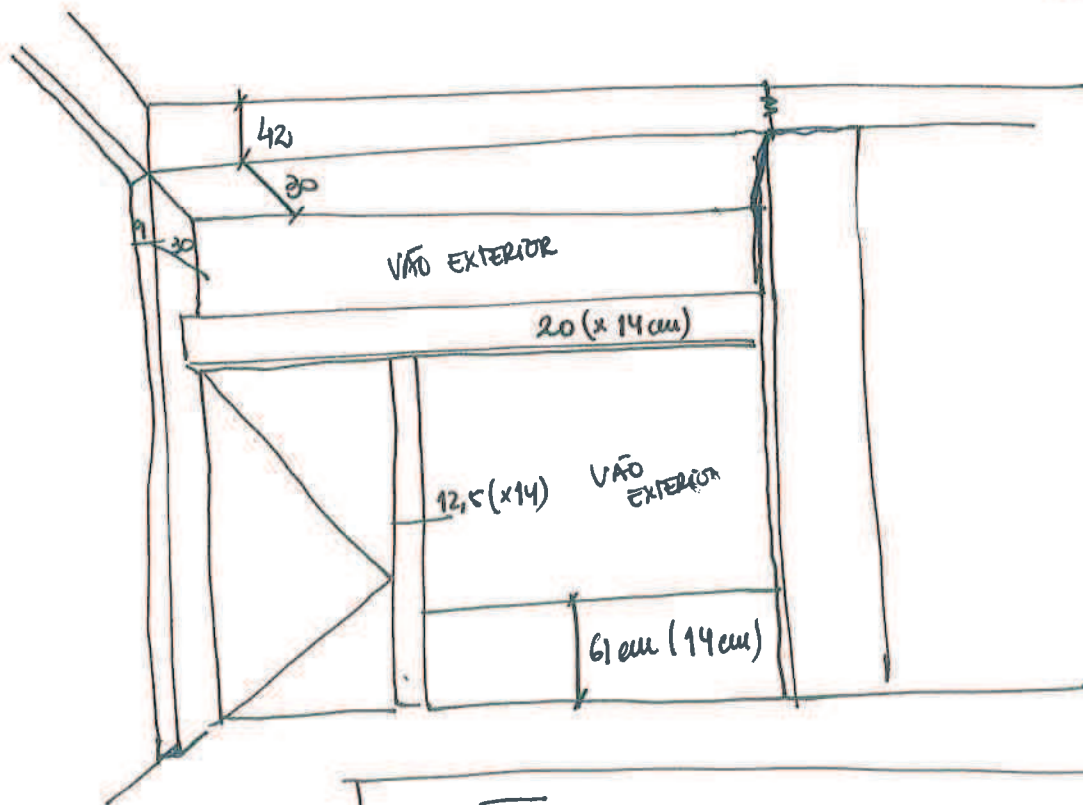
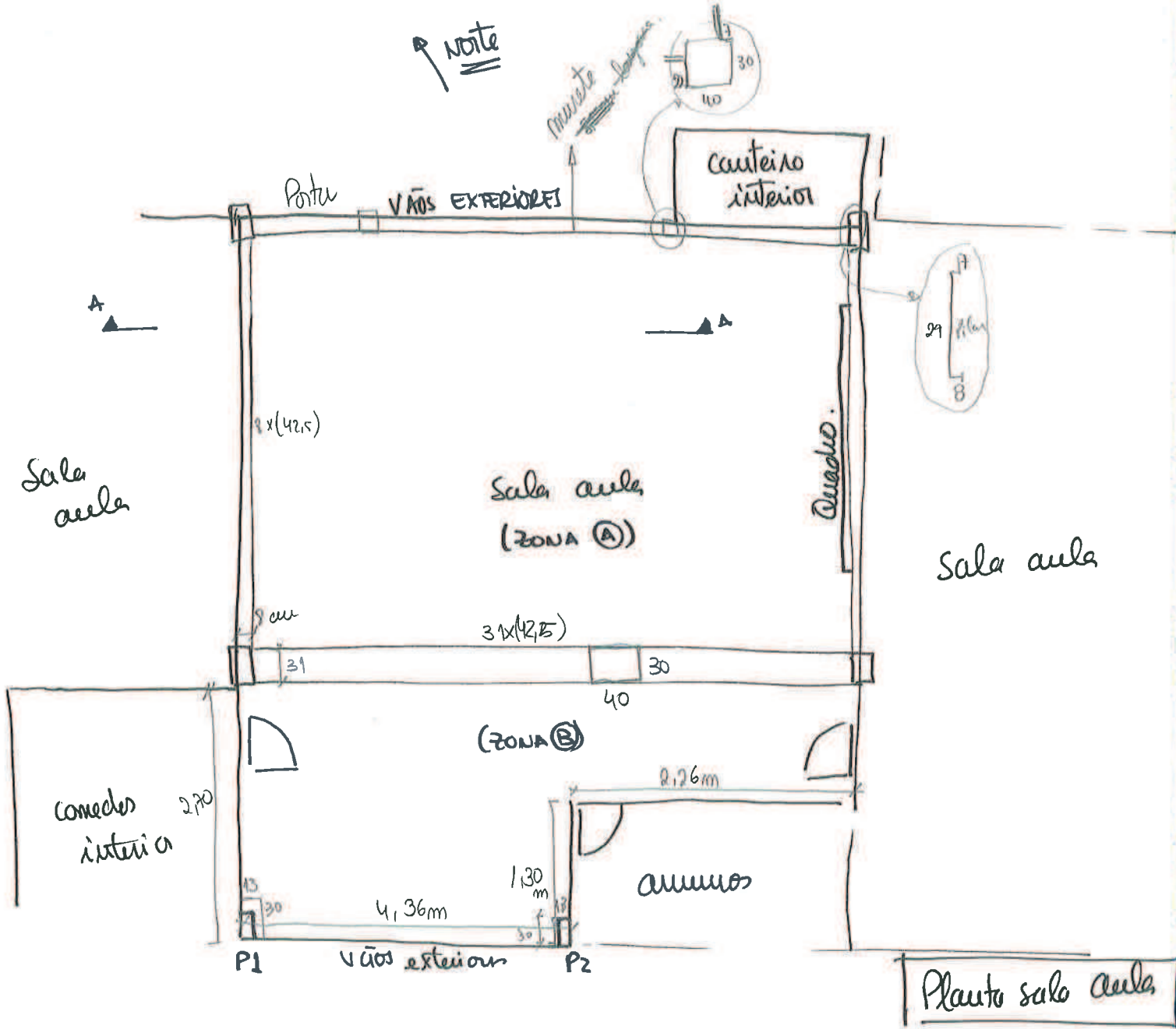
⊕ trabalho Realizado no âmbito de outro projeto.

4. Levantamento de Anomalias

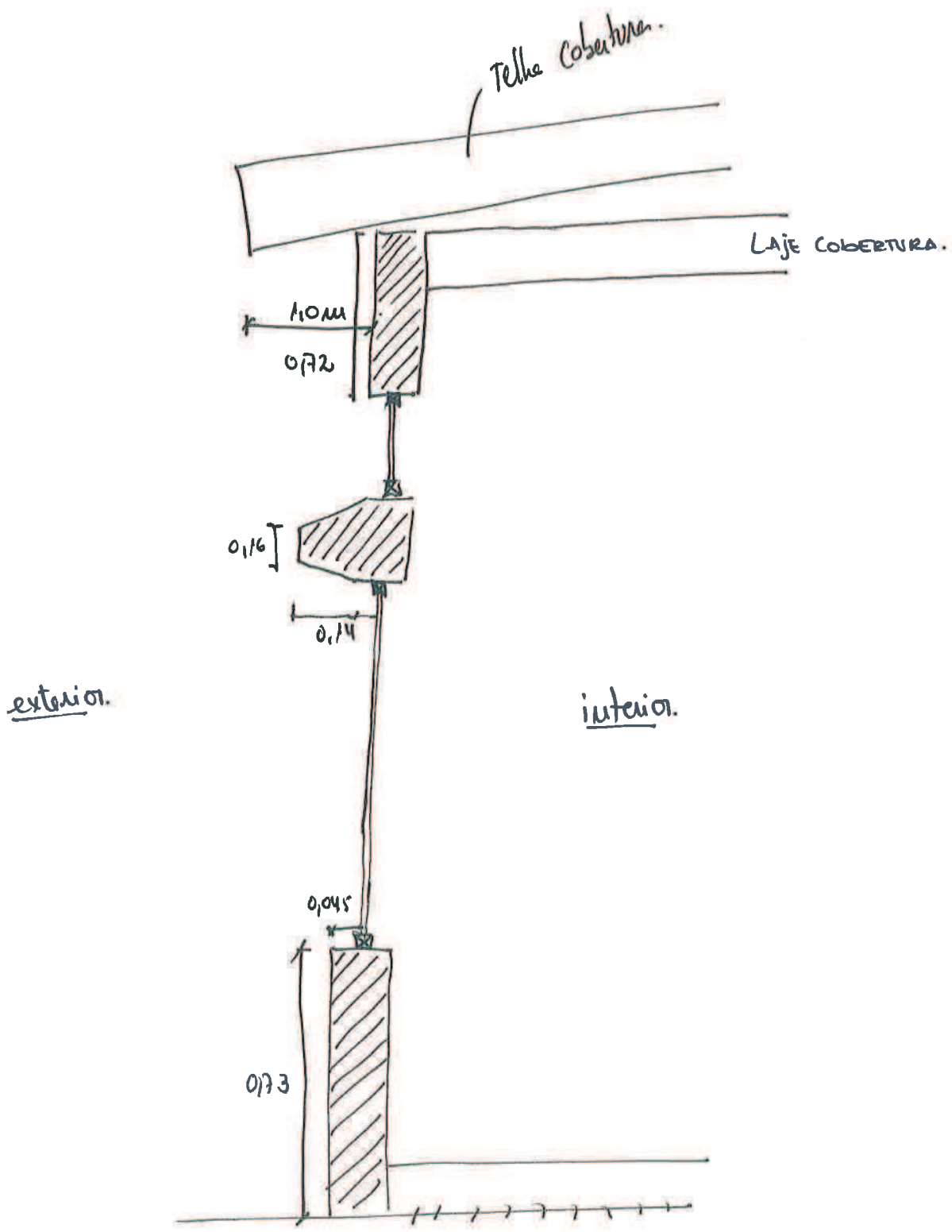
Nº	Localização	Descrição	Registo Fotográfico
1	K-6	Presença de condensação no Vão exterior da ESTUFA.	0639
2	J-2 + J-3	EXISTÊNCIA DE FRIÇAS nos Vãos exteriores	0654
3	E-5	Infiltração de água no tecto.	0657
4	L-2	Infiltração de água através da soleira do vão exterior.	0624

Observações





4A
 Pormenor Parede exterior voltada para nordeste.



▨ - ELEMENTOS DA FACHADA NORTE, EM BETÃO.

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE VALONGO

Localização: RUA VISCONDE DE OLIVEIRA FAÇO, 4440-708, VALONGO

Contactos: 224 221 401

Ano de Inauguração: 1986
Ano de Remodelação: —

Estado: Remodelada
Por remodelar

Nº Salas a Analisar: 1

2. Levantamento de Dados

Data início: 12.04.2013

Hora início: 17:50 h

Data fim: 12.04.2013

Hora fim: 19:35 h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO

Direcção do vento W → E Velocidade do vento 2.37 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: SALA 3 Bloco: A Pé-direito: 3,10 m Largura: 6,25 m
Orientação: NE Piso: 0 Comprimento: 9,65 m Climatização? MEC

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE.A1	REBOCO + Alv. tijolo + C.A. + tijolo + REBOCO		0660
PE.A2	REBOCO + PILAR/VIGA + REBOCO		0660

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PANV	SOLHO MADEIRA + CANADA REG. + LAJE BETÃO	9,65 x 6,25	0662

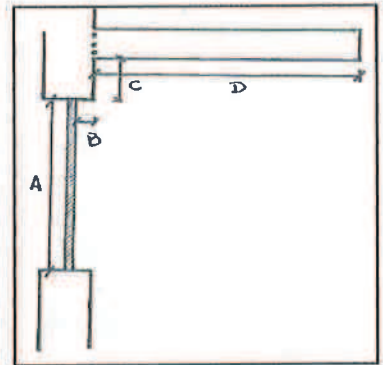
2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	Sim	6,25	0660
Fachada com Pavimentos	MEC	—	—
Fachada com Pavimentos intermédios	Sim	6,25	0660
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	MEC	—	—
Fachada com Varanda	MEC	—	—
Duas Paredes verticais	Sim	3,10	0670
Fachada com Caixa de estore	Sim	2 x 3,0 m	0660
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	Sim	4 x (2 x (1,30 + 1,70))	0660
Outras:	—	—	—

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras (mm)	Foto
4	1,30x 1,70	Alumínio	Simplex	4mm	0674
/	/	/	/	/	/

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
Ombreias	X		-	-	-	0,20
Paciência		X	-	-	-	0,20



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PI.A1	Reboco int. + tijolo 15 + Reboco	VER CROQUI	-

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
P1	Reboco + PILAR DE BETÃO + REBOCO	VER CROQUI	-

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros (mm)
1	1,60 x 2,10	MADEIRA	-
1	1,60 x 0,55	MADEIRA	4mm
1	0,55 x 0,80	MADEIRA	4mm

2.2.12. Renovações de Ar

Natural

Mecânica

Obs. APENAS VENTILAÇÃO NATURAL

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	18:33	16,0	71,8	NE	
AE.2	18:33	15,9	72	"	
AE.3	18:34	15,9	72,4	"	
AE.4	18:35	15,9	72,6	"	
AE.5	18:35	15,9	72,9	"	
AE.6	18:36	15,9	73,0	"	
AE.7	18:37	15,9	73,1	"	
AE.8	18:37	15,8	73,1	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	18:58	16,5	13,5	NE	
SE.2	18:59	16,6	12,2	"	
SE.3	19:00	16,4	16,9	"	
SE.4	19:01	16,6	14,3	"	
SE.5	19:03	16,7	10,6	"	
SE.6	19:04	16,2	14,1	"	
SE.7	19:06	16,4	14,2	"	
SE.8	19:08	16,2	9,8	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	18:26	18,5	69	NE	
AI.2	18:27	18,0	69,4	"	
AI.3	18:27	17,9	69,9	"	
AI.4	18:28	17,8	70,5	"	
AI.5	18:29	17,8	70,8	"	
AI.6	18:29	17,7	71,0	"	
AI.7	18:30	17,6	71,7	"	
AI.8	18:30	17,6	71,8	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	18:40	17,2	13,7	NE	
SI.2	18:41	17,2	16,4	"	
SI.3	18:41	16,4	20,0	"	
SI.4	18:45	17,5	13,7	"	
SI.5	18:46	17,1	15,0	"	
SI.6	18:47	17,5	12,6	"	
SI.7	18:48	17,1	12,6	"	
SI.8	18:50	17,5	14,1	"	

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? NÃO

Aberturas Auto-Reguláveis? NÃO



Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1	19:21	17,3	0,32	Max: 0,63 / Min: 0,0 / Dur: 60s
2	19:23	17,6	0,17	Max: 0,63 / Min: 0,0 / Dur: 60s
3	19:24	17,8	0,29	Max: 0,72 / Min: 0,0 / Dur: 60s
4	19:25	18,0	0,30	Max: 0,81 / Min: 0,0 / Dur: 60s
5	19:26	18,1	0,18	Max: 0,41 / Min: 0,0 / Dur: 60s
6	19:28	18,2	0,17	Max: 0,50 / Min: 0,0 / Dur: 60s
7	19:29	18,4	0,11	Max: 0,50 / Min: 0,0 / Dur: 60s
8	19:30	18,5	0,31	Max: 0,63 / Min: 0,0 / Dur: 60s

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento _____

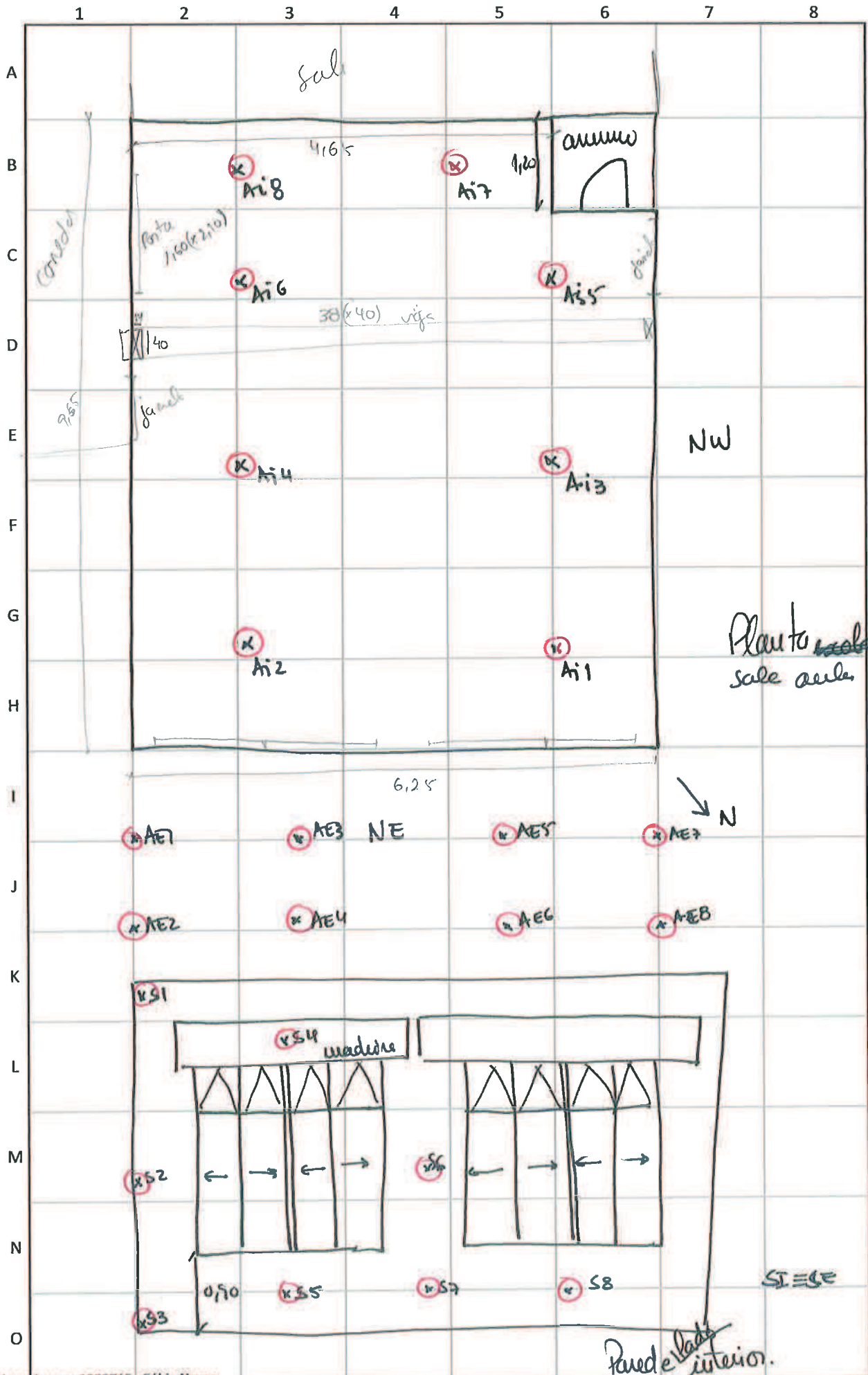
Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
I		NE		REBOCO BRANCO (0,91)
II		"		"
III		"		"
IV		"		"
V		"		"
VI		"		"
VII		"		"

⊕ VER FOTO : 0664 → Frinças de 1cm de largura, na Bandeira.

⊕* trabalho Realizado no âmbito de outro projecto.



1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA JOAQUIM DE ARAÚJO
 Localização: RUA 3 DE MARÇO, 4560-641, PENAFIEL
 Contactos: 255 724 100
 Ano de Inauguração: 1997 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: - Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 17.04.2013 Hora início: 17:00h
 Data fim: 17.04.2013 Hora fim: -

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO
 Direcção do vento S → N Velocidade do vento 1,62 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: SALA 12A Bloco: 3 Pé-direito: 3,10m Largura: 4,90m
 Orientação: ESTE Piso: 0 Comprimento: 7,50m Climatização? NÃO

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE. A1	REBOCO (1cm) + tijolo + C.A. + tijolo + REBOCO (1cm)	VER CROQUI	0786
PE. A2	REBOCO + PILAR/VIGA + REBOCO	VER CROQUI	0786

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PAV	MOSAICO HIDRÁULICO + Casca de Arg. + Laje BETÃO	7,50 x 4,90	0768

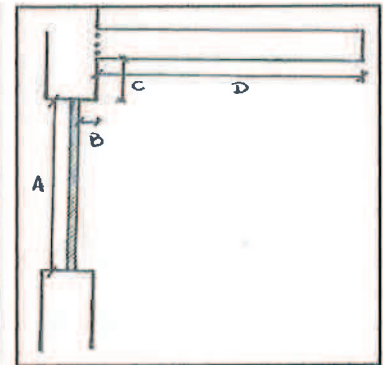
2.2.5. Pontas Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	SIM	7,50	0786
Fachada com Pavimentos	NÃO	-	-
Fachada com Pavimentos intermédios	SIM	7,50	0786
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	NÃO	-	-
Fachada com Varanda	NÃO	-	-
Duas Paredes verticais	SIM	3,10	0786
Fachada com Caixa de estore	SIM	2 x 3,14 m	0786
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	SIM	4 x (2 x (1,30 + 1,70))	0786
Outras:	-	-	-

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras (mm)	Foto
4	1,30 x 1,70	Alumínio	Simplex	4 mm	0770
/	/	/	/	/	/

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
Ombreiras (2x)	x		-	-	-	0,20
Pardeleta		x	-	-	-	0,20



2.2.7. Parades Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PI.A1	REBOCO + TIJOLO 15 + REBOCO		0774

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros (mm)
1	2,10 x 0,8	MADEIRA	-
1	0,75 x 0,55	MADEIRA	4 mm

2.2.12. Renovações de Ar

Natural

Mecânica

Obs. APENAS VENTILAÇÃO NATURAL.

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	17:22	20,0	46,0	EST	
AE.2	17:23	20,0	46,1	"	
AE.3	17:23	20,0	45,9	"	
AE.4	17:24	20,1	46,1	"	
AE.5	17:25	20,2	46,0	"	
AE.6	17:25	20,2	45,1	"	
AE.7	17:26	20,3	44,6	"	
AE.8	17:26	20,1	44,1	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	17:50	19,9	8,6	E	
SE.2	17:51	20,3	8,6	"	
SE.3	17:52	20,5	8,1	"	
SE.4	17:54	19,8	8,9	"	
SE.5	17:54	20,3	8,2	"	
SE.6	17:55	20,9	15,7	"	
SE.7	17:56	20,2	8,1	"	
SE.8	17:57	20,5	8,4	"	


3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	17:16	20,6	53,4	E	
AI.2	17:16	20,5	54,1	"	
AI.3	17:17	20,1	54,7	"	
AI.4	17:18	20,0	56,0	"	
AI.5	17:19	19,9	56,3	"	
AI.6	17:20	19,6	57,9	"	
AI.7	17:20	19,8	58,0	"	
AI.8	17:21	19,6	59,4	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	17:32	18,3	13,4	E	
SI.2	17:33	18,5	10,3	"	
SI.3	17:34	18,5	8,9	"	
SI.4	17:34	19,1	9,1	"	
SI.5	17:35	18,7	9,0	"	
SI.6	17:35	18,7	9,2	"	
SI.7	17:36	18,7	9,3	"	
SI.8	17:37	19,1	12,4	"	

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? SIM Aberturas Auto-Reguláveis? NÃO 

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Ventilação Mecânica


Tipo de Equipamento _____

Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

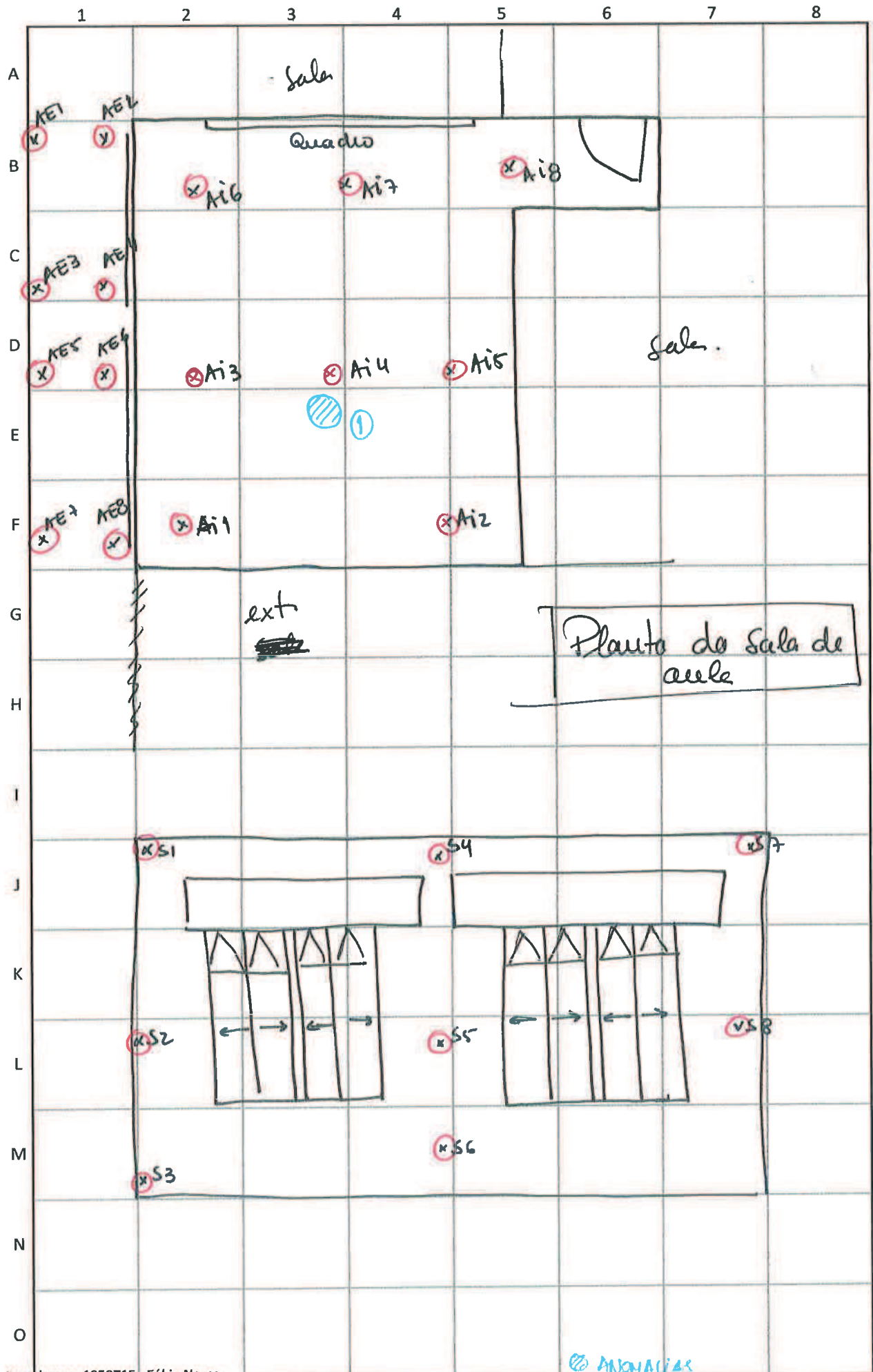


3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
<u>I</u>		<u>E</u>		<u>REATOR BRANCO (0,91)</u>
<u>II</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>III</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>IV</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>V</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>VI</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>VII</u>		<u>"</u>		<u>"</u>

 NÃO SE REGISTOU QUALQUER TRANSFERÊNCIA DE AR ENTRE O INTERIOR E O EXTERIOR DA SALA.

 trabalho realizado no âmbito de outro projecto.



1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DE CLARA DE RESOUE
 Localização: RUA O PRIMEIRO DE JANEIRO, S/N, 4100-365, PORTO
 Contactos: 226 064 689
 Ano de Inauguração: 1960 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: 2011 Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 05/04/2013 Hora início: 14:00h
 Data fim: 05/04/2013 Hora fim: 17:00h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO
 Direcção do vento W → E Velocidade do vento 4,99 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: SALA 9 Bloco: B Pé-direito: 2,86 m Largura: 6,70 m
 Orientação: NORTE Piso: 0 Comprimento: 7,55 m Climatização? sim

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE. B1	REBOCO EXT. (2cm) + Pilau + REBOCO + C.A. + ISOLAMENTO + LAMBEIM DE MDF.		0583
PE. A2	Graunito + Reboco int. + C.A. + (Lã Rocha + G.C. (2x))		0583
PE. A1	Reboco ext. Pilar Betão + Reboco int. + C.A. + Isolamento + G.C. (2x)		0583

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

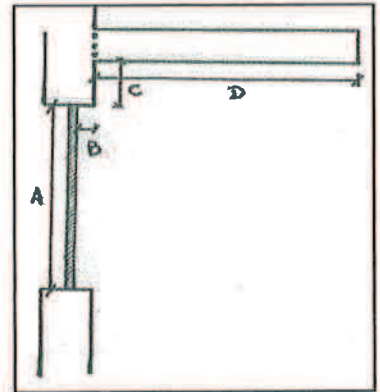
PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	sim	7,55 m	0593
Fachada com Pavimentos	não	—	—
Fachada com Pavimentos intermédios	sim	7,55 m	0593
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	não	—	—
Fachada com Varanda	não	—	—
Duas Paredes verticais	não	—	—
Fachada com Caixa de estore	não	—	—
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	sim	$3 \times ((1,83 + 1,00) \times 2 + (1,83 \times 0,64) \times 2)$	0525/0570
Outras:	—	—	—

2.2.6. Vãos Exteriores

VE.1
VE.2

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras	Foto
3	1,83 x 1,00	AÇO c/ corte térmico	Duplo	6 + 10 + 6	0572 / 0577
3	1,83 x 0,64	AÇO c/ corte térmico	Duplo	6 + 10 + 6	0576

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
PADIEIRA (VE.2)		X	0,64	0	0	0,48
OMBREIRAS (VE.1 & VE.2)	X			0,20		
IDEM (GRANITO)	X			0,25		
PADIEIRA (VE.1)		X	1,10	0,36	1,38	0,40



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
PI.3	REBOCO + ALVENARIA (20 cm) + REBOCO	7,55 x 3,30 *	0577

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros	Foto
VI.1	3,26 x 0,95	MADEIRA	LAMINADO (≈ 11mm)	(0577)

2.2.12. Renovações de Ar

Natural Mecânica Obs. SÓ TEM VENTILAÇÃO MECÂNICA

* DESCONTAR PORTA!

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	16:06	15.5	29.7	NORTE	
AE.2	16:07	15.5	30.3	"	
AE.3	16:08	15.5	30.2	"	
AE.4	16:09	15.3	30.0	"	
AE.5	16:11	15.2	30.1	"	
AE.6	16:13	15.0	30.1	"	
AE.7	16:14	14.7	30.2	"	
AE.8	16:15	14.5	30.3	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	16:17	14.5	8.2	NORTE	
SE.2	16:18	14.0	7.8	"	
SE.3	16:19	14.3	8.0	"	
SE.4	16:21	14.0	8.3	"	
SE.5	16:22	13.8	8.6	"	
SE.6	16:24	13.5	8.3	"	
SE.7	16:25	13.4	8.3	"	
SE.8	16:26	13.4	7.9	"	
SE.9	16:27	13.1	8.4	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	14:27	18.3	39	NORTE	
AI.2	14:29	18.3	38	"	
AI.3	14:30	18.3	39	"	
AI.4	14:31	18.3	38.1	"	
AI.5	14:32	18.3	38.1	") MEIO DA SALA
AI.6	14:34	18.4	38.5	"	
AI.7	14:35	18.4	38.7	"	JUNTO AO PROFESSOR
AI.8	14:36	18.4	38.5	"	JUNTO À PORTA

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	14:52	19.1	10.0	NORTE	PTL
SI.2	15:03	18.2	10.8	"	"
SI.3	15:07	18.4	0.0	"	LAMBRIM
SI.4	15:10	18.6	8.9	"	PTL
SI.5	15:12	19.2	8.6	"	
SI.6	15:15	18.4	8.2	"	PTL
SI.7	15:16	18.7	8.5	"	
SI.8	15:16	19.1	0.0	"	LAMBRIM
SI.9	15:17	19.7	0.0	"	LAMBRIM

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? _____ Aberturas Auto-Reguláveis? _____

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento UTAN - UNIDADE DE TRATAMENTO DE AR NOVO

15:29
15:33
15:37
15:39

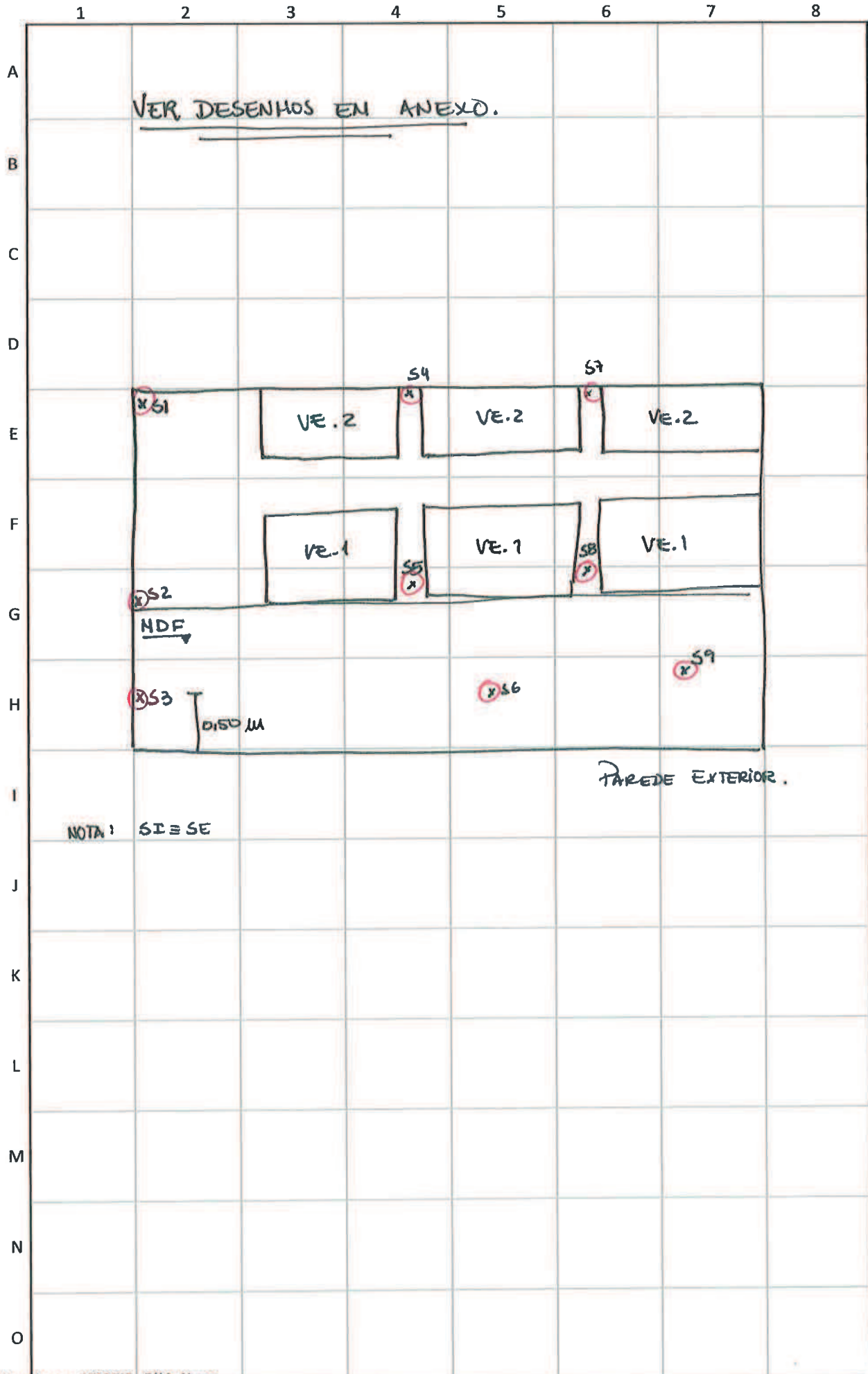
Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			
1	0,13 x 0,48	x		2,15	19,2	
2	0,13 x 0,48	x		2,30	12,2	
3	0,13 x 0,48		x	0,95	20,2	
4	0,13 x 0,48		x	1,40	19,8	

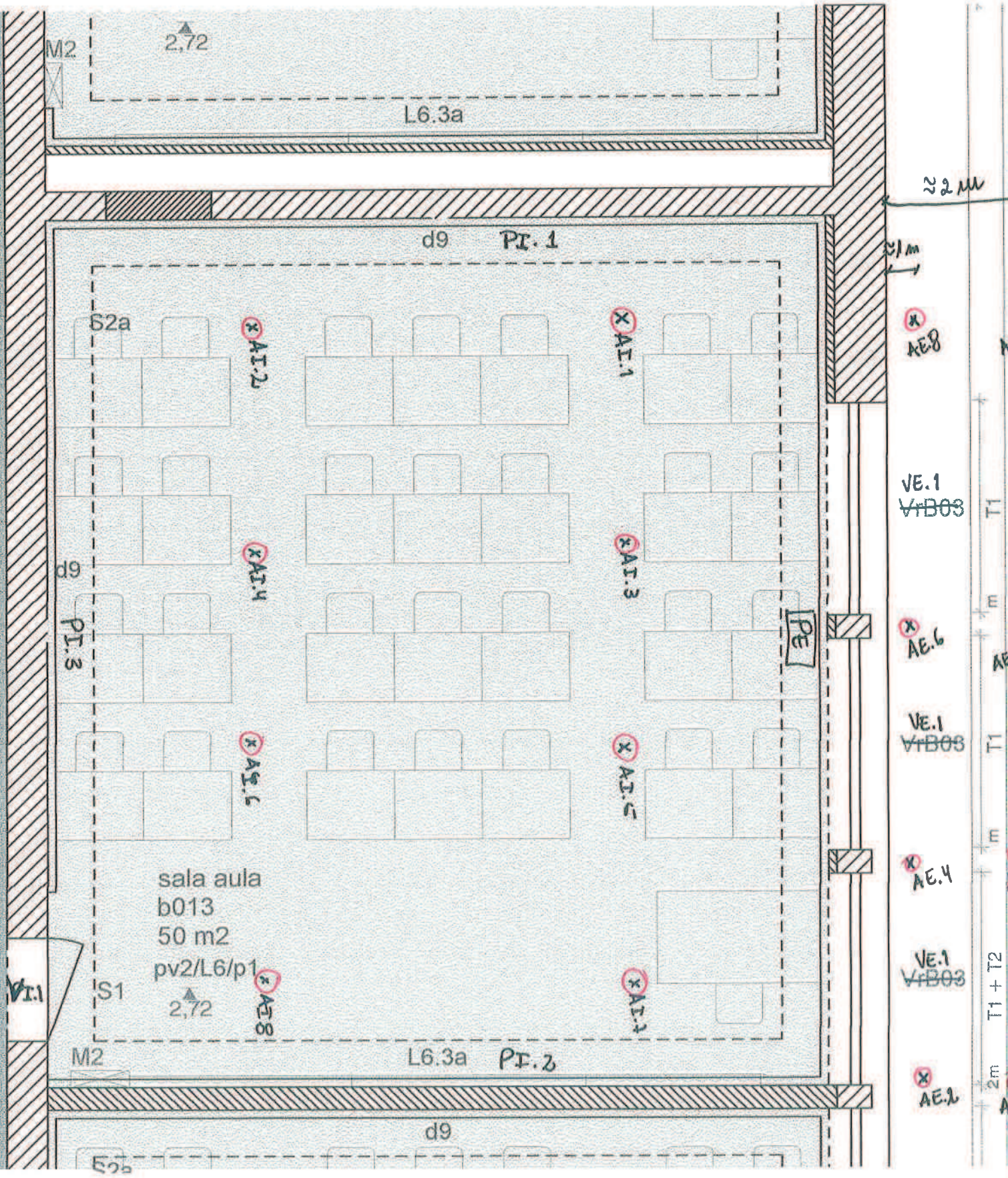


3.4. Termografia

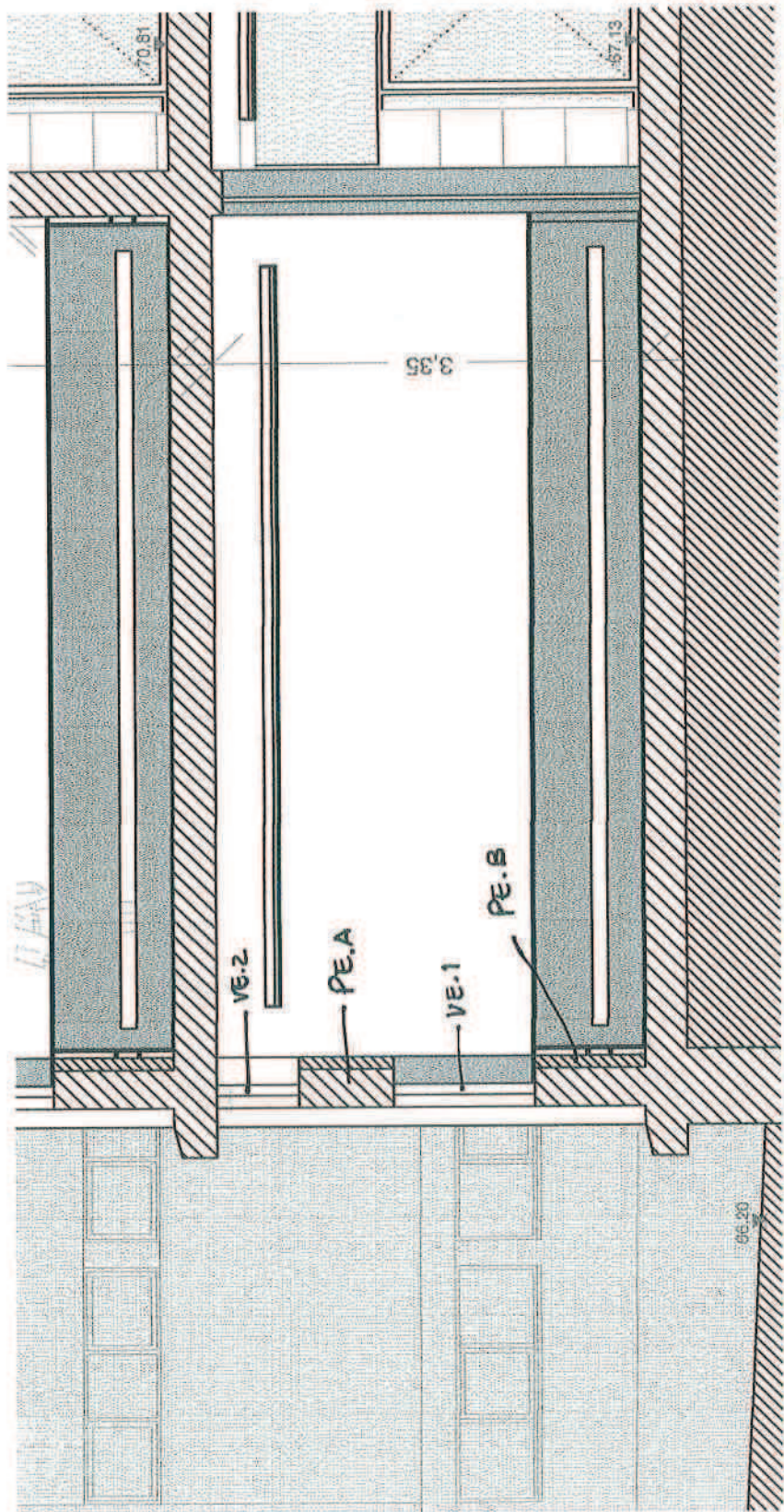
Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
I		Monte		Genso Customado / MDF (0,90)
II		"		"
III		"		"
IV		"		"
V		"		"
VI		"		"
VII		"		"

⊕ trabalho realizado no âmbito de outro projecto.





Bloco B) SALA 9 → NOTE
 PISO 0



1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA GARCIA DE ORTA
 Localização: RUA DE PINHO LEAL, 4150-620, Porto
 Contactos: 226 198 340
 Ano de Inauguração: 1964 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: 2009 Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 16.04.2013 Hora início: 15:00h
 Data fim: 16.04.2013 Hora fim: 17:00h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO
 Direcção do vento W → E Velocidade do vento 2,55 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: 404 Bloco: A4 Pé-direito: 3,20 m Largura: 7,40
 Orientação: NE Piso: 0 Comprimento: 7,83 m Climatização? Sim

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE.A1	Reboco int. + Tijolo II + isolamento + C. A. + dg. Betão		0681
PE.A2	olamento de Betão c/ 60 cm		0681/0701
/	/	/	/

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

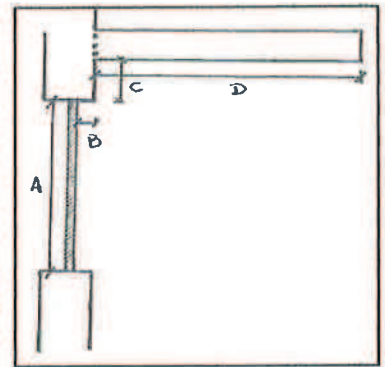
2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	Sim	7,83 m	0681/0701
Fachada com Pavimentos	Não	-	-
Fachada com Pavimentos intermédios	Sim	7,83 m	0681/0701
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	Não	-	-
Fachada com Varanda	Não	-	-
Duas Paredes verticais	Não	-	-
Fachada com Caixa de estore	Não	-	-
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	Sim	3x(2x(2,40 + 2,100)) m	
Outras:	-	-	-

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras (mm)	Foto
3	2,0 x 2,40	Alumínio	Duplo	8+7+8	0696/0693
/	/	/	/	/	/

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
Ombreiras (2x)	X		-	-	-	0,25
Perdielas		X	-	-	-	0,40



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PI.A)	REBOCO INT. + Tij. Maciço.		

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões (m)	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros (mm)
1	0,90 x 2,00	Aço	lami. 10mm
1	0,90 x 0,75	Aço	5mm
2	2,40 x 0,75	Aço	5mm

2.2.12. Renovações de Ar

Natural

Mecânica

Obs. QUANDO DAS MEDICÕES, A VENTILAÇÃO NÃO ESTAVA A FUNCIONAR.

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	15:46	18,2	59,5	NE	
AE.2	15:46	18,2	59,5	"	
AE.3	15:47	18,1	59,4	"	
AE.4	15:48	18,0	58,6	"	
AE.5	15:49	18,0	58,9	"	
AE.6	15:49	18,0	59,4	"	
AE.7	15:50	18,1	59,7	"	
AE.8	15:50	18,1	60,2	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	16:12	18,5	8,6	NE	
SE.2	16:14	18,6	10,3	"	
SE.3	16:15	18,4	11,2	"	
SE.4	16:16	18,5	10,3	"	
SE.5	16:16	17,7	8,2	"	
SE.6	16:17	17,8	8,5	"	
SE.7	16:18	18,0	8,6	"	
SE.8	16:18	17,7	8,6	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	15:39	18,8	72,2	NE	
AI.2	15:40	18,7	72,6	"	
AI.3	15:41	18,7	72,7	"	
AI.4	15:42	18,6	73,6	"	
AI.5	15:42	18,6	73,6	"	
AI.6	15:43	18,6	73,8	"	
AI.7	15:44	18,6	74,1	"	
AI.8	15:45	18,6	74,0	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	16:02	18,0	13,0	NE	
SI.2	16:05	18,0	12,2	"	
SI.3	16:06	18,2	12,1	"	
SI.4	16:07	18,3	11,1	"	
SI.5	16:08	18,7	15,4	"	
SI.6	16:09	18,7	12,7	"	
SI.7	16:10	18,3	19,0	"	
SI.8	16:10	18,5	12,8	"	

3.3, Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? nao Aberturas Auto-Regulaveis? nao

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento VENTILADORES DE EXTRACÇÃO E INSUFLEÇÃO (*)

Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extracção			

3.4. Termografia

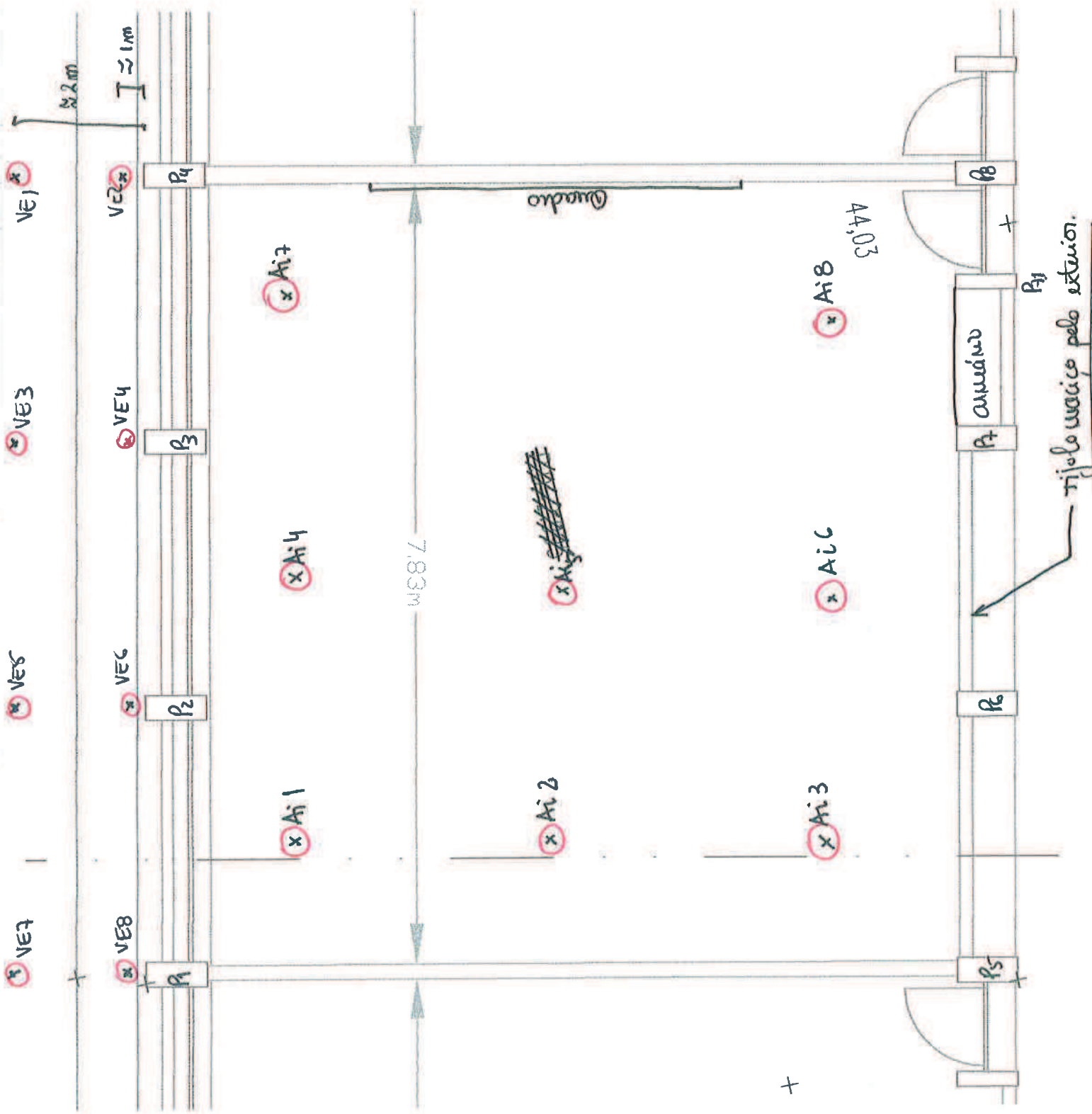
Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
<u>I</u>		<u>Nordeste</u>		<u>Reboco branco (0,91)</u>
<u>II</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>III</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>IV</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>V</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>VI</u>		<u>"</u>		<u>"</u>
<u>VII</u>		<u>"</u>		<u>"</u>

(*) OS EQUIPAMENTOS NÃO ESTAVAM EM FUNCIONAMENTO.

(**) Trabalho Realizado no âmbito de outro projecto.

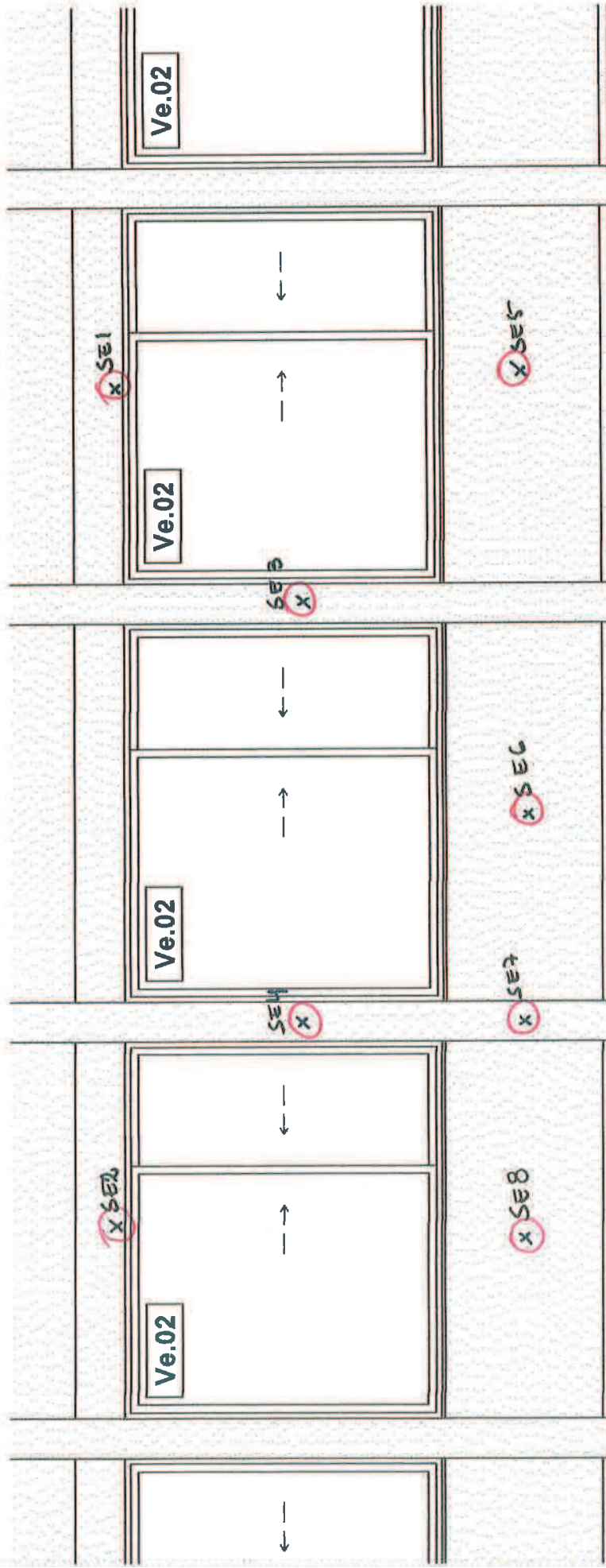
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	⊗ ver desenhos em anexo.							
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
J								
K								
L								
M								
N								
O								

Planta da Sala de aula



Planta da Sala de aula

ALCADO
EXTERIOR



SE = SI !

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE SOARES DOS REIS
 Localização: RUA Major David Magalhães, 4000-191, Porto
 Contactos: 225 341 010
 Ano de Inauguração: 1969 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: 2008 Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 16.04.2013 Hora início: 19:06
 Data fim: 16.04.2013 Hora fim: 19:53

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano: AQUECIMENTO
 Direcção do vento: W → E Velocidade do vento: 0,90 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: A0.10 Bloco: A Pé-direito: 2,80 Largura: 7,60
 Orientação: NOV Piso: 0 Comprimento: 7,40 Climatização? SIM

2.2.1. Paredes Exteriores e PTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PE.A1	ETIC'S + Paredes existente + Reboco int. + C.A. + G.C. (2x)		0707
PE.A2	ETIC'S + ELEMENTO BETÃO + Reboco int. + C.A. + G.C. (2x)		0707

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões (m)	Foto
PA	VINÍLICO + CANADA DE FOLHA + LAJE DE BETÃO	7,40 x 7,60	
/	/	/	/

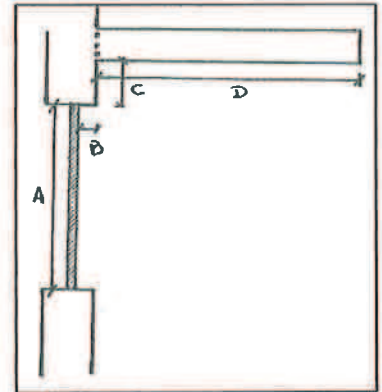
2.2.5. Pontas Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento (m)	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	SIM	7,40 m	0707/0724
Fachada com Pavimentos	NÃO	-	-
Fachada com Pavimentos intermédios	SIM	7,40 m	0724
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	NÃO	-	-
Fachada com Varanda	NÃO	-	-
Duas Paredes verticais	NÃO	-	-
Fachada com Caixa de estore	NÃO	-	-
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	SIM	3x(2x(1,72 + 1,17))	0720
Outras:	-	-	-

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras	Foto
	1,72 x 1,09	alumínio	Duplo	8 x 6 x 33.1	0716

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
VER DESENHO CORTE DA FACADA.						



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
	2 chapas Gesso cartonado + Lã de Rocha (70mm) + C.A. + 2 cha. G.C.		

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
	2 Gesso cartonado + Pileu + 2 Gesso cartonado.		

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros
1	0,96 x 2,10	PORTA MADEIRA + AÇO EM AÇO	—

2.2.12. Renovações de Ar

Natural Mecânica

Obs. AQUANDO DAS MEDIÇÕES, NÃO ESTAVA EM FUNCIONAMENTO.

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	19:11	17,6	64,8	NW	
AE.2	19:11	17,2	65	NW	
AE.3	19:12	17,0	65,2	NW	
AE.4	19:12	17,0	65,8	NW	
AE.5	19:13	16,8	66	NW	
AE.6	19:14	16,8	66,2	NW	
AE.7	19:15	16,8	66,6	NW	
AE.8	19:15	16,6	66,6	NW	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	19:46	15,7	9,2	NW	
SE.2	19:47	16,0	9,3	"	
SE.3	19:48	16,0	9,2	"	
SE.4	19:49	16,2	9,3	"	
SE.5	19:50	16,4	9,4	"	
SE.6	19:50	16,5	9,3	"	
SE.7	19:52	16,3	9,3	"	
SE.8	19:53	16,5	9,3	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	19:05	20,5	53,4	NW	
AI.2	19:06	20,5	53,5	"	
AI.3	19:07	20,5	53,8	"	
AI.4	19:07	20,5	53,5	"	
AI.5	19:08	20,5	53,5	"	
AI.6	19:08	20,5	53,4	"	
AI.7	19:09	20,5	53,3	"	
AI.8	19:09	20,5	53,4	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	19:32	21,4	10,1	NW	
SI.2	19:33	21,0	9,5	"	
SI.3	19:33	22,0	11,8	"	
SI.4	19:34	21,7	9,0	"	
SI.5	19:34	21,1	9,3	"	
SI.6	19:35	21,7	9,2	"	
SI.7	19:36	21,4	9,0	"	
SI.8	19:37	21,4	8,8	"	

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? NÃO Aberturas Auto-Reguláveis? SIM

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				


Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento 

Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

** 3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
I		Nordeste		Beso Cortomado (0,90)
II		"		"
III		"		"
IV		"		"
V		"		"
VI		"		"
VII		"		"

 CONTÉM VENTILCONUECTOR → VRV INTERIOR
 +
 EXTRACÇÃO MECÂNICA QUE FUNCIONA EM CONJUNTO COM AS GREIJAS DE VENTILAÇÃO NA FACHADA.
 AQUANDO DAS MEDICÕES, OS EQUIPAMENTOS ENCONTRAVAM-SE DESLIGADOS.

** Trabalho Realizado no âmbito de outro projeto.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	⊗ VER ESQUEMAS EM ANEXO.							
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
J								
K								
L								
M								
N								
O								

9.69

≈ 2m

≈ 1m

VE1
x

VE2
x

VE3
x

VE4
x

VE5
x

VE6
x

VE7
x

VE8
x

VI3
x

VI4
x

VI1
x

VI5
x

VI2
x

VI8
x

VI6
x

VI3
x

a032
rede informatic
servidor

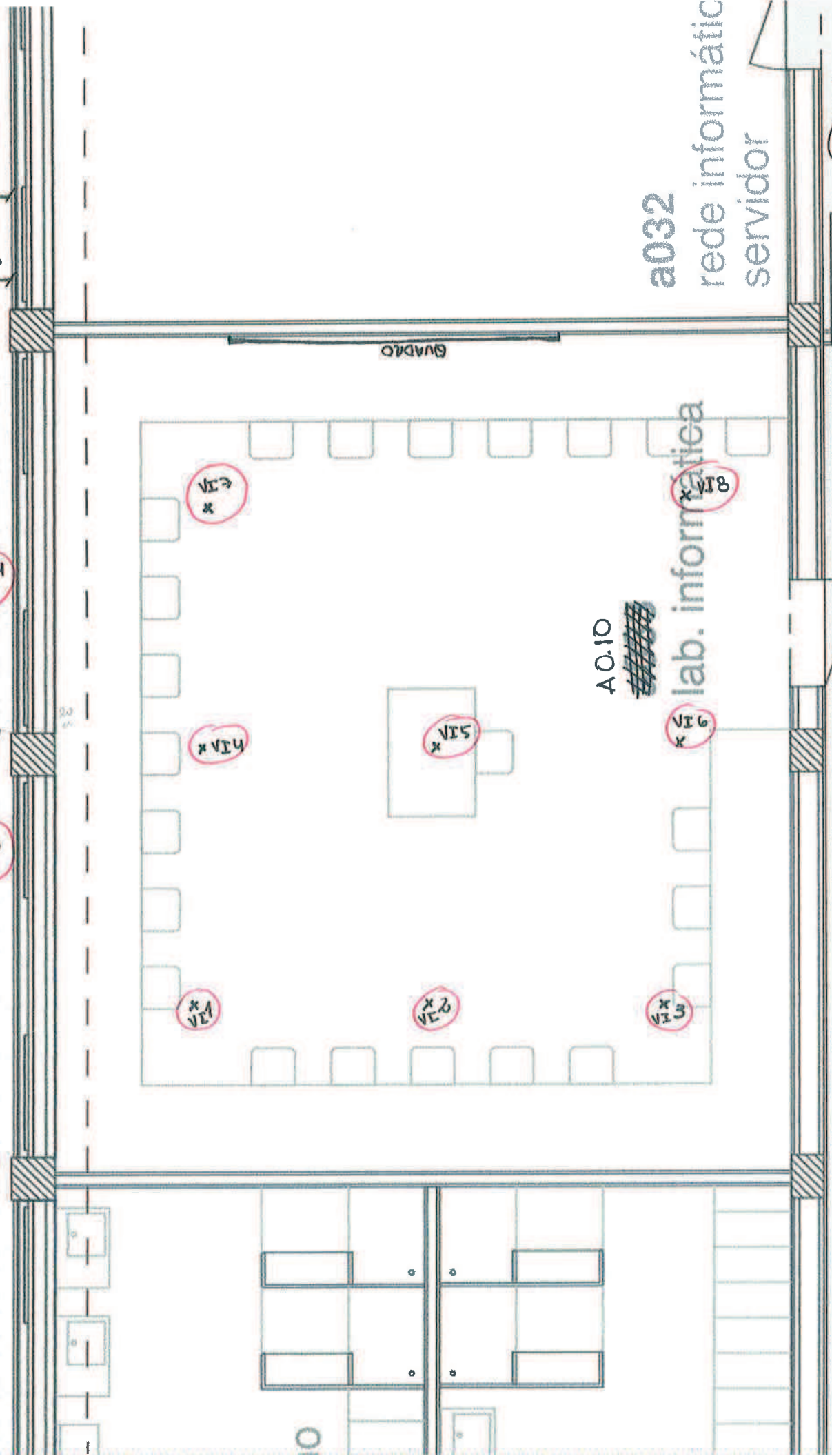
AO.10

lab. informatica

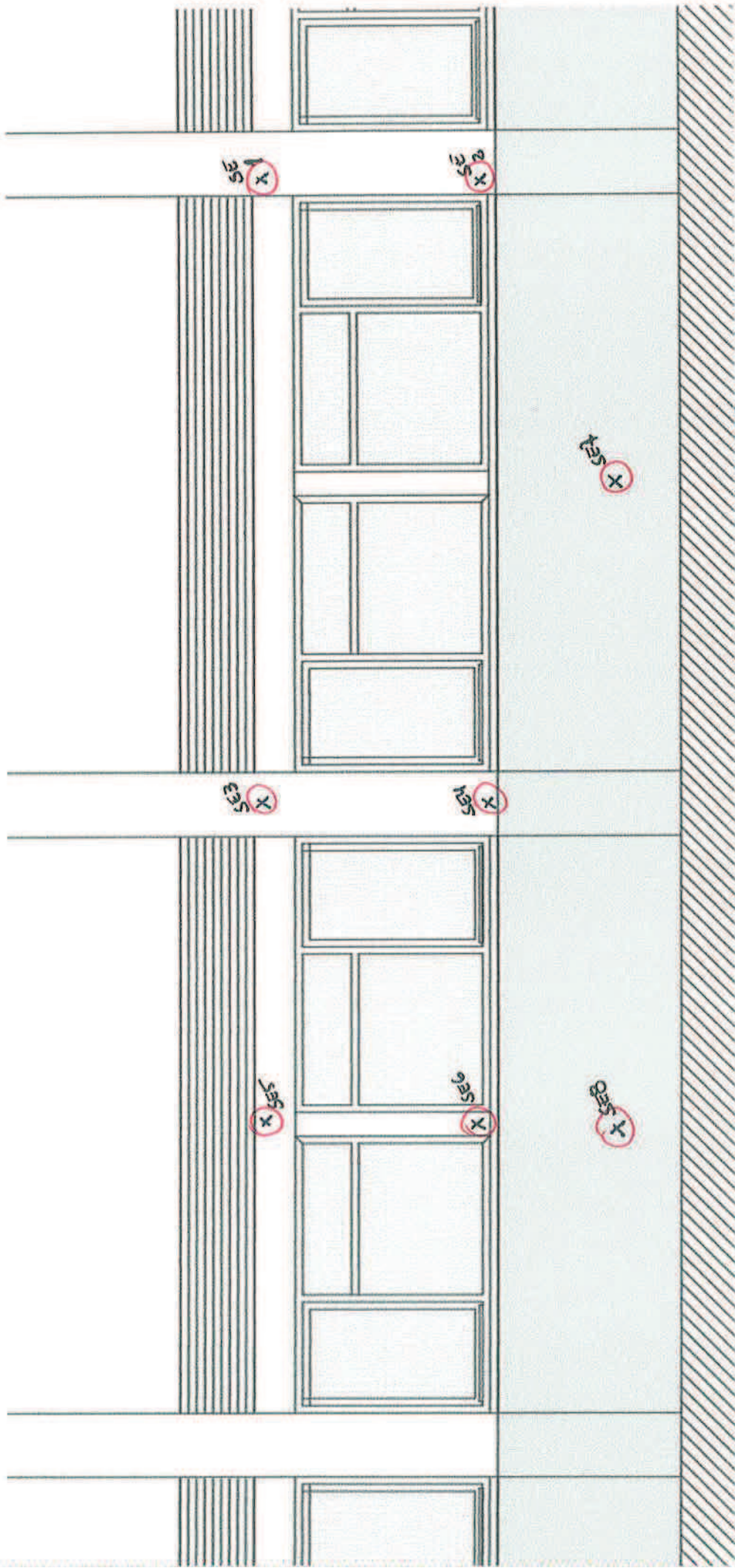
GUARDO

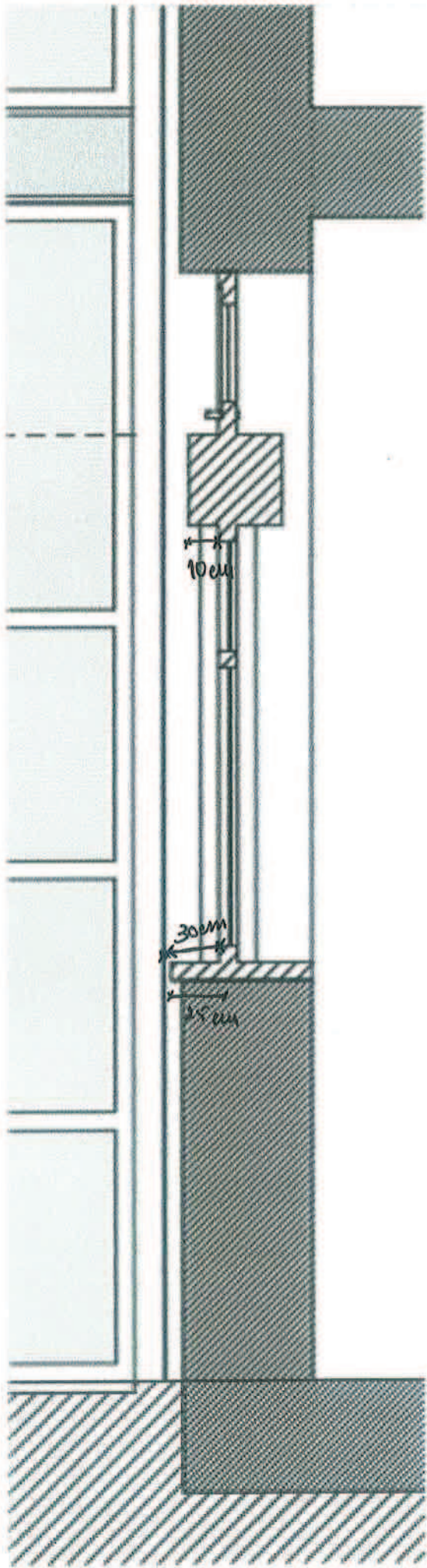
Planta da
Sala de aula

Corredor.



Fachada exterior





Corte da
Fachada

1. Identificação da Escola

Escola: ESCOLA SECUNDÁRIA DE PENAFIEL
 Localização: RUA DA ALVES MAGALHÃES, 4560-491, PENAFIEL
 Contactos: _____
 Ano de Inauguração: 1960 Estado: Remodelada Nº Salas a Analisar: 1
 Ano de Remodelação: 2010 Por remodelar

2. Levantamento de Dados

Data início: 17.04.2013 Hora início: 15:00 h
 Data fim: 17.04.2013 Hora fim: 16:00 h

2.1. Dados Climáticos

Sol Nebulosidade Precipitação Estação do Ano AQUECIMENTO
 Direcção do vento W → E Velocidade do vento 1,21 m/s

2.2. Características Gerais da Sala de Aula

Designação: 106 Bloco: D Pé-direito: 3,00m Largura: 6,53
 Orientação: NORDESTE Piso: 0 (R/C) Comprimento: 7,88m Climatização? sim

2.2.1. Parados Exteriores e RTP

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
PE.A1	ETIC'S + Paude existente + Reboco exterior.		0737
PE.A2	ETIC'S + Elemento De Betão + Reboco interior.		0737

2.2.2. Pavimentos Exteriores

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.3. Coberturas

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.4. Paredes e Pavimentos em Contacto com o Solo

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

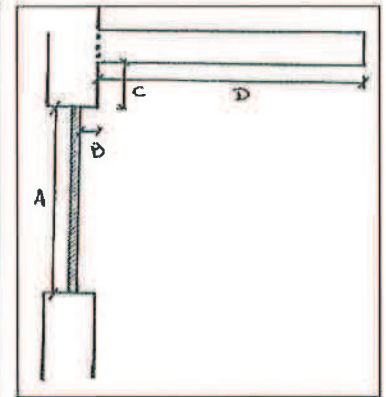
2.2.5. Pontes Térmicas Lineares

PTL	Sim/Não	Comprimento	Foto
Fachada com os Pavimentos térreos	Sim	7,88 m	0737
Fachada com Pavimentos	NÃO		
Fachada com Pavimentos intermédios	Sim	7,88 m	0737
Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço	NÃO		
Fachada com Varanda	NÃO		
Duas Paredes verticais	NÃO		
Fachada com Caixa de estore	NÃO		
Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril	Sim	3x(2x(2,40 + 1,90))	0742
Outras:			

2.2.6. Vãos Exteriores

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidro	Espessuras	Foto
3	2,40 x 1,90	Alumínio	Duplo	6 + 10 + 6	0748

Elemento de sombreamento	Vertical	Horizontal	A	B	C	D
VERTICAL (2x)	x		2,40	—	—	0,22
HORIZONTAL (1x)		x	1,90	—	—	0,33



2.2.7. Paredes Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
Pi.1	REBOCO + tijolo 11 + REBOCO (TOTAL 13,5cm)		

2.2.8. Pontes Térmicas Planas / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
Pi.2	PILARES (0,250 x 0,500) (2x)		

2.2.9. Pavimentos Interiores / E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.10. Tetos sob E.N.U.

Ref.ª	Elementos Constituintes	Dimensões	Foto
/	/	/	/

2.2.11. Vãos Interiores / ENU

Quant.	Dimensões	Tipo de Caixilharia	Tipo de Vidros
1	0,81 x 2,00	Aço	6mm
3	2,40 x 0,57	Aço	6mm

PORTA
VÃOS INTERIORES

2.2.12. Renovações de Ar

Natural Mecânica

Obs. Atendendo DAS MEDICÕES, OS EQUIPAMENTOS NÃO ESTAVAM EM FUNCIONAMENTO.

3. Medições

3.1. Ambiente Exterior

Ar Exterior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AE.1	15:29	20,6	47,7	NE	
AE.2	15:29	20,6	47,4	"	
AE.3	15:30	20,5	47,5	"	
AE.4	15:30	20,5	49,0	"	
AE.5	15:31	20,5	47,4	"	
AE.6	15:31	20,5	49,2	"	
AE.7	15:32	20,5	48,7	"	
AE.8	15:32	20,5	48,0	"	

Superfície Exterior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SE.1	15:57	20,7	8,0	NE	CAPOTO
SE.2	15:58	20,7	8,1	"	
SE.3	16:00	20,7	8,0	"	CAPOTO
SE.4	16:00	20,7	8,1	"	
SE.5	16:01	20,7	8,2	"	CAPOTO
SE.6	16:01	20,4	7,9	"	CAPOTO
SE.7	16:02	21,0	7,9	"	CAPOTO
SE.8	16:03	20,9	7,9	"	

3.2. Ambiente Interior

Ar Interior					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
AI.1	15:21	20,9	66,1	NE	
AI.2	15:22	20,9	66,3	"	
AI.3	15:23	20,8	66,4	"	
AI.4	15:23	20,7	66,3	"	
AI.5	15:24	20,7	66,5	"	
AI.6	15:24	20,7	66,6	"	
AI.7	15:25	20,7	66,7	"	
AI.8	15:25	20,6	67,0	"	

Superfície Interior do Elemento Construtivo					
Nº	Hora	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Orientação	Obs.
SI.1	15:40	20,3	10,3		
SI.2	15:42	20,7	10,6		
SI.3	15:43	21,4	13,7		
SI.4	15:44	20,9	11,2		
SI.5	15:44	19,8	16,4		
SI.6	15:45	19,6	11,8		
SI.7	15:46	21,0	10,8		
SI.8	15:46	20,7	10,8		

3.3. Renovação do Ar

Ventilação Natural

Caixa Estrores? NÃO Aberturas Auto-Regulaveis? NÃO

Nº	Hora	Temperatura(°C)	Velocidade do ar (m/s)	Obs
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				


Ventilação Mecânica

Tipo de Equipamento UTAN - UNIDADE TRATAMENTO AR NOVO 

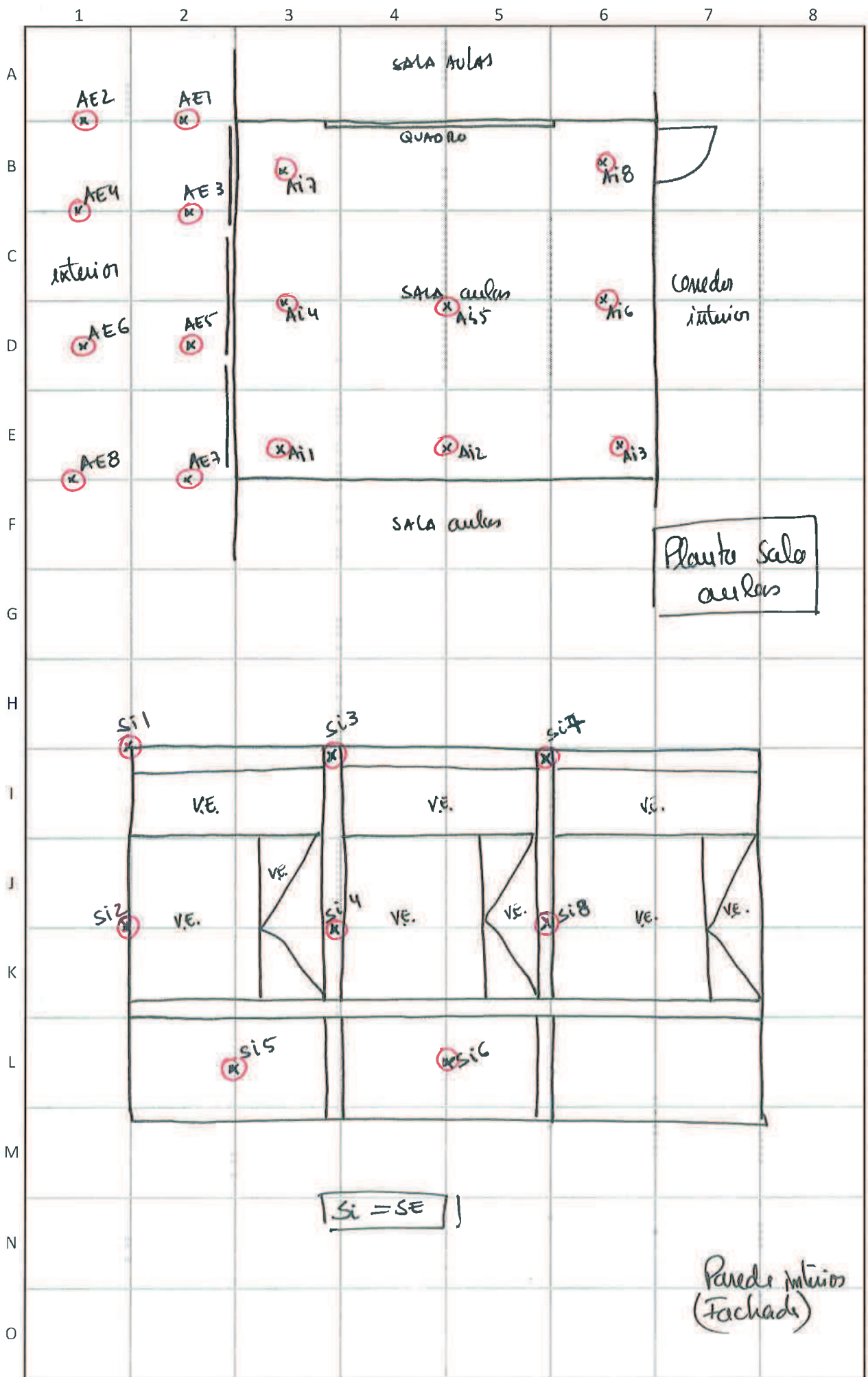
Nº Grelha	Dimensão	Tipo		Velocidade (m/s)	Temperatura(°C)	Esquema Geral de ventilação
		Insuflação	Extração			

3.4. Termografia

Nº Imagem	Hora	Orientação Fachada	Distância da máquina ao elemento	Emissividade
I		Nordeste		Riboca branco (0,91)
II		"		"
III		"		"
IV		"		"
V		"		"

 OS EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO NÃO ESTAVAM EM FUNCIONAMENTO!

 Trabalho efectuado no âmbito de outro projecto.



ANEXO IV

Folhas de Calculo:
Análise do Rico de Ocorrência de Condensações

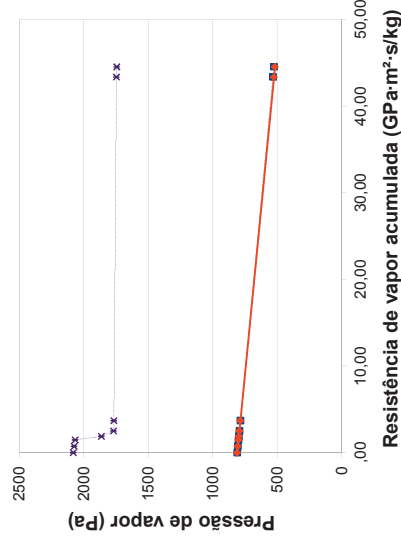
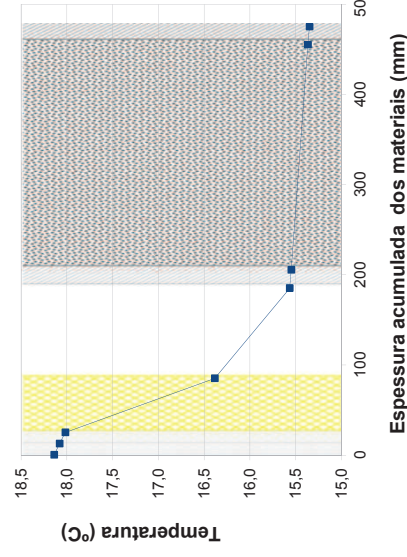
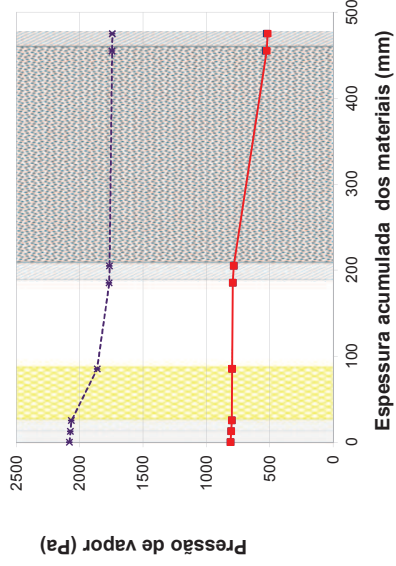
Resistência Superficial

Rsi	0,13
Rse	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	15,3	18,3	4
Interior	30,2%	38,5%	

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Satuação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Satuação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	18,1			809	809	2081	39%	0	0,000	0,000	809	2102	2102	18,1
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	18,1	0,0170	0,735	804	804	2073	39%	12,500	0,735	502,941	805	2073	2073	18,1
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	18,0	0,0170	0,735	800	800	2065	39%	25,000	1,471	1005,882	800	2065	2065	18,0
4	Lã de rocha	0,060	0,045	1,33	16,4	0,1400	0,429	797	797	1862	43%	85,000	1,999	1299,025	797	1862	1862	16,4
5	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	15,6	0,1650	0,606	793	793	1768	45%	185,000	2,505	1713,571	793	1768	1768	15,6
6	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	15,5	0,0170	1,176	786	786	1765	44%	205,000	3,682	2518,277	786	1765	1765	15,5
7	Pilar de betão	0,250	1,700	0,15	15,4	0,0063	39,683	532	525	1745	30%	455,000	43,364	29661,134	532	1745	1745	15,4
8	Reboco exterior	0,020	1,300	0,02	15,3	0,0170	1,176	525	517	1743	30%	475,000	44,541	30465,840	525	1743	1743	15,3
9	Superfície Exterior			0,04	15,3	0,0170	1,176	525	525	1738	30%	475,000	44,541	30465,840	525	1738	1738	15,3
						ΣZ	44,5	ΔP	285									



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESCR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios registados

Resistência Superficial

Rsi	0,13
Rse	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

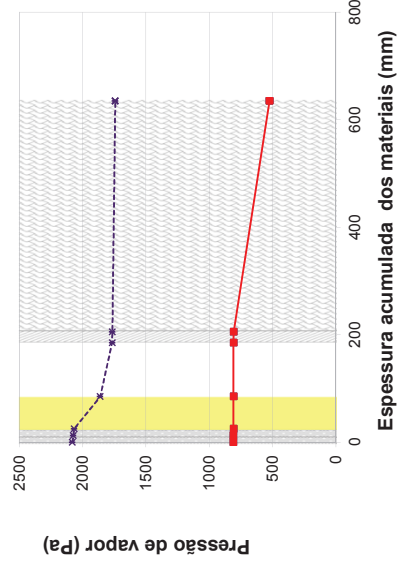
4

Exterior Interior

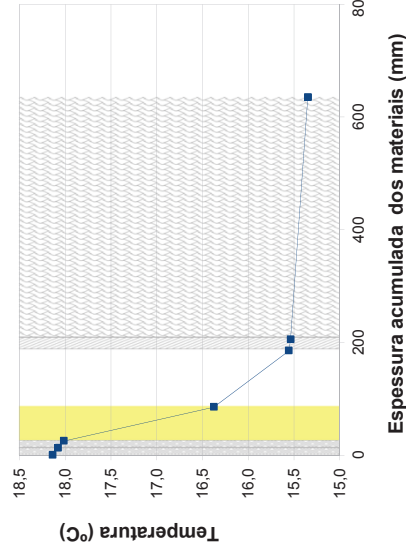
15,3	18,3
30,2%	38,5%

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	18,3			809	809	2102	39%	0	0,000	0,000	809	2102	18,3
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	18,1	0,0170	0,735	809	809	2073	39%	12,500	0,735	502,941	809	2073	18,1
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	18,0	0,0170	0,735	809	809	2065	39%	25,000	1,471	1005,882	809	2065	18,0
4	Lã de rocha	0,060	0,045	1,33	16,4	0,1400	0,429	809	809	1862	43%	85,000	1,999	1299,025	809	1862	16,4
5	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	15,6	0,1650	0,606	808	808	1766	46%	185,000	2,505	1713,571	808	1766	15,6
6	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	15,5	0,0170	1,176	808	808	1764	46%	205,000	3,682	2518,277	808	1764	15,5
7	Granito	0,430	2,800	0,15	15,3	0,0006	693,548	525	525	1743	30%	635,000	697,230	476905,373	525	1743	15,3
8	Superfície Exterior			0,04	15,3			525	525	1738	30%	635,000	697,230	476905,373	525	1738	15,3
						ZZ	697,2	ΔP	285								

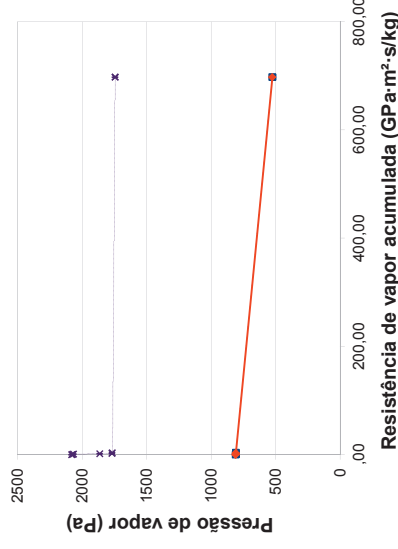
Pressão de vapor, sem correcção
Pressão Vapor corrigida
Saturação da Pressão Vapor



Temperatura (°C)



Pressão de vapor, sem correcção
Pressão Vapor corrigida
Saturação da Pressão Vapor



Espessura acumulada dos materiais (mm)

Espessura acumulada dos materiais (mm)

Resistência de vapor acumulada (GPa·m²·s/kg)

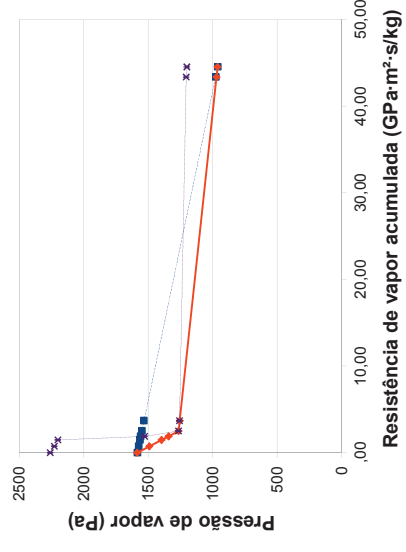
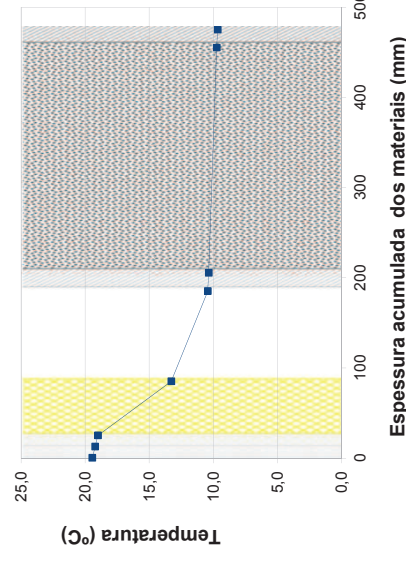
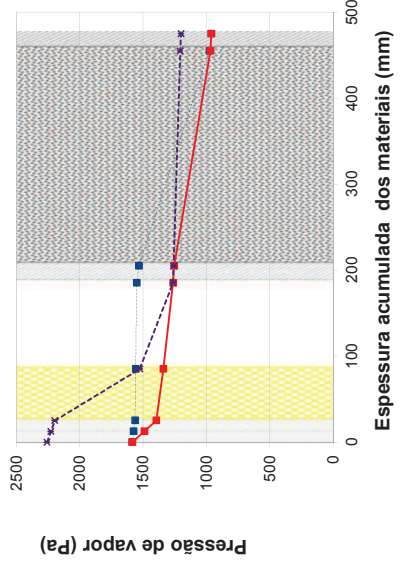
Resistência Superficial

R _{si}	0,13
R _{se}	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	9,5	20,0
Interior	81,0%	67,8%
Material do layer	4	

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)	
1	Superfície interior			0,13	19,4			1585	1585	2257	70%	0	0,000	0,000	1585	1585	2257	19,4	
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,2	0,0170	0,735	1575	1491	2228	67%	12,500	0,735	502,941	1575	1491	2228	19,2	
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,0	0,0170	0,735	1564	1396	2198	64%	25,000	1,471	1005,882	1564	1396	2198	19,0	
4	Lã de rocha	0,060	0,045	1,33	13,3	0,1400	0,429	1558	1341	1526	88%	85,000	1,999	1299,025	1558	1341	1526	13,3	
5	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	10,4	0,1650	0,606	1550	1263	1263	100%	185,000	2,505	1713,571	1550	1263	1263	10,4	
6	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	10,4	0,0170	1,176	1533	1255	1258	100%	205,000	3,682	2518,277	1533	1255	1258	10,4	
7	Pilar de betão	0,250	1,700	0,15	9,7	0,0063	39,683	978	970	1206	80%	455,000	43,364	29661,134	978	970	1206	9,7	
8	Reboco exterior	0,020	1,300	0,02	9,7	0,0170	1,176	961	961	1201	80%	475,000	44,541	30465,840	961	961	1201	9,7	
9	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	475,000	44,541	30465,840	961	961	1187	9,5	
					ΣR	2,45	ΣZ	44,5	ΔP	624									
							ΣZI	2,505	ΔPI	322									
							ΣZu	42,035	ΔPu	302									



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

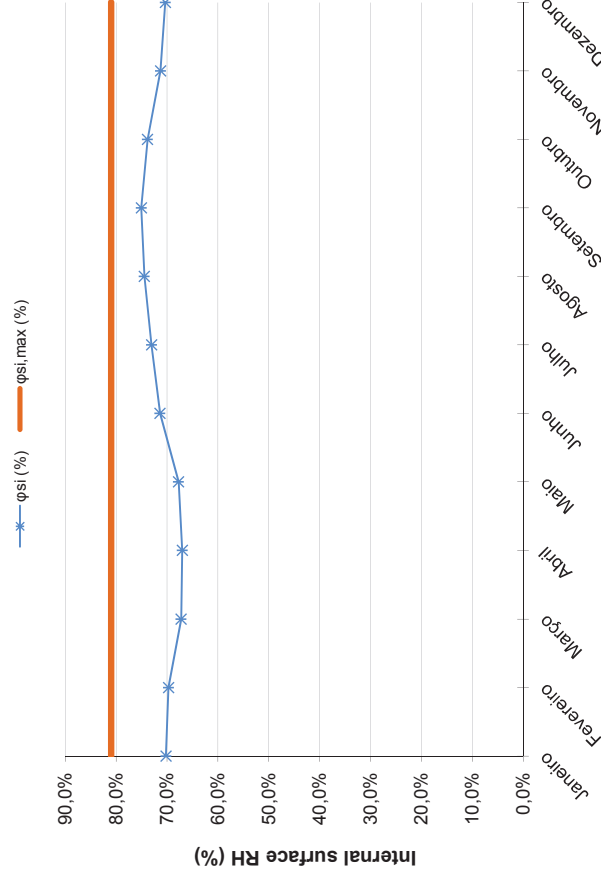
Escola: ESCR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,4	1585	2257	70,2%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,5	1579	2264	69,7%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,6	1533	2281	67,2%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,7	1534	2289	67,0%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,8	1562	2306	67,7%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2329	71,4%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2342	73,0%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,0	1745	2343	74,5%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2333	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,8	1705	2309	73,8%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,6	1628	2284	71,3%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,5	1594	2266	70,3%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,7	1607	2300	69,9%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,6	1585	2279	69,6%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESCR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

Resistência Superficial

Rsi	0,13
Rse	0,04

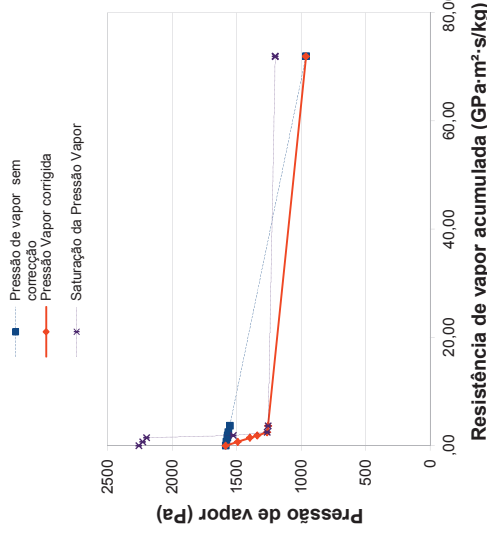
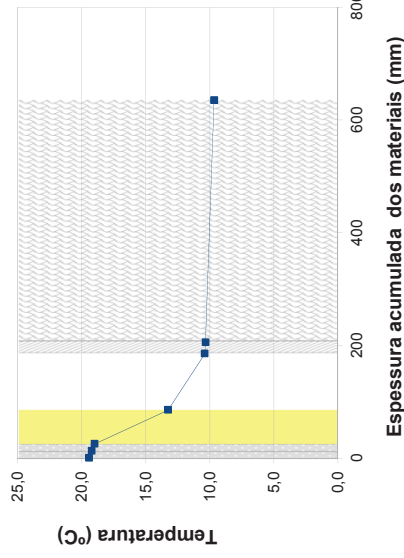
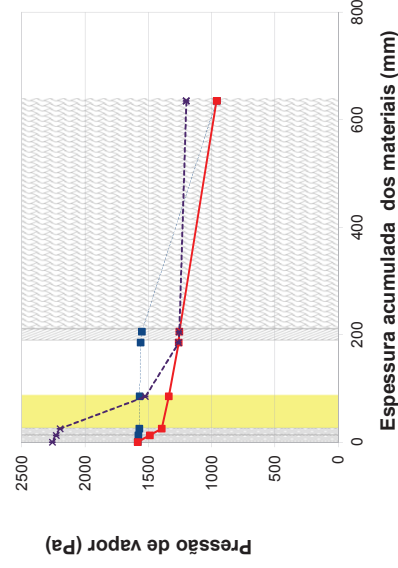
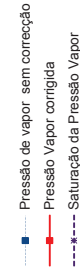
Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	9,5	20,0
Interior	81,0%	67,8%
Material do layer	4	

Resistência Superficial

Exterior	9,5	20,0
Interior	81,0%	67,8%
Material do layer	4	

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	19,4			1585	1585	2337	68%	0	0,000	0,000	1585	1585	2337	20,0
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,2	0,0170	0,735	1579	1490	2227	67%	12,500	0,735	502,941	1579	1490	2227	19,2
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,0	0,0170	0,735	1572	1395	2197	63%	25,000	1,471	1005,882	1572	1395	2197	19,0
4	Lã de rocha	0,060	0,045	1,33	13,3	0,1400	0,429	1569	1339	1524	88%	85,000	7,999	1299,025	1569	1339	1524	13,3
5	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	10,4	0,1650	0,606	1563	1261	1261	100%	185,000	2,500	1713,571	1563	1261	1261	10,4
6	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	10,3	0,0170	1,176	1553	1255	1255	100%	205,000	3,682	2518,277	1553	1255	1255	10,3
7	Granito	0,430	2,800	0,15	9,7	0,0063	68,254	961	961	1201	80%	635,000	71,936	49203,991	961	961	1201	9,7
8	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	635,000	71,936	49203,991	961	961	1187	9,5
						ZZ	71,9	AP	624									



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

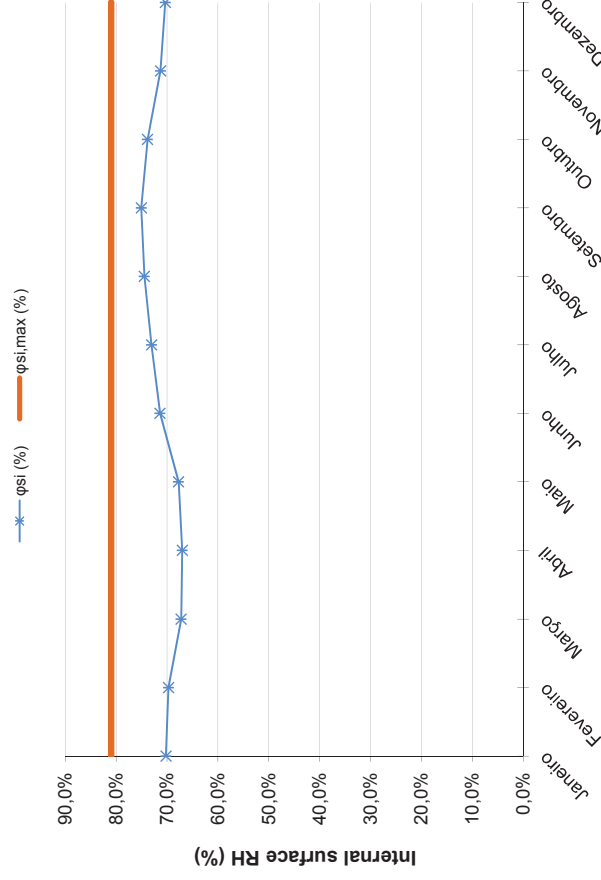
Escola: ESCR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_e (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,4	1585	2257	70,2%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,5	1579	2264	69,7%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,6	1533	2280	67,2%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,7	1534	2289	67,0%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,8	1562	2306	67,7%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2329	71,4%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2342	73,0%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,0	1745	2343	74,5%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2333	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,8	1705	2309	73,8%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,6	1628	2284	71,3%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,5	1594	2266	70,3%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,7	1607	2300	69,9%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,6	1585	2278	69,6%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios registados

Resistência Superficial

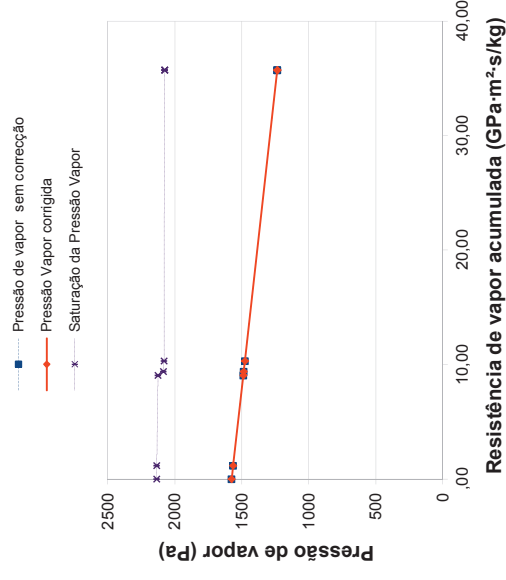
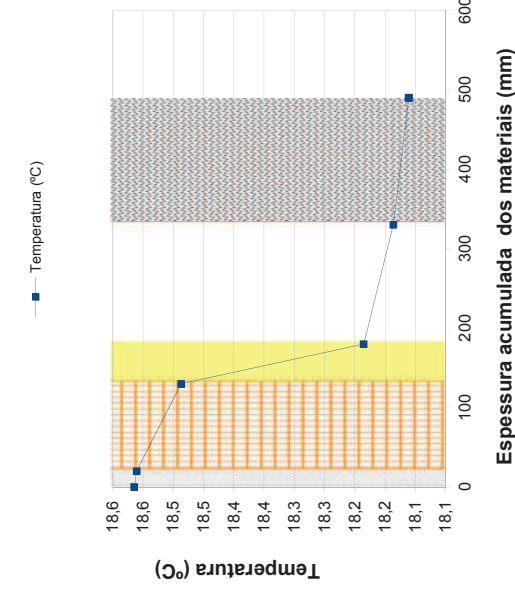
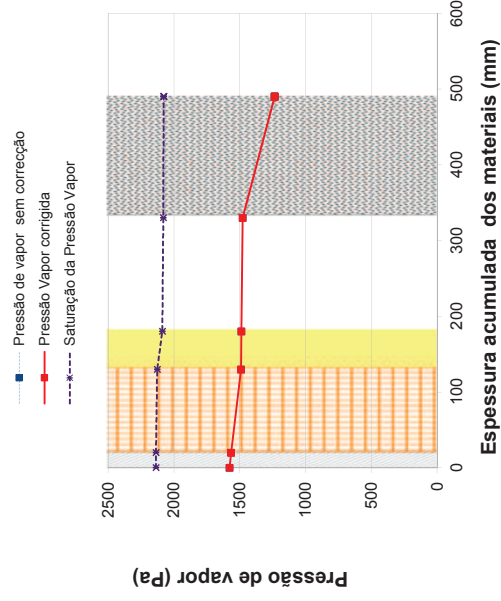
Classe de humidade (EN ISO 13788)
4

Exterior	Interior
18,1 59,5%	18,6 73,6%

Rsi	0,13
Rse	0,04

Temperatura Humidade Relativa

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	18,6			1576	2142	74%	0	0,000	1576	1576	1576	2142	18,6
2	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	18,6	0,0170	1,176	1565	2137	74%	0	1,176	0,000	1576	1565	2137	18,6
3	Tijolo 11	0,110	-	0,27	18,5	0,0140	7,857	1490	2127	70%	130,000	9,034	804,706	1490	1565	2137	18,6
4	Isolamento térmico	0,050	0,045	1,11	18,2	0,1400	0,357	1487	2087	71%	180,000	9,391	6423,277	1487	1490	2127	18,5
5	Caixa de ar	0,150	-	0,18	18,1	0,1650	0,909	1478	2081	71%	330,000	10,300	7045,095	1478	1487	2087	18,2
6	Elemento de betão	0,160	1,700	0,09	18,1	0,0063	25,397	1235	2077	59%	490,000	35,697	24416,524	1235	1235	2077	18,1
9	Superfície exterior			0,04	18,1			1235	2076	60%	490,000	35,697	24416,524	1235	1235	2076	18,1
						ΣZ	35,7	ΔP	341								



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.AZ

Condição: Análise com base nos valores médios registados

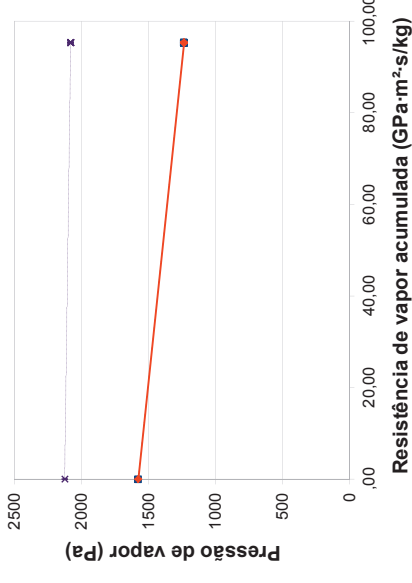
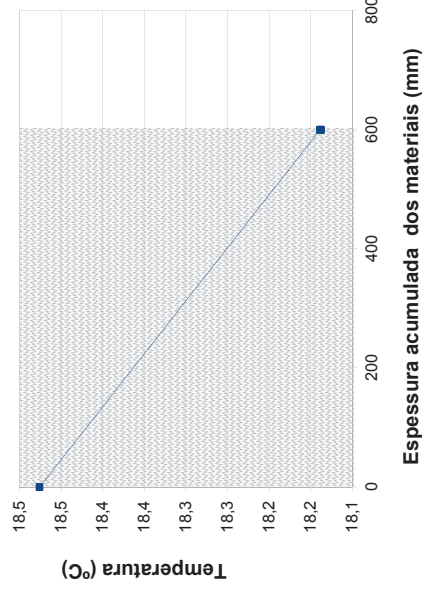
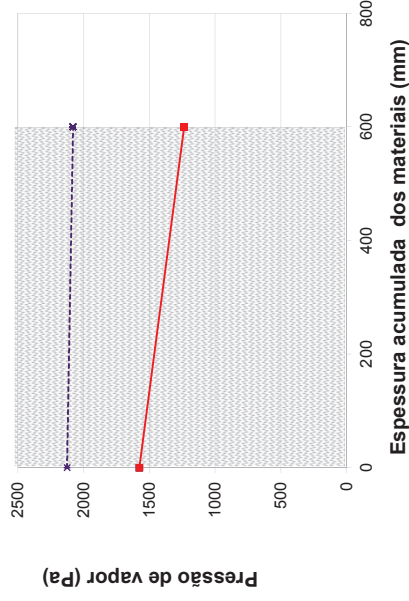
Resistência Superficial

Exterior	Interior	Classe de humidade (EN ISO 13788)
18,1	18,6	4
59,5%	73,6%	

Temperatura	Humidade Relativa
18,1	59,5%
18,6	73,6%

Rsi	Rse
0,13	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correção	Pressão Vapor corrigida	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	18,6			1576	1576	2142	74%	0	0,000	0,000	1576	1576	18,6
2	Elemento de betão	0,600	1,700	0,35	18,5	0,0063	95,238	1235	1235	2125	74%	0	0,000	0,000	1576	1576	18,5
3	Superfície exterior			0,04	18,1			1235	1235	2081	59%	600,000	95,238	65142,857	1235	1235	18,1
						ΣZ	95,2	ΔP	341			ΣR	0,52				



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

Resistência Superficial

Exterior	Interior	Classe de humidade (EN ISO 13788)
9,5	20,0	4
81,0%	67,8%	

Rsi	0,13
Rse	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Satuação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	20,0			1585	1585	2337	68%	0	0,000	0,000	1585	1585	2337	20,0
2	Reboco interior	0,020	1,300	0,02	19,3	0,0170	1,176	1564	1547	2220	71%	0	1,176	0,000	1564	1547	2220	19,3
3	Tijolo 11	0,110	-	0,27	17,6	0,0140	7,857	1427	1291	2015	64%	130,000	9,034	6178,992	1427	1291	2015	17,6
4	Lã de rocha	0,050	0,045	1,11	11,3	0,1400	0,357	1421	1279	1338	96%	180,000	9,391	6423,277	1421	1279	1338	11,3
5	Isolamento térmico	0,150	-	0,18	10,3	0,1650	0,909	1405	1249	1249	100%	330,000	10,300	7045,095	1405	1249	1249	10,3
6	Elemento de betão	0,160	1,700	0,09	9,7	0,0063	25,397	961	961	1205	80%	490,000	35,697	24416,524	961	961	1205	9,7
9	Superfície exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	490,000	35,697	24416,524	961	961	1187	9,5

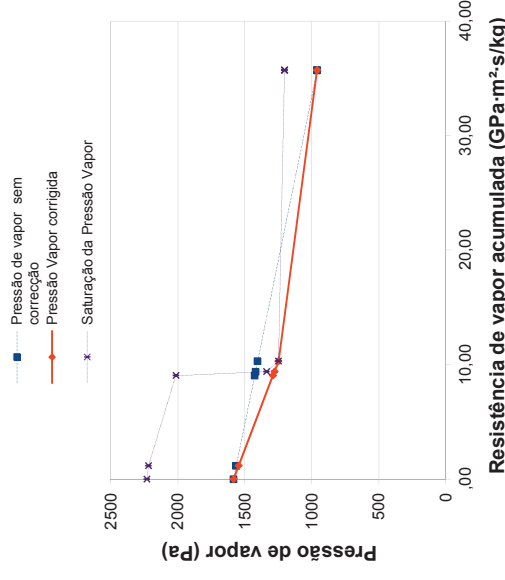
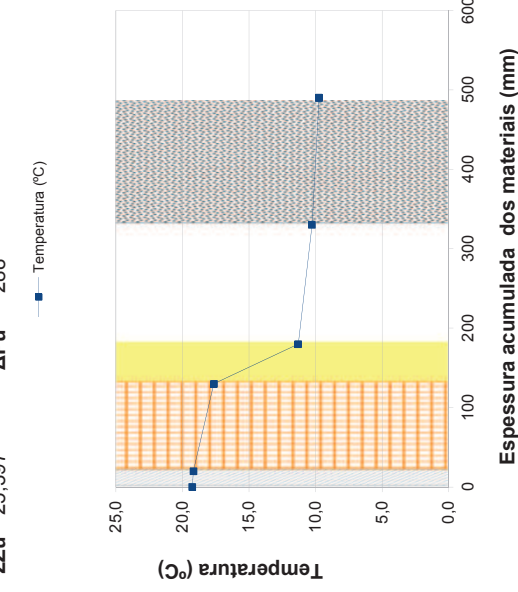
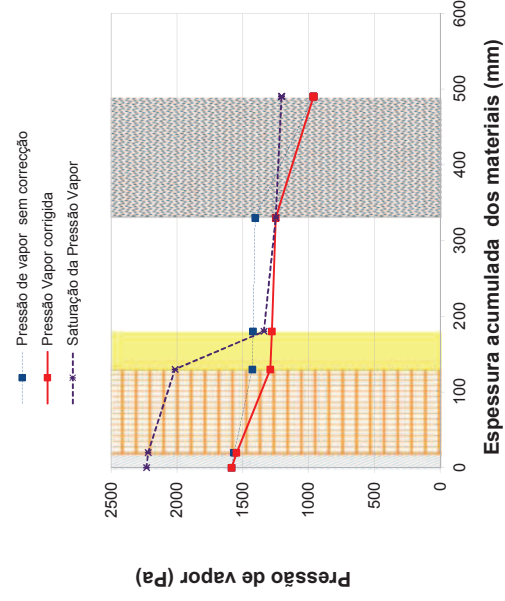
$$\Sigma R = 1,84$$

$$\Sigma Z = 35,7$$

$$\Delta P = 624$$

$$\Delta P_i = 336$$

$$\Delta P_u = 288$$



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

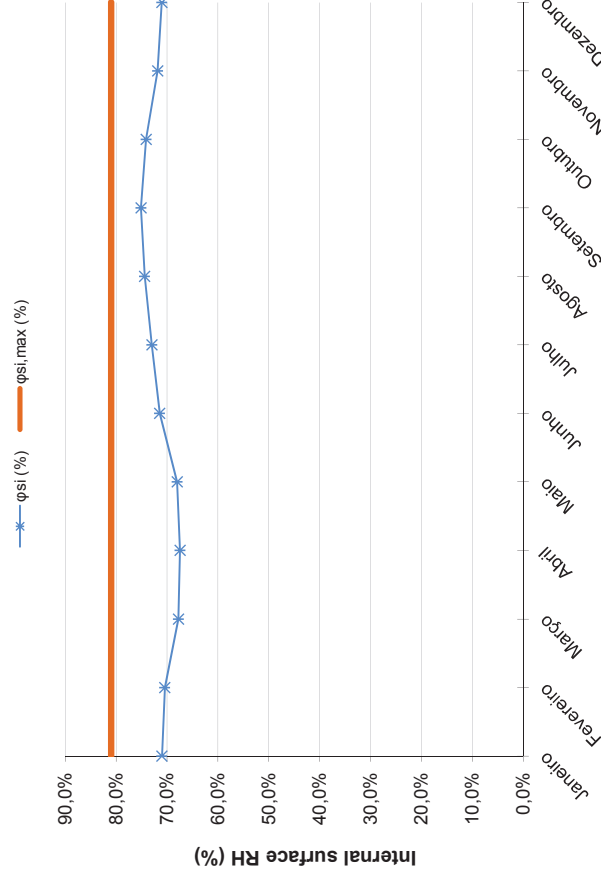
Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,3	1585	2232	71,0%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,3	1579	2241	70,5%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,5	1533	2262	67,8%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,6	1534	2273	67,5%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,7	1562	2295	68,0%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2327	71,5%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2343	73,0%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,1	1745	2345	74,4%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2332	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,7	1705	2300	74,1%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,5	1628	2266	71,8%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,3	1594	2244	71,1%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,7	1607	2288	70,2%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,5	1585	2260	70,2%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.AZ

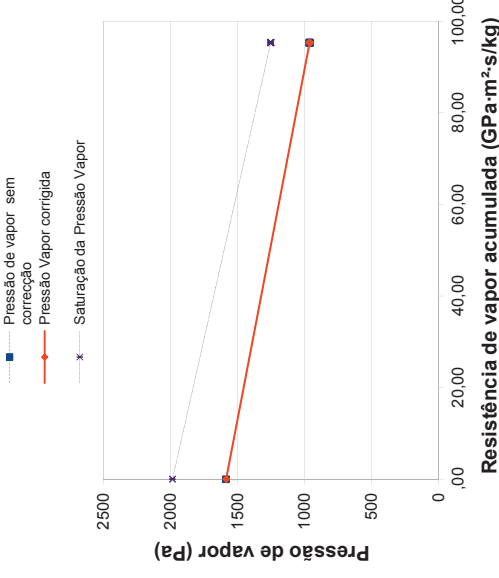
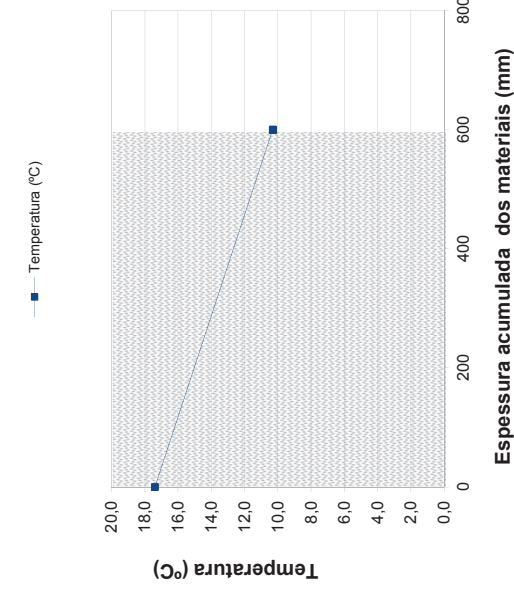
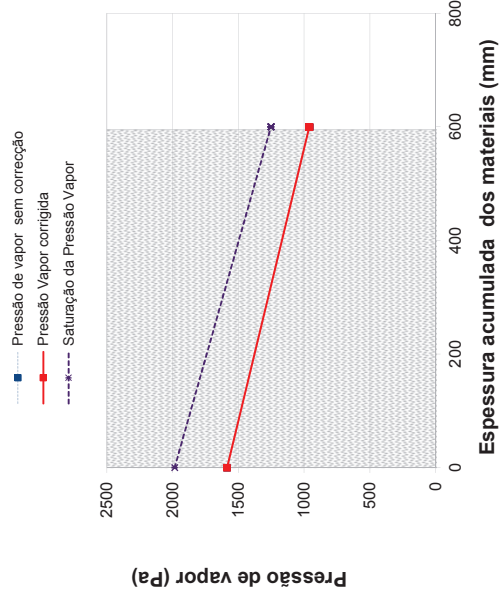
Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

Resistência Superficial

Exterior		Interior		Classe de humidade (EN ISO 13788)	
9,5	20,0	20,0	20,0	4	
81,0%	67,8%				

Rsi	0,13
Rse	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)	
		ΣR		0,52		ΣZ		ΔP											
1	Superfície interior			0,13	20,0			1585	1585	2337	68%	0			1585	1585	2337	20,0	
2	Elemento de betão	0,600	1,700	0,35	17,4	0,0063	95,238	961	1585	1985	80%	0	0,000	0,000	1585	1585	1985	17,4	
3	Superfície exterior			0,04	10,3			961	961	1252	77%	600,000	95,238	65142,857	961	961	1252	10,3	
					9,5			961	961	1187	81%	600,000	95,238	65142,857	961	961	1187	9,5	



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

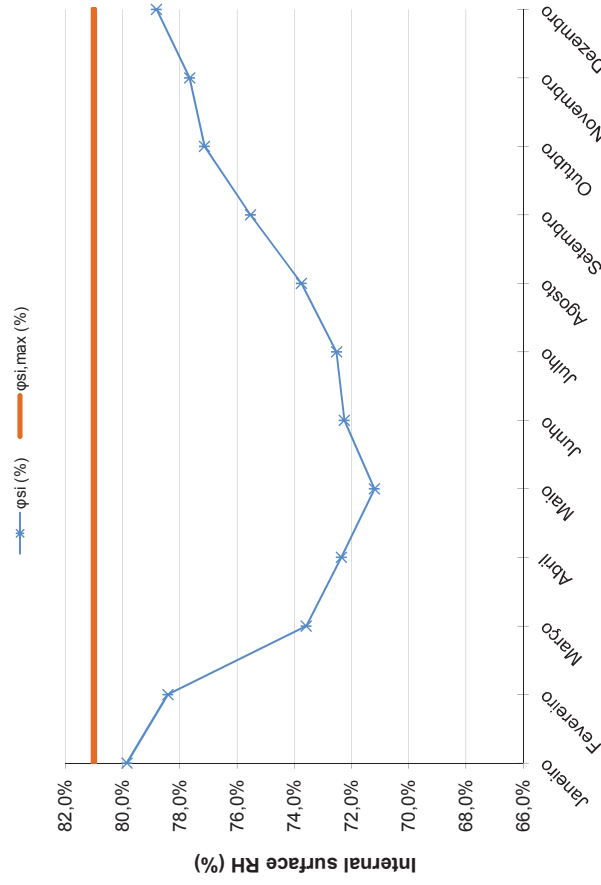
Escola: ESGO

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	17,4	1585	1985	79,8%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	17,6	1579	2013	78,4%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	18,2	1533	2084	73,6%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	18,4	1534	2120	72,4%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,0	1562	2194	71,2%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,8	1663	2301	72,2%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,1	1710	2359	72,5%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,2	1745	2366	73,7%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	19,9	1752	2319	75,5%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,1	1705	2211	77,1%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	18,3	1628	2097	77,7%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	17,7	1594	2023	78,8%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	18,8	1607	2169	74,1%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	18,1	1585	2075	76,4%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios registados

Resistência Superficial

R _{si}	0,13
R _{se}	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

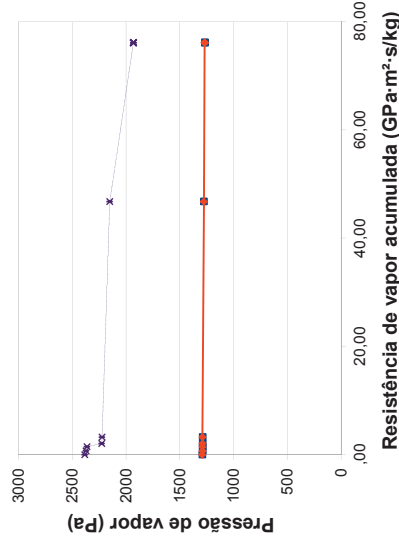
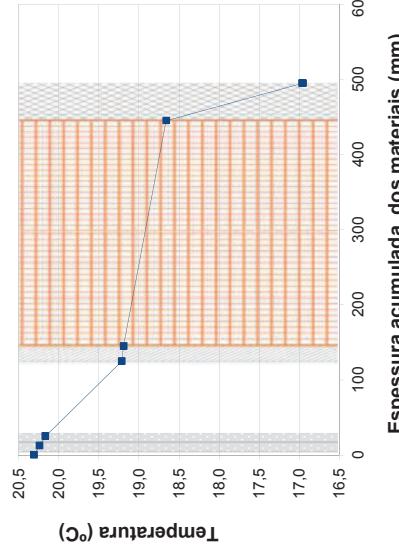
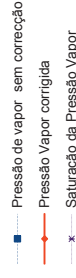
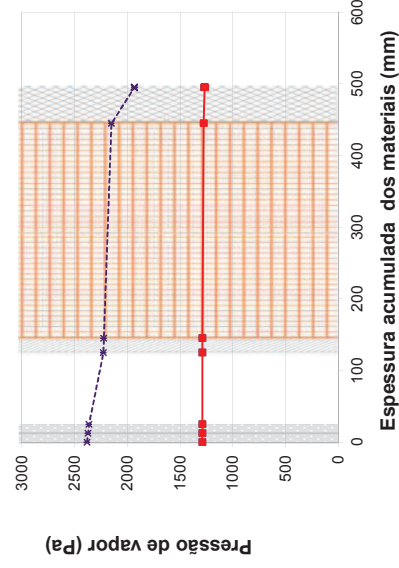
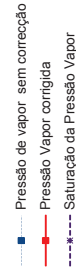
Exterior	16,9	20,5	4
Interior	65,9%	53,5%	

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	20,5			1289	1289	2410	54%	0	0,000	0,000	1289	1289	2410	20,5
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	20,2	0,0170	0,735	1289	1289	2372	54%	12,500	0,735	502,941	1289	1289	2372	20,2
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	20,2	0,0170	0,735	1289	1289	2362	55%	25,000	1,471	1005,882	1289	1289	2362	20,2
4	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	19,2	0,1650	0,606	1289	1289	2226	58%	125,000	2,077	1420,428	1289	1289	2226	19,2
5	Reboco interior existente	0,020	1,300	0,02	19,2	0,0170	1,176	1289	1289	2223	58%	145,000	3,253	2225,134	1289	1289	2223	19,2
6	Parede existente	0,300	-	0,37	18,7	0,0069	43,478	1276	1276	2150	59%	445,000	46,731	31964,264	1276	1276	2150	18,7
7	Sistema ETIC's	0,050	0,042	1,19	17,0	0,0017	29,412	1268	1268	1931	66%	495,000	76,143	52081,911	1268	1268	1931	17,0
8	Superfície Exterior			0,04	16,9			1268	1268	1924	66%	495,000	76,143	52081,911	1268	1268	1924	16,9

AP 21

ZZ 76,1

SZ 2,51



Espessura acumulada dos materiais (mm)

Espessura acumulada dos materiais (mm)

Resistência de vapor acumulada (GPa·m²·s/kg)

Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios registados

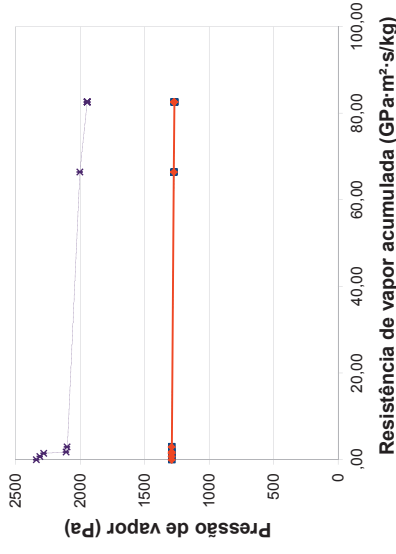
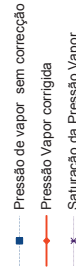
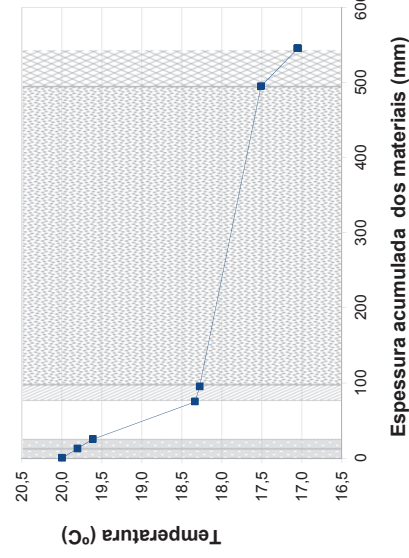
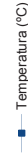
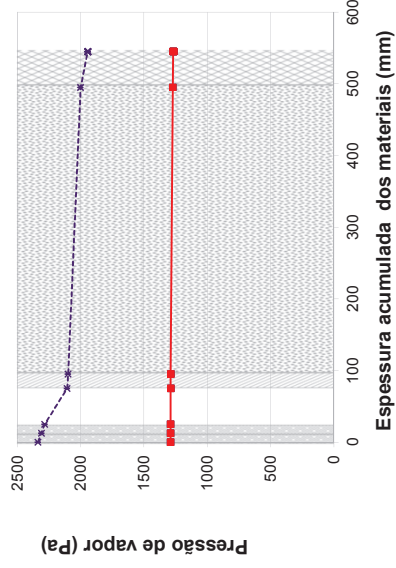
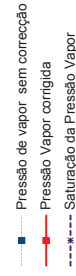
Resistência Superficial

Classe de humidade (EN ISO 13788)
4

Exterior	16,9	20,5
Interior	65,9%	53,5%

R _{si}	0,13
R _{se}	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	20,5			1289	1289	2410	54%	0	0,000	0,000	1289	1289	20,5
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,8	0,0170	0,735	1289	1289	2309	56%	12,500	0,735	502,941	1289	1289	19,8
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,6	0,0170	0,735	1289	1289	2282	56%	25,000	1,471	1005,882	1289	1289	19,6
4	Caixa-de-ar	0,050	0,150	0,33	18,3	0,1650	0,303	1289	1289	2107	61%	75,000	1,774	1213,155	1289	1289	18,3
5	Reboco interior existente	0,020	1,300	0,02	18,3	0,0170	1,176	1289	1289	2099	61%	95,000	2,950	2017,861	1289	1289	18,3
6	Elemento de Betão	0,400	2,000	0,20	17,5	0,0063	63,492	1272	1272	2000	64%	495,000	66,442	45446,432	1272	1272	17,5
7	Sistema ETIC's	0,050	0,420	0,12	17,1	0,0031	16,129	1268	1268	1943	65%	545,000	82,571	56478,690	1268	1268	17,1
8	Superfície Exterior			0,04	16,9			1268	1268	1924	66%	545,000	82,571	56478,690	1268	1268	16,9
						ZZ	82,6	AP	21								



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

Resistência Superficial

R _{si}	0,13
R _{se}	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

4

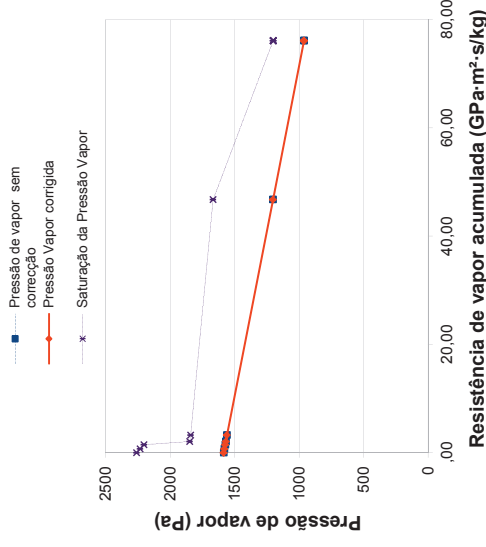
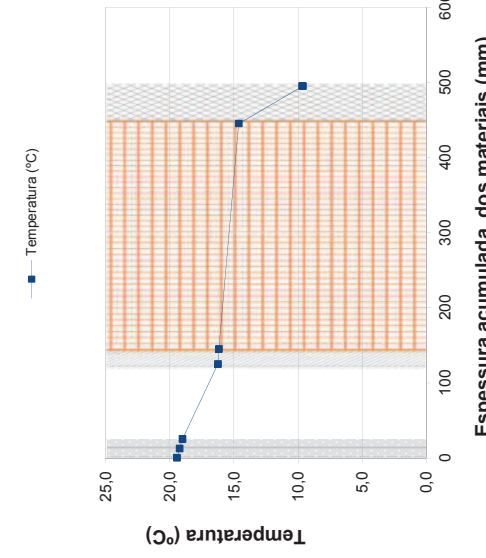
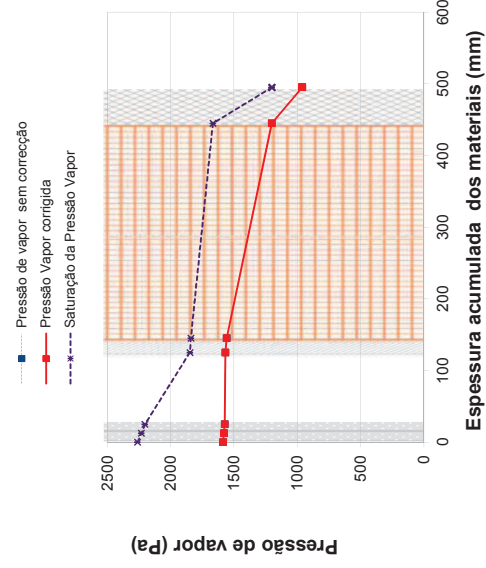
Exterior Interior

9,5	20,0
81,0%	67,8%

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correção	Pressão Vapor corrigida	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	19,5			1585	1585	2260	70%	0	0,000	0,000	1585	1585	19,5
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,2	0,0170	0,735	1579	1579	2230	71%	12,500	0,735	502,941	1579	1579	19,2
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	19,0	0,0170	0,735	1573	1573	2201	71%	25,000	1,471	1005,882	1573	1573	19,0
4	Caixa-de-ar	0,100	0,150	0,67	16,3	0,1650	0,606	1568	1568	1847	85%	125,000	2,077	1420,428	1568	1568	16,3
5	Reboco interior existente	0,020	1,300	0,02	16,2	0,0170	1,176	1568	1568	1839	85%	145,000	3,253	2225,134	1568	1568	16,2
6	Parede existente	0,300	-	0,37	14,6	0,0069	43,478	1202	1202	1666	72%	445,000	46,731	31964,264	1202	1202	14,6
7	Sistema ETIC's	0,050	0,042	1,19	9,7	0,0017	29,412	961	961	1200	80%	495,000	76,143	52081,911	961	961	9,7
10	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	495,000	76,143	52081,911	961	961	9,5

ZZ 76,1 AP 624

SR 2,51



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

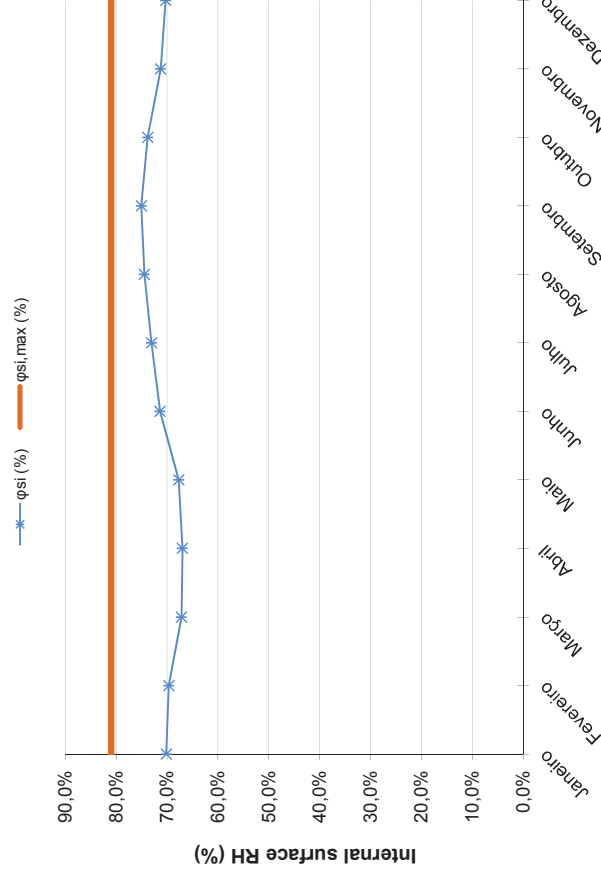
Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,5	1585	2260	70,1%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,5	1579	2266	69,7%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,6	1533	2282	67,2%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,7	1534	2290	67,0%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,8	1562	2306	67,7%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2329	71,4%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2341	73,1%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,0	1745	2343	74,5%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2333	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,8	1705	2310	73,8%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,6	1628	2285	71,3%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,5	1594	2268	70,3%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,8	1607	2301	69,8%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,6	1585	2280	69,5%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

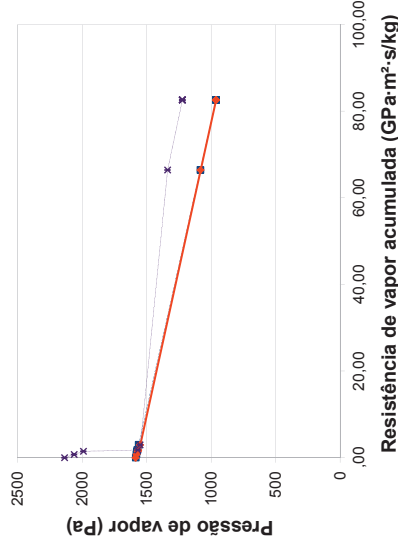
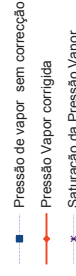
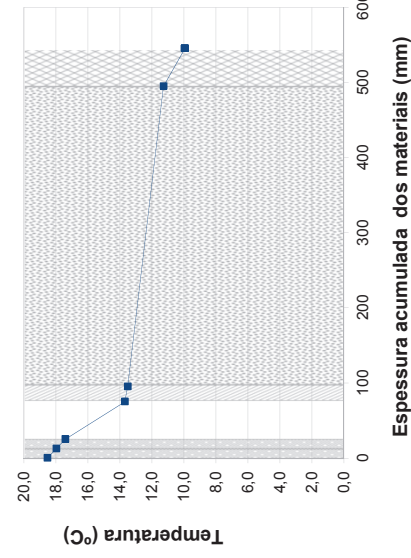
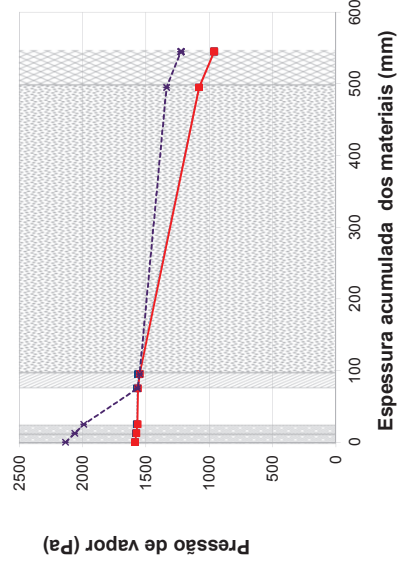
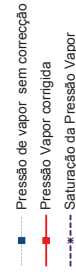
Resistência Superficial

R _{si}	0,13
R _{se}	0,04

Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	9,5	20,0
Interior	81,0%	67,8%
Material do layer	4	

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Conductividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·°C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²/s/kg)	Pressão Vapor sem correção (Pa)	Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	18,5			1585	2135	74%	0	0,000	0,000	1585	1585	2135	18,5
2	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	18,0	0,0170	0,735	1579	2061	76%	12,500	0,735	502,941	1579	1576	2061	18,0
3	Placa de Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	17,4	0,0170	0,735	1574	1989	79%	25,000	1,471	1005,882	1574	1567	1989	17,4
4	Caixa-de-ar	0,050	0,150	0,33	13,7	0,1650	0,303	1572	1566	100%	75,000	1,774	1213,155	1572	1563	1566	13,7
5	Reboco interior existente	0,020	1,300	0,02	13,5	0,0170	1,176	1563	1549	100%	95,000	2,950	2017,861	1563	1549	1549	13,5
6	Elemento de Betão	0,400	2,000	0,20	11,3	0,0063	63,492	1083	1080	81%	495,000	66,442	45446,432	1083	1080	1337	11,3
7	Sistema ETIC's	0,050	0,420	0,12	9,9	0,0031	16,129	961	1223	79%	545,000	82,571	56478,690	961	961	1223	9,9
8	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	1187	81%	545,000	82,571	56478,690	961	961	1187	9,5
						ZZ	82,6	AP	624								



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

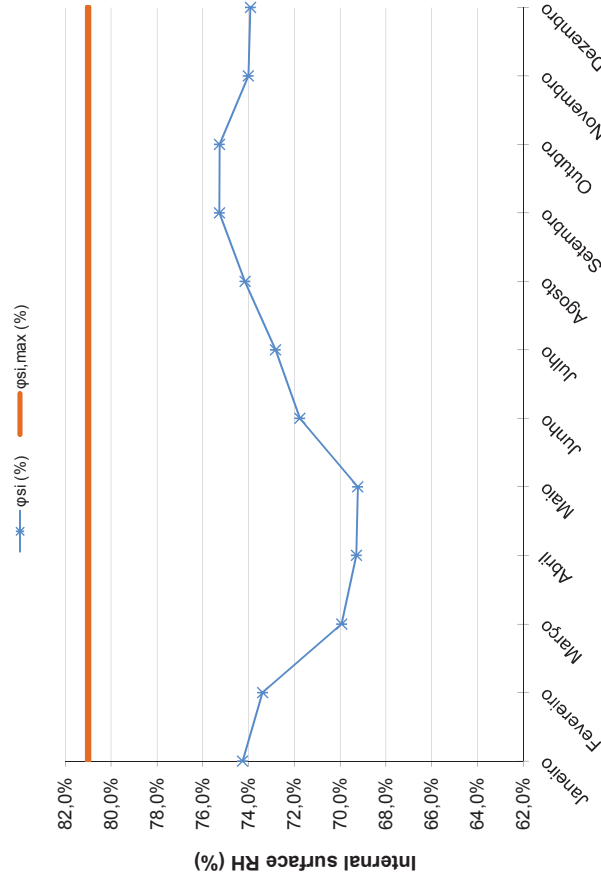
Escola: ESSR

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior (Pa)	Saturação Pressão de Vapor Pm (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	18,5	1585	2135	74,3%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	18,7	1579	2151	73,4%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,0	1533	2193	69,9%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,1	1534	2214	69,3%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,4	1562	2256	69,2%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2317	71,8%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,1	1710	2349	72,8%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,1	1745	2353	74,2%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	19,9	1752	2327	75,3%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,5	1705	2266	75,3%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,0	1628	2200	74,0%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	18,7	1594	2157	73,9%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,3	1607	2242	71,7%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	18,9	1585	2187	72,5%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1 - PAREDE EXTERIOR

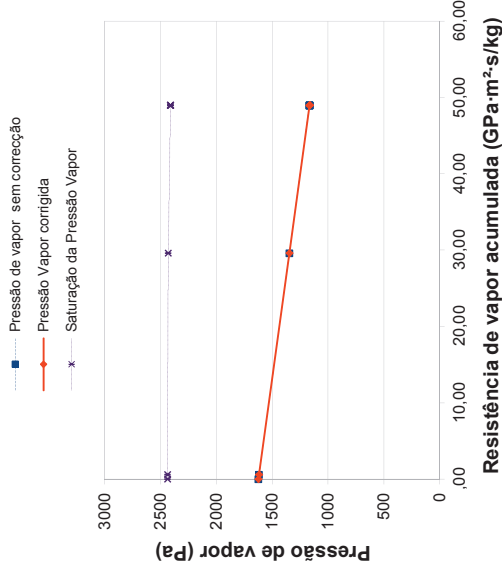
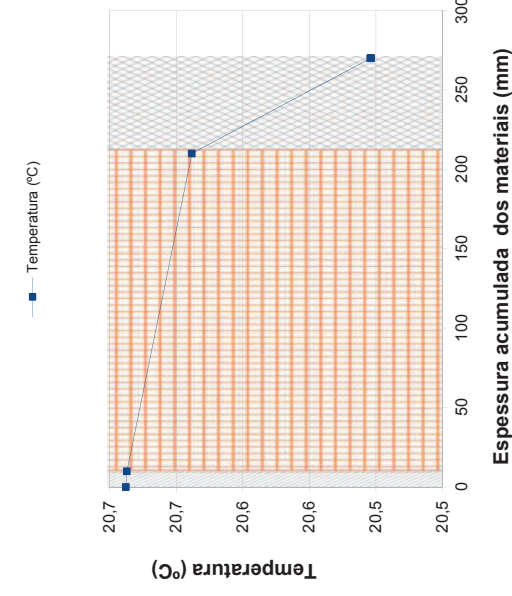
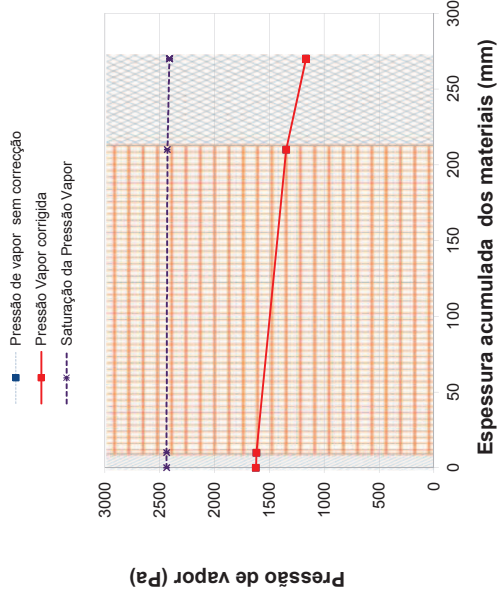
Condição: Análise com base nos valores registados

Resistência Superficial

Exterior	Interior	Classe de humidade (EN ISO 13788)
20,5 48,4%	20,7 66,5%	4

Temperatura Humidade Relativa	Rsi	Rse
	0,13	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P ^{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	20,7			1623	1623	2440	67%	0			1623	1623	2440	20,7
2	Reboco interior	0,010	1,300	0,01	20,7	0,0170	0,588	1617	1617	2438	66%	10,000	0,588	0,000	1617	1617	2438	20,7
3	Tijolo 20	0,200	-	0,52	20,6	0,0069	28,986	1347	1347	2431	55%	210,000	29,574	20228,440	1347	1347	2431	20,6
4	Sistema ETIC	0,060	0,042	1,43	20,5	0,00310	19,355	1167	1167	2411	48%	270,000	48,929	33467,150	1167	1167	2411	20,5
5	Superfície Exterior			0,04	20,5			1167	1167	2410	48%	270,000	48,929	33467,150	1167	1167	2410	20,5
						ΣZ	48,9	ΔP	456									



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2 - PTP

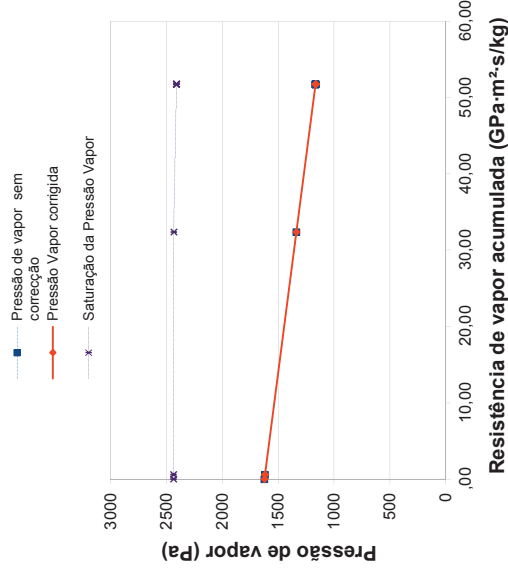
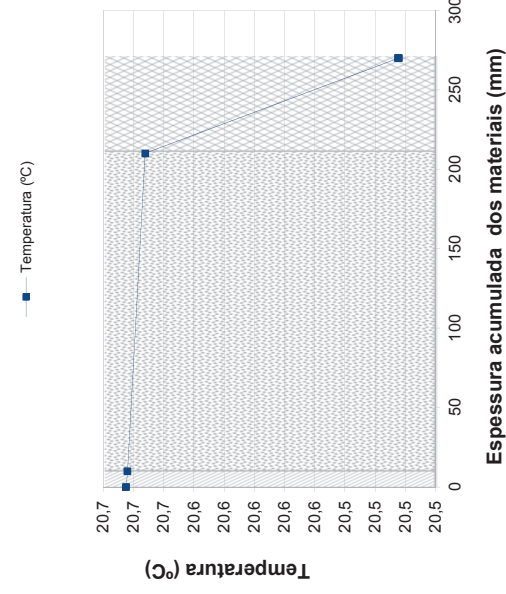
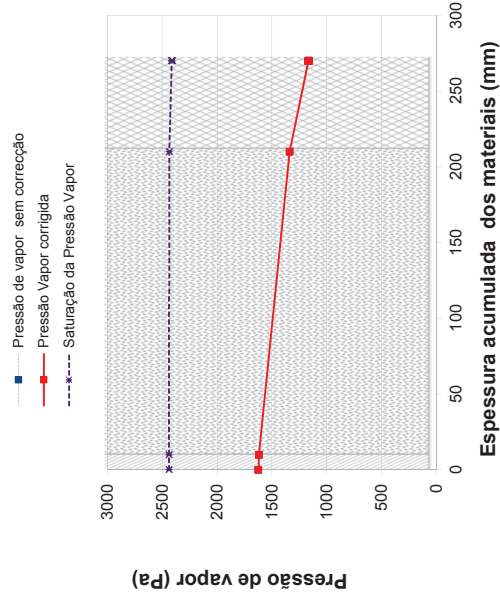
Condição: Análise com base nos valores médios registados

Resistência Superficial

Exterior		Interior	
Temperatura	20,5	20,7	
Humidade Relativa	48,4%	66,5%	
Classe de humidade (EN ISO 13788)		4	

Rsi	0,13
Rse	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
1	Superfície interior			0,13	20,7			1623	1623	2440	67%	0	0,000	0,000	1623	1623	2440	20,7
2	Reboco interior	0,010	1,300	0,01	20,7	0,0170	0,588	1618	1618	2438	69%	0	0,588	0,000	1618	1618	2438	20,7
3	Pilar de betão	0,200	2,000	0,10	20,7	0,0063	31,746	1337	1337	2436	55%	210,000	32,334	22176,639	1337	1337	2436	20,7
4	Sistema ETIC	0,060	0,042	1,43	20,5	0,0031	19,355	1167	1167	2411	48%	270,000	51,689	35355,348	1167	1167	2411	20,5
8	Superfície Exterior			0,04	20,5			1167	1167	2410	48%	270,000	51,689	35355,348	1167	1167	2410	20,5
				ΣR	1,71	ΣZ	51,7	ΔP		456								



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1 - PAREDE EXTERIOR

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

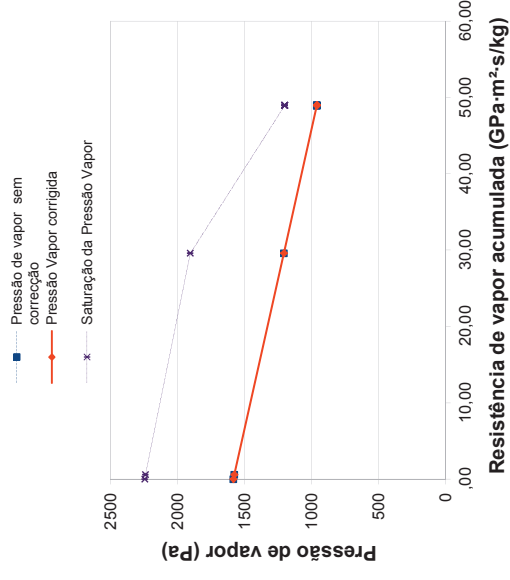
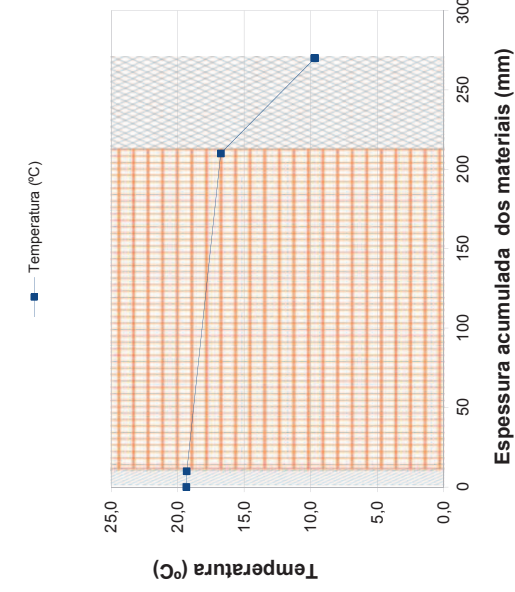
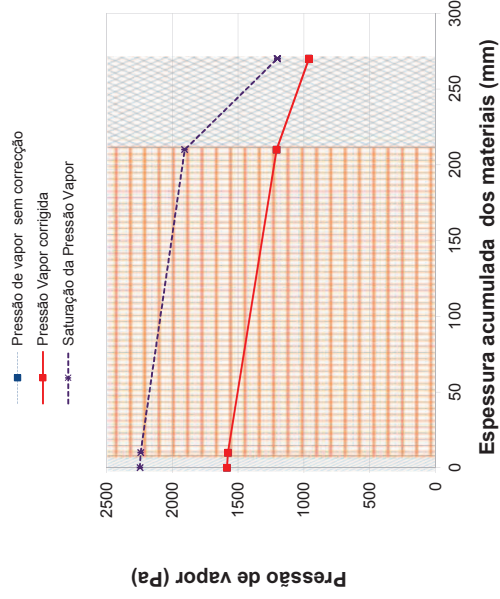
Resistência Superficial

Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	Interior
9,5 81,0%	20,0 67,8%
4	

Rsi	0,13
Rse	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)					
															ΣZ	48,9	ΔP	624					
1	Superfície interior			0,13	20,0			1585	1585	2337	68%	0	0,000		1585	1585	2337	20,0					
2	Reboco interior	0,010	1,300	0,01	19,3	0,0170	0,588	1578	1578	2246	71%	0	0,000	0,000	1585	1585	2246	19,4					
3	Tijolo 20	0,200	-	0,52	16,8	0,0069	28,986	1208	1208	1906	63%	210,000	29,574	402,353	1578	1578	2240	19,3					
4	Sistema ETIC	0,060	0,042	1,43	9,7	0,00310	19,355	961	961	1203	80%	270,000	48,929	20228,440	1208	1208	1906	16,8					
9	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	270,000	48,929	33467,150	961	961	1203	9,7					
															ΣZ	48,9	ΔP	624					



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

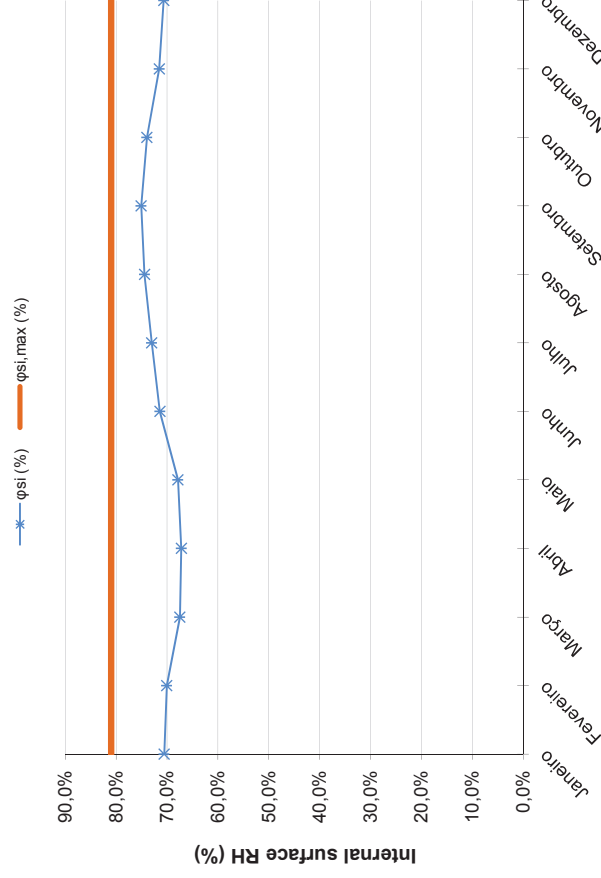
Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A1 - PAREDE EXTERIOR

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_{e} (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{vo} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,4	1585	2246	70,6%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,4	1579	2253	70,1%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,5	1533	2272	67,5%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,6	1534	2282	67,2%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,7	1562	2301	67,9%
Junho	19,0	73,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2328	71,4%
Julho	20,6	72,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2342	73,0%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,0	1745	2344	74,4%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2333	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,8	1705	2305	74,0%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,6	1628	2276	71,6%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,4	1594	2256	70,7%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,7	1607	2295	70,0%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,5	1585	2270	69,8%



Verificação da Ocorrência de Condensações Internas

Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2 - PTP

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Janeiro

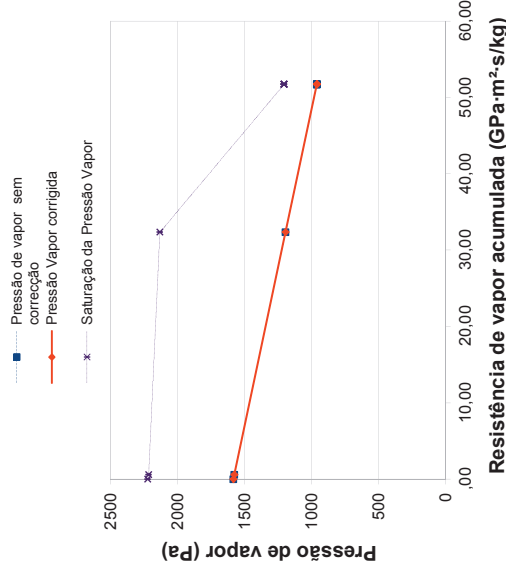
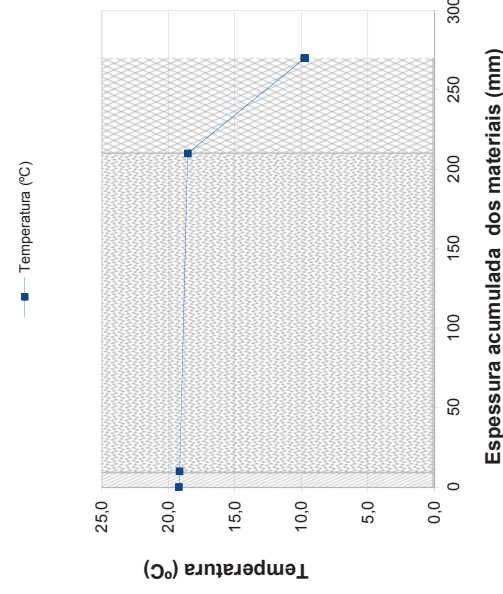
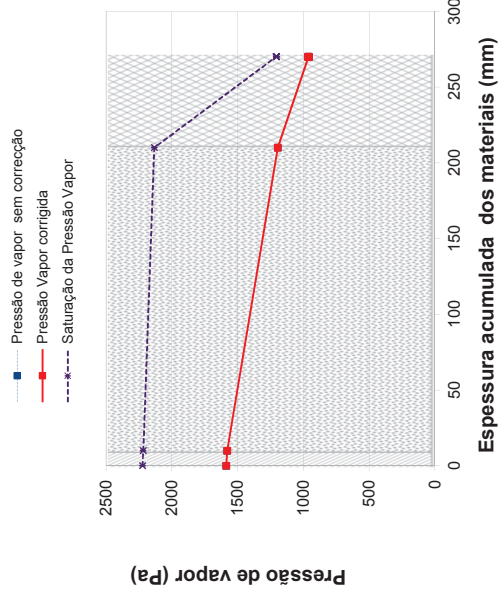
Resistência Superficial

Classe de humidade (EN ISO 13788)

Exterior	Interior	20,0	4
9,5	67,8%		

Rsi	0,13
Rse	0,04

Nº de Layer	Material do layer	Espessura de Material do layer, t (m)	Condutividade Térmica, λ (W/(m·C))	Resistência Térmica, R (m²·C/W)	Temperatura, t (°C)	Permeabilidade, d (kg/(m·s·GPa))	Resistência Vapor, Z (GPa·m²·s/kg)	Pressão Vapor sem correcção (Pa)	Pressão Vapor corrigida, P (Pa)	Saturação da Pressão Vapor, P _{sat} (Pa)	Humidade relativa φ (%)	Espessura acumulada dos elementos	Resistência ao vapor de água acumulada	sd (mm)	Pressão de vapor sem correcção	Pressão Vapor corrigida	Saturação da Pressão Vapor	Temperatura (°C)
			SZ		ZZ		ΔP											
1	Superfície interior			0,13	20,0			1585	1585	2337	68%	0	0,000		1585	1585	2337	20,0
2	Reboco interior	0,010	1,300	0,01	19,2	0,0170	0,588	1578	1578	2224	71%	0	0,000	0,000	1585	1585	2224	19,2
3	Pilar de betão	0,200	2,000	0,10	18,5	0,0063	31,746	1195	1195	2134	58%	210,000	32,334	402,353	1578	1578	2217	19,2
4	Sistema ETIC	0,060	0,042	1,43	9,7	0,0031	19,355	961	961	1207	80%	270,000	51,689	22176,639	1195	1195	2134	18,5
8	Superfície Exterior			0,04	9,5			961	961	1187	81%	270,000	51,689	35355,348	961	961	1207	9,7
			SR		ZZ		51,7		ΔP									
			1,71						624									



Verificação da Ocorrência de Condensações Superficiais

Escola: ESP

Referência da zona da envolvente exterior: PE.A2 - PTP

Condição: Análise com base nos valores médios mensais - Distrito do Porto

$\Phi_{si,max}$ 81% **Classe de humidade (ISO 13788)** 4 Espaços com alta ocupação, ginásios, cozinhas, refeitórios

Mês	Temperatura Exterior, t_e (°C)	RH Exterior, ϕ_e (%)	Temperatura Interior, t_i (°C)	HR Interior ϕ_i (%)	Temperatura Superfície Interior, t_{si} (°C)	Pressão de Vapor Superfície Interior P _{si} (Pa)	Saturação Pressão de Vapor P _m (Pa)	RH Superfície Interior, ϕ_{si} (%)
Janeiro	9,5	81,0%	20,0	67,8%	19,2	1585	2224	71,3%
Fevereiro	10,4	80,0%	20,0	67,6%	19,3	1579	2233	70,7%
Março	12,6	75,0%	20,0	65,6%	19,4	1533	2257	67,9%
Abril	13,7	74,0%	20,0	65,6%	19,5	1534	2268	67,6%
Mai	15,9	73,0%	20,0	66,8%	19,7	1562	2292	68,1%
Junho	19,0	72,0%	20,0	71,1%	19,9	1663	2326	71,5%
Julho	20,6	70,0%	20,0	73,2%	20,0	1710	2344	73,0%
Agosto	20,8	73,0%	20,0	74,7%	20,1	1745	2346	74,4%
Setembro	19,5	76,0%	20,0	75,0%	20,0	1752	2331	75,1%
Outubro	16,4	80,0%	20,0	73,0%	19,7	1705	2298	74,2%
Novembro	13,0	81,0%	20,0	69,7%	19,5	1628	2261	72,0%
Dezembro	10,7	81,0%	20,0	68,2%	19,3	1594	2236	71,3%
Média Anual	15,2	76,6%	20,0	68,8%	19,6	1607	2284	70,3%
Média de Outubro-Abril	12,329	78,9%	20,0	67,8%	19,4	1585	2254	70,3%

