



Dissertação

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

***Comportamento Termo higrométrico e Desempenho Energético de uma Escola – Medidas de Reabilitação***

**Manuel da Silva Carvalho**

*Leiria, Abril de 2017*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



Dissertação

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

***Comportamento Termo higrométrico e Desempenho  
Energético de uma Escola – Medidas de Reabilitação***

**Manuel da Silva Carvalho**

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Florindo José Mendes Gaspar, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor João António Esteves Ramos, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Abril* de 2017

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***À Minha Família***

*Dedico este trabalho à minha esposa e aos meus filhos pela sua tolerância à minha ausência. Só assim foi possível vencer mais esta etapa da minha vida.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Agradecimentos***

---

Esta dissertação representa o culminar de mais um ciclo de estudos, sustentado por fortes motivações relacionadas com a minha realização pessoal e profissional.

Um agradecimento muito especial à minha esposa e aos meus filhos pela sua compreensão de quão importante era para mim a concretização deste mestrado.

Ao meu orientador, Professor Doutor Florindo Gaspar e coorientador, Professor Doutor João Ramos, quero expressar os meus agradecimentos pela permanente disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e partilha de conhecimentos, muito importante para a realização deste trabalho.

A todos os professores deste ciclo de mestrado quero também expressar os meus agradecimentos, pois todos os ensinamentos obtidos nas restantes unidades curriculares foram importantes para esta dissertação.

A todos os meus colegas de mestrado, o meu muito obrigado pelos momentos de convívio e partilha de conhecimentos e de experiências profissionais.

O meu agradecimento ao Engenheiro David Santos pelo esclarecimento de dúvidas relacionadas com o programa Hourly Analysis Program (HAP).

O meu agradecimento ainda ao Engenheiro Paulo Cardoso da Câmara Municipal de Ansião por ter tornado possível a realização das medições e levantamentos de campo.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **Resumo**

---

A pesquisa bibliográfica realizada mostra o extenso conhecimento que é detido sobre as causas e os efeitos da presença de humidade nas construções. Mas ainda é muito frequente serem descurados alguns processos construtivos, que deveriam ser de conhecimento mais generalizado, que não o sendo, os riscos da presença de humidade em algumas construções poderá continuar a ser uma realidade.

No presente caso de estudo pretende-se identificar as causas que deram origem às humidades encontradas num edifício escolar, através da caracterização e justificação das patologias existentes neste edifício, recorrendo a levantamentos executados *in situ* e a bibliografia da especialidade, bem como através da avaliação e o contributo das melhorias de correção, essencialmente as relacionadas com a qualidade da construção, o desempenho energético do edifício e ainda a sua viabilidade económica.

Utilizando a ferramenta informática de simulação dinâmica multizona de edifícios Hourly Analysis Program (HAP), foi feita uma primeira simulação do consumo energético do edifício na situação atual, conforme contruído e, posteriormente, foram simulados sucessivamente mais sete incrementos de melhorias, avaliando-se a contribuição de cada uma delas no desempenho energético do edifício e patologias na construção.

Por último, é feito o apuramento da viabilidade económica de cada uma das melhorias introduzidas.

*Palavras-chave: Humidade nas Construções, Patologias na Construção, Consumo Energético nos Edifícios, Viabilidade Técnico-Económica, Reabilitação de Edifícios, Medidas de Melhoria.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Abstract***

---

The literature review shows the extensive knowledge that is held about the causes and effects of the presence of humidity in buildings. But it is still very often neglected some constructive processes, which should be more general knowledge, than not being, the risks of the presence of humidity in some constructions may continue to be a reality.

In the present case study we intend to identify the causes that gave origin to the humidities found in a school building, through the characterization and justification of the pathologies existing in this building, using surveys carried out in situ and the bibliography of the specialty, as well as through evaluation and the contribution of the corrective improvements, essentially those related to the quality of construction, the energy performance of the building and its economic viability.

Using the Hourly Analysis Program (HAP) multi-zone dynamic simulation of buildings, a first simulation of the energy consumption of the building is made in the current situation, as constructed, and later, are simulated successively another seven increments of improvements, evaluating the contribution of each one of them in the energy performance of the building and pathologies in the construction.

Finally, the economic viability of each of the improvements introduced is checked.

*Key-Words: Humidity in Buildings, Pathologies in Construction, Energy Consumption in Buildings, Technical and Economic Viability, Rehabilitation of Buildings, Improvement Measures.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

---

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE QUADROS.....	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	XIX
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO TRABALHO.....	2
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
2. HUMIDADE EM EDIFÍCIOS.....	5
2.1 HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO.....	6
2.1.1 MEDIDAS DE ATUAÇÃO PARA REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS POR HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO.....	7
2.2 HUMIDADE DO TERRENO.....	7
2.2.1 HUMIDADE ASCENSIONAL EM EDIFÍCIOS.....	8
2.2.1.1 CARACTERIZAÇÃO.....	8
2.2.1.2 TÉCNICAS DE TRATAMENTO.....	10
2.3 HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO.....	11
2.3.1 MEDIDAS DE ATUAÇÃO .....	11
2.4 HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO.....	11
2.4.1 MEDIDAS DE ATUAÇÃO .....	12
2.4.1.1 SOLUÇÕES PARA EVITAR A OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS .....	13
2.5 HUMIDADE DEVIDA À HIGROSCOPICIDADE DOS MATERIAIS.....	13
2.5.1 HIGROSCOPICIDADE DEVIDA À PRESENÇA DE SAIS SOLÚVEIS .....	14
2.5.2 MEDIDAS DE ATUAÇÃO .....	15

2.6 HUMIDADE DEVIDA A CAUSAS FORTUITAS.....	16
2.6.1 MEDIDAS DE ATUAÇÃO.....	16
2.7 O DESEMPENHO ENERGÉTICO E AS MELHORIAS TERMO HIGROMÉTRICAS.....	17
3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	19
3.1 DADOS CLIMÁTICOS .....	20
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	21
3.2.1 ENVOLVENTE HORIZONTAL.....	21
3.2.2 ENVOLVENTE VERTICAL OPACA .....	23
3.2.3 PONTES TÉRMICAS .....	24
3.2.4 VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	26
3.2.5 VENTILAÇÃO.....	26
3.2.6 AQUECIMENTO AMBIENTE .....	27
3.2.7 ILUMINAÇÃO.....	28
3.2.8 ASCENSOR .....	29
3.2.9 INÉRCIA TÉRMICA.....	29
4. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS .....	31
4.1 INSPEÇÃO VISUAL.....	31
4.2 MEDIÇÃO DE HUMIDADE SUPERFICIAL (ESCOLA DESATIVADA) .....	36
4.3 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E HUMIDADE AMBIENTE (DURANTE O FUNCIONAMENTO DA ESCOLA)....	43
4.3.1 SALA DE ATIVIDADES DA PRÉ-PRIMÁRIA.....	46
4.3.2 SALA DE AULA DA PRIMÁRIA.....	48
4.3.3 REFEITÓRIO .....	51
5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SOBRE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO.....	55
5.1 METODOLOGIA ADOTADA .....	55
5.1.1 EDIFÍCIO NA SITUAÇÃO ATUAL.....	55
5.1.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO HAP (HOURLY ANALYSIS PROGRAM) VERSÃO 4.8.....	55
5.1.1.2 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO .....	64
5.1.2 INTRODUÇÃO DE MELHORIAS.....	74
5.1.2.1 MELHORIAS A NÍVEL DAS PONTES TÉRMICAS EM FACHADAS .....	75
5.1.2.2 MELHORIAS A NÍVEL DAS COBERTURAS .....	80
5.1.2.3 MELHORIAS A NÍVEL DOS ENVIDRAÇADOS.....	81
5.1.2.4 MELHORIAS A NÍVEL DA ILUMINAÇÃO.....	82
5.1.2.5 MELHORIAS A NÍVEL DOS PAVIMENTOS TÉRREOS E EM CONTACTO COM ENU .....	84
5.1.2.6 MELHORIAS A NÍVEL DA VENTILAÇÃO .....	85
5.1.2.6 MELHORIAS AO NÍVEL DO AQUECIMENTO AMBIENTE .....	87
5.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	88
5.1.3.1 CUSTOS DA SOLUÇÃO E VIABILIDADE ECONÓMICA.....	91
6. CONCLUSÃO .....	94

7.	BIBLIOGRAFIA.....	96
8.	ANEXOS.....	101
	ANEXO 1 – DADOS CLIMÁTICOS.....	1
	ANEXO 2 – CAUDAL DE AR INFILTRADO.....	3
	ANEXO 3 – LEVANTAMENTO DE HUMIDADE SUPERFICIAL EM PAREDES INTERIORES.....	11
	ANEXO 4 – CUSTOS DAS MELHORIAS.....	13

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Índice de Figuras***

---

Figura 1-Eflorescências (à esquerda) e cripto florescências (à direita) [8].....	8
Figura 2- Parede construída abaixo do nível freático [9].....	9
Figura 3- Ascensão capilar através do terreno [9].....	9
Figura 4- Escorrência de água sobre parede [9].....	9
Figura 5- Influência da colocação de material impermeável ao nível de equilíbrio da humidade ascensional [9] .....	9
Figura 6- Águas superficiais [6].....	10
Figura 7- Águas freáticas [6] .....	10
Figura 8-Condensação superficial [11] .....	12
Figura 9-Edifício escolar em estudo .....	19
Figura 10-Implantação da escola (adaptada do projeto de execução) .....	21
Figura 11- Face interior da parede em betão armado .....	31
Figura 12- Solo de fundação .....	31
Figura 13- Localização da caixa de recolha no logradouro.....	32
Figura 14- Revestimento de pilar em betão armado.....	32
Figura 15- Parede em alvenaria dupla de tijolo furado com extremidade em pilar de betão armado.....	32
Figura 16- Pilar a meio da sala polivalente.....	32
Figura 17- Cota do pavimento existente .....	33
Figura 18- Manifestações de humidade em paredes de pedra .....	33
Figura 19- Caixa de recolha de água junto às paredes .....	34
Figura 20- Revestimento exterior em lajetas .....	34
Figura 21- Degradação junto ao peitoril.....	34
Figura 22- Manchas de humidade por escorrência de água da condensação em envidraçados .....	35
Figura 23- Manchas de humidade por acumulação de água da condensação que vem dos envidraçados....	35
Figura 24- Parede em betão .....	36
Figura 25- Parede em betão da figura 23 com o banco de madeira aplicado.....	36
Figura 26- Humídímetro Tramex CRH.....	36
Figura 27 – Localização do levantamento de humidade superficial em paredes interiores – R/C.....	37
Figura 28 - Localização do levantamento de humidade superficial em paredes interiores – Andar.....	38

Figura 29- Localização das leituras 10 e 11 .....	39
Figura 30- Parede interior em betão armado, de encosto, algum tempo após a reparação – leitura 10.....	39
Figura 31- Localização da leitura 13 .....	40
Figura 32- Localização da leitura 14 .....	40
Figura 33- Localização da leitura 16 - junto ao cunhal.....	41
Figura 34- Localização da leitura 17-a meio vão .....	41
Figura 35- Vão onde foram realizadas as leituras 16, 17, 18 e 19.....	42
Figura 36 – Localização dos registadores Log Tag HAXO – 8 – R/C .....	43
Figura 37 – Localização dos registadores Log Tag HAXO – 8 – Andar .....	44
Figura 38- Registador de temperatura e humidade relativa Log Tag Haxo - 8. [21] .....	44
Figura 39- Humidade de condensação em enquadramento de vãos .....	48
Figura 40- Humidade de condensação na parede e teto da sala de aula da primária .....	50
Figura 41 - Árvore da janela principal do HAP .....	56
Figura 42 – Janela do separador <i>Weather</i> .....	58
Figura 43 – Janela do separador <i>Spaces</i> .....	59
Figura 44 – Modelação da envolvente vertical exterior .....	59
Figura 45 – Janela do separador <i>Systems</i> .....	60
Figura 46 – Modelação das zonas térmicas .....	60
Figura 47 – Janela do separador <i>Plants</i> .....	61
Figura 48 – Tabelas de modelação do separador <i>Plants</i> .....	62
Figura 49 – Janela do separador <i>Buildings</i> .....	62
Figura 50 - Tabelas de modelação do separador <i>Buildings</i> .....	63
Figura 51 – Janela do separador <i>Project Libraries</i> .....	64
Figura 52- R/C do edifício – zonas térmicas .....	65
Figura 53- Andar do edifício – zonas térmicas .....	66
Figura 54-Pormenor tipo das pontes térmicas planas .....	80

## ***Índice de Quadros***

---

Quadro 1 - Caracterização de pavimentos .....	22
Quadro 2 - Caracterização de coberturas.....	23
Quadro 3 - Caracterização de paredes exteriores.....	24
Quadro 4 - Caracterização das pontes térmicas planas.....	25
Quadro 5 - Caracterização das paredes interiores.....	25
Quadro 6 - Caracterização dos envidraçados.....	26
Quadro 7 - Taxa de renovação por ar infiltrado.....	27
Quadro 8 – Sistema de aquecimento existente .....	27
Quadro 9 - Potência de iluminação existente .....	28
Quadro 10 - Massa superficial considerada.....	30
Quadro 11 - Classes de inércia térmica .....	30
Quadro 12 – Medição de humidade superficial na sala polivalente (%) .....	38
Quadro 13 - Medição de humidade superficial em paredes de pedra (%).....	40
Quadro 14 - Medição de humidade superficial junto aos vãos (%).....	42
Quadro 15 - Coeficientes de transmissão térmica envolvente opaca.....	72
Quadro 16 - Coeficiente de transmissão térmicas dos vão .....	73
Quadro 17 - Caracterização das paredes exteriores 11+11 rebocada (melhoria).....	76
Quadro 18 - Caracterização das paredes exteriores 11+11 revestida a pedra calcária (melhoria).....	76
Quadro 19 - Caracterização das paredes exteriores 7+7 revestida a pedra de calcário (melhoria).....	77
Quadro 20 - Caracterização das paredes exteriores em pedra de calcário 40 (melhoria) .....	77
Quadro 21- Caracterização da parede em betão 20, da caixa do elevador (melhoria).....	78
Quadro 22 - Caracterização das paredes 11 em contacto com ENU (melhoria).....	78
Quadro 23 - Caracterização das paredes 7 em contacto com ENU (melhoria).....	79
Quadro 24 - Caracterização das principais pontes térmicas planas (melhoria) .....	79
Quadro 25 - Caracterização da cobertura plana (melhoria) .....	80
Quadro 26 - Caracterização da cobertura inclinada (melhoria).....	81

Quadro 27 - Caracterização dos vãos envidraçados .....	81
Quadro 28 - Iluminação média requerida e potência de iluminação de referência.....	82
Quadro 29 - Caracterização da iluminação .....	83
Quadro 30 - Pavimento térreo revestido a linóleo (melhoria) .....	84
Quadro 31 - Pavimento térreo revestido a mosaico cerâmico (melhoria) .....	85
Quadro 32 - Pavimento em contacto com ENU (melhoria) .....	85
Quadro 33 - Caudal mínimo de ar novo.....	86
Quadro 34 - Ar novo requerido.....	87
Quadro 35 - Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras – Adaptado da tabela 1.18 da portaria 349-D/2013 de 02 de dezembro, republicada pela portaria nº 17-A/2016 [17].....	87
Quadro 36 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores – Adaptado da tabela 1.19 da portaria 349-D/2013 de 02 de dezembro, republicada pela portaria nº 17-A/2016 [17] .....	88
Quadro 37 - Custos anuais de energia.....	90

## ***Índice de Gráficos***

---

Gráfico 1 - Comportamento termo higrométrico da sala de atividades da pré-primária - leituras entre as 02h00-07h00.....	46
Gráfico 2 – Comportamento termo higrométrico da sala de atividades da pré-primária- leituras entre as 15h00-20h00.....	47
Gráfico 3 – Comportamento termo higrométrico da sala de aula da primária- leituras entre as 02h00-07h00. .....	49
Gráfico 4 – Comportamento termo higrométrico da sala de aula da primária- leituras entre as 15h00-20h00. .....	50
Gráfico 5 – Comportamento termo higrométrico do refeitório - leituras entre as 02h00-07h00. ....	52
Gráfico 6 - Comportamento termo higrométrico do refeitório - leituras entre as 15h00 - 20h00.....	53
Gráfico 7 - Perfil ocupação de salas (adaptado HAP 4.8) .....	66
Gráfico 8 - Perfil ocupação copa e refeitório (adaptado HAP 4.8).....	67
Gráfico 9 - Perfil iluminação de salas (adaptado HAP 4.8).....	67
Gráfico 10 - Perfil iluminação copa, refeitório e sala recursos (adaptado HAP 4.8).....	68
Gráfico 11 - Perfil iluminação átrios, circulações e pátio coberto (adaptado HAP 4.8).....	68
Gráfico 12 - Perfil iluminação de instalações sanitárias (adaptado HAP 4.8).....	69
Gráfico 13 - Perfil iluminação exterior – novembro a janeiro (adaptado HAP 4.8).....	69
Gráfico 14 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8) .....	70
Gráfico 15 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8) .....	70
Gráfico 16 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8) .....	71
Gráfico 17 - Perfil funcionamento do aquecimento (adaptado HAP 4.8).....	71
Gráfico 18 – Consumos mensais de energia – edifício atual .....	74
Gráfico 19 - Consumos mensais de energia – edifício com todas as melhorias .....	89

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Lista de Abreviaturas e Siglas***

---

$A_p$ – Área interior útil de pavimento	[m <sup>2</sup> ]
AQS – Águas Quentes Sanitárias	[----]
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado	[----]
C – Custos de investimento	[Euros]
DPI – Densidade de potência de iluminação	[W/m <sup>2</sup> ]
ENU – Espaço não útil	[----]
Env. – Envidraçado	[----]
esp. - espessura	[cm]
ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems (Isolamento Térmico pelo Exterior)	[----]
Ext. – Exterior	[----]
HAP - Hourly Analysis Program	[----]
$I_t$ – Inércia térmica	[kg/m <sup>2</sup> ]
Int. – Interior	[----]
LNEG – Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia	[----]
Máx. – máximo	[----]
$M_{s_i}$ – Massa superficial útil do elemento $i$	[Kg/m <sup>2</sup> ]

N/A – Não aplicável	[----]
NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos	[----]
P – Poupança anual	[Euros]
PDM – Plano Diretor Municipal	[----]
PES – Pequeno Edifício de Comércio e Serviços	[----]
PRS – Período de Retorno Simples	[anos]
Ps – Pressão de saturação	[Pa]
PTL – Ponte Térmica Linear	[----]
PVC – Policloreto de Vinil	[----]
QAI – Qualidade do ar interior	[----]
r – Factor de redução da massa superficial útil	[----]
R – Resistência térmica	[m <sup>2</sup> .°C/W]
RC – Rés-do chão	[----]
Rph – Renovação por hora	[----]
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos edifícios de Comércio e Serviços	[----]
ref <sup>a</sup> – referência	[----]
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação	[----]
S <sub>i</sub> – Área da superfície interior do elemento i	[m <sup>2</sup> ]
t <sub>i</sub> - temperatura ambiente interior	[°C]
t <sub>e</sub> - temperatura ambiente exterior	[°C]
U – Coeficiente de transmissão térmica	[W/ m <sup>2</sup> .°C]
XPS - Extruded polystyrene foam (Espuma de poliestireno extrudido)	[----]
1/h <sub>i</sub> - resistência térmica superficial interior	[m <sup>2</sup> .°C/W]

$\alpha$ – Coeficiente de absorção de radiação solar	[----]
$\lambda$ – Condutibilidade térmica	[W/ m <sup>2</sup> .°C]
$\rho$ – Massa volúmica	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\eta$ - Rendimento nominal	[%]
$\varepsilon$ – Emitância	[----]
$\Theta_i$ – Temperatura superficial interior	[°C]

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# **1. Introdução**

---

Apesar do conhecimento que é detido sobre os efeitos da presença de humidade em paredes interiores, ainda é muito frequente, ao nível do projeto, sobretudo em obras de reabilitação, serem descurados alguns processos construtivos, que deveriam ser de conhecimento mais amplo de forma a serem prevenidas algumas formas de manifestação de humidades.

No presente caso de estudo, existem algumas manifestações de humidades para as quais se pretendem identificar os fenómenos que lhe deram origem, através da caracterização e justificação das patologias existentes, recorrendo a levantamentos executados no local e a bibliografia da especialidade, propor melhorias de correção e avaliar o seu contributo, essencialmente com as relacionadas com o consumo energético do edifício e ainda a viabilidade económica da sua implementação.

Conservar e reabilitar fazem parte de uma nova sensibilidade ecológica para com o habitat, ligada à ideia da sustentabilidade do urbanismo e da construção que está a reformular profundamente as práticas da engenharia e da arquitetura no dealbar do novo milénio. [1]

A reabilitação é uma das áreas estratégicas, que deve não só preocupar-se com construções históricas e os edifícios antigos, mas também com aqueles que o tempo de utilização exige intervenções de adaptação às exigências atuais. [2]

Deve ainda preocupar-se com muitos milhares de habitações que nos últimos anos têm sido construídas cometendo-se alguns erros graves no processo construtivo que deveria ser de conhecimento mais generalizado, não cumprindo por isso com o seu desempenho, exigindo muito cedo o diagnóstico e reparação de anomalias.

Muito embora haja uma preocupação crescente com a qualidade da construção, traduzida pela introdução de regulamentação específica na área do conforto, verifica-se que os edifícios construídos nos últimos anos não apresentam a qualidade esperada. Pode mesmo afirmar-se que há milhares de habitações, construídas recentemente, com patologias muito graves que condicionam a sua utilização. [3]

A falta de sistematização do conhecimento, a ausência de informação técnica, a inexistência de um sistema efetivo de garantia de seguros, a velocidade exigida ao processo de construção, as novas preocupações arquitetónicas, a aplicação de novos materiais, a inexistência de especialistas em física das construções na equipa de projeto são causas fundamentais da baixa qualidade dos edifícios. [3]

Neste contexto, pretende-se que este trabalho seja por um lado mais um alerta para a necessidade de se refletir sobre as causas das patologias nas construções recentes e, por outro, contribuir para uma contínua melhoria da qualidade na construção para que se deixe de observar o aparecimento das patologias associadas a omissões em processos construtivos de conhecimento experimentado mas que não são do conhecimento de todos os profissionais ligados à construção.

## **1.1 Objetivos específicos do trabalho**

Pretende-se com a realização desta dissertação:

- Identificar as possíveis causas que deram origem às humidades encontradas num edifício escolar, realizando para o efeito uma campanha de medições in situ, nomeadamente medição de temperatura e humidade do ar ambiente, tanto no interior como no exterior do edifício, bem como a medição da temperatura superficial em paredes interiores.
- Identificar os pontos críticos na envolvente exterior e interior do edifício, relacionados com o comportamento termo higrométrico, adicionando melhorias visando a correção das patologias associadas e avaliando ainda o seu impacto no consumo de energia deste mesmo edifício.
- Fazer uma avaliação da viabilidade económica das melhorias introduzidas.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

A presente dissertação é composta por seis capítulos.

No Capítulo 1, é feita uma introdução de enquadramento ao tema, são apresentados os objetivos específicos da dissertação e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, apresenta-se um resumo da pesquisa bibliográfica sobre o estado atual do conhecimento em relação às várias formas de manifestação de humidade, as causas e os

efeitos da sua presença nas construções.

No Capítulo 3, faz-se uma descrição do edifício escolar, com a apresentação dos dados climáticos da sua localização, caracterizam-se as soluções construtivas das suas envolventes interior e exterior, bem como a ventilação, aquecimento ambiente, iluminação interior e exterior, ascensor e ainda a sua classe de inércia térmica.

No Capítulo 4, é apresentado o levantamento não exaustivo das patologias encontradas relacionadas com a presença de humidade, descrevem-se as campanhas de medições de temperatura e humidade realizadas no local e, após a análise dos resultados, justificam-se as possíveis causas do aparecimento destas humidades.

No Capítulo 5, utilizando a ferramenta informática de simulação dinâmica multizona de edifícios *Hourly Analysis Program* (HAP), simulam-se, a partir do edifício no seu estado atual, um incremento de sete melhorias, com processos construtivos que admitirão como coeficientes de transmissão térmica máxima, a máxima admissível em termos regulamentares e faz-se ainda a análise de sensibilidade sobre estas medidas de reabilitação propostas.

No Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões retiradas da elaboração deste trabalho.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **2. Humidade em Edifícios**

---

A principal função dos edifícios é satisfazer os fins para o qual foram concebidos tornando-se um refúgio agradável e adequado às atividades 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.[4]

No entanto, a maioria desses atributos podem ser afetados pela humidade. A presença descontrolada de humidade nos edifícios afeta 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 afetar 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. [4]

Os problemas relacionados com a conservação e reabilitação de edifícios, são um tema algo complexo, pois envolvem diversas partes do edifício, nomeadamente a parte estrutural e as suas fundações, as fachadas exteriores, a cobertura, a envolvente interior bem como as instalações de abastecimento de água, drenagem de águas residuais domésticas e pluviais e outras instalações mecânicas.

Algumas das anomalias provocadas por fenómenos estruturais, podem levar ao desenvolvimento de fenómenos em partes não estruturais do edifício. O contrário também pode acontecer.

O edifício em estudo é um caso de patologias de carácter não estrutural.

As patologias de carácter não estrutural dos processos construtivos podem ocorrer sob formas muito diversificadas, que têm a ver, quer com as partes dos edifícios atingidas e as funções das mesmas que são afetadas, quer com a natureza dos materiais e técnicas de construção utilizados, quer ainda com a origem, as causas e os períodos de ocorrência das anomalias. [5]

Não obstante essa diversidade, a grande maioria dessas anomalias tem origem na presença de água e na conseqüente humidificação dos materiais, que é acompanhada pela modificação indesejável de algumas das suas propriedades físicas, afetando as condições de

habitabilidade e de durabilidade dos edifícios, por alterações prejudiciais do aspeto e, num número limitado de casos, por degradações irreversíveis que podem inviabilizar a recuperação e a reutilização dos materiais atingidos, tornando inevitável a sua substituição a curto prazo. [5]

O conhecimento das formas de manifestação das anomalias devidas à humidade é um dado essencial para a elaboração de um diagnóstico correto, que permita identificar claramente as respetivas causas e propor as soluções de reparação adequadas. [6]

De acordo com Paiva, J. V., (et al.) (1985) [5], constituindo a humidade a principal causa, direta ou indireta, de anomalias construtivas nos edifícios, importa identificar e caracterizar as suas várias formas de manifestação, que estão intimamente associadas à respetiva origem. Basicamente são seis essas formas de manifestação:

- humidade de construção;
- humidade do terreno;
- humidade de precipitação;
- humidade de condensação;
- humidade devida à higroscopicidade dos materiais;
- humidade devida a causas fortuitas.

Esta situação ideal de ocorrência isolada de cada um dos tipos de anomalias devidas à humidade não corresponde, no entanto, à generalidade dos casos em que aquelas manifestações patológicas se verificam. Com efeito, é frequente que dois ou mais tipos de fenómenos apareçam associados, quer por existirem condições propícias para tal, quer porque, em certos casos, uns podem ser consequência de outros. [6]

## **2.1 Humidade na Construção**

Como é sabido, a água entra na composição de quase todos os materiais aglomerantes utilizados na construção e, na fase de obra, embebe em maior ou menor grau outros materiais que são aglutinados ou ficam em contacto com aqueles. Por outro lado, além da água necessária para as operações de execução e aplicação de materiais em obra, os edifícios em construção são ainda potencialmente humidificados pela água da chuva enquanto não se encontram protegidos com cobertura e revestimentos. [5]

Alguma desta água evapora rapidamente, mas uma quantidade substancial demora bastante tempo a fazê-lo. [6]

A humidade de construção pode dar origem à ocorrência de anomalias generalizadas ou localizadas, devidas quer à evaporação da água existente, quer ao simples facto de os materiais terem um teor de água superior ao normal. No primeiro caso a água ao evaporar-se pode provocar expansões ou destaques de alguns materiais ou, em virtude de fazer diminuir a temperatura superficial dos materiais, dar origem à ocorrência de condensações. No segundo caso podem ocorrer manchas de humidade ou condensações, estas últimas motivadas pelo facto da condutibilidade térmica dos materiais variar em função do respetivo teor de água. [6]

### 2.1.1 Medidas de atuação para reparação de anomalias provocadas por humidade de construção

Duma forma geral as anomalias devidas a este tipo de humidades cessam ao fim dum período mais ou menos curto, o qual é função das características e do tipo de utilização do edifício em causa e da região climática em que se insere. [6]

As medidas a tomar passam por ações tendentes a retirar a água em excesso dos elementos de construção, nomeadamente:[7]

- Reforço da ventilação dos ambientes de forma a criar correntes de ar, passando pela simples abertura de janelas;
- O aumento da temperatura do ar por meio de equipamento de aquecimento, provocando desta forma a diminuição da humidade relativa. Estão contra indicados os aparelhos de aquecimento de gás butano do tipo não ligado, pois libertam quantidades apreciáveis de vapor de água, realizando a função inversa do pretendido;
- Diminuição da humidade relativa do ar, utilizando para o efeito desumidificadores de ar, mantendo todas as portas e janelas fechadas, para garantia da eficácia deste processo.

## 2.2 Humidade do terreno

As paredes dos pisos térreos e caves das edificações podem, em certos casos, apresentar problemas específicos provocados pela água do solo. Com efeito, a maioria dos materiais de construção utilizados, quer no presente, quer no passado, tem capilaridade por vezes elevadas, dando origem a que a humidade possa migrar através deles. Na ausência de qualquer espécie de barreiras estanques, esta migração pode ocorrer horizontalmente ou na vertical, o que se verifica quando se encontram reunidas as seguintes condições [6]:

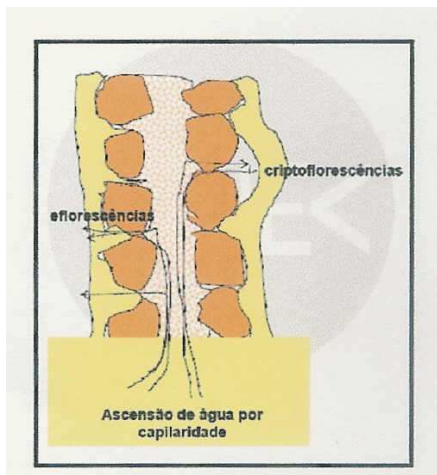
- Existência de zonas das paredes em contacto com a água do solo;

- Existência de materiais com elevada capilaridade nas paredes;
- Inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes.

A ascensão da água nas paredes, que pode ocorrer até alturas por vezes significativas, é função da porometria dos seus materiais constituintes - quanto menor o diâmetro dos poros maior a altura teórica que a água pode atingir -, da quantidade de água que está em contacto com a parede e das condições de evaporação da água que para aí tenha migrado. [6]

Para uma determinada área de absorção é necessária várias vezes o correspondente a esta área para evaporação, dependendo do tipo de elemento construtivo em contacto com o terreno húmido.

Por outro lado, os sais existentes no terreno e nos próprios materiais de construção, após terem sido dissolvidos pela água são transportados através da parede para níveis superiores. Quando a água atinge as superfícies das paredes e se evapora, os sais cristalizam e



ficam aí depositados. Este fenómeno provoca uma progressiva colmatção dos poros e, conseqüentemente, uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais, o que dá origem a que o nível atingido pela ascensão capilar possa ainda aumentar. Os sais depositados nas superfícies propiciam, por outro lado, a ocorrência de fenómenos de higroscopicidade, os quais perduram mesmo após terem sido resolvidos os problemas devidos à ascensão de água nas paredes. [6]

Figura 1-Eflorescências (à esquerda) e cripto florescências (à direita) [8]

Em certas circunstâncias, a deposição dos sais à superfície pode dar origem à formação de eflorescências

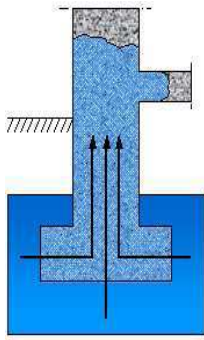
ou, quando a cristalização ocorra sob os revestimentos de parede, cripto florescências. [6]

## 2.2.1 Humidade ascensional em edifícios

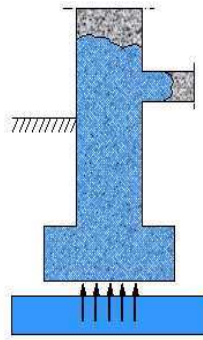
### 2.2.1.1 Caracterização

A humidade ascensional em edifícios, manifesta-se sempre que os seus elementos contactem com terrenos de suporte que contenham água ou humidade e os materiais constituintes destes elementos de contacto apresentem elevada capilaridade e não esteja garantida nenhuma forma de contrariar a ascensão de água ou humidade vindas do terreno.

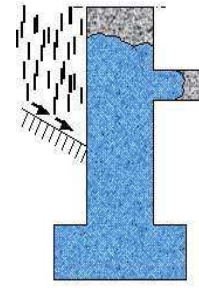
A alimentação de água pode ter duas origens: as águas freáticas e/ou as águas superficiais. [10]



**Figura 2-** Parede construída abaixo do nível freático [9]

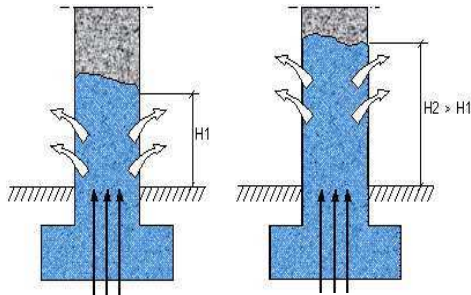


**Figura 3-** Ascensão capilar através do terreno [9]



**Figura 4-** Escorrência de água sobre parede [9]

A ascensão capilar progride até que se verifique o equilíbrio entre a evaporação e a capilaridade. Sempre que se reduzem as condições de evaporação com a colocação de um material impermeável, como por exemplo azulejo, a altura de ascensão capilar aumenta até se atingir um novo equilíbrio a uma cota mais elevada. [10]



**Figura 5-** Influência da colocação de material impermeável ao nível de equilíbrio da humidade ascensional [9]

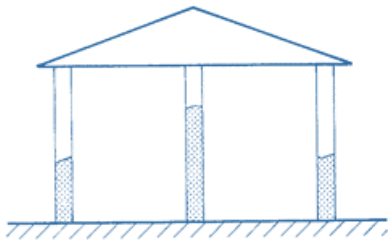
A altura de progressão da humidade ascensional depende das condições climáticas do ambiente (temperatura e humidade relativa), da insolação, da espessura da parede, da porosidade dos materiais e da presença de sais. Na prática, as humidades ascensionais

atingem a cota mais elevada no Inverno, quando a humidade relativa do ar está mais próxima da saturação. [10]

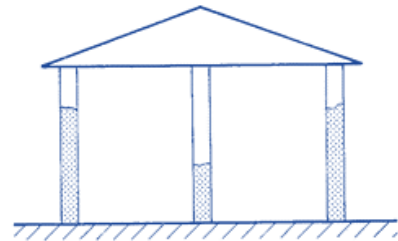
Considerando constantes as condições ambientes, e para uma dada constituição das paredes, quanto maior for a espessura maior será a altura atingida pela humidade. [6]

Duma forma geral pode considerar-se que a ascensão de água numa parede verificar-se-á até ao nível em que a quantidade de água evaporada pela parede compense aquela que é absorvida do solo por capilaridade. É por esta razão que sempre que são diminuídas as condições de evaporação numa parede – por exemplo utilizando um revestimento impermeável – a altura atingida pela água tem tendência a aumentar até um nível em que se restabeleça um novo equilíbrio. [6]

Para se atingir o nível de equilíbrio entre absorção e evaporação, é “... necessária uma área de evaporação bastante maior do que a absorção, que alguns autores ... estimam em 2 a 3 vezes para pilastras isoladas, 3 a 8 vezes para paredes exteriores e 4 a 10 vezes para nonas de cunhal”. [6]



**Figura 7-** Águas freáticas [6]



**Figura 6-** Águas superficiais [6]

Nas situações em que a humidade é proveniente de águas freáticas, os fenómenos apresentam-se sensivelmente inalterados ao longo do ano em virtude do tipo de fonte de alimentação se manter ativo durante esse período, verificando-se que a altura das manchas, correspondentes às zonas húmidas, é aproximadamente constante em cada parede, sendo maior nas paredes interiores comparativamente com as exteriores na medida em que as condições de evaporação são menos favoráveis naquele caso do que neste. As zonas erodidas das paredes, quando existam, apresentam pequenas amplitudes em altura. [6]

Quando a humidade é proveniente de águas superficiais, os fenómenos apresentam variações durante o ano, sendo em geral mais gravosos no Inverno do que no Verão, e a altura das zonas húmidas pode variar consideravelmente ao longo das paredes, em especial nas exteriores, sendo em geral menor nas paredes interiores do que nas exteriores na medida em que aquelas estão mais afastadas das fontes de alimentação de água. As zonas erodidas das paredes apresentam uma grande amplitude em altura, resultante da variação considerável entre os níveis atingidos pela água durante o ano. [6]

### 2.2.1.2 Técnicas de tratamento

De um modo geral, as soluções correntes de reparações de anomalias provocadas pela humidade do terreno, podem ser subdivididas em quatro grupos [7]:

- Soluções destinadas a impedir o acesso da água às paredes;
- Soluções destinadas a impedir a ascensão da água nas paredes;
- Soluções destinadas a retirar a água em excesso das paredes;
- Soluções destinadas a ocultar as anomalias.

A escolha da solução a adotar em cada caso concreto deve ser apoiada por um diagnóstico exaustivo que permita determinar de forma inequívoca a proveniência de água existente no terreno – águas freáticas ou superficiais, na medida em que algumas das soluções

de reparação são específicas apenas para um daqueles tipos de causas, sendo completamente ineficientes noutro. [7]

## **2.3 Humidade de precipitação**

As águas das precipitações, quer no estado líquido (chuva), quer no estado sólido (neve e gelo), podem penetrar nos edifícios através da sua envolvente exterior – paredes, incluindo os respetivos vãos, e coberturas – humidificando os materiais que atingem e provocando neles alterações num número significativo de casos. [5]

O modo como essa penetração se verificará depende de vários fatores, uns, intrínsecos aos materiais e elementos de construção – porosidade, existência de juntas ou fissuras, ausência ou funcionamento incorreto dos dispositivos de recolha e evacuação da água das chuvas, etc. – e outros, extrínsecos aqueles – intensidade da precipitação, ação do vento, gravidade, etc.. [5]

Ou seja, a incidência da água da chuva e a sua penetração nas fachadas, são fenómenos perfeitamente previsíveis e normais. E nada aconteceria se fossem criteriosamente selecionados os materiais e os processos construtivos aquando da sua conceção e construção.

As anomalias devidas à ação da água da chuva manifestam-se através do aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com ocorrências de precipitação. Essas manchas tendem a desaparecer quando cessam os períodos de chuva, não sendo visíveis quando o tempo se apresenta seco. Nas zonas que sofreram humedecimento é frequente a ocorrência de bolores, eflorescências e cripto florescências. [6]

### **2.3.1 Medidas de atuação**

A reparação de anomalias em paredes provocadas por humidade de precipitação, passam por intervenções destinadas a eliminar as deficiências de estanquidade das paredes e por soluções destinadas a eliminar as infiltrações de água através de fissurações.

## **2.4 Humidade de condensação**

O ar presente no interior dos edifícios não é isento de humidade. Este facto associado a fatores que potenciam o aumento do teor de humidade do ar no interior dos edifícios, tais como a atividade 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. [4]

Se esse vapor de água produzido no interior não é evacuado para o exterior dum modo satisfatório e ultrapassa a quantidade máxima admissível que o ar pode conter (humidade de saturação), dão-se condensações, que começam em geral por se verificar nas superfícies mais frias em contacto com esse ar. [5]

Às condensações referidas no parágrafo anterior dá-se a designação de condensações superficiais. Para além destas ainda podem ocorrer condensações no interior dos elementos, sempre que se verifiquem condições ideais para tal.



**Figura 8-**Condensação superficial [11]

As condensações deste último tipo surgem na sequência da difusão do vapor de água através de elementos que separam ambientes com diferentes concentrações (e, por consequente, com diferentes tensões parciais) de vapor de água. Essa difusão dá-se no sentido do ambiente de maior concentração para aquele onde a concentração é menor. [5]

Na prática, em condições de Inverno, tais ambientes podem ser configurados, respetivamente, pelo ar no interior dos edifícios, mais quente e com uma maior concentração de vapor de água, e pelo ar exterior. Entre os dois ambientes estabelece-se uma corrente de difusão de vapor, que atravessa os elementos da envolvente dos edifícios a partir do lado onde a temperatura é mais elevada e à qual corresponde uma dada distribuição das tensões parciais do vapor no seio dos referidos elementos. Ora, ocorrerão condensações internas sempre que os valores dessas tensões forem, em alguma zona dos elementos, iguais ou inferiores às tensões parciais de saturação correspondentes às temperaturas nessa zona. [5]

As condensações, quer superficiais, quer internas, podem ter carácter persistente ou temporário, só as primeiras originando em regra problemas patológicos, derivados da manutenção dos elementos de construção sob condições permanentes de humedificação. [5]

## 2.4.1 Medidas de atuação

### 2.4.1.1 Soluções para evitar a ocorrência de condensações superficiais

Para se evitar a ocorrência de condensações superficiais deve ser garantido um isolamento térmico melhorado, um sistema que aqueça o ambiente para que se consiga um aumento da temperatura interior e uma ventilação adequada dos espaços.

A ventilação nestes casos é importante porque, se controlada, permite remover total ou parcialmente o vapor de água gerado no ambiente, reduzindo assim o risco de condensação superficial nas paredes e tetos, bem como permite secar as paredes molhadas devido à condensação do vapor de água não removido para o exterior.

A melhoria do isolamento térmico das paredes, consegue-se com o reforço do mesmo, tendo em vista aumentar a temperatura superficial interior das paredes, fazendo diminuir desta forma o risco de ocorrência de condensações superficiais.

As soluções de reforço de isolamento térmico das paredes são basicamente de três tipos: [7]

- Reforço do isolamento térmico aplicado pelo exterior;
- Reforço do isolamento térmico aplicado pelo interior;
- Reforço do isolamento térmico na caixa-de-ar (em paredes duplas).

## 2.5 Humidade devida à higroscopicidade dos materiais

A higroscopicidade é a propriedade que os materiais porosos têm para, quando colocados no estado seco num meio ambiente com uma dada humidade relativa, reterem nos seus poros uma certa quantidade de humidade existente no ambiente, até se atingir uma situação de equilíbrio, dita de equilíbrio higroscópico, com esse ambiente. [5]

Alguns materiais, como a matéria e seus derivados, o fibrocimento, os betões leves e alguns materiais isolantes, são bastantes higroscópicos, podendo atingir um teor de água relativamente elevado quando a humidade relativa do ar ambiente se aproxima do ponto de saturação. Acresce ainda que certos sais, como o cloreto de sódio, que podem contaminar os elementos de construção, são altamente higroscópicos. Há assim que ter em atenção que a simples existência e manutenção de ambientes húmidos pode ser a causa direta e indireta da humificação dos materiais. [5]

No entanto, a menos que possam existir nos elementos de construção sais higroscópicos, incorporados desde o início da respetiva execução (nas águas de amassadura,

em areias mal lavadas, etc.) ou atingindo-os posteriormente (carregados pela humidade do solo, ou pelo ar em ambientes húmidos), as manifestações patológicas associadas à humedificação dos materiais por higroscopicidade não assumem geralmente especial gravidade. Registam-se, em todo o caso e sem carácter exaustivo, algumas situações em que essa humedificação pode ter consequências negativas: inchamentos e empenos de caixilharia, portas e mobiliário de madeira, dificultando o seu funcionamento; e o aumento inconveniente da condutibilidade térmica de materiais isolantes, prejudicando o isolamento térmico dos elementos de construção onde esses materiais se integrem. [5]

### 2.5.1 Higroscopicidade devida à presença de sais solúveis

A ocorrência de sais solúveis em elementos construtivos determina um dos tipos de anomalias de correção mais difícil e em certos casos virtualmente impossível. Tal resulta, antes de mais, pela impossibilidade física de remoção desses sais do interior dos materiais porosos onde existam. [12]

A existência destes sais no interior das paredes não é, em circunstâncias correntes, particularmente gravosa. No entanto, se as paredes forem humedecidas os sais dissolvidos acompanharão as migrações da água até à superfície onde cristalizarão designadamente sob a forma de eflorescências e cripto florescências. [6]

Alguns destes sais são higroscópicos, isto é, têm a propriedade de absorverem humidade do ar dissolvendo-se, quando a humidade relativa do ar está acima de 65-75%, voltando a cristalizar com um considerável aumento de volume quando a humidade relativa baixa daqueles valores. Desta forma, estes sais são suscetíveis de provocarem não só o humedecimento das superfícies sobre as quais se encontrem mas também de darem origem a fenómenos de degradação, resultantes dos aumentos de volume que acompanham a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos dissolução-cristalização. [6]

Os sais solúveis que se encontram associados mais frequentemente à ocorrência de manifestações patológicas são os sulfatos, os carbonatos, os cloretos, os nitritos e os nitratos, dos quais os dois primeiros não são higroscópicos. [6]

Ora se a permanência dos sais solúveis é um facto incontornável nos locais em que existem, importa avaliar os seus principais mecanismos de degradação. Em termos médios pode considerar-se que os sais solúveis absorvem humidade no estado líquido ou na forma de vapor dissolvendo-se e perdem essa humidade quando em contacto com ambientes secos recristalizando. O valor da humidade relativa para o qual se verifica a transição entre as fases

de dissolução e de cristalização é variável em função do tipo de sal, do seu grau de pureza e da eventual combinação com outros tipos de sais. Este último fator determina o abaixamento do nível de humidade relativa necessário para ocorrer a dissolução. [12]

As trocas de vapor de água entre os sais e a atmosfera ocorrem preferencialmente em poros de média ou grande dimensão, tendo sido verificado experimentalmente que os fenómenos de cristalização se verificam em geral em poros com diâmetros da ordem de  $1\mu\text{m}$  a  $10\mu\text{m}$ . Sempre que ocorre dissolução, numa primeira fase à superfície dos materiais, a sua porosidade encarrega-se de fazer chegar a frente húmida a zonas mais interiores onde pode dissolver os cristais aí existentes. Inversamente, quando o ambiente externo seca as primeiras cristalizações verificam à superfície, ocorrendo posteriormente uma secagem progressiva para o interior com a evaporação que a porosidade possibilita, a qual é acompanhada por um deslocamento da franja húmida para as zonas mais externas. [12]

Por isso, qualquer procedimento utilizado para tentativa de remoção dos sais à superfície, seria infrutífera, “ na medida em que a porosidade aberta típica dos materiais de construção possibilita a penetração do ar mais húmido até zonas relativamente interiores, onde os sais se dissolvem e iniciam o processo anteriormente descrito. [12]

Correntemente é admitido que a ação degradativa dos sais é resultante do aumento de volume que ocorrerá quando da sua cristalização – fenómeno comparado à da formação do gelo – o qual, induzindo tensões por vezes elevadas a nível da estrutura porosa, dará origem a um progressivo enfraquecimento da sua capacidade resistente e, em consequência, à sua total perda de coesão. [12]

Os fenómenos de higroscopicidade são de ocorrência muito frequente em paredes de edifícios antigos, quer em simultâneo com outros mecanismos ativos de humidade, quer mesmo após todos esses mecanismos terem cessado a sua ação. [13]

## 2.5.2 Medidas de atuação

As soluções de prevenção e/ou correção disponíveis para este tipo de anomalias são escassas, na medida em que a remoção dos sais solúveis é inviável em termos práticos e a anulação dos seus efeitos torna-se particularmente difícil de ser alcançada. O recurso a argamassas especiais, de cuja composição fazem parte aditivos específicos e/ou determinadas misturas de ligantes e agregados, é uma das soluções existentes. Algumas firmas têm vindo a fabricar produtos que se destinam a otimizar o comportamento de argamassas face àquele tipo

de ações. Estes produtos são constituídos, em geral, por aditivos para argamassas correntes ou por sistemas pré-doseados. [13]

## **2.6 Humidade devida a causas fortuitas**

Nesta designação cabem todos os fenómenos de ocorrência accidental de humidades nos edifícios com origem diversa das configuradas nas formas de manifestação anteriormente referidas. [5]

As situações mais frequentes de humidade por causas fortuitas correspondem aos casos seguintes: derrames verificados nas instalações de águas e de esgotos, derivados da perda de estanquidade das canalizações ou de certos componentes (torneiras, válvulas, autoclismos); inundações nos edifícios provocados por torneiras deixadas abertas por descuido; humidificação de pavimentos e das bases das paredes, e repasses de água para compartimentos vizinhos e para andares inferiores, devido à lavagem de pisos por processos inadequados e com recurso a quantidades excessivas de água. [5]

A grande complexidade que, por vezes, surge associada a tipo de humidades reside no facto das patologias poderem manifestar-se muito longe da fonte de origem, devido às frequentes migrações da água no interior dos diversos elementos da construção, tornando, assim, o trabalho de localização da fuga muito complexo.

### **2.6.1 Medidas de atuação**

O tipo de reparação a efetuar depende da causa que a origina, podendo a mesma ser bastante variada. Assim é necessário primeiro identificar a causa e depois eliminar o problema.

São medidas de atuação por forma a minimizarem-se as causas de humidade fortuita:

- Verificação do estado das redes de águas e esgotos;
- Verificação periódica dos pontos singulares suscetíveis de ocorrência de humidades;
- Execução dos trabalhos de manutenção periódicos;
- Limpeza e desentupimento de algerozes e caleiras no início do Outono.

## **2.7 O desempenho energético e as melhorias termo higrométricas**

De acordo com Pinto A. M., (2011), citado por Neves, Fábio André Alves (2013) [4] no âmbito da sua dissertação de mestrado, 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.

Um insuficiente isolamento térmico tanto da envolvente opaca como da envolvente não opaca, a existência de algumas singularidades, nomeadamente pontes térmicas associadas à descontinuidade de materiais com resistências térmicas diferentes e a colocação de vãos exteriores estanques não compensados com sistemas de ventilação adequados, para além do desconforto térmico que proporcionam, muitas vezes são focos de patologias associadas a humidades de condensações superficiais, causando um efeito inestético, muitas vezes até insalubre.

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 [4], permitindo gerar o balanço energético entre ganhos e perdas com o exterior, com impacto no consumo de energia associado ao aquecimento, arrefecimento e ventilação dos espaços do edifício.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

### **3. Descrição do Caso de Estudo**

---

O presente estudo tem como objetivo caracterizar e justificar as patologias existentes num edifício escolar (Figura 9), recorrendo a levantamentos executados *in situ* e a bibliografia da especialidade, bem como avaliar também o contributo das melhorias de correção, essencialmente as relacionadas com o consumo energético do edifício e a sua viabilidade económica.



**Figura 9**-Edifício escolar em estudo

O edifício em apreço encontra-se atualmente desativado. No período em que esteve em funcionamento foram identificadas um conjunto de patologias associadas ao comportamento termo higrométrico que, pela sua precocidade, suscitou interesse, desenvolvendo-se este trabalho.

Para avaliar as condições interiores do edifício foram realizadas duas campanhas de medições no local: uma, entre 25 de novembro de 2011 e 10 de janeiro de 2012, com o edifício em funcionamento, com medição da temperatura e humidade interior e exterior e, a

outra, em 23 de novembro de 2016, com o edifício desativado, com medição da humidade superficial em paredes.

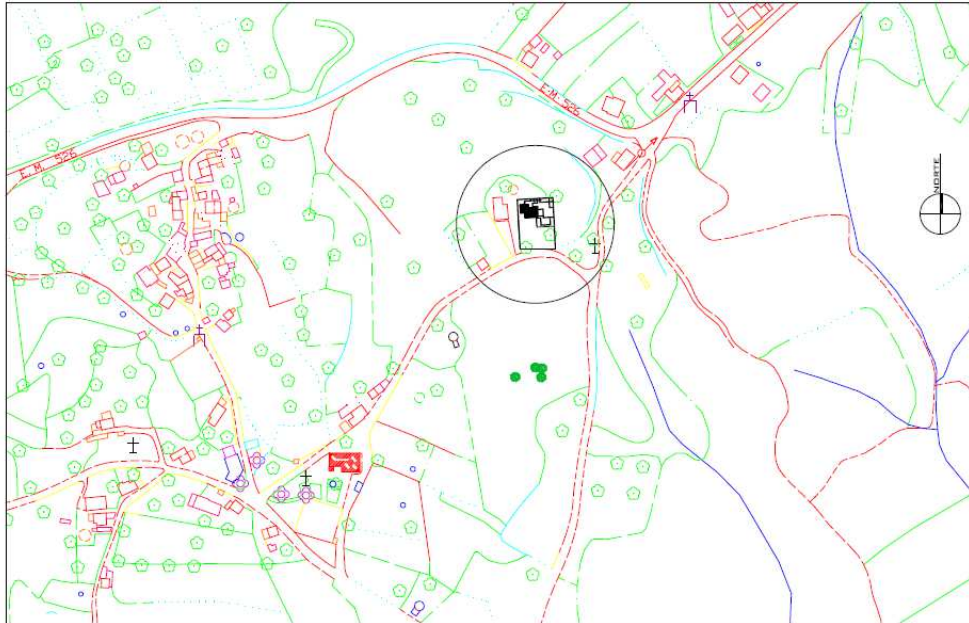
De seguida faz-se uma caracterização do edifício ao nível dos seus dados climáticos da sua localização e suas soluções construtivas.

### 3.1 Dados climáticos

A escola em estudo está construída na localidade de Torre de Vale Todos, no Concelho de Ansião. (Figura 10)

Os dados climáticos foram obtidos com recurso ao Software do LNEG versão 1.05 de 13 de fevereiro de 2014 [14], de onde se extraíram os seguintes resultados (Anexo 1):

- Município: Ansião
- Zona Climática:
  - . NUTS 3 – Pinhal Interior Norte
  - . Latitude – 40,1 °N
  - . Longitude – 8,2 °W
  - . Altitude – 248m
- Dados climáticos:
  - . Estação de aquecimento:
    - Período – 6,8 meses
    - Temperatura média – 8,9 °C
    - Graus-dia – 1374 °C
  - . Estação de arrefecimento:
    - Temperatura média – 21,4 °C
  - . Zonas de inverno - I2
  - . Zona de verão - V2



**Figura 10**-Implantação da escola (adaptada do projeto de execução)

## 3.2 Caracterização das soluções construtivas

Trata-se de uma obra que resultou da ampliação de um edifício típico do Estado Novo, de um só piso, caracterizado por ter uma só sala, um átrio e um alpendre com sanitários, que foi remodelada e à qual se juntou um edifício de arquitetura contemporânea que comunicam entre si.

A construção nova da ampliação é composta por dois pisos, cujo primeiro piso nasceu aproximadamente 1,65m abaixo da cota do edifício existente, aproveitando o desnível do terreno existente e tem um pé direito médio de 3,10m.

A comunicação entre pisos é feita por escada e elevador destinado a pessoas com mobilidade reduzida.

De acordo com o Regulamento do Plano Diretor Municipal de Ansião [15], o local de implantação da escola está situado em zona privilegiada da povoação rural, inserida numa Zona Urbana Consolidada Nível II no PDM.

### 3.2.1 Envolvente horizontal

A estrutura do edifício novo é em betão armado, incluindo os diferentes níveis de pavimentos, caracterizados no Quadro 1.

Os pavimentos térreos são em laje de betão armado e foram considerados com 30 cm de espessura conforme cortes de arquitetura, que assentam sobre uma camada de brita também com 30 cm de espessura.

Existem dois tipos de revestimento de pavimentos térreos: em mosaico cerâmico nas zonas de circulação, pátio e casas de banho e em linóleo em manta, nas salas e gabinete. Ambos os revestimentos foram aplicados sobre uma betonilha de regularização de 4 cm de espessura.

Estes pavimentos não são providos de qualquer tipo de isolamento térmico.

Quadro 1 - Caracterização de pavimentos

Tipo de pavimento	Área útil parcial (m <sup>2</sup> )	Área exposta (m <sup>2</sup> )	Percentagem sobre a área total exposta
Térreo revestido a linóleo	182,79	182,79	59,17%
Térreo revestido a cerâmico	101,41	101,41	32,83%
Pavimento elevado	125,00	24,70	8,00%
Total	409,20	308,90	100%

Os pavimentos elevados (tetos dos pisos) são em laje de betão armado com 20 cm de espessura.

Também neste caso existem dois tipos de revestimento nestes pavimentos: em mosaico cerâmico nas zonas de circulação, copa, refeitório e casas de banho e em linóleo no centro de recursos.

É relevante para o trabalho a parte do pavimento elevado exposta às condições de ambiente exterior.

A cobertura do edifício novo é em betão armado, tipo plana invertida, em laje de betão armado com 15 cm de espessura. A face em contacto com o ambiente interior é revestida a estuque projetado com 2 cm de espessura. A face voltada ao exterior é revestida a betonilha de 6 cm de espessura média, sobre a qual assenta a impermeabilização com duas telas cruzadas de 1,5 mm de espessura cada. Sobre a impermeabilização tem colocado o isolamento térmico em placas de XPS de 4 cm de espessura, encimadas por camada de seixo rolado com 10 cm de espessura.

A cobertura do edifício antigo é inclinada fortemente ventilada, cuja separação com os ambientes se faz por intermédio de laje de esteira que se considerou de betão armado devido à sua espessura de 25 cm, sem qualquer isolamento térmico. A face em contacto com o ambiente interior é revestida a reboco tradicional com 2 cm de espessura.

Ambas as coberturas estão caracterizadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização de coberturas

Tipo de cobertura	Área exposta (m <sup>2</sup> )	Percentagem sobre a área total exposta
Plana invertida com isolamento	225,09	77,68%
Inclinada fortemente ventilada	64,69	22,32%
Total	289,78	100%

### 3.2.2 Envoltente vertical opaca

A zona corrente das paredes exteriores do edifício novo (Quadro 3) são em alvenaria dupla 30x20x11 e dupla de 30x20x7, ambas com caixa-de-ar parcialmente preenchida com XPS 3 cm de espessura. O edifício também possui pequenas zonas com paredes em betão armado, sem qualquer tipo de isolamento, que se encontram caracterizadas no Quadro 4.

Em ambas as situações, exteriormente estas paredes são revestidas com reboco projetado de 2 cm de espessura, pintadas a tinta de cor branca, sendo que, pontualmente, existem pequenas áreas com revestimento a pedra de calcário amaciado. Interiormente são revestidas a estuque projetado também com 2 cm de espessura, pintadas a tinta de cor branca, sendo que, na zona das casas de banho e copa são revestidas a azulejo cerâmico.

No Quadro 3 estão ainda caracterizadas as paredes exteriores do edifício antigo que se consideraram em alvenaria de pedra, pela sua espessura (40 cm) e idade do edifício. São rebocadas nas duas faces com reboco tradicional com 2 cm de espessura e pintadas a tinta de cor branca.

Quadro 3 - Caracterização de paredes exteriores

Tipo de parede	Área exposta (m <sup>2</sup> )*				Percentagem por tipo de parede
	Norte	Sul	Este	Oeste	
Dupla (0,11m+isolamento+cx ar+0,11m) rebocada exteriormente e estucada interiormente	47,80	51,60	90,10	72,20	60,40%
Dupla (0,11m+isolamento+cx ar+0,11m) com revestimento a vidro amaciado	4,80	9,10	----	----	3,21%
Dupla (0,07m+isolamento+cx ar+0,07m) com revestimento a vidro amaciado	17,00	----	----	----	3,92%
Parede de pedra 0,40m rebocada exteriormente e interiormente	39,80	44,00	26,60	30,30	32,47%
Área parcial de fachada (m <sup>2</sup> )	109,40	104,70	116,70	102,50	
Área total de fachadas (m <sup>2</sup> )	433,30				
Percentagem por orientação de fachada exposta	25,25%	24,16%	26,93%	23,66%	

(\*) Área total com vãos incluídos. O software utilizado, HAP 4.8 [16] faz o desconto automático dos vãos.

### 3.2.3 Pontes térmicas

As pontes térmicas planas foram identificadas e estão caracterizadas no Quadro 4.

As pontes térmicas lineares foram consideradas através da majoração global em 5% das necessidades de aquecimento do edifício, conforme previsto na portaria 349-D/2013 de 02 de dezembro, republicada pela portaria nº 17-A/2016 [17].

As paredes interiores que separam os ambientes úteis dos não úteis na parte ampliada são em alvenaria simples 30x20x11, revestidas a estuque projetado em ambas as faces e, na parte antiga, em alvenaria de tijolo simples 30x20x7 rebocada também em ambas as faces (Quadro 5).

Em ambos os casos as paredes são pintadas na cor branca.

Quadro 4 - Caracterização das pontes térmicas planas

Elemento	Área exposta (m <sup>2</sup> )*				Percentagem por tipo de parede
	Norte	Sul	Este	Oeste	
Betão armado com 0,20m espessura, rebocada exteriormente e estucada interiormente	2,80	----	----	----	3,13%
Betão armado com 0,25m espessura, rebocada exteriormente e estucada interiormente	17,60	2,20	----	----	22,12%
Betão armado com 0,30m espessura, rebocada exteriormente e estucada interiormente	2,10	15,30	6,90	6,00	33,85%
Betão armado com 0,35m espessura, rebocada exteriormente e estucada interiormente	0,91	25,80	6,70	3,20	40,90%
	Área parcial de fachada (m <sup>2</sup> )	23,41	43,30	13,60	9,20
	Área total de fachadas (m <sup>2</sup> )	89,51			
	Percentagem por orientação de fachada exposta	26,16 %	48,37 %	15,19 %	10,28 %

(\*) Área total com vãos incluídos. O software utilizado, HAP 4.8 [16] faz o desconto automático dos vãos.

Quadro 5 - Caracterização das paredes interiores

Tipo de parede	Área exposta (m <sup>2</sup> )	Percentagem por tipo de parede
Simplex de 0,11	29,00	62,50%
Simplex de 0,07	17,40	37,50%
Total	46,40	100%

### 3.2.4 Vãos envidraçados

Os vãos exteriores são de alumínio termo lacado de cor branca, sem corte térmico, consideram-se com vidro simples 5mm no edifício existente e vidro duplo 5mm+5mm com caixa-de-ar de 6mm no edifício novo (Quadro 6).

O edifício apenas possui estores de lâminas horizontais de cor cinza claro para sombreamento da sala de atividades, sala polivalente, gabinete, centro de recursos e refeitório. A folha do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para cálculo da ventilação no âmbito do REH e RECS [18], aconselha que *“nos casos de janelas em que não existam, ou não seja possível, obter informação sobre a classe de permeabilidade ao ar, mas existam vedantes em todo o perímetro das janelas (sob compressão), estas poderão ser consideradas como de classe 2”*. Esta classificação é importante para o cálculo da taxa de renovação de ar por hora. Cerca de 68% dos envidraçados estão orientados em dois quadrantes, a sul e oeste, dos quais 40% a sul.

Quadro 6 - Caracterização dos envidraçados

Orientação	Área útil (m <sup>2</sup> )	Classe permeabilidade ao ar	Percentagem sobre a área total útil envidraçada
Norte	21,49	2	16,73%
Sul	52,51	2	40,89%
Este	19,46	2	15,15%
Oeste	34,96	2	27,22%
Total	128,42		
Percentagem de área envidraçada sobre a área total de fachadas do edifício			24,56%

### 3.2.5 Ventilação

A renovação de ar dos espaços é feita naturalmente. O caudal de ar novo introduzido foi determinado com recurso à folha de cálculo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para cálculo da ventilação no âmbito do REH e RECS [18], cuja representação esquemática de funcionamento se junta em Anexo 2, obtendo-se as taxas de renovação por ar infiltrado constantes no Quadro 7.

Quadro 7 - Taxa de renovação por ar infiltrado

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Pé-Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Caudal ar infiltrado	Taxa de renovação horária (R <sub>ph</sub> )
RC-Sala atividades	51,34	3,00	154,02	86,20	0,56
RC-Gabinete	15,22	3,00	45,66	0,90	0,02
RC-Sala polivalente	50,00	3,00	150,00	33,00	0,22
RC-IS	10,68	3,00	32,04	0,30	0,01
RC-Átrio circulação	43,80	3,00	131,40	6,60	0,05
RC-Pátio coberto	27,06	2,75	74,42	19,40	0,26
RC-Átrio primária	14,56	3,00	43,68	2,20	0,05
RC-Sala primária	47,53	4,45	211,51	4,20	0,02
Andar-Refeitório	50,10	3,00	150,30	6,00	0,04
Andar-Copa	17,57	2,75	48,32	0,50	0,01
Andar-Centro de recursos	26,60	3,00	79,80	1,60	0,02
Andar- Átrio circulação	30,73	3,00	92,19	12,90	0,14
Andar-IS Masculino	7,76	2,40	18,62	0,20	0,01
Andar-IS Professores	2,69	2,40	6,46	0,10	0,01

### 3.2.6 Aquecimento ambiente

O aquecimento ambiente e o aquecimento de águas sanitárias é feito com recurso a caldeira a gasóleo cujas características recolhidas no local se apresentam no Quadro 8.

Quadro 8 – Sistema de aquecimento existente

Equipamento	Marca	Modelo	Ano fabrico	Potência nominal (kW)	Potência útil (kW)	Potência das bombas do sistema (kW)	Classe
Caldeira a gasóleo	Thermital	THG 62	2006	62,00	56,20	0,70	Tipo B 23

Considerou-se um rendimento da caldeira de 86%, de acordo com os valores por defeito que se encontram na tabela 06 do Despacho 15593-E/2013 de 03 de dezembro [19].

### 3.2.7 Iluminação

O levantamento da potência dos equipamentos de iluminação artificial interior e exterior foi retirada do projeto da especialidade e encontra-se no Quadro 9.

Quadro 9 - Potência de iluminação existente

RC	Área útil (m2)	Espaço		Potência das lâmpadas (W)	Fator de balastro	Potência aparelhos (W)
		Útil	Não Útil			
Sala de atividades	51,34	X		696,00	1,3	904,80
Gabinete	15,22	X		232,00	1,3	301,20
Sala polivalente	50,00	X		580,00	1,3	754,00
Instalações sanitárias	10,68	X		90,00	1,3	117,00
Vestiário	5,31	X		36,00	1,3	46,80
Pátio coberto	27,06	X		240,00	1,3	312,00
Central de aquecimento	10,98		X	36,00	1,3	46,80
Átrio circulação	43,80	X		180,00	1,3	234,00
Átrio-primária	14,56	X		60,00	1,3	78,00
Sala da primária	47,53	X		464,00	1,3	603,20
Refeitório	50,10	X		696,00	1,3	907,80
Copa	17,57	X		304,00	1,3	395,20
Centro de recursos	26,60	X		464,00	1,3	603,20
Átrio circulação	30,73	X		306,00	1,3	397,80
Instalações sanitárias	8,20	X		114,20	1,3	148,20
Instalações sanitárias	7,76	X		78,00	1,3	101,40
Instalações sanitárias	2,69	X		36,00	1,3	46,80
Exterior	----	----	----	560,00	1,3	728,00
					TOTAL	6 726,20

### 3.2.8 Ascensor

Na escola existe um elevador preferencialmente destinado a pessoas com mobilidade reduzida mas não foi possível ter acesso a este equipamento, uma vez que a escola se encontra desativada e o equipamento fechado.

Para efeitos de determinação do consumo energético do edifício, estimou-se a potência do elevador, por aproximação, conhecida a intensidade de corrente do disjuntor existente no quadro elétrico, que protege o seu circuito elétrico, de 63A trifásica, chegando-se ao valor de 14,5 kW.h.

### 3.2.9 Inércia térmica

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção [20].

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento foi calculada através da seguinte expressão:

$$I_t = (\sum M_{s_i} \cdot r \cdot s_i) / A_p \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad [20]$$

Em que:

$M_{s_i}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$ , (Kg/m<sup>2</sup>)

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$s_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$ , (m<sup>2</sup>)

$A_p$  – Área interior útil de pavimento, (m<sup>2</sup>)

O valor de massa superficial útil de cada elemento da construção,  $M_{s_i}$ , foi obtido tendo em conta as condicionantes do Quadro 10.

Quadro 10 - Massa superficial considerada

Elemento da envolvente		Ms <sub>i</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )		r
		Máximo	Considerado	
EL1	Parede simples pedra 0,40m espessura	150	150	1
EL1	Parede simples de betão (entre 0,20m e 0,35m espessura)	150	150	1
EL1	Parede tijolo dupla de 0,11m espessura	150	150	1
EL1	Parede tijolo dupla de 0,07m espessura	150	125,5	1
EL1	Parede tijolo simples de 0,11m espessura em contacto com espaço não aquecido	150	103,5	1
EL1	Parede tijolo simples de 0,07m de espessura em contacto com espaço não aquecido	150	81,75	1
EL1	Laje de esteira 0,25 m de espessura	150	150	1
EL1	Laje cobertura 0,15m de espessura	150	150	1
EL2	Laje pavimento térreo 0,30m de espessura	150	120	1
EL3	Parede de compartimentação interior tijolo 0,11m espessura	300	207	1
EL3	Laje maciça de compartimentação interior 0,20m de espessura	300	300	1

Em presença da massa superficial útil por metro quadrado calculada (515,30 Kg/m<sup>2</sup>) e recorrendo ao Quadro 11 a seguir indicado, retirada do despacho nº 15793-K/2013 [20], classificou-se a escola na classe de inércia forte.

Quadro 11 - Classes de inércia térmica

Classe de inércia térmica	I <sub>t</sub> [Kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	I <sub>t</sub> < 150
Média	150 ≤ I <sub>t</sub> ≤ 400
Forte	I <sub>t</sub> > 400

## 4. Levantamento de Patologias

---

### 4.1 Inspeção visual

No levantamento efetuado identificaram-se quatro tipos de problemas que, embora ambos estejam relacionados com a presença de humidade, a forma como se manifestam são de características diferentes.

#### Patologia tipo 1

Uma primeira situação foi caracterizada por uma acentuada degradação nas paredes numa localização mais próxima do solo, na zona ampliada com construção nova. Este problema foi identificado com maior severidade na sala polivalente, cuja parede é em betão armado, onde, por opção do dono de obra, não foram contemplados mecanismos suficientes que impedissem a migração da água acumulada no tardo de esta parede, confinante com o terreno vizinho existente, que se encontra a uma cota superior. (Figura 11)

Como já antes mencionado, as fundações da escola estão assentes sobre um solo argiloso com muitos afloramentos rochosos, por isso com características que lhe conferem alguma impermeabilidade. (Figura 12)



**Figura 11-** Face interior da parede em betão armado



**Figura 12-** Solo de fundação

O revestimento da parede é em estuque projetado, aplicado diretamente sobre o suporte, pintado a tinta plástica cor branca.

A janela que é visível na Figura 14 dá acesso a um logradouro, onde toda a água da chuva que cai é encaminhada para uma caixa de recolha, posicionada encostada ao pilar, cujo lado interior do mesmo apresenta a degradação mostrada nesta mesma figura.

Na Figura 13 mostra-se a localização da caixa mencionada no parágrafo anterior, onde também é visível o tubo de descarga a drenar para fora da caixa.

Após a entrada da escola em funcionamento, fez-se a correção deste tubo de descarga, prolongando-o para dentro da caixa. Também o revestimento do pilar é em estuque projetado, aplicado diretamente sobre o suporte, pintado a tinta plástica cor branca.



**Figura 14-** Revestimento de pilar em betão armado.



**Figura 13-** Localização da caixa de recolha no logradouro.

A parede da Figura 15 é composta por pano duplo de alvenaria de tijolo furado de 11 cm, assente com argamassa de cimento e areia, com caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico XPS de 3cm de espessura.

O revestimento da face interior desta parede é em estuque projetado, aplicado diretamente sobre o suporte, pintado a tinta plástica cor branca.

Exteriormente o seu revestimento é a reboco de argamassa de cimento e areia com aditivo hidrófugo com acabamento a areado fino, pintado a tinta texturada cor branca.

Também se observou que as paredes interiores desta mesma sala não apresentavam qualquer sintoma de humidade, com exceção do pilar que se mostra na Figura 16.



**Figura 15-** Parede em alvenaria dupla de tijolo furado com extremidade em pilar de



**Figura 16-** Pilar a meio da sala polivalente

## Patologia tipo 2

Uma segunda situação observada prende-se com a presença de humidade nas proximidades do pavimento interior nas paredes de pedra na parte antiga reabilitada, que confinam com o exterior. (Figura 18)

Antes da reabilitação da escola, todo o pavimento exterior era em terreno natural e a uma cota inferior ao pavimento interior, perceptível na Figura 17, olhando para o canto inferior direito do vão.



**Figura 18-** Manifestações de humidade em paredes de pedra



**Figura 17-** Cota do pavimento existente

Com as obras de reabilitação, todo o espaço envolvente da escola foi “impermeabilizado”, com a colocação de um revestimento em placas de betão prensado 20x40x05, assentes com argamassa de cimento e areia sobre base de “toutvenant” compactado (Figura 20).

No entanto, praticamente todas as camadas constituintes da fundação deste pavimento foram aplicadas à custa da subida da cota do pavimento exterior, colocando-o, em algumas zonas, a uma cota igual ou em algumas situações mesmo superior ao pavimento interior.

Para além disto, as juntas não preenchidas junto às paredes exteriores, promovem um acelerar da infiltração da água junto às mesmas.

Por outro lado, a pendente do pavimento exterior em alguns casos está com inclinação para as paredes, pois aí estão implantadas caixas de recolha de águas pluviais, que para além de receber as recolhidas ao nível deste mesmo pavimento ainda serve de leito para encaminhamento das vindas da cobertura, recolhidas em caleiras que as descarregam através de tubos de queda. (Figuras 19 e 20).



**Figura 20-** Revestimento exterior em lajetas

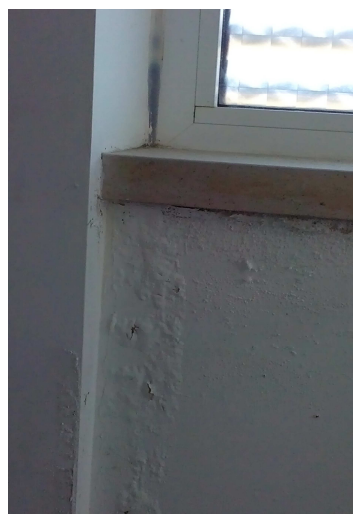


**Figura 19-** Caixa de recolha de água junto às paredes

As paredes exteriores da parte antiga da escola são em alvenaria de pedra rebocadas com argamassa de cimento e areia, pintado a tinta texturada cor branca.

### Patologia tipo 3

Outra patologia com características diferentes foi observada junto a alguns vãos. Caracteriza-se por apresentar uma degradação mais acentuada próximo dos peitoris, conforme se pode observar na Figura 21. Esta patologia foi identificada pela primeira vez no



**Figura 21-** Degradação junto ao peitoril

levantamento realizado em 23 de Novembro de 2016, cerca de 9 anos depois da construção.

Verifica-se que esta patologia é mais visível nas fachadas viradas a norte e poente.

As paredes analisadas também são em pano duplo de alvenaria de tijolo furado de 11 cm, assente com argamassa de cimento e areia, com caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico XPS com 3cm.

O seu revestimento da face interior é em estuque projetado, pintado a tinta plástica cor branca e o exterior a reboco de argamassa de cimento e areia com aditivo hidrófugo com acabamento a areado fino, também pintado a tinta texturada cor branca, ou revestido a pedra de vidro amaciado.

A sua área de degradação diminui com a distância de afastamento ao vão. São visíveis manifestações de eflorescências.

### Patologia tipo 4

A quarta patologia identificada refere-se a condensações superficiais, que quando do primeiro levantamento em 2010 ainda não apresentavam manchas de bolores mas, atualmente,

já são visíveis algumas manchas, particularmente no enquadramento de vãos e nas paredes e teto da sala de aula da escola primária.

Nos vãos envidraçados cujos caixilhos são de alumínio sem corte térmico, foram observados escorrimentos nas superfícies destes elementos cuja quantidade de água se concentrava nos peitoris e posteriormente escorria pelas paredes, sendo visíveis manchas de humidade junto aos elementos estruturais, parapeitos e paredes.

O acumular de água junto à base do caixilho, vinda da condensação visível na Figura 23 tirada durante a construção, tende a escorrer ao longo do pavimento em mosaico cerâmico e humedecer o revestimento em estuque.

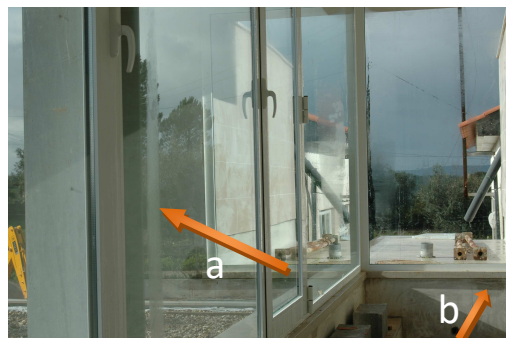
Ainda no caso da Figura 23, o pavimento interior encontra-se a uma cota superior ao pavimento exterior, que ainda está em terra.

Estas manifestações patológicas foram ainda visíveis durante a fase de construção, com a obra fechada, conforme se pode verificar pelas imagens apresentadas.

A imagem reproduzida na Figura 22 foi obtida num dia de Inverno seco com muito sol, mas com temperaturas no exterior muito baixas, onde se observa o painel envidraçado completamente embaciado e a água escorria em grande quantidade pelos perfis de alumínio.



**Figura 23-** Manchas de humidade por acumulação de água da condensação que vem dos envidraçados



**Figura 22-** Manchas de humidade por escorrência de água da condensação em envidraçados

Observa-se ainda nesta imagem (seta b), que junto ao cunhal e nas juntas de união do capeamento dos peitoris, a humidade encontrou aí o caminho para chegar à parede e humedecer o revestimento em estuque.

A imagem da Figura 25 mostra o resultado do acumular desta humidade na parede mostrada na Figura 22. Ainda durante uma visita efetuada no Inverno, verificaram-se poças de água acumuladas no banco de madeira, proveniente da escorrência das condensações da estrutura em alumínio dos envidraçados, que levaram ao empenamento do banco, que teve de ser substituído.

Na Figura 24 é apresentada uma parede em betão, ao nível do andar, com orientação oeste, onde não chega qualquer radiação solar por obstrução de elementos da própria construção.



**Figura 25-** Parede em betão da figura 23 com o banco de madeira aplicado



**Figura 24-** Parede em betão

Este edifício não é provido de qualquer sistema de ventilação natural ou mecânica, sendo que as janelas são de batente e os perfis de alumínio não têm rotura térmica.

## 4.2 Medição de humidade superficial (escola desativada)

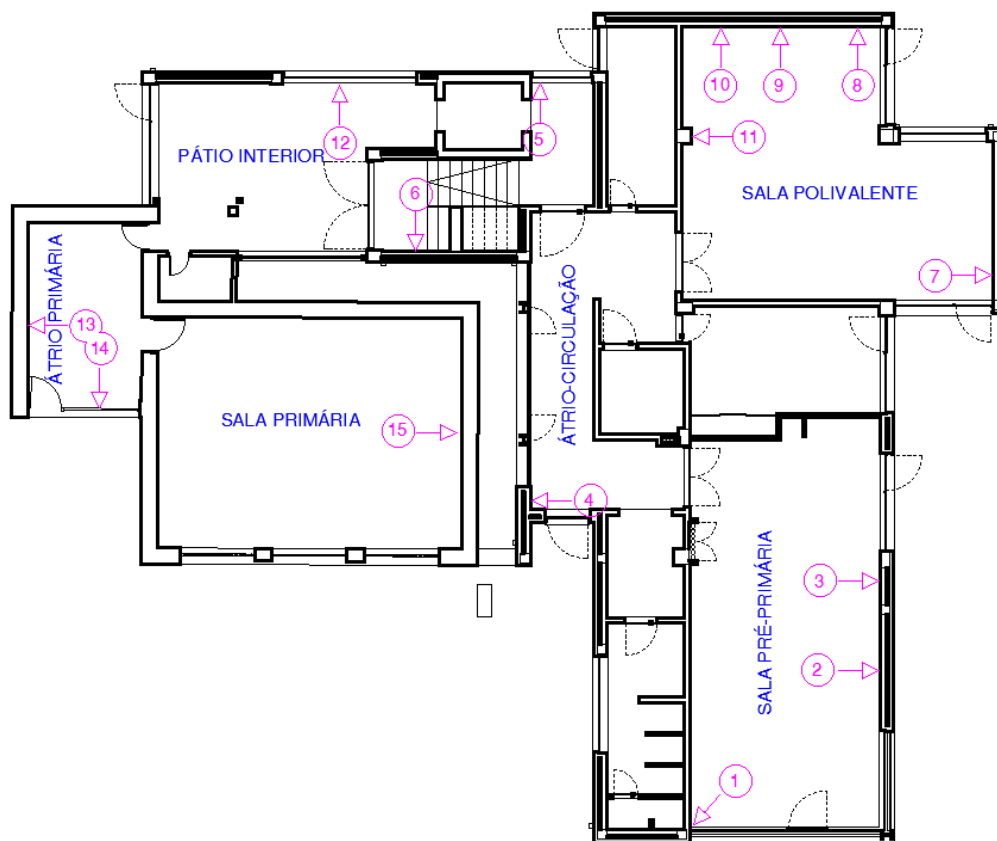
Em 23 de novembro de 2016, logo após um curto período de chuvas, fez-se um levantamento de humidade superficial em paredes em vários pontos da escola, cuja localização se pode visualizar na Figuras 27 e 28 e o seu registo global encontra-se na tabela constante do Anexo 3.

Estas medições foram realizadas entre as 09h00 e as 13h00, com recurso ao humidímetro Tramex CRH conforme imagem representada na Figura 26.



**Figura 26-** Humidímetro Tramex CRH

O procedimento utilizado na realização destas medições, consistiu no encosto e pressão dos eletrodos com molas localizados na base deste equipamento, contra as superfícies interiores das paredes objeto de medição e registados os valores lidos.

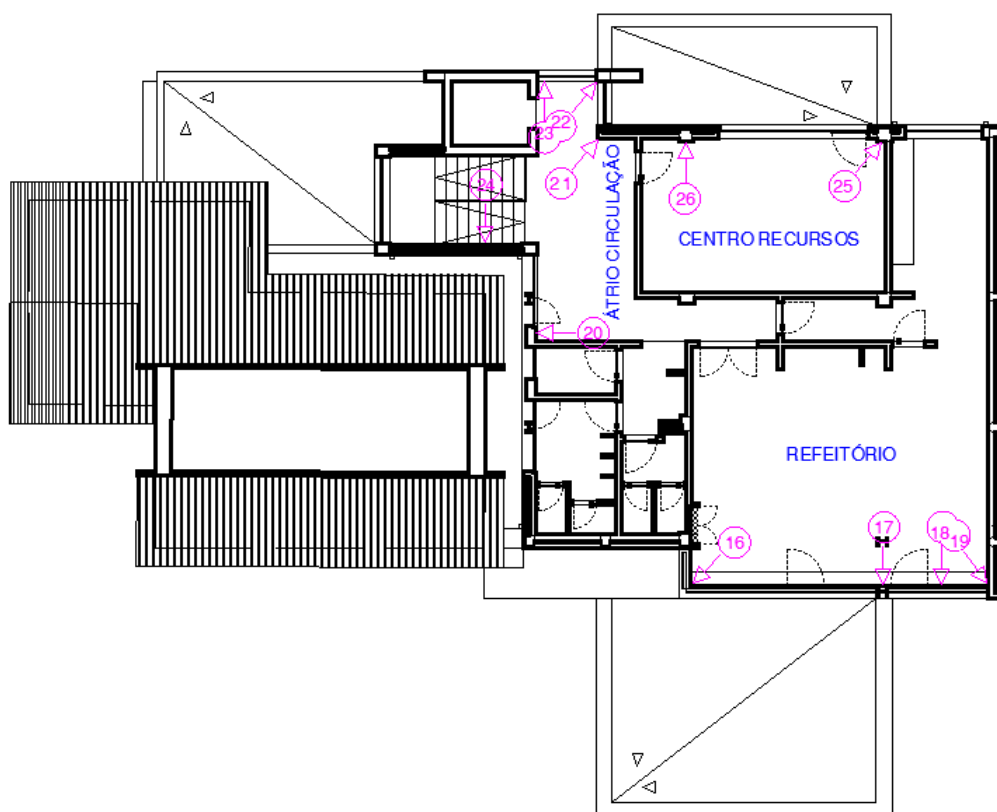


**Figura 27** – Localização do levantamento de humidade superficial em paredes interiores – R/C

Depois de analisados os registos, foi possível extrair algumas conclusões em relação às patologias tipo 1, tipo 2 e tipo 3.

Em relação à patologia tipo 1 identificada com maior severidade na sala polivalente na parte ampliada do edifício, depois de se fazer uma análise ao resultado do conjunto de medições de humidade em paredes efetuadas nesta sala, cujo resumo se apresenta no Quadro 12 seguinte, identificaram-se duas situações que poderão justificar a caracterização desta patologia como de humidade proveniente de águas superficiais, por escorrência de água pela parede de betão confinante com o terreno vizinho a cota superior.

Entre o ano de 2008, ano em que começaram a ser feitos alguns levantamentos de patologias e a data atual, houve contínua degradação desta parede em toda a sua extensão, tendo sido inclusivamente feita uma reparação da mesma pelo lado interior, com recurso a argamassas impermeabilizantes, sendo que, atualmente, esta mesma parede encontra-se no estado documentado na Figura 30.



**Figura 28** - Localização do levantamento de humidade superficial em paredes interiores – Andar

A leitura 10 regista uma presença de 7,4% de humidade junto ao rodapé, 0,6% a 1,0m de altura e 0% a 1,6m de altura, ambas as alturas contadas a partir do pavimento. Portanto a percentagem de humidade é mais alta junto ao rodapé e vai diminuindo à medida que nos afastamos desta cota, para cima.

**Quadro 12** – Medição de humidade superficial na sala polivalente (%)

Localização	Leitura junto ao rodapé	Leitura a 1,00m de altura	Leitura a 1,60m de altura
8	8,6%	2,1%	0%
9	7,3%	0%	0%
10	7,4%	0,6%	0%
11	0%	0%	0%

Estes valores do Quadro 12, poderão ser justificados pela pouca quantidade de precipitação, grande parte dela absorvida pela próprio terreno seco, acumulando-se uma pequena quantidade junto à base da fundação da parede.

Esta análise poderá configurar uma situação de humidade proveniente de águas superficiais no terreno que atinge o elemento de suporte, neste caso por escorrência de água sobre a parede deficientemente impermeabilizada. Como já antes referido, a parede de suporte é em betão armado, onde, por opção do dono de obra, não foram contemplados mecanismos suficientes que impedissem a migração da água acumulada no tardo do muro de suporte, confinante com o terreno vizinho existente, a uma cota superior.

A leitura 11 foi efetuada no pilar interior da sala polivalente, localizado na Figura 16, onde é mais evidente a patologia de eflorescências, mas para efeito de enquadramento na sala este mesmo pilar é o que se encontra na Figura 28, à esquerda do radiador. A parede onde está inserido este pilar é o elemento de separação entre esta sala e o compartimento técnico do equipamento de aquecimento ambiente e não apresenta patologias.



**Figura 30-** Parede interior em betão armado, de encosto, algum tempo após a reparação – leitura 10



**Figura 29-** Localização das leituras 10 e 11

Apesar das eflorescências, a medição efetuada no pilar não detetou a presença de qualquer humidade, pelo facto de, certamente, a pouca precipitação ocorrida antes da leitura, não foi em quantidade suficiente para saturar todos os elementos até atingir a base da fundação superficial do pilar.

Neste caso, poder-se-á estar em presença de uma situação de humidade proveniente de águas superficiais que atinge o elemento de suporte em contacto com o terreno e sobe no pilar, neste caso através da ascensão capilar.

Em relação à patologia tipo 2 caracterizada pela presença de humidade próximo do pavimento interior, nas paredes em pedra da escola antiga reabilitada, depois de se fazer uma análise ao resultado das medições de humidade nas paredes afetadas, cujo resumo se apresenta no Quadro 13 seguinte, identificamos duas situações que poderão justificar a caracterização desta patologia como de humidade proveniente de águas superficiais, uma vez que, algumas zonas com eflorescências não apresentavam ainda presença de humidade pela pouca precipitação ocorrida.

Quadro 13 - Medição de humidade superficial em paredes de pedra (%)

Localização	Leitura junto ao rodapé	Leitura a 1,00m de altura	Leitura a 1,60m de altura
13	4,6%	0%	0%
14	5,0%	0%	0%

Como já antes foi referido, a pavimentação do espaço logradouro da escola levou à elevação deste pavimento em algumas zonas para cotas próximas ou iguais à cota do pavimento interior.

Para além disto, não foram acauteladas convenientemente tanto a zona de encosto deste pavimento com as paredes, bem como o sistema de drenagem de águas pluviais.

O registou de presença de 4,6% e 5,0% de humidade junto ao rodapé nas leituras 13 e 14, efectuadas nos locais referenciados nas Figuras 31 e 32, respectivamente, poderão ser então indicadores fortes de patologias relacionadas com humidade de águas superficiais, por ascensão capilar através das paredes.

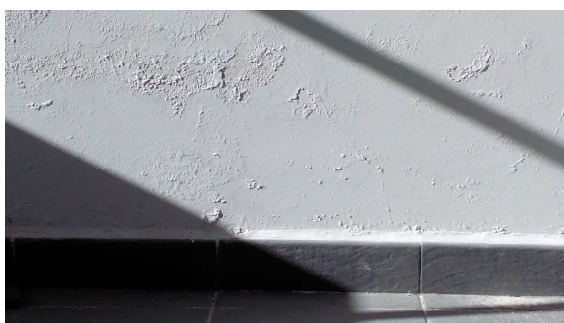


Figura 31- Localização da leitura 13



Figura 32- Localização da leitura 14

A patologia tipo 3, embora apresentando também eflorescências, quanto à sua localização, tem características diferentes das anteriormente observadas, pois apresenta a degradação mais acentuada próximo dos peitoris, conforme se pode observar nos casos da Figura 21 do ponto 4.1 onde foi efectuada a leitura 20 e das Figuras 33 e 34 seguintes, onde se efectuaram as leituras 16 e 17, ambas constantes no Quadro 14.

Depois de se fazer uma análise ao resultado das medições de humidade em algumas destas paredes afetadas, cujo resumo se apresenta no Quadro 14 seguinte, verifica-se que a maior percentagem de humidade se localiza junto ao peitoril, diminuindo à medida que nos afastamos para baixo, do mesmo.



**Figura 33-** Localização da leitura 16 - junto ao cunhal



**Figura 34-** Localização da leitura 17-a meio vão

Como se pode avaliar, junto ao rodapé ainda não se detetou presença de humidade ou detetou-se em pequena percentagem talvez pela pouca precipitação ocorrida que não foi suficiente para humidificar toda a extensão de parede.

O facto de a escola estar desativada e, provavelmente a perda de estanquidade dos vedantes de silicone associada a alguma fissuração das paredes exteriores poderão justificar o aparecimento desta patologia.

Contudo, no caso dos locais onde se efetuaram as leituras 16, 17, 18 e 19, foi observado com a escola em funcionamento que em situação de inverno, com tempo seco e temperaturas exteriores muito baixas, se concentravam elevadas quantidades de água no banco de madeira, que escorreram dos vidros e dos perfis de alumínio, conforme já referido em 4.1, expondo o espaço entre o vão envidraçado e o banco à presença de humidade intermitente provocando erosão no revestimento das paredes, pela cristalização de eventuais sais solúveis sempre que a mesma seca.

Quadro 14 - Medição de humidade superficial junto aos vãos (%)

Localização	Leitura junto ao rodapé	Leitura junto ao peitoril	Leitura acima do peitoril
16	1,1%	13,2%	a)
17	0,6%	9,0%	a)
18	0%	4,3%	a)
19	0%	13,6%	1,3%
20	5%	10,1%	a)
23	0%	7,2%	a)

a) Não aplicável - vão envidraçado

Por outro lado, como se tratam de paredes de betão armado sem isolamento térmico, é previsível que se formem condensações superficiais e que as mesmas tenham também um contributo elevado para o aparecimento desta anomalia.



Figura 35- Vão onde foram realizadas as leituras 16, 17, 18 e 19

Verificou-se que à medida que nos afastamos dos cunhais da sala onde há mais possibilidade de infiltrações de água pela junta de encosto das pedras de revestimento do peitoril, as zonas abaixo do banco têm desenvolvidas menores ou quase nulas áreas de eflorescências, parecendo evidente que a meio vão a humidade superficial medida na parede de betão apenas será humidade devida a condensações superficiais.

Poderemos estar em presença de uma situação de ocorrência de dois fenómenos associados, humidade de condensação e humidade de precipitação que concorrem para a mesma anomalia.

No ponto 4.3.3, será também dada uma possível justificação para este caso.

### 4.3 Medição de temperatura e humidade ambiente (durante o funcionamento da escola)

Entre 25 de novembro de 2011 e 10 de janeiro de 2012, realizou-se uma campanha de medições de temperatura e humidade ambiente com recolha em simultâneo de leituras no interior e no exterior da escola, cuja localização se pode visualizar na Figuras 36 e 37.

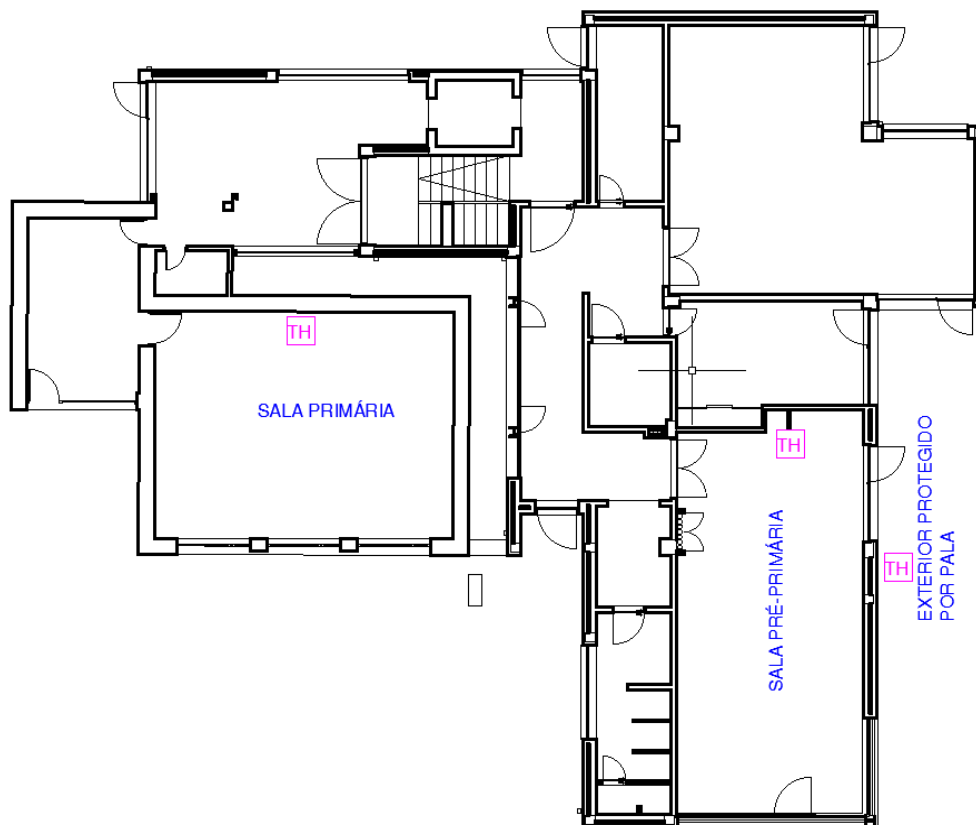


Figura 36 – Localização dos registadores Log Tag HAXO – 8 – R/C

Estas medições foram realizadas em contínuo, entre as 09h00 do dia 25 de novembro de 2011 e as 10h00 do dia 10 de janeiro de 2012 com recurso ao registador de temperatura e humidade relativa Log Tag HAXO-8 (Figura 38), que mede e armazena até 8 000 conjuntos de alta resolução de humidade e temperatura com intervalos de 0% a 100% em humidade relativa e -40°C a +85°C de temperatura [21]. Programou-se o equipamento para registos automáticos com intervalos de 10 minutos e obtiveram-se num total de 6 773 registos, conjuntos de temperatura e humidade relativa do ar, ambos por cada ambiente.

O procedimento utilizado na realização destas medições, consistiu na colocação dos equipamentos nos compartimentos selecionados para realização de medição, nomeadamente

na sala da pré-primária, sala da primária, refeitório e no exterior da escola em espaço protegido das chuvas e da radiação solar direta.

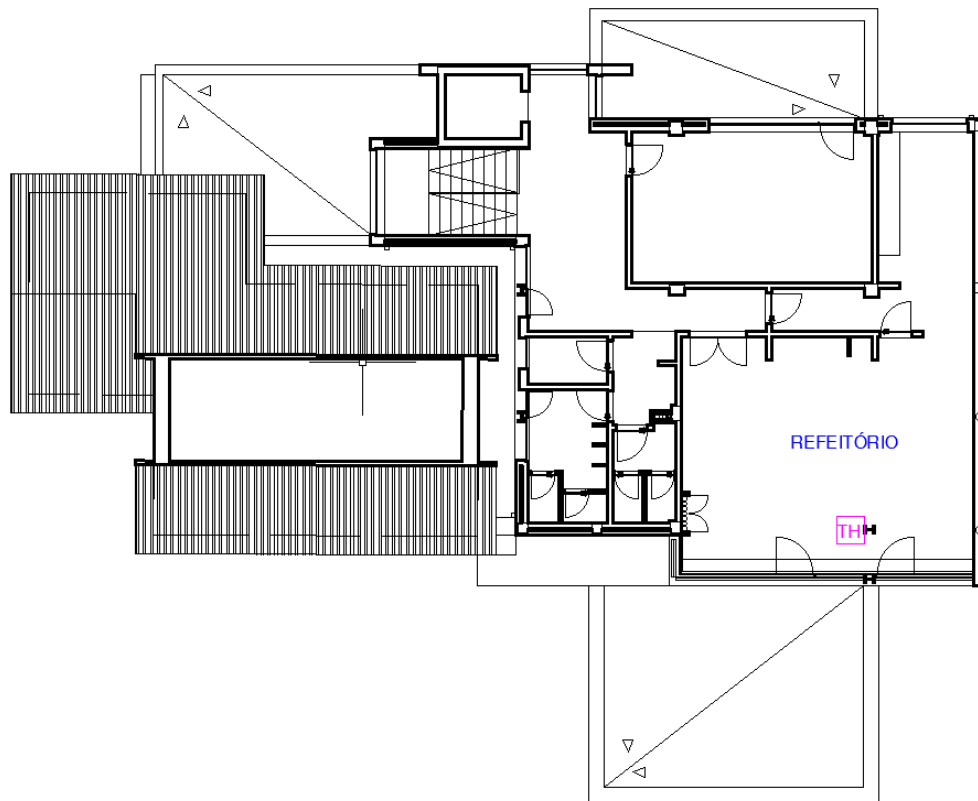


Figura 37 – Localização dos registadores Log Tag HAXO – 8 – Andar



Figura 38- Registador de temperatura e humidade relativa Log Tag Haxo - 8. [21]

Conhecidas as condições exteriores de temperatura e humidade relativa do ar e a temperatura e a humidade relativa de cada ambiente interior selecionado, bem como o coeficiente de transmissão térmica dos elementos construtivos, em condições de regime permanente, foi possível determinar a temperatura superficial interior  $\theta_i$  usando a seguinte expressão:

$$\theta_i = t_i - 1/h_i \cdot U \cdot (t_i - t_e) \quad [22]$$

em que:

-  $1/h_i$  - é a resistência térmica superficial interior =  $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ .

-  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$ .

$t_i$  temperatura ambiente interior °C

$t_e$  temperatura ambiente exterior °C

A pressão de saturação ( $P_s$ ) (em Pa) à temperatura ambiente foi obtida pela seguinte expressão:

$$P_s = 611 \cdot e^{(a \cdot t' + t)} \quad [22]$$

em que:

$t'$  - constante

$a$  - constante

$t$  - temperatura °C

para  $t < 0 \Leftrightarrow a=22,44 \quad t'=272,44$

para  $t \geq 0 \Leftrightarrow a=17,08 \quad t'=234,14$

Conhecidas as pressões de saturação correspondentes tanto à temperatura superficial interior como à temperatura do ambiente, dividindo a primeira pela segunda, determinou-se a humidade relativa em que ocorrerão condensações.

Para não tornar o trabalho demasiado pesado com muitos quadros e pelo conseguinte também demasiado extenso, de um total de 6 773 registos obtidos em cada compartimento analisado, foram seleccionadas apenas conjuntos de leituras cujos resultados fossem suficientes para justificar o ambiente termo higrométrico das salas em estudo e desta forma ajudar a compreender os casos de patologias levantadas, reproduzidos em gráfico para melhor interpretação destes mesmos resultados.

O critério utilizado consistiu em seleccionar dois períodos de leituras que ajudassem a avaliar o ambiente termo higrométrico: um em período de funcionamento e com o sistema de aquecimento ambiente ligado e outro avaliando este mesmo ambiente com a escola vazia, de madrugada, onde as temperaturas exteriores normalmente são mais baixas.

Deste modo, para avaliação do ambiente em período de funcionamento, seleccionou-se de um modo geral o período horário com início às 15h00, tendo-se estendido o seu registo até às 20h00 uma vez que a partir das 17h00 a escola começa a ficar vazia e desta forma também

será interessante registar o comportamento do ambiente ao final do dia já sem a presença de pessoas com perda de temperatura com o aquecimento desligado.

Para avaliação do ambiente com a escola vazia, selecionou-se de um modo geral o período horário das 02h00 às 07h00.

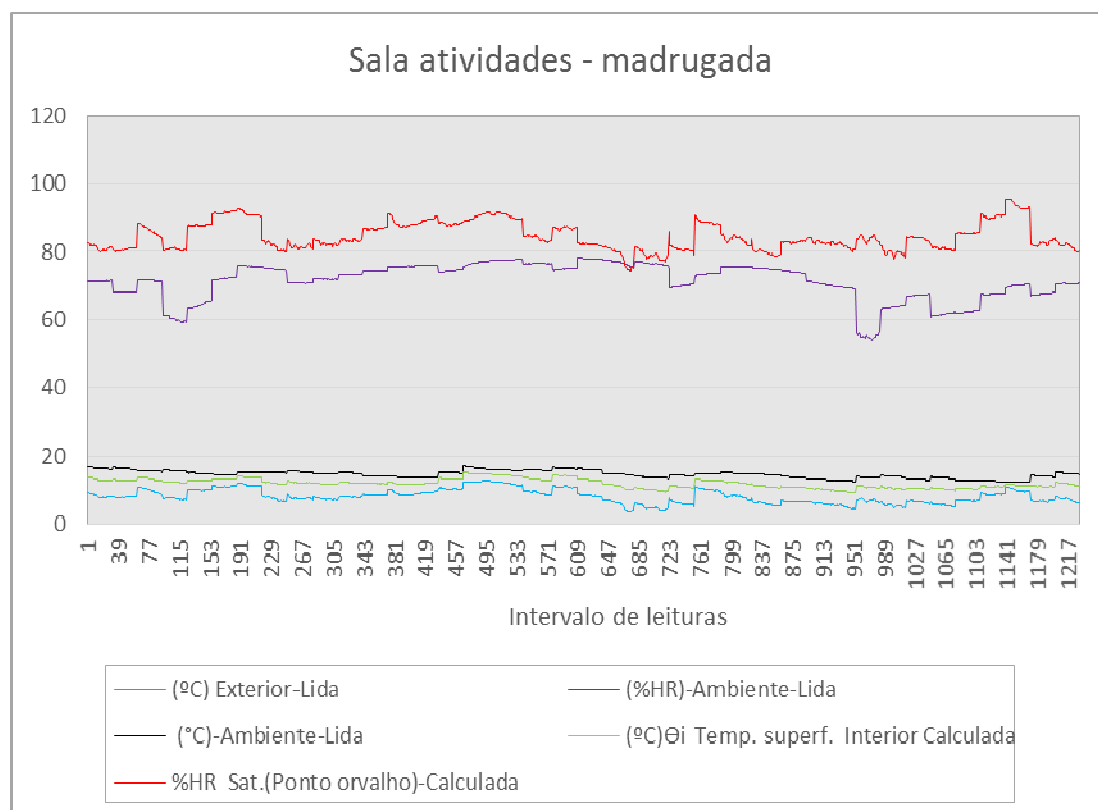
O período em que se consideraram estas leituras foi compreendido entre o dia 30 de novembro de 2011 e o dia 04 de janeiro de 2012.

### 4.3.1 Sala de atividades da pré-primária

Para esta sala utilizou-se no cálculo da temperatura superficial interior  $\Theta_i$  o valor do coeficiente de transmissão térmica  $U$  da parede de betão com 0,25m de espessura (3,114  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ), uma vez que se trata do elemento identificado neste ambiente com o mais elevado coeficiente de transmissão térmica.

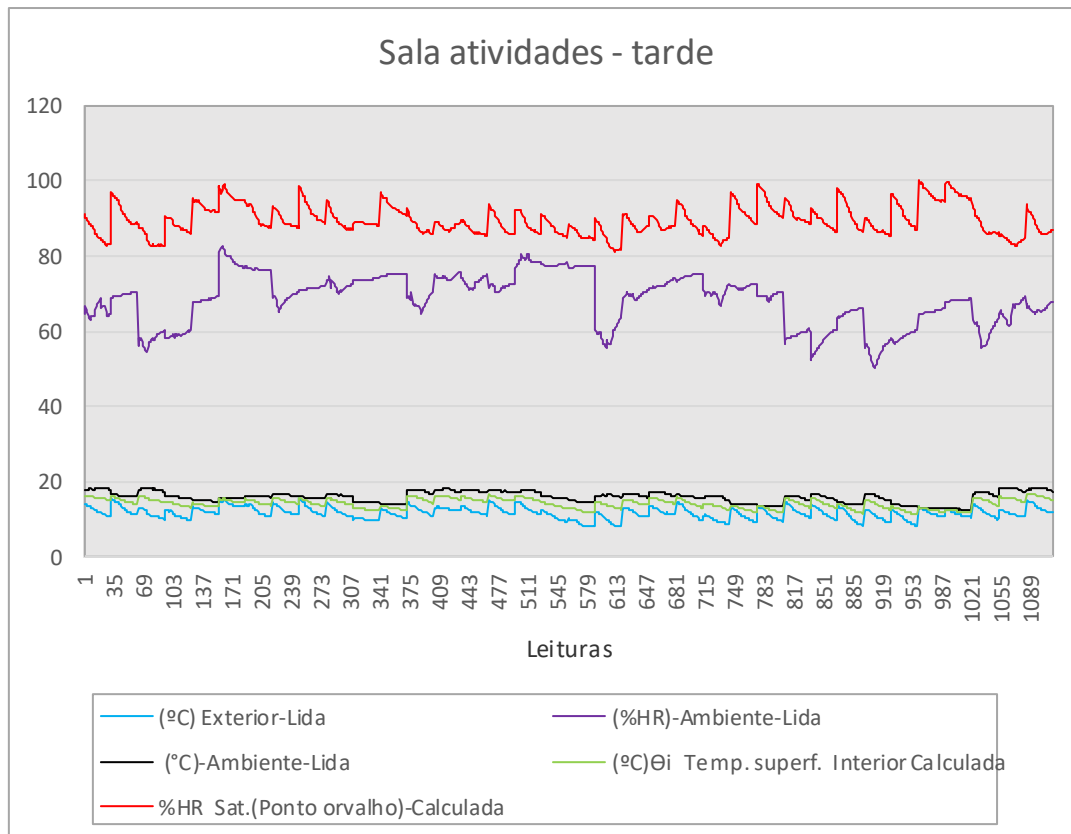
No Gráfico 1 está representado o comportamento higrométrico desta sala no período das 02h00 às 07h00, com a escola vazia e o aquecimento ambiente desligado.

Gráfico 1 - Comportamento termo higrométrico da sala de atividades da pré-primária - leituras entre as 02h00-07h00



No Gráfico 2, está representado o comportamento termo higrométrico desta sala no período das 15h00 às 20h00, mas com a escola em funcionamento (com exceção do período de férias de natal) e o aquecimento ambiente ligado.

Gráfico 2 – Comportamento termo higrométrico da sala de atividades da pré-primária- leituras entre as 15h00-20h00.



Ao nível das três temperaturas analisadas, verifica-se em ambas as situações que a linha da temperatura ambiente (linha preta do gráfico), lida, está acima da linha da temperatura superficial (linha verde do gráfico), calculada, situação característica em situações de inverno em que a temperatura superficial interior é menor que a temperatura ambiente.

A humidade relativa dentro desta sala, à temperatura ambiente (linha roxa do gráfico), situa-se grande parte do tempo entre os 60% e os 80%, atingindo os 80% numa ou outra situação pontual.

Na avaliação das condições de ambiente com a escola vazia e o aquecimento desligado (Gráfico 1), nas paredes com coeficiente de transmissão térmica próximo do que serviu de base à determinação do ponto de orvalho, verifica-se que há situações em que a humidade

relativa ambiente tem condições muito próximas de atingir a condensação, o que acontece efetivamente por volta dos registos 675 a 682.



**Figura 39-** Humidade de condensação em enquadramento de vãos

Na situação da escola em funcionamento e o aquecimento ligado (Gráfico 2), apesar de não se terem registado situações de condensação, o risco é elevado uma vez que em alguns períodos é visível a linha da humidade relativa ambiente muito próxima da saturação (linha vermelha do gráfico).

Em relação à patologia tipo 4 decorrente de humidade de condensação, nesta sala, para além de patologias encontradas no enquadramento de vãos, sobretudo no elemento de betão armado com 0,25m de espessura, não se identificaram para já outras patologias devidas a humidade de condensação. (Figura 39)

### 4.3.2 Sala de aula da primária

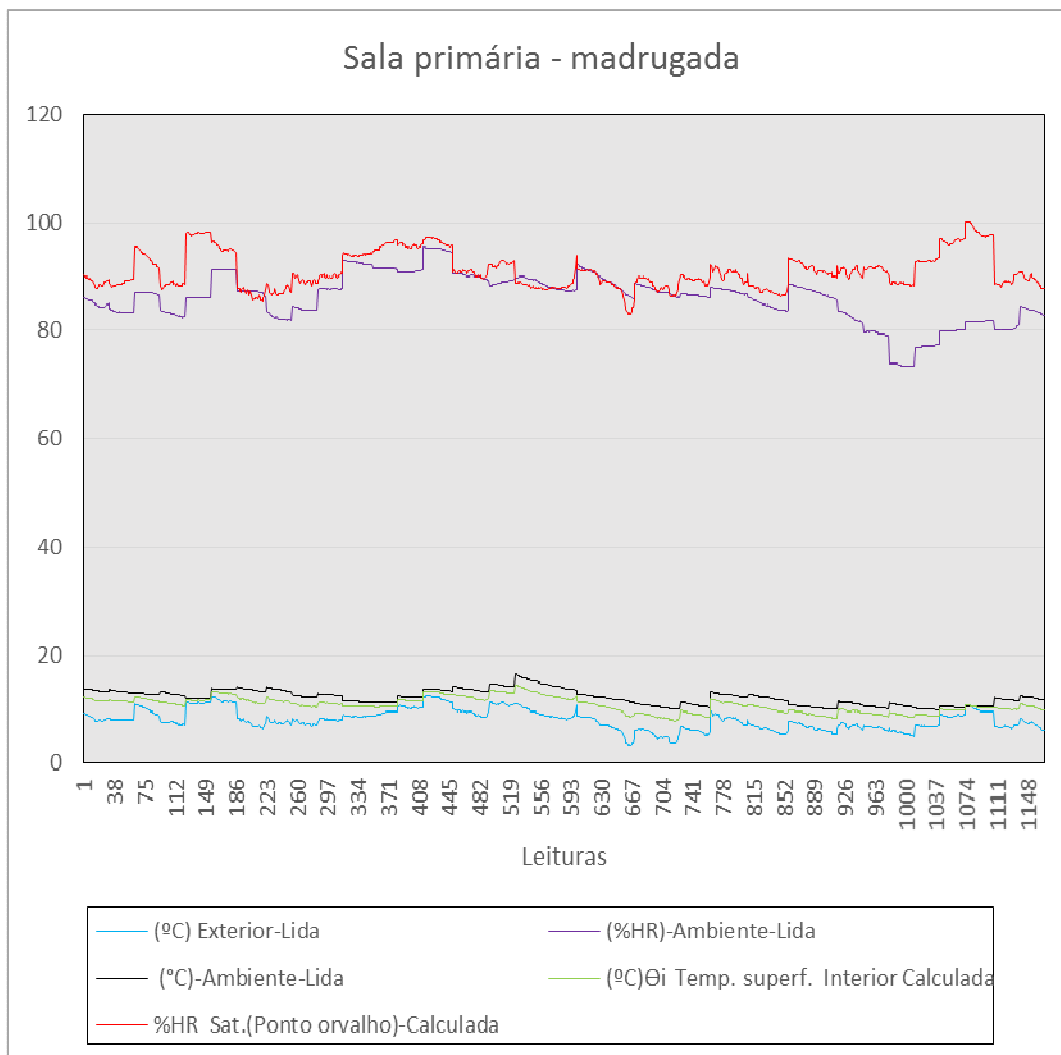
Para esta sala utilizou-se no cálculo da temperatura superficial interior  $\theta_i$  o valor do coeficiente de transmissão térmica U da parede de pedra com 0,40m de espessura (2,669 W/m<sup>2</sup>.°C), uma vez que se trata do elemento identificado neste ambiente com o mais elevado coeficiente de transmissão térmica.

No Gráfico 3, está representado o comportamento termo higrométrico desta sala no do período das 02h00 às 07h00, com a escola vazia e o aquecimento ambiente desligado.

No Gráfico 4, está representado o comportamento termo higrométrico desta sala no período das 15h00 às 20h00, com a escola em funcionamento (com exceção do período de férias de natal) e o aquecimento ambiente ligado.

Ao nível das três temperaturas analisadas, também se verifica em ambas as situações que a linha da temperatura ambiente (linha preta do gráfico), lida, de modo geral está acima da linha da temperatura superficial, calculada (linha verde do gráfico), com exceção do Gráfico 4 com leituras da parte da tarde, em que algumas delas, por exemplo as próximas da leitura 34 ou entre as leituras 925 e 991, em que a temperatura superficial interior é ligeiramente mais elevada que a temperatura ambiente.

Gráfico 3 – Comportamento termo higrométrico da sala de aula da primária- leituras entre as 02h00-07h00.

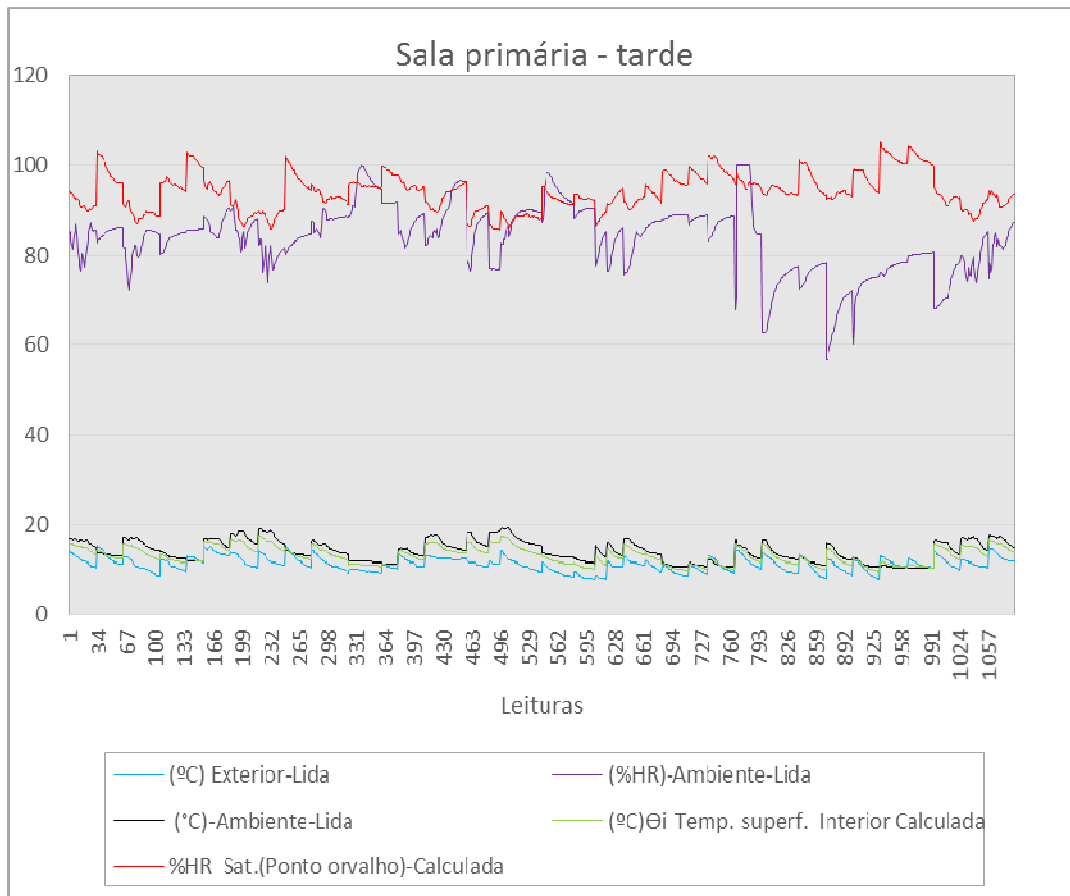


Com exceção do período entre as leituras 760 e 991, verifica-se que de um modo geral a humidade relativa dentro desta sala, à temperatura ambiente (linha roxa do gráfico), se situa entre os 80% e os 100%, atingindo mesmo os 100% em situações pontuais.

Na avaliação dos resultados dos registos das condições de ambiente desta sala de aula da primária, com a escola vazia e o aquecimento desligado (Gráfico 3), verifica-se alguns períodos com condições de condensação efetiva, sendo que, em grande parte do período de leituras ocorreram riscos elevados de acontecerem.

Na situação da escola em funcionamento e o aquecimento ligado (Gráfico 4), também se verificam situações com condições de condensação efetiva e risco elevado em alguns períodos, uma vez que é visível a linha da humidade relativa ambiente a ultrapassar ou muito próxima da saturação (linha vermelha do gráfico).

Gráfico 4 – Comportamento termo higrométrico da sala de aula da primária- leituras entre as 15h00-20h00.



Em relação à patologia tipo 4, decorrente de humidade de condensação, nesta sala, identificaram-se situações conforme documenta a Figura 40.



Figura 40- Humidade de condensação na parede e teto da sala de aula da primária

### 4.3.3 Refeitório

Para esta sala também se utilizou no cálculo da temperatura superficial interior  $\theta_i$  o valor do coeficiente de transmissão térmica U da parede de betão com 0,25m de espessura (3,114 W/m<sup>2</sup>.°C), uma vez que se trata do elemento identificado neste ambiente com o mais elevado coeficiente de transmissão térmica.

No Gráfico 5, está representado o comportamento termo higrométrico desta sala no período das 02h00 às 07h00, com a escola vazia e o aquecimento ambiente desligado.

No Gráfico 6, está representado o comportamento termo higrométrico desta sala no período das 15h00 às 20h00, com a escola em funcionamento (com exceção do período de férias de natal) e o aquecimento ambiente ligado.

Ao nível das três temperaturas analisadas, verifica-se em ambas as situações que a linha da temperatura ambiente (linha preta do gráfico), lida, praticamente está acima da linha da temperatura superficial (linha verde do gráfico), calculada, situação característica em situações de inverno em que a temperatura superficial interior é menor que a temperatura ambiente.

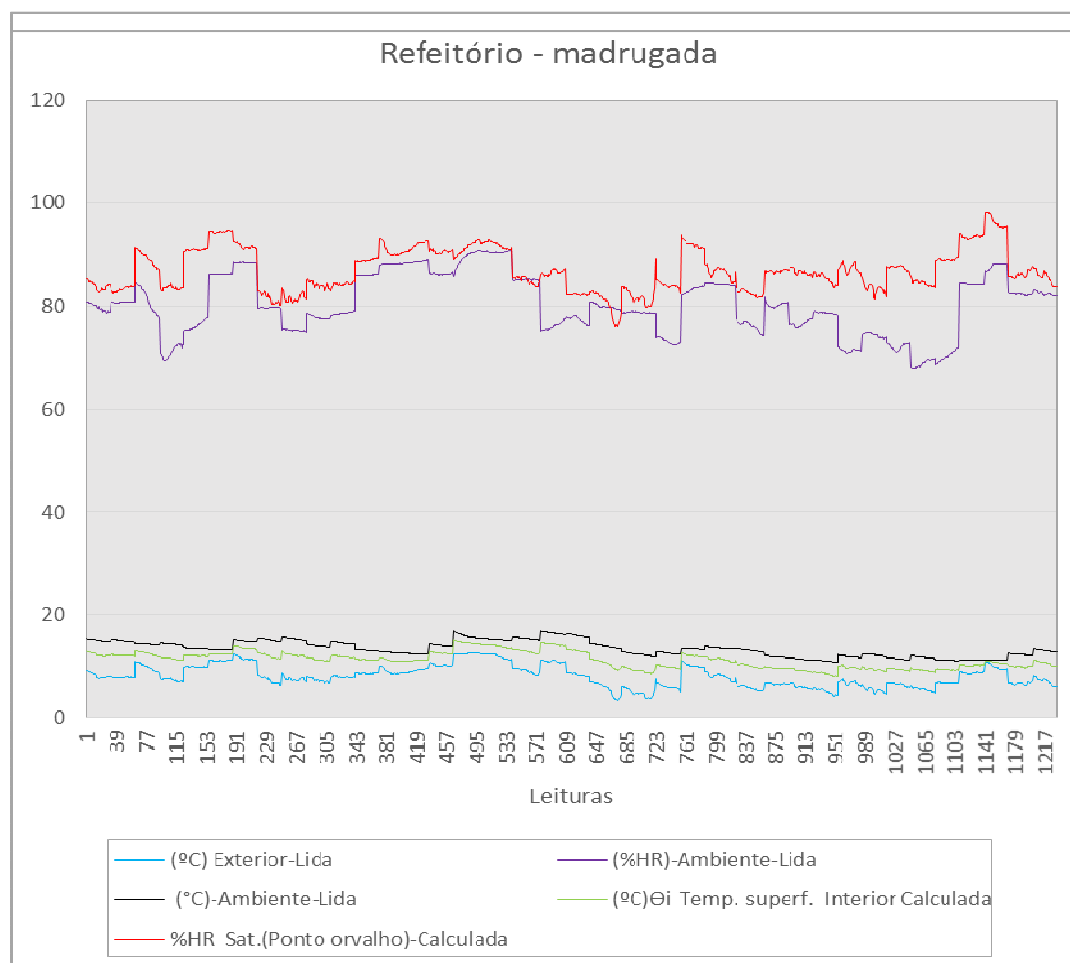
A humidade relativa dentro do refeitório, à temperatura ambiente (linha roxa do gráfico), nas leituras registadas durante a madrugada (Gráfico 5) situa-se entre os 70% e os 90%, aproximadamente.

Já na situação de leituras registadas no período da tarde (Gráfico 6), a humidade relativa dentro deste refeitório, à temperatura ambiente (linha roxa do gráfico), situa-se entre os 60% e os 80%, aproximadamente, caindo em alguns casos para humidades relativas abaixo dos 60% e subindo noutros casos acima do 80%.

Na avaliação dos resultados dos registos das condições de ambiente deste refeitório, com a escola vazia e o aquecimento desligado (Gráfico 5), nas paredes com coeficiente de transmissão térmica próximo do que se serviu de base à determinação do ponto de orvalho, verificam-se alguns períodos com condições de condensação efetiva, sendo que, em grande parte do período de leituras ocorreram riscos elevados de acontecerem.

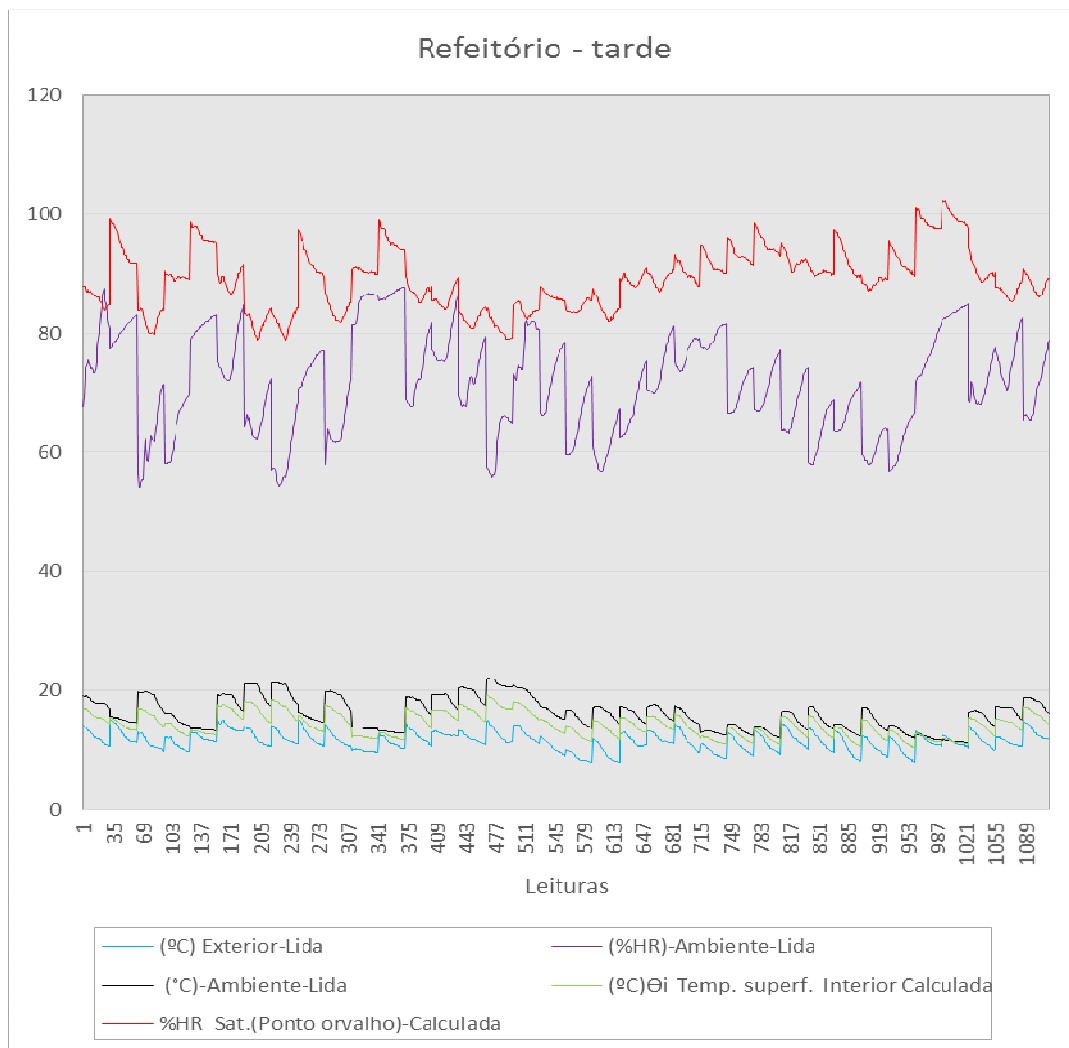
Na situação da escola em funcionamento e o aquecimento ligado (Gráfico 6), também se verificam situações com condições de ocorrência de condensação efetiva e risco elevado em alguns períodos, uma vez que é visível a linha da humidade relativa ambiente a ultrapassar ou muito próxima da saturação (linha vermelha no gráfico).

Gráfico 5 – Comportamento termo higrométrico do refeitório - leituras entre as 02h00-07h00.



Em relação às patologias descritas como decorrente de humidade de condensação, nas imagens recolhidas no refeitório (Figura 22 e 25), conforme já referido anteriormente, estas patologias antes caracterizadas como podendo ser consequência também de humidade de precipitação, de facto, a sua primeira manifestação poderá ter até ocorrido por humidade de condensação uma vez que a fotografia 25 foi obtida antes de se observarem vestígios de infiltrações junto aos vãos mas, atualmente, devido ao facto de também poderem ter ocorrido falência dos produtos impermeabilizantes dos vãos, selagem e impermeabilização de cantarias e, provavelmente, fissuração das paredes, poderemos então estar em presença de uma situação de ocorrência de dois fenómenos associados, humidade de condensação pela existência de paredes de betão sem isolamento térmico, que pelas leituras recolhidas se verifica que condensam efetivamente e humidade de precipitação por falência dos vedantes dos vãos e/ou fissuração.

Gráfico 6 - Comportamento termo higrométrico do refeitório - leituras entre as 15h00 - 20h00.



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***5. Análise de Sensibilidade Sobre Medidas de Reabilitação***

---

### **5.1 Metodologia adotada**

#### **5.1.1 Edifício na situação atual**

A forma como foram avaliados os efeitos decorrentes das medidas de reabilitação propostas consistiu na avaliação das necessidades de energia do edifício, não sendo, contudo, objetivo desta dissertação a classificação do desempenho energético do edifício em termos do sistema nacional de certificação energética.

Fez-se uma identificação das variáveis críticas e, posteriormente, fez-se a simulação do consumo energético do edifício no seu estado existente.

Para realização desta avaliação dos consumos energéticos recorreu-se à ferramenta informática de simulação dinâmica multizona de edifícios HAP (Hourly Analysis Program), da Carrier [16], melhor caracterizada no ponto seguinte.

##### **5.1.1.1 Caracterização do HAP (Hourly Analysis Program) versão 4.8**

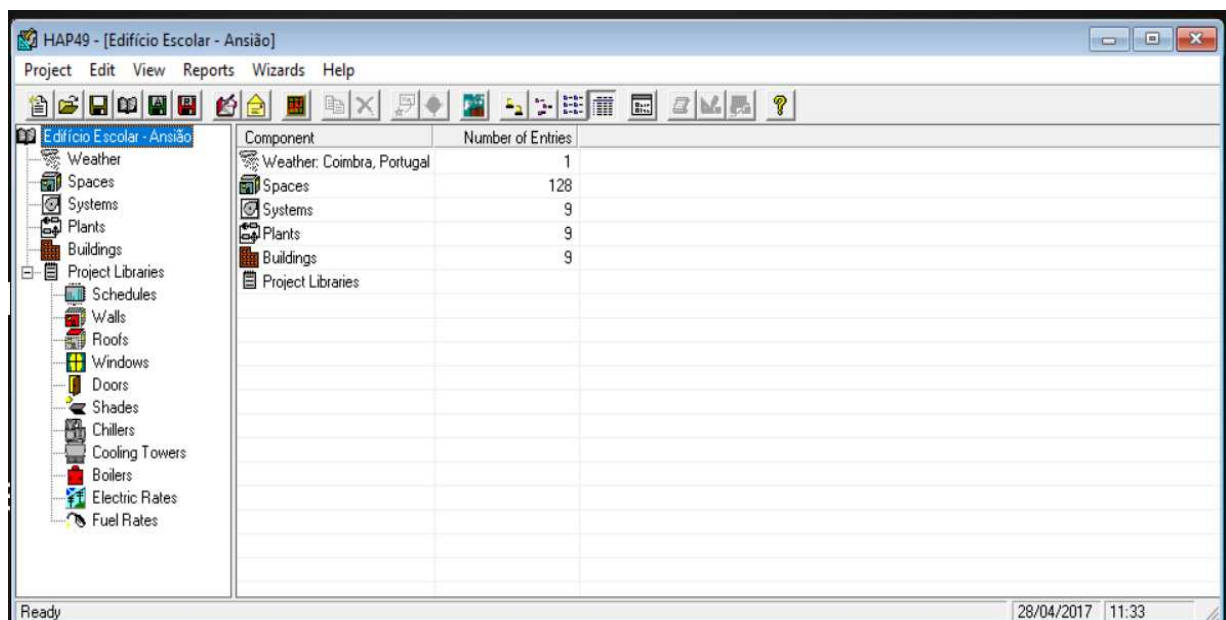
O “*Carrier HAP 4.80*” é um programa de simulação dinâmica de edifícios, conhecido como “*Building Performance Simulation tool*” BPS [23] citado por [24].

Enquadra-se nos programas de dimensionamento e seleção de equipamentos de AVAC e análise energética. A maior parte deste tipo de programas baseia-se em procedimentos padrão e algoritmos estabelecidos pela ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers*), apesar de um grande número destes ser patenteado e

vendido por fabricantes de equipamentos. O programa tem a capacidade de prever o consumo anual de energia de um sistema AVAC, podendo realizar tanto análises anuais, como mensais e horárias para todos os dias ao longo de um ano [25] citado por [24].

A metodologia de cálculo do HAP é baseada no método de funções de transferência para cálculos de cargas e na técnica detalhada de simulação e análise de energia, 8760 horas/ano, aprovadas e validades pela ASHRAE [26].

Esta ferramenta de simulação dinâmica facilita um acesso rápido e eficiente aos dados de projeto, permitindo ao utilizador uma grande flexibilidade e adaptabilidade na modulação dos diferentes tipos de análise, pois é o utilizador que para cada projeto modela todo o sistema (*Weather, Spaces, System, Plants* e cria as próprias *Project Libraries*). Na Figura 41, faz-se a apresentação da janela principal deste Software, com este trabalho.



**Figura 41** - Árvore da janela principal do HAP

Consultado o Guia de Referência Rápida do programa [27], retirou-se que esta versão HAP 4.80 contém duas ferramentas num só programa:

- *HAP System Design Features* - é uma ferramenta para estimar cargas e fazer a conceção de sistemas que permite executar as seguintes tarefas:

- . Calcular as cargas de arrefecimento e aquecimento para espaços, zonas e serpentinas no sistema de AVAC;
- . Determinar caudais de ar necessário para espaços, zonas e sistemas;
- . Dimensionar as serpentinas de arrefecimento e de aquecimento;
- . Dimensionar ventiladores de circulação de ar;

. Dimensionar chillers e caldeiras.

- *HAP Energy Analysis Features* – é uma ferramenta para simular o uso de energia dos edifícios e calcular os seus custos. Esta ferramenta estima o consumo anual de energia, separando os custos com sistemas AVAC e não AVAC, sendo que, especificamente:

. Faz a simulação de hora a hora de todos os sistemas de aquecimento e ar condicionado no edifício;

. Faz a simulação de hora a hora de todos os equipamentos do edifício;

. Faz a simulação de hora a hora de sistemas não AVAC incluindo iluminação e eletrodomésticos;

. Utiliza os resultados das simulações hora a hora para calcular o consumo total anual de energia e os seus custos. Os custos unitários por unidade de consumo terão de ser especificados pelo utilizador do programa nos seus menus *electric rates* e/ou *fuel rates*.

. Gera relatórios e gráficos de dados horários, diários, mensais e anuais.

O HAP ou qualquer outra ferramenta semelhante que processa uma simulação dinâmica detalhada é a ferramenta que deve ser utilizada quando se pretende identificar medidas de melhoria para um edifício de comércio e serviços porque apresenta valores para as cargas térmicas fidedignos e porque o programa está preparado para ser modulado de forma a contemplar inúmeras variáveis que influenciam o desempenho do edifício ao nível do conforto térmico e do consumo de energia. [28]

O software HAP é dividido em seis separadores principais, nos quais serão introduzidos os dados referentes ao edifício em análise [29]:

- *Weather*

- *Spaces*

- *Systems*

- *Plants*

- *Buildings*

- *Project Libraries*

No separador *Weather* é selecionado o País e região em estudo. Sendo também possível editar as temperaturas, de forma a adequar aos dados meteorológicos do local em análise [29]

Neste caso e uma vez que o programa apenas contempla dados climáticos de seis cidades de Portugal Continental mais a cidade do Funchal no arquipélago da Madeira e a localidade das Lajes no arquipélago dos Açores, foi necessário fazer-se a exportação para o

programa HAP dos dados climáticos da localização da obra, obtidos com recurso ao Software do LNEG versão 1.05 de 13 de fevereiro de 2014.

A Figura 42 seguinte, mostra a janela do separador *Weather*.

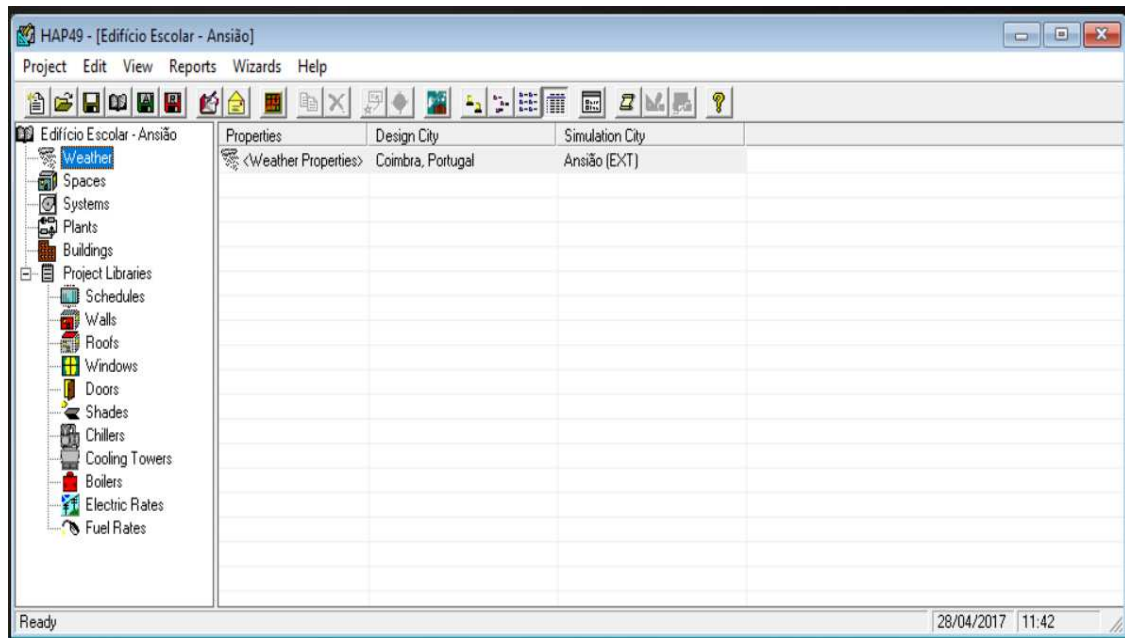


Figura 42 – Janela do separador *Weather*

No separador *Spaces* são introduzidas as diferentes zonas a analisar e é realizada a caracterização das mesmas. Sendo deste modo indicada a área da zona, o seu coeficiente de transmissão térmica, os requisitos de ventilação da zona, a constituição das paredes e vidros exteriores, paredes complementares, pavimentos e coberturas [29]. (Figura 43)

Cada *Space* por sua vez tem sete tabelas para modelação, como o exemplo seguinte referente à sala de atividades na situação atual (Figura 44). Cada uma destas tabelas recebe dados das bibliotecas (*Project Libraries*), antes criadas pelo utilizador e outros dados recolhidos tendo em conta os elementos caracterizadores da envolvente do edifício.

No separador *Systems* são introduzidos e caracterizados os sistemas de climatização do edifício. A caracterização consiste na introdução dos perfis diários e mensais de funcionamento, as zonas climatizadas, as temperaturas e caudais de funcionamento e a caracterização das unidades interiores do sistema de climatização. [29].

Na Figura 45 mostra-se a janela do separador *Systems*

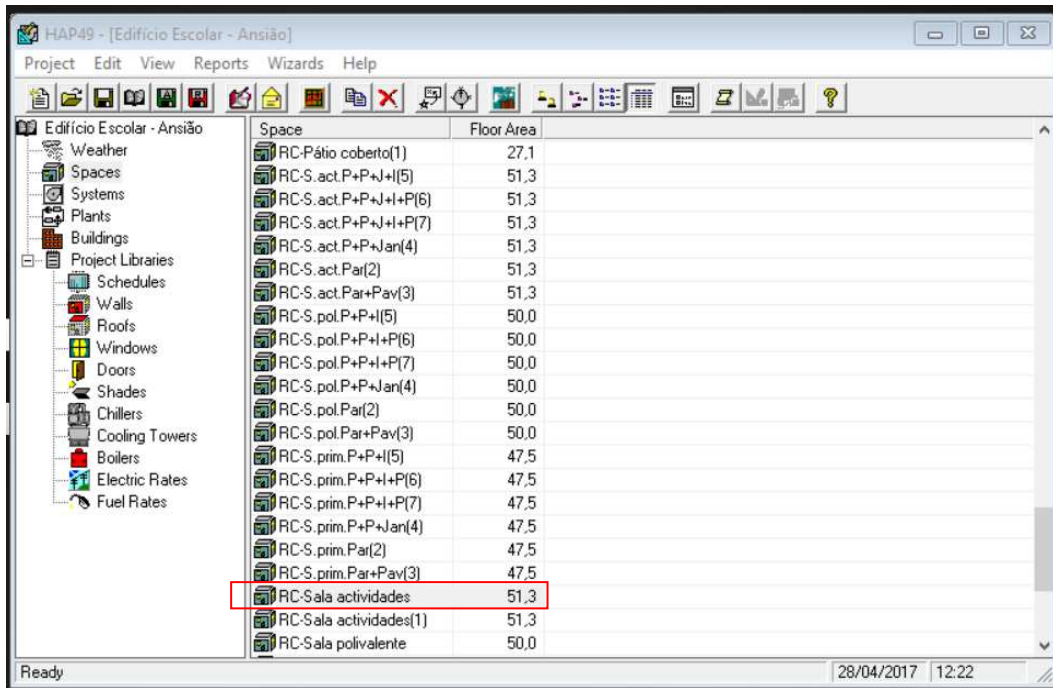


Figura 43 – Janela do separador *Spaces*

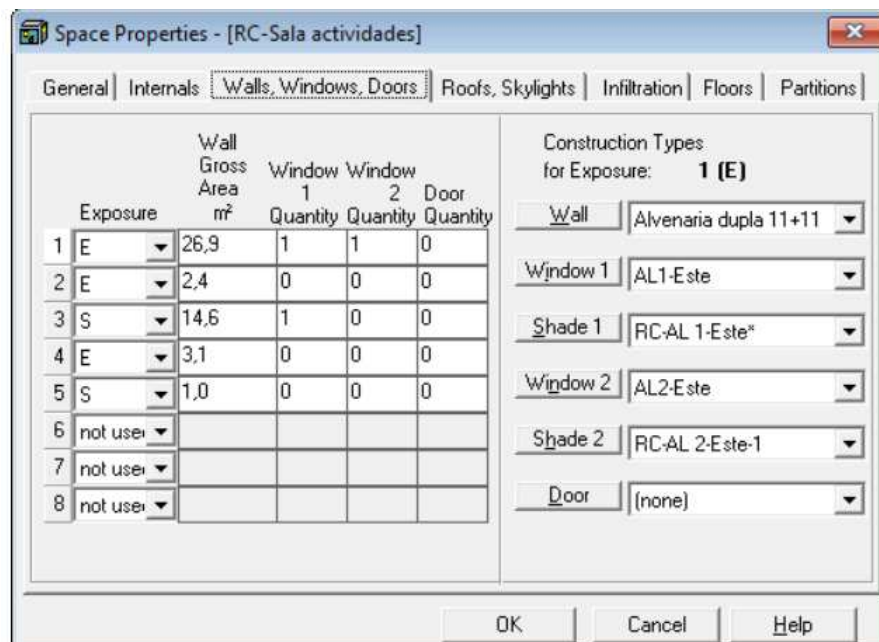


Figura 44 – Modelação da envolvente vertical exterior

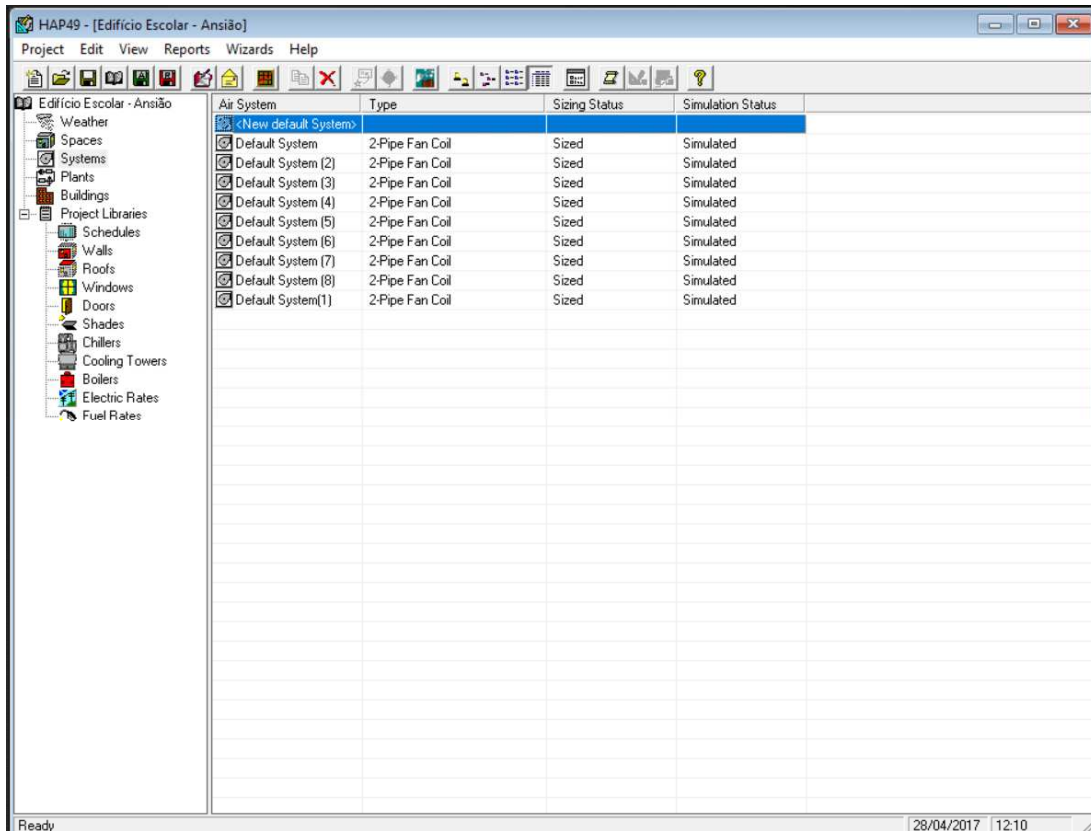


Figura 45 – Janela do separador Systems

Cada System divide-se em cinco guias. Dentro de cada uma dessas cinco guias existem campos para modelação onde é colocada a diversa informação, apresentando-se na Figura 46 o exemplo de um desses campos, neste caso o *spaces* do separador *Zone Components*, onde são modeladas as zonas térmicas, neste caso a zona térmica 1 deste trabalho.

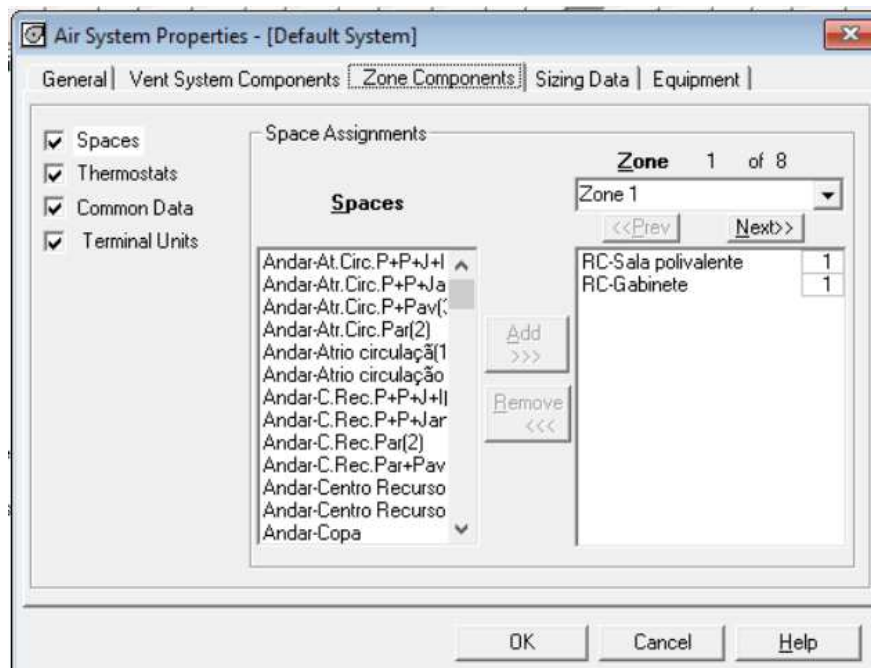


Figura 46 – Modelação das zonas térmicas

No separador *Plants* apresentado na Figura 47, são introduzidos e caracterizados os equipamentos de climatização, assim como a configuração de funcionamento, mais especificamente, os horários de funcionamento, características de distribuição, nomeadamente temperaturas dos fluidos, caudal, eficiência da bomba de circulação do fluido e o tipo de fluido [29].

Na Figura 48 apresentam-se as tabelas de modelação de cada *Plant*.

No separador *Buildings* é introduzido o edifício em análise no qual é indicado quais os sistemas que lhe estão associados, a fonte de energia associada, a energia elétrica e o gás natural, ou outro tipo de combustível fóssil [29]. Na Figura 49 seguinte faz-se a apresentação deste separador.

Cada *Building* é composto pelas tabelas apresentados na Figura 50.

Plant	Plant Type	Sizing Status	Simulation S...
<New default Plant>			
Plant actual	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(2)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(3)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(4)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(5)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(6)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(7)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant Paredes(8)	Hot Water Plant	Sized	Simulated
Plant total(1)	Hot Water Plant	Sized	Simulated

Figura 47 – Janela do separador *Plants*

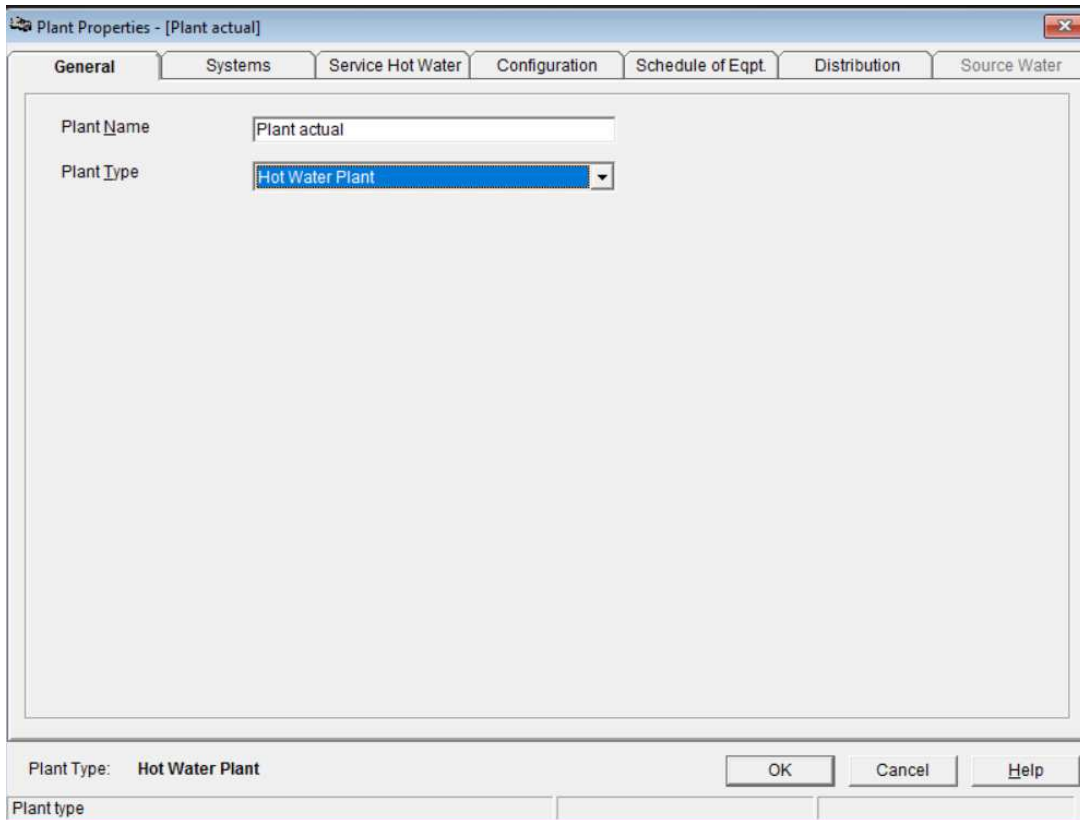


Figura 48 – Tabelas de modelação do separador *Plants*

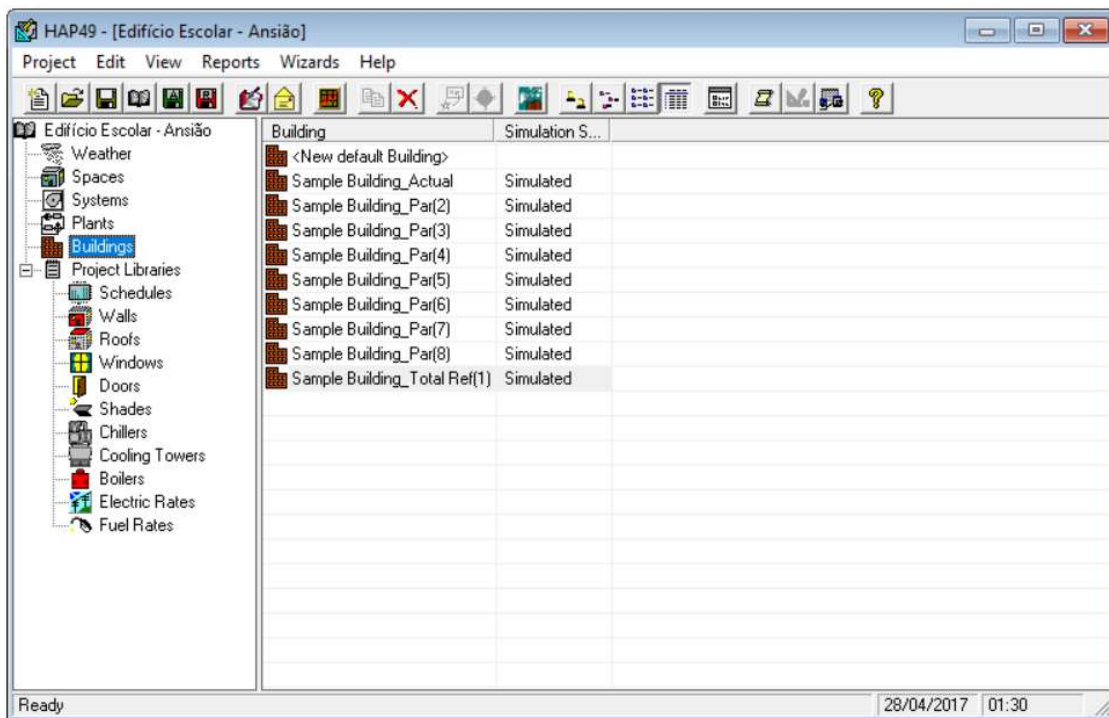
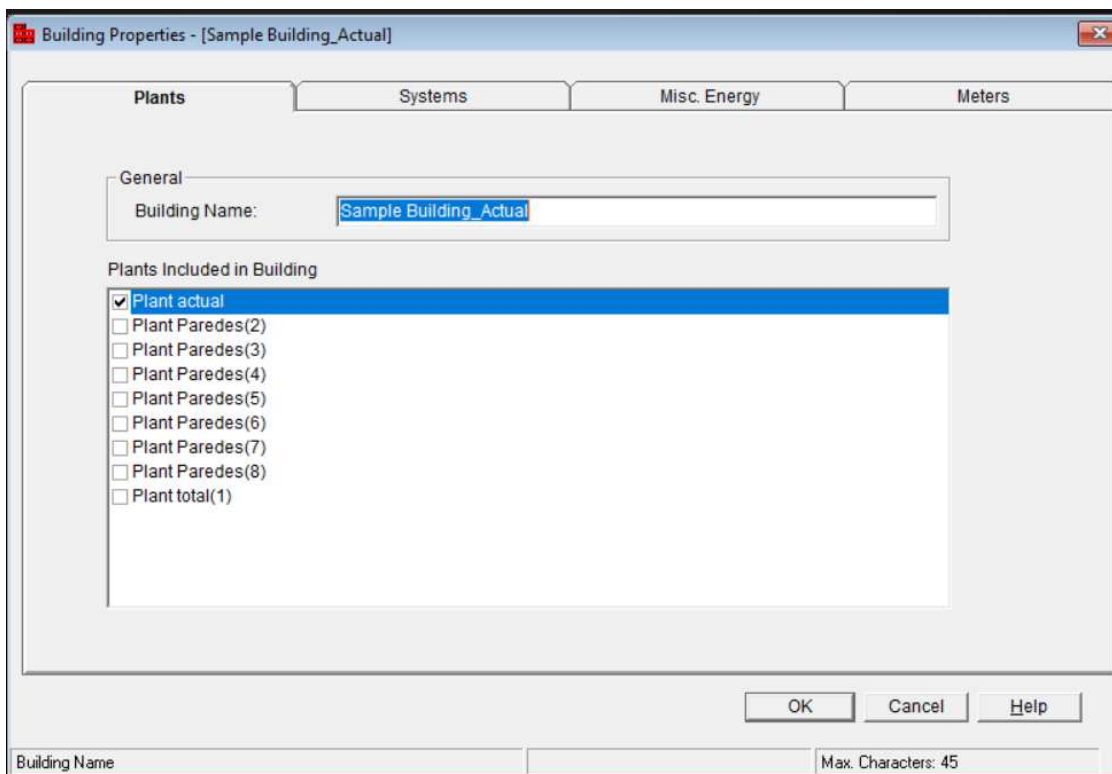


Figura 49 – Janela do separador *Buildings*



**Figura 50** - Tabelas de modelação do separador *Buildings*

No separador *Project Libraries* (Figura 51) são introduzidas as características existentes no edifício. Ou seja, são definidas as soluções de paredes e coberturas, são identificados os perfis de funcionamento dos equipamentos, climatização, ventilação e iluminação e também o perfil de ocupação. São definidos também os tipos de vãos e sombras existentes, os chillers, caldeiras, torres de arrefecimento e por fim, identifica-se a fonte de energia utilizada, a energia elétrica e o gás natural, ou outro tipo de combustível fóssil. [29]

O HAP, sendo um modelo mais complexo e completo, tem em conta a interação entre os diferentes espaços fazendo com que as necessidades de aquecimento e de arrefecimento sejam valores mais próximos da realidade. [28]

Fazendo uma apreciação global à versão 4.8 do software HAP usada neste trabalho para análise dos consumos energéticos, destacam-se como pontos fortes:

- A facilidade de acesso aos diferentes separadores e dentro destes às diferentes tabelas e guias;
- O facto de se poder adaptar o software a qualquer projeto e permitir que o utilizador modele uma imensa quantidade de variáveis que cada projeto ou análise incorpora.

No entanto, também foram identificados alguns pontos fracos, que embora possam ser resolvidos através do recurso a folhas de cálculo, seria mais cómodo e rentabilizaria o trabalho de quem projeta se estivessem integrados nesta ferramenta, nomeadamente:

- Não calcula pontes térmicas lineares;
- Os resultados relativos ao consumo de energia fornecidos pelo programa são globais, não sendo possível detalhá-los por zona;
- O programa apenas contempla dados climáticos de seis cidades de Portugal continental mais a cidade do Funchal no arquipélago da Madeira e a localidade das Lajes no arquipélago dos Açores.

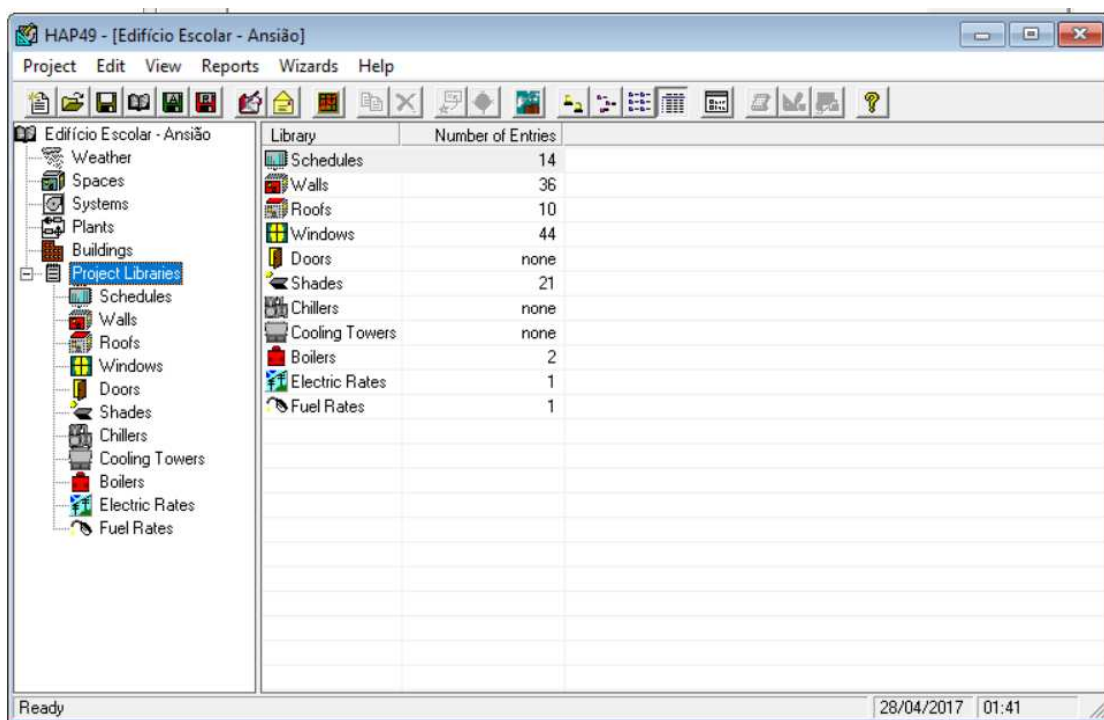


Figura 51 – Janela do separador *Project Libraries*

### 5.1.1.2 Parâmetros da simulação

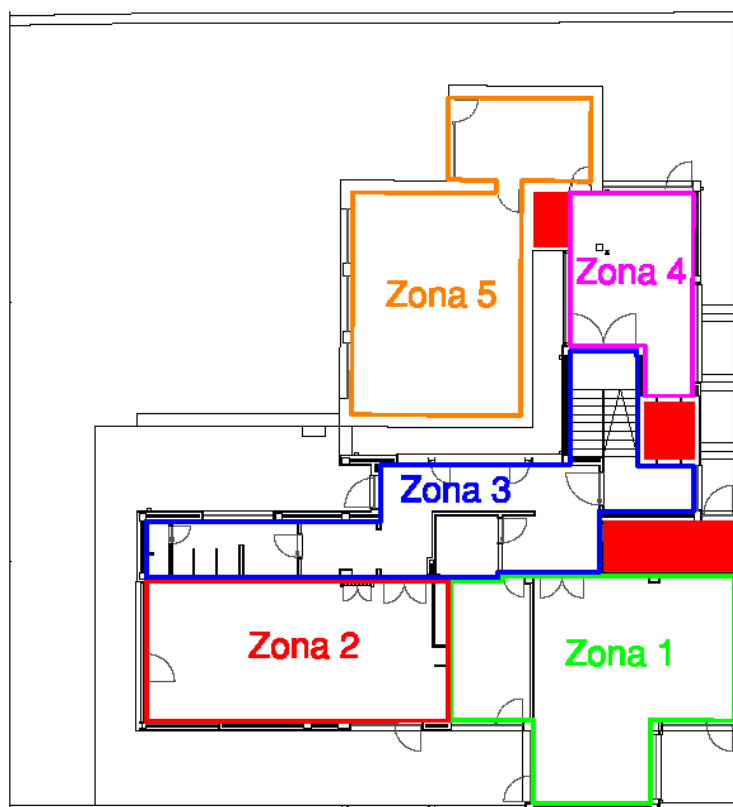
Considerou-se que a escola estaria fechada nos feriados nacionais, feriado municipal, férias escolares do natal, carnaval e páscoa e ainda durante todo o mês de agosto.

A simulação foi feita tendo em conta o horário de inverno e de verão que se aplica em Portugal continental.

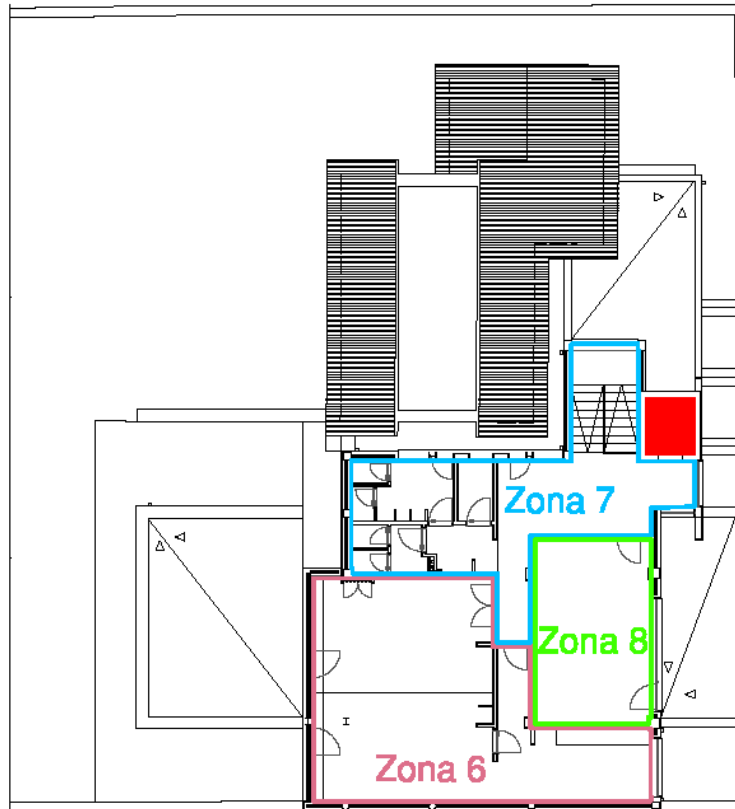
Criaram-se oito zonas de análise em função das sua orientação solar, do piso que ocupam, do tipo de uso e envolventes para que as simulações dos consumos energéticos fossem tão próxima do real quanto possível. (Figuras 52 e 53)

No entanto, como já antes referido, os resultados fornecidos pelo programa são globais, não sendo possível detalhá-los por zona. Como o objetivo é a avaliação do consumo energético global do edifício, consideraram-se os resultados da análise global das oito zonas.

Consideraram-se espaços não úteis os espaços pintados a vermelho, nomeadamente a caixa do elevador, compartimento de arrumos junto ao pátio coberto, o compartimento destinado ao sistema de aquecimento ao nível do R/C e a caixa do elevador ao nível do Andar. (Figuras 52 e 53)



**Figura 52-** R/C do edifício –  
zonas térmicas



**Figura 53-** Andar do edifício – zonas térmicas

Foram criados perfis horários para ocupação, iluminação, utilização de equipamentos e aquecimento ambiente.

**Gráfico 7 - Perfil ocupação de salas (adaptado HAP 4.8)**

Perfil: Ocupação																							
Ambientes: Salas de atividades, primária, polivalente e gabinete																							
																							100
																							90
																							80
																							70
																							60
																							50
																							40
																							30
																							20
																							10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Horário de ocupação																						%	Ocupação

Gráfico 8 - Perfil ocupação copa e refeitório (adaptado HAP 4.8)

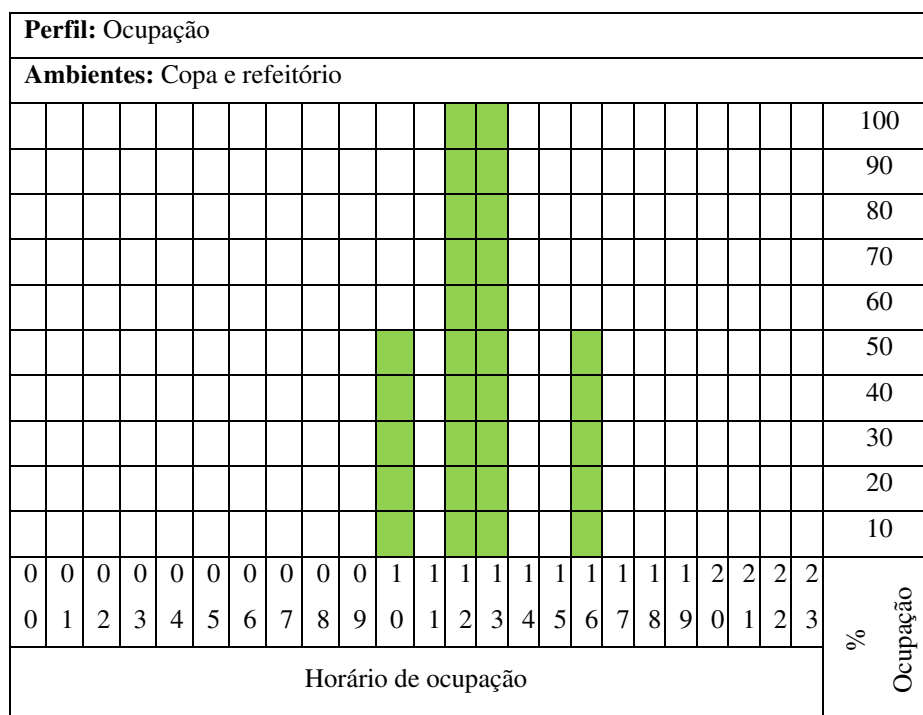


Gráfico 9 - Perfil iluminação de salas (adaptado HAP 4.8)

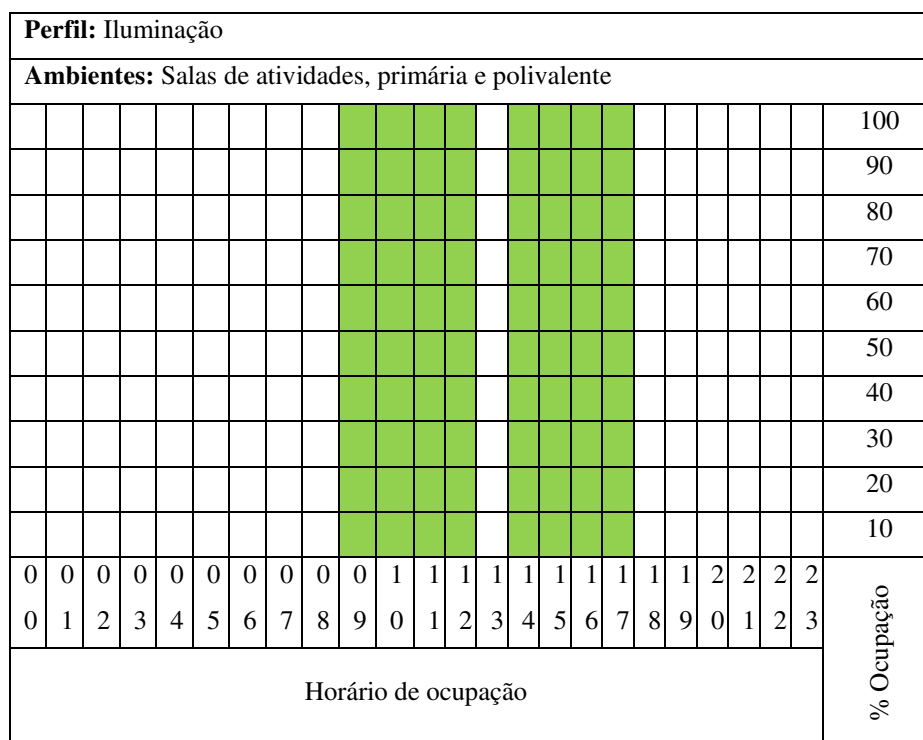


Gráfico 10 - Perfil iluminação copa, refeitório e sala recursos (adaptado HAP 4.8)

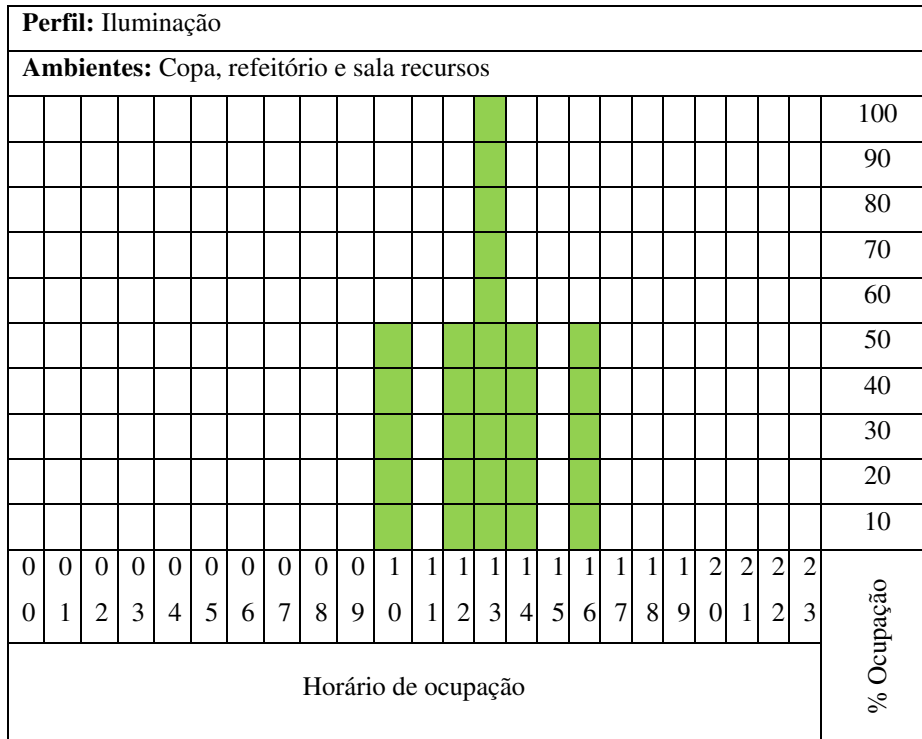


Gráfico 11 - Perfil iluminação átrios, circulações e pátio coberto (adaptado HAP 4.8)

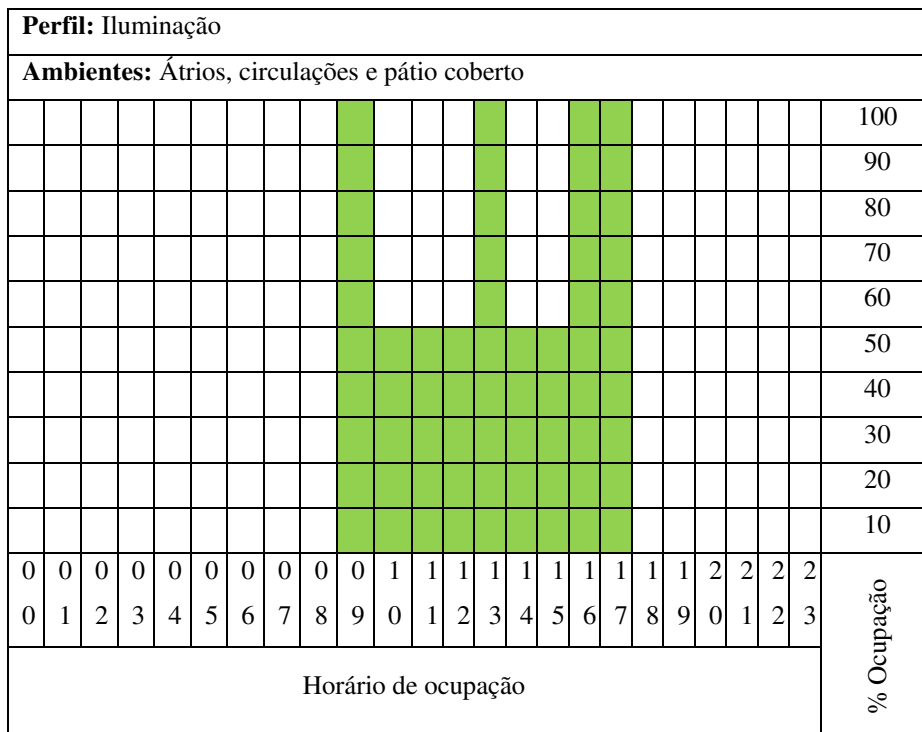
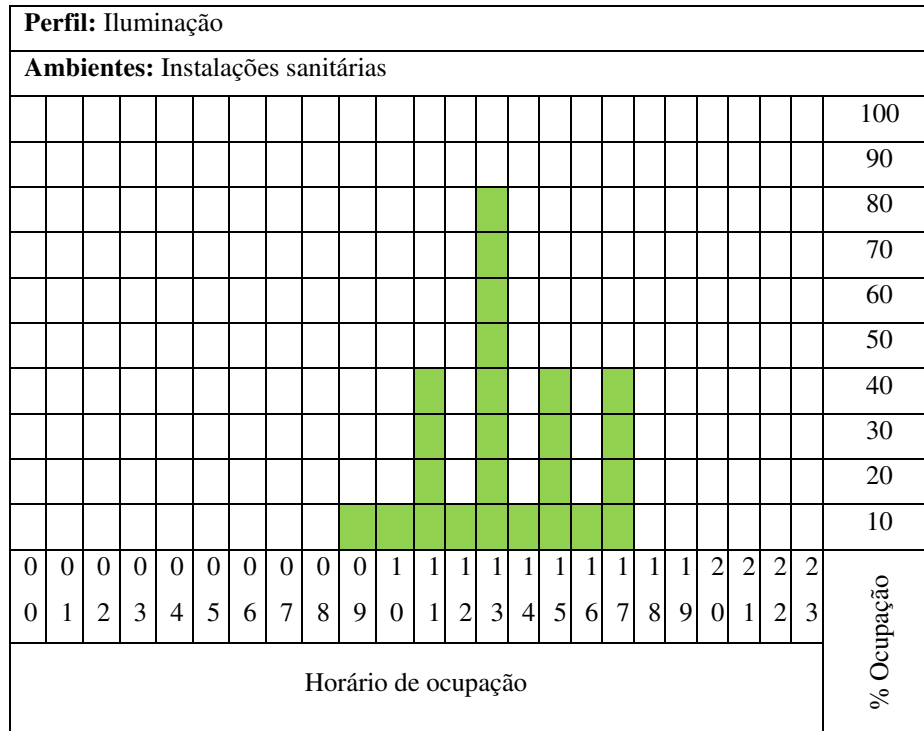


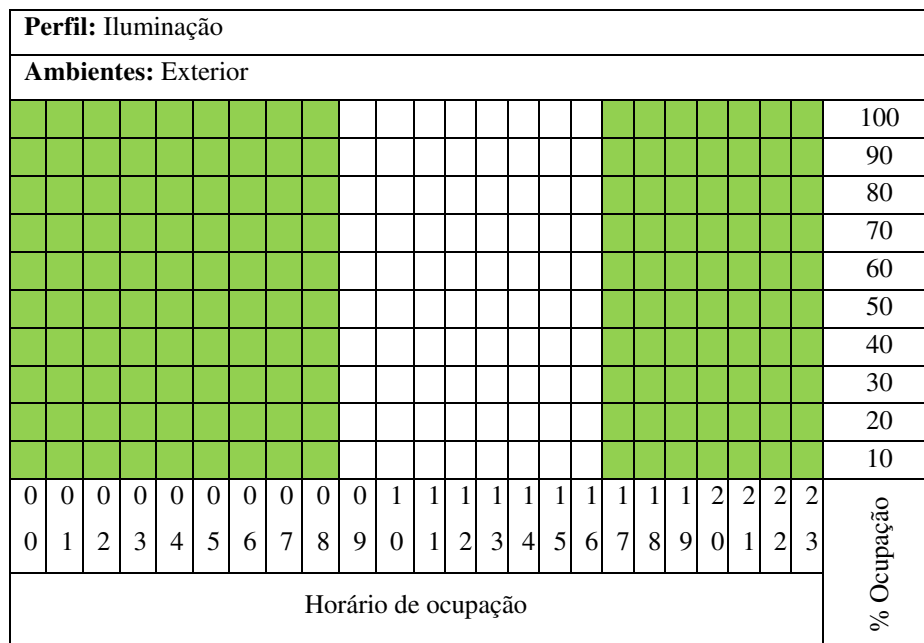
Gráfico 12 - Perfil iluminação de instalações sanitárias (adaptado HAP 4.8)



Para a iluminação exterior foram consideramos 5 perfis em função da duração do dia ao longo do ano.

Apresenta-se o gráfico 13 como exemplo, referente ao período de novembro a janeiro.

Gráfico 13 - Perfil iluminação exterior – novembro a janeiro (adaptado HAP 4.8)



Os restantes períodos considerados foram os seguintes:

- Fevereiro e março com funcionamento das 18h00 às 07h00;
- Abril e maio com funcionamento das 20h00 às 07h00;
- Junho a agosto com funcionamento das 21h00 às 06h00;
- Setembro e outubro das 19h00 às 07h00.

Gráfico 14 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8)

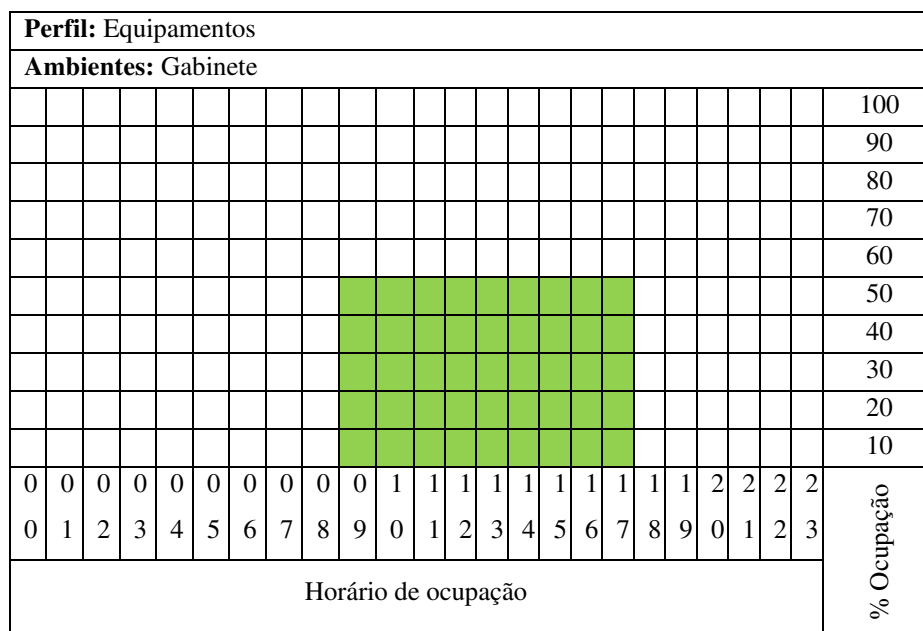


Gráfico 15 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8)

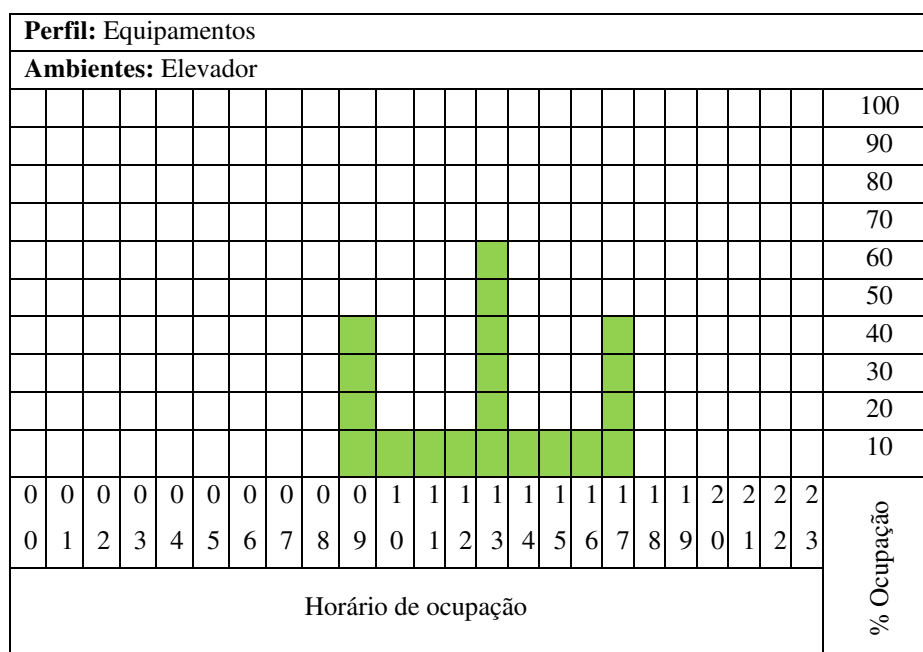
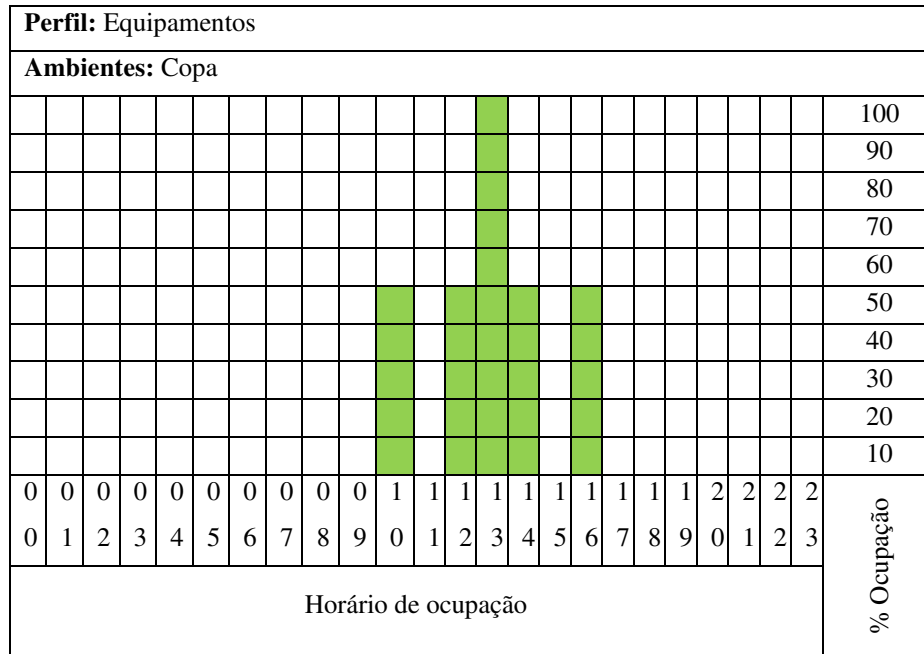
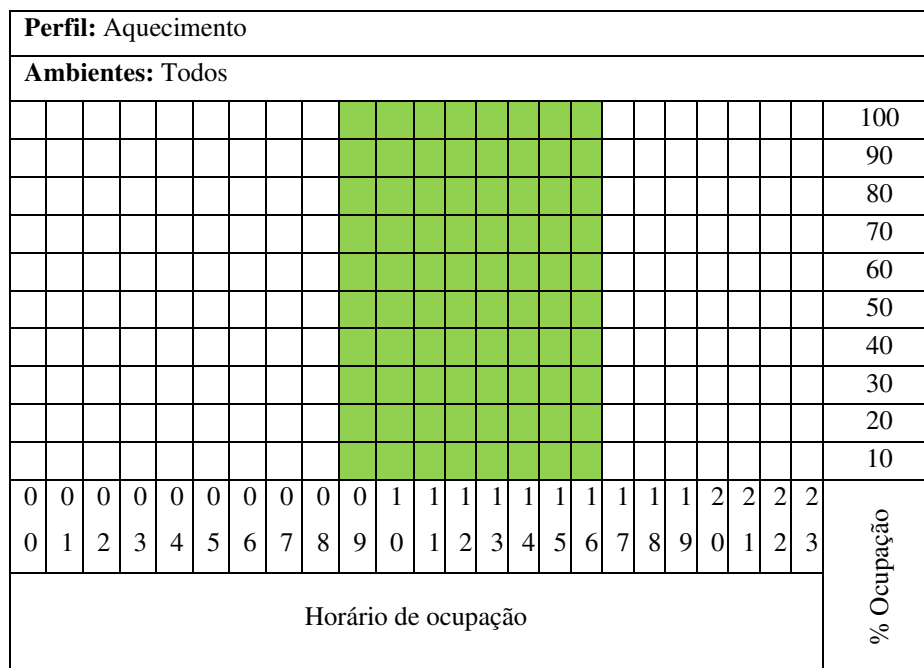


Gráfico 16 - Perfil utilização equipamentos (adaptado HAP 4.8)



Na parametrização do aquecimento central considerou-se na simulação da situação existente uma temperatura ambiente de 20°C, uma temperatura de 60 °C nos radiadores e uma temperatura de retorno de 40 °C. As características da caldeira encontram-se apresentadas no Quadro 8, com um rendimento de 86% de acordo com a tabela 06 de Despacho 15593-E/2013 de 3 de dezembro.

Gráfico 17 - Perfil funcionamento do aquecimento (adaptado HAP 4.8)



Simulou-se o consumo de energia do edifício no seu estado atual, tendo em conta a caracterização feita no Capítulo 3 e os coeficientes de transmissão térmica resumidamente apresentados no Quadro 15 e cuja justificação pode ser consultada nos Quadros 17 a 31 do ponto 5.1.2.

Quadro 15 - Coeficientes de transmissão térmica envolvente opaca

Elemento	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))	Quadro
Paredes exteriores		
Parede dupla (0,11+isolamento+cx ar+0,11) com reboco pelo exterior e estuque pelo interior	0,571	17
Parede dupla (0,11+isolamento+cx ar+0,11) com revestimento a vidro amaciado pelo exterior e estuque pelo interior	0,572	18
Parede dupla (0,07+isolamento+cx ar+0,07) com revestimento a vidro amaciado pelo exterior e estuque pelo interior	0,630	19
Parede de pedra 0,40 rebocada nas duas faces	2,669	20
Parede de betão armado 0,20m espessura com reboco pelo exterior	3,314	21
Parede de betão armado 0,25m espessura com reboco pelo exterior e estuque pelo interior	3,114	24
Parede de betão armado 0,30m espessura com reboco pelo exterior e estuque pelo interior	2,932	24
Parede de betão armado 0,35m espessura com reboco pelo exterior e estuque pelo interior	0,583	24
Paredes em contacto com UNU		
Parede simples de 0,11m de espessura estucada nas duas faces	1,721	22
Parede simples de 0,07m de espessura com reboco pelo exterior e estuque pelo interior	1,996	23
Pavimentos		
Térreo revestido a linóleo, com laje de 0,30m de espessura	2,060	29
Térreo revestido a cerâmico com laje de 0,30m de espessura	2,097	30
Sobre espaço exterior com laje de 0,20m de espessura	2,117	31
Coberturas		
Cobertura plana invertida com isolamento térmico de 0,04m com laje de 0,15m de espessura	0,697	25
Laje de esteira de 0,25m de espessura sem isolamento	3,171	26

Considerou-se a inércia térmica de 515,30 Kg/m<sup>2</sup>, conforme Quadros 10 e 11 do Capítulo 3.

A taxa de renovação de ar foi retirada do Quadro 7 também do capítulo 3.

A potência de iluminação foi retirada do Quadro 9, ainda do capítulo 3.

Para a estimativa da fatura de energia elétrica, foi considerado o preço da tarifa simples de 0,1659 €/kWh, retirado da página da EDP – Energias de Portugal, SA [30], acrescido de impostos.

Para o gasóleo foi considerado preço de 0,1093 €/kWh, também acrescido de impostos, calculado com base no preço de 1,09€/litro de gasóleo em vigor no dia 06 de janeiro de 2017, na Cooperativa Agrícola de Pombal, e calculado através da expressão:

$$\text{Preço unitário gasóleo (E/kWh)} = [\text{Preço unitário gasóleo (€/l)} \cdot 3,6 \cdot 10^3] / (\text{PCI gasóleo} + \rho \text{ gasóleo}) \quad [31]$$

Em que:

PCI gasóleo – poder calorífico inferior do gasóleo [43 MJ/Kg]

$\rho$  gasóleo – massa específica do gasóleo [835 kg/m<sup>3</sup>]

3,6 - Constante para converter MJ em kWh

Os coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados encontram-se no Quadro 16, seguinte.

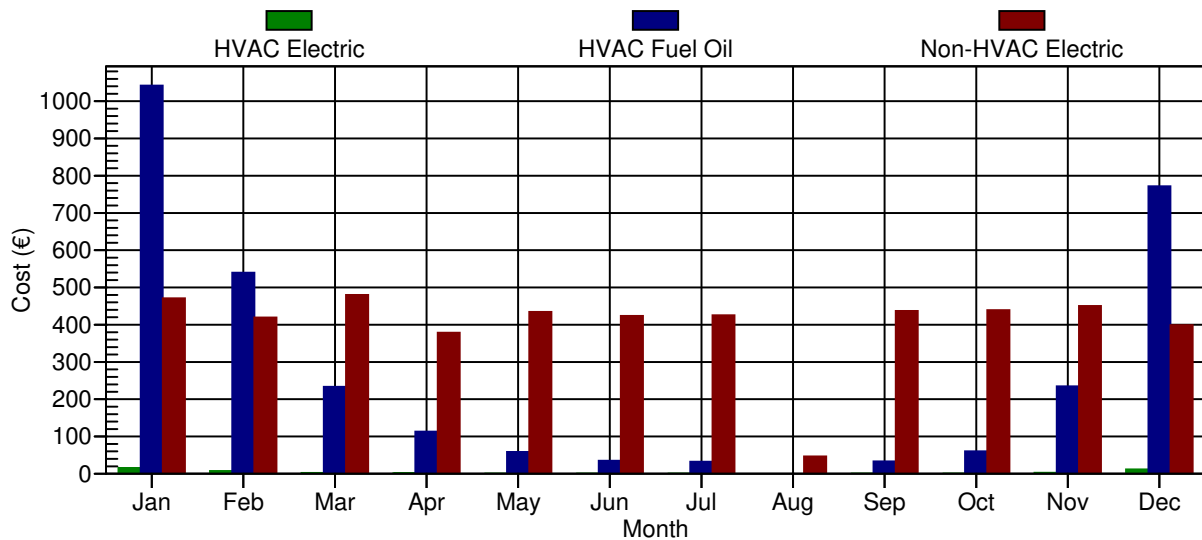
Quadro 16 - Coeficiente de transmissão térmicas dos vão

Características do vão	U <sub>w</sub> (W/(m <sup>2</sup> .°C))	Fonte
Vão simples de caixilho de batente em alumínio de cor clara sem corte térmico e vidro duplo com caixa-de-ar de 8mm	3,90	ITE 50 [32]
Vão simples de caixilho de batente em alumínio de cor clara sem corte térmico e vidro simples de 4 a 10mm	6,0	ITE 50 [32]

Efetuada a simulação do edifício no se estado atual, obtiveram-se os custos estimados de energia constantes no Quadro 37, associados aos consumos de energia com o sistema aquecimento, iluminação e equipamentos.

No Gráfico 18 seguinte, extraído da simulação efetuada no HAP, faz-se o resumo destes consumos mensais de energia.

Gráfico 18 – Consumos mensais de energia – edifício atual



Não foi possível comparar esta simulação com o consumo energético efetivo da escola, por impossibilidade na obtenção das faturas de energia elétrica e gasóleo.

## 5.1.2 Introdução de melhorias

De todas as 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. [4]

A reabilitação termo higrométrica surge com o objetivo de melhorar a qualidade térmica e as condições de conforto dos utilizadores, através da redução do consumo energético associado ao aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e correção de patologias associadas à presença de humidade.[4]

Assim, fizeram-se variar, para cenários de coeficientes de transmissão térmica máxima admissível e condições de ventilação e aquecimento ambiente também regulamentares, as variáveis críticas identificadas, com incrementos sucessivos a partir da simulação do consumo energético do edifício no seu estado existente, traduzidas em:

- 1- melhorias a nível das pontes térmicas;
- 2- melhorias a nível de coberturas;
- 3- melhorias a nível de envidraçados;
- 4- melhorias a nível da iluminação;

- 5- melhorias a nível de pavimentos térreos;
- 6- melhorias a nível da ventilação;
- 7- melhorias a nível de aquecimento central.

Todas as melhorias introduzidas nas diferentes simulações, com vista à determinação da previsão dos consumos de energia, foram feitas tendo em consideração as soluções previstas na portaria 349-D/2013 de 2 de Dezembro e respetivas alterações [17] e caracterizadas caso a caso.



Como valores máximos, consideraram-se os valores máximos admissíveis regulamentares, sendo que, para não se alterar a inércia térmica do edifício nem considerar soluções questionáveis do ponto de vista estético, houve situações em que se foi mais além do que as exigências do regulamento ao nível da condutibilidade térmica.

Conforme recomenda a Portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro, considerou-se o coeficiente de absorção de radiação solar da envolvente opaca,  $\alpha=0,4$ .

Mantêm-se inalterados em relação à simulação do edifício na sua situação atual, o horário de inverno e de verão que se aplica em Portugal continental, o fecho da escola nos feriados nacionais, feriado municipal e férias escolares do natal, carnaval e páscoa.

Mantêm-se também os perfis horários para ocupação, iluminação, utilização de equipamentos e aquecimento ambiente, bem como as oito zonas de análise em função das sua orientação solar, ocupação e do piso que ocupam.

As melhorias introduzidas em cada solução nos quadros seguintes, estão identificadas de acordo com o seguinte código de cores:

	Situação Existente
	Melhorias introduzidas

### 5.1.2.1 Melhorias a nível das pontes térmicas em fachadas

As paredes exteriores do edifício em alvenaria dupla 30x20x11 já cumpriam em termos regulamentares com o coeficiente de transmissão térmica. No entanto, para correção das pontes térmicas e para se manter a uniformização dos paramentos verticais, a melhoria considerada foi o sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior, correntemente designado de ETICS, cujos coeficientes de transmissão térmica que entraram no cálculo se encontram nos Quadros 17 e 18.

Os quadros 19 a 24 caracterizam as restantes paredes.

Quadro 17 - Caracterização das paredes exteriores 11+11 rebocada (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	$\rho$ (Kg/m³)	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	<p>Tijolo cerâmico 11 cm Reboco 2cm Xps 5 cm Reboco delgado 0,5cm</p> <p>Int. Ext.</p> <p>Estuque 2 cm Tijolo cerâmico 11 cm Xps 3 cm Espaço de ar não ventilado 5 cm</p>
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Tijolo 11	11,00	---	0,27000	1450,0	ITE50(1)	
Xps	3,00	0,037	0,81081	30,0	ITE50	
Caixa ar	5,00	---	0,18000	0,0	ITE50	
Tijolo 11	11,00	---	0,27000	1450,0	ITE50(1)	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Xps	5,00	0,037	1,35135	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		1,75191			
	Proposta		3,10711			
U (W/m².°C)	Existente		0,571			
	Proposta		0,322			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 18 - Caracterização das paredes exteriores 11+11 revestida a pedra calcária (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	$\rho$ (Kg/m³)	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	<p>Tijolo cerâmico 11 cm Pedra calcária 2cm Xps 5 cm Reboco delgado 0,5cm</p> <p>Int. Ext.</p> <p>Estuque 2 cm Tijolo cerâmico 11 cm Xps 3 cm Espaço de ar não ventilado 5 cm</p>
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Tijolo 11	11,00	---	0,27000	1450,0	ITE50(1)	
Xps	3,00	0,037	0,81081	30,0	ITE50	
Caixa ar	5,00	---	0,18000	0,0	ITE50	
Tijolo 11	11,00	---	0,27000	1450,0	ITE50(1)	
Pedra calcária	2,00	1,700	0,01176	2000,0	ITE50	
Xps	5,00	0,037	1,35135	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		1,74829			
	Proposta		3,10349			
U (W/m².°C)	Existente		0,572			
	Proposta		0,322			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 19 - Caracterização das paredes exteriores 7+7 revestida a pedra de calcário  
(melhoria)

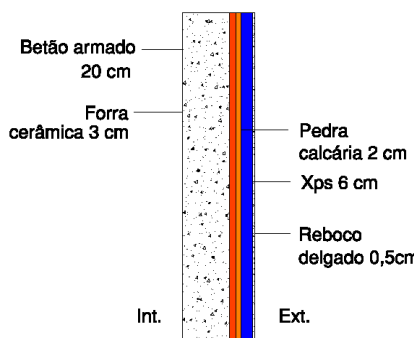
Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Tijolo 7	7,00	---	0,19000	1450,0	ITE50(1)	
Xps	3,00	0,037	0,81081	30,0	ITE50	
Caixa ar	5,00	---	0,18000	0,0	ITE50	
Tijolo 7	7,00	---	0,19000	1450,0	ITE50(1)	
Pedra calcária	2,00	1,700	0,01176	2000,0	ITE50	
Xps	6,00	0,037	1,62162	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		1,58829			
	Proposta		3,21376			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		0,630			
	Proposta		0,311			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 20 - Caracterização das paredes exteriores em pedra de calcário 40 (melhoria)

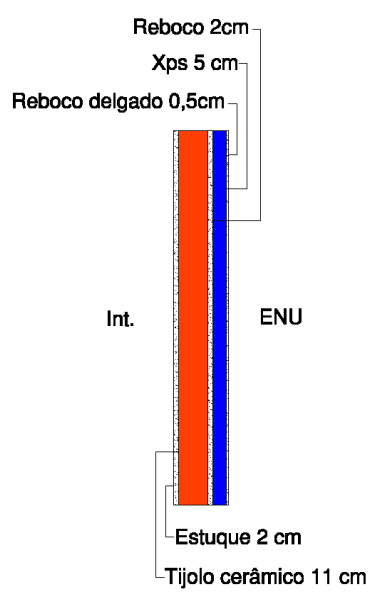
Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Pedra calcária	40,00	2,300	0,17391	2200,0	ITE50	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Xps	5,00	0,037	1,35135	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,37468			
	Proposta		1,72988			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		2,669			
	Proposta		0,578			

Quadro 21- Caracterização da parede em betão 20, da caixa do elevador (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,10000	---	ITE50	
Betão	20,00	2,500	0,08000	2500,0	ITE50	
Forra cerâmica	3,00	---	0,07000	1450,0	ITE50(1)	
Pedra calcária	2,00	1,700	0,01176	2000,0	ITE50	
Xps	6,00	0,037	1,62162	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,30176			
	Proposta		1,92723			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		3,314			
	Proposta		0,519			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 22 - Caracterização das paredes 11 em contacto com ENU (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Tijolo 11	11,00	---	0,27000	1450,0	ITE50(1)	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Xps	5,00	0,037	1,35135	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,58110			
	Proposta		1,93630			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		1,721			
	Proposta		0,516			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 23 - Caracterização das paredes 7 em contacto com ENU (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Tijolo 7	7,00	---	0,19000	1450,0	ITE50(1)	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Xps	5,00	0,037	1,35135	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rsi	---	---	0,13000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,50110			
	Proposta		1,85630			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		1,996			
	Proposta		0,539			

(1) - Peso volúmico consultado nas tabelas técnicas, Edição 2015 [33]

Quadro 24 - Caracterização das principais pontes térmicas planas (melhoria)

Espessura da parede de betão (cm)	Estuque (2cm)	Betão	Reboco (2cm)	Xps (5cm)	Reboco delgado (0,5cm)	Rse	R total (m <sup>2</sup> .°C/W)		U (W/m <sup>2</sup> .°C)		
	0,560	2,500	1,300	0,037	1,300		Existente	Proposta	Existente	Proposta	
	$\lambda$ (W/m.°C)										
25	0,130	0,0357	0,1000	0,0154	1,3514	0,0039	0,040	0,321	1,676	3,114	0,597
30	0,130	0,0357	0,1200	0,0154	1,3514	0,0039	0,040	0,341	1,696	2,932	0,590
35	0,130	0,0357	0,1400	0,0154	1,3514	0,0039	0,040	0,361	1,716	2,769	0,583
R (m <sup>2</sup> .°C/W)											

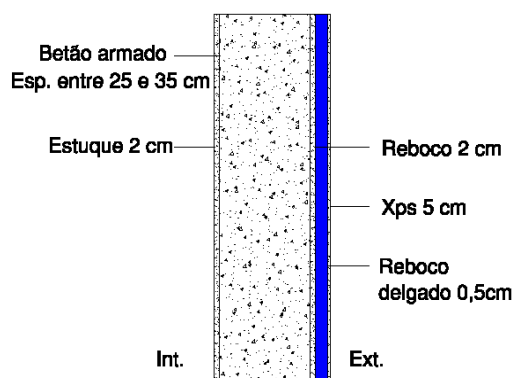


Figura 54-Pormenor tipo das pontes térmicas planas

### 5.1.2.2 Melhorias a nível das coberturas

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica decorrente das melhorias introduzidas na cobertura plana invertida da ampliação e na cobertura inclinada fortemente ventilada do edifício pré-existente usados no cálculo foram os constantes nos Quadros 25 e 26 abaixo.

Quadro 25 - Caracterização da cobertura plana (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,10000	---	ITE50	
Estuque	2,00	0,560	0,03571	1200,0	ITE50	
Betão	15,00	2,500	0,06000	2500,0	ITE50	
Betonilha	6,00	1,300	0,04615	1900,0	ITE50	
Xps	4,00	0,037	1,08108	30,0	ITE50	
Xps	7,00	0,037	1,89189	30,0	ITE50	
2 telas PVC	0,30	0,140	0,02143	1200,0	ITE50	
Seixo	10,00	2,000	0,05000	1700,0	ITE50	
Rse	---	---	0,04000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		1,43438			
	Proposta		2,24519			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente				0,697	
	Proposta				0,445	

Quadro 26 - Caracterização da cobertura inclinada (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,10000	---	ITE50	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Betão	25,00	2,500	0,10000	2500,0	ITE50	
Xps	8,00	0,037	2,16216	30,0	ITE50	
Betonilha	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,10000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,31538			
	Proposta		2,49293			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		3,171			
	Proposta		0,401			

### 5.1.2.3 Melhorias a nível dos envidraçados

Foi considerado que os vãos serão dotados de características térmicas e dispositivos de sombreamento, que lhe conferem os valores de acordo com o constante no Quadro 27.

Quadro 27 - Caracterização dos vãos envidraçados

Orientação	Área útil (m <sup>2</sup> )	Classe permeabilidade ao ar	U - (W/(m <sup>2</sup> .°C)	Fator solar env.	Total por orientação (m <sup>2</sup> )	Percentagem sobre a área total útil envidraçada
Norte	13,37	4	3,30	0,56	21,49	16,73%
Norte	8,12	4	3,30	0,56		
Sul	22,71	4	3,30	0,56	52,51	40,89%
Sul	12,15	4	3,30	0,56		
Sul	17,65	4	3,30	0,56		
Este	16,80	4	3,30	0,56	19,46	15,15%
Este	2,66	4	3,30	0,56		

## Continuação do Quadro 27 – Caracterização dos vãos envidraçados

Orientação	Área útil (m <sup>2</sup> )	Classe permeabilidade ao ar	U - (W/(m <sup>2</sup> .°C))	Fator solar env.	Total por orientação (m <sup>2</sup> )	Porcentagem sobre a área total útil envidraçada
Oeste	18,19	4	3,30	0,56	34,96	27,22%
Oeste	16,77	4	3,30	0,56		
Total	128,42					
Porcentagem de área envidraçada			24,56%			

### 5.1.2.4 Melhorias a nível da iluminação

Com a ferramenta de cálculo do ITe Cons para avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de Pequeno Edifício de Comércio e Serviços (PES) – Cálculo Dinâmico Simplificado Monozona, versão 1.17 [34], determinou-se a iluminação média requerida (lux) e a potência de iluminação de referência (W), cujo extrato do cálculo se apresenta na no Quadro 28 seguinte.

Quadro 28 - Iluminação média requerida e potência de iluminação de referência

CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO/FRAÇÃO	ESPAÇOS DA ZONA TÉRMICA	ESPAÇOS NÃO ÚTEIS	PERFIS DE ILUMINAÇÃO/EQUIPAMENTOS	ENVOLVENTE EXTERIOR	PONTES TÉRMICAS LINEARES (EXTERIOR)	PONTES TÉRMICAS LINEARES (INTERIOR)	MEDIDAS DE
	ESPAÇOS COMPLEMENTARES	CLIMATIZAÇÃO, A.Q.S e A.Q.P	SISTEMA DE VENTILAÇÃO	ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO	ENVOLVENTE INTERIOR	BALANÇO ENERGÉTICO	INER
<p>SOLUÇÃO INICIAL</p> <p>NOVA SIMULAÇÃO    APAGAR SIMULAÇÃO    OPÇÕES DE IMPRESSÃO    LIMPAR FOLHA</p> <p>SOLUÇÃO INICIAL</p>							
<b>Definições Gerais - Pequeno Edifício de Comércio e Serviços (PES)</b>							
Espaços	Iluminância [Lux] Medição <i>InSitu</i> EN 12464-1 (e-1)	Iluminância Projeto Luminotécnico [Lux]	Iluminância Requisito Máximo [Lux]	Tipo de Espaço Tabela 128	Potência de Iluminação de Referência [W]		
1 RC-Sala actividades	500		650	Salas de aula, Salas de leitura, bibliotecas	616,1		
2 RC- Gabinete	300		390	Escritório individual (1 a 6 pessoas)	109,6		
3 RC-Sala polivalente	500		650	Salas de aula, Salas de leitura, bibliotecas	600,0		
4 RC-IS	200		260	Instalações sanitárias	81,2		
5 RC-Vestibário	200		260	Instalações sanitárias	40,4		
6 RC-Átrio circulação	200		260	Hall/entrada, Salas de Espera	332,9		
7 RC-Pátio coberto	200		260	Hall/entrada, Salas de Espera	205,7		
8 RC-Átrio primária	200		260	Hall/entrada, Salas de Espera	110,7		
9 RC-Sala primária	500		650	Salas de aula, Salas de leitura, bibliotecas	570,4		
10 Andar-Refeitório	200		260	Salas de refeições (exceto restaurantes)	380,8		
11 Andar-Copa	500		650	Cozinha	298,7		
12 Andar-Centro recursos	500		650	Salas técnicas (centros de dados, fotocópias, etc)	452,2		
13 Andar-Átrio circulação	200		260	Hall/entrada, Salas de Espera	233,5		
14 Andar-IS feminino	200		260	Instalações sanitárias	62,3		
15 Andar-IS masculino	200		260	Instalações sanitárias	59,0		
16 Andar-IS professores	300		390	Instalações sanitárias	30,7		

O cálculo das densidades de potência  $[(W/m^2)/100lux]$ , foi efetuado com recurso às expressões seguintes e os seus valores encontram-se no Quadro 29.

$$DPI = [(P_n.F_o.F_D)+P_c]/A \quad [W/m^2] \quad [17]$$

$$DPI/100lux = DPI/E_m.100 \quad [W/m^2/100lux] \quad [17]$$

Em que:

$P_n$  – potência total dos sistemas de luminárias instaladas,  $P_n = \Sigma P_i$

$P_i$  – potência do sistema lâmpada + balastro

$F_o$  – fator de controlo por ocupação

$F_D$  – fator de controlo por disponibilidade de luz natural

$P_c$  – potência total dos equipamentos de controlo para as luminárias em funcionamento

$A$  – área interior útil da zona  $[m^2]$

$E_m$  – iluminância média mantida  $[lux]$

Quadro 29 - Caracterização da iluminação

R/C	Área útil $(m^2)$	Iluminância média mantida $(lux)$	Potência de iluminação de ref <sup>a</sup> $(W)$	DPI máx. $[(W/m^2)/100lux]$	DPI calculado $[(W/m^2)/100lux]$
Sala de atividades (pré-primária)	51,34	650	616,10	2,40	1,85
Gabinete	15,22	390	119,60	2,40	1,85
Sala polivalente	50,00	650	600,00	2,40	1,85
Instalações sanitárias	10,68	260	81,20	3,80	2,92
Vestiário	5,31	260	40,40	3,80	2,90
Pátio coberto	27,06	260	205,70	3,80	2,93
Arrumos-central de aquecimento	10,98	----	46,80	----	----
Átrio circulação (pré-primária)	43,80	260	332,90	3,80	2,92
Átrio-primária	14,56	260	110,70	3,80	2,93
Sala da primária	47,53	650	570,40	2,40	1,84

Continuação do Quadro 29 -Caracterização da iluminação

Andar	Área útil (m <sup>2</sup> )	Iluminância média mantida (lux)	Potência de iluminação de ref <sup>a</sup> (W)	DPI máx. [(W/m <sup>2</sup> )/100lux]	DPI calculado [(W/m <sup>2</sup> )/100lux]
Refeitório	50,10	260	380,80	3,80	2,92
Copa	17,57	650	298,70	3,40	2,62
Centro de recursos	26,60	650	452,20	3,40	2,61
Átrio circulação	30,73	260	233,50	3,80	2,93
Instalações sanitárias femininas	8,20	260	62,30	3,80	2,91
Instalações sanitárias masculinas	7,76	260	59,00	3,80	2,92
Instalações sanitárias professores	2,69	390	30,70	3,80	2,95
Exterior	----	----	728,00	----	----
		Total	4 969,00		

### 5.1.2.5 Melhorias a nível dos pavimentos térreos e em contacto com ENU

A nível dos pavimentos térreos e em contacto com ENU, as melhorias introduzidas conduzem aos coeficientes de transmissão térmica indicados nos Quadros 30 a 32.

Quadro 30 - Pavimento térreo revestido a linóleo (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,17000	---	ITE50	
Pavimento linóleo	0,25	0,170	0,01471	1200,0	ITE50	
Betonilha	4,00	1,300	0,03077	1900,0	ITE50	
Betão	30,00	2,500	0,12000	2500,0	ITE50	
Xps	7,00	0,037	1,89189	30,0	ITE50	
Betonilha	4,00	1,300	0,03077	1900,0	ITE50	
Brita	30,00	2,000	0,15000	1700,0	ITE50	
Rtotal	Existente		0,48548			
	Proposta		2,40814			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		2,060			
	Proposta		0,415			

Quadro 31 - Pavimento térreo revestido a mosaico cerâmico (melhoria)

Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,17000	---	ITE50	
Pavimento cerâmico	0,80	1,300	0,00615	2300,0	ITE50	
Betonilha	4,00	1,300	0,03077	1900,0	ITE50	
Betão	30,00	2,500	0,12000	2500,0	ITE50	
Xps	7,00	0,037	1,89189	30,0	ITE50	
Betonilha	4,00	1,300	0,03077	1900,0	ITE50	
Brita	30,00	2,000	0,15000	1700,0	ITE50	
Rtotal	Existente		0,47692			
	Proposta		2,39958			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		2,097			
	Proposta		0,417			

Quadro 32 - Pavimento em contacto com ENU (melhoria)


Elementos constituintes	esp. (cm)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Pormenor construtivo
Rsi	---	---	0,17000	---	ITE50	
Pav. Cerâmico	0,80	1,300	0,00615	2300,0	ITE50	
Betonilha	4,00	1,300	0,03077	1900,0	ITE50	
Betão	20,00	2,500	0,08000	2500,0	ITE50	
Reboco	2,00	1,300	0,01538	1900,0	ITE50	
Xps	7,00	0,037	1,89189	30,0	ITE50	
Reboco delgado	0,50	1,300	0,00385	1900,0	ITE50	
Rse	---	---	0,17000	---	ITE50	
Rtotal	Existente		0,47231			
	Proposta		2,36805			
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Existente		2,117			
	Proposta		0,422			

### 5.1.2.6 Melhorias a nível da ventilação

Na simulação da renovação de ar dos espaços, considerou-se que continua a ser feita por convecção natural.

O valor de caudal mínimo de ar novo foi determinado segundo o método prescritivo, com recurso à folha de cálculo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para determinar o caudal mínimo de ar novo [35], cujo extrato adaptado se apresenta no Quadro 33.

Quadro 33 - Caudal mínimo de ar novo

 <b>LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL</b>		Aplicação LNEC								Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lnec.pt															
Para determinar o caudal mínimo de ar novo, de acordo com o método analítico do RECS										Ferramenta de cálculo citada no Anexo da portaria n.º 353-A/2013.															
Edifício		Edifício escolar																							
Técnico:																									
Concentração exterior de CO2 (ppm)		390																							
Dados de entrada										Informação		Informação													
Designação do espaço ou agrupamento de espaços semelhantes	Área pav (m <sup>2</sup> )	Pd (m)	n.º Ocup	Faixa Etária	Tipo de atividade (metabólica)	Limiar de proteção CO2	Perfil Ocupa.	Tipo de espaço (Carga poluente edifício)	Método de Ventilação (Eficácia de remoção de poluentes)	Condição equilíbrio		Método Prescritivo													
										Caudal de ar/ev, QANf (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de ar QAN (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de ar/ev, QANf (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de ar QAN (m <sup>3</sup> /h)												
RC - Sala actividades	51,34	3	8	até 6 anos	Sedentária - Salas de jardim de infância e pré-escolar	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Salas	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	154	154	224	224											
RC - Gabinete	15,22	3	2	até 18 anos e adultos	Sedentária	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Salas	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	46	46	48	48											
RC - Sala polivalente	50	3	10	até 6 anos	Sedentária - Salas de jardim de infância e pré-escolar	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Salas	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	150	150	280	280											
RC - Sala primária	47,53	4,45	24	até 9 anos	Sedentária	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Salas	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	259	259	576	576											
Andar - Centro de recursos	26,6	3	2	até 18 anos e adultos	Sedentária	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Salas	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	80	80	80	80											
Andar - Refeitório	50,1	3	22	até 9 anos	Sedentária	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Refeitório	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	238	238	528	528											
Andar - Copa	15,57	2,75	2	até 18 anos e adultos	Sedentária	1625 ppm (2925 mg/m <sup>3</sup> )	Refeitório	Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	0 - Ventilação Natural	0	47	47	48	48											
Perfis de ocupação definidos pelo utilizador																									
Os perfis têm de ter um período com pelo menos 50% de ocupação.																									
Colocar valores entre 0 e 100																									
Perfil	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19	19 a 20	20 a 21	21 a 22	22 a 23	23 a 24	
Salas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	75	100	100	0	100	75	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Refeitório	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	100	100	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Com base nestes resultados, determinaram-se os valores da taxa de renovação horária requerida, que se encontram no Quadro 34.

Quadro 34 - Ar novo requerido

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Pé-Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Caudal ar novo (m <sup>3</sup> /h)	Taxa de renovação horária (R <sub>ph</sub> )
RC-Sala atividades	51,34	3,00	154,02	224,00	1,45
RC-Gabinete	15,22	3,00	45,66	48,00	1,05
RC-Sala polivalente	50,00	3,00	150,00	280,00	1,87
RC-IS	10,68	3,00	32,04	(1)	(1)
RC-Átrio circulação	43,80	3,00	131,40	(1)	(1)
RC-Pátio coberto	27,06	2,75	74,42	(1)	(1)
RC-Átrio primária	14,56	3,00	43,68	(1)	(1)
RC-Sala primária	47,53	4,45	211,51	576,00	2,72
Andar-Refeitório	50,10	3,00	150,30	528,00	3,51
Andar-Copa	17,57	2,75	48,32	48	0,99
Andar-Centro de recursos	26,60	3,00	79,80	80	1,00
Andar- Átrio circulação	30,73	3,00	92,19	(1)	(1)
Andar-IS Masculino	7,76	2,40	18,62	(1)	(1)
Andar-IS Professores	2,69	2,40	6,46	(1)	(1)

(1) Excluído nos termos do nº 1 e nº 2 do artigo 2.3 da portaria 353-A/2013 de 4 de dezembro [36]

### 5.1.2.6 Melhorias ao nível do aquecimento ambiente

Considerou-se que o sistema de aquecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias com recurso a caldeira a gásóleo tem uma eficiência de 89%, de acordo com os Quadros 35 e 36 seguintes.

Quadro 35 - Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras – Adaptado da tabela 1.18 da portaria 349-D/2013 de 02 de dezembro, republicada pela portaria nº 17-A/2016 [17]

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após ...	
	Entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

Quadro 36 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores – Adaptado da tabela 1.19 da portaria 349-D/2013 de 02 de dezembro, republicada pela portaria nº 17-A/2016 [17]

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal ( $\eta$ )
	A++ (1)	$\eta \geq 96\%$
	A+ (2)	$96\% \geq \eta > 92\%$
	<b>A</b>	<b><math>92\% \geq \eta &gt; 89\%</math></b>
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82 \text{ kW}$
	$>10\text{kW}$	$\geq 0,84 \text{ kW}$

(1) A temperatura de retorno deverá ser inferior a 50°C (caldeiras a gás) ou 45°C (caldeiras a Gasóleo).

(2) A temperatura média da água na caldeira deverá ser inferior a 60°C.

Nota 1: As classes C a F correspondem a aparelhos fabricados antes de 1996.

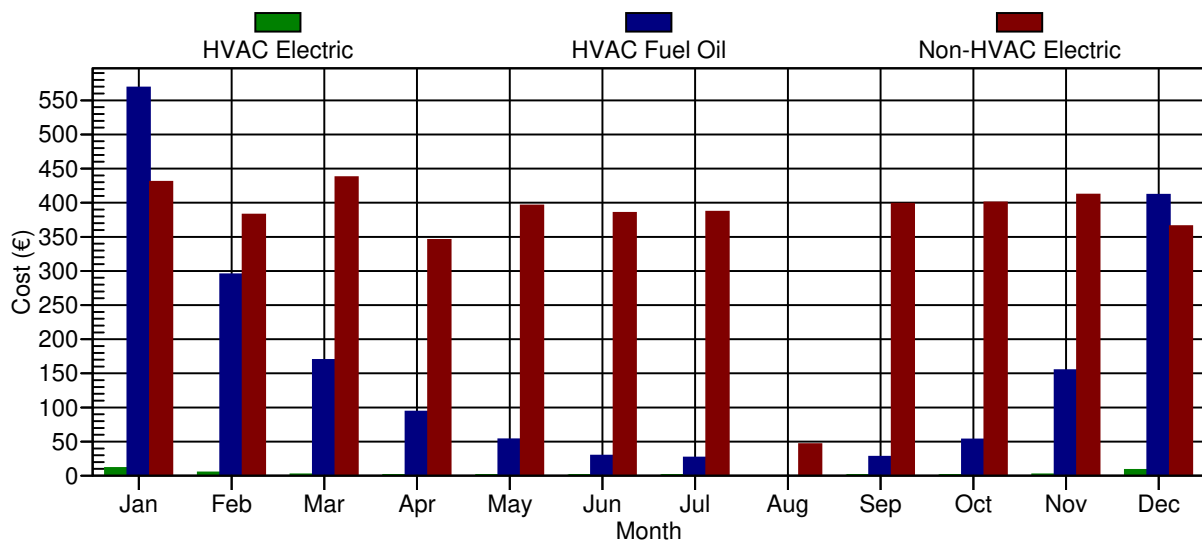
Nota 2: As caldeiras de potência útil superior a 400 kW deverão evidenciar um rendimento útil superior ou igual ao exigido para aquela potência.

### 5.1.3 Resultados e discussão

Os custos com consumos de energia obtidos por simulação tanto do edifício no seu estado atual como com os incrementos de melhorias mencionadas no ponto anterior encontram-se apresentadas no Quadro 37.

No Gráfico 19 seguinte extraído do HAP, faz-se a apresentação dos consumos de energia mensal do edifício associados aos sistemas de aquecimento, iluminação e equipamentos, com todas as melhorias introduzidas.

Gráfico 19 - Consumos mensais de energia – edifício com todas as melhorias



Comparando as escalas de custos dos gráficos 18 (estado atual) e 19 (com todas as melhorias), verifica-se que o seu valor foi reduzido quase para metade na situação do edifício com todas as melhorias introduzidas (gráfico 19), contribuindo para tal a destacada poupança em energia para aquecimento, sendo mais evidente nos meses de maior consumo (dezembro, janeiro e fevereiro), com repercussão direta na fatura energética mensal.

É importante referir que em termos de consumos de energia com os sistemas AVAC, esta simulação foi efetuada tendo em conta o princípio de utilização do edifício e, consequentemente, o sistema nele instalado, ou seja, apenas energia para aquecimento.

Analisando o Quadro 37, verifica-se que o conjunto das melhorias introduzidas geram uma poupança de energia de aproximadamente 27,5% na sua globalidade.

Fazendo ainda uma análise aos seus resultados parcelares, tendo por base o modelo adotado de fazer simulações sucessivas a partir dos resultados da melhoria antes simulada, verifica-se:

- Que as melhorias na resistência térmica das paredes e pontes térmicas são as que individualmente mais contribuem para a redução do consumo energético do edifício, com cerca de 12,6%.

- Que as melhorias ao nível dos pavimentos são as que menos contribuem para uma redução da fatura energética, próximo dos 3%.

- Já as melhorias a nível da ventilação, compreensivelmente aumentam o consumo energético em cerca de 12,5%, contribuindo contudo para a melhoria da qualidade do ar interior.

Quadro 37 - Custos anuais de energia

Situação	Custos anuais de energia				Variação em relação à situação anterior	%
	Aquecimento (incluídos 5% para PTL)	Iluminação	Equipamentos	Total		
Existente	3 355,8 €	2 281,00 €	2 522,00 €	8 158,80 €	N/A	N/A
Melhoria em paredes e pontes térmicas	2 444,40 €	2 281,00 €	2 522,00 €	7 247,40 €	-911,40 €	-12,58
Melhoria em coberturas	1 948,80 €	2 281,00 €	2 522,00 €	6 751,80 €	-495,60 €	-7,34
Melhoria nos envidraçados	1 685,25 €	2 281,00 €	2 522,00 €	6 488,25 €	-263,55 €	-4,06
Melhoria na iluminação	1 741,95 €	1 863,00 €	2 522,00 €	6 126,95 €	-361,30 €	-5,90
Melhoria de pavimentos	1 569,75 €	1 863,00 €	2 522,00 €	5 954,75 €	-172,20 €	-2,89
Melhoria na ventilação	2 313,15 €	1 863,00 €	2 522,00 €	6 698,15 €	743,40 €	12,48
Melhoria no aquecimento	2 010,75 €	1 863,00 €	2 522,00 €	6 395,75 €	-302,40 €	-4,73
Global das melhorias	2 010,75 €	1 863,00 €	2 522,00 €	6 395,75 €	-1 763,05 €	-27,57

- Por último, também se confirma o que seria previsível de que associada a uma diminuição da potência de iluminação haja um ligeiro aumento do consumo de energia de aquecimento, mas no conjunto obtém-se uma eficiência próximo dos 6%.

### 5.1.3.1 Custos da solução e viabilidade económica

O despacho (extrato) nº 15793-L/2013 de 3 de dezembro [37] define a metodologia de apuramento da viabilidade económica da utilização ou adoção de determinada medida de eficiência energética, prevista no âmbito do plano de racionalização energética, aplicável a edifícios novos ou sujeitos a grande intervenção por força da alínea c) do nº 2 do artigo 35º do Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto [38].

As medidas de eficiência energética são de implementação obrigatória quando o respetivo estudo demonstre que, e passa-se a citar:

- Não existem evidentes constrangimentos ou limitações técnicas, legais ou administrativas à instalação;

- O período de retorno simples (PRS) seja igual ou inferior a 8 anos.

O PRS é dado pela expressão  $PRS=C/P$ , observando as seguintes disposições:

- O valor de (C) corresponde à totalidade dos custos de investimento;

- O valor de (P) corresponde à poupança anual resultante da aplicação da medida de melhoria, sendo determinada com base em simulações anuais, detalhadas do funcionamento do edifício e seus sistemas técnicos ou por cálculo anual simples;

- Custos de energia constantes e iguais aos do momento do investimento;

- Não são considerados os custos financeiros, nem efeitos da inflação.

Apesar de esta análise económica só ser aplicável a este caso de estudo caso esta escola viesse a ser submetida a uma grande intervenção, foi considerada esta possibilidade e estimada a viabilidade económica das melhorias propostas.

A obtenção dos custos para cada melhoria foi obtida através de consulta ao mercado, cuja proposta se encontra no Anexo 4, com exceção dos custos das melhorias na iluminação.

Como é possível cumprir os níveis de potência de iluminação de referência fazendo a substituição de algumas lâmpadas de maior potência por outras mais económicas ou desativando lâmpadas em armaduras existentes, considerámos para realização desta tarefa de gestão interna um valor de 500,00€.

No Quadro 38 estão resumidos os custos obtidos para cada uma das melhorias e o respetivo período de retorno do investimento.

Quadro 38 - Custos estimados das melhorias e períodos de retorno do investimento

Medida	Poupança anual (P)	Custos de investimento (C)	PRS=C/P (anos)	Implementação obrigatória
Melhoria de paredes e pontes térmicas	911,40 €	19 070,82 €	21	Não
Melhoria de coberturas	495,60 €	1 481,99 €	3	Sim
Melhoria de envidraçados	263,55€	38 399,40 €	146	Não
Melhoria de iluminação	361,30 €	500,00 €	1	Sim
Melhoria em pavimentos	172,20 €	36 443,75 €	212	Não
Melhoria da ventilação (1)	- 743,40 €	1 469,80 €	(1)	Não
Melhoria no aquecimento	302,40 €	3 258,72 €	11	Não
Global	1 763,05 €	100 124,48 €	57	Não

(1) – Não tem período de retorno

À luz do critério regulamentar mencionado no início deste ponto, apenas as melhorias introduzidas nas coberturas e iluminação seriam enquadradas como de aplicação obrigatória.

Todas as outras, sobretudo aquelas que proporcionariam uma melhor habitabilidade ao edifício, não se enquadrariam na regulamentação nacional de eficiência energética prevista no plano de racionalização energética, conforme despacho mencionado no parágrafo anterior e não seriam por isso de aplicação obrigatória.

Tendo em conta que o controlo da temperatura e humidade é fundamental no comportamento termo higrométrico de edifício e conseqüentemente na saúde dos seus ocupantes, no prolongamento da sua própria vida útil e na redução do consumo de energia, todas as medidas seriam importantes.

No entanto, como se pode ver no Quadro 37, a medida que menos impacto tem na redução da fatura energética é a melhoria de pavimentos e, por sinal, umas das mais dispendiosas, de execução difícil e prolongada no tempo, tendo-se que, muito provavelmente, encerrar a escola para a implementar.

Todas as outras praticamente poderiam ser implementadas sem o seu encerramento e com certeza que já proporcionariam aos utilizadores um melhor conforto térmico, uma melhor qualidade do ar e a redução ou até eliminação da formação de fungos e bolores e revestimentos deteriorados. Em suma uma muito provável melhor saúde aos seus ocupantes.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **6. Conclusão**

---

A pesquisa bibliográfica realizada revelou que existe um extenso conhecimento sobre as causas e os efeitos da presença de humidade nas construções.

No entanto, ainda é muito frequente serem descurados alguns processos construtivos que deveriam ser de conhecimento mais generalizado e, que não o sendo, os riscos da presença de humidade em algumas construções poderá continuar a ser uma realidade.

O trabalho de campo realizado entre 25 de novembro de 2011 e 10 de janeiro de 2012, com a escola em funcionamento, onde foram efetuadas medições de temperatura e humidade relativa tanto no interior como no exterior do edifício e, posteriormente em 23 de novembro de 2016, com a escola desativada, onde foram efetuadas medições de humidade superficial em paredes, foi muito importante e, julga-se, que bastante conclusivo para a caracterização e a justificação das patologias levantadas nesta escola.

Assim, da análise aos resultados das medições de temperatura e humidade relativa realizadas com a escola em funcionamento, nos três ambientes onde foram efetuados registos (sala de atividades, sala da primária e refeitório), verificou-se a existência de condições para se atingir a condensação efetiva, com maior incidência durante a noite e madrugada, com o aquecimento ambiente desligado, justificando-se desta forma as manchas e eflorescências observadas nestes mesmos ambientes.

Registaram-se longos períodos com humidade relativa alta, nomeadamente 60% a 80% na sala de atividades, 80% a 100% na sala da primária e 60% a 90% no refeitório.

Também o resultado das medições de humidade superficial em paredes, realizada no passado mês de novembro com a escola desativada, permitiu caracterizarem-se patologias de:

- Humidade no terreno proveniente de águas superficiais, por escorrência;
- Humidade proveniente de águas superficiais, por ascensão capilar através de pilares;
- Humidade proveniente de águas superficiais, por ascensão capilar através de paredes;

- Humidade de precipitação.

O resultado das simulações efetuadas com o HAP 4.8, permitiu avaliar o contributo das melhorias de correção no consumo energético do edifício, cujos resultados conduzem a uma poupança global de energia de cerca de 27,5%, valor este que se pode considerar bastante relevante, pondo em destaque a importância dos processos construtivos na regulação termo higrométrica do edifício com reflexo na economia de energia gasta durante a sua exploração e na qualidade da construção.

No entanto, o resultado da análise de viabilidade económica poderá dificultar a materialização destas melhorias, uma vez que a sua implementação acarreta custos elevadíssimos, que seriam certamente menores se as mesmas fossem consideradas na construção de raiz.

De facto, à luz do critério do despacho (extrato) nº 15793-L/2013 de 3 de Dezembro, se porventura fosse aplicado neste caso (somente aplicável em novos edifícios e grandes reabilitações), apenas as melhorias introduzidas nas coberturas e iluminação seriam enquadradas como de aplicação obrigatória.

Todas as outras, sobretudo aquelas identificadas como de maior contribuição na poupança de energia e como tal com maior impacto na redução da fatura energética e, ainda, que poderiam ajudar em maior escala para melhorar a habitabilidade do edifício, não se enquadrariam na regulamentação nacional de eficiência energética prevista no plano de racionalização energética, conforme despacho mencionado no parágrafo anterior e não seriam de aplicação obrigatória.

Para casos semelhantes a este ou mesmo em outros edifícios de natureza diferente e que recebam público, propõe-se que na fase de auditoria energética periódica obrigatória, sejam criados mecanismos de alerta para outras entidades ou organismos, remetidos pelos técnicos inspetivos, que efetuam esta avaliação energética periódica sempre que se verifiquem patologias que apesar de aparentemente nada interferirem no comportamento energético do edifício a sua correção seja necessária, sob pena de os problemas existentes devido à presença de humidade, se não lhes for dado o melhor tratamento, levar a um agravamento da deterioração dos seus materiais de construção, agravando ainda mais o seu estado de conservação, ao ponto de lhe poder proporcionar um encurtamento da sua vida útil para além de poder afetar as condições de saúde dos seus utilizadores.

## 7. Bibliografia

---

- [1] PAIVA, José Vasconcelos – “Prefácio” - 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios: Actas. Vol.1. Lisboa: LNEC, 2003, p. III.
- [2] FREITAS, Vasco Peixoto de – “Preâmbulo” - 2º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios: Actas. Vol. 1. Porto: FEUP, 2006, p. V
- [3] FREITAS, Vasco Peixoto de – “Preâmbulo” - 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios: Actas do Encontro. Porto: FEUP, 2003, p. V
- [4] NEVES, Fábio André Alves – Reabilitação Termo Higrométrica de Edifícios de Estabelecimentos de Ensino construídos entre as décadas de 60 e 90. Mestrado e Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2013 [Em linha]. [Consultado em 16 de Março de 2017]. Disponível na <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/4645>, pp 96-134.
- [5] PAIVA, J. V., [et al.] – “Patologia da Construção” - 1º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação. Documento introdutório do tema 3. Lisboa: LNEC, 1985, pp. 11-14.
- [6] HENRIQUES, Fernando M.A - Humidade em paredes. Lisboa: LNEC, 4ª edição 2007, pp. 1-116
- [7] 1136-*Humidade Construção* [Em linha]. [Consultado em 08 Maio 2010]. Disponível na [www.estt.ipt/download/.../1136\\_Humidade\\_Construcao.pdf](http://www.estt.ipt/download/.../1136_Humidade_Construcao.pdf), pp. 4-29
- [8] GOMES, Francisco Adriano Correia Moreira - Argamassas pé-doseadas para rebocos de edifícios antigos. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil [Em linha]. [Consultado em 01Julho 2010]. Disponível na [https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/571178/1/Dissertacao\\_Francisco\\_Gomes.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/571178/1/Dissertacao_Francisco_Gomes.pdf), p. 16
- [9] Caracterização experimental do funcionamento de sistemas de ventilação da base das paredes para tratamento da humidade ascensional [Em linha]. [Consultado em 08 Maio

2010]. Disponível na [www . repositório – aberto . up . pt / bitstream / 10216 / 11811 / 2 / Texto % 20 integral .pdf](http://www.repositório-aberto.up.pt/bitstream/10216/11811/2/Texto%20integral.pdf), pp. 17-38

[10] TORRES, Maria Isabel Morais; FREITAS, Vasco Peixoto de – “Tratamento da humidade ascensional em construções históricas”. 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Actas do Encontro. Porto: FEUP, 2003, pp. 104-108

[11] MENDONÇA, Luís Viegas – Condensações em edifícios [Em linha]. [Consultado em 01 Julho 2010]. Disponível na [http : // www . spybuilding . com / downloads / Condensacoes Em Edificios . pdf](http://www.spybuilding.com/downloads/CondensacoesEmEdificios.pdf), p. 5

[12] HENRIQUES, Fernando M.A – “Fenómenos de higroscopicidade devidas à presença de sais solúveis”. 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Actas do Encontro. Porto: FEUP, 2003, pp. 6-6

[13] HENRIQUES, Fernando M. A.; RATO, Vasco Moreira – “Avaliação do comportamento de argamassas face a fenómenos de higroscopicidade”. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Actas. Vol. 1. Lisboa: LNEC, 2003, pp. 405-412

[14] Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica, versão 1.05: LNEG, 13 de Fevereiro 2014.

[15] Presidência do Conselho de Ministros – Declaração de rectificação nº 11-E/96. Regulamento do Plano Director Municipal de Ansião. Diário da República – I Série – B. Nº 149. 29-06-1996

[16] HAP 4.8 - Hourly Analysis Program, version 4.8 – International Edition: Carrier United Technologies.

[17] Republicação da Portaria nº 349-D/2013, Lisboa: Diário da República, 1ª série – Nº 24 – 4 de fevereiro de 2016

[18] Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12

[19] Despacho nº 15793-E/2013, Lisboa: Diário da República, 2ª série – Nº 234 – 3 de dezembro de 2013

[20] Despacho nº 15793-K/2013, Lisboa: Diário da República, 2ª série – Nº 234 – 3 de dezembro de 2013

[21] Log Tag Recorders – Haxo - 8 Humidity & Temp Recorder [Em linha]. [Consultado em 08 de Março de 2017]. Disponível na <http://www.logtagrecorders.com/products/haxo-8.html>.

- [22] Risco de ocorrência de condensações – Método de Glaser – Física das Construções 2005/2006 [Em linha]. [Consultado em 29-de Novembro de 2016]. Disponível na [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1142\\_MetodoGlaser.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1142_MetodoGlaser.pdf), pp. 1-3
- [23] J. Clark – Energy Simulation in Building Design. Second edition ed..U.K: Butterworth - Heinemann, 2001
- [24] SILVA, Luís Carlos Dinis – Estudo Técnico-Económico para otimização do Projeto de Implementação de uma Bomba de Calor “Heat Machine”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, ISEL, 2015 [Em linha]. [Consultado em 24 de Abril de 2017]. Disponível na <https://repositorio.ipl.pt/handle/104002.21/5543>.
- [25] T. Marija e L.J.Hensen – “Overview of HVAC System Simulation”, Automatica in Construction, pp 93-99, 2010
- [26] RODRIGUES, Ricardo Jorge Leite – Análise de Implementação de uma Bomba de Calor para recuperação de Energia. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, IST, 2013 [Em linha]. [Consultado em 24 de Abril de 2017]. Disponível na [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/.../Dissertação\\_RICARDO\\_RODRIGUES\\_58342.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/.../Dissertação_RICARDO_RODRIGUES_58342.pdf)
- [27] *HAP Quick Reference Guide* [Em linha]. [Consultado em 24 de Abril 2017]. Disponível na [http://www.ahi-carrier.ro/media/103941/e20s-hap48\\_manual.pdf](http://www.ahi-carrier.ro/media/103941/e20s-hap48_manual.pdf)
- [28] SEABRA, Jorge André Sousa – Comparação de Ferramentas de Simulação Térmica para o Cálculo dos Índices Subjacentes à Certificação Energética nos Edifícios de Comércio e Serviços. Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, UL, 2015 [Em linha]. [Consultado em 24 de Abril de 2017]. Disponível na [http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/22309/1/ulfc116061\\_tm\\_Jorge\\_Seabra.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/22309/1/ulfc116061_tm_Jorge_Seabra.pdf)
- [29] SANTOS, David Jorge Gomes – Desagregação do Consumo Energético e Simulação Térmica Detalhada de um Grande Edifício de Serviços . Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, UL, 2015 [Em linha]. [Consultado em 24 de Abril de 2017]. Disponível na [http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20785/1/ulfc115885\\_tm\\_David\\_Santos.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20785/1/ulfc115885_tm_David_Santos.pdf)
- [30] EDP, Energias de Portugal, SA. – Tarifários. [Em linha]. [Consultado em 06 de Março de 2017]. Disponível na <https://energia.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>.
- [31] MARQUES, António Sérgio da Silva – Análise económica dos sistemas de climatização e preparação de AQS utilizados nos edifícios residenciais. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente. [Em linha]. [Consultado em 06 de Janeiro de 2017]. Disponível na [https://estudo\\_geral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20389/1/Tese%20de%20Mestrado.pdf](https://estudo_geral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20389/1/Tese%20de%20Mestrado.pdf)
- [32] SANTOS, Carlos A. Pina dos; MATIAS, Luís - Coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ICT Informação técnica. Edifícios ITE 50. Lisboa: LNEC. Versão atualizada 2006, pp. I-III-7

- [33] REIS, A. Correia dos, [et al.] - Tabelas Técnicas. Lisboa: Edições Técnicas E.T.L, Lda. 2005, p. 161
- [34] ITeCons - Avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços (PES) – Cálculo Dinâmico Simplificado Monozona. Universidade de Coimbra: Versão 1.17, 07 de outubro de 2016
- [35] PINTO, A. - Aplicação para determinar o caudal mínimo de ar novo, RECS. Lisboa, LNEC, 2013 – V01b, 2013-12-10
- [36] Portaria nº 353-A/2013, Lisboa: Diário da República, 1ª série – Nº 235 – 4 de dezembro de 2013
- [37] Despacho (extrato) nº 15793-L/2013, Lisboa: Diário da República, 2ª série – Nº 234 – 3 de dezembro de 2013
- [38] Decreto Lei nº 118/2013 de 20 de agosto, republicado pelo Decreto Lei nº 28/2016, Lisboa: Diário da República, 2ª série – Nº 119 – 23 de junho de 2016

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***8. Anexos***

---

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **Anexo 1 - Datos climáticos**


# Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica



versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

### Seleção por município

*i* Ansião



*i* preparar ficheiro

EPW (formato EnergyPlus Weather)

### Zona climática

NUTS 3: Pinhal Interior Norte  
Latitude: 40,1 °N (nominal)  
Longitude: 8,2 °W (nominal)  
Altitude: 361 m (referência)

### Local específico

Município: Ansião

*i* Altitude: **248** m

### Dados climáticos

	Referência	Neste local
<i>i</i> Estação de aquecimento		
Período:	6,8	<b>6,8</b> meses
T média:	8,3	<b>8,9</b> °C
Graus-dia:	1555	<b>1374</b> °C
<i>i</i> Estação de arrefecimento		
T média:	21,2	<b>21,4</b> °C

### Zonas de verão e inverno

V 2	I 2
-----	-----

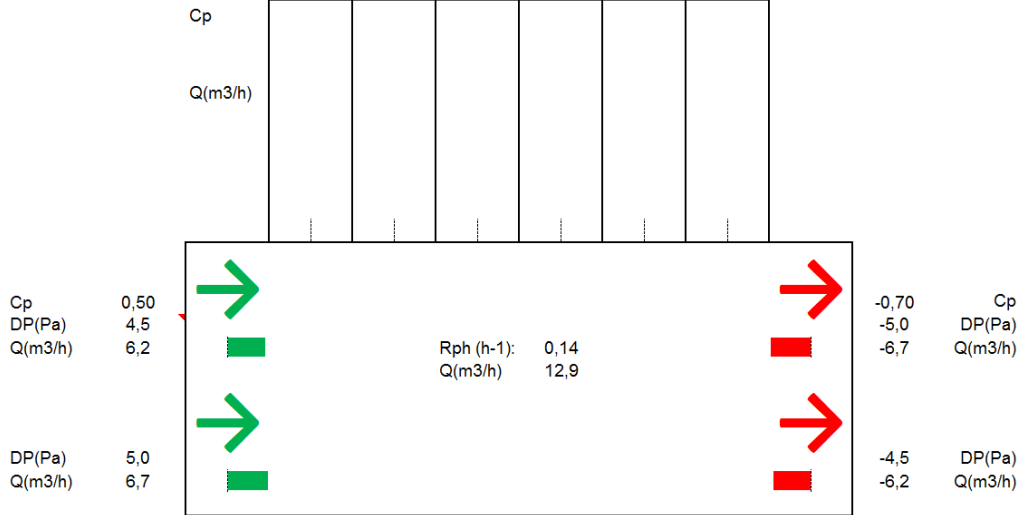
## **Anexo 2 - Caudal de ar infiltrado**

### Andar – Átrio Circulação

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

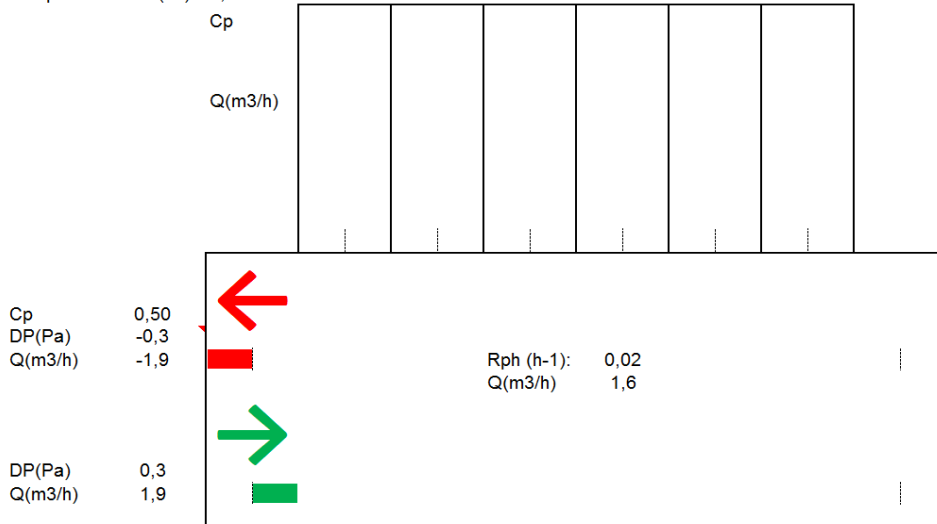


### Andar – Centro de Recursos

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9



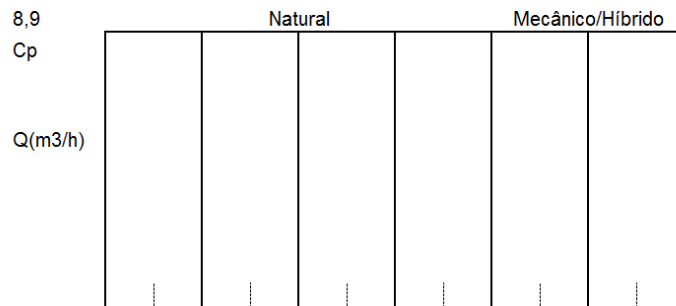
### Andar – Copa

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

Cp



Cp 0,50  
DP(Pa) -0,3  
Q(m3/h) -0,3

Rph (h-1): 0,01  
Q(m3/h) 0,5

DP(Pa) 0,3  
Q(m3/h) 0,3

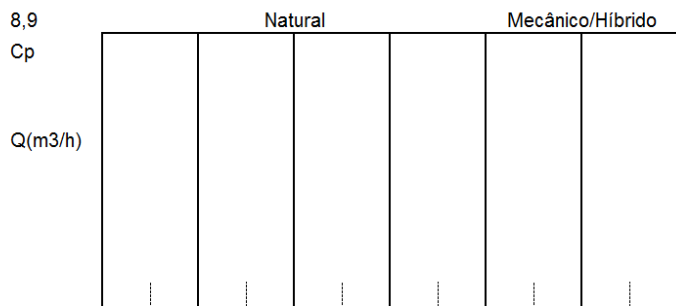
### Andar – I.S. Masculina

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

Cp



Cp 0,50  
DP(Pa) -0,2  
Q(m3/h) -0,2

Rph (h-1): 0,01  
Q(m3/h) 0,2

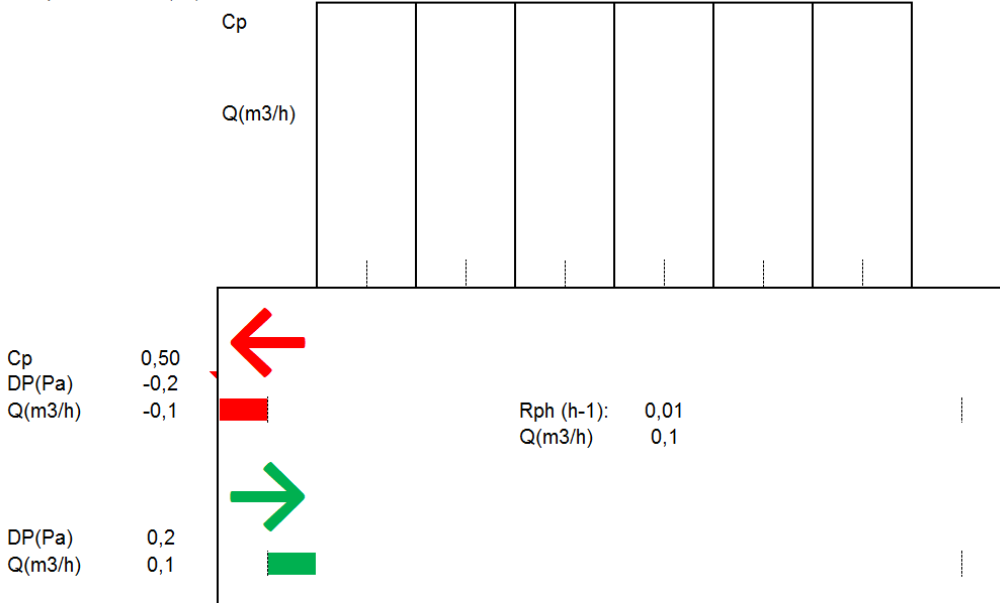
DP(Pa) 0,2  
Q(m3/h) 0,2

**Andar – I.S. Professores**

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

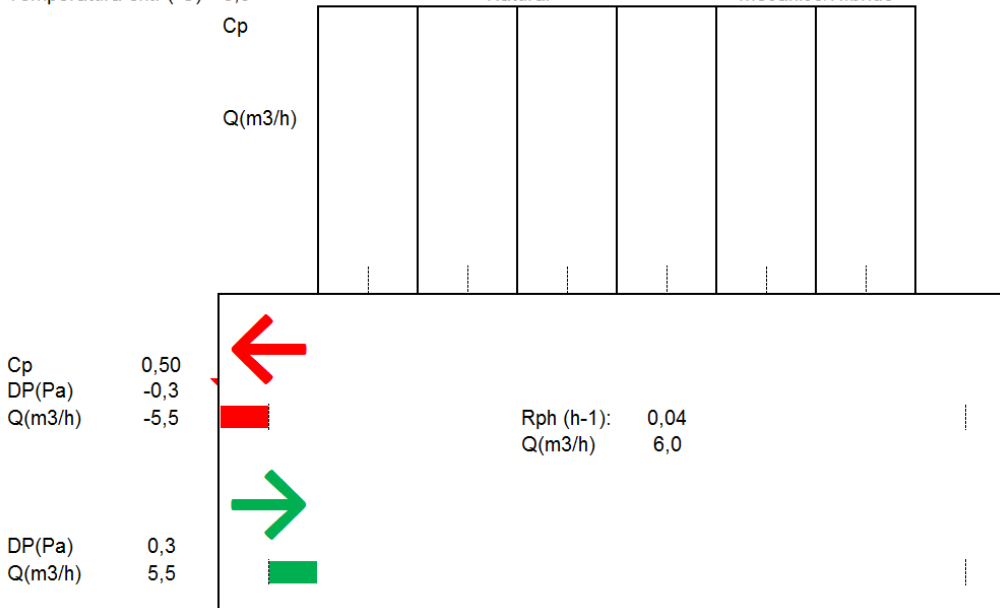


**Andar – Refeitório**

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

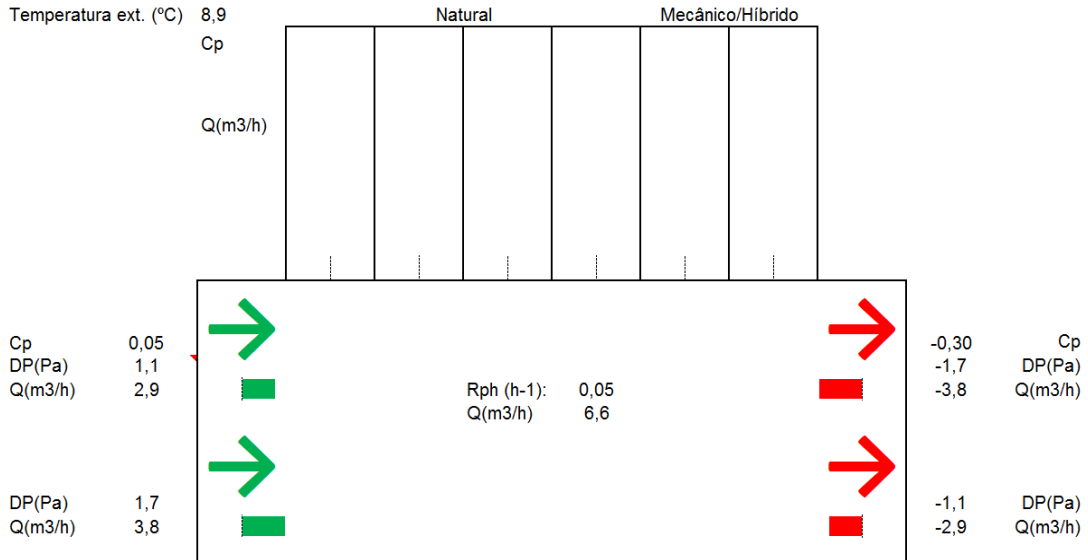


## RC – Átrio circulação

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

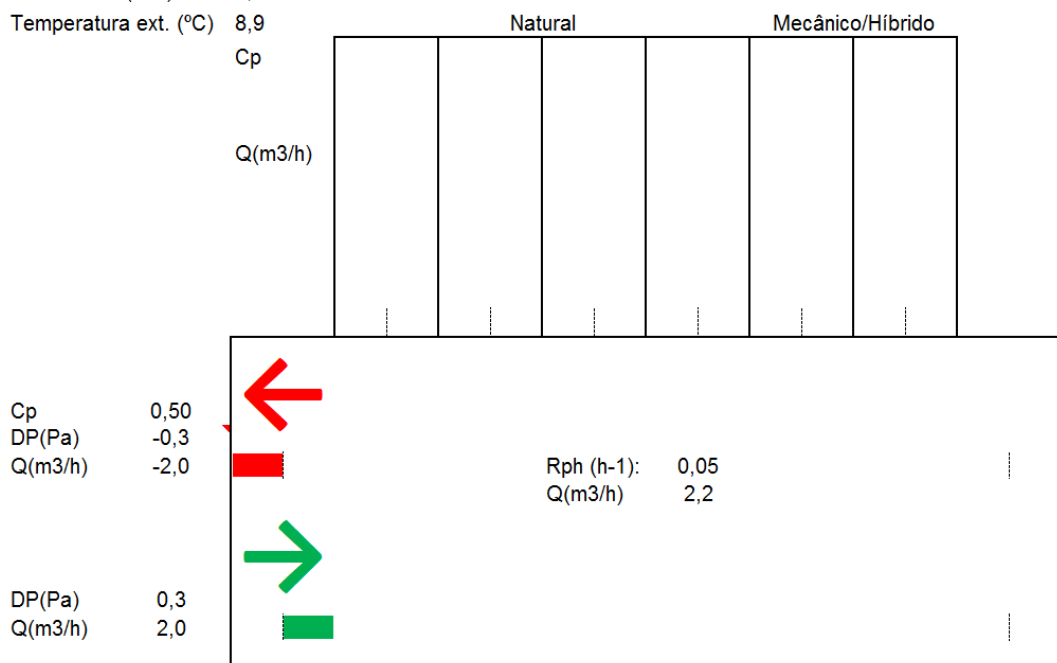


## RC – Átrio primária

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

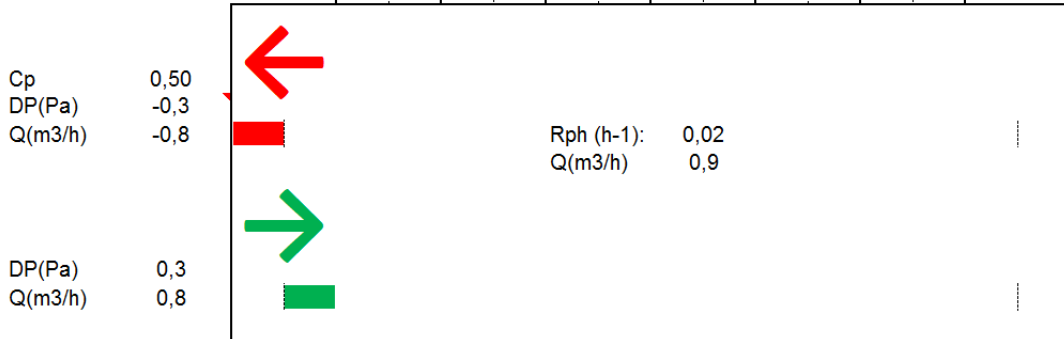
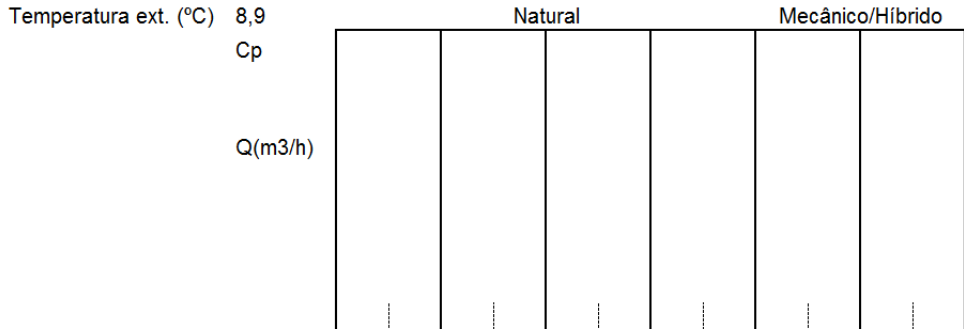


**RC – Gabinete**

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

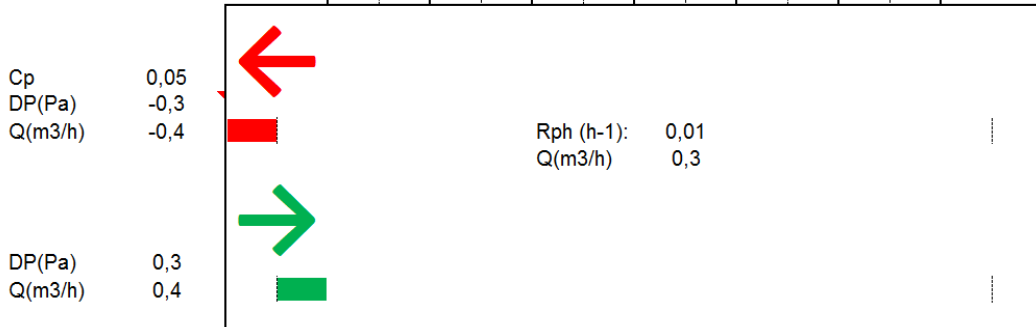
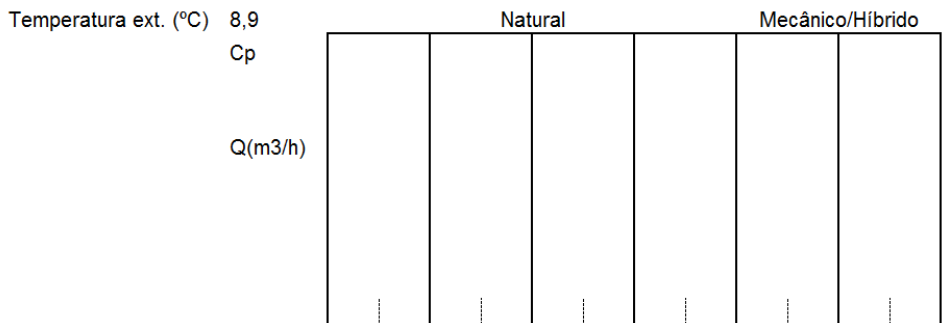


**RC – IS**

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

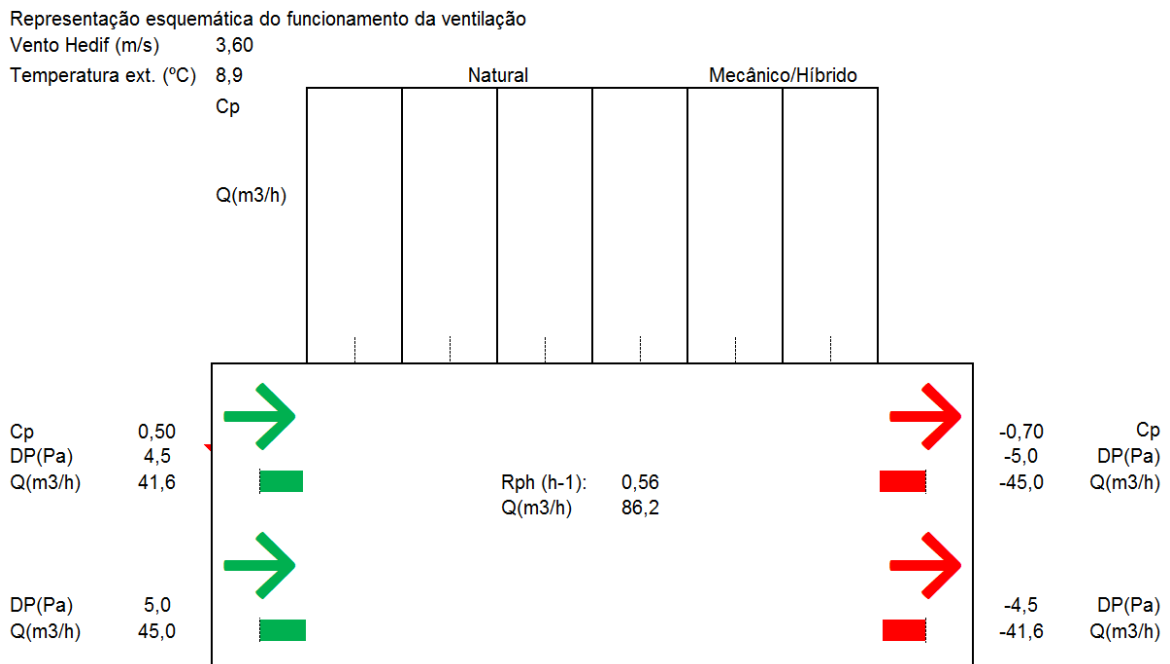
Temperatura ext. (°C) 8,9



## RC – Pátio coberto



## RC – Sala atividades



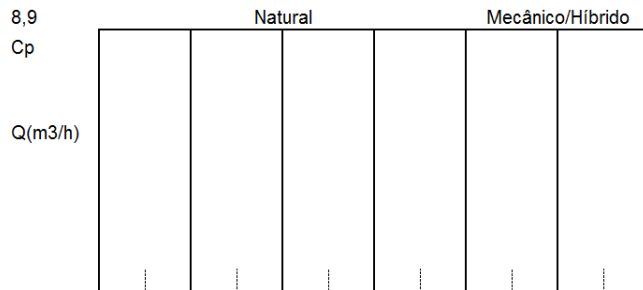
## RC – Sala polivalente

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

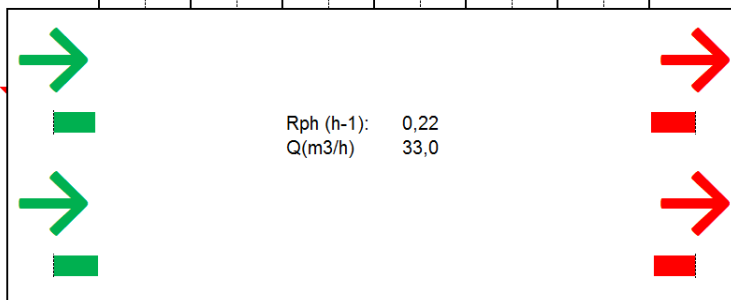
Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

Cp



Cp 0,50  
DP(Pa) 4,5  
Q(m3/h) 16,2



-0,70 Cp  
-5,0 DP(Pa)  
-17,5 Q(m3/h)

DP(Pa) 5,0  
Q(m3/h) 17,5

-4,5 DP(Pa)  
-16,2 Q(m3/h)

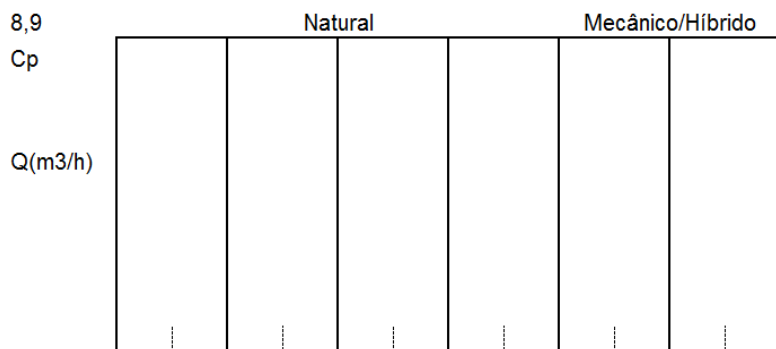
## RC – Sala primária

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

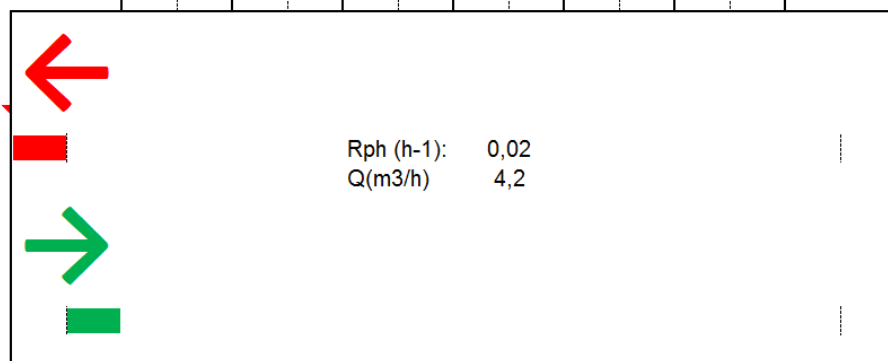
Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 8,9

Cp



Cp 0,50  
DP(Pa) -0,4  
Q(m3/h) -3,4



Rph (h-1): 0,02  
Q(m3/h) 4,2

DP(Pa) 0,4  
Q(m3/h) 3,4

## **Anexo 3 - Levantamento de humidade superficial em paredes interiores**

**Humidade superficial de paredes interiores (%)**

Localização	Data	Hora	h rodapé	h peitoril	h=1m	h=1,6m	Ao nível da patologia	Abaixo peitoril	Acima peitoil
RC-Sala Pré-Primária									
1	22/11/2016	10h-13h	1,1						
2	" " "	" "							
3	" " "	" "							
RC-Átrio Circulação									
4	" " "	" "	2,8		1,3				
5	" " "	" "	4,7						
6	" " "	" "					1,0		
RC-Sala polivalente									
7	" " "	" "					2,3		
8	" " "	" "	8,6		2,1				
9	" " "	" "	7,3						
10	" " "	" "	7,4		0,6				
11	" " "	" "							
RC-Pátio interior									
12	" " "	" "		1,7					
RC-Átrio Primária									
13	" " "	" "	4,6						
14	" " "	" "	5,0						
RC-Sala Primária									
15	" " "	" "	6,6						
Andar-Refeitório									
16	" " "	" "	1,1	13,2					
17	" " "	" "	0,6	9,0					
18	" " "	" "		4,3	3,2	2,7			
19	" " "	" "						13,6	1,3
Andar-Átrio circulação									
20	" " "	" "	5,0	10,1					
21	" " "	" "	5,1						
22	" " "	" "	9,4						
23	" " "	" "		7,2					
24	" " "	" "					0,9		
Andar-Centro de Recursos									
25	" " "	" "					1,5		
26	" " "	" "							4,1

## **Anexo 4 – Custos das melhorias**

EMPREITADA: Remodelação de Edifício Escolar  
LOCAL: Ansião  
DONO DE OBRA: -



Ref.º : 000/0-2017-JC

Anúncio n.º 62771  
Data: 06/03/2017

PROPOSTA DE PREÇO				
Código	Descrição	Preço Total	Custo Construção / m <sup>2</sup>	%
<b>MAPA RESUMO</b>				
<b>ARQUITECTURA</b>		<b>100 124,48 €</b>	<b>314,86 €/m<sup>2</sup></b>	<b>100,0%</b>
1	Melhoria de Paredes e Pontes Térmicas	19 070,82 €	59,97 €/m <sup>2</sup>	19,0%
2	Melhoria de Coberturas	1 481,99 €	4,66 €/m <sup>2</sup>	1,5%
3	Melhoria de Envidraçados	38 399,40 €	120,75 €/m <sup>2</sup>	38,4%
4	Melhoria de Pavimentos	36 443,75 €	114,60 €/m <sup>2</sup>	36,4%
5	Melhoria na Ventilação	1 469,80 €	4,62 €/m <sup>2</sup>	1,5%
6	Melhoria no Aquecimento Ambiente	3 258,72 €	10,25 €/m <sup>2</sup>	3,3%
<b>TOTAL DA PROPOSTA</b>		<b>100 124,48 €</b>	<b>314,86 €/m<sup>2</sup></b>	<b>100,0%</b>

( Cem mil, cento e vinte e quatro euros e quarenta e oito cêntimos)

Aos valores mencionados acresce IVA à taxa legal em vigor.

PROPOSTA DE PREÇO

Código	Descrição	Un	Quant.	P. Unitário	Preço Total
--------	-----------	----	--------	-------------	-------------

100 124,48 €

*(Considera-se todas as disposições indicadas na descrição dos artigos e complementadas o' todas as peças desenhadas do projeto de arquitetura, exceto das especificações e respectivas medidas descritivas)*

**ARQUITECTURA**

**NOTA:**

1 - ESTE TRABALHO DEVERÁ OBRIGATORIAMENTE SER LIDO EM CONJUNTO COM AS PEÇAS DESENHADAS, NÃO CONSTITUINDO PORTANTO UMA DESCRIÇÃO EXAUSTIVA DAS CONDIÇÕES EM QUE OS TRABALHOS DEVERÃO SER EXECUTADOS.

**1 Melhoria de Paredes e Pontes Térmicas**

1.1	Fornecimento e aplicação de revestimento com sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior ETICS, composto por isolante térmico XPS 5 cm, reforço em rede de fibra de vidro e camada de reboco térmico, com todos os trabalhos inerentes ao sistema e para um perfeito acabamento.	m²	373,59	35,04 €	13 090,59 €
1.2	Fornecimento e aplicação de revestimento com sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior ETICS, composto por isolante térmico XPS 6 cm, reforço em rede de fibra de vidro e camada de reboco térmico, com todos os trabalhos inerentes ao sistema e para um perfeito acabamento.	m²	173,34	34,50 €	5 980,23 €
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>19 070,82 €</b>

**2 Melhoria de Coberturas**

2.1	Remoção de camada de seixo para local dentro do perímetro da obra para posterior aplicação, incluindo manta geotêxtil, esta última sem aproveitamento, reaplicação do seixo incluindo fornecimento e aplicação de nova manta geotêxtil.	m³	22,00	16,48 €	362,56 €
2.2	Fornecimento e aplicação de Xps de 3 cm.	m²	222,00	3,56 €	790,32 €
2.3	Fornecimento e aplicação de betonilha de regularização de 4 cm.	m²	64,69	4,50 €	291,11 €
2.4	Fornecimento e aplicação de Xps de 7 cm.	m²	4,00	9,50 €	38,00 €
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>1 481,99 €</b>

**NOTA:**

\* Não existe Xps c/ 7 cm de espessura, só 6 ou 8cm, preço considerado com 8cm;

EMPREITADA: Remodelação de Edifício Escolar  
 LOCAL: Ansião  
 DONO DE OBRA: --



Alvára n.º 62771

Ref.º : 000V0-2017-JC

Data: 06/03/2017

PROPOSTA DE PREÇO

Código	Descrição	Un	Quant.	P. Unitário	Preço Total
					<b>100 124,48 €</b>
<b>3</b>	<b>Melhoria de Envidraçados</b>				
3.1	Levantamento cuidado de vãos envidraçados existentes para aproveitamento, incluindo remoção e transporte para estaleiro da autarquia.	m²	130,00	6,57 €	854,10 €
3.2	Fornecimento e aplicação de vãos envidraçados com perfil de alumínio de corte térmico, vidro duplo laminado 5+12+5, com o vidro exterior de baixa emissividade.	m²	130,00	288,81 €	37 545,30 €
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>38 399,40 €</b>
<b>4</b>	<b>Melhoria de Pavimentos</b>				
4.1	Demolição manual de pavimentos térreos, em laje de betão armado com 30 cm de espessura, incluindo betonilha de regularização de 4 cm, revestimento em mosaico cerâmico ou linóleo e transporte a vazadouro autorizado.	m³	92,93	34,17 €	3 175,42 €
4.2	Remoção manual de camada de brita para local dentro do perímetro da obra, incluindo posterior reaplicação envolvida em manta geotextil, devidamente compactada, a aplicar na plataforma do edifício para drenar possíveis águas subterrâneas, incluindo tubagem em PVC PN6 de 125mm de diâmetro perfurado afastados 3.00m, com ligação às caixas de visitas do sistema de águas pluviais e colocação de novas caixas caso seja necessário.	m³	79,65	29,37 €	2 339,32 €
4.3	Escavação manual para afundamento de caixa para laje térrea do edifício, incluindo limpeza, carga, transporte a vazadouro do empreiteiro dos produtos sobrantes ou em estaleiro para posterior aterro.	m³	29,21	32,31 €	943,78 €
4.4	Betão armado com C20/25 e aço A400NR em pilares e lajes maciças incluído cofragem, descofragem e demais trabalhos e materiais necessários à sua execução em laje térrea.	m³	79,65	192,94 €	15 367,67 €
4.5	Betonilha de regularização com 4 cm de espessura em duas camadas independentes, uma por cima da brita para suporte do isolamento térmico e outra para regularização da base para assentamento do revestimento do piso. <b>NOTA:</b> • O preço apresentado é só para uma esp. de 4 cm, confirmar se a área já está duplicada ou não;	m²	531,00	4,93 €	2 617,83 €

EMPREITADA: Remodelação de Edifício Escolar  
 LOCAL: Ansião  
 DONO DE OBRA: --



Alvira n.º 62771

Ref.º : 000V0-2017-JC

Data: 06/03/2017

PROPOSTA DE PREÇO

Código	Descrição	Un	Quant.	P. Unitário	Preço Total
					<b>100 124,48 €</b>
4.6	Fornecimento e aplicação de revestimento a mosaico ceramico 30x30 tipo Pecer "série projectos" ou equivalente, incluindo cola de assentamento, cortes, remates, juntas betumadas, bem como todos os trabalhos e fornecimentos acessórios ou complementares, conforme desenhos de pormenor.	m²	86,84	24,81 €	2 154,50 €
4.7	Fornecimento e aplicação de revestimento Linóleo Armstrong (Lotus Plus) Cenit 410-52 ou equivalente, incluindo a execução de rodapé no mesmo material conforme indicado pelo fabricante, bem como todos os trabalhos e acessórios complementares.	m²	174,83	47,09 €	8 232,74 €
4.8	Levantamento com aproveitamento e reassentamento de louças sanitárias, incluindo torneiras e acessórios.				
	Sanitas	un	4,00	49,28 €	197,12 €
	Lavatórios	un	5,00	35,59 €	177,95 €
	Base de chuveiro	un	1,00	136,88 €	136,88 €
4.9	Levantamento com aproveitamento e reassentamento de portas e mobiliário.				
	Portas	un	12,00	82,13 €	985,56 €
	Armários 2,25x2,10	un	1,00	114,98 €	114,98 €
	Armários 1,95x2,10	un		98,55 €	
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>36 443,75 €</b>

**5 Melhoria na Ventilação**

5.1	Fornecimento e aplicação de grelhas de ventilação reguláveis, em alumínio anodizado de cor cinza, incluindo abertura nas paredes e remates de acabamento.				
	Área livre 30cmx30cm	un	8,00	46,54 €	372,32 €
	Área livre 40cmx30cm	un	2,00	52,02 €	104,04 €
	Área livre 110cmx30cm	un	4,00	119,25 €	477,00 €
	Área livre 120cmx30cm	un	4,00	129,11 €	516,44 €
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>1 469,80 €</b>

**6 Melhoria no Aquecimento Ambiente**

6.1	Fornecimento e montagem de caldeira de aquecimento central a gasóleo modelo Argenta GT Condensa 50, refº 7625087 da Roca ou equivalente. Considera-se o aproveitamento da instalação existente, bombas de circulação, instalação de combustível e depósito de água.	un	1,00	3 258,72 €	3 258,72 €
<b>Total do Sub-Capítulo</b>					<b>3 258,72 €</b>

EMPREITADA: Remodelação de Edifício Escolar  
LOCAL: Ansão  
DONO DE OBRA: --



Alvára n.º 62771

Ref.º : 000V0-2017-JC

Data: 06/03/2017

PROPOSTA DE PREÇO

Código	Descrição	Un	Quant.	P. Unitário	Preço Total
					<b>100 124,48 €</b>
<b>TOTAL DO CAPITULO</b>					<b>100 124,48 €</b>
<b>TOTAL DA PROPOSTA</b>					<b>100 124,48 €</b>

*(Cem mil, cento e vinte e quatro euros e quarenta e oito cêntimos)*

*Aos valores mencionados acresce IVA à taxa legal em vigor.*