

Mariana Isabel Almeida Santos

Avaliação do desempenho higrotérmico de ginásios:
qualidade do ambiente interior e risco de condensação



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



RESUMO

A preocupação com o bom funcionamento térmico dos edifícios tem vindo a tornar-se cada vez mais importante, levando a um maior interesse no estudo do conforto térmico de todo o tipo de espaços, habitações, salas de aula, bibliotecas. No entanto, os estudos deste tipo de matéria em ginásios, onde a atividade metabólica é muito elevada, ainda não são muito comuns.

Nesta dissertação foi realizada uma campanha de monitorização do ambiente interior em três ginásios da região de Viseu. Esta campanha decorreu entre janeiro e maio de 2015, tendo sido medido em contínuo os seguintes parâmetros: temperatura do ar, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono (CO_2). Esta informação foi utilizada para avaliar o conforto térmico através de duas metodologias: o método proposto pela ASHRAE e o método da norma EN 15251. Foi ainda estimada a percentagem de insatisfeitos em função da concentração de CO_2 segundo o estipulado na norma ASTM D6245. Num dos casos de estudo foi efetuado um inquérito aos utilizadores para aferir a sua perceção relativamente ao conforto higrotérmico e à qualidade do ar interior.

Paralelamente, num dos casos de estudo, foi desenvolvido um trabalho para avaliar o risco de condensação e de desenvolvimento de fungos e bolores. Para tal, registou-se em contínuo a temperatura superficial em seis zonas distintas. O risco de condensação foi avaliado segundo dois critérios e o de desenvolvimento de fungos e bolores foi avaliado através da metodologia assente na utilização de isopletras. Foi ainda utilizado o programa WUFI-Bio.

ABSTRACT

The concern with buildings' thermal performance has become increasingly important, leading to a growing interest in the study of thermal comfort of all kinds of spaces, such as houses, classrooms, libraries. However, studies of this nature in gymnasiums, where the metabolic activity is very high, are not very common.

In this work a monitoring campaign for the assessment of the indoor environment in three gymnasiums in Viseu region was made. This campaign took place between January and May 2015, and the following parameters were measured in continuum: air temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration (CO_2). This information was used to evaluate the thermal comfort through two methods: the method proposed by ASHRAE and the method of EN 15251. It was also estimated the percentage of dissatisfied people as a function of CO_2 concentration as stipulated in ASTM D6245. In one gymnasium a survey was also conducted to assess users' perception regarding the hygrothermal comfort and indoor air quality.

Moreover, in one gymnasium, an experiment to assess the risk of condensation and development of fungi and molds was conducted. To this end, surface temperature in six different areas were gathered in continuum for the same period. The risk of condensation was evaluated according two pre-established criteria and the development of fungi and molds was evaluated using the methodology based on the use isopleth diagrams. It was also used WUFI-Bio program.

PALAVRAS CHAVE

Concentração de dióxido de carbono
Conforto higrotérmico
Ginásios
Risco de aparecimento de fungos e bolores
Risco de condensação

KEY WORDS

Carbon dioxide concentration

Hygrothermal comfort

Gymnasiums

Mould growth risk assessment

Condensation risk assessment

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível devido à contribuição e ao apoio prestados por um conjunto de pessoas, às quais desejo manifestar o meu profundo e sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, pela total disponibilidade, por todo o apoio prestado, dedicação, paciência, compreensão, boa disposição e pela partilha de conhecimentos e sugestões durante o estudo realizado.

Aos meus pais pelo apoio incondicional em todos os momentos, sem eles nada disto seria possível.

À minha irmã que sempre valorizou e compreendeu a minha luta diária e dedicação a este trabalho.

Às minhas amigas pela alegria, força e compreensão que me transmitiram nesta etapa da minha vida.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE QUADROS	xviii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivo do trabalho	1
1.3 Organização e estrutura do trabalho	2
2. Estado da arte.....	5
2.1 Conforto higrotérmico	5
2.1.1 Parâmetros que influenciam o conforto térmico.....	6
2.1.2 Modelos de conforto térmico.....	8
2.1.3 Qualidade do ar interior	11
2.2 Critérios de risco de condensação.....	13
2.2.1 Parâmetros que influenciam as condensações superficiais	17
2.3 Critérios para a avaliação do risco de aparecimento de bolores e fungos.....	18
2.3.1 Método desenvolvido por Sedlbauer	20
2.3.2 WUFI-Bio.....	21
2.4 Estudos já realizados.....	24
2.4.1 Avaliação do risco de condensação	24
2.4.2 Avaliação do risco de aparecimento de bolores e fungos.....	24
3. Metodologia do estudo	27
3.1 Descrição dos casos de estudo	27
3.1.1 Caso 1	27
3.1.2 Caso 2	30
3.1.3 Caso 3	33
3.2 Equipamentos.....	35
3.3 Estratégia de monitorização.....	37

3.3.1	Conforto higrotérmico.....	37
3.3.2	Qualidade do ar interior	41
3.3.3	Risco de condensação e de aparecimento de bolores e fungos	42
4.	Avaliação do conforto higrotérmico	45
4.1	Introdução.....	45
4.2	Casos de estudo	46
4.2.1	Caso 1.....	46
4.2.2	Caso 2.....	61
4.2.3	Caso 3.....	70
4.3	Discussão final	80
5.	Avaliação do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores	87
5.1	Risco de condensação.....	87
5.2	Risco de aparecimento de fungos e bolores	93
6.	Conclusões	105
6.1	Conclusões gerais	105
6.2	Desenvolvimentos futuros	106
	REFERÊNCIAS.....	107
	Anexo I- Estudo do conforto higrotérmico	111
	Anexo II- Estudo do risco de condensação-caso estudo 1	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Zona de conforto térmico segundo o método gráfico de determinação da zona de conforto para ambientes interiores típicos (ASHRAE 55, 2010)	9
Figura 2-2: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de EN 15251, 2006)	10
Figura 2-3: Produção de CO ₂ e consumo de oxigénio em função da atividade física (D6245 – 12, 2014).....	12
Figura 2-4: Percentagem de insatisfeitos em função da concentração de CO ₂ (ASTM D6245-12, 2014).....	13
Figura 2-5: Diagrama psicométrico (ASHRAE, 2010)	15
Figura 2-6: Esquemas representativos do risco de condensação (Freitas, 2008)	15
Figura 2-7: Estimativa de produção de vapor de água em diferentes atividades e temperaturas do local (Duarte, 2010).....	18
Figura 2-8: Crescimento de fungos em várias zonas (adaptado Kunzel, 2008)	19
Figura 2-9: Crescimento em função da humidade relativa (adaptado Kunzel, 2008)	19
Figura 2-10: a) Probabilidade de crescimento em função da humidade relativa e temperatura; b) Gama de temperatura para o desenvolvimento das espécies (adaptado de Kunzel, 2008) ..	20
Figura 2-11: Gráfico de germinação do esporo, modificado de Smith e Hill (1982).....	21
Figura 2-12: Tipo de substrato (Sedlbauer, 2001).....	22
Figura 2-13: Janela de introdução dos dados de entrada do WUFI-Bio.....	22
Figura 2-14: Representação gráfica da variação horária da humidade relativa e da temperatura	23
Figura 2-15: Output do WUFI-Bio representando as variações do teor de humidade crítico e no esporo ao longo do tempo.....	23
Figura 2-16: Output do WUFI-Bio que representa o crescimento dos fungos em função do tempo	23
Figura 3-1: Localização do caso de estudo 1	28
Figura 3-2: Fachada orientada a sul, a) exterior, b) interior	29
Figura 3-3: Fachada orientada a este, a) exterior, b) interior	29
Figura 3-4: Fachada orientada a norte, a) exterior, b) interior	29
Figura 3-5: Localização do caso de estudo 2.....	30
Figura 3-6: Fachada orientada a sul, a) exterior, b) interior	31
Figura 3-7: Fachada orientada a oeste, a) exterior, b) interior	32
Figura 3-8: Fachada orientada a norte, a) exterior, b) interior	32
Figura 3-9: Localização do caso de estudo 3.....	33
Figura 3-10: Fachada orientada a este, a) exterior, b) interior	34
Figura 3-11: <i>data logger mikromec</i> utilizado. a1) Termopar T; a2) <i>data logger mikromec</i> ; b) Posicionamento do equipamento durante os ensaios experimentais com os termopares ligados	35

Figura 3-12: a) Medidor de CO ₂ utilizado; b) Posicionamento do equipamento durante a monitorização.....	36
Figura 3-13: <i>Data logger</i> utilizado no registo da temperatura e humidade relativa do ar.....	36
Figura 3-14: Localização dos equipamentos.....	38
Figura 3-15: Inquérito distribuído no caso de estudo 1.....	39
Figura 3-16: Localização dos <i>data loggers</i> no caso 2.....	40
Figura 3-17: Localização dos <i>data loggers</i> no caso 3.....	41
Figura 3-18: Localização do <i>data logger</i> no caso de estudo 2.....	42
Figura 3-19: Zonas em estudo.....	43
Figura 4-1: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1..	46
Figura 4-2: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 1.....	47
Figura 4-3: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 1.....	47
Figura 4-4: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 1.....	47
Figura 4-5: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 1.....	49
Figura 4-6: Humidade relativa interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1.....	50
Figura 4-7: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 1.....	50
Figura 4-8: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 1.....	50
Figura 4-9: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 1.....	51
Figura 4-10: Histogramas mensais da humidade relativa – caso de estudo 1.....	52
Figura 4-11: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1.....	53
Figura 4-12: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 1.....	53
Figura 4-13: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 1.....	53
Figura 4-14: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 1.....	54
Figura 4-15: Variação do CO ₂ na 2 ^a semana da campanha do caso de estudo 1.....	54
Figura 4-16: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 1.....	55
Figura 4-17: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 1.....	56
Figura 4-18: Opinião dos inquiridos em relação à temperatura desejada: a) 1 ^a fase, b) 2 ^a fase.....	57
Figura 4-19: Opinião dos inquiridos em relação à sensação térmica a) 1 ^a fase, b) 2 ^a fase.....	57
Figura 4-20: Opinião dos inquiridos em relação à humidade relativa desejada a) 1 ^a fase, b) 2 ^a fase.....	58
Figura 4-21: Opinião dos inquiridos em relação à qualidade do ar a) 1 ^a fase, b) 2 ^a fase.....	58
Figura 4-22: Opinião dos inquiridos em relação ao odor a) 1 ^a fase, b) 2 ^a fase.....	59
Figura 4-23: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2	61
Figura 4-24: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 2.....	61
Figura 4-25: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 2.....	62
Figura 4-26: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 2.....	62
Figura 4-27: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 2.....	63

Figura 4-28: Humidade relativa interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2.....	64
Figura 4-29: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 2	64
Figura 4-30: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 2.....	65
Figura 4-31: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 2	65
Figura 4-32: Histogramas mensais da humidade relativa – caso de estudo 2	66
Figura 4-33: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2	67
Figura 4-34: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 2	67
Figura 4-35: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 2.....	67
Figura 4-36: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 2	68
Figura 4-37: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 2.....	69
Figura 4-38: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 2.....	69
Figura 4-39: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 3.....	70
Figura 4-40: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 3	71
Figura 4-41: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 3.....	71
Figura 4-42: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 3	71
Figura 4-43: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 3	73
Figura 4-44: Humidade relativa interior e exterior nos meses de janeiro/fevereiro – caso de estudo 3.....	74
Figura 4-45: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 3	74
Figura 4-46: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 3.....	75
Figura 4-47: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 3	75
Figura 4-48: Histogramas mensais da humidade relativa - caso de estudo 3.....	76
Figura 4-49: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 3	77
Figura 4-50: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 3	77
Figura 4-51: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 3.....	77
Figura 4-52: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 3.....	78
Figura 4-53: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 3.....	79
Figura 4-54: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 3.....	79
Figura 4-55: Percentagem de desconforto no método adaptativo sugerido pela EN 15251 nos casos de estudo	80
Figura 4-56: Histogramas mensais da concentração de CO ₂ – caso de estudo 1.....	82
Figura 4-57: Histogramas mensais da concentração de CO ₂ – caso de estudo 2.....	83
Figura 4-58: Histogramas mensais da concentração de CO ₂ – caso de estudo 3.....	84
Figura 4-59: Percentagem de insatisfeitos de acordo com a norma ASTM D6245	85
Figura 5-1: Zonas em estudo	87
Figura 5-2: Esquema base de cálculo da temperatura ponto de orvalho	88

Figura 5-3: Esquema base de cálculo dos dois critérios	88
Figura 5-4: Análise gráfica do risco de condensação na primeira semana da campanha	89
Figura 5-5: Análise gráfica do risco de condensação no dia 26 de janeiro.....	89
Figura 5-6: Critérios do risco de condensação na 1ªsemana da campanha.....	90
Figura 5-7: Condensações na caixilharia no caso de estudo 1	90
Figura 5-8: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de janeiro e fevereiro	91
Figura 5-9: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de março	91
Figura 5-10: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de abril	91
Figura 5-11: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de maio	92
Figura 5-12: Critérios do risco de condensação do total período da campanha	92
Figura 5-13: Variação da temperatura superficial e temperatura ponto de orvalho no período total da campanha.....	93
Figura 5-14: Esquema de cálculo da humidade relativa superficial de cada zona.....	94
Figura 5-15: Gráfico modificado de germinação do esporo (adaptado de Smith e Hill, 1982)94	
Figura 5-16: Canto com desenvolvimento de fungos e bolores no caso de estudo 1	95
Figura 5-17: Tabela de base de dados para a 1ªsemana do estudo na zona corrente _ caixilharia.....	95
Figura 5-18: Pontos do total da campanha de cada zona	96
Figura 5-19: Pontos do total da campanha da ZC_caixilharia e ZC_azul.....	96
Figura 5-20: Pontos do total da campanha da ZC_ptinta e na PTP_viga	97
Figura 5-21: Pontos do total da campanha da PTP_pilar e na PTP_est.....	97
Figura 5-22: Percentagem de pontos por grupo em cada zona	98
Figura 5-23: Sequência de avaliação do risco de aparecimento de fungos e bolores	99
Figura 5-24: Janela de <i>inputs</i> do WUFI-Bio no caso de estudo 1.....	99
Figura 5-25: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da zc_caixilharia.....	100
Figura 5-26: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores	100
Figura 5-27: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da zc_azul	100
Figura 5-28: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores	101
Figura 5-29: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_ptinta	101
Figura 5-30: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores	101
Figura 5-31: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_viga	102
Figura 5-32: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores	102
Figura 5-33: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_pilar	102
Figura 5-34: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores	103
Figura 5-35: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_est.....	103

Figura 5-36: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores..... 103

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Gama de temperaturas aceitáveis para cada categoria de ambiente térmico (adaptado de EN 15251, 2006)	11
Quadro 2-2: Dias consecutivos de exposição para cada classe.....	20
Quadro 3-1: Caraterização construtiva	28
Quadro 3-2: Caraterização geométrica	30
Quadro 3-3: Caraterização construtiva	31
Quadro 3-4: Caraterização geométrica	33
Quadro 3-5: Caraterização construtiva	34
Quadro 3-6: Caraterização geométrica	34
Quadro 4-1: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 1.....	48
Quadro 4-2: Análise estatística mensal da humidade relativa – caso de estudo 1	51
Quadro 4-3: Análise estatística mensal da concentração de CO ₂ – caso de estudo 1	55
Quadro 4-4: Análise geral do caso de estudo 1	60
Quadro 4-5: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 2.....	62
Quadro 4-6: Análise estatística mensal	65
Quadro 4-7: Análise estatística mensal da concentração de CO ₂ – caso de estudo 2.....	68
Quadro 4-8: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 3.....	72
Quadro 4-9: Análise estatística mensal da humidade relativa – caso de estudo 3	75
Quadro 4-10: Análise estatística mensal	78

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

A preocupação com o bom funcionamento térmico dos edifícios tem vindo a tornar-se cada vez mais importante, levando a um maior interesse no estudo do conforto térmico de todo o tipo de espaços, habitações, salas de aula, bibliotecas. No entanto, os estudos deste tipo de matéria em ginásios, onde a atividade metabólica é muito elevada, ainda não são muito comuns.

Um dos problemas mais comuns, no que diz respeito a higrotérmica de edifícios, são as condensações superficiais interiores, “A condensação pode ser descrita como a doença moderna dos edifícios” (Mendonça, 2005). A condensação superficial é um fenómeno muito comum no dia-a-dia de milhares de fogos podendo estar presentes em inúmeras e variadíssimas situações. Estes problemas são muito recorrentes e o caso de um ginásio é importante, uma vez que a temperatura e a humidade relativa do ar elevadas, no período de maior ocupação, podem conduzir a condensações superficiais nos elementos mais frios da envolvente. O desenvolvimento e crescimento de fungos e bolores na envolvente dos edifícios também está diretamente relacionado com a humidade e a temperatura do espaço, podendo colocar em causa a qualidade do ar interior.

1.2 Objetivo do trabalho

O principal objetivo deste trabalho consiste na realização de um estudo do desempenho higrotérmico, avaliando ainda o risco de condensações e de aparecimento de fungos e bolores

em ginásios. Nesse sentido, foram selecionados três casos de estudo localizados na região de Viseu.

Para cumprir este objetivo, foram definidos um conjunto de tarefas e objetivos parciais, que se basearam em:

- Compilar informação relacionada com o conforto higrotérmico e com o risco de condensação e de desenvolvimento de fungos e bolores, dando-se particular atenção ao caso particular dos ginásios;
- Selecionar os casos de estudo e programar uma campanha de monitorização *in situ* de grande duração;
- Preparar um inquérito para a avaliação da perceção dos utilizadores relativa ao conforto higrotérmico e à qualidade do ar interior;
- Tratar os resultados recolhidos na monitorização. Por um lado avaliando as condições de conforto através de modelos normalizados e, por outro lado, analisando o risco de ocorrência de condensação e de desenvolvimento de fungos e bolores.

1.3 Organização e estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 6 capítulos distintos:

- No capítulo 1 é apresentado o trabalho desenvolvido, mostrando o seu enquadramento geral assim como os principais objetivos a alcançar;
- No capítulo 2 são apresentados os conhecimentos existentes no domínio específico do conforto higrotérmico. Começa por apresentar a definição deste, identificando os parâmetros que influenciam a sensação de conforto higrotérmico. Posteriormente são apresentados e descritos dois modelos que possibilitam a sua avaliação. São também descritos os critérios para avaliar o risco de condensação e desenvolvimento de fungos e bolores;
- No capítulo 3 são expostos de uma forma mais específica os objetivos parciais do trabalho, apresentando-se a metodologia adotada no estudo, descrevendo-se também os casos de estudo;
- No capítulo 4, de carácter experimental, são apresentados os resultados da monitorização das condições ambientais nos três casos de estudo e é feita uma discussão dos mesmos;
- No capítulo 5, de carácter experimental, são efetuadas análises de risco de condensação e de aparecimento de fungos e bolores no caso de estudo 1. A avaliação é realizada em seis zonas, recorrendo a uma série de medições de temperaturas e humidade relativas superficiais;

- Por último, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões retiradas do presente trabalho, assim como algumas considerações para eventuais trabalhos futuros.

São ainda apresentados dois anexos:

- Anexo I- Estudo do conforto higrotérmico;
- Anexo II- Avaliação do risco de condensação.

2. Estado da arte

2.1 Conforto higrotérmico

O conforto higrotérmico é um assunto que tem atraído atenção especial por parte de vários investigadores devido a um conjunto de condicionantes como a escassez dos combustíveis, e consequente aumento do preço do petróleo, e as maiores exigências dos utilizadores dos espaços. Desta forma, a comunidade científica tem dirigido a sua atenção para os problemas do ambiente interior, quer em edifícios de habitação, quer noutros, como por exemplo o caso dos ginásios que são abordados nesta dissertação.

Um ginásio, como os outros espaços, tem de oferecer condições para que o usuário se sinta confortável no seu interior, uma vez que para além de ser fundamental para o seu bem-estar, pode influenciar a saúde de diversas formas: má qualidade do ar interior, aparecimento de fungos e outros micro-organismos, etc.

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante, independentemente das condições do clima. Para uma pessoa a desenvolver uma certa atividade poder estar confortável, é necessário que, pelo menos, o corpo esteja em equilíbrio térmico, isto é, que a energia produzida no interior do corpo seja igual à energia de perdas. Os mecanismos termo-reguladores do corpo humano têm como função manter a temperatura interna aproximadamente constante, obrigando a existir um equilíbrio entre o calor gerado internamente e as transferências para o meio ambiente (Almeida, 2014).

Este equilíbrio é traduzido pela equação de balanço térmico para o corpo humano:

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

Em que:

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

O conforto térmico pode ser definido pela sensação térmica expressa por pessoas sujeitas a essa avaliação, ou seja, define-se como "a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico" (ASHRAE 55, 2010). Com uma análise crítica da referência ao carácter psicológico dessa definição, "...condição da mente...", percebe-se que um possível estado de conforto térmico por parte de um indivíduo é não só influenciado por um conjunto de fatores físicos que determinam as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, mas também por fatores de carácter psicológico (Coelho, 2014).

O conforto ótimo pode definir-se como a sensação de bem-estar completo, físico e mental, e depende de variáveis que o influenciam e que devem ser avaliadas.

2.1.1 Parâmetros que influenciam o conforto térmico

A sensação de conforto térmico de qualquer indivíduo em relação ao ambiente circundante depende de diversos parâmetros.

Parâmetros Ambientais

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

A temperatura do ar é uma das variáveis mais importantes na determinação do conforto térmico e representa a temperatura de bolbo seco. Deve ser tida em conta na determinação da transferência de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente térmico (ISO 7726, 1998). A temperatura média radiante define-se como sendo a temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação que no espaço real não uniforme (ASHRAE 55, 2010). Na prática, a determinação do valor físico deste parâmetro é efetuada utilizando um termómetro de bolbo negro nas medições. A velocidade do ar é um parâmetro importante a ser considerado no

cálculo da sensação térmica devido à sua influência nas trocas de calor do organismo com o ambiente por convecção e por evaporação. Para além de possuir uma influência direta na percepção do conforto térmico global, também pode provocar desconforto localizado, devido a possíveis existências de correntes de ar (ISO 7730, 2005). A humidade relativa é normalmente usada com o objetivo de se obter a pressão parcial do vapor de água, p_a [Pa]. A pressão parcial do vapor de água corresponde à pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse sozinho todo o volume ocupado pelo ar húmido à mesma temperatura. Este vapor forma-se pela evaporação da água. A partir do momento em que o ar se encontra saturado ocorre o fenómeno de condensação provocando um aumento da temperatura da superfície onde ocorre. Este processo origina uma transferência de calor entre um corpo que perde calor por evaporação que será ganho por outro onde ocorre a condensação (Almeida, 2011). Segundo a norma ISO 7730 (2005), em ambientes moderados e atividades moderadas (considera ambiente moderado quando a temperatura do ar é inferior a 26 °C e atividade moderada quando a taxa de metabolismo é inferior a 2 met), a humidade relativa tem uma influência reduzida na sensação de conforto. Um aumento de 10% desta não seria mais do que um aumento de 0,3 °C da temperatura do ar. Esta influência vai aumentando com o aumento da temperatura e da atividade desenvolvida, podendo, portanto, ser relevante em estudos com a natureza do que foi desenvolvido no âmbito desta dissertação.

Parâmetros Individuais

Como variáveis individuais com influência no conforto térmico apresentam-se a atividade metabólica, M [met], e a resistência térmica do vestuário, I_{cl} [clo]. Ambos os parâmetros possuem valores de referência tabelados nas normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010). A atividade metabólica (também expressa como taxa de metabolismo) de um indivíduo representa a taxa de produção de energia do seu organismo quando está a realizar uma determinada atividade. Esta taxa varia de acordo com a atividade desenvolvida, sendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da atividade física. Na prática a unidade utilizada é o *met*, em que 1 met (1 met = 58,2 W/m²) corresponde à taxa produzida por unidade de área superficial do corpo de uma pessoa sentada em estado de repouso. Para outras atividades, as tabelas referidas anteriormente apresentam os respetivos valores, realçando no entanto que estas são apenas aplicáveis a adultos e para uma atividade constante e inalterável. Em situações de alternância de atividades, se estas em conjunto não durarem mais de uma hora, pode ser realizada uma média ponderada das atividades em função do tempo que cada uma foi exercida e utilizado o valor calculado como valor final da taxa de metabolismo. O vestuário é uma barreira protetora do corpo humano, servindo de resistência às trocas de calor entre o corpo e o ambiente devido à sua capacidade de isolamento térmico. A resistência térmica do vestuário caracteriza, portanto, a resistência oferecida pela roupa utilizada por uma pessoa. É expressa pela unidade *clo*, em que 1 clo (1 clo = 0,155 m²°C/W) corresponde a um homem de fato. O valor total da resistência do vestuário de um indivíduo pode ser obtido pelo

simples somatório dos valores da resistência de cada peça de roupa individual que ele utiliza. (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005).

Parâmetros Subjetivos

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

- Adaptação física: envolve qualquer ação tomada com vista a manter o conforto térmico, como por exemplo mudanças relativas ao espaço (abertura de janelas) ou à própria pessoa (alteração do vestuário ou consumo de bebidas quentes ou frias);
- Adaptação fisiológica: é representada pela capacidade do organismo em responder a mudanças térmicas ajustando-se fenotipicamente a elas, sendo este processo normalmente designado por aclimatização;
- Adaptação psicológica: engloba qualquer alteração da percepção e/ou expectativa de um dado ambiente térmico por parte de uma pessoa. Advém do facto de cada pessoa ter a sua própria cultura, os seus próprios hábitos e as suas próprias experiências; Estas formas de controlo adaptativo permitem a um indivíduo regular o seu balanço térmico com o ambiente envolvente, garantindo para si um papel mais ativo na obtenção de condições de conforto térmico (Matias, 2010).

2.1.2 Modelos de conforto térmico

O conforto térmico é extremamente complexo de analisar devido ao elevado número e diversidade de parâmetros que o influenciam. Nas últimas décadas foram realizados vários estudos e foram propostos diversos modelos para a avaliação do conforto térmico de um determinado ambiente interior. Nesta dissertação foram aplicados dois deles: o método gráfico da ASHRAE e o método da norma EN 15251.

2.1.2.1 Método gráfico da ASHRAE

A norma ASHRAE 55 (2010) propõe um método gráfico simplificado para avaliar as condições de conforto térmico (Figura 2-1), que é aplicável a ambientes com velocidades do ar inferiores a 0,2 m/s, onde as atividades dos ocupantes são sobretudo sedentárias, a que correspondem valores de actividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met, e estes apresentam vestuário com resistência térmica compreendida entre 0,5 e 1,0 clo, a que corresponde a

situação de Verão e a de Inverno, respetivamente. As zonas indicadas correspondem a uma situação de conforto térmico para 80% dos ocupantes, resultante do efeito conjunto de 10% de insatisfeitos devido a desconforto referente ao balanço térmico global (determinado a partir dos índices PMV-PPD) e os restantes 10% referentes a situações de desconforto térmico localizado.

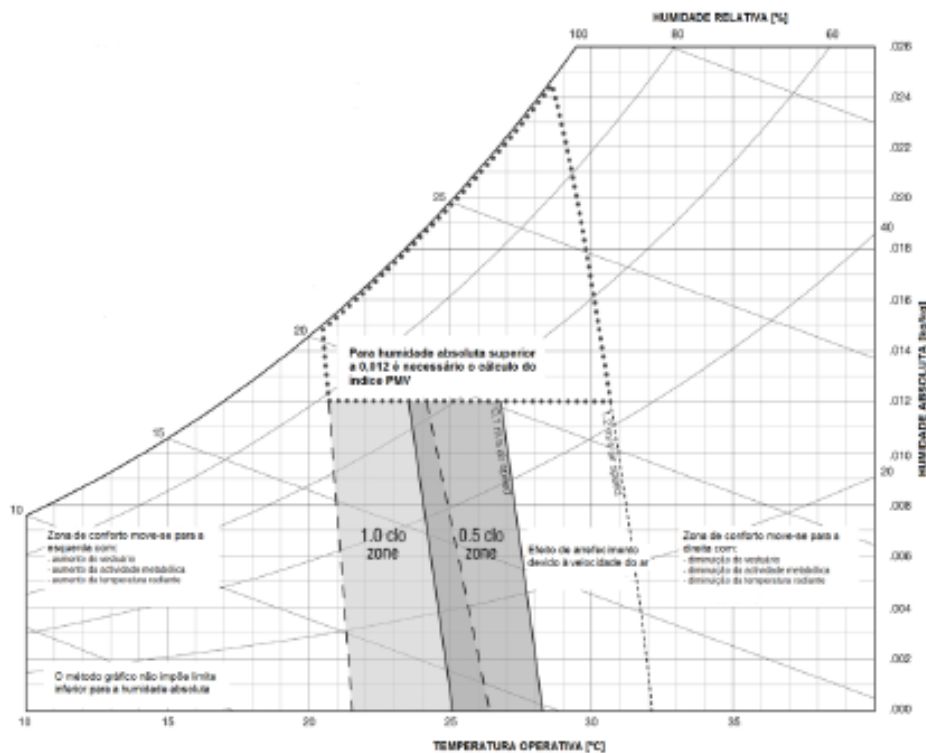


Figura 2-1: Zona de conforto térmico segundo o método gráfico de determinação da zona de conforto para ambientes interiores típicos (ASHRAE 55, 2010)

Os pressupostos subjacentes a este método não são compatíveis com as condições habitualmente encontradas no interior de um ginásio, onde a atividade metabólica é muito elevada e a quantidade de vestuário é reduzida. No entanto, apesar destas condicionantes, aproveitando a sua simplicidade de aplicação, optou-se por utilizar esta metodologia na avaliação do ambiente interior dos ginásios estudados neste trabalho. Contudo, a interpretação dos resultados obtidos foi realizada com o devido sentido crítico, tendo sempre presente esta limitação.

2.1.2.2 Modelo adaptativo da norma EN 15251

A norma EN 15251 (2006) propõe um modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico em espaços interiores. Este modelo define a temperatura operativa de conforto, θ_i , em função da temperatura exterior exponencialmente ponderada, θ_{rm} , através da equação (2-2).

$$\theta_i = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 \tag{2-2}$$

Em que:

θ_{rm}	[°C]	Temperatura exterior média exponencialmente ponderada dos últimos 7 dias
S	[W/m ²]	Acumulação de calor no corpo

A temperatura exterior exponencialmente ponderada contabiliza de uma forma exponencial as temperaturas médias diárias dos 7 dias anteriores ao dia em estudo, podendo ser calculada através da equação (2-3).

$$\theta_{rm} = \frac{\theta_{ed-1} + 0,8 \cdot \theta_{ed-2} + 0,6 \cdot \theta_{ed-3} + 0,5 \cdot \theta_{ed-4} + 0,4 \cdot \theta_{ed-5} + 0,3 \cdot \theta_{ed-6} + 0,2 \cdot \theta_{ed-7}}{3,8} \quad (2-3)$$

Em que:

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

Este modelo, cuja representação gráfica se encontra na Figura 2-2, pode ser aplicado para diferentes categorias de edifícios, desde que sem sistemas mecânicos de arrefecimento. De acordo com o grau de exigência desejado/imposto para o conforto térmico (percentagem de satisfeitos exigida), cada categoria apresenta uma gama aceitável de temperaturas, representadas no Quadro 2-1, que graficamente correspondem à amplitude em torno da temperatura operativa de conforto, θ_t .

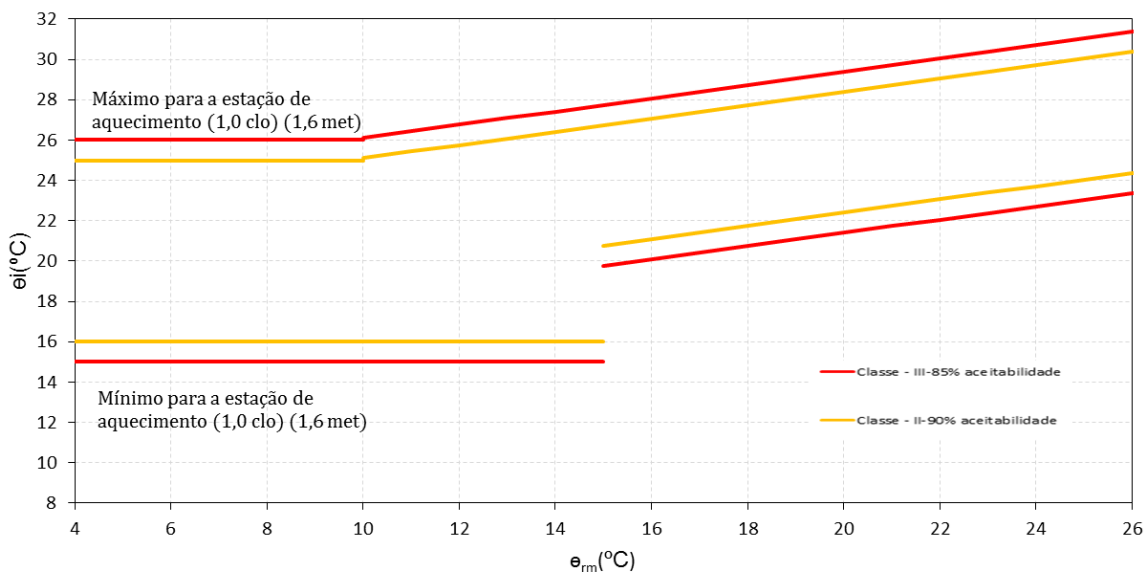


Figura 2-2: Modelo adaptativo de conforto térmico (adaptado de EN 15251, 2006)

Este modelo é especialmente indicado para estações de arrefecimento (verão), sendo no entanto de utilização viável para as estações de aquecimento (inverno). Neste caso, quando as temperaturas exteriores exponencialmente ponderadas são inferiores a 10 °C e 15 °C, respetivamente, os valores dos limites superiores e inferiores que delimitam a zona de conforto térmico podem ser considerados tal como se o edifício fosse climatizado. Nestas circunstâncias, os valores adotados são dependentes da resistência térmica do vestuário e da taxa de metabolismo e independentes das condições térmicas exteriores, partindo do pressuposto que nas estações frias, quer um edifício tenha ou não sistema mecânico de arrefecimento, terá sempre um sistema de aquecimento ativo (EN 15251, 2006; Nicol & Humphreys, 2010).

Quadro 2-1: Gama de temperaturas aceitáveis para cada categoria de ambiente térmico (adaptado de EN 15251, 2006)

Categoria	Estação de arrefecimento		Estação de aquecimento	
	Afastamento em torno da T_{op} (°C)		T_{op} (°C)	
			Atividade permanente (1,6 met)	
I	-2 °C	+2 °C	17,5	20,5
II	-3 °C	+3 °C	16	22
III	-4 °C	+4 °C	15	23
IV	--	--	--	--

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

2.1.3 Qualidade do ar interior

A Qualidade do Ar Interior (QAI) tem vindo a tornar-se um dos principais focos de investigação nos últimos anos, face à constatação da sua importância na saúde humana. Esta preocupação é justificada, em particular, nas áreas urbanas dos países mais desenvolvidos, pelo tempo de permanência em locais fechados, que se estima que seja superior a 90% do tempo diário.

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás gerado nos ambientes interiores, principalmente através do metabolismo humano, podendo ser exalado a uma taxa de cerca de 0,3 litros por minuto quando se executam tarefas leves (APA, 2009). O aumento da atividade física implica um crescimento da produção de CO₂ (Figura 2-3).

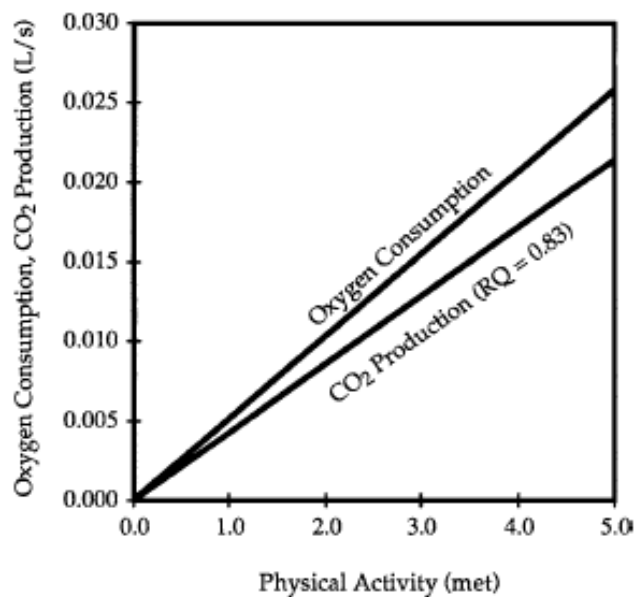


Figura 2-3: Produção de CO₂ e consumo de oxigênio em função da atividade física (D6245 – 12, 2014)

O CO₂ (também denominado anidrido carbônico ou gás carbônico) é um composto químico constituído por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. É um gás incolor e inodoro.

O CO₂ no interior dos edifícios deve-se essencialmente à função metabólica dos seus ocupantes e a sua concentração pode, sob determinadas circunstâncias, dar uma boa indicação da taxa de ventilação (Nascimento, 2011).

Norma ASTM D6245

A norma ASTM D6245 (2012) descreve procedimentos para a utilização de valores de CO₂ medidos no interior dos espaços, nomeadamente em avaliações da QAI. A norma descreve também uma metodologia para a determinação das taxas de geração de CO₂ em função do tamanho corporal e do nível de atividade física e a relação experimental entre a concentração de CO₂ e a aceitabilidade em termos de odor corporal.

A Figura 2-4 mostra a relação entre a percentagem de insatisfeitos num determinado local em função dos valores da concentração de CO₂ e a Equação (2-4) traduz matematicamente essa relação.

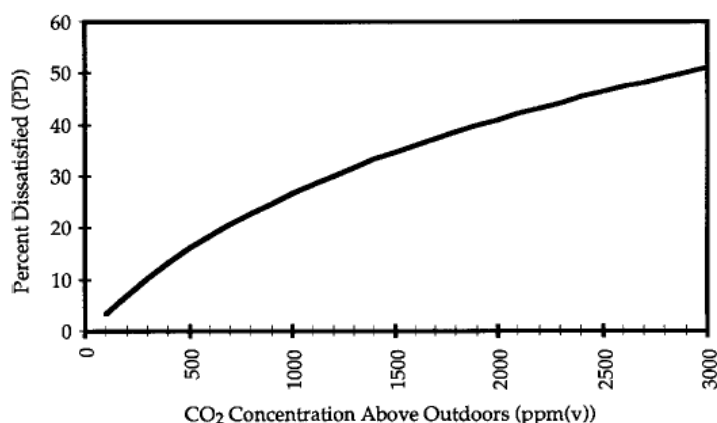


Figura 2-4: Percentagem de insatisfeitos em função da concentração de CO₂ (ASTM D6245-12, 2014)

$$PD = 395 \times e^{-15,15 \times CO_2(\text{ppm(v)})^{-0,25}} \quad (2-4)$$

Em que:

CO₂ (ppm(v)) Valor medido no interior subtraído do valor médio de CO₂ exterior na zona em estudo

2.2 Critérios de risco de condensação

A ocorrência de condensações dá origem ao aparecimento não programado de água nos elementos construtivos, podendo resultar no desenvolvimento de diversas formas de degradação.

A condensação em elementos construtivos é um fenómeno que depende da sua constituição, das condições climáticas existentes e dos mecanismos de comportamento do ar húmido. Sempre que, em determinadas condições, o ar contacta com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação para a temperatura em causa ocorrem condensações. O comportamento do ar húmido depende da temperatura e da quantidade de vapor de água que contém, habitualmente designada por humidade absoluta, podendo ser expressa em kg_{H2O}/kg_{ar seco}. Este vapor de água, existente por unidade de volume ou de massa de ar, exerce uma determinada pressão, que se designa por pressão parcial do vapor de água, que será tanto maior quanto mais vapor de água existir. No entanto, a quantidade de vapor de água que uma unidade de ar pode conter é finita, o que significa que acima desse valor o ar já não tem mais capacidade para absorver vapor de água, condensando as quantidades em excesso. A este valor limite da humidade absoluta atribui-se a designação de limite de saturação ao qual corresponde uma pressão limite designada por pressão de saturação. O

conceito de humidade relativa traduz a relação percentual entre a quantidade de vapor de água que existe por unidade de ar e o respetivo limite de saturação, ou seja a relação equivalente entre a pressão parcial e a pressão de saturação (Freitas, 2008).

$$HR = \frac{Ha}{Ws} \times 100 = \frac{pa}{Ps} \times 100 \quad (2-5)$$

Em que:

pa	[Pa]	Pressão parcial do vapor de água
Ps	[Pa]	Pressão de saturação

A questão torna-se um pouco mais complicada na medida em que o limite de saturação não é constante, variando com a temperatura. É assim que se explica que o ar aumenta de humidade relativa quando arrefece, e diminui a humidade relativa quando aquece, em qualquer dos casos mantendo-se constante a humidade absoluta. Nestas condições, sempre que o ar contacta com zonas mais frias dos elementos de construção, o valor da humidade absoluta pode ultrapassar o limite de saturação, ocorrendo condensações.

As relações existentes entre as humidades absoluta, a humidade relativa e a temperatura do ar podem ser expressas através de um diagrama específico, designado por diagrama psicrométrico, representado na Figura 2-5.

O risco de ocorrência de condensações pode ser minimizado pela introdução de isolamento nos elementos construtivos, aumentando assim a sua temperatura superficial, ou alterando as propriedades do ar húmido, diminuindo a sua humidade relativa. A Figura 2-6 ilustra graficamente a influência do isolamento e da humidade relativa no risco de condensações. A escolha por um maior isolamento leva a uma menor diferença de temperatura entre a superfície e a temperatura do ar interior – Figura 2-6 (de A para B), e conseqüentemente uma diminuição do risco de condensações. Uma humidade relativa mais baixa levará, também, a um menor risco de condensação superficial interior – Figura 2-6 (de A para A1 e de B para B1) (Duarte,2010).

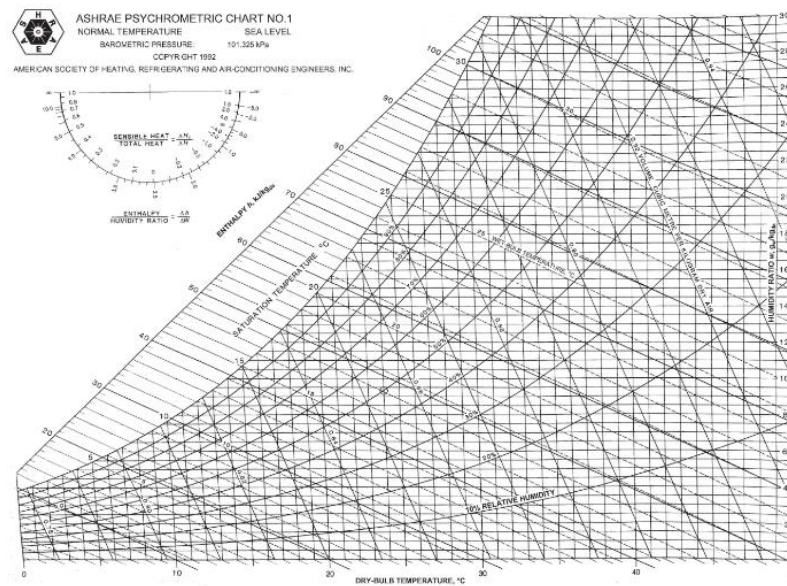


Figura 2-5: Diagrama psicrométrico (ASHRAE, 2010)

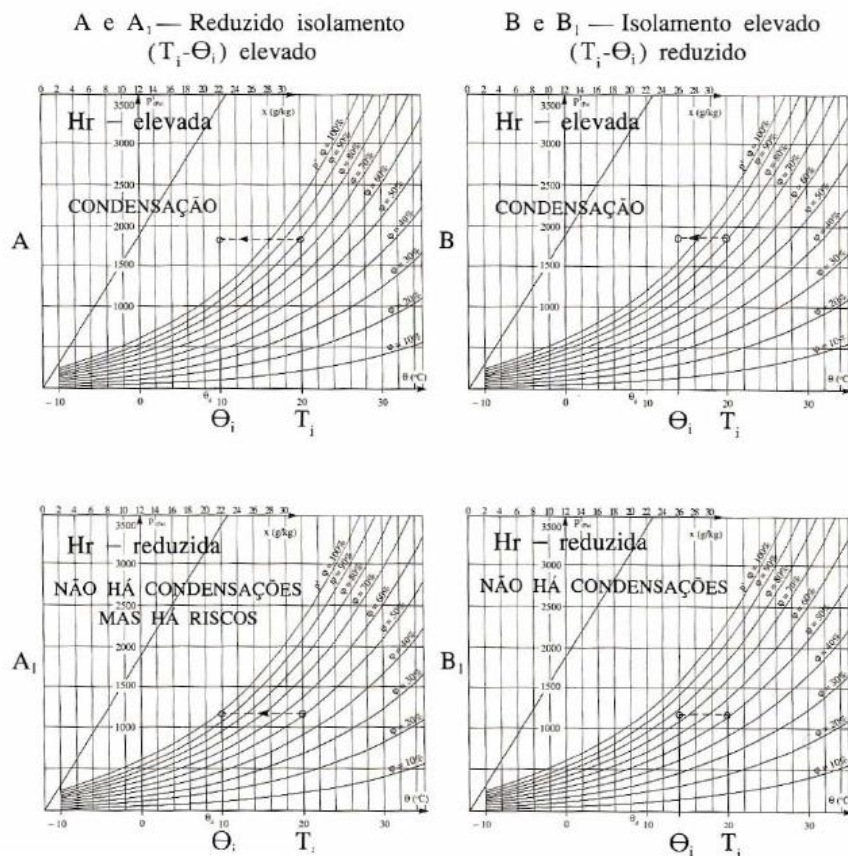


Figura 2-6: Esquemas representativos do risco de condensação (Freitas, 2008)

Para avaliar o risco de condensação recorre-se habitualmente ao cálculo da temperatura de ponto de orvalho que corresponde à temperatura abaixo da qual o vapor de água condensa, ou

seja, a temperatura para a qual o vapor de água presente na atmosfera, a uma determinada pressão, passa do estado gasoso ao estado líquido.

A temperatura de ponto de orvalho pode ser determinada através do diagrama psicrométrico que trata das propriedades termodinâmicas do ar húmido.

A temperatura de ponto de orvalho também pode ser determinada através da equação 2-6, a partir da humidade relativa e da temperatura do ar (adaptado de Freitas, 2008).

$$T_{po} = \frac{237,7 \left[\frac{17,271 \times T_{ar}}{237,7 + T_{ar}} + \ln \left(\frac{HR}{100} \right) \right]}{\left[17,21 - \frac{17,21 \times T_{ar}}{237,7 + T_{ar}} + \ln \left(\frac{HR}{100} \right) \right]} \quad (2-6)$$

Em que:

T_{po}	[°C]	Temperatura de ponto de orvalho
T_{ar}	[°C]	Temperatura do ar ambiente
HR	[%]	Humidade relativa do ar

Para avaliar a ocorrência de condensações superficiais pode comparar-se a temperatura superficial do elemento construtivo com a temperatura de ponto de orvalho, ou seja, sempre que a temperatura superficial for inferior à temperatura ponto de orvalho ($T_{po} > T_{sup}$) há ocorrência de condensações (Silva, 2013). A diferença entre ambas é por vezes designada de potencial de condensação (Equação 2-7).

$$PC = T_{sup} - T_{po} \quad (2-7)$$

Em que:

PC	[°C]	Potencial de condensação
T_{sup}	[°C]	Temperatura da superfície
T_{po}	[°C]	Temperatura ponto de orvalho

O valor acumulado do potencial de condensação positivo por um dado período de tempo permite estimar a quantidade de vapor de água que condensa nesse período de tempo.

2.2.1 Parâmetros que influenciam as condensações superficiais

Humidade relativa

A variação da humidade relativa do ar interior, ao longo do tempo, num determinado espaço dentro de um edifício depende da humidade absoluta e da temperatura interiores. Por sua vez a humidade absoluta depende essencialmente dos seguintes fatores:

- Produção de vapor pelos utilizadores e suas atividades;
- Ventilação;
- Humidade absoluta exterior;
- Trocas de vapor com elementos interiores.

Assim, torna-se clara a complexidade que reveste o estudo deste parâmetro. O valor da humidade relativa ideal deveria situar-se entre 30% e 55% para evitar o risco de ocorrência de condensações nos elementos construtivos (Duarte, 2010).

Temperatura interior

A temperatura interior é, obviamente, um parâmetro fundamental na avaliação do risco de condensação e dependente de fatores como:

- Produção de calor pelos utilizadores e suas atividades;
- Produção de calor pelos sistemas de aquecimento;
- Ventilação;
- Nível de desempenho térmico da envolvente;
- Temperatura exterior;
- Ganhos solares.

Ventilação

A renovação de ar é, muitas vezes, uma boa forma de reduzir a quantidade de humidade contida no ar de um ambiente interior. A renovação e circulação de ar no interior permitem a mistura de diferentes massas de ar, equilibrando a sua constituição e promovendo uma humidade relativa uniforme.

Produção de vapor de água

Num edifício a produção de vapor de água, ao longo do dia, pode experimentar alterações significativas, dependendo essencialmente da natureza das atividades desenvolvidas no seu interior. No Figura 2-7 apresentam-se alguns valores da produção de vapor relativos a várias

atividades que habitualmente ocorrem no interior dos edifícios, destacando-se a produção associada a atividades que ocorrem em ginásios.

Actividade dos indivíduos	Tipo de edifício	Temperatura do local (°C)				
		28	27	26	24	21
		Produção de vapor (g/h)	Produção de vapor (g/h)	Produção de vapor (g/h)	Produção de vapor (g/h)	Produção de vapor (g/h)
Sentado	Teatro, escola primária	65	60	58	45	36
Sentado	Escola secundária	80	75	70	60	50
Trabalhar	Escritório, hotel, loja	100	95	90	80	60
Trabalhar	Drogaria, banco	120	115	105	95	80
Trabalhar	Restaurante	135	125	115	100	90
Dançar	Estúdio	240	225	215	200	170
Correr (5km/h)	Ginásio	280	265	250	230	200
Exercício	Ginásio (trabalho pesado)	375	370	360	350	320

Figura 2-7: Estimativa de produção de vapor de água em diferentes atividades e temperaturas do local (Duarte, 2010)

Condições exteriores

As condições exteriores são uma condicionante fundamental na análise do risco de condensações no interior de um edifício, na medida em que o clima interior está, obviamente, ligado ao clima exterior. Esta influência será tanto maior quanto maior for o fluxo de ar exterior que penetra num edifício e quanto menos isolada for a envolvente do edifício (Duarte, 2010).

2.3 Critérios para a avaliação do risco de aparecimento de bolores e fungos

O desenvolvimento de fungos nos elementos construtivos é a patologia que mais facilmente indica que a humidade relativa do ar é demasiado elevada ou que a temperatura superficial é demasiado baixa. As superfícies dos elementos onde os fungos se desenvolvem ficam danificadas, afetando visualmente a imagem do compartimento em questão, que conseqüentemente provocará um desconforto aos seus utilizadores. Assim, a humidade relativa interior pode afetar a saúde dos utilizadores dos edifícios, nomeadamente através do desenvolvimento de fungos em espaços interiores. Estes riscos incluem doenças como micoses, micotoxicoses e alergias (Duarte, 2010).

A Figura 2-8 mostra as zonas mais críticas, mais frias, sujeitas ao aparecimento de fungos.



Figura 2:8: Crescimento de fungos em várias zonas (adaptado Künzel, 2008)

Na Figura 2-9 pode observar-se que várias espécies de fungos só se desenvolvem a partir dos 65% de humidade relativa.

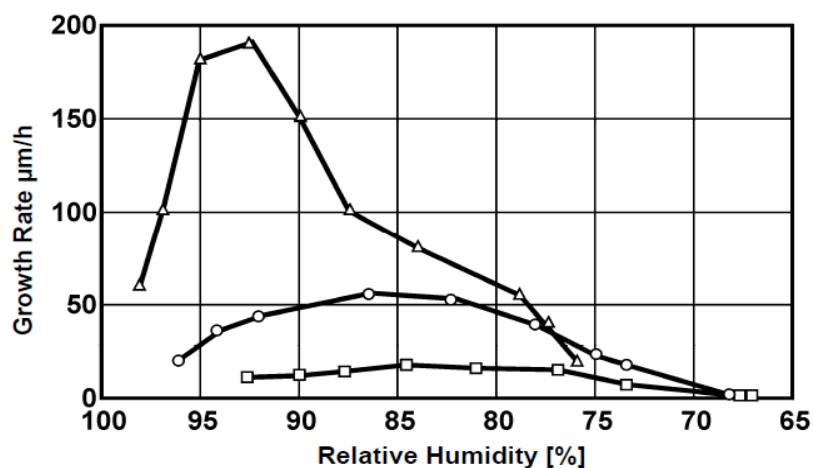


Figura 2:9: Crescimento em função da humidade relativa (adaptado Künzel, 2008)

Na Figura 2-10a) pode observar-se a probabilidade de ocorrência do crescimento de fungos e bolores em função da temperatura e da humidade relativa e a Figura 2-10b) apresenta a temperatura ideal de desenvolvimento de várias espécies.

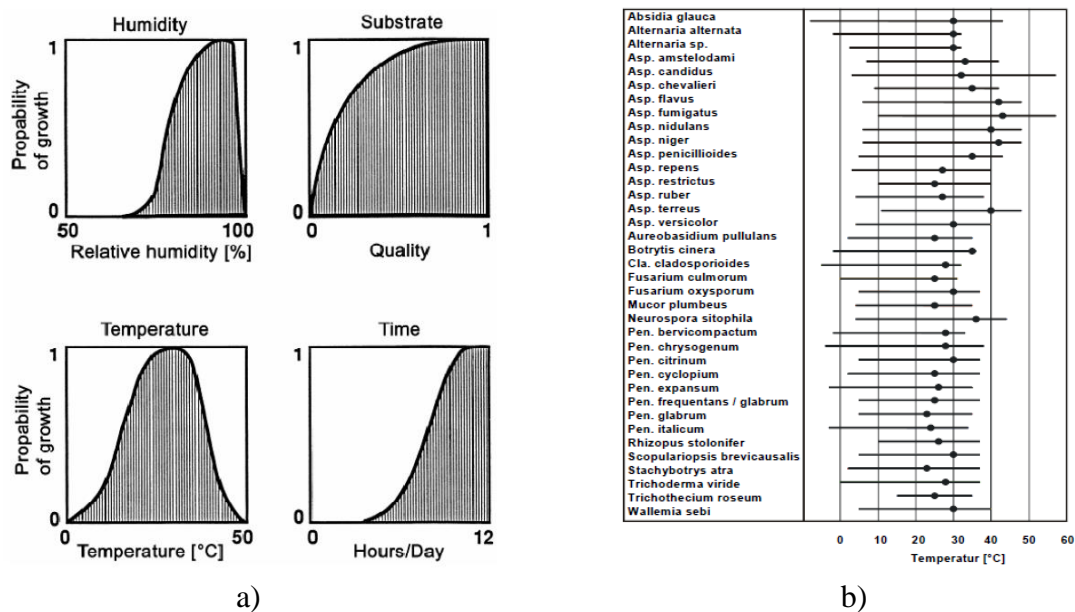


Figura 2:10: a) Probabilidade de crescimento em função da humidade relativa e temperatura; b) Gama de temperatura para o desenvolvimento das espécies (adaptado de Künzel, 2008)

2.3.1 Método desenvolvido por Sedlbauer

O método proposto por Sedlbauer (2001) sugere uma representação gráfica para a avaliação do risco de desenvolvimento de fungos em função das condições superficiais de temperatura e humidade relativa. De acordo com esta metodologia, o risco de desenvolvimento de fungos está associado à duração do período de exposição consecutiva às condições críticas de temperatura e humidade relativa, estando definidas seis classes de risco (Quadro 2-2). Assim, para as condições superficiais menos críticas é necessário uma exposição durante 32 dias consecutivos; por outro lado, nas condições mais favoráveis é suficiente 1 dia para se iniciar o desenvolvimento dos fungos.

Quadro 2-2: Dias consecutivos de exposição para cada classe

Classe	Nº de dias consecutivos de exposição
I	1
II	2
III	4
IV	8
V	16
VI	32

A Figura 2-11 mostra a referida representação gráfica associada a este modelo. Este gráfico foi estabelecido com base nos isopleta (curvas com valores idênticos para ocorrência de risco dos vários tipos de grupos) de *Aspergillus restrictus*, que foram derivadas a partir das experiências relatadas por Smith (1982) e Ayerst (1969). Segundo Moon (2005) a representação gráfica para esta espécie de fungos pode ser aplicada a todas as espécies devido à semelhança das isopletas geradas para cada uma.

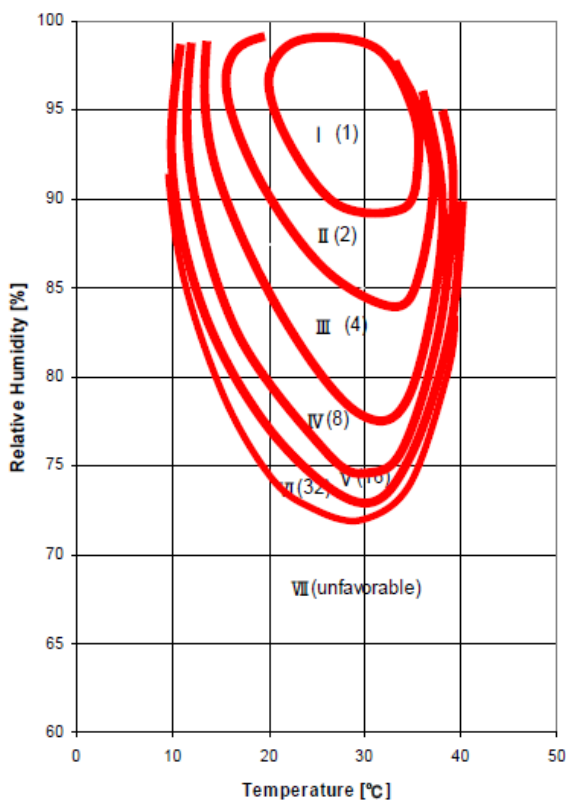


Figura 2-11: Gráfico de germinação do esporo, modificado de Smith e Hill (1982)

2.3.2 WUFI-Bio

O WUFI-Bio é um programa de cálculo automático que a partir da temperatura e da umidade relativa superficial de uma determinada zona em estudo avalia o risco de crescimento de fungos. O programa baseia-se na metodologia proposta em Sedlbauer (2001).

O funcionamento do programa requer como dados de entrada os valores horários da umidade relativa e da temperatura superficiais. É ainda necessário indicar a natureza do substrato em estudo, de acordo com o indicado na Figura 2-12.

Data of the component layers close to the surface			Assignment to substrate group, depending on degree of contamination ²⁾	
Substrate category ¹⁾		Typical representatives	none	severe
0	optimal culture medium	biological complete media	0	0
I	bio-utilizable substrates ³⁾	wall papers, plaster board, building products of easily degradable raw materials, material for permanently elastic joints	I	I
II	substrates with porous structure	plasters, mineral building materials, some woods, insulants not belonging to group I	II	I
III	inert substrates ⁴⁾	metals, foils, glass, tiles	III	I

- 1) Depending on the degree of contamination, the classification into the substrate group may change.
- 2) The degree of contamination is divided into not contaminated („none”) and severely contaminated („severe”).
- 3) These substrates can either have bio-utilizable deposits or they are decomposed.
- 4) These substrates can neither be decomposed nor do they contain nutrients.

Figura 2-12: Tipo de substrato (Sedlbauer, 2001)

A título de exemplo a Figura 2-13 mostra o *layout* do programa para um substrato de uma fachada em tijolo (classe 2) e uma humidade relativa inicial de 60%.

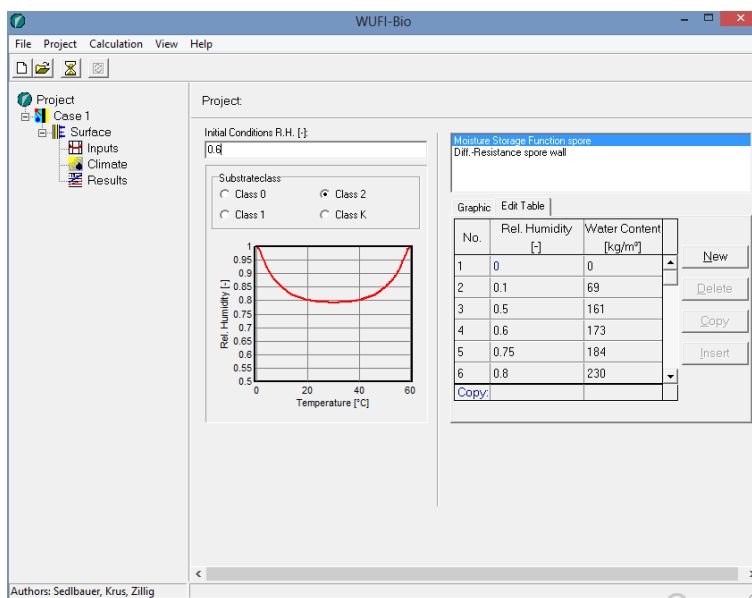


Figura 2-13: Janela de introdução dos dados de entrada do WUFI-Bio

Relativamente aos dados climáticos, estes devem ser previamente preparados num ficheiro de texto, do tipo *.txt, com a seguinte ordem: hora, temperatura e humidade relativa. O programa permite visualizar a representação gráfica da temperatura e da humidade relativa em função do tempo, Figura 2-14.

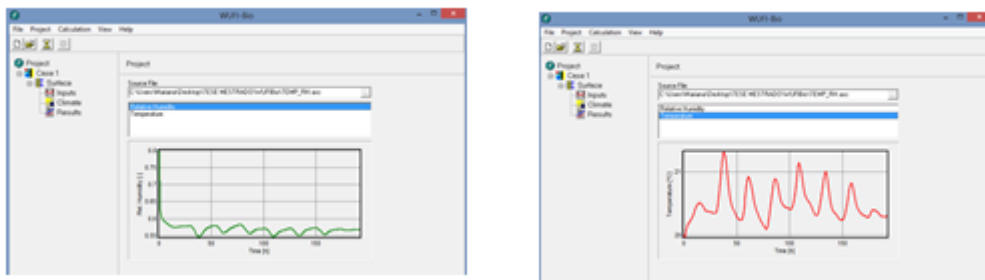


Figura 2-14: Representação gráfica da variação horária da umidade relativa e da temperatura

A Figura 2-15 mostra um exemplo de um output do programa em que o primeiro gráfico mostra a variação do teor de umidade crítica (a vermelho) e do teor de umidade no esporo (a azul). Sempre que o valor do teor de umidade no esporo for superior ao valor crítico ocorre o crescimento dos fungos de acordo com o representado na Figura 2-16.

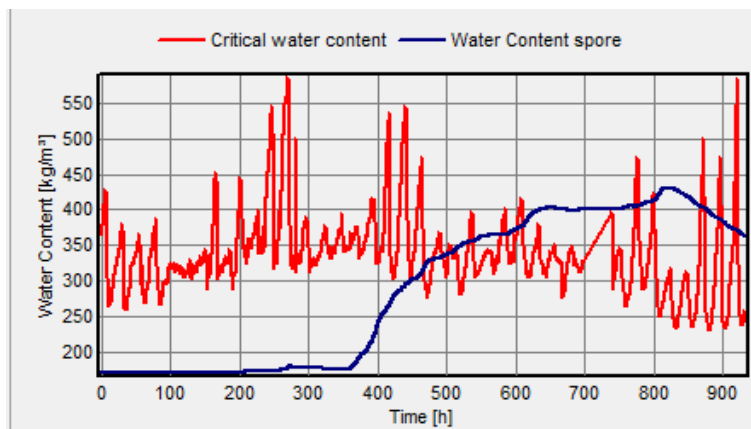


Figura 2-15: Output do WUFI-Bio representando as variações do teor de umidade crítico e no esporo ao longo do tempo

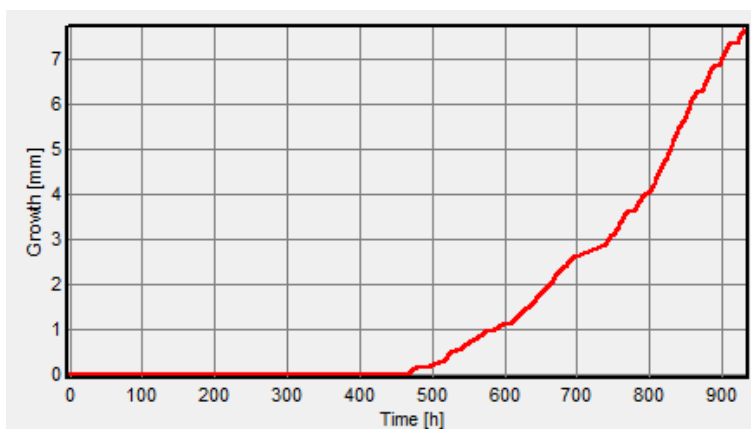


Figura 2-16: Output do WUFI-Bio que representa o crescimento dos fungos em função do tempo

2.4 Estudos já realizados

2.4.1 Avaliação do risco de condensação

Duarte (2010) aplicou um modelo simplificado utilizando o diagrama psicrométrico para comparar os valores da temperatura superficial do elemento construtivo e da temperatura do ar. Se a temperatura superficial do elemento construtivo em estudo for inferior à temperatura de Ponto de Orvalho (T_{po}) então ocorrem condensações.

O autor aplicou esta metodologia em quatro tipos de envolventes com coeficientes de transmissão térmica diferentes e confirmou que as soluções construtivas com um coeficiente de transmissão térmica mais elevado são as que requerem uma maior atenção e preocupação no que toca ao risco de ocorrerem condensações superficiais interiores. O mesmo autor também aplicou um modelo de cálculo em regime dinâmico recorrendo ao programa WUFI-Pro 4.2. Os resultados obtidos na simulação dinâmica permitiram obter a pressão de vapor à superfície. Estes valores foram comparados com a pressão de vapor do ar interior, numa folha de cálculo, contando com o contributo da ventilação, produção de vapor, e condições do ar exterior. Neste estudo em regime dinâmico a análise de resultados é feita através de gráficos que permitem identificar em função da “mancha” produzida pelos resultados individuais de ΔP para cada hora o maior ou menor risco de condensação. Assim as diferenças nas áreas das manchas, correspondentes a condensações na superfície do elemento, devem-se exclusivamente à alteração do coeficiente de transmissão térmica dos elementos estudados.

2.4.2 Avaliação do risco de aparecimento de bolores e fungos

Clarke e Rowan (1999) utilizaram o programa ESP-r para calcular a temperatura e a humidade relativa de uma superfície, tendo em conta o fluxo de humidade no material. Os resultados foram sobrepostos em curvas limite de crescimento para avaliar o risco de aparecimento de bolores e fungos.

Hukka e Viitanen (1999) propuseram um modelo de previsão de crescimento de fungos através do programa latenite VTT. Este modelo baseia-se no índice de crescimento de fungos obtido a partir de várias inspeções visuais. O modelo de crescimento de fungos é baseado nas relações matemáticas entre a taxa de crescimento de fungos e diferentes condições ambientais, incluindo os efeitos da temperatura e humidade relativa do ar e do tempo de exposição

Ritschkoff e Viitanen (2000) estudaram vários materiais à base de madeira, de pedra e materiais de isolamento sob diferentes condições de temperatura e humidade relativa. Os resultados mostraram que todos os materiais de construção são favoráveis para o crescimento de fungos para valores de humidade relativa elevada (90%), mesmo os à base de pedra. No entanto, os materiais não-orgânicos requerem uma maior humidade relativa e maior tempo de exposição para ocorrer o aparecimento de fungos.

Gertis (1999) mostrou que a forte contaminação em materiais não-orgânicos nos edifícios é reduzida se estes se mantiverem devidamente limpos.

Pasanen e Kasanen (2000) confirmaram que os materiais de construção não-orgânicos têm requisitos mais elevados de humidade relativa e maior tempo de exposição.

3. Metodologia do estudo

3.1 Descrição dos casos de estudo

3.1.1 Caso 1

No dia 25 de março de 2004 foi inaugurado o edifício das piscinas municipais de Sátão. Inicialmente existia no edifício um café, que em 2011, no decorrer de uma intervenção de renovação, foi modificado e adaptado para a implementação de um ginásio, posteriormente inaugurado em dezembro de 2012.

Este edifício constitui o caso de estudo 1 (Figura 3-1), é frequentado por cerca de 100 utilizadores, numa faixa etária entre os 12 e os 65 anos de idade.

O período de funcionamento do ginásio é de segunda a sábado, no entre as 10:00 e as 12:00, da parte da manhã, e entre as 15:00 e as 20:45, na parte da tarde. No sábado o espaço só está aberto da parte da manhã.

Neste caso de estudo existem duas grelhas de ventilação natural e um sistema de ar condicionado controlado pelo responsável do espaço em função dos pedidos utilizadores.



Figura 3-1: Localização do caso de estudo 1

Caraterização construtiva:

As soluções construtivas adotadas num edifício influenciam diretamente o ambiente térmico. Deste modo, a caracterização dos elementos construtivos da envolvente exterior do caso de estudo torna-se importante, podendo atuar como elemento justificativo para as análises de conforto higrotérmico. O Quadro 3-1 apresenta essa informação, obtida maioritariamente por observação direta.

Quadro 3-1: Caraterização construtiva

	Solução construtiva
Parede	Parede dupla com isolamento
Caixilharia	Alumínio lacado
Vidro	Vidro duplo
Cobertura	Estrutura em vigota e ripa com desvão ventilado

O espaço em estudo pertence a um edifício com três pisos, sendo o compartimento em estudo anexado ao 1º piso, sem cave, com ligação ao piso térreo. A parede a oeste faz a ligação do ginásio ao corredor de acesso aos balneários.

Nas Figuras 3-2, 3-3 e 3-4 estão representadas as fachadas do edifício em função da orientação.

Fachada Orientada a Sul



a)



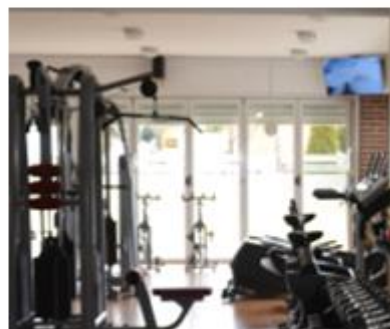
b)

Figura 3-2: Fachada orientada a sul, a) exterior, b) interior

Fachada Orientada a Este



a)



b)

Figura 3-3: Fachada orientada a este, a) exterior, b) interior

Fachada Orientada a Norte



a)



b)

Figura 3-4: Fachada orientada a norte, a) exterior, b) interior

Caraterização geométrica:

Para avaliar a geometria e algumas das características da construção do edifício que influenciam os parâmetros medidos durante a campanha foi pedido ao proprietário o projeto do mesmo, tendo-se compilado a informação constante no Quadro 3-2. Neste caso de estudo o projeto ainda era o inicial, com o bar e não com o ginásio. Com uma avaliação e inspeção visual do espaço procedeu-se à atualização da informação fornecida pela Câmara Municipal de Sátão.

Quadro 3-2: Caraterização geométrica

Área (m ²)	Pé- direito (m)	Volume (m ³)	Área de envidraçados (m ²)	Proteção solar --	Grelhas de ventilação --	Ar condicionado --
94	2,97	278	43	Sim	Sim	Sim

3.1.2 Caso 2

O caso de estudo 2 é um ginásio localizado na cidade de Viseu (Figura 3-5), inaugurado em 2008 e frequentado por cerca de 850 utilizadores, na sua maioria adultos.

O período de funcionamento do ginásio é de segunda a domingo. De segunda a sexta funciona no período entre as 8:00 e as 22:30 e no sábado entre as 9:00 e as 19:00. Aos domingos e feriados a abertura é às 9:00 e o fecho às 13:00.

Neste caso de estudo não existem grelhas de ventilação natural ou mecânica. O espaço dispõe de dois desumidificadores e de um sistema de ar condicionado, ambos acionados pelo responsável do espaço.

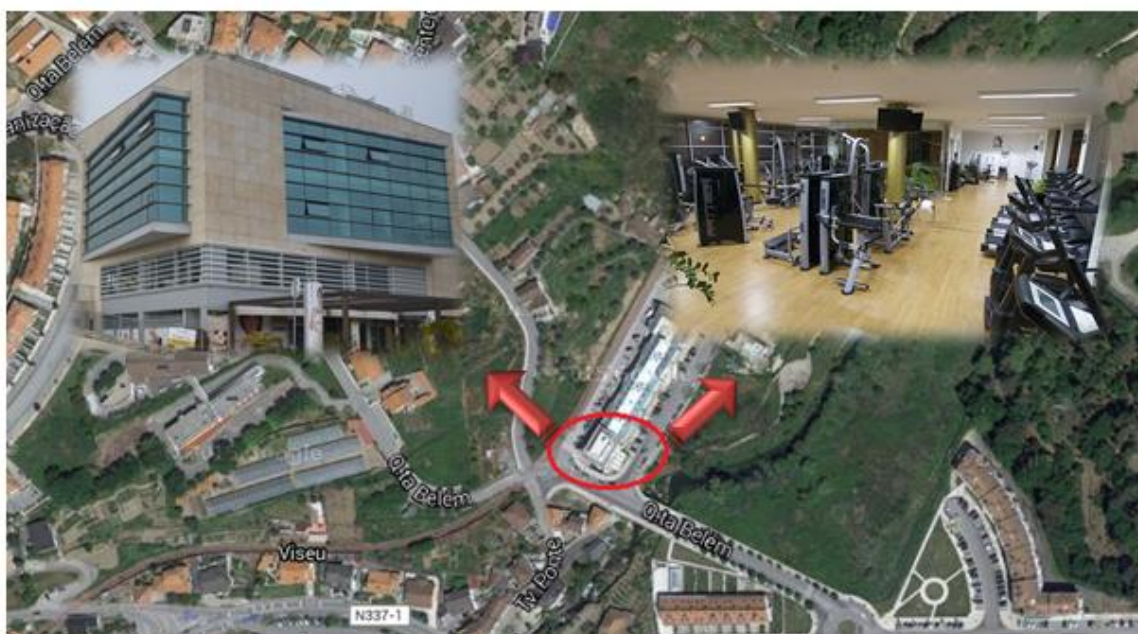


Figura 3-5: Localização do caso de estudo 2

Caraterização construtiva:

O Quadro 3-3 apresenta uma síntese da caracterização construtiva do edifício, obtida maioritariamente por observação direta.

Quadro 3-3: Caraterização construtiva

	Solução construtiva
Parede	Parede dupla com isolamento
Caixilharia	Alumínio lacado
Vidro	Vidro duplo
Cobertura	-

O espaço em estudo pertence a um edifício com 6 pisos, sendo o compartimento em estudo localizado no 3 ° piso. A parede a este faz ligação à caixa de escadas de acesso. Destaca-se o facto de as fachadas do edifício serem predominantemente envidraçadas.

Nas Figuras 3-6, 3-7 e 3-8 estão representadas as fachadas do edifício em função da orientação.

Fachada Orientada a Sul



a)



b)

Figura 3-6: Fachada orientada a sul, a) exterior, b) interior

Fachada Orientada a Oeste



a)



b)

Figura 3-7: Fachada orientada a oeste, a) exterior, b) interior

Fachada Orientada a Norte



a)



b)

Figura 3-8: Fachada orientada a norte, a) exterior, b) interior

Caraterização geométrica:

Neste caso de estudo foi fornecido todo o projeto do edifício pelo proprietário do espaço.

No seguinte Quadro 3-4 são resumidas as características principais para uma avaliação e comentário dos futuros resultados.

Quadro 3-4: Caracterização geométrica

Área	Pé-direito	Volume	Área de envidraçados	Proteção solar	Grelhas de ventilação	Ar condicionado
(m ²)	(m)	(m ³)	(m ²)	--	--	--
260	3,10	806	133	Não	Sim	Sim

3.1.3 Caso 3

O caso de estudo 3 é um ginásio localizado na cidade de Viseu (Figura 3-9), frequentado por cerca de 500 utilizadores, na sua maioria adultos.

Trata-se de um edifício com cave, rés-do-chão e três pisos habitacionais em que o espaço em estudo pertence ao rés-do-chão.

O período de funcionamento do ginásio é de segunda a sábado. De segunda a sexta funciona no período compreendido entre as 7:00 e as 22:00, ao sábado entre as 10:00 e as 13:00 e entre as 16:00 e as 19:00, e aos domingos e feriados a abertura é às 9:00 e o fecho às 13:00.

Neste caso de estudo não existem grelhas de ventilação natural ou mecânica. O espaço dispõe de um sistema de ar condicionado acionado pelo responsável do espaço.

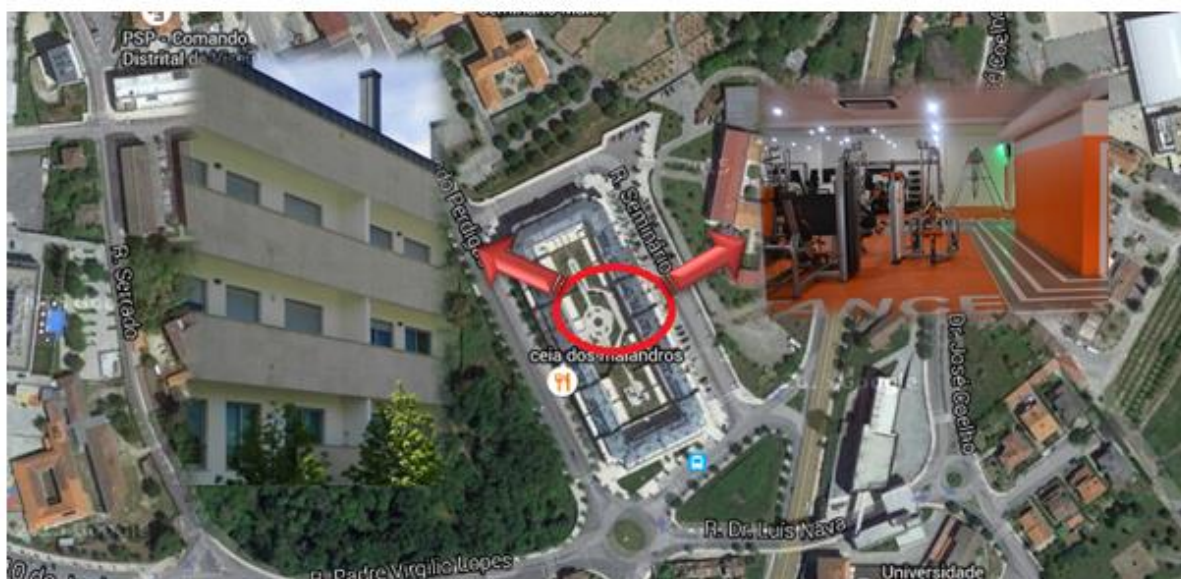


Figura 3-9: Localização do caso de estudo 3

Caraterização construtiva:

O Quadro 3-5 apresenta uma síntese da caracterização construtiva do edifício obtida maioritariamente por observação direta.

Quadro 3-5: Caraterização construtiva

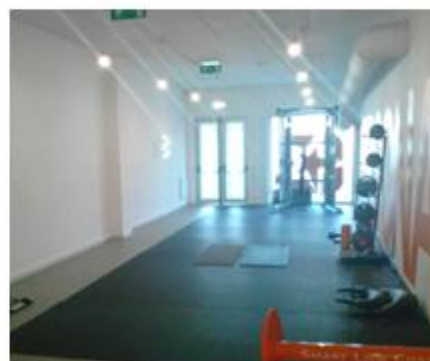
	Solução construtiva
Parede	Parede dupla com isolamento
Caixilharia	Alumínio lacado
Vidro	Vidro duplo
Cobertura	-

Na Figura 3-10 está representada a fachada do edifício orientada a este.

Fachada Orientada a Este



a)



b)

Figura 3-10: Fachada orientada a este, a) exterior, b) interior

Caraterização geométrica:

No caso de estudo 3 foi fornecida a planta do piso do ginásio pelo proprietário do espaço. No Quadro 3-6 resumem-se as características geométricas mais relevantes.

Quadro 3-6: Caraterização geométrica

Área	Pé-direito	Volume	Área de envidraçados	Proteção solar	Grelhas de ventilação	Ar condicionado
(m ²)	(m)	(m ³)	(m ²)	--	--	--
290	2,93	849	8	Não	Sim	Sim

3.2 Equipamentos

- **Temperaturas superficiais**

Para efetuar as medições das temperaturas superficiais foram utilizados termopares tipo T, Figura 3-11 a1, ligados a um *data logger mikromec* e colados com fita adesiva nos locais em estudo. O *data logger mikromec* é um registrador de dados com 8 entradas de sensores de sinal universal, com precisão e estabilidade a longo prazo e com visor digital. O modelo utilizado durante a campanha experimental encontra-se representado na Figura 3-11 a2).

Para criar estabilidade e evitar o contacto direto com o pavimento foi utilizada uma caixa para o elevar alguns centímetros, Figura 3-11 b).



Figura 3-11: *data logger mikromec* utilizado. a1) Termopar T; a2) *data logger mikromec*; b) Posicionamento do equipamento durante os ensaios experimentais com os termopares ligados

- **Dióxido de carbono, CO₂**

O equipamento para medição da concentração de CO₂ utilizado durante a campanha experimental foi o TELAIRE 7000. Trata-se de um medidor portátil, ideal para determinação da qualidade do ar em espaços confinados. É necessário acoplar um *data logger* para gravar os registos da concentração de CO₂ e também da temperatura (Figura 3-12).



a)



b)

Figura 3-12: a) Medidor de CO₂ utilizado; b) Posicionamento do equipamento durante a monitorização

- **Temperatura e humidade relativa do ar**

Para medição da temperatura e humidade relativa do ar foi utilizado o *data logger Hobo U12* (Figura 3-13), programado para registar a referida temperatura e humidade a cada 2 minutos, de forma constante ao longo do dia.



Características:

Gama de medição: -20°C to +70°C

Precisão: ± 0,35 °C

Resolução: 0,03 °C

Figura 3-13: *Data logger* utilizado no registo da temperatura e humidade relativa do ar

Para além dos equipamentos anteriormente referidos foi também necessária a utilização de:

- Máquina fotográfica para se obter o registo fotográfico de todos os elementos relevantes;
- Fita adesiva preta e fita de pintura para fazer a ligação dos termopares às zonas de estudo;

- Câmara termográfica para capturar as imagens termográficas do canto em estudo no ginásio G1.
- Fita-cola de dupla face para fixar os *data-loggers* na parede.

3.3 Estratégia de monitorização

3.3.1 Conforto higrotérmico

Para avaliar o conforto higrotérmico do ambiente interior foram registados e calculados os seguintes parâmetros: temperatura do ar, T_a [°C]; humidade relativa, HR [%]; humidade absoluta, X [%]; e a temperatura operativa, θ_i [°C]. Realça-se o facto de tanto a temperatura operativa como a humidade absoluta terem sido obtidas de forma indireta através da medição de outros parâmetros físicos e posterior tratamento analítico da informação.

Existiu também a necessidade e preocupação de afastar os *data loggers* de fontes de calor ativas (vãos envidraçados expostos a radiação solar e sistemas de climatização) para que as medições não fossem deturpadas e pudessem assim ser representativas do ambiente higrotérmico geral dos espaços.

A campanha teve início no dia 25 de janeiro e prolongou-se até ao dia 31 de maio.

Para os cálculos efetuados foram só utilizados os valores medidos no período de ocupação dos casos de estudo.

3.3.1.1 Caso 1

Os *data loggers* foram distribuídos de forma que a medição abrange-se todo o espaço. Os *data loggers* 3 e 4, programados para medir de 2 em 2 minutos a temperatura e a humidade relativa, encontravam-se colados nas paredes. O *data logger* 3 na fachada orientada a sul e o *data logger* 4 na fachada orientada norte. O *data logger* 6 funciona como os anteriores, com a diferença de estar ligado ao medidor de CO₂. Este equipamento foi colocado na zona onde há maior intensidade de atividade física (Figura 3-14).

Relativamente ao ambiente exterior, dada a relação intrínseca entre as condições climáticas e as sensações térmicas das pessoas, foram registadas a temperatura e a humidade relativa do ar.

Estes dois parâmetros foram medidos de dois em dois minutos, com equipamento localizado na varanda de um edifício próximo do caso de estudo, em local abrigado, protegido da radiação solar direta.

A caracterização do clima exterior começou a ser efetuada no dia 25 de janeiro, condicionando, desta forma, que o cálculo da temperatura exponencialmente ponderada, θ_{rm} ,

necessária para avaliação do conforto térmico através da aplicação do modelo adaptativo da norma EN 15251, só fosse possível a partir do dia 31 de janeiro.

Ocorreram alguns problemas no início da campanha com a programação dos equipamentos, que foram sendo resolvidos, optando-se pela remoção dos valores desse *data logger* no cálculo dos parâmetros.

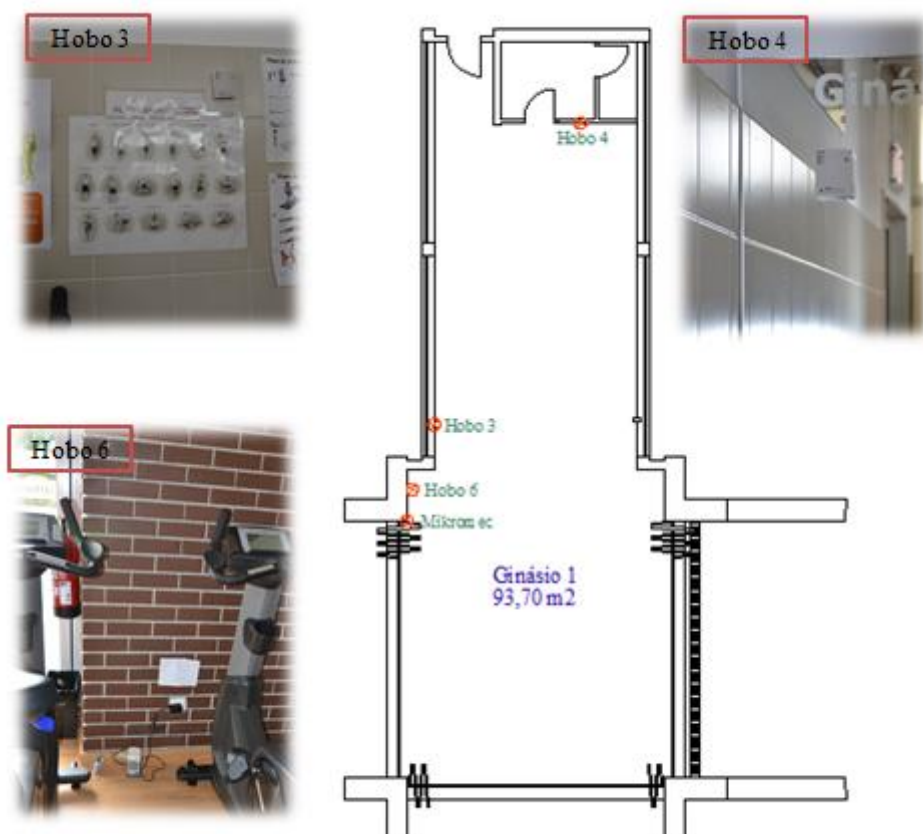


Figura 3-14: Localização dos equipamentos

Avaliação da qualidade do ambiente interior

Para avaliar a qualidade do ambiente interior foram ainda elaborados questionários.

Durante a campanha foram escolhidos dois períodos para fazer a distribuição do questionário, numa primeira fase no período de inverno e numa segunda fase no final da campanha, no final do mês de maio, quando a temperatura exterior começou a subir.

Este estudo visou estimar a percepção dos utilizadores relativamente ao conforto térmico, à qualidade do ar interior, à humidade e uma avaliação geral do espaço. A Figura 3-15 mostra o *layout* dos inquéritos.

The figure shows two pages of a questionnaire. The left page, labeled '- 1 -', contains sections for 'Qualificação' (with questions about gender and frequency of exercise) and 'Atividade' (with questions about thermal sensation and frequency of exercise). The right page, labeled '- 2 -', contains sections for 'Qualidade do ar interior' (with questions about air quality and thermal sensation), 'Humidade' (with a question about humidity perception), and 'Clima' (with questions about climate perception and indoor air quality). Both pages feature the logo of the Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) and the acronym DEC.

Figura 3-15: Inquérito distribuído no caso de estudo 1

3.3.1.2 Caso 2

Os *data loggers* foram distribuídos de forma a que a medição abrange-se todo o espaço. O *data logger 2*, programado para medir de 2 em 2 minutos a temperatura e a humidade relativa, foi colocado numa zona elevada, na área de musculação. O *data logger 7* mede, além da temperatura e da humidade relativa, a concentração de CO₂, e foi colocado na zona das passadeiras, onde há maior intensidade de atividade física (Figura 3-16).

Em relação ao ambiente exterior, dada a relação intrínseca entre as condições climáticas e as sensações térmicas das pessoas, foram retiradas do site *weather underground* (localização-Viseu) a temperatura e a humidade relativa do ar em valores horários registados na estação do Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

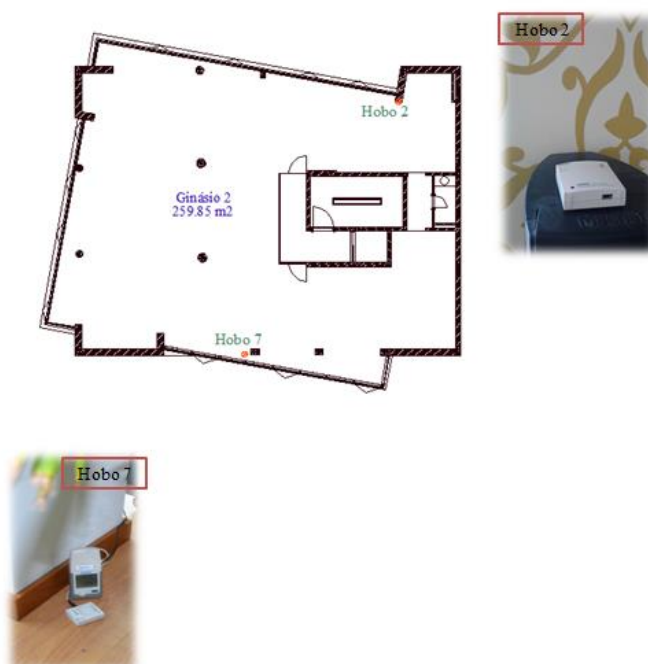


Figura 3-16: Localização dos *data loggers* no caso 2

3.3.1.3 Caso 3

Os *data loggers* foram distribuídos numa sala do ginásio destinada a exercício específico com acompanhamento. É um espaço onde não existe atividade física com elevada intensidade.

O *data logger* 5, programado para medir de 2 em 2 minutos a temperatura e a humidade relativa, foi colado na parede, e o *data logger* 8, que, além da temperatura e humidade relativa, mede a concentração de CO₂, foi colocado na zona de entrada da sala, mais próximo das máquinas de musculação (Figura 3-17).

Os dados relativos ao ambiente exterior foram os mesmos do caso 2.

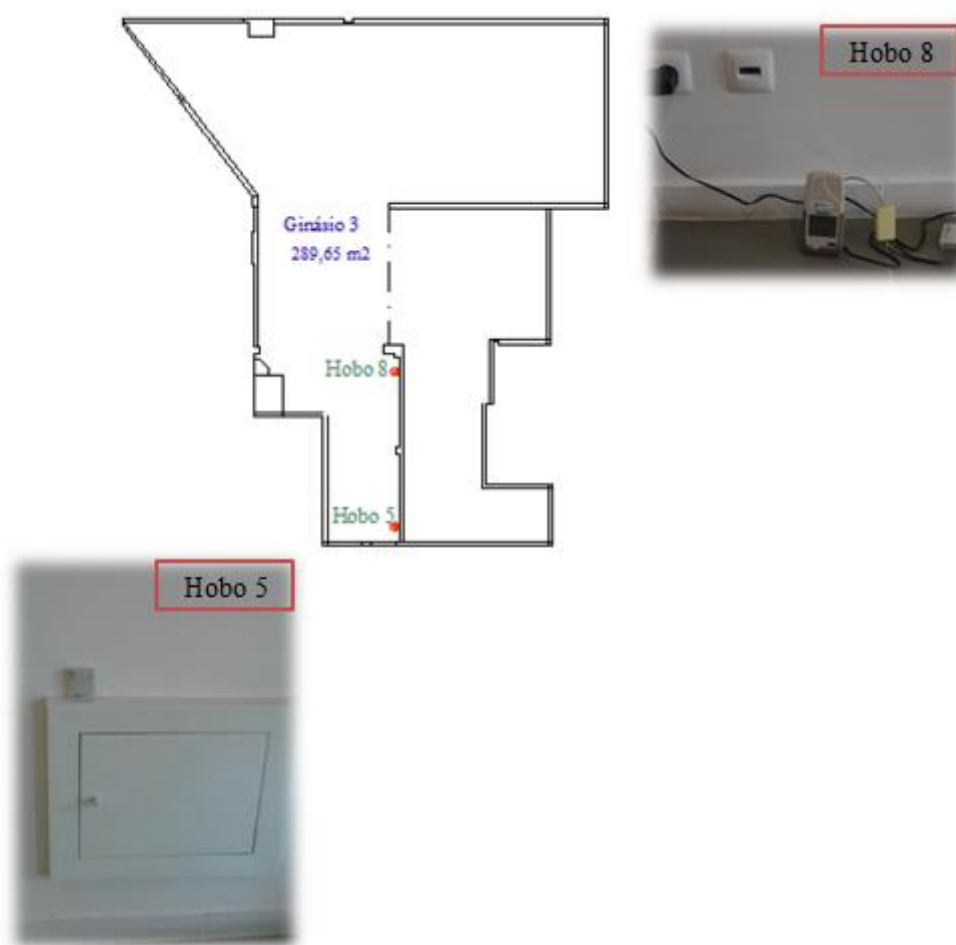


Figura 3-17: Localização dos *data loggers* no caso 3

3.3.2 Qualidade do ar interior

Para avaliar a qualidade do ar interior foi delineada uma campanha de medição da concentração de CO₂, com registos de 2 em 2 minutos.

A colocação do equipamento de medição passou por seleccionar os locais de cada espaço onde a incidência de CO₂ poderia ser mais elevada.

A Figura 3-18, a título de exemplo, apresenta a localização do equipamento de medição no caso de estudo 2.

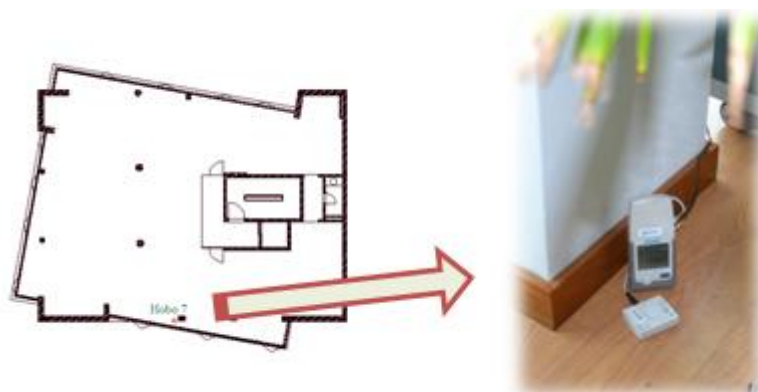


Figura 3-18: Localização do *data logger* no caso de estudo 2

3.3.3 Risco de condensação e de aparecimento de bolores e fungos

3.3.3.1 Caso 1

A avaliação do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores só foi possível no caso de estudo 1 porque limitações em termos de equipamentos disponíveis.

Para avaliar o risco de condensação foi necessário:

- ✓ Medir as temperaturas superficiais das zonas em estudo, Figura 3-19;
- ✓ Medir a temperatura e humidade relativa do ar no espaço em estudo.

Na avaliação do risco de aparecimento de fungos e bolores foi procedido da seguinte forma:

- ✓ Temperatura e humidade relativa do ar junto à superfície obtida a partir do *data logger* mais perto do local em estudo;
- ✓ Temperaturas superficiais das zonas em estudo, Figura 3-19.

Foi escolhido um local para o estudo onde existissem várias zonas com potencial risco de ocorrerem condensações e aparecimento de fungos e bolores. Com a ajuda da câmara termográfica foram identificadas as zonas mais frias, ideais para colar os termopares, Figura 3-19.

Em determinados períodos de elevada humidade na caixilharia, o *data logger mikromec* deixou de registar a temperatura superficial, perdendo-se nalguns períodos o registo na caixilharia.

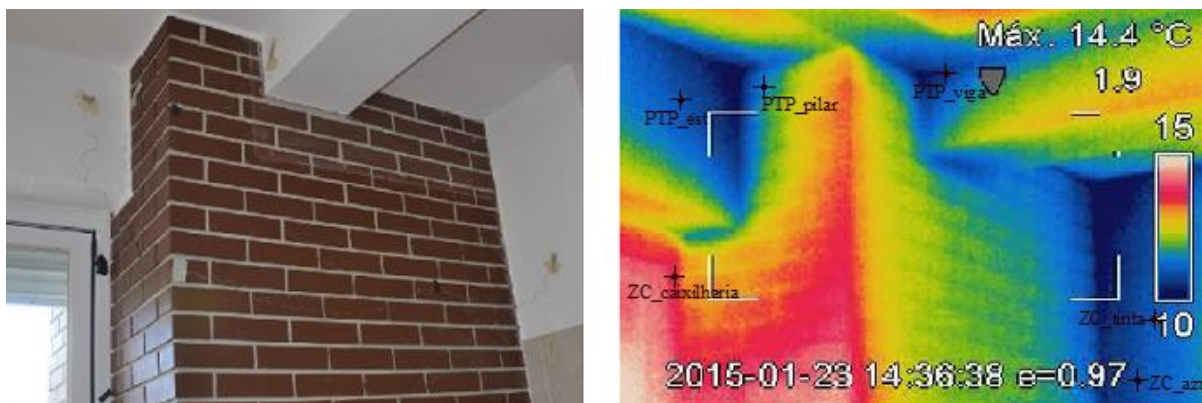


Figura 3-19: Zonas em estudo

4. Avaliação do conforto higrotérmico

4.1 Introdução

A campanha de medição desenvolvida foi realizada com o objetivo de recolher dados sobre a variação da temperatura e da humidade relativa interiores e exteriores, com o intuito de avaliar as condições de conforto higrotérmico de cada caso de estudo.

Durante a campanha foi também efetuada uma medição contínua da concentração de CO₂ para avaliar, de forma simplificada, a qualidade do ar interior, nomeadamente através da determinação da percentagem de insatisfeitos recorrendo à metodologia proposta na norma ASTM D6245 (2012).

No caso de estudo 1, decorreu também, em dois períodos distintos, o preenchimento de um inquérito para avaliar a perceção dos utilizadores.

Neste capítulo será feita uma análise detalhada da informação mais relevante. No entanto, como se trata de uma campanha muito extensa, os resultados completos são apresentados no Anexo I, divididos de semana a semana. No total foram realizadas 18 semanas de medições contínuas.

Para a análise dos resultados de cada caso de estudo foram consideradas as seguintes abordagens:

- **Medição em contínuo:** nesta abordagem foram analisados os valores da temperatura, humidade relativa e concentração de CO₂ no período total da campanha. Foi também tido em conta o valor exterior da temperatura e humidade relativa para uma avaliação do diferencial.

- Avaliação do conforto higrotérmico: nesta abordagem foram utilizados como dados de entrada os valores do período de ocupação de cada ginásio. Foi avaliado o conforto térmico segundo o método gráfico da ASHRAE 55 (2010) e o modelo adaptativo proposto na EN 15251 (2006).
- Avaliação da percentagem de insatisfeitos: nesta abordagem procedeu-se ao cálculo da percentagem de insatisfeitos devido à concentração de CO₂ segundo a norma ASTM D6245 (2012).

Opta-se por apresentar os resultados agrupados de mês a mês para cada um dos três casos de estudo. Esta organização permite comparar o comportamento dos diferentes ginásios ao longo do período de medição.

4.2 Casos de estudo

4.2.1 Caso 1

4.2.1.1 Parâmetros de medição contínuos

Temperatura

Nas Figuras 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 observa-se a variação da temperatura interior e da exterior nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respetivamente. Refira-se que o valor da temperatura interior corresponde à média dos registos dos *data-loggers* colocados em cada local.

Analisando a Figura 4-1 é possível verificar que a temperatura interior do espaço no mês de janeiro/fevereiro, meses mais frios, varia entre os 8 e os 16 °C. Já no mês de maio o intervalo aumenta para 15 a 25 °C.

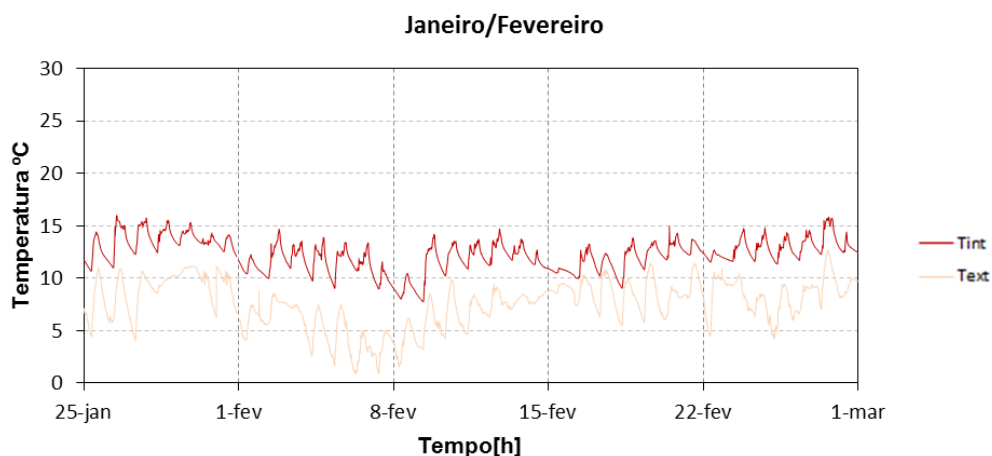


Figura 4-1: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1

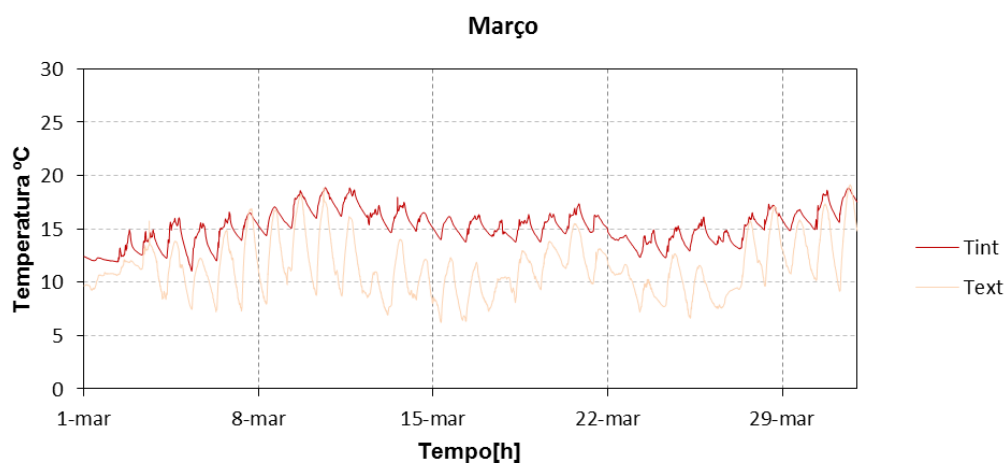


Figura 4-2: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 1

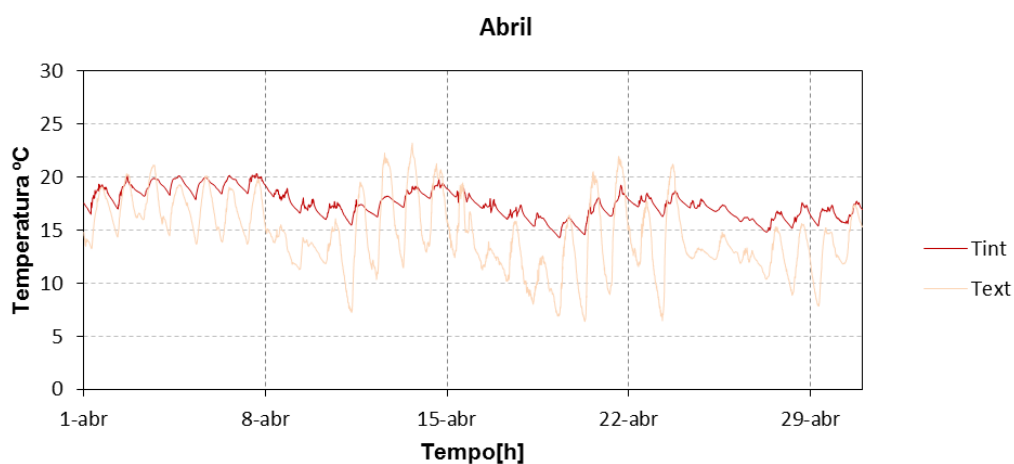


Figura 4-3: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 1

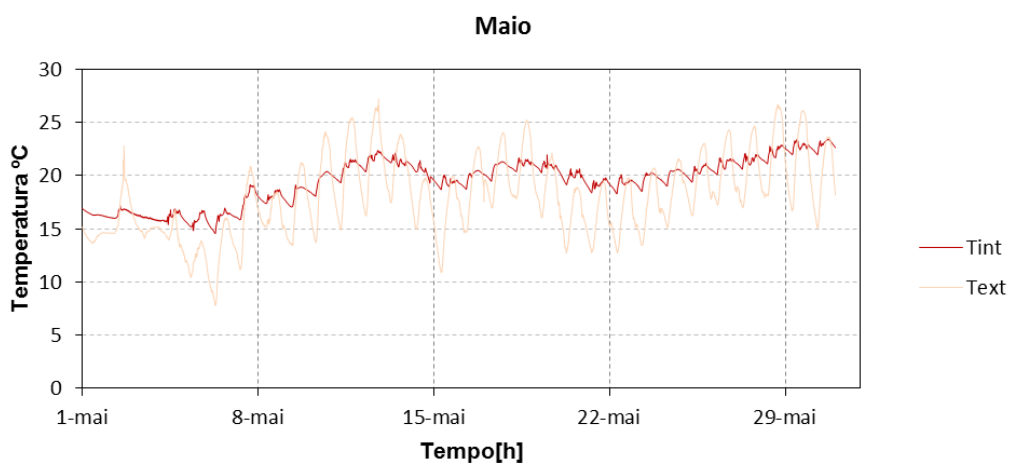


Figura 4-4: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 1

Através da análise das leituras efetuadas nos vários meses observa-se que a temperatura interior e a exterior aumentam gradualmente, observando-se uma clara correlação entre elas.

Para uma avaliação mais precisa da variação da temperatura interior foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-1 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da temperatura interior de cada mês.

Quadro 4-1: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 1

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maió
Média	12,24	15,15	17,46	19,47
Desvio padrão	1,51	1,61	1,32	2,12
Máximo	15,82	18,88	20,31	23,46
Mínimo	7,75	11,00	14,28	14,57

Na Figura 4-5 são representados os histogramas mensais da temperatura interior do caso de estudo 1. A evolução do aumento da temperatura é notório na análise dos histogramas. É de salientar que a escala horizontal do histograma referente ao mês de Maio foi aumentada para facilitar a leitura.

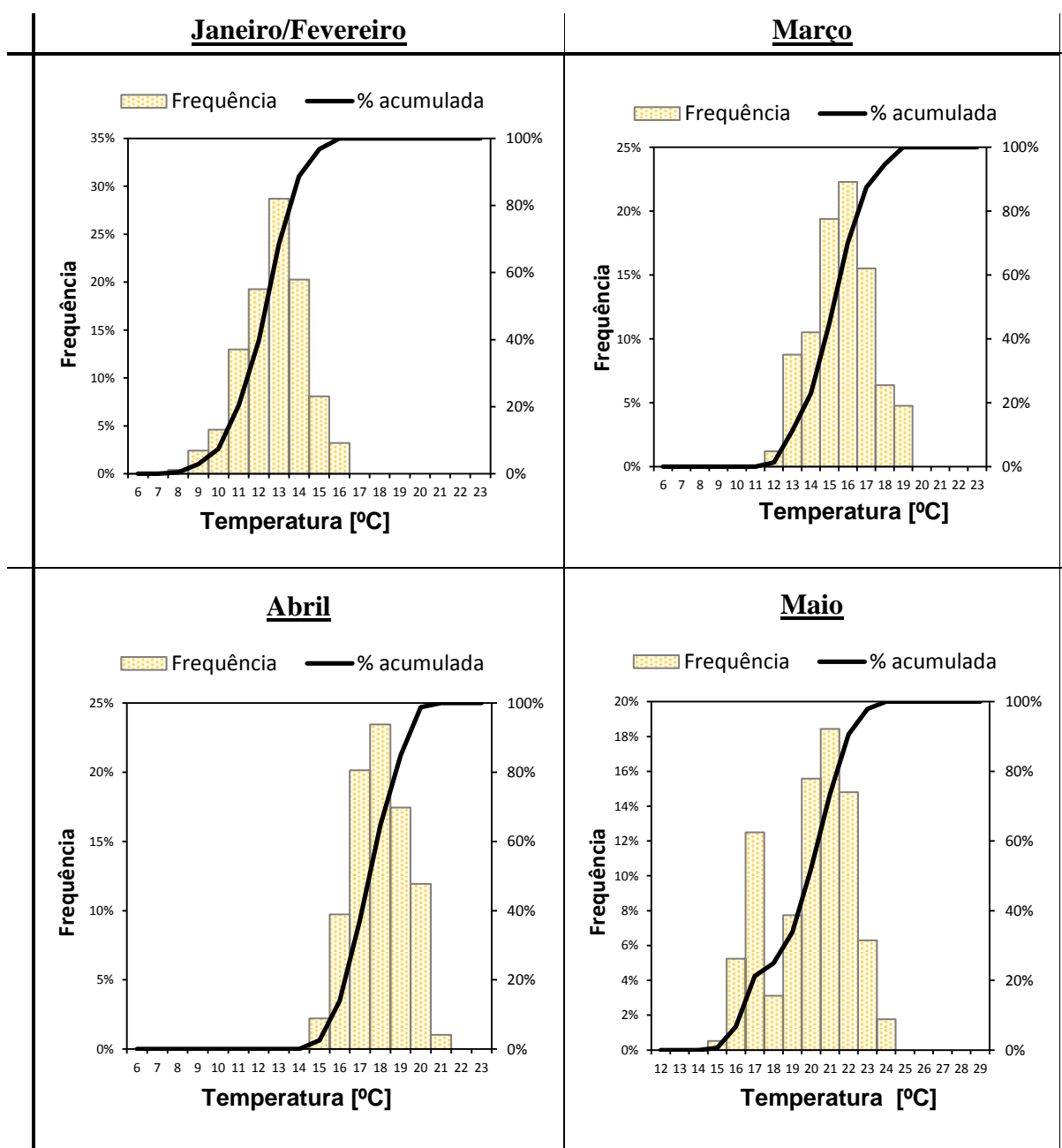


Figura 4-5: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 1

Humidade relativa

Nas Figuras 4-6, 4-7, 4-8, 4-9 observa-se a evolução mensal da humidade relativa interior e exterior. Refira-se que o valor da humidade relativa interior corresponde à média dos registos dos *data-loggers* colocados em cada local.

Analisando a Figura 4-6 é possível verificar que a humidade relativa interior do espaço no mês de janeiro/fevereiro varia entre os 40 e os 90%. Já no mês de maio o intervalo diminuiu para 30 a 70%.

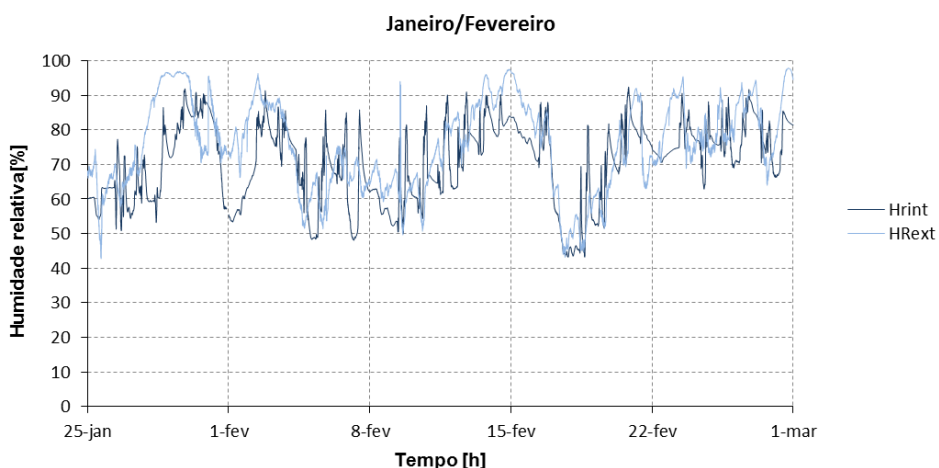


Figura 4-6: Humidade relativa interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1

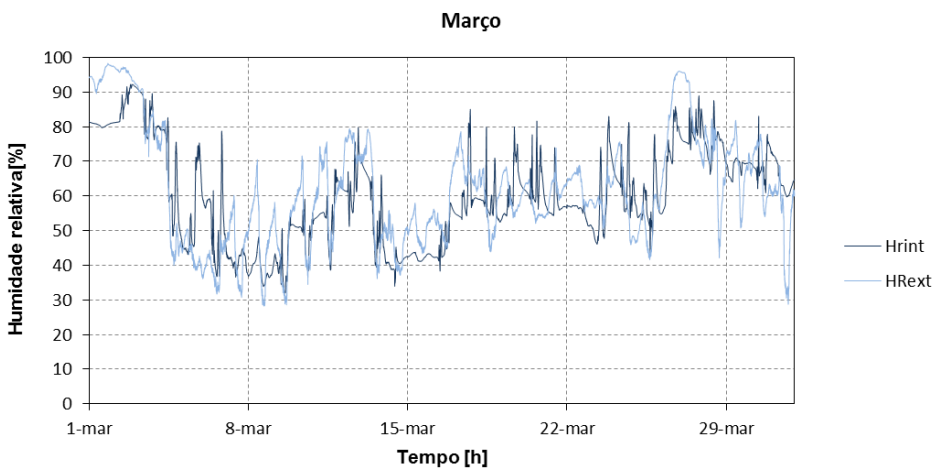


Figura 4-7: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 1

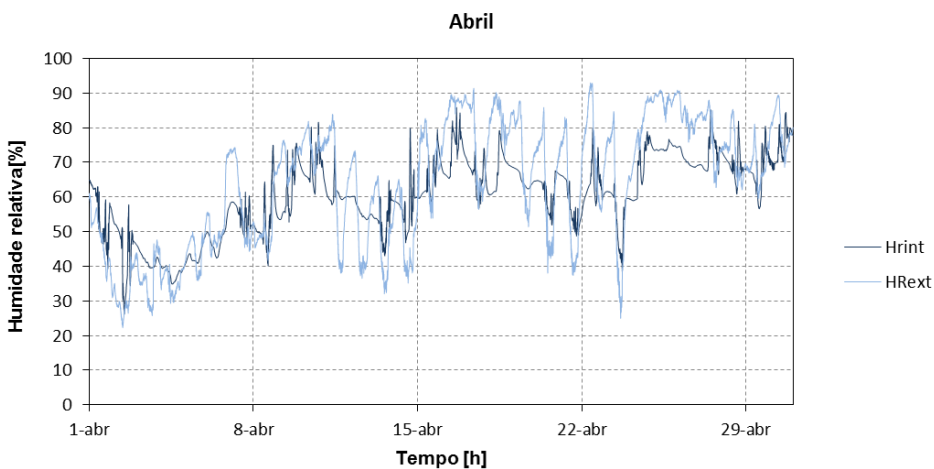


Figura 4-8: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 1

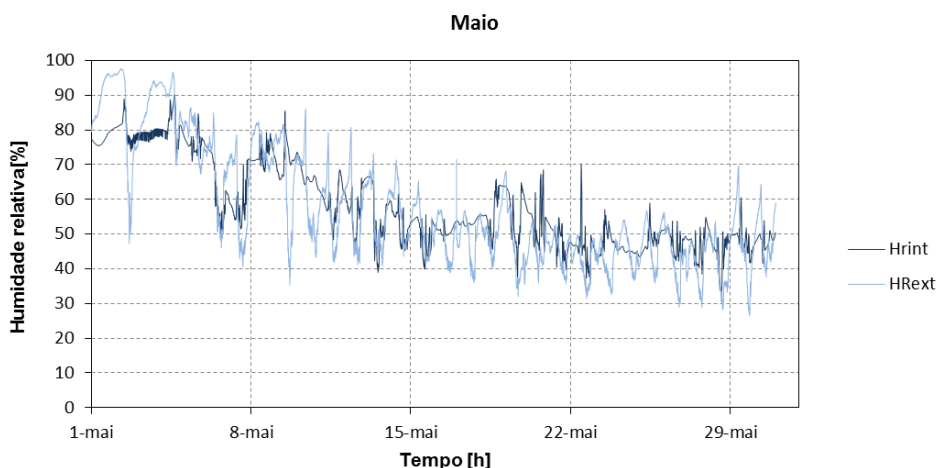


Figura 4-9: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 1

Através da análise das leituras efetuadas nos vários meses observa-se que a humidade relativa interior e a exterior diminuem gradualmente, observando-se uma clara correlação entre elas.

Para uma avaliação mais precisa da variação da humidade relativa interior foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-2 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da humidade relativa interior de cada mês.

Quadro 4-2: Análise estatística mensal da humidade relativa – caso de estudo 1

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	71	6	60	58
Desvio padrão	11,4	14,1	11,0	12,4
Máximo	92	92	86	90
Mínimo	43	32	26	33

Na Figura 4-10 são representados os histogramas mensais da humidade relativa interior do caso de estudo 1.

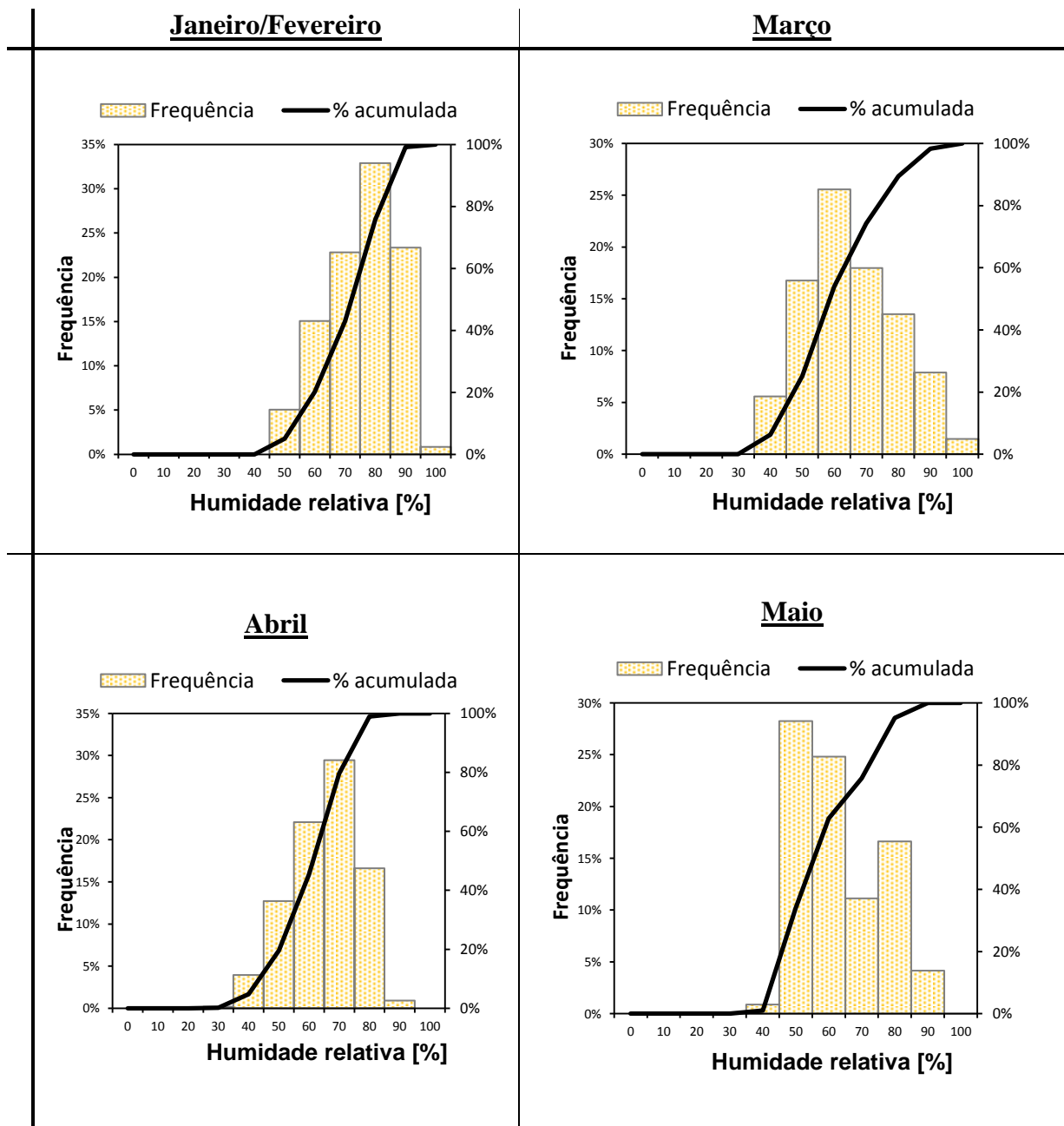


Figura 4-10: Histogramas mensais da humidade relativa – caso de estudo 1

A diminuição da percentagem da humidade relativa é evidente na análise dos histogramas.

No mês de janeiro/fevereiro a maior frequência ocorreu no intervalo 80-90% de humidade relativa enquanto no mês de maio é nos 50-60 % de humidade relativa que a frequência é mais elevada.

Dióxido de carbono, CO₂

Nas Figuras 4-11, 4-12, 4-13, 4-14 observa-se a variação da concentração de CO₂ no interior do ginásio nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respetivamente.

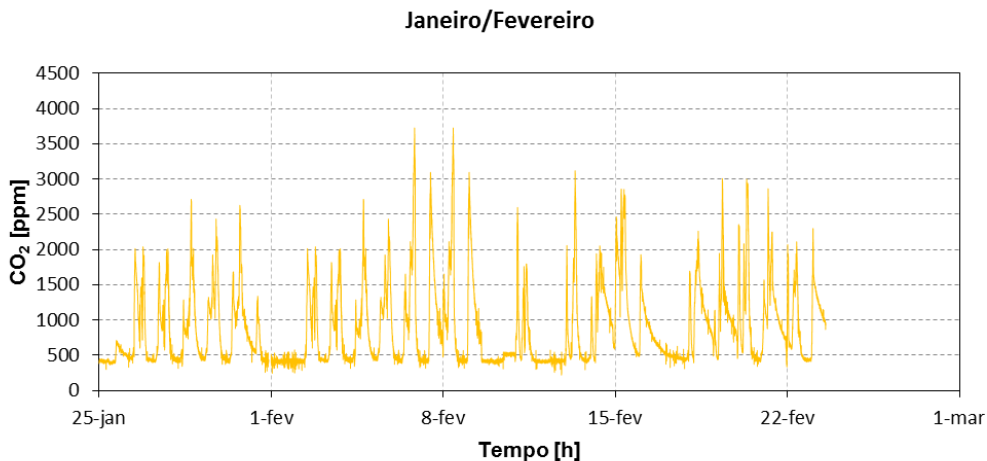


Figura 4-11: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 1

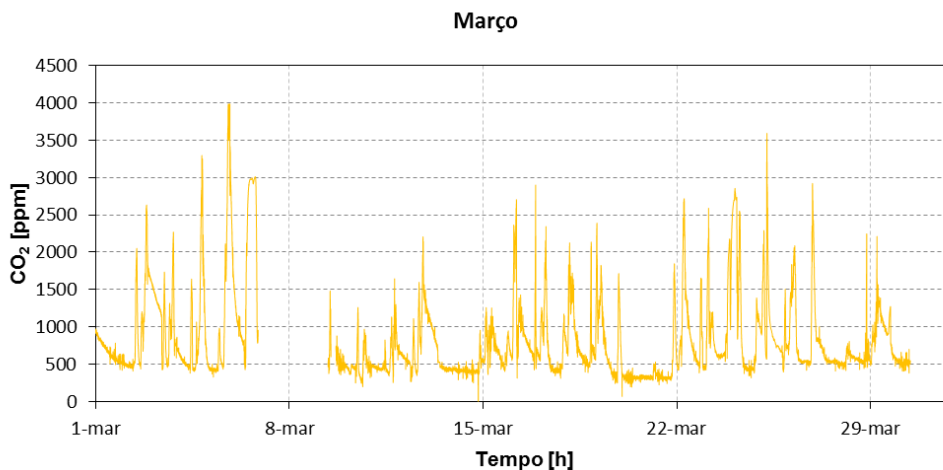


Figura 4-12: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 1

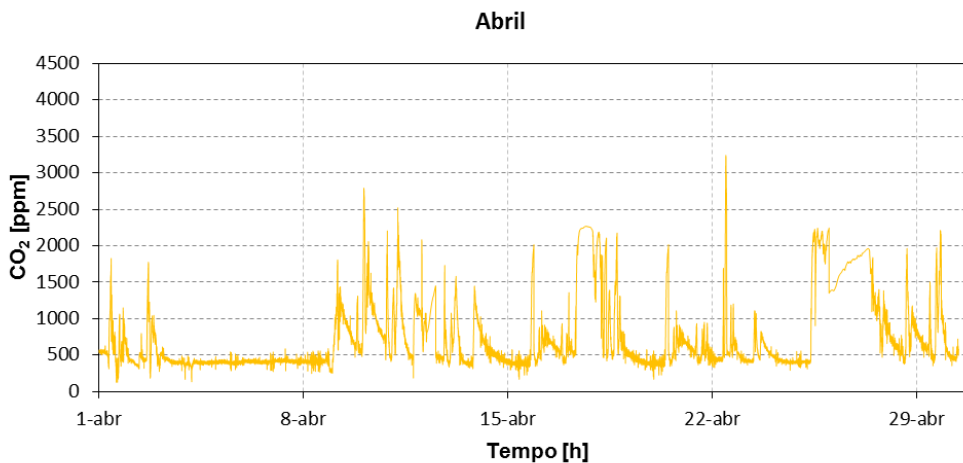


Figura 4-13: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 1

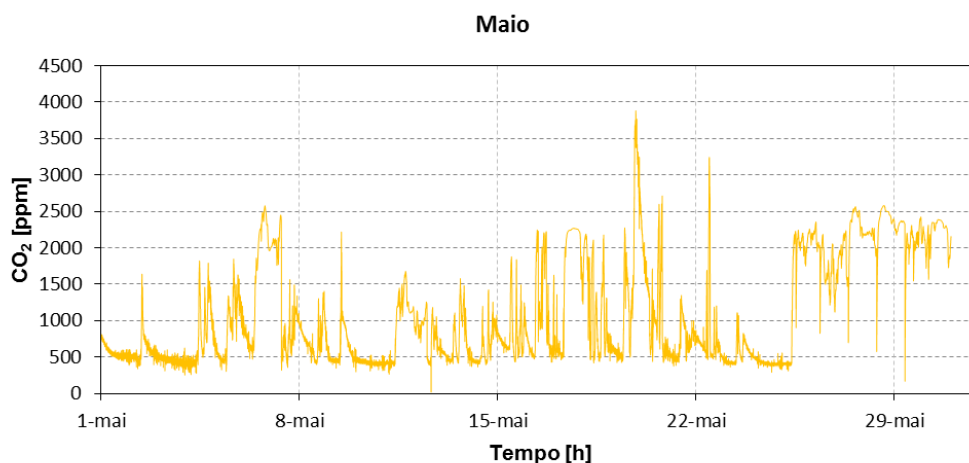


Figura 4-14: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 1

Analisando as Figuras anteriores é possível verificar que a concentração de CO₂ varia em função do volume de ocupação e não dos meses em estudo. Os picos são atingidos no fim da manhã e no final da tarde. A título de exemplo a Figura 4-15 mostra a variação do CO₂ na 2ª semana, no caso de estudo 1, podendo verificar-se que no dia 1 de fevereiro (domingo) o ginásio não se encontrava aberto, estando os valores de CO₂ no mínimo. Nos restantes dias os valores aumentam durante o período de ocupação, atingindo aproximadamente três picos, o primeiro perto do meio-dia, o segundo a meio da tarde por volta das 16:00 e por fim atinge o pico mais elevado de CO₂ por volta das 18:00.

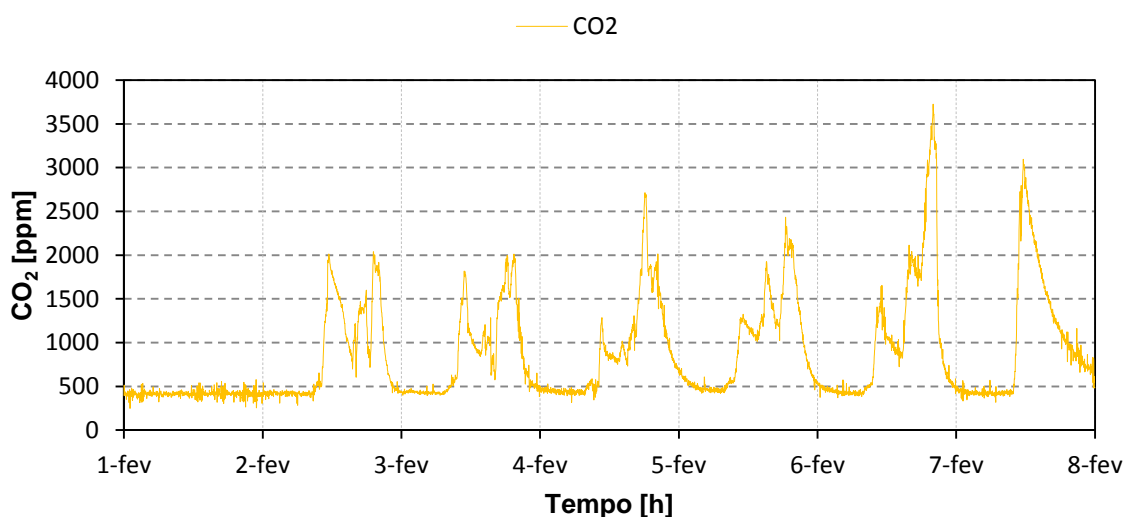


Figura 4-15: Variação do CO₂ na 2ª semana da campanha do caso de estudo 1

Para uma avaliação mais precisa da variação do CO₂ foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-3 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão e máximo da concentração de CO₂ de cada mês.

Quadro 4-3: Análise estatística mensal da concentração de CO₂ – caso de estudo 1

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	889	1006	718	1098
Desvio padrão	565	814	427	722
Máximo	3726	3982	2792	3878

4.2.1.2 Modelos de conforto

Método gráfico da ASHRAE

A avaliação do conforto térmico pelo método gráfico sugerido pela ASHRAE 55 (2010) permitiu facilmente obter uma visão global do nível de conforto propiciado aos ocupantes do ginásio em estudo.

A Figura 4-16 apresenta os resultados obtidos, observando-se claramente uma grande percentagem de valores fora da zona de conforto no caso de estudo 1.

Com esta campanha de medições pode-se concluir que este caso de estudo está muito aquém das condições de conforto propostas por este modelo.

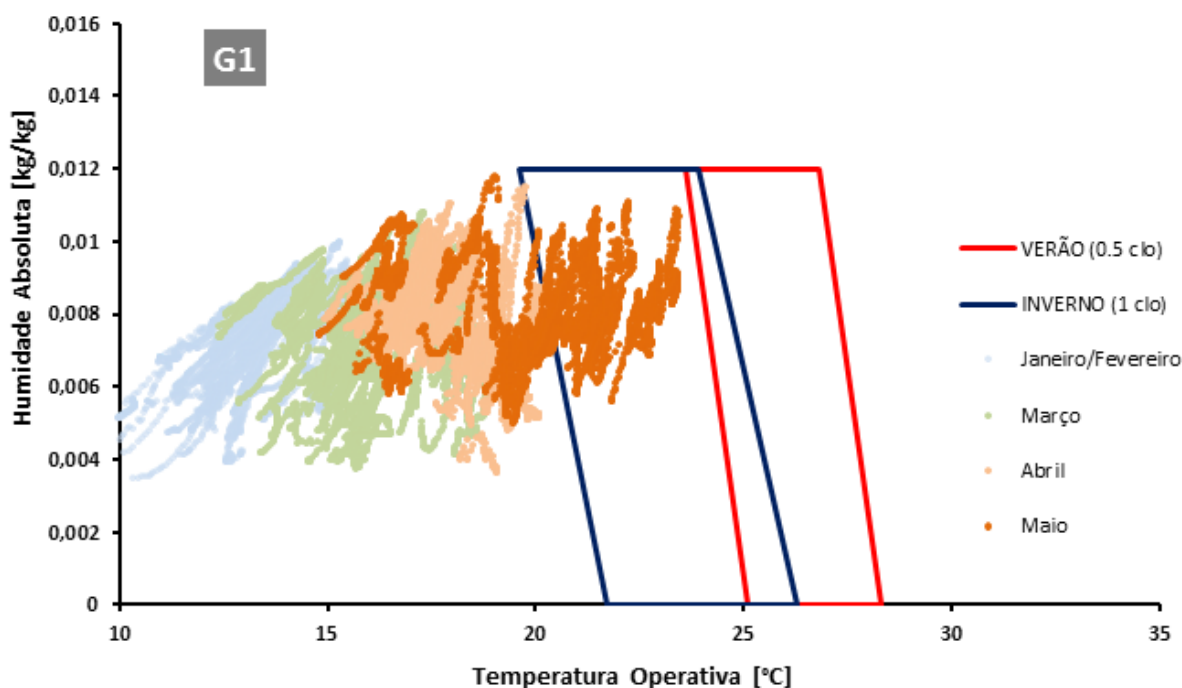


Figura 4-16: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 1

Modelo adaptativo segundo a norma EN 15251

A norma EN 15251 (2006) propõe um modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico em espaços interiores.

Na Figura 4-17 apresenta-se o gráfico do modelo adaptativo no caso de estudo 1. É visível a elevada percentagem de registos que não cumprem o recomendado na norma.

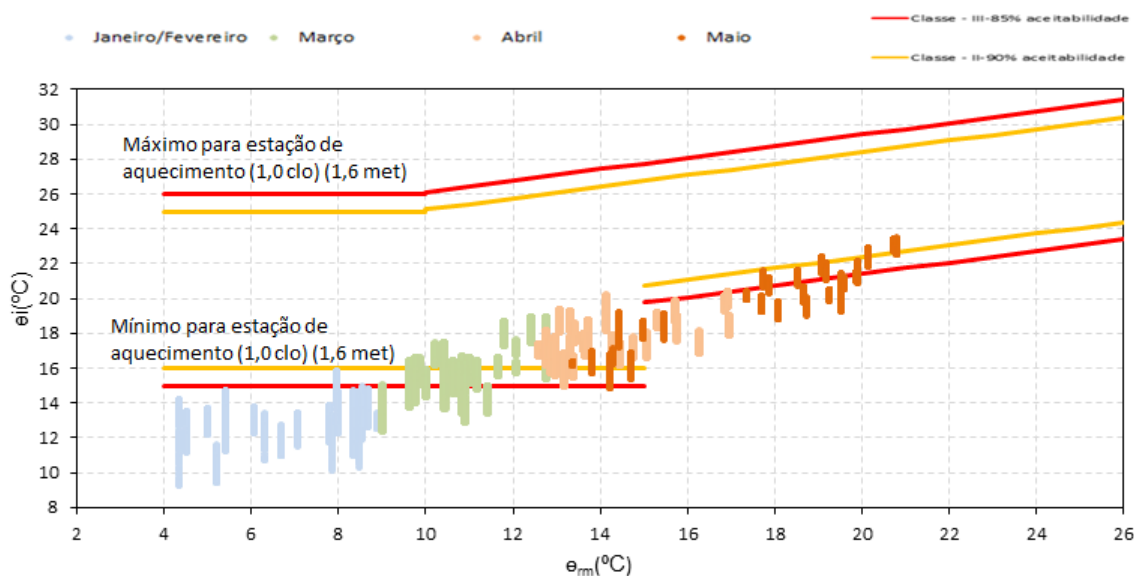


Figura 4-17: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 1

Inquéritos

Para completar a análise relativa à avaliação do conforto higrotérmico e da qualidade do ar interior procedeu-se à entrega de inquéritos aos utilizadores em dois períodos diferentes. Numa primeira fase os inquéritos foram distribuídos no mês de fevereiro e numa segunda fase no mês de maio.

Na Figura 4-18 são comparadas as opiniões dos utilizadores em relação à temperatura desejada. Em ambas as fases os utilizadores estão satisfeitos com a temperatura, no entanto, no mês de maio observa-se claramente um aumento do número de utilizadores que preferiam uma temperatura mais baixa, o que revela alguma insatisfação dos usuários com o aumento da temperatura interior.

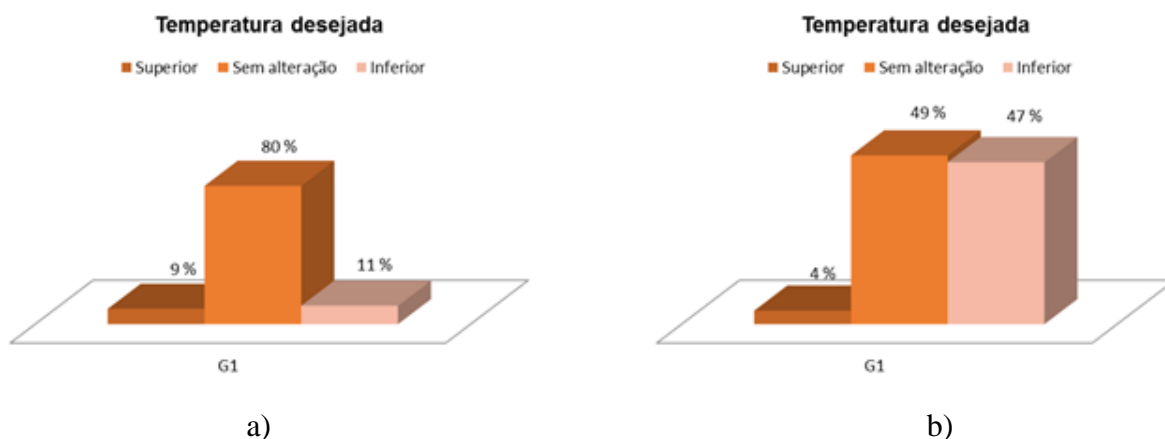


Figura 4-18: Opinião dos inquiridos em relação à temperatura desejada: a) 1ª fase, b) 2ª fase

Na avaliação da caracterização da sensação térmica os utilizadores também têm uma opinião diferente nas duas fases de inquérito. Na Figura 4-19 a) e b) estão representadas a opinião dos ocupantes do espaço.

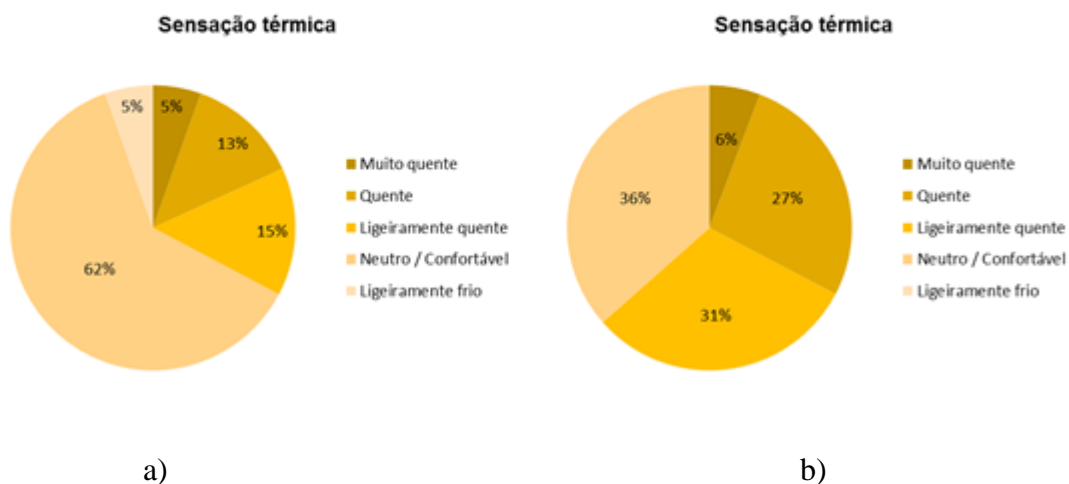


Figura 4-19: Opinião dos inquiridos em relação à sensação térmica a) 1ª fase, b) 2ª fase

Na Figura 4-20 a) e b) são comparadas as opiniões dos utilizadores em relação ao nível de satisfação relativo à humidade relativa. Em ambas as fases os utilizadores estão satisfeitos, não se registando grandes diferenças.

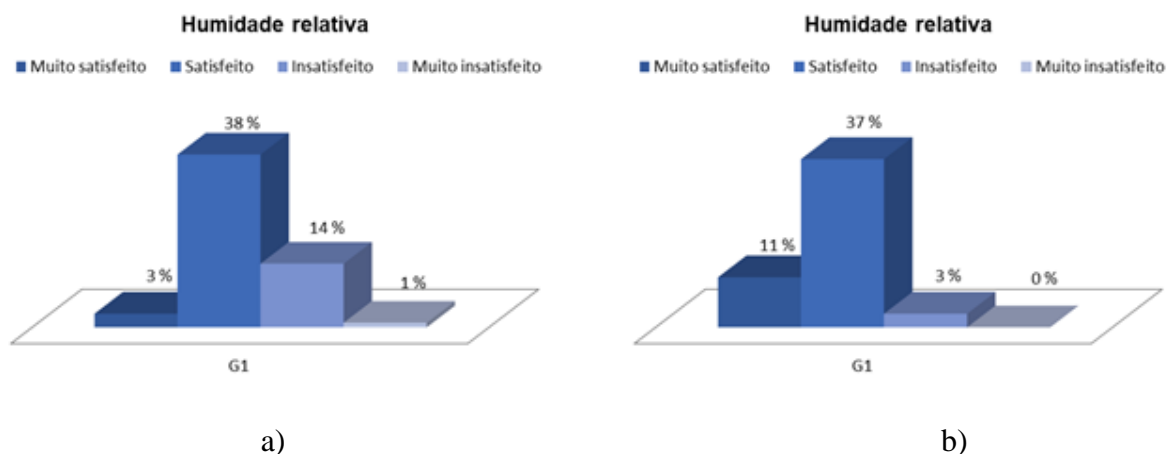


Figura 4-20: Opinião dos inquiridos em relação à humidade relativa desejada a) 1ª fase, b) 2ª fase

A qualidade do ar interior é bastante aceitável segundo os inquiridos, tendo em conta as respostas aos inquéritos (Figura 4-21 a) e b)). Não se registaram diferenças relevantes entre os dois períodos de inquérito.

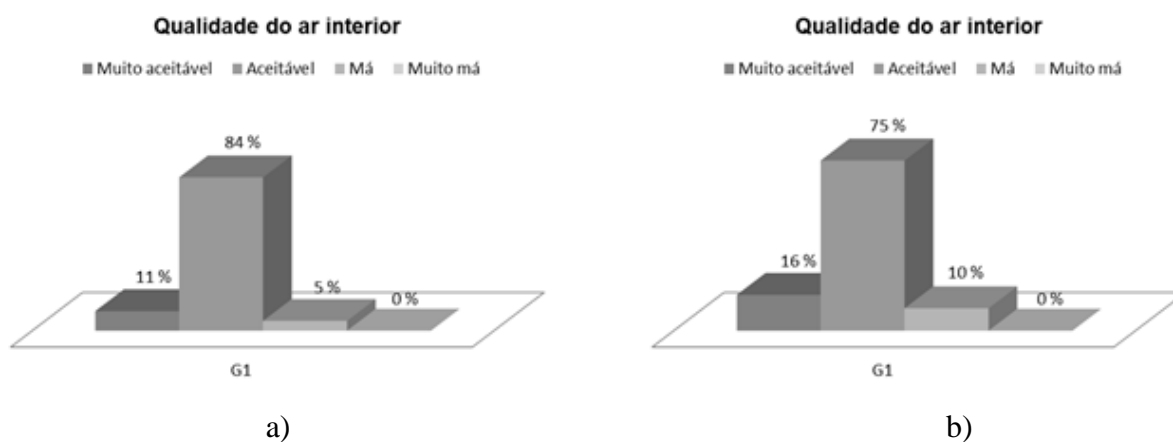


Figura 4-21: Opinião dos inquiridos em relação à qualidade do ar a) 1ª fase, b) 2ª fase

O grau de satisfação com a qualidade do ar interior foi ainda confirmado pelas respostas dadas à questão relacionada com os odores no interior do espaço (Figura 4-22).

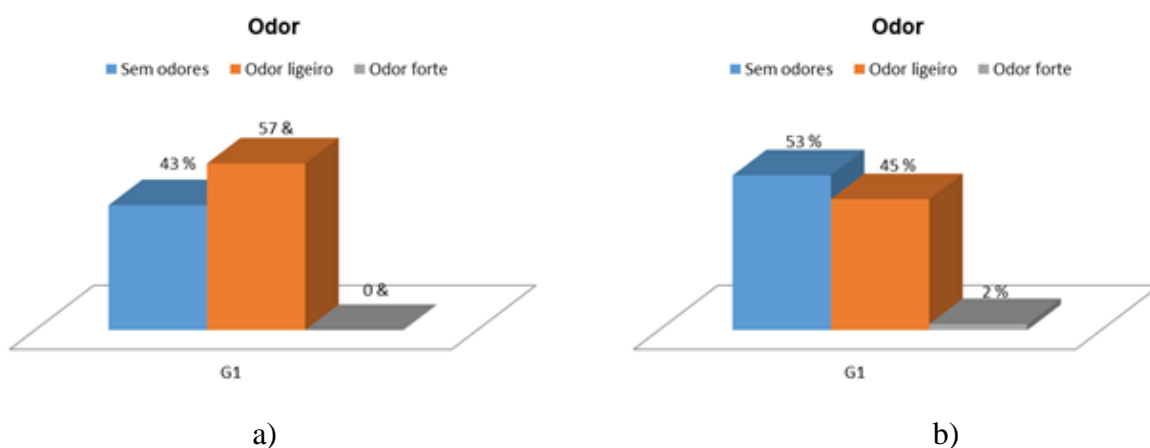


Figura 4-22: Opinião dos inquiridos em relação ao odor a) 1ª fase, b) 2ª fase

Para completar esta informação apresentam-se ainda os resultados relativos aos dias de semana mais frequentados, horário do dia com mais afluência e a satisfação global com o espaço (Quadro 4-4).

Quadro 4-4: Análise geral do caso de estudo 1

1ª Fase	2ª Fase																																				
<p style="text-align: center;">Frequência dos dias de semana</p> <table border="1"> <caption>Frequência dos dias de semana - 1ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Dia</th> <th>Frequência</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Segunda-feira</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Terça-feira</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Quarta-feira</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Quinta-feira</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Sexta-feira</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Sábado</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Dia	Frequência	Segunda-feira	25	Terça-feira	15	Quarta-feira	23	Quinta-feira	17	Sexta-feira	25	Sábado	10	<p style="text-align: center;">Frequência dos dias de semana</p> <table border="1"> <caption>Frequência dos dias de semana - 2ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Dia</th> <th>Frequência</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Segunda-feira</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Terça-feira</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Quarta-feira</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Quinta-feira</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Sexta-feira</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Sábado</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Dia	Frequência	Segunda-feira	23	Terça-feira	20	Quarta-feira	23	Quinta-feira	20	Sexta-feira	25	Sábado	10								
Dia	Frequência																																				
Segunda-feira	25																																				
Terça-feira	15																																				
Quarta-feira	23																																				
Quinta-feira	17																																				
Sexta-feira	25																																				
Sábado	10																																				
Dia	Frequência																																				
Segunda-feira	23																																				
Terça-feira	20																																				
Quarta-feira	23																																				
Quinta-feira	20																																				
Sexta-feira	25																																				
Sábado	10																																				
<p style="text-align: center;">Hora do Dia</p> <table border="1"> <caption>Hora do Dia - 1ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Intervalo</th> <th>Frequência</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10:00-11:00</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>11:00-12:00</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>15:00-16:00</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>16:00-17:00</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>17:00-18:00</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>18:00-19:00</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>19:00-20:00</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>20:00-20:45</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalo	Frequência	10:00-11:00	20	11:00-12:00	22	15:00-16:00	5	16:00-17:00	10	17:00-18:00	20	18:00-19:00	22	19:00-20:00	25	20:00-20:45	10	<p style="text-align: center;">Hora do Dia</p> <table border="1"> <caption>Hora do Dia - 2ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Intervalo</th> <th>Frequência</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10:00-11:00</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>11:00-12:00</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>15:00-16:00</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>16:00-17:00</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>17:00-18:00</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>18:00-19:00</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>19:00-20:00</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>20:00-20:45</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalo	Frequência	10:00-11:00	22	11:00-12:00	17	15:00-16:00	5	16:00-17:00	20	17:00-18:00	25	18:00-19:00	16	19:00-20:00	25	20:00-20:45	7
Intervalo	Frequência																																				
10:00-11:00	20																																				
11:00-12:00	22																																				
15:00-16:00	5																																				
16:00-17:00	10																																				
17:00-18:00	20																																				
18:00-19:00	22																																				
19:00-20:00	25																																				
20:00-20:45	10																																				
Intervalo	Frequência																																				
10:00-11:00	22																																				
11:00-12:00	17																																				
15:00-16:00	5																																				
16:00-17:00	20																																				
17:00-18:00	25																																				
18:00-19:00	16																																				
19:00-20:00	25																																				
20:00-20:45	7																																				
<p style="text-align: center;">Satisfação global</p> <table border="1"> <caption>Satisfação global - 1ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Nível de Satisfação</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muito satisfeito</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>Satisfeito</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>Insatisfeito</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>Muito insatisfeito</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Nível de Satisfação	Porcentagem	Muito satisfeito	17%	Satisfeito	38%	Insatisfeito	1%	Muito insatisfeito	0%	<p style="text-align: center;">Satisfação global</p> <table border="1"> <caption>Satisfação global - 2ª Fase</caption> <thead> <tr> <th>Nível de Satisfação</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muito satisfeito</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Satisfeito</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Insatisfeito</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Muito insatisfeito</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Nível de Satisfação	Porcentagem	Muito satisfeito	20%	Satisfeito	31%	Insatisfeito	0%	Muito insatisfeito	0%																
Nível de Satisfação	Porcentagem																																				
Muito satisfeito	17%																																				
Satisfeito	38%																																				
Insatisfeito	1%																																				
Muito insatisfeito	0%																																				
Nível de Satisfação	Porcentagem																																				
Muito satisfeito	20%																																				
Satisfeito	31%																																				
Insatisfeito	0%																																				
Muito insatisfeito	0%																																				

4.2.2 Caso 2

4.2.2.1 Parâmetros de medição contínuos

Temperatura

Nas Figuras 4-23, 4-24, 4-25, 4-26 observa-se a variação da temperatura interior e da exterior nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respetivamente. Refira-se que a temperatura exterior foi retirada do site referido anteriormente no capítulo 3.

Analisando as Figuras verifica-se que nos meses de janeiro/fevereiro e março a temperatura interior é, na maior parte do tempo, muito próxima dos 15 °C, enquanto nos meses mais quentes, abril e maio, a temperatura interior já se aproxima mais dos 20 °C.

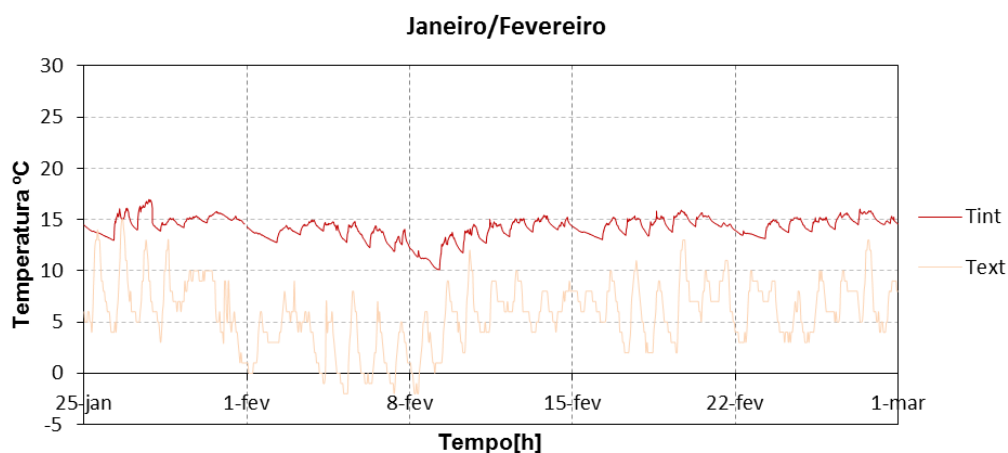


Figura 4-23: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2

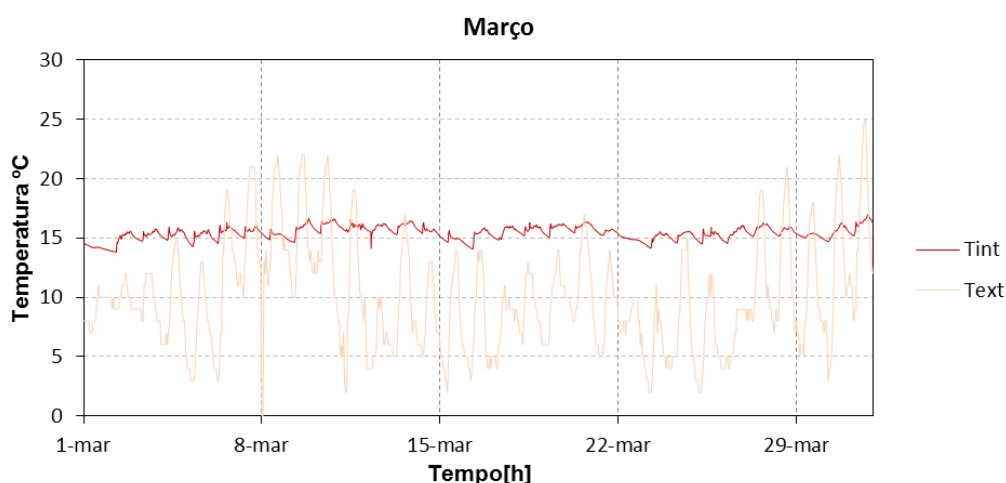


Figura 4-24: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 2

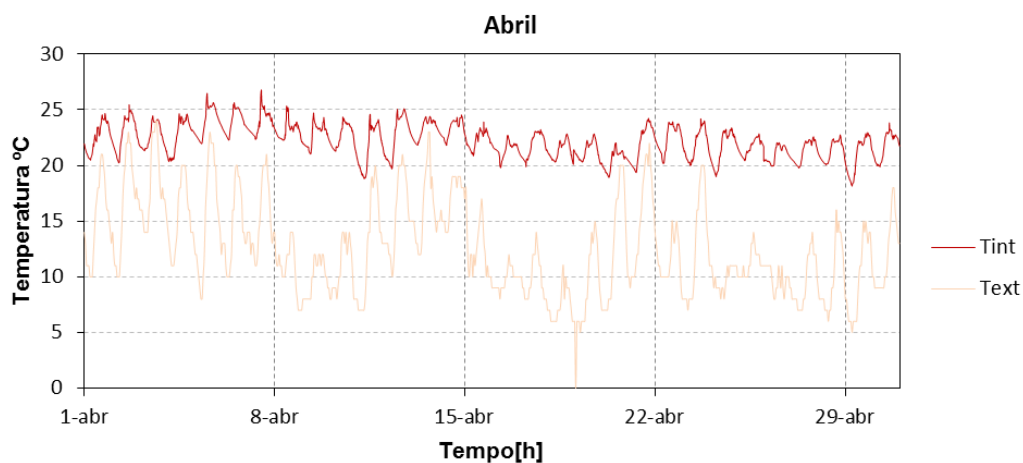


Figura 4-25: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 2

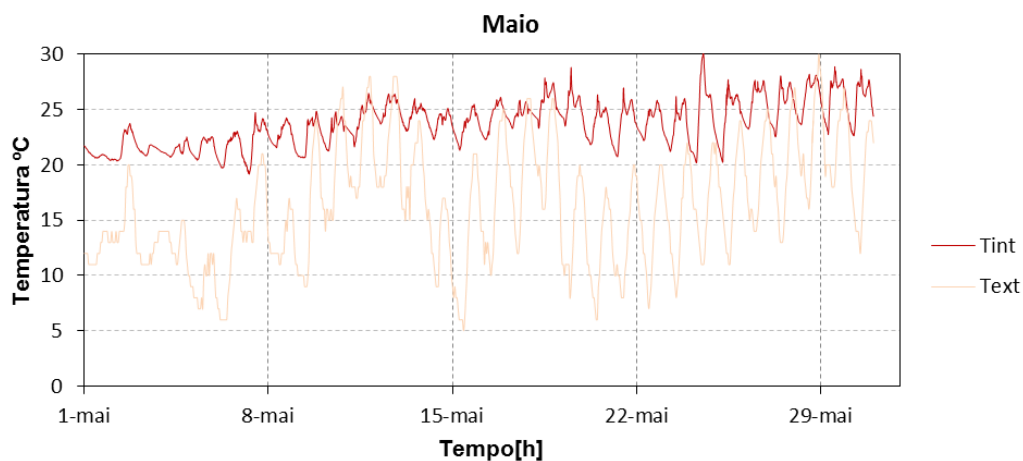


Figura 4-26: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 2

Para uma avaliação mais precisa da variação da temperatura interior foi feita uma análise de estatística descritiva.

No Quadro 4-5 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da temperatura interior de cada mês.

Quadro 4-5: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 2

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	14,06	15,42	22,21	23,77
Desvio padrão	1,05	0,56	1,47	2,04
Máximo	16,03	16,96	26,79	30,16
Mínimo	10,09	13,81	17,20	20,19

4 – Avaliação do conforto higrotérmico

Na Figura 4-27 são representados os histogramas mensais da temperatura interior do caso de estudo 2.

A evolução do aumento da temperatura é notório na análise dos histogramas. A escala horizontal dos histogramas referentes aos meses de abril e de maio foi aumentada para facilitar a leitura.

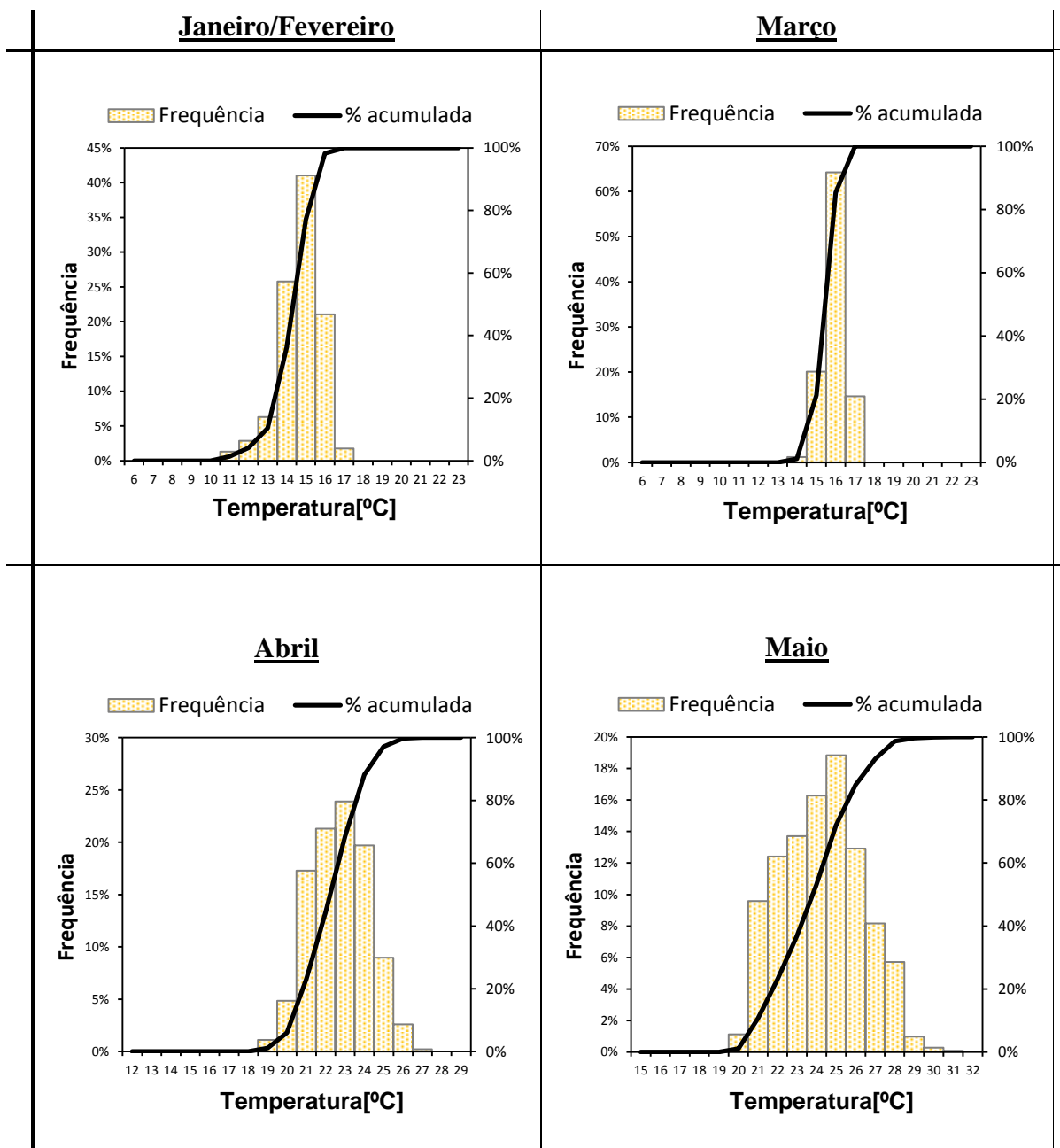


Figura 4-27: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 2

Humidade relativa

Nas Figuras 4-28, 4-29, 4-30, 4-31 observa-se a evolução mensal da humidade relativa interior e da exterior. A humidade relativa exterior retirada da base de dados referida anteriormente mostra que na maioria dos meses a humidade relativa chegou a atingir os 100%.

Analisando a Figura 4-28 é possível verificar que a humidade relativa interior do espaço no mês de janeiro/fevereiro, meses mais húmidos, teve um intervalo de variação entre os 35 e os 80%. No mês de maio o intervalo diminuiu para 30 a 65%.

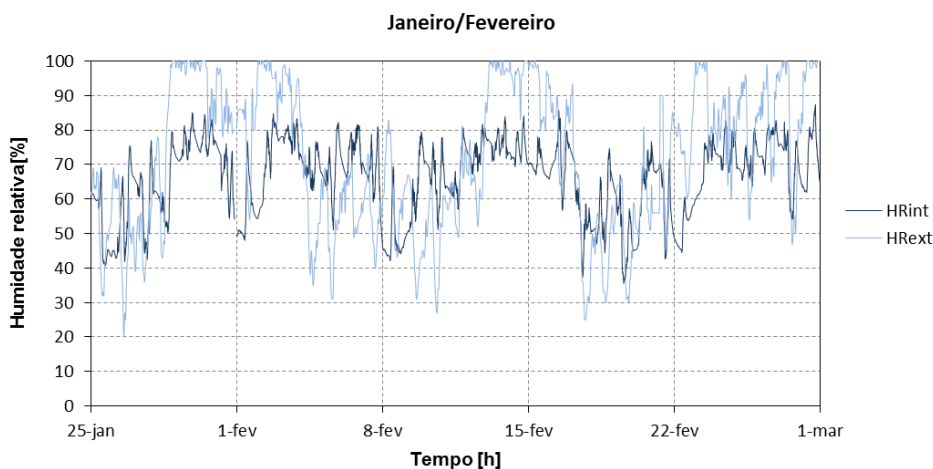


Figura 4-28: Humidade relativa interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2

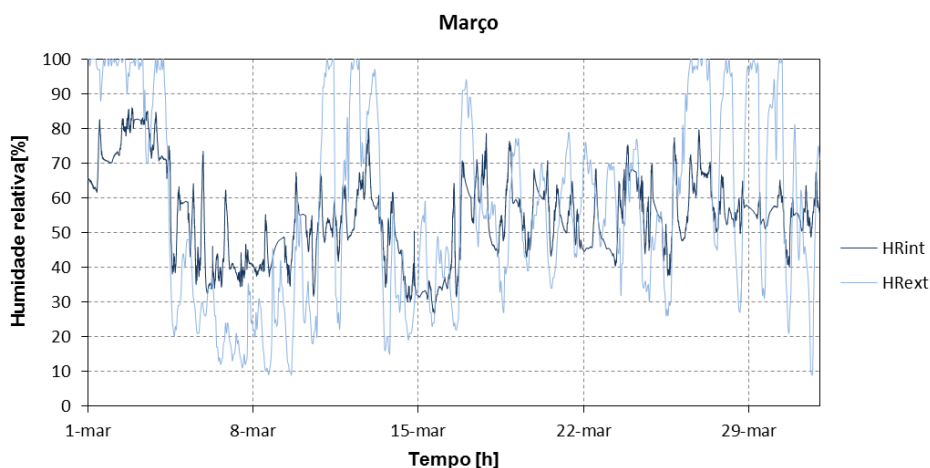


Figura 4-29: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 2

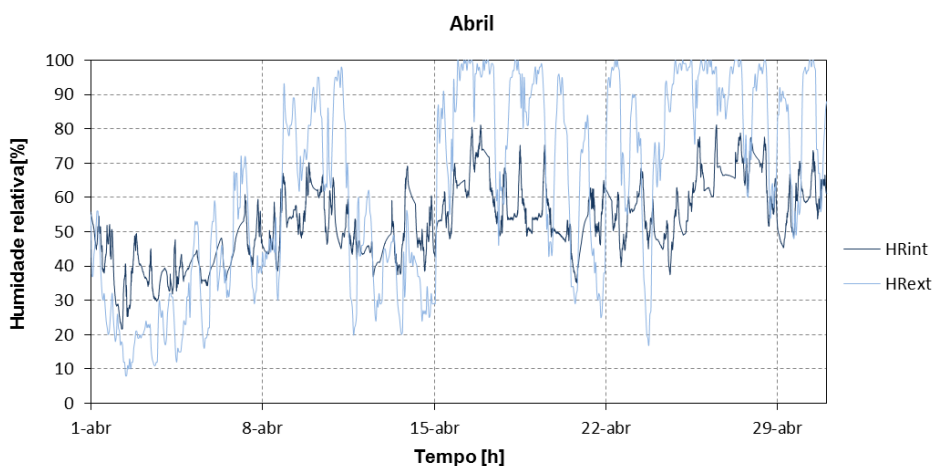


Figura 4-30: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 2

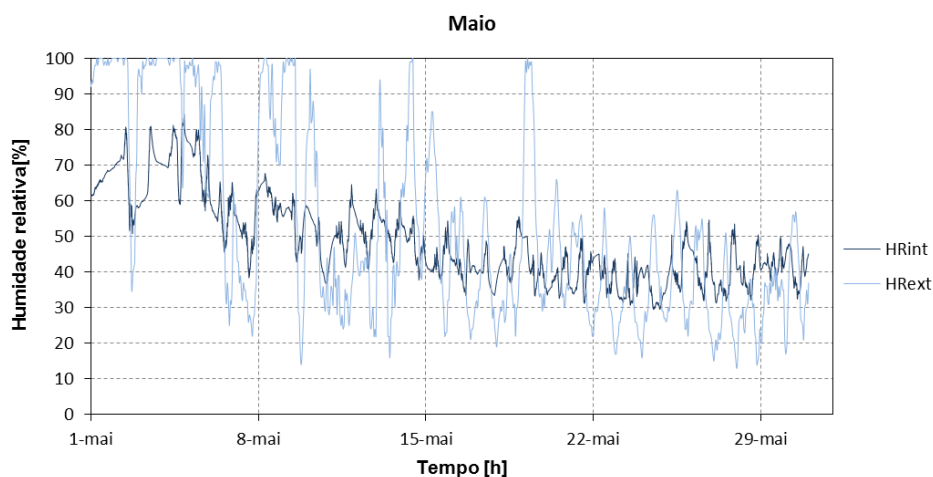


Figura 4-31: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 2

Na análise das leituras efetuadas nos vários meses nota-se que a humidade relativa interior e exterior diminui gradualmente.

Para uma avaliação mais precisa da variação da humidade relativa interior foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-6 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da humidade relativa interior de cada mês.

Quadro 4-6: Análise estatística mensal

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	66	57	61	40
Desvio padrão	10,9	7,1	9,1	5,5
Máximo	87	80	81	55
Mínimo	36	38	37	30

Na Figura 4-32 são representados os histogramas mensais da humidade relativa interior do caso de estudo 2.

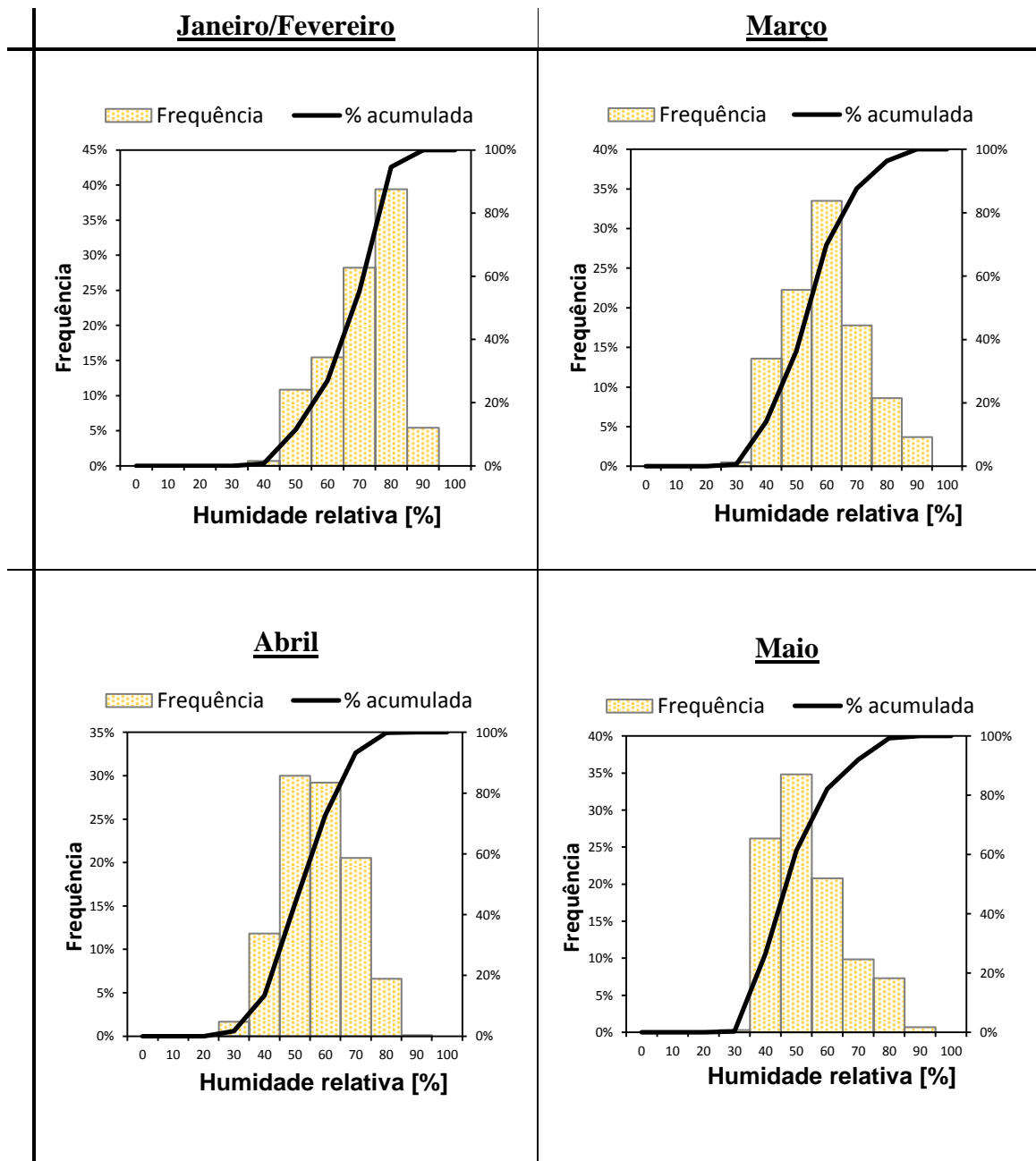


Figura 4-32: Histogramas mensais da humidade relativa – caso de estudo 2

Dióxido de carbono, CO₂

Nas Figuras 4-33, 4-34, 4-35, 4-36 observa-se a variação da concentração de CO₂ no interior no ginásio nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respetivamente.

Mais uma vez, analisando as Figuras é possível confirmar que o CO₂ varia em função do volume de ocupação e não dos meses em estudo.

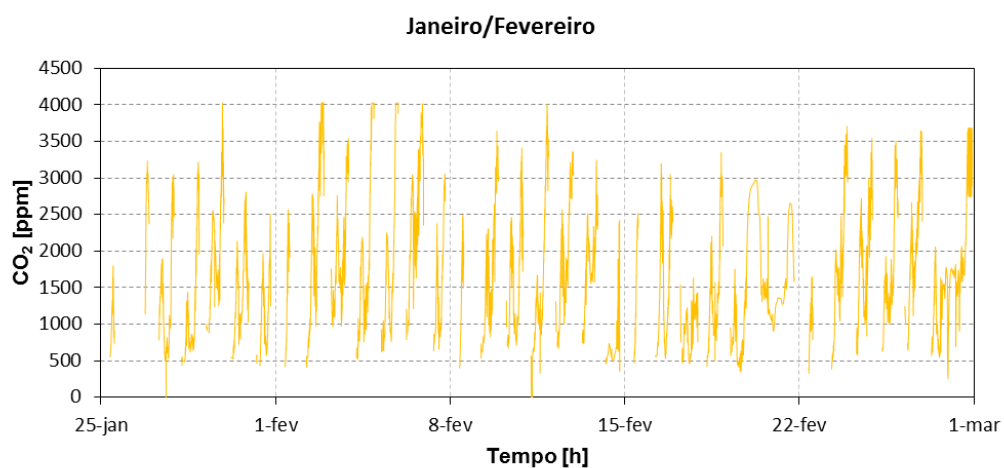


Figura 4-33: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 2

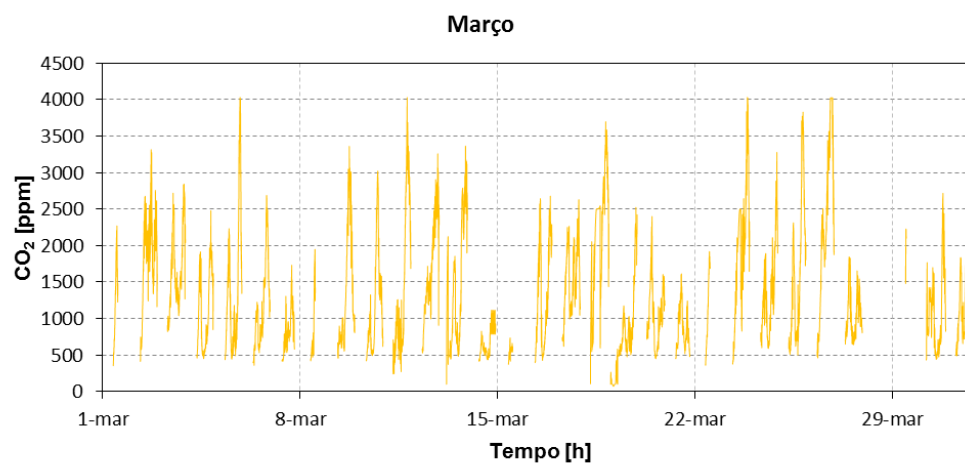


Figura 4-34: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 2

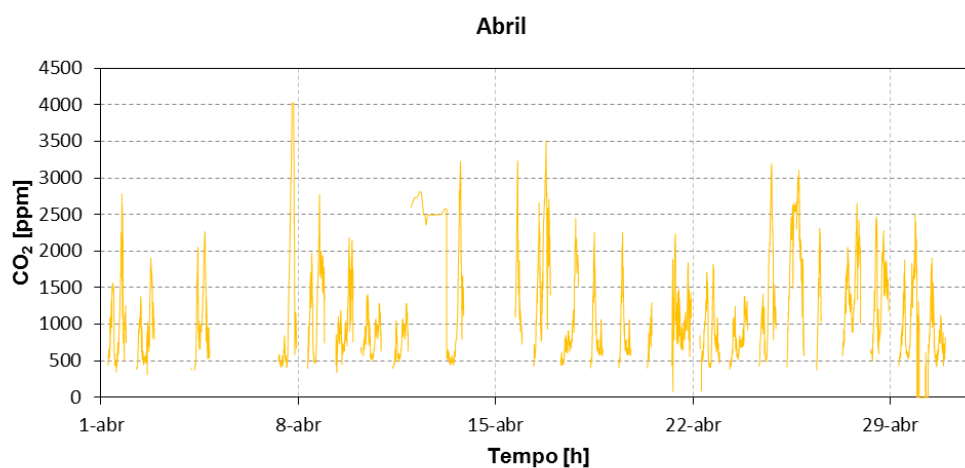


Figura 4-35: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 2

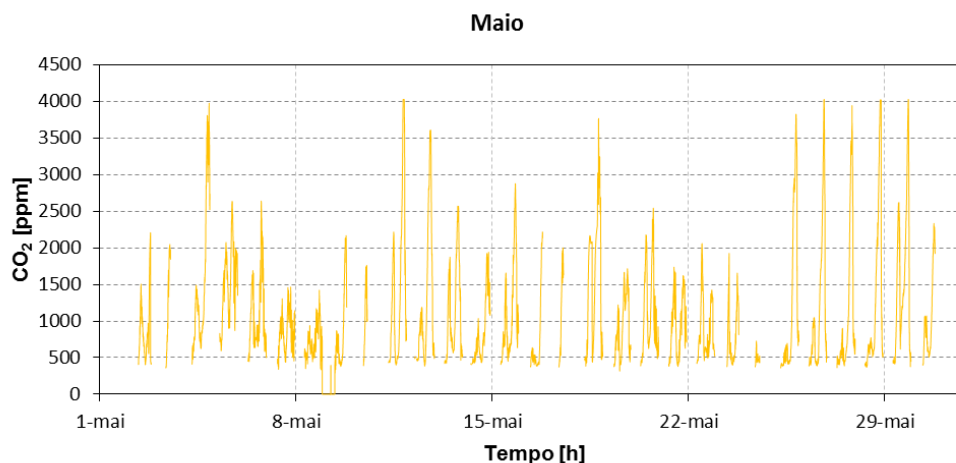


Figura 4-36: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 2

No caso de estudo 2 a medição do CO₂ só se realizou durante o período de ocupação porque a fonte de energia era desligada no período de encerramento do ginásio.

Para uma avaliação mais precisa da variação da concentração de CO₂ foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-7 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão e máximo da concentração de CO₂ de cada mês.

Quadro 4-7: Análise estatística mensal da concentração de CO₂ – caso de estudo 2

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	1712	1396	1240	1098
Desvio padrão	875	838	751	791
Máximo	4028	4028	4028	4028

4.2.2.2 Modelos de conforto

Método gráfico da ASHRAE

A avaliação do conforto térmico pelo método gráfico sugerido pela ASHRAE 55 (2010) permitiu facilmente obter uma visão global do nível de conforto propiciado aos ocupantes do ginásio em estudo.

A Figura 4-37 apresenta os resultados obtidos, observando-se claramente uma grande percentagem de valores dentro da zona de conforto no caso de estudo 2.

Com esta campanha de medições pode-se concluir que este caso de estudo satisfaz as condições de conforto propostas por este modelo na maioria dos registos.

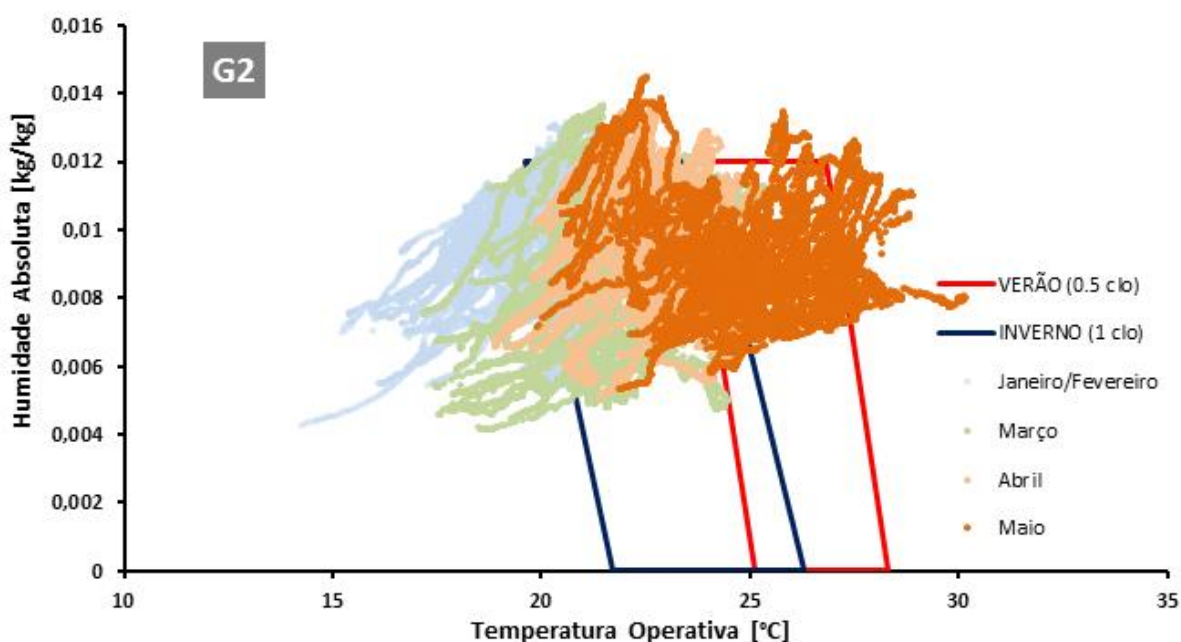


Figura 4-37: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 2

Modelo adaptativo segundo a norma EN 15251

A norma EN 15251 (2006) propõe um modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico em espaços interiores.

Na Figura 4-38 apresenta-se o gráfico do modelo adaptativo no caso de estudo 2. É visível um aumento do número de registos que cumprem o recomendado na norma relativamente ao caso de estudo 1.

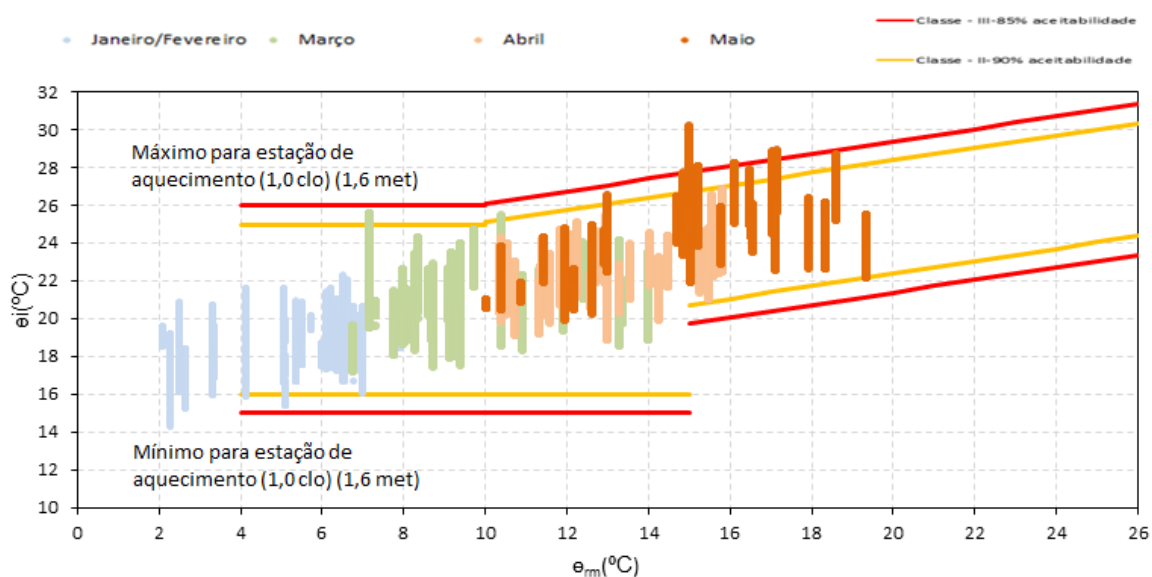


Figura 4-38: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 2

4.2.3 Caso 3

4.2.3.1 Parâmetros de medição contínuos

Temperatura

Nas Figuras 4-39, 4-40, 4-41 e 4-42 observa-se a variação da temperatura interior e da exterior nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respectivamente. Refira-se que a temperatura exterior foi retirada do site referido anteriormente no capítulo 3.

Analisando os resultados verifica-se que, excetuando o mês de janeiro/fevereiro, a temperatura interior flutua no intervalo entre os 20°C e os 25 °C. Note-se que no final do mês de abril a temperatura estabilizou a fruto da entrada em funcionamento do sistema de climatização.

Este caso de estudo é relativamente diferente dos anteriores porque os equipamentos foram colocados num espaço destinado a atividade com *personal trainer*, o que leva a valores mais constantes ao longo do dia.

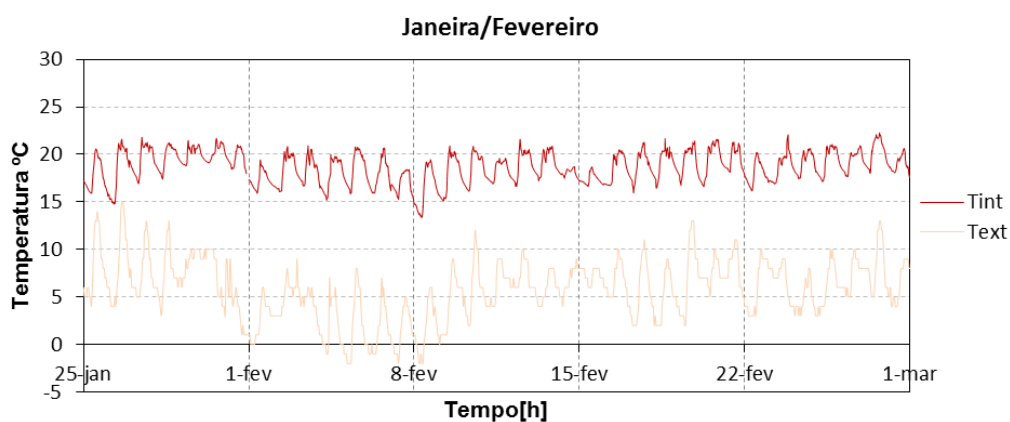


Figura 4-39: Temperatura interior e exterior nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 3

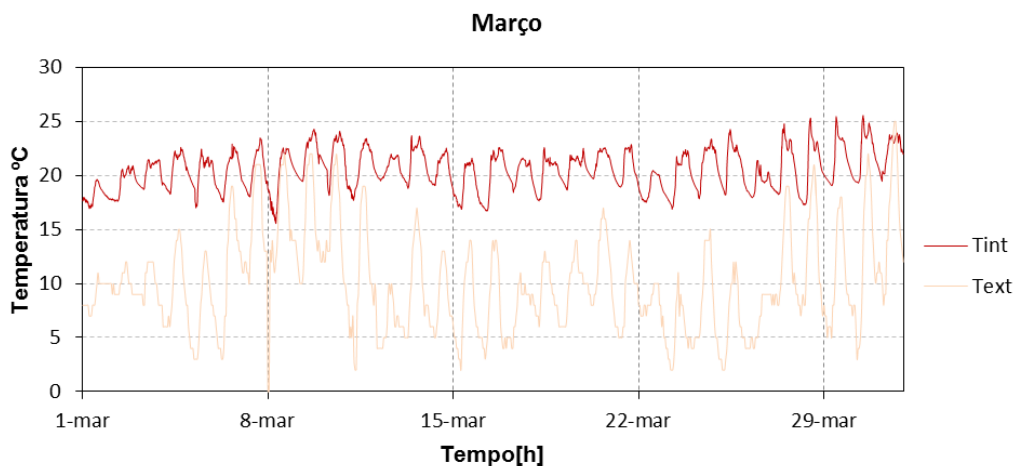


Figura 4-40: Temperatura interior e exterior no mês de março – caso de estudo 3

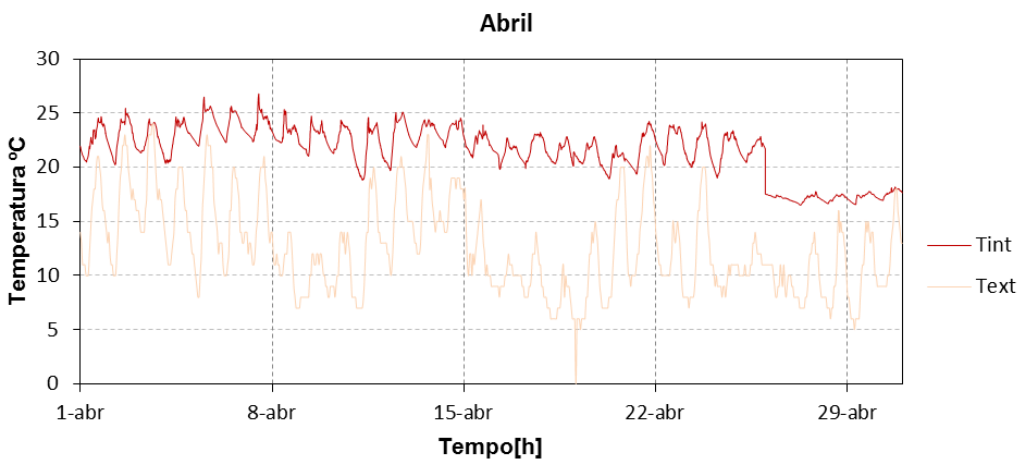


Figura 4-41: Temperatura interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 3

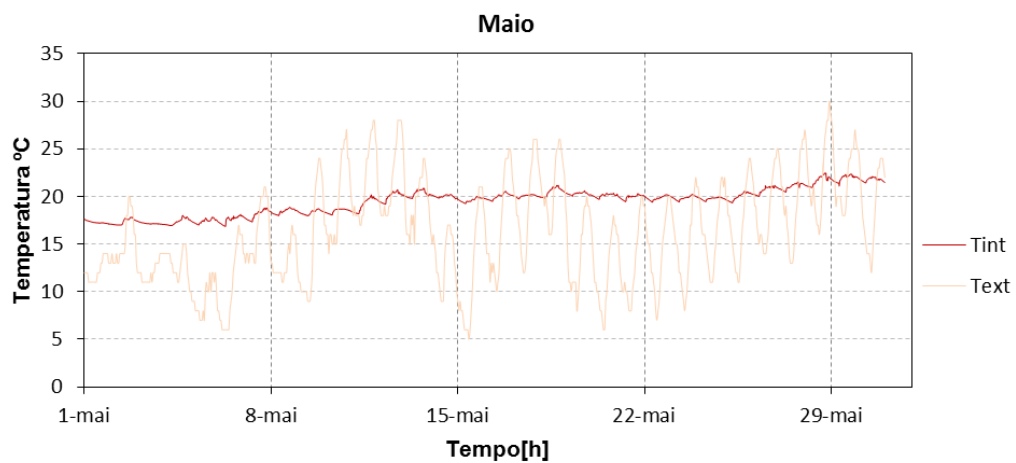


Figura 4-42: Temperatura interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 3

Para uma avaliação mais precisa da variação da temperatura interior foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-8 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da temperatura interior de cada mês.

Quadro 4-8: Análise estatística mensal da temperatura – caso de estudo 3

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maió
Média	18,68	20,51	25,55	19,47
Desvio padrão	1,63	1,81	2,34	1,41
Máximo	22,29	25,56	26,79	22,47
Mínimo	13,35	15,55	16,49	16,86

Na Figura 4-43 são representados os histogramas mensais da temperatura interior do caso de estudo 3. A evolução do aumento da temperatura é notório na análise dos histogramas. O número de registos próximos dos 23 °C aumenta consideravelmente até ao mês de abril, baixando no mês de maio resultado da ativação do sistema de climatização, regularizando a temperatura nos 20 °C numa grande parte do dia.

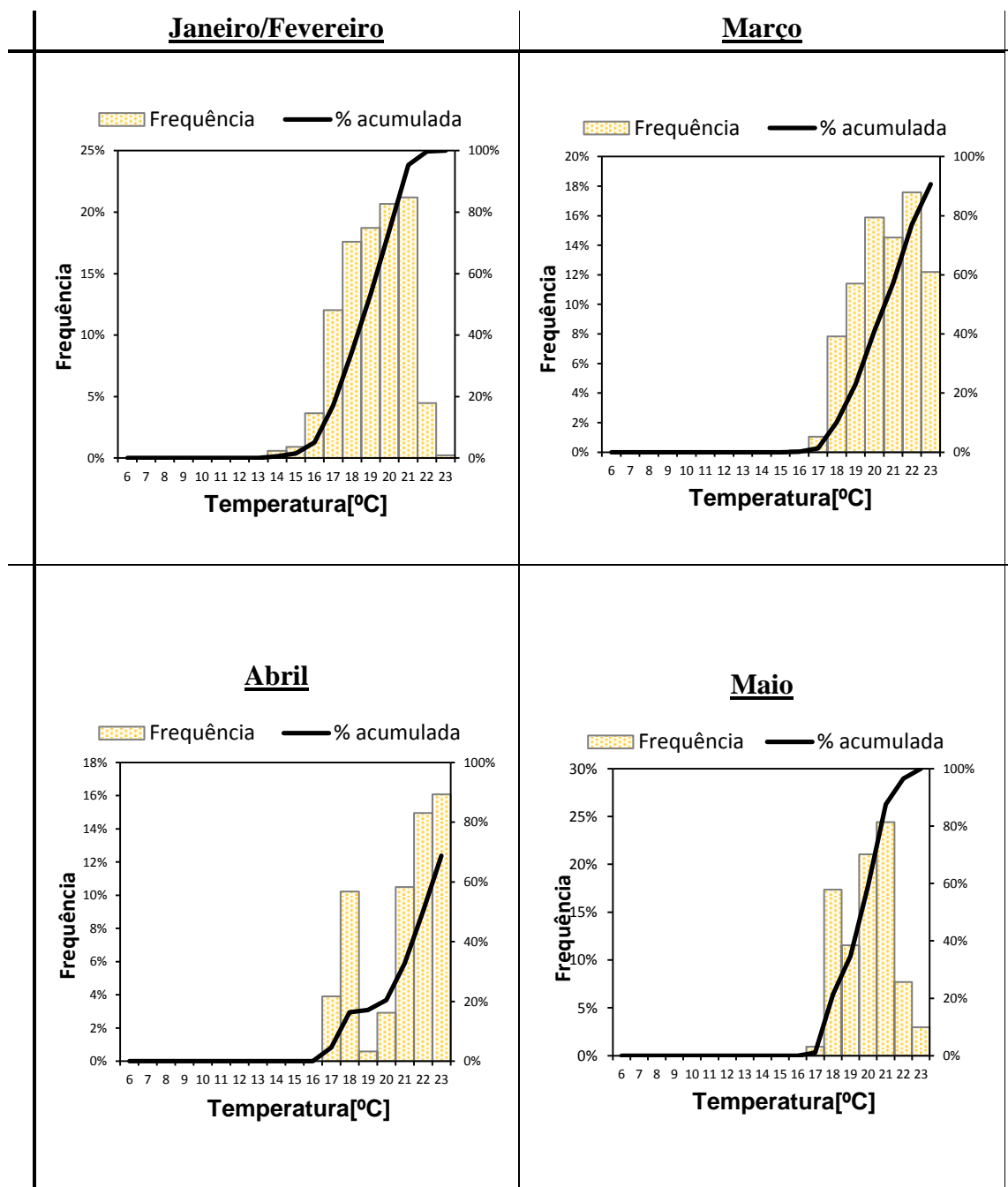


Figura 4-43: Histogramas mensais da temperatura – caso de estudo 3

Humidade relativa

Nas Figuras 4-44, 4-45, 4-46 e 4-47 observa-se a evolução mensal da humidade relativa interior e da exterior. A humidade relativa exterior retirada da base de dados referida anteriormente mostra que na maioria dos meses a humidade relativa chegou a atingir os 100%.

Analisando as Figuras referidas é possível verificar que a humidade interior do espaço no mês de janeiro/fevereiro, meses mais húmidos, varia entre os 60 e os 90%. No mês de maio o intervalo diminuiu para 50 a 75%, na maioria do mês.

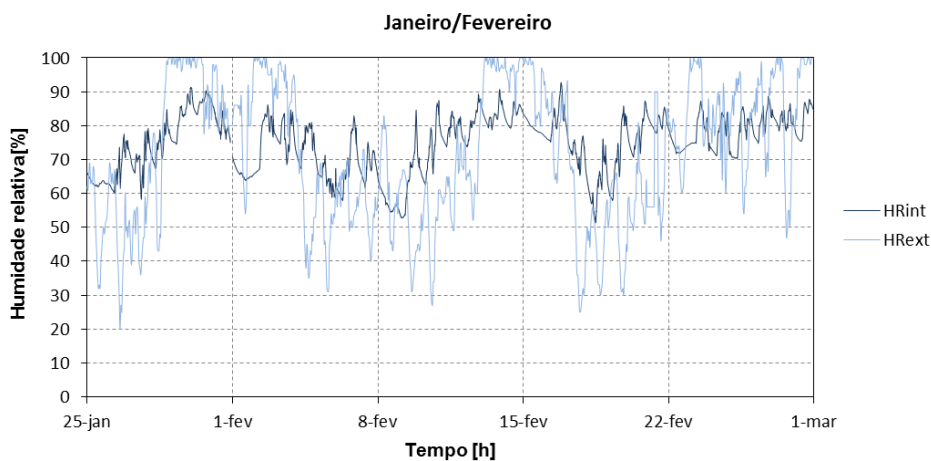


Figura 4-44: Humidade relativa interior e exterior nos meses de janeiro/fevereiro – caso de estudo 3

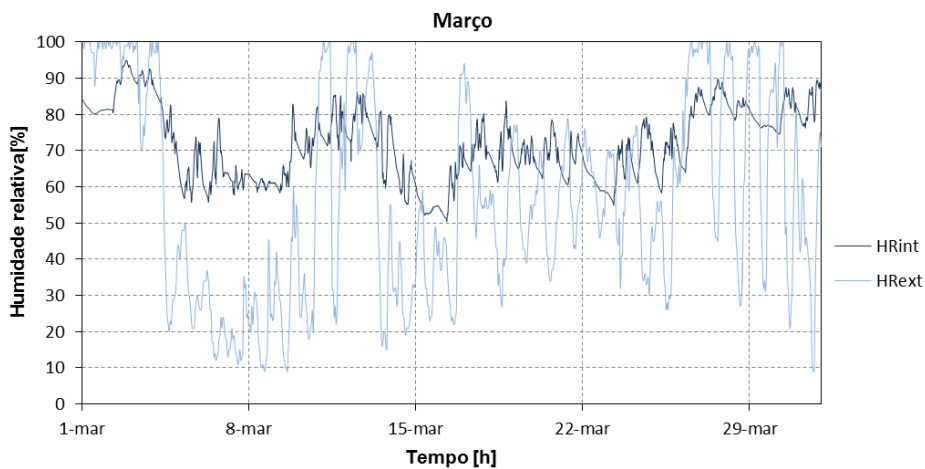


Figura 4-45: Humidade relativa interior e exterior no mês de março – caso de estudo 3

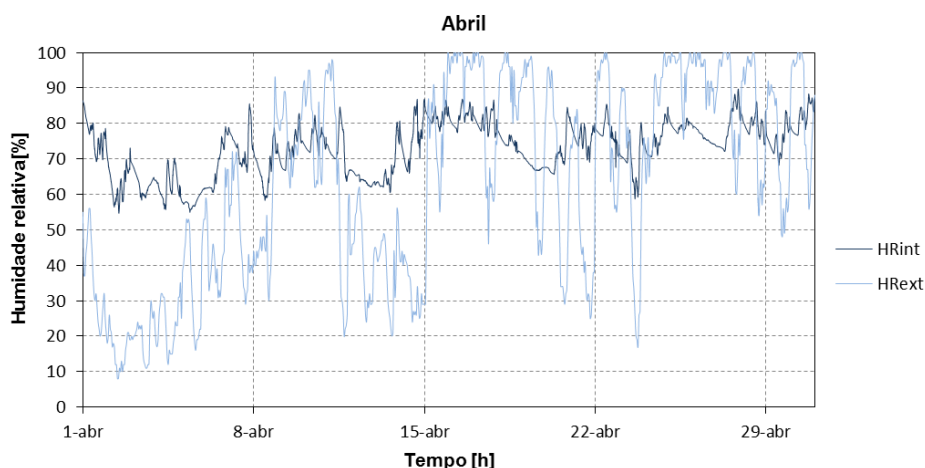


Figura 4-46: Humidade relativa interior e exterior no mês de abril – caso de estudo 3

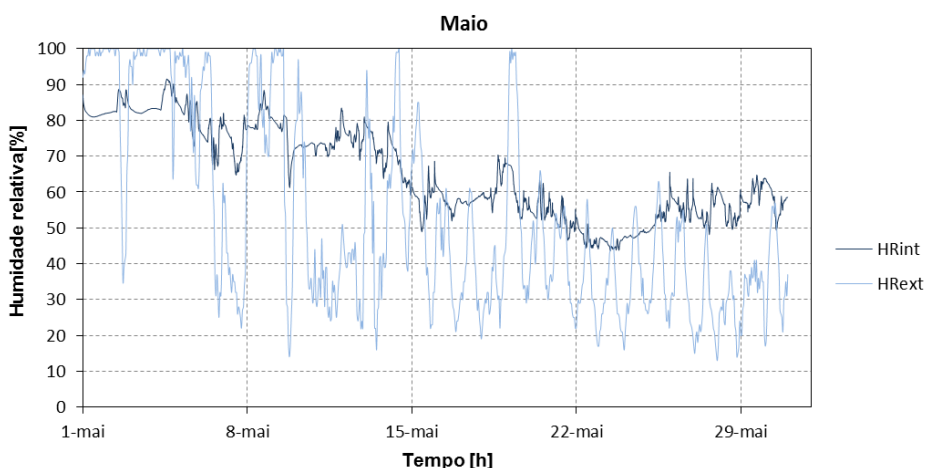


Figura 4-47: Humidade relativa interior e exterior no mês de maio – caso de estudo 3

Na análise das leituras efetuadas nos vários meses nota-se que a humidade relativa interior e exterior diminui gradualmente.

Para uma avaliação mais precisa da variação da humidade relativa interior foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-9 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo da humidade relativa interior de cada mês.

Quadro 4-9: Análise estatística mensal da humidade relativa – caso de estudo 3

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	75	72	73	65
Desvio padrão	8,5	9,9	7,5	12,8
Máximo	93	95	90	92
Mínimo	35	50	57	47

Na Figura 4-48 são representados os histogramas mensais da humidade relativa interior do caso de estudo 3.

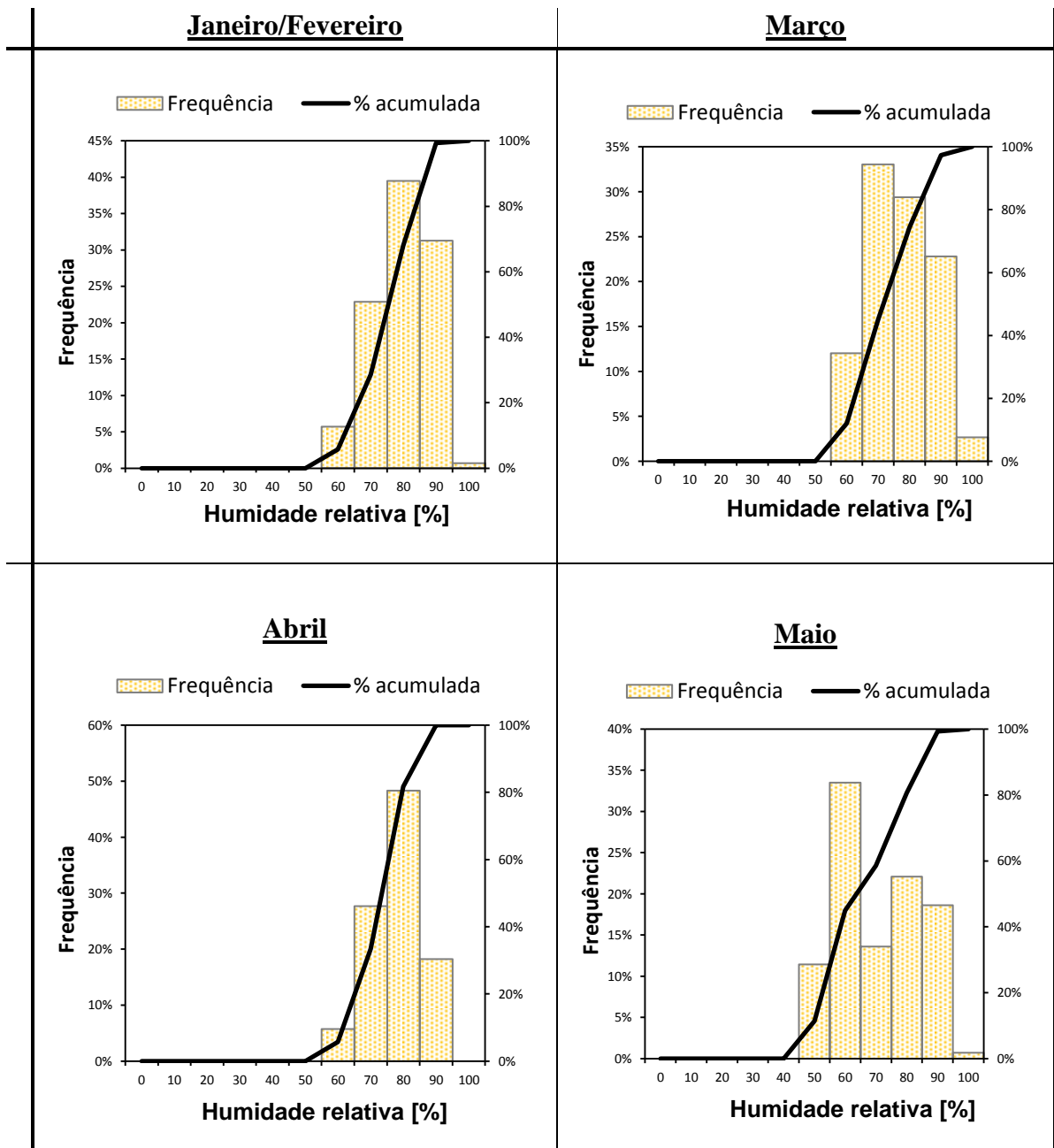


Figura 4-48: Histogramas mensais da humidade relativa - caso de estudo 3

A humidade relativa no mês de maio é significativamente mais baixa que nos meses anteriores, situando-se com mais frequência próxima dos 60%.

Dióxido de carbono, CO₂

Nas Figuras 4-49, 4-50, 4-51 e 4-52 observa-se a variação da concentração de CO₂ no interior do ginásio nos meses de janeiro/fevereiro, março, abril e maio, respetivamente.

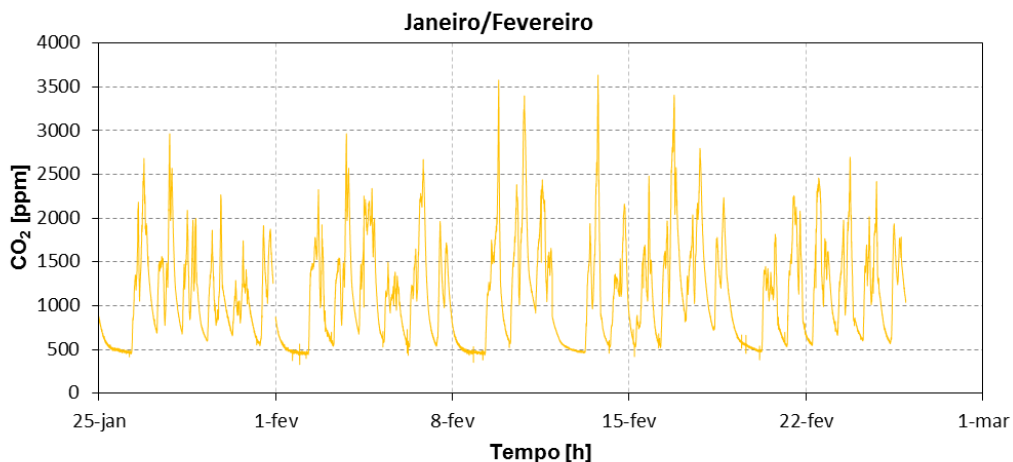


Figura 4-49: Dióxido de carbono nos meses janeiro/fevereiro – caso de estudo 3

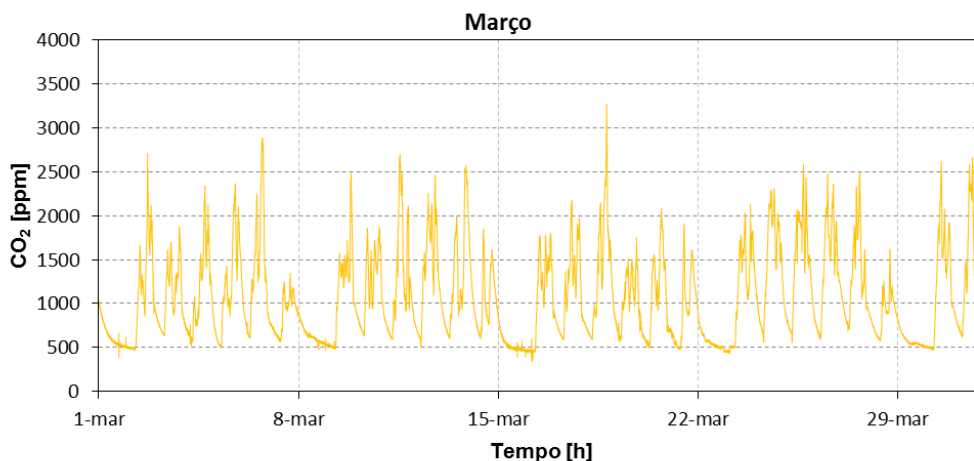


Figura 4-50: Dióxido de carbono no mês de março – caso de estudo 3

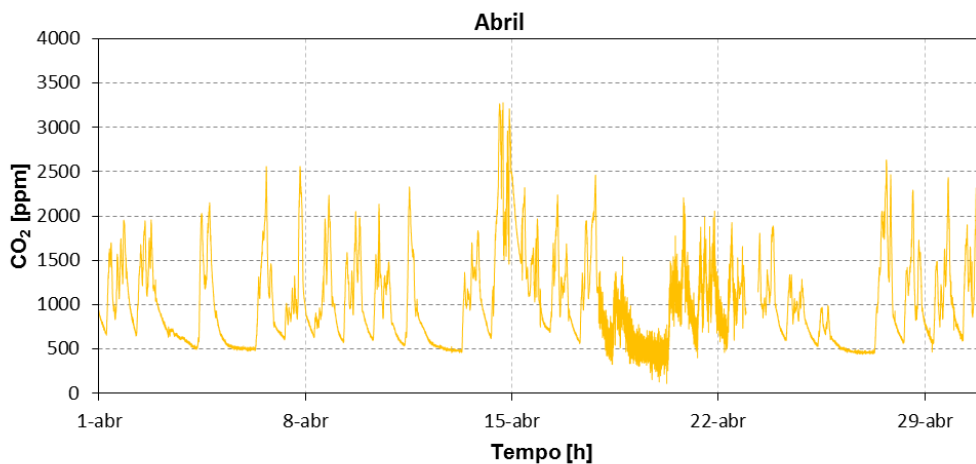


Figura 4-51: Dióxido de carbono no mês de abril – caso de estudo 3

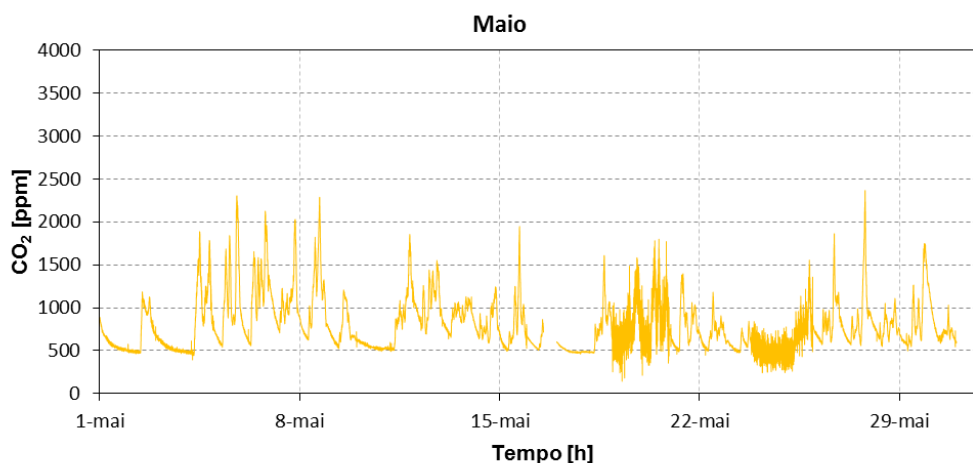


Figura 4-52: Dióxido de carbono no mês de maio – caso de estudo 3

Mais uma vez confirma-se que a concentração de CO₂ varia em função do volume de ocupação e não dos meses em estudo.

Para uma avaliação mais precisa da variação da concentração de CO₂ foi feita uma análise de estatística descritiva. No Quadro 4-10 encontram-se resumidos os valores da média, desvio padrão e máximo da concentração de CO₂ de cada mês.

Quadro 4-10: Análise estatística mensal

	Janeiro/Fevereiro	Março	Abril	Maio
Média	1135	1158	1019	796
Desvio padrão	565	544	490	308
Máximo	3634	2660	3274	2368

4.2.3.2 Modelos de conforto

Método gráfico da ASHRAE

A avaliação do conforto térmico pelo método gráfico sugerido pela ASHRAE 55 (2010) permitiu facilmente obter uma visão global do nível de conforto propiciado aos ocupantes do ginásio em estudo.

A Figura 4-53 apresenta os resultados obtidos, observando-se claramente uma grande percentagem de valores fora da zona de conforto no caso de estudo 3.

Com esta campanha de medições pode-se concluir que este caso de estudo não satisfaz as condições de conforto propostas por este modelo.

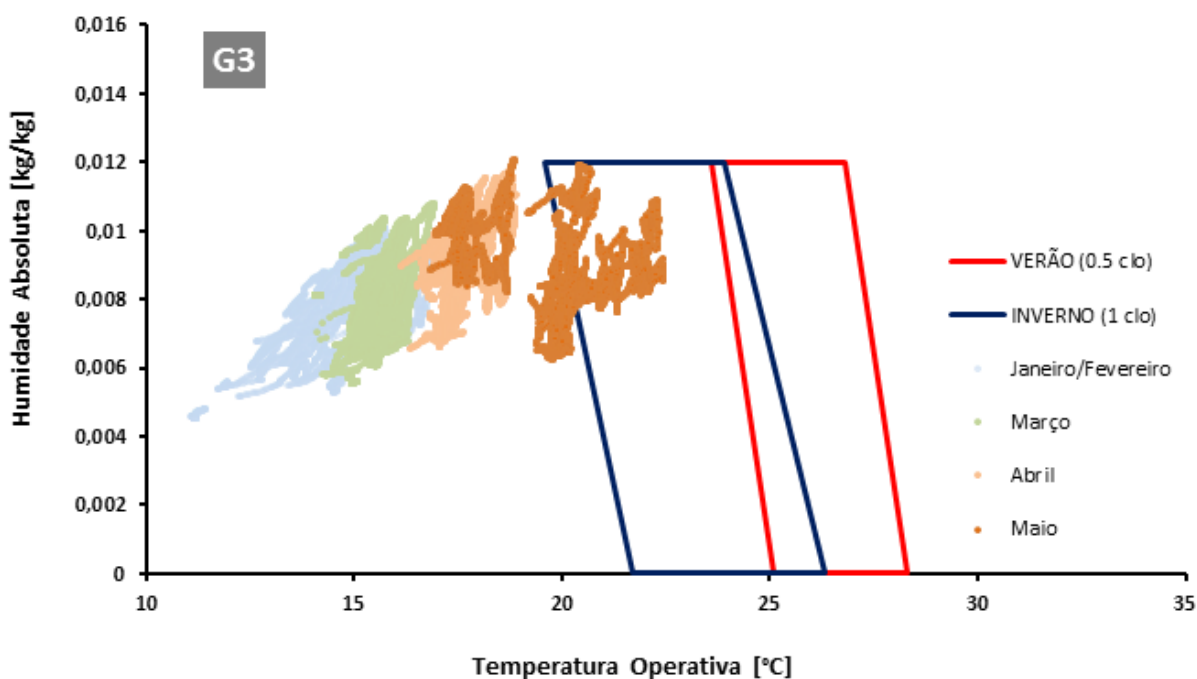


Figura 4-53: Aplicação do modelo adaptativo sugerido pela ASHRAE 55 (2010) ao caso de estudo 3

Modelo adaptativo segundo a norma EN 15251

A norma EN 15251 (2006) propõe um modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico em espaços interiores. Na Figura 4-55 apresenta-se o gráfico do modelo adaptativo no caso de estudo 3. É visível um aumento do número de registos que cumprem o recomendado na norma relativamente ao caso de estudo 1.

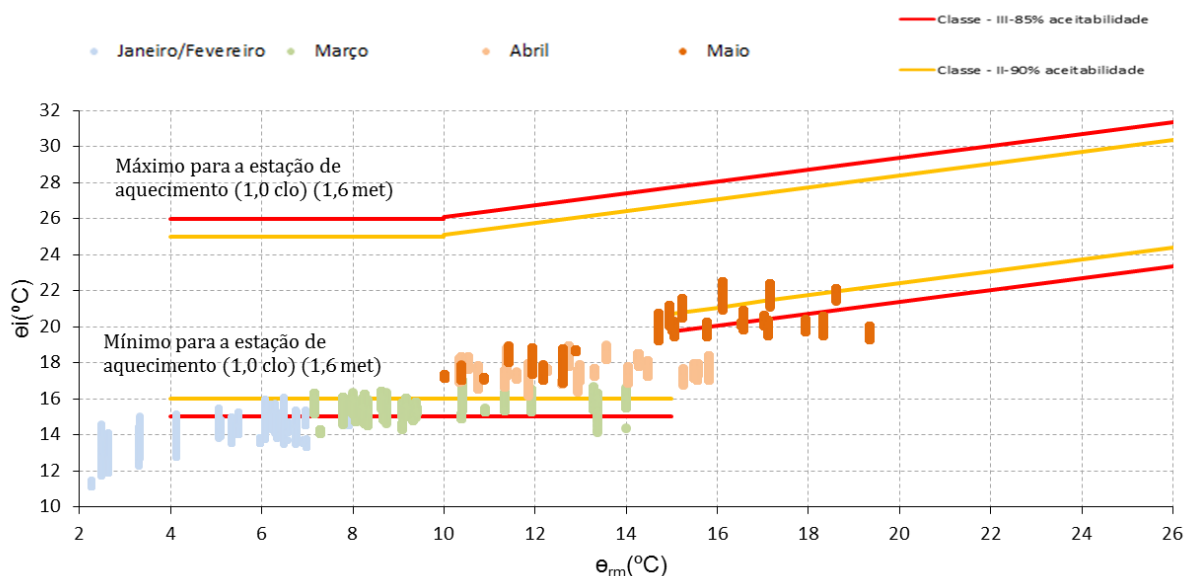


Figura 4-54: Avaliação do conforto por aplicação do método adaptativo sugerido pela EN 15251 no caso de estudo 3

4.3 Discussão final

A avaliação do conforto térmico através da aplicação da metodologia da ASHRAE 55 revelou resultados distintos entre os casos de estudo. Enquanto nos casos de estudo 1 e 3 os registos indicavam largos períodos de desconforto devido a uma temperatura demasiado baixa, já no caso de estudo 2 a maioria dos registos está dentro da zona de conforto. No entanto, tal como explicado no capítulo 2, este modelo pressupõe uma atividade moderada, situação que não ocorre no interior dos ginásios. Compreende-se, portanto, que embora no caso de estudo 1 os registos estejam fora da zona de conforto, os resultados do inquérito tenham indicado uma perceção diferente por parte dos utilizadores.

Apesar desta limitação, este modelo permite ainda retirar uma indicação sobre a influência da humidade absoluta no conforto térmico dos locais. Assim, apenas no caso de estudo 2 se observam registos com humidade absoluta acima do limite proposto pelo modelo. Nos casos de estudo 1 e 3 este limite nunca foi ultrapassado.

No modelo adaptativo da EN 15251 o efeito da atividade metabólica já é contabilizado através da alteração do limite inferior da temperatura de conforto, neste caso para um valor mais baixo do que o considerado para atividade moderada. No entanto, nos casos de estudo 1 e 3 continuam a existir um número significativo de registos fora da zona de conforto. A Figura 4-55 mostra o número de registos fora da zona de conforto em cada caso de estudo.

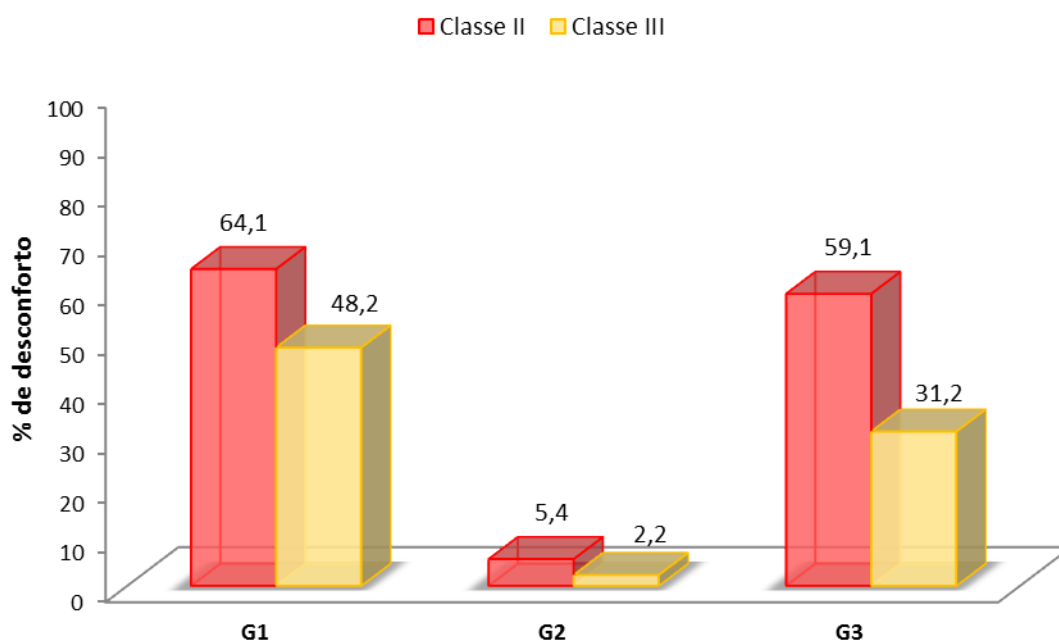


Figura 4-55: Percentagem de desconforto no método adaptativo sugerido pela EN 15251 nos casos de estudo

É visível a diferença na percentagem de desconforto entre os casos de estudo 1 e 3 e o caso 2. Segundo o método adaptativo sugerido pela EN 15251 o caso de estudo 2 apresenta valores de desconforto perfeitamente aceitáveis, garantindo assim o conforto do espaço. Refira-se ainda que os registos de desconforto no caso de estudo 2 correspondem, na sua maioria, a situações de temperatura demasiado elevada, ao contrário do observado nos outros dois casos.

Relativamente à avaliação simplificada da QAI através do registo da concentração de CO₂, verificou-se que nos três casos de estudo os valores máximos de pico foram bastante elevados. Nas Figuras 4-56, 4-57, 4-58 mostram os histogramas relativos à distribuição da concentração de CO₂ considerando apenas o período de ocupação dos ginásios, respetivamente para o caso de estudo 1, 2 e 3.

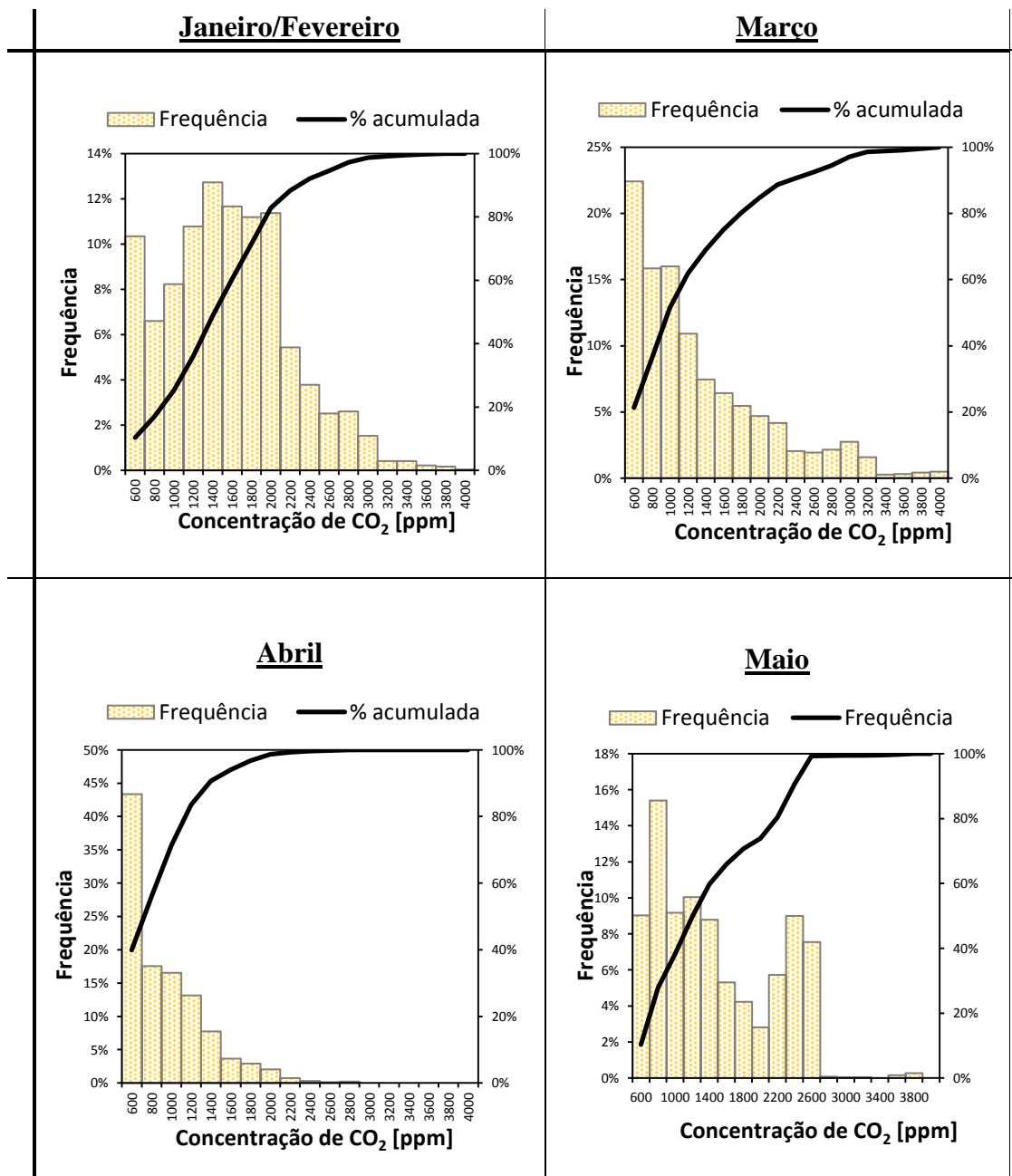


Figura 4-56: Histogramas mensais da concentração de CO₂ – caso de estudo 1

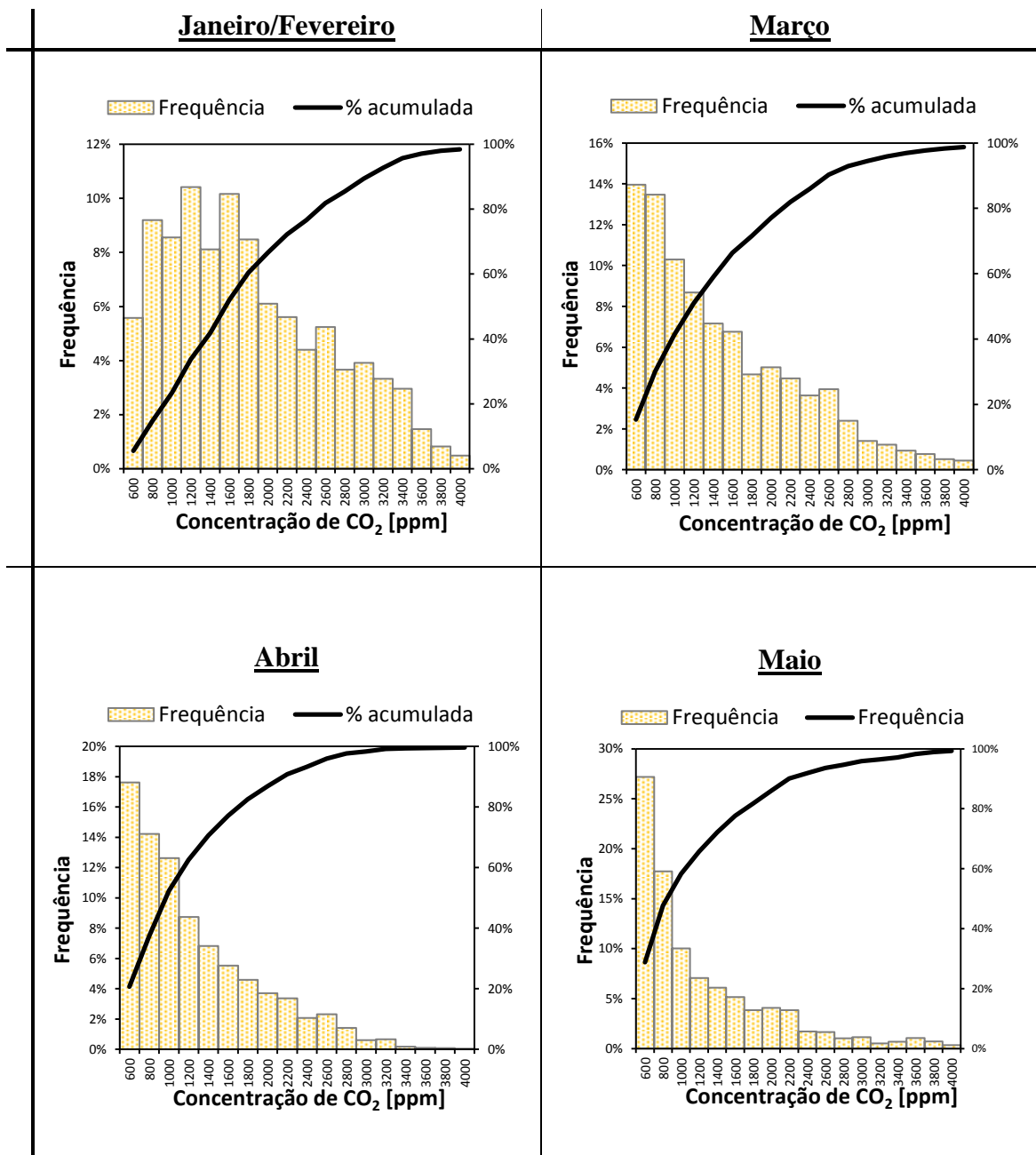


Figura 4-57: Histogramas mensais da concentração de CO₂ – caso de estudo 2

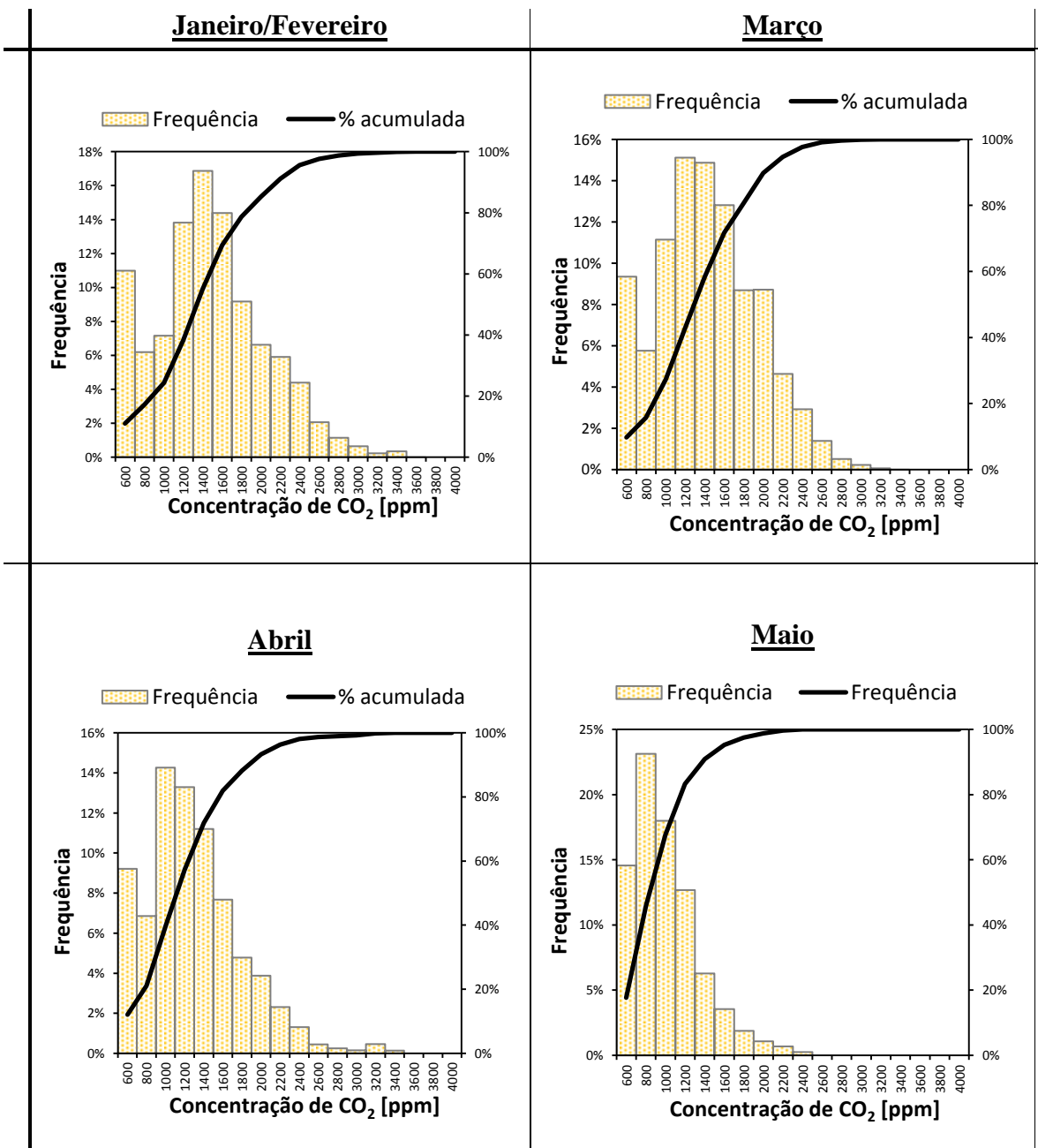


Figura 4-58: Histogramas mensais da concentração de CO₂ – caso de estudo 3

Os registos da concentração de CO₂ foram ainda utilizados para avaliar a percentagem de insatisfeitos através da metodologia proposta na norma ASTM D6245 (2012) (Figura 4-59).

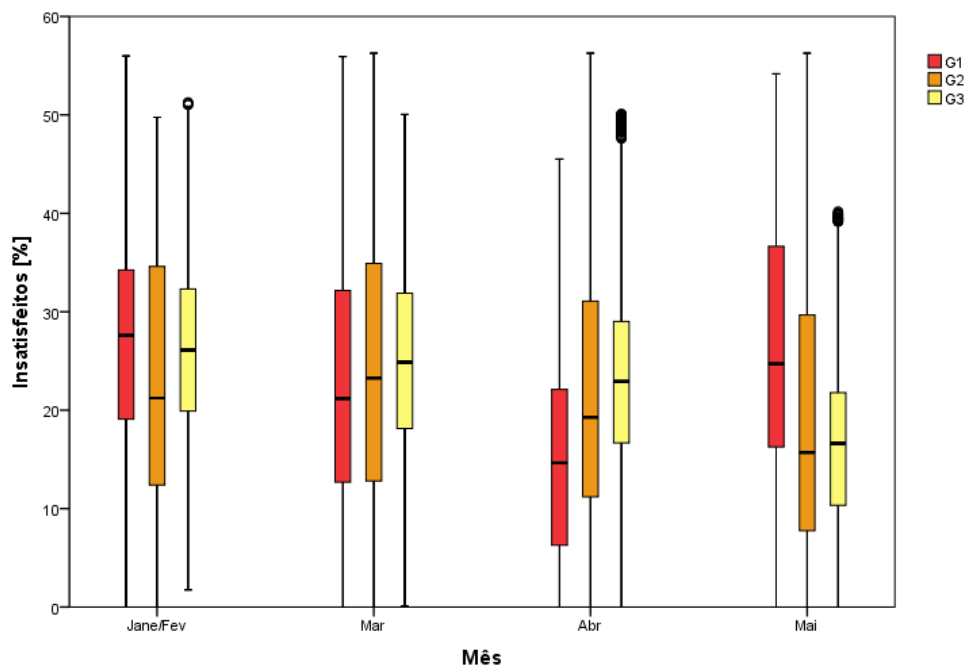


Figura 4-59: Percentagem de insatisfeitos de acordo com a norma ASTM D6245

Os resultados revelam uma tendência para a diminuição da percentagem de insatisfeitos ao longo do tempo, com exceção do caso de estudo 1, que no mês de maio apresentou um aumento significativo. Tal facto deverá estar relacionado com o aumento do número de utilizadores do espaço.

Globalmente pode afirmar-se que a concentração de CO₂ nestes espaços, durante o período de ocupação, é bastante elevada, conduzindo a uma percentagem de insatisfeitos significativa, com valores médios sempre acima dos 15%, chegando mesmo a valores próximos dos 30% nos meses mais frios.

5. Avaliação do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores

5.1 Risco de condensação

O risco de condensação só avaliado no caso de estudo 1 devido ao facto de só estar disponível um *data logger* para medição contínua das temperaturas superficiais. Foi avaliado o risco de condensação em seis zonas, representadas na Figura 5-1

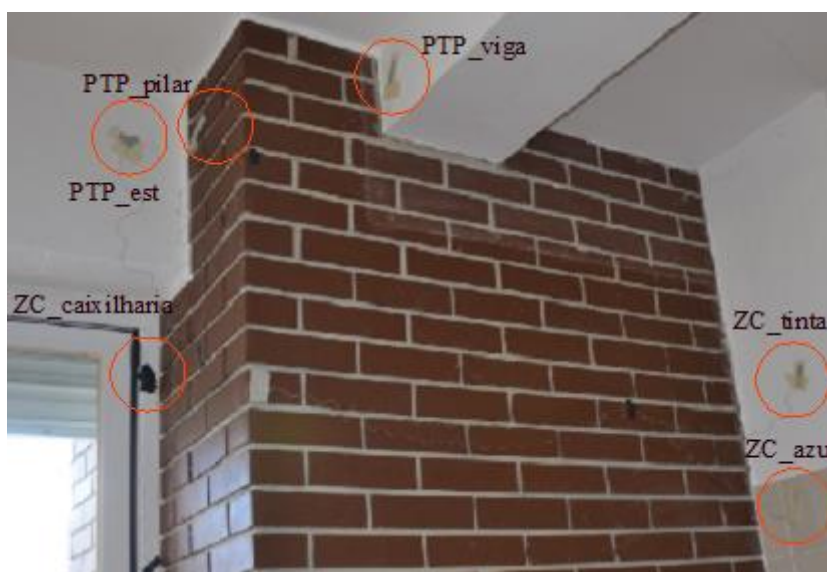


Figura 5-1: Zonas em estudo

Para uma análise mais detalhada do fenómeno, selecionaram-se as primeiras semanas do período total da campanha, visto que as ultimas semanas, com temperatura mais elevada, não foram condicionantes para a avaliação do risco de condensação.

Desta forma, selecionou-se a semana entre o dia 25 e 31 de janeiro. Todos os registos necessários foram organizados numa tabela que serviu de base de dados para o cálculo da variação da temperatura superficial de cada zona e da temperatura de ponto de orvalho. Na Figura 5-2 é representado o esquema base para o cálculo da temperatura ponto de orvalho.

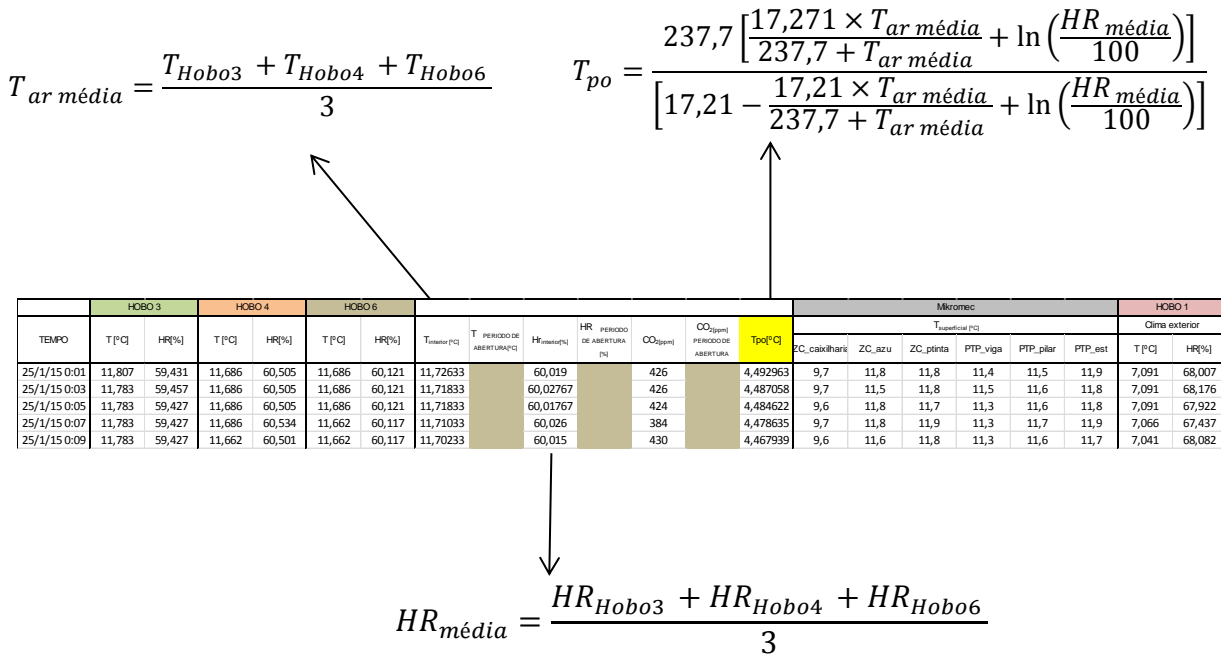


Figura 5-2: Esquema base de cálculo da temperatura ponto de orvalho

Foi calculada a diferença entre a temperatura superficial de cada zona e a temperatura de ponto de orvalho, habitualmente designada por potencial de condensação.

Para a avaliação do risco de condensação foram considerados dois critérios: (1) o potencial de condensação, através do somatório das diferenças entre as duas temperaturas; (2) O quadrado do potencial de condensação. A Figura 5-3 representa o esquema de cálculo dos dois critérios.

$$Critério 1 = | T_{sup} - T_{po} | \wedge T_{sup} < T_{po}$$

$$Critério 2 = | T_{sup} - T_{po} |^2 \wedge T_{sup} < T_{po}$$

T _{po} (°C)	Mikromec						Hobo 1		Risco de condensações - critério 1						Risco de condensações - critério 2					
	T _{superficial} (°C)						Clima exterior		ZC_caixilharia	ZC_azu	ZC_pintada	PTP_viga	PTP_pilar	PTP_est	ZC_caixilharia	ZC_azu	ZC_pintada	PTP_viga	PTP_pilar	PTP_est
13,4002	11,9	13,5	13,5	13,5	13,8	13,1	11,053	96,484	1,50020388	0	0	0	0	0,300204	2,25061168	0	0	0	0	0,090122
13,48472	11,9	13,5	13,5	13,5	13,8	13,2	11,053	96,484	1,58471766	0	0	0	0	0,284718	2,51133008	0	0	0	0	0,081064
13,53157	11,9	13,7	13,4	13,5	13,8	13,1	11,053	96,509	1,63156533	0	0,131565	0,031565	0	0,431565	2,66200544	0	0,017309	0,000996	0	0,186249
13,70654	11,9	13,4	13,3	13,5	13,6	13,1	11,078	96,541	1,80653676	0,306537	0,406537	0,206537	0,106537	0,606537	3,26357507	0,093965	0,165272	0,042657	0,01135	0,367887
13,81877	11,8	13,4	13,3	13,5	13,6	13,1	11,078	96,491	2,01877445	0,418774	0,518774	0,318774	0,218774	0,718774	4,07545026	0,175372	0,269127	0,101617	0,047862	0,516637

Figura 5-3: Esquema base de cálculo dos dois critérios

Na Figura 5-4 estão representadas as temperaturas superficiais e a temperatura de ponto de orvalho. Pela análise do gráfico consegue-se reter que existem alguns períodos pontuais em que se verificam as condições necessárias à ocorrência de condensação.

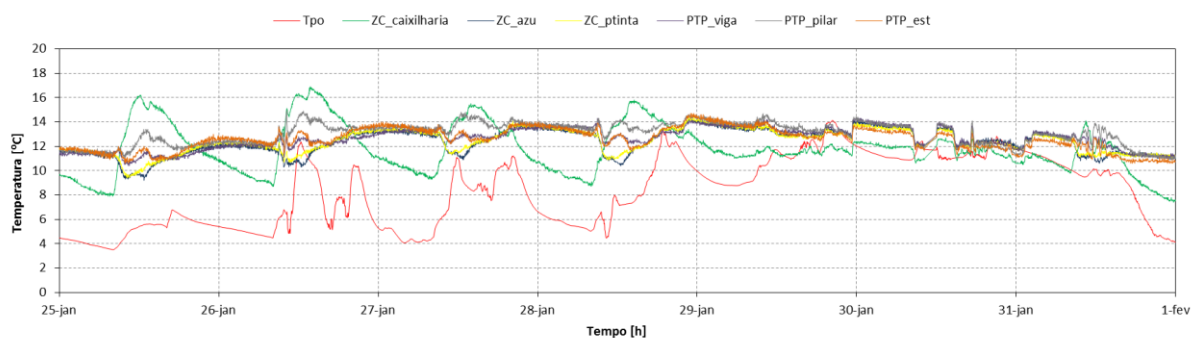


Figura 5-4: Análise gráfica do risco de condensação na primeira semana da campanha

Na Figura 5-5 apresenta-se um pormenor do gráfico onde se destaca o período em que a temperatura de ponto de orvalho é superior à temperatura superficial e, portanto, existem condições para a ocorrência de condensação.

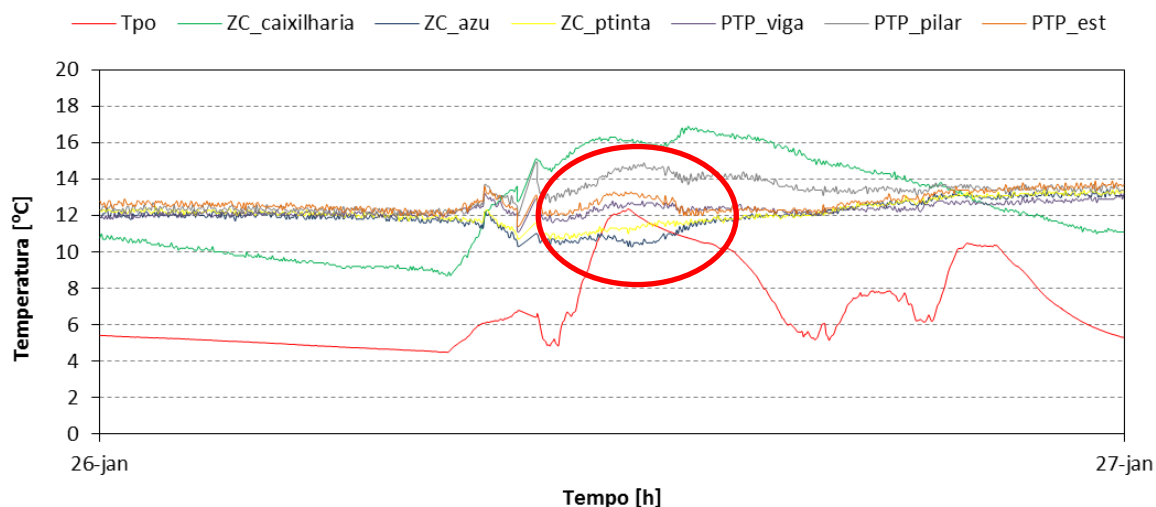


Figura 5-5: Análise gráfica do risco de condensação no dia 26 de janeiro

Pela análise gráfica do dia 26 de janeiro é possível identificar que os locais com risco de condensação foram a zona corrente da parede revestida com tinta e a zona corrente revestida com azulejo.

Na Figura 5-6 mostra-se o resultado da avaliação do risco de condensação por aplicação dos dois critérios descritos anteriormente. Conclui-se que a zona corrente da caixilharia é o local que apresenta maior risco de desenvolvimento de condensações, independentemente do critério adotado. Os restantes locais apresentam resultados idênticos. Refira-se que enquanto

na caixilharia o critério 1 conduz a valores menores que o critério 2, a situação inverte-se nos restantes locais. Esta situação acontece porque na caixilharia ocorrem diferenças superiores à unidade enquanto nos outros locais as diferenças são sempre menores.

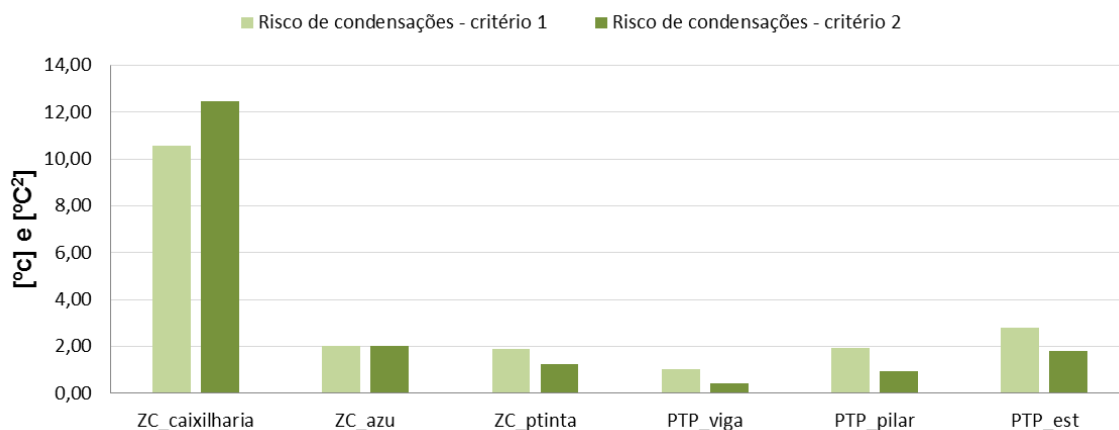


Figura 5-6: Critérios do risco de condensação na 1ª semana da campanha

Ao longo da campanha de medições o *data logger* deixou de medir algumas vezes na zona corrente da caixilharia devido à quantidade de água condensada. Na Figura 5-7 está representada um elemento da caixilharia com elevada condensação.



Figura 5-7: Condensações na caixilharia no caso de estudo 1

5 – Avaliação do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores

Com o aquecer do tempo o desenvolvimento de condensações foi diminuindo uma vez que as temperaturas superficiais aumentaram, nunca chegando a valores inferiores à da temperatura ponto de orvalho.

Na Figuras 5-8, 5-9, 5-10 e 5-11 são representadas as temperaturas superficiais e temperatura ponto de orvalho nos meses de fevereiro, março, abril e maio, respetivamente.

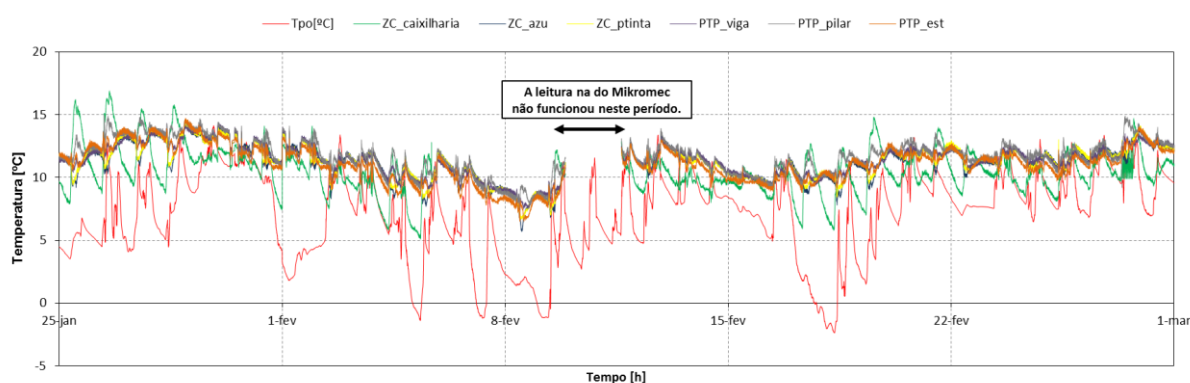


Figura 5-8: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de janeiro e fevereiro

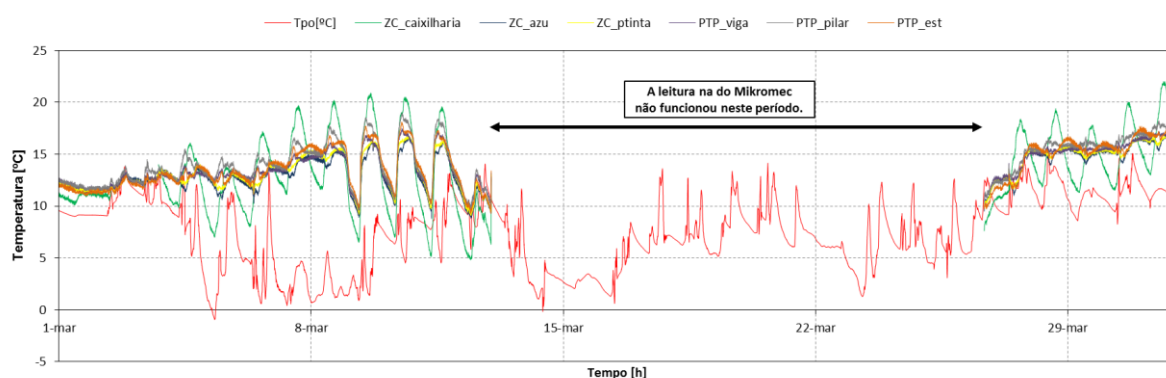


Figura 5-9: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de março

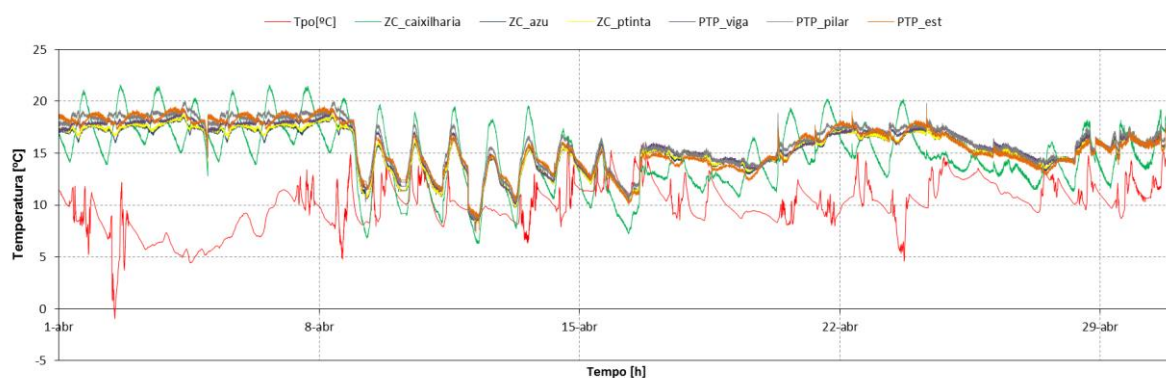


Figura 5-10: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de abril

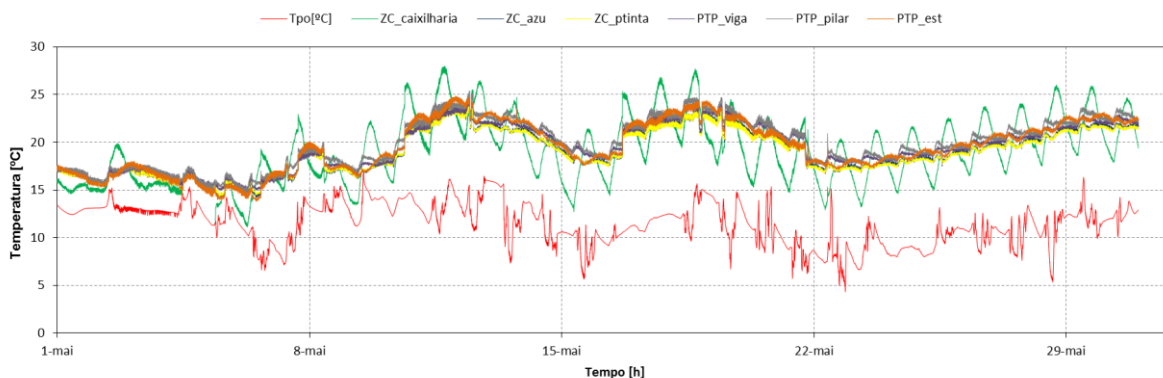


Figura 5-11: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho no mês de maio

A Figura 5-12 mostra os resultados da aplicação dos critérios de risco a todo o período de monitorização.

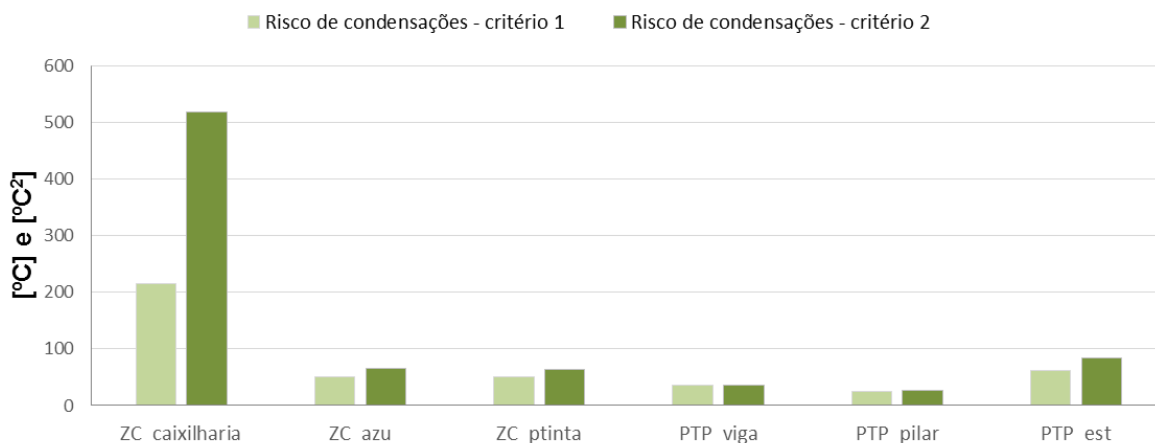


Figura 5-12: Critérios do risco de condensação do total período da campanha

Os resultados confirmam a tendência evidenciada na primeira semana, sendo notório o elevado valor na zona da caixilharia. Nos restantes locais o risco é significativamente menor, embora se consiga destacar um maior risco na zona da caixa de estore.

Avaliando graficamente os resultados globais para todo o período de monitorização é evidente a que com o aquecer do tempo o risco de desenvolvimento de condensações é quase nulo (Figura 5-13). Verifica-se ainda que a flutuação diária da temperatura na zona da caixilharia é muito superior à observada nos restantes locais.

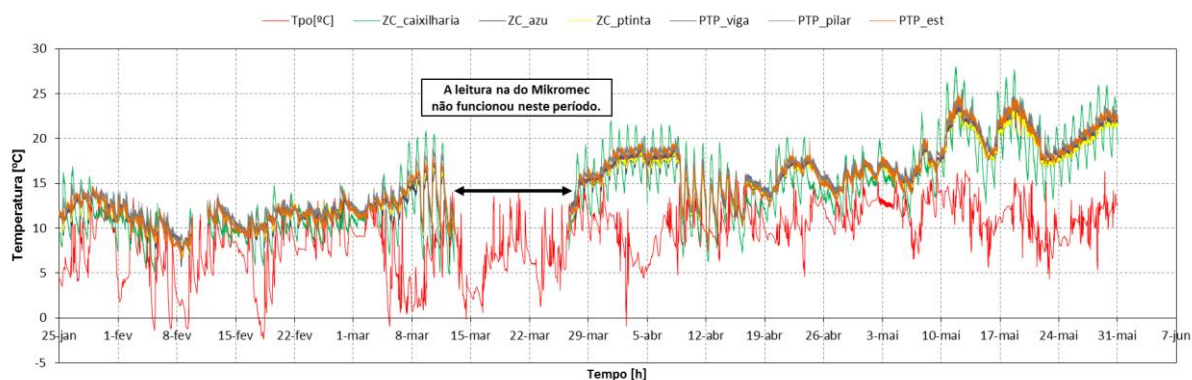


Figura 5-13: Variação da temperatura superficial e temperatura ponto de orvalho no período total da campanha

5.2 Risco de aparecimento de fungos e bolores

O desenvolvimento de fungos nos elementos construtivos é a patologia que mais facilmente indica que a humidade relativa do ar interior é demasiado elevada. As superfícies ficam danificadas, afetando o bem-estar psicológico dos utilizadores, odores desagradáveis são libertados e a própria saúde pode ser afetada pelos esporos libertados (Hunter, 1991).

O processo de germinação e crescimento dos fungos em elementos de construção tem sido estudado por vários autores. Nesta dissertação a análise é feita pelo método desenvolvido por *Sedlbauer* (2001) e pelo programa WUFI-Bio.

Método desenvolvido por Sedlbauer

Segundo *Sedlbauer* (2001) em regime permanente podem encontrar-se espécies de fungos que se desenvolvem para uma humidade relativa de 62%, ou até mais baixa, se a disponibilidade de nutrientes for a ideal. Mas para as espécies que se desenvolvem normalmente sobre os elementos construtivos, o valor da humidade relativa deverá situar-se entre 70% e 100%.

O valor da temperatura superficial tem também um papel importante para o estudo do risco de aparecimento de fungos e bolores.

O valor da temperatura superficial foi medido pelos termopares, enquanto que a humidade relativa superficial de cada zona foi estimada através de cálculo analítico. Na Figura 5-14 é representado a metodologia adotada para o cálculo da humidade relativa. Para o estudo foram consideradas médias diárias da temperatura superficial e da humidade relativa.

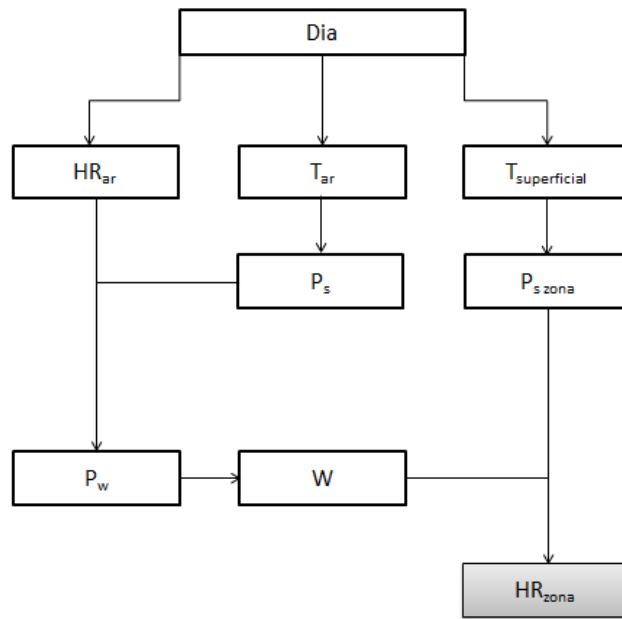


Figura 5-14: Esquema de cálculo da humidade relativa superficial de cada zona

Os valores da temperatura superficial e da humidade relativa superficial de cada zona foram representados no gráfico modificado de Smith e Hill (1982), representado na Figura 5-15. Este processo foi automatizado com recurso a um ficheiro *script* para importação da informação pelo programa *Autocad*.

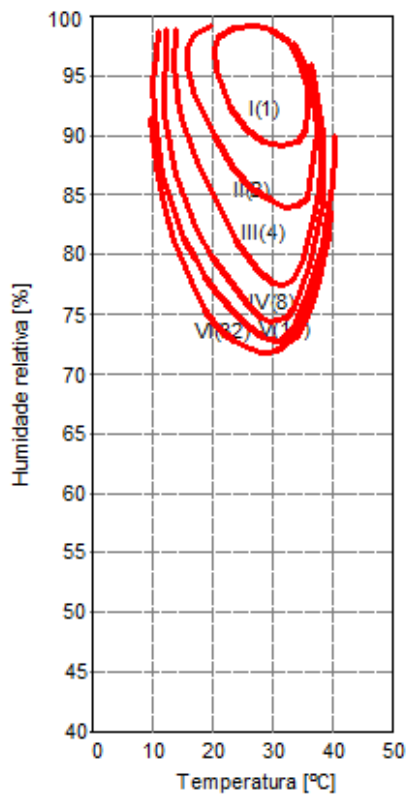


Figura 5-15: Gráfico modificado de germinação do esporo (adaptado de Smith e Hill, 1982)

Como referido anteriormente, para avaliar o risco de aparecimento de fungos e bolores foram usadas médias diárias. O estudo foi feito de semana a semana para facilitar a avaliação, no entanto, existe ligação entre as semanas, pois só assim se consegue avaliar a existência ou não de risco de aparecimento de fungos e bolores.

Refira-se ainda que após uma inspeção visual do caso de estudo 1 observou-se que já existe desenvolvimento de fungos e bolores em algumas zonas mais frias (Figura 5-16).

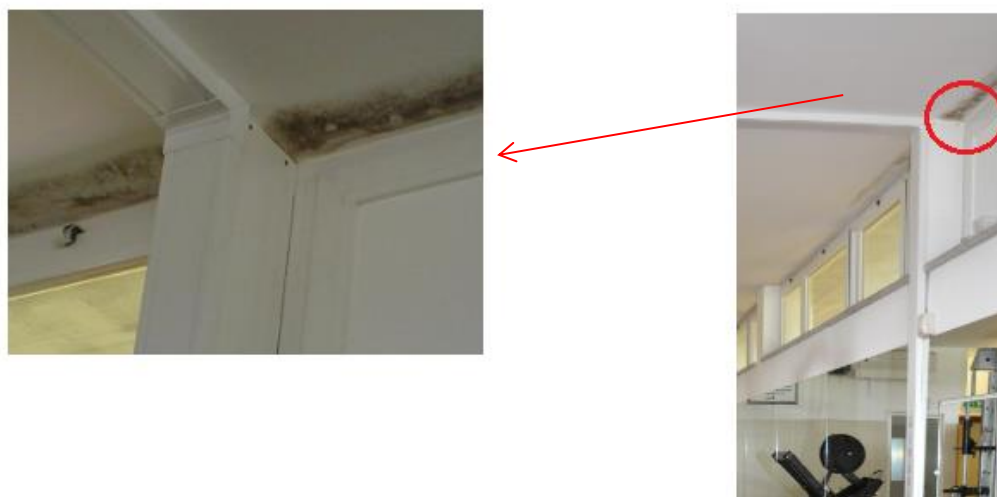


Figura 5-16: Canto com desenvolvimento de fungos e bolores no caso de estudo 1

A título de exemplo, na Figura 5-17 é apresentada a tabela com a base de dados adotada para o estudo.

SÁTÃO-ZC_caixilharia							
DIA		Tsup [°C]	HR HOBO 3 [%]	Grupo	Tempo de exposição acumulado [dias]	Tempo de exposição requerido [dias]	Desenvolvimento de fungos e bolores
25/jan	25_1	11,7	61,5	SG			
26/jan	26_1	12,5	66,8	SG			
27/jan	27_1	12,1	70,3	V	1,0	16,0	-
28/jan	28_1	12,3	73,0	SG			
29/jan	29_1	11,6	94,1	V	1,0	16,0	-
30/jan	30_1	11,7	98,6	V	2,0	16,0	-
31/jan	31_1	11,7	85,4	VI	3,0	32,0	-

Figura 5-17: Tabela de base de dados para a 1ª semana do estudo na zona corrente _ caixilharia

Pela análise da Figura apresentada anteriormente não existe risco de desenvolvimento de fungos e bolores pelo facto de os dias de exposição acumulados serem inferiores ao tempo de exposição requerido.

Na Figura 5-18 estão representados todos os pontos de cada zona no total da campanha.

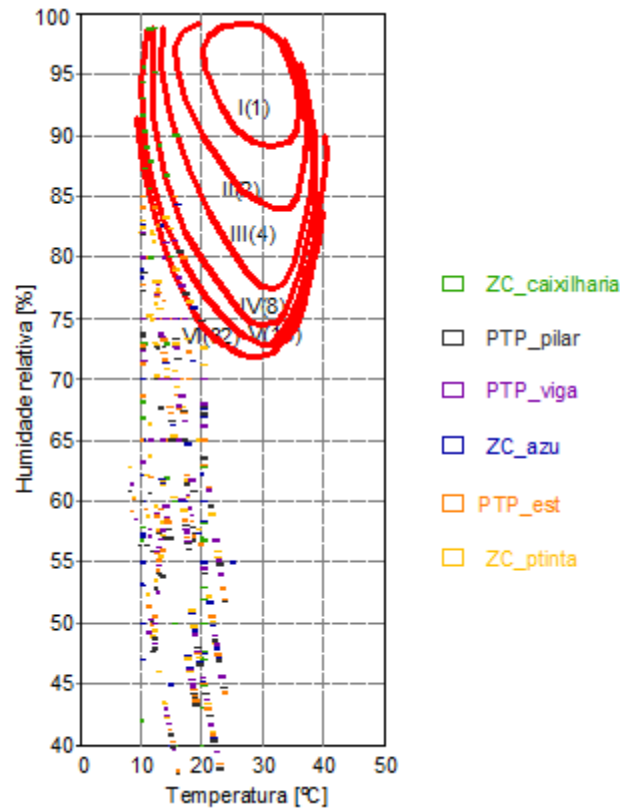


Figura 5-18: Pontos do total da campanha de cada zona

Na Figura 5-19 estão representados todos os pontos da ZC_caixilharia e ZC_azul.

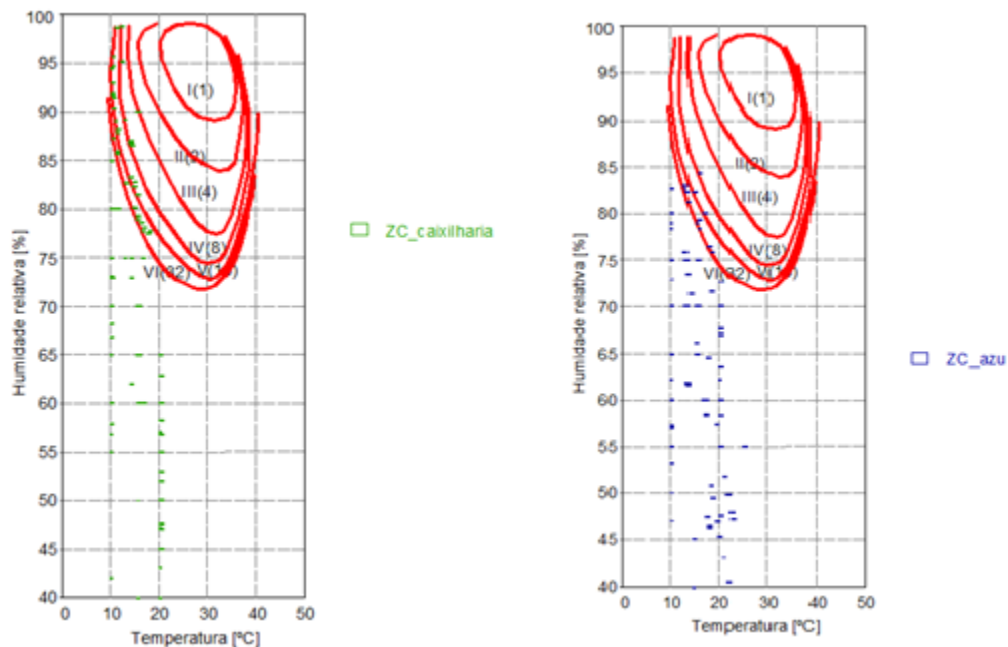


Figura 5-19: Pontos do total da campanha da ZC_caixilharia e ZC_azul

Na Figura 5-20 estão representados todos os pontos da zona corrente_ptinta e na ponte térmica_viga.

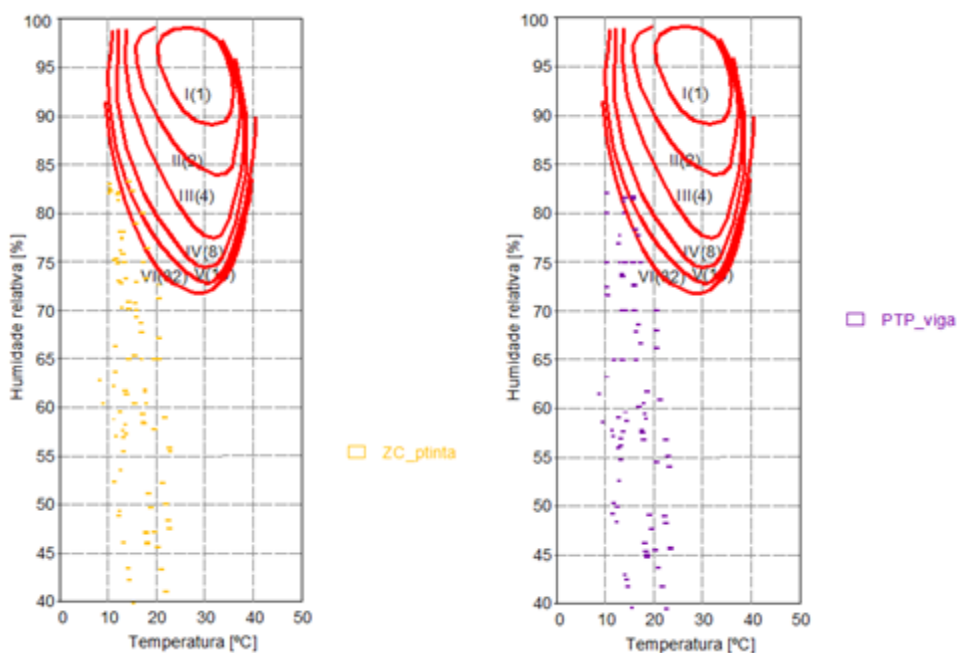


Figura 5-20: Pontos do total da campanha da ZC_ptinta e na PTP_viga

Na Figura 5-21 estão representados todos os pontos do PTP_pilar e na PTP_est.

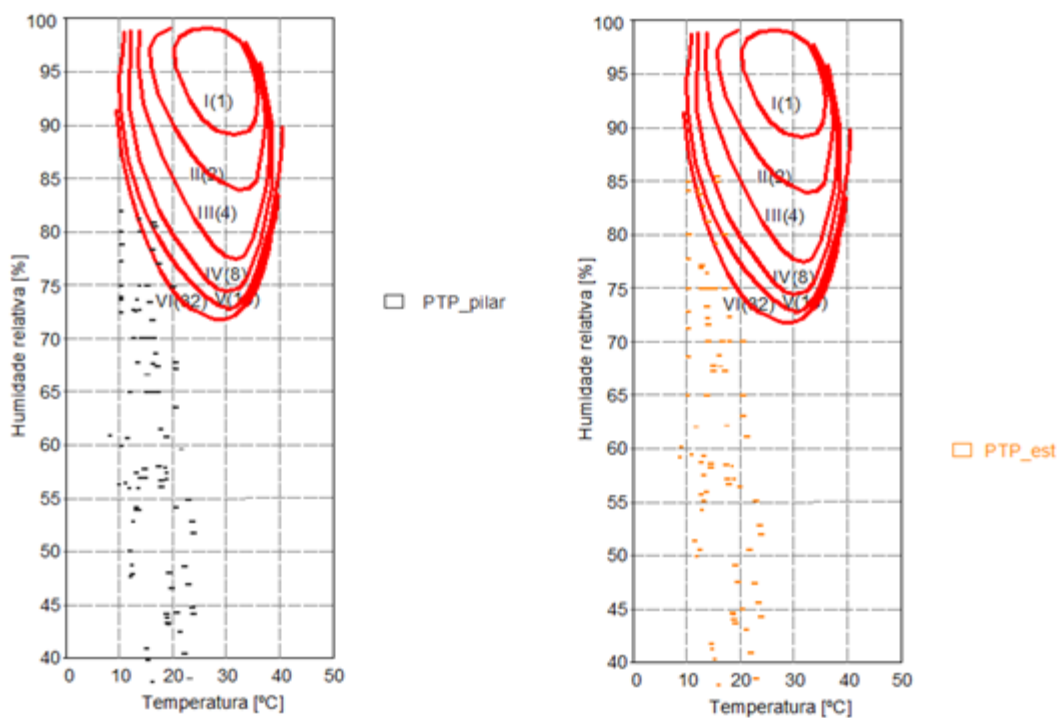


Figura 5-21: Pontos do total da campanha da PTP_pilar e na PTP_est

Para ocorrer desenvolvimento de fungos e bolores o tempo de exposição acumulado tem de ser superior ou igual ao tempo requerido e nesta campanha isso não ocorreu em nenhuma das zonas em estudo.

No Figura 5-22 é feita uma análise percentual do número de pontos de cada grupo em cada zona, conseguindo-se assim uma noção para cada zona do volume de pontos que se cumprissem o tempo requerido permitiriam a existência de condições para o desenvolvimento de fungos e bolores.

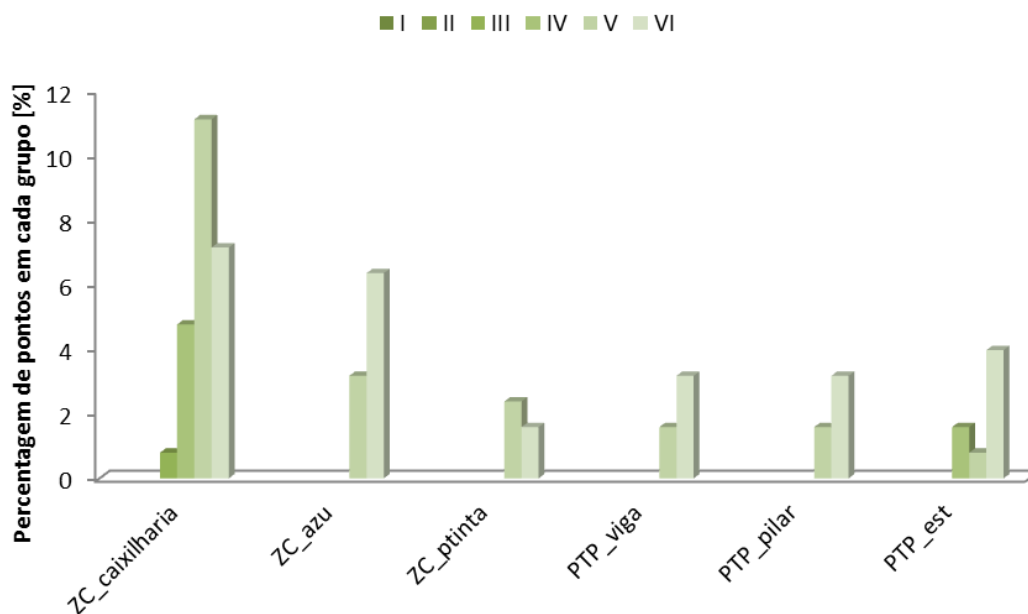


Figura 5-22: Percentagem de pontos por grupo em cada zona

Pela análise da Figura 5-22 é notório que a zona onde as condições são mais favoráveis é a da caixilharia. No entanto, é importante destacar que a natureza do substrato nesta zona não é tão favorável como noutras.

WUFI-Bio

A avaliação do risco de aparecimento de fungos e bolores pelo programa WUFI-Bio é feita através da análise gráfica dos seus *outputs*. A sequência de avaliação do risco é feita seguindo o esquema representado na Figura 5-23.

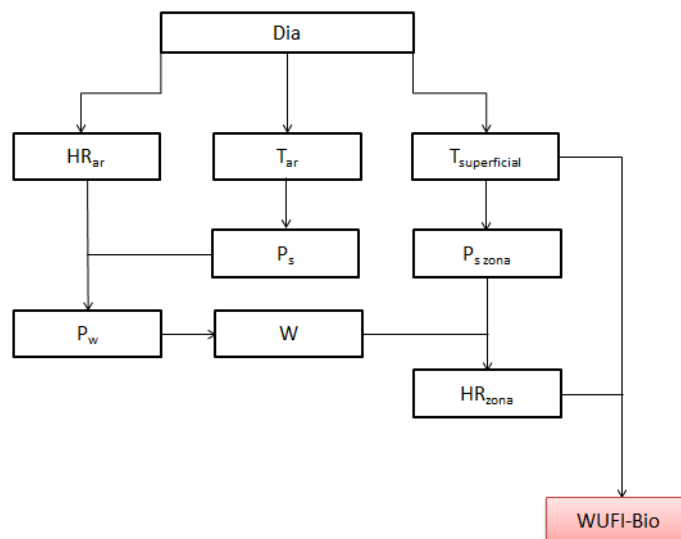


Figura 5-23: Sequência de avaliação do risco de aparecimento de fungos e bolores

Como *inputs* para esta análise foi escolhido um substrato do tipo classe 2, visto que os materiais não são biodegradáveis, e uma humidade relativa inicial de 60%. Na Figura 5-24 é representada a janela de *input* do programa.

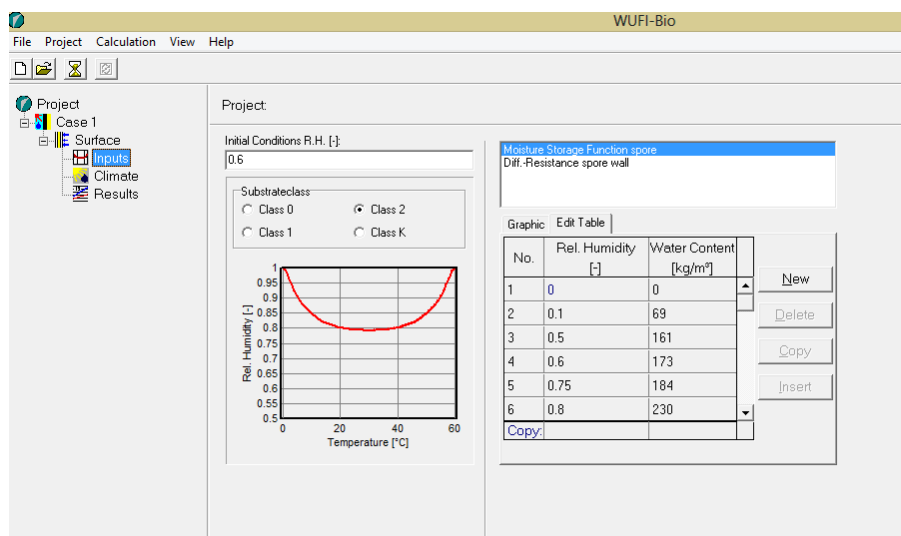


Figura 5-24: Janela de *inputs* do WUFI-Bio no caso de estudo 1

Os dados de temperatura superficial e da humidade relativa superficial para cada zona foram introduzidos no programa em médias horárias. Para cada zona foi criado um ficheiro *txt* com 3 colunas de dados: tempo, temperatura superficial e humidade relativa superficial.

Apresentam-se nas Figuras 5-25 a 5-36 os conjuntos *inputs* / *outputs* para cada zona em estudo.

Zona corrente caixilharia:

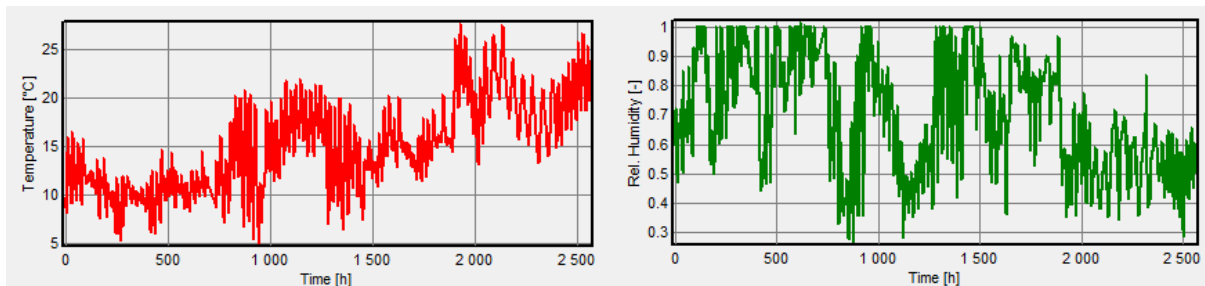
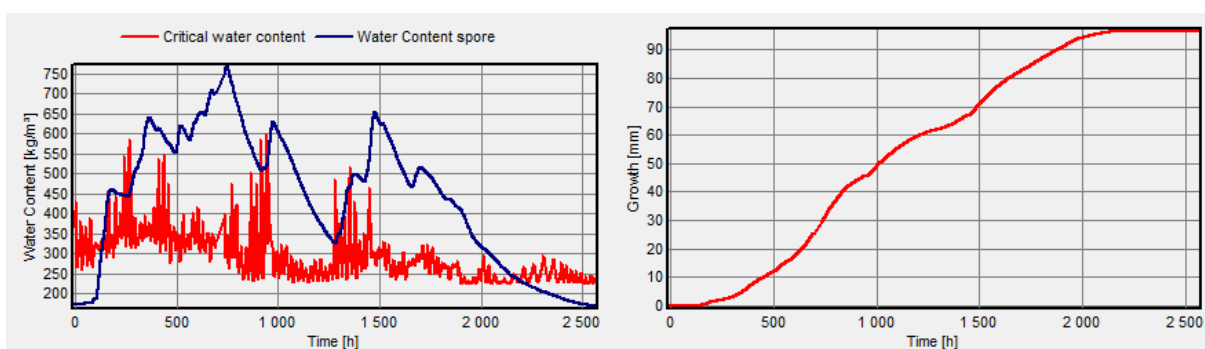


Figura 5-25: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da zc_caixilharia



a)

b)

Figura 5-26: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Zona corrente azulejo:

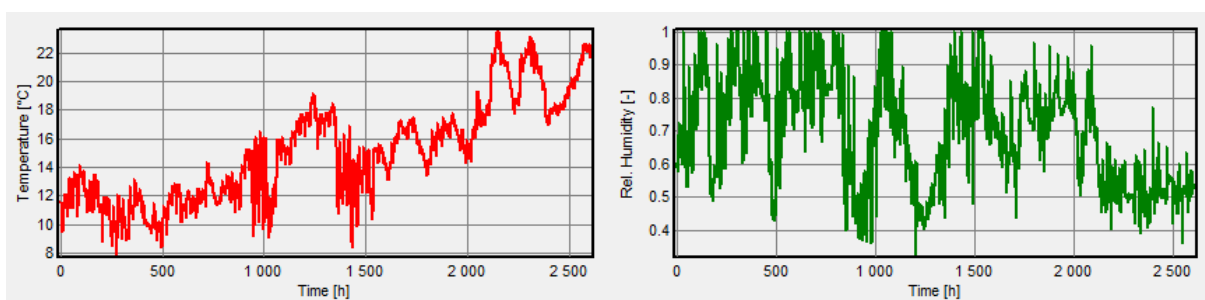


Figura 5-27: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da zc_azulejo

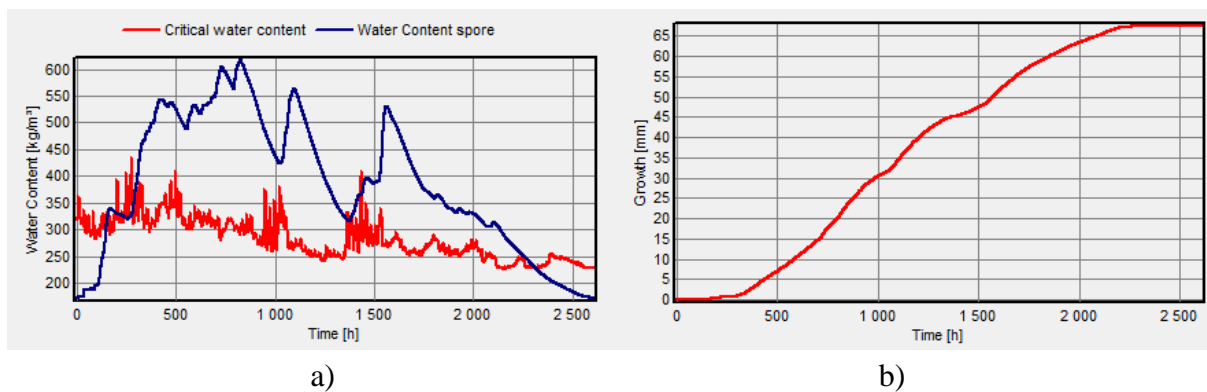


Figura 5-28: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Ponte térmica na parede revestida a tinta:

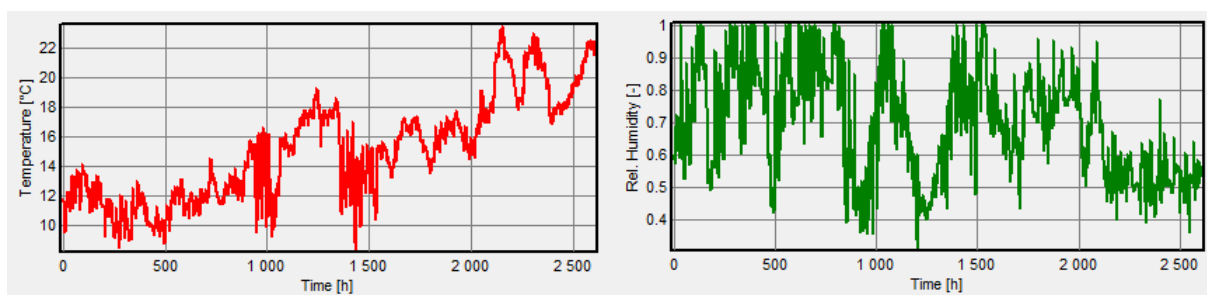


Figura 5-29: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_ptinta

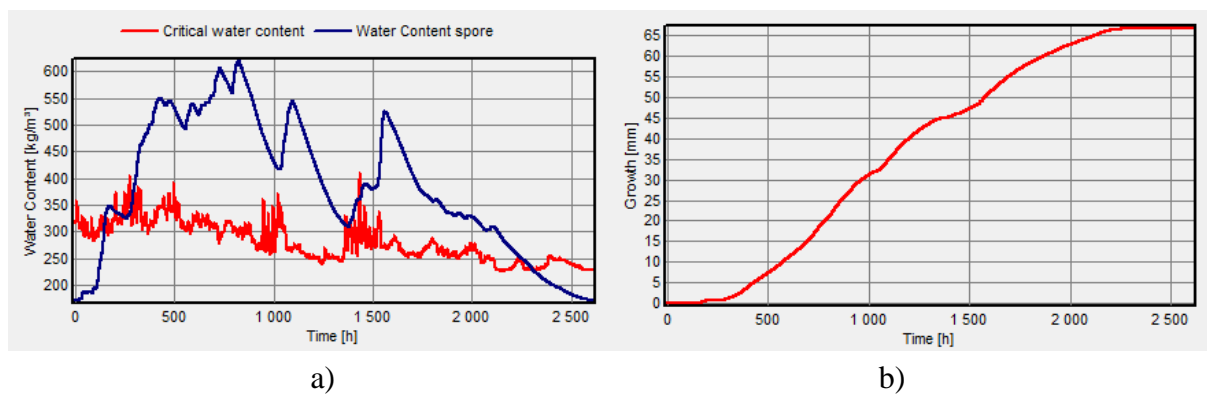


Figura 5-30: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Ponte térmica na viga:

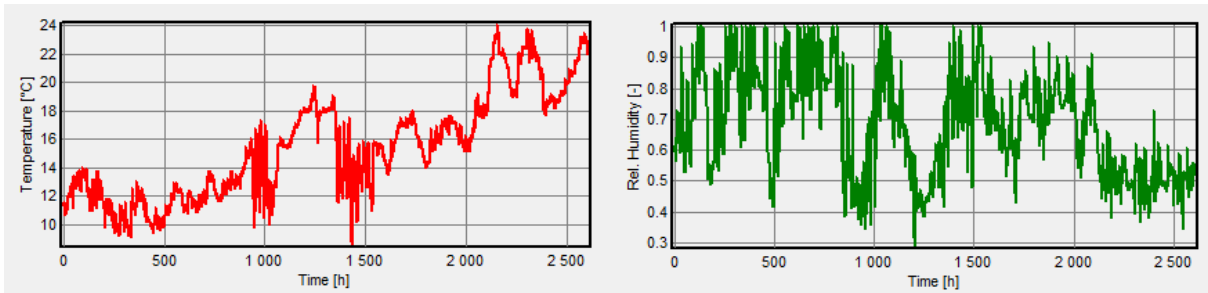
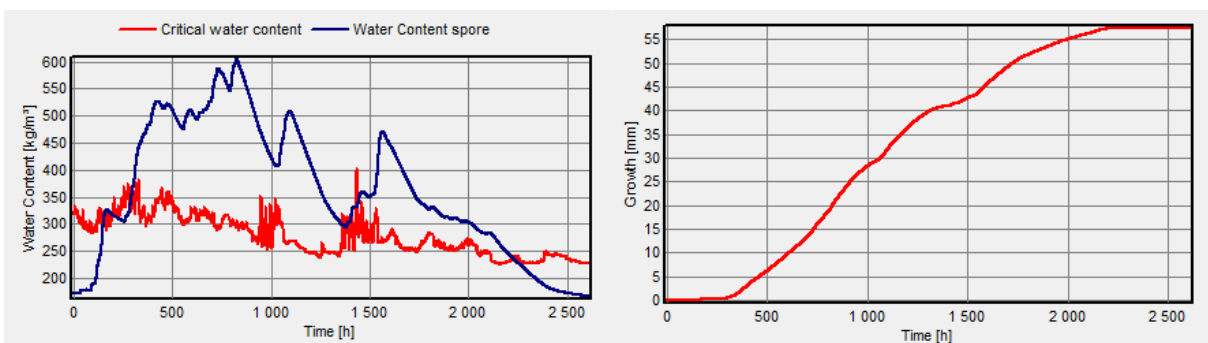


Figura 5-31: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_viga



a)

b)

Figura 5-32: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Ponte térmica no pilar:

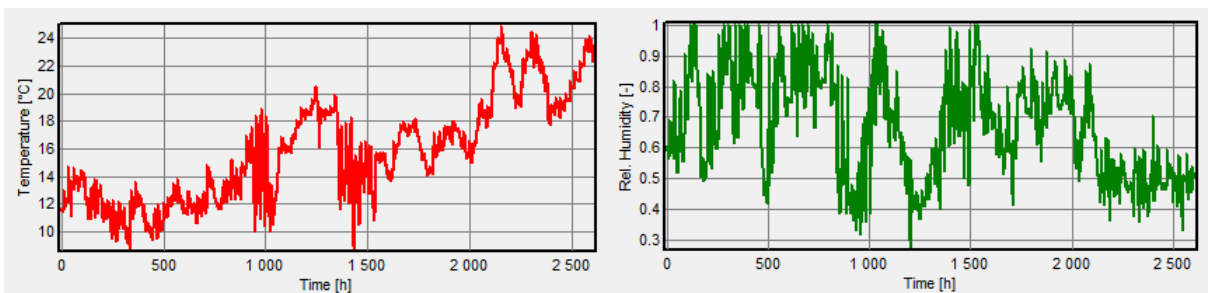


Figura 5-33: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_pilar

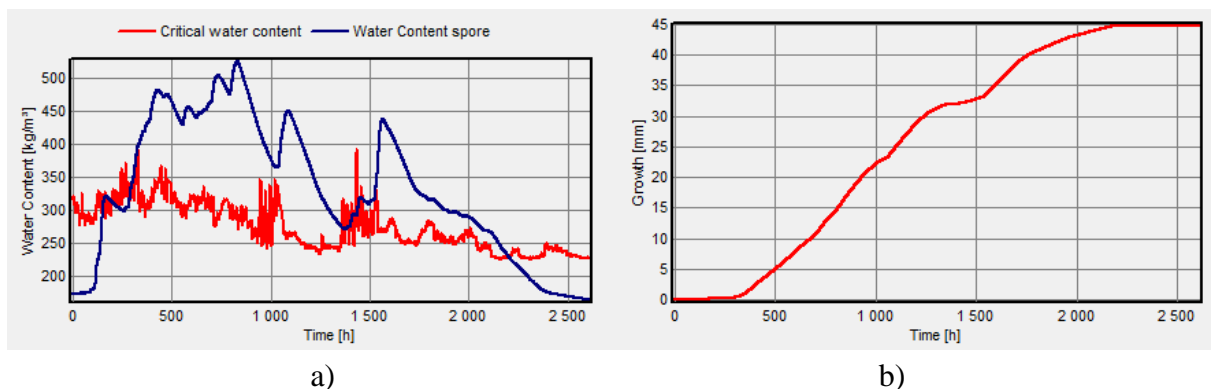


Figura 5-34: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Ponte térmica caixa-de-estore:

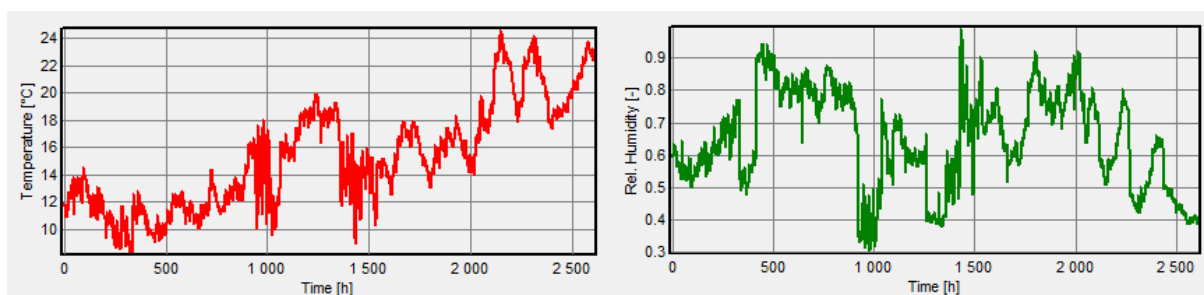


Figura 5-35: Temperatura superficial e humidade relativa superficial da PTP_est

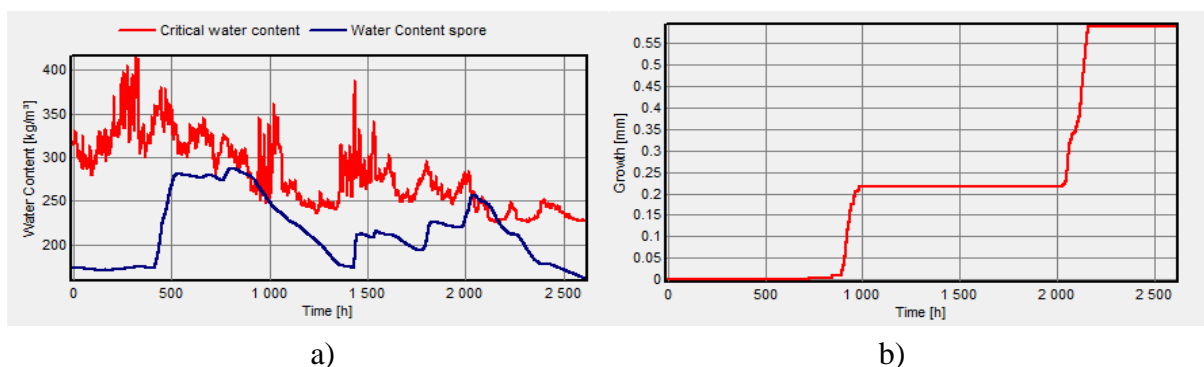


Figura 5-36: Output WUFI-Bio a) Teor de água crítica e teor de água no esporo; b) desenvolvimento de fungos e bolores

Através de uma análise global aos gráficos das diferentes zonas de estudo, excetuando o caso da ponte térmica na caixa de estore, constatou-se que as variações da temperatura e humidade relativa são semelhantes entre as zonas.

A humidade relativa nas zonas em estudo vai diminuindo com o aquecer do tempo, reduzindo o possível desenvolvimento de fungos e bolores. A temperatura vai aumentando gradualmente ao longo da campanha, sendo evidente que na caixilharia as temperaturas ao longo do dia oscilam mais que as restantes zonas, chegando a temperaturas de 26°C.

Na avaliação do risco de aparecimento de fungos e bolores nas diferentes zonas, com exceção da zona da caixa de estore, o crescimento de fungos ocorre na maior parte da campanha. No início e no fim do período de estudo o crescimento não ocorre.

6. Conclusões

6.1 Conclusões gerais

A qualidade do ambiente interior dos ginásios do nosso país é uma matéria pertinente de se abordar uma vez que proporcionar as melhores condições possíveis para a prática de exercício físico melhora os resultados pretendidos pelos diferentes tipos de usuários.

Desta forma, o estudo agora concluído visou avaliar o conforto higrotérmico de três ginásios da região de Viseu.

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

- A avaliação do conforto higrotérmico utilizando o método gráfico da ASHRAE 55 (2010) e EN 15251 (2006) permitiu concluir que tanto o caso de estudo 1 como o caso de estudo 3 não garantem conforto para os utilizadores do espaço, já o caso de estudo 2 garante o conforto necessário aos utilizadores na maior parte da campanha;
- A avaliação do conforto térmico através da aplicação da metodologia da ASHRAE 55 revelou resultados distintos entre os casos de estudo. Enquanto nos casos de estudo 1 e 3 os registos indicavam largos períodos de desconforto devido a uma temperatura demasiado baixa, já no caso de estudo 2 a maioria dos registos está dentro da zona de conforto. Compreende-se, portanto, que embora no caso de estudo 1 os registos estejam fora da zona de conforto, os resultados do inquérito tenham indicado uma perceção diferente por parte dos utilizadores.
- A aplicação da metodologia proposta na norma ASTM D6245 (2012) permitiu concluir que os valores da concentração de CO₂ conduzem a percentagens de insatisfeitos elevadas, chegando a valores próximos dos 30% nos meses mais frios em todos os casos de estudo.

O estudo da avaliação do risco de condensação superficial permitiu concluir que:

- A zona mais propícia ao aparecimento de condensação é a caixilharia, seguindo-se com a zona da caixa-de-estore;
- Os períodos críticos da campanha são as primeiras semanas, visto que com o aquecer do tempo o risco de acontecerem condensações superficiais diminui.

De forma global o estudo desenvolvido para avaliar o risco de aparecimento de fungos e bolores permitiu retirar as seguintes conclusões:

- O método desenvolvido por Sedlbauer levou a concluir que não existia risco de aparecimento de fungos e bolores nas superfícies estudadas durante esta campanha. Em alguns dias a temperatura superficial e humidade relativa eram propícias para desenvolver fungos e bolores, no entanto não se prolongavam em tempo suficiente. No entanto, numa inspeção visual ao local verificou-se a existência de bolores;
- A avaliação através do programa WUFI-Bio, pelo contrário, conduziu a cenários com desenvolvimento de fungos e bolores na maior parte da campanha em todas as zonas estudadas.

6.2 Desenvolvimentos futuros

A avaliação realizada e apresentada nesta dissertação não abrange na totalidade as diversas e vastas matérias do domínio da qualidade do ambiente interior e da avaliação do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores em ginásios. Seria portanto interessante tornar objeto de estudo os seguintes aspetos:

- Complementar o estudo realizado com a realização de mais estudos de campo a ginásios com dimensões idênticas aos estudados e ainda a outro tipo de espaços;
- Efetuar estudos idênticos para ginásios, em regiões onde o clima é substancialmente diferente, permitindo realizar comparações críticas entre estudos;
- Estudar do risco de condensação e aparecimento de fungos e bolores no caso de estudo 2 e 3, completando assim o estudo desses ginásios e fazer uma análise comparativa entre eles;
- Propor soluções de melhoria das condições existentes de modo a melhorar o conforto higrotérmico do espaço e evitar risco de condensação e desenvolvimento de fungos e bolores.

REFERÊNCIAS

Almeida, R. (2014). *Conforto Térmico e Qualidade do Ar em Edifícios*, documento da disciplina de Eficiência Energética e Conforto nos Edifícios. Viseu: ISPV - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Engenharia Civil

APA (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores, Um guia Técnico*. APA – Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Amadora

ASHRAE 55 (2010). *American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, Ansi/Ashrae Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta, USA

ASTM D6245, (2012). *Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation*, American Society for Testing and Material. Barr Harbor Drive, USA

Ayerst, G. (1969). *The Effect of Moisture and Temperature on Growth and Spore Germination in Some Fungi*. J. stored Prod. Res., 5, pp.127-141

Baker, N. & Standeven, M. (1996). *Thermal comfort for free-running buildings*. Energy and Buildings. pp. 175-182

Coelho, D. A. S. (2014). *Avaliação do Conforto Térmico em Salas de Aula*. Tese de Mestrado. Viseu: ISPV- Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Engenharia Civil

Duarte, J. P. S. R.F. (2010). *Condensações Superficiais Interiores, Avaliação do Risco*. Dissertação de Mestrado. Porto: FEUP

EN 15251 (2006). *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. CEN - Comité Européen de Normalisation. Brussels, Belgium

Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort*. Danish Technical Press. Dinamarca: Copenhagen

Freitas, V. P. (2008). *Ventilação*, documento da disciplina de Patologias e Reabilitação e de edifícios. Porto: LFC - FEUP

REFERÊNCIAS

Gertis, K., Erhorn, H., Reiß, J. (1999). *Klimawirkungen und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden*. Proceedings Bauphysik145. Berlin. p. 241 - 253

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

ISO 7730 (2005). *Ergonomics of the Thermal Environment, Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. ISO - International Organization for Standardization. Genève, Switzerland

Künzel, H. M. (2008) *Modeling Mold Growth*. Ph.D. Summer Course. Fraunhofer-Institute Bauphysik, IBP

Matias, L. (2010). *Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*. Dissertação de Doutoramento. Lisboa: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa

Mendonça, L. V. (2005), *Condensações em edifícios*. Arquitectura & Vida, 63

Moon, H. J. (2005), *Assessing Mold Risks in Buildings under Uncertainty*. Dissertação de Doutoramento. Georgia: College of Architecture – Georgia Institute of Technology

Nascimento, C. A. G. (2011). *Análise da Qualidade do Ar Interior em Edifícios Escolares*. Dissertação de Mestrado. Faro: Universidade do Algarve – Instituto Superior de Engenharia

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

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

Ritschkoff, A.C., Viitanen, H., Koskela, K. (2000). *The Response of Building Materials to the Mould Exposure at Different Humidity and Temperature Conditions*. Proceedings of Healthy Building, 3, pp.317-322. Espoo, Finland

Sedlbauer, K. (2001). *Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and inside Building Components*. Fraunhofer Institute for Building Physics

REFERÊNCIAS

Silva, G. G. R. da (2013). *Avaliação de um Modelo Simplificado para o Estudo das Condensações Superficiais em ETICS*. Dissertação de Mestrado. Porto: FEUP

Smith, S. L., Hill, S. T. (1982). *Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *Aspergillus versicolor**. Transactions of the British Mycological Society , 79, 3, pp. 558 - 560.

Anexo I- Estudo do conforto higrotérmico

Caso de estudo 1

1ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 1*

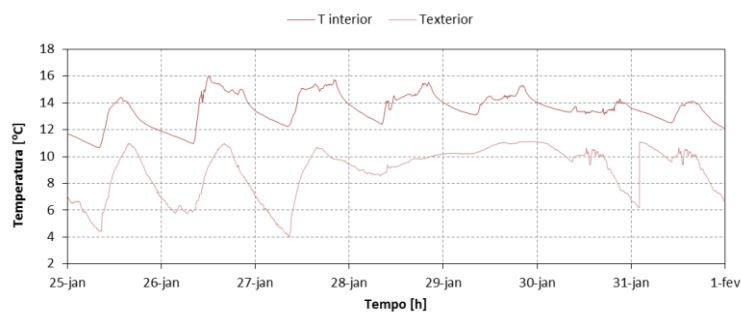


Figura AI-1: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- *Humidade relativa – caso de estudo 1*

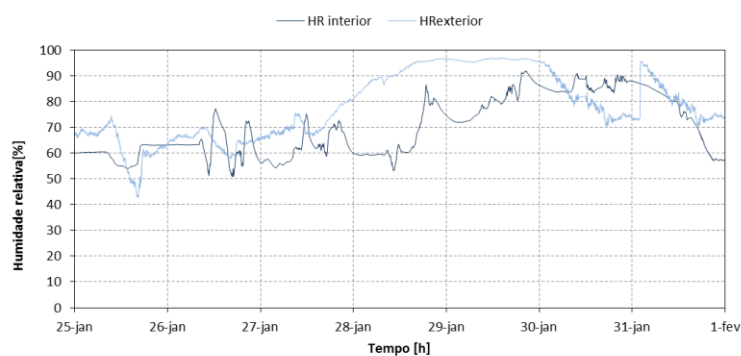


Figura AI-2: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 1*

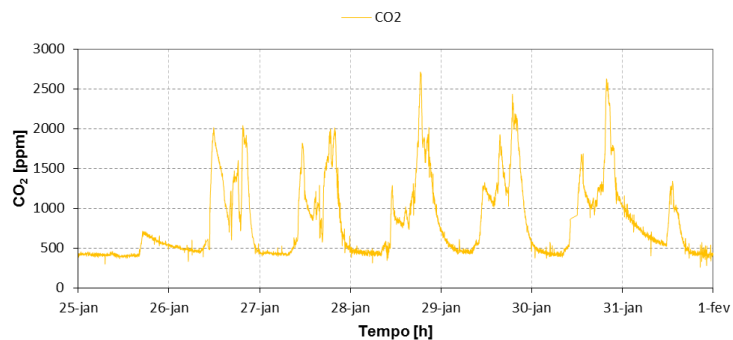


Figura AI-3: Variação do CO₂-caso de estudo 1

2ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

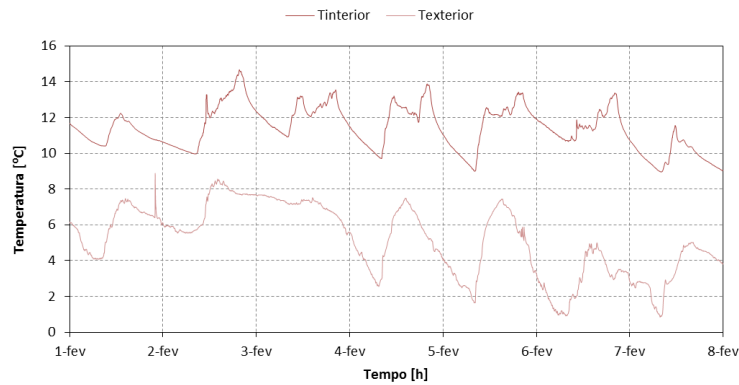


Figura AI-4: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

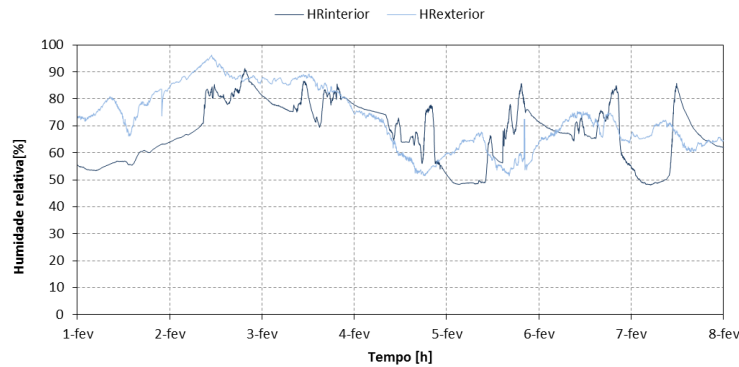


Figura AI-5: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

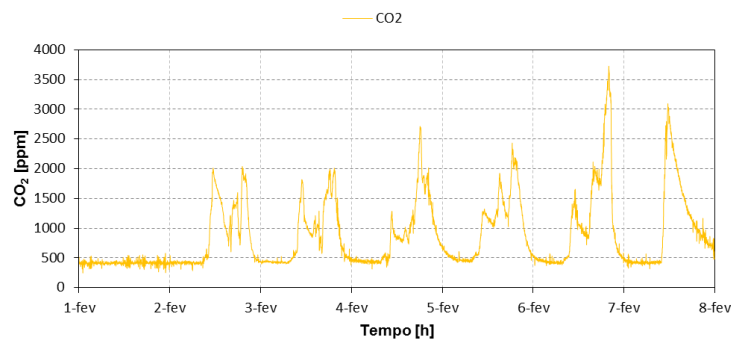


Figura AI-6: Variação do CO₂-caso de estudo 1

3ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

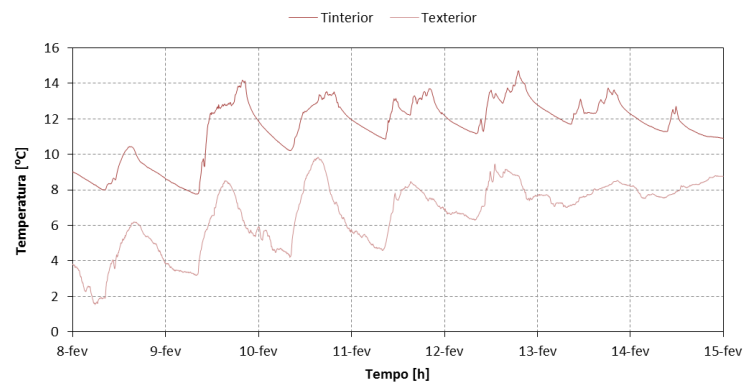


Figura AI-7: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

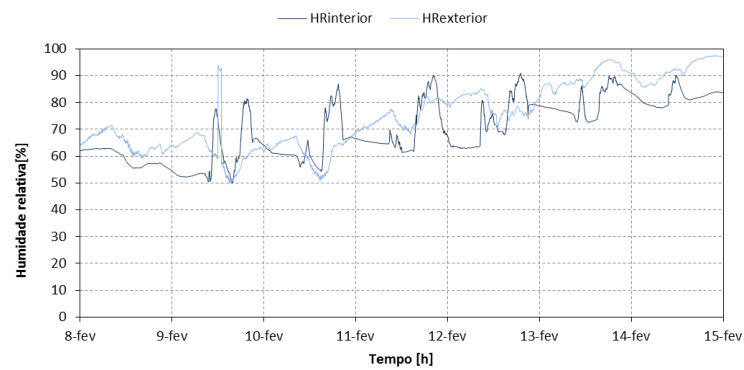


Figura AI-8: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

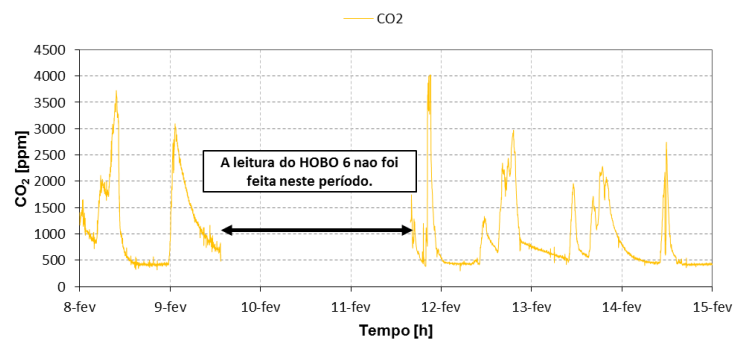


Figura AI-9: Variação do CO₂-caso de estudo 1

4ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

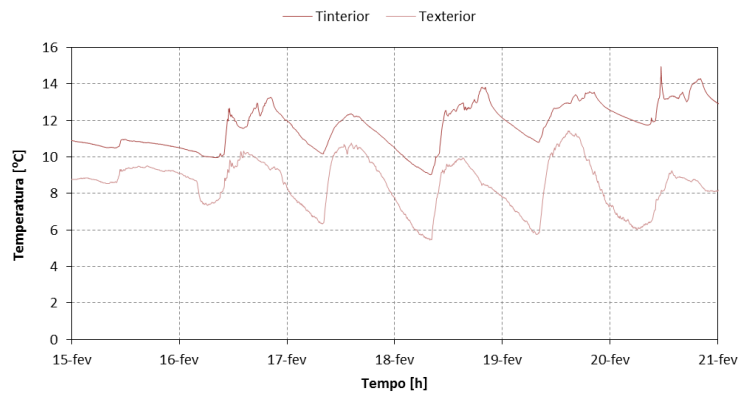


Figura AI-10: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

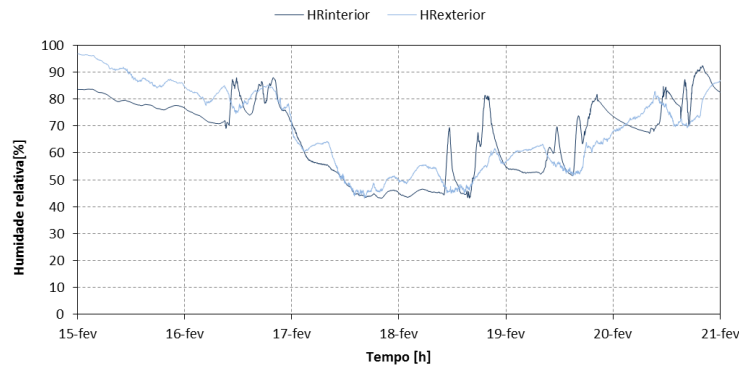


Figura AI-11: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

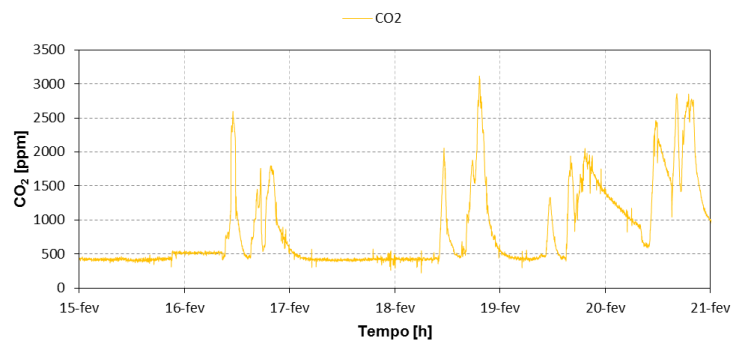


Figura AI-11: Variação do CO₂-caso de estudo 1

5ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

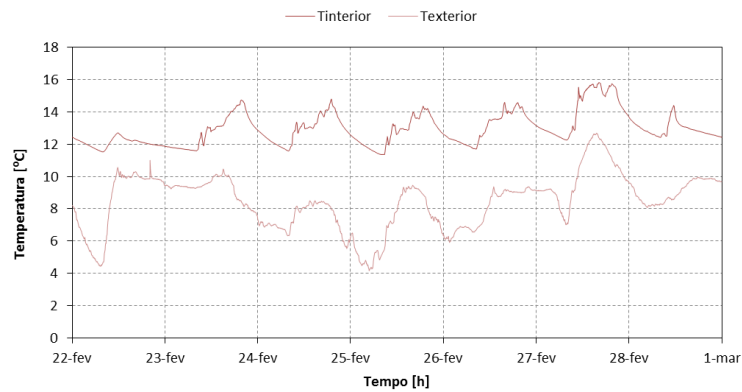


Figura AI-12: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

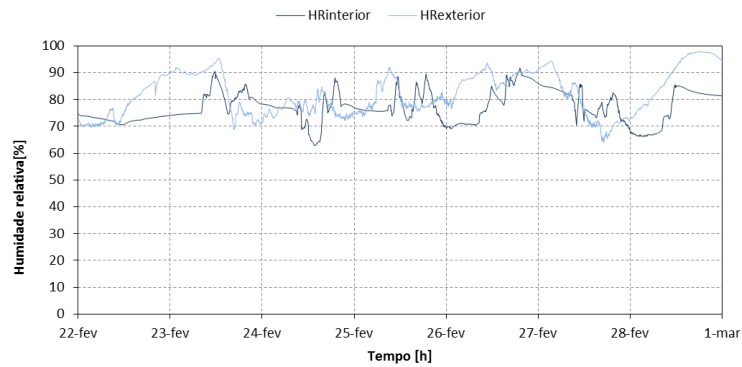


Figura AI-13: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

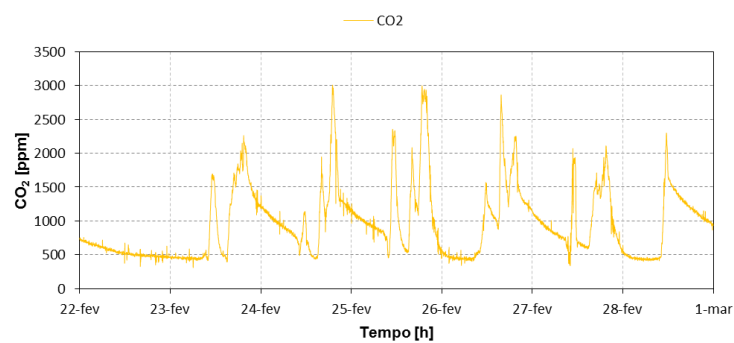


Figura AI-14: Variação do CO₂-caso de estudo 1

6ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

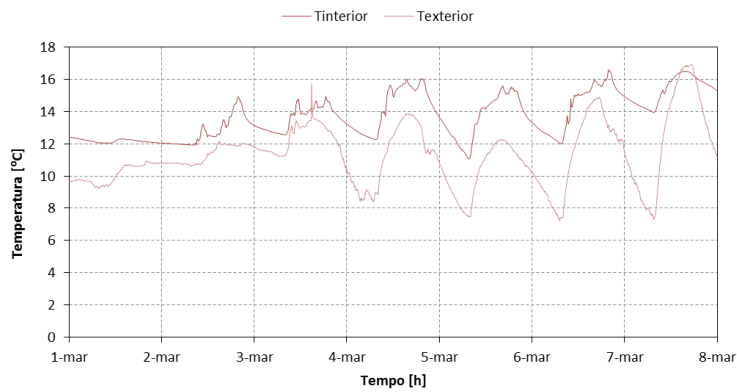


Figura AI-15: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

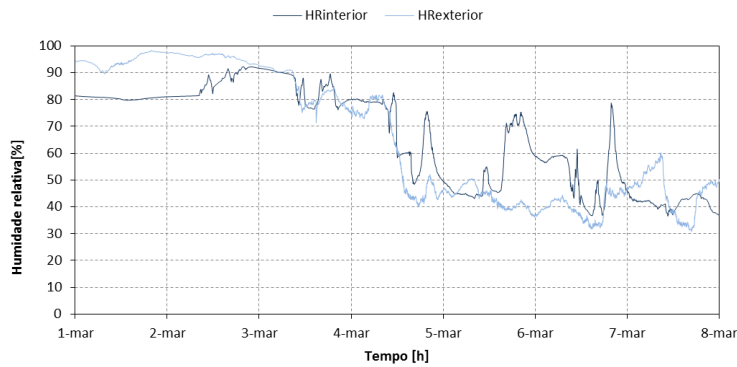


Figura AI-16: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

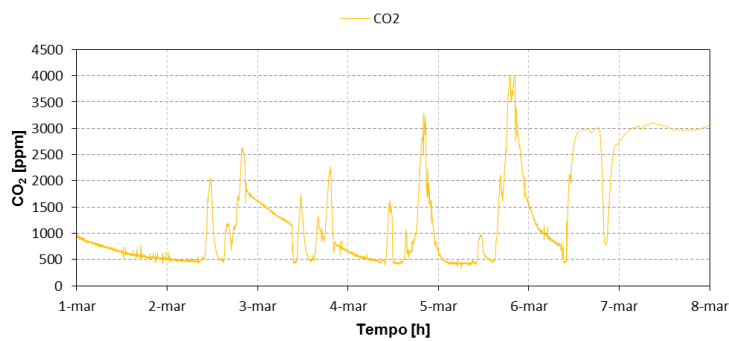


Figura AI-17: Variação do CO₂-caso de estudo 1

7ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

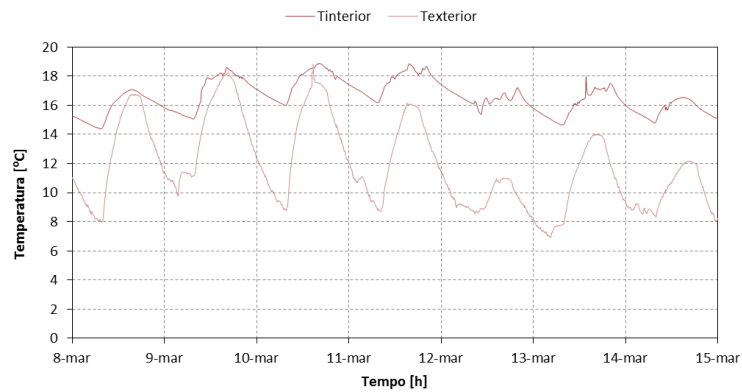


Figura AI-18: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

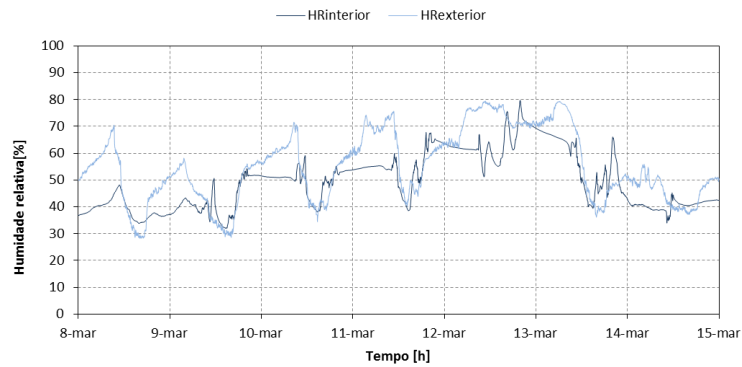


Figura AI-19: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

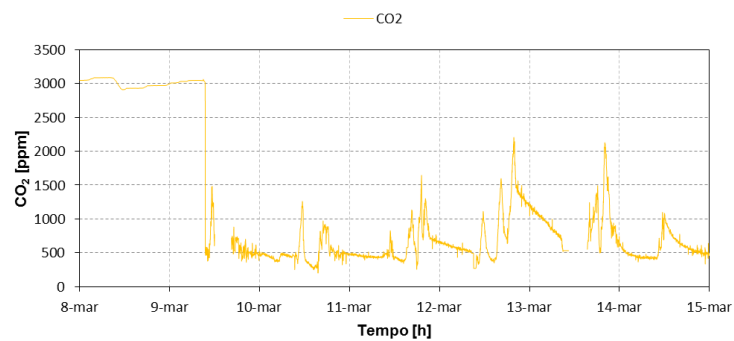


Figura AI-20: Variação do CO₂-caso de estudo 1

8ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

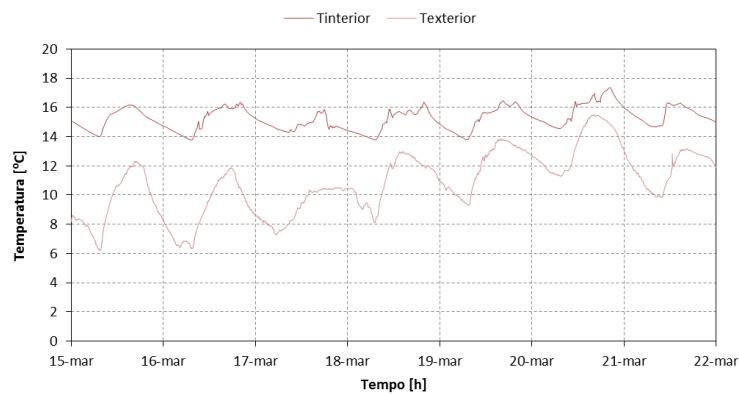


Figura AI-21: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

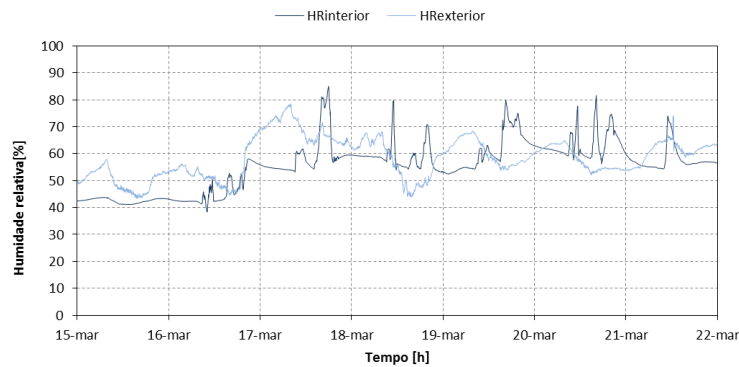


Figura AI-22: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

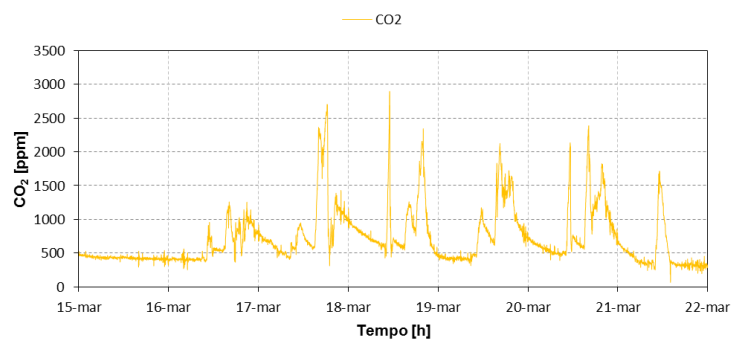


Figura AI-23: Variação do CO₂-caso de estudo 1

9ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 1*

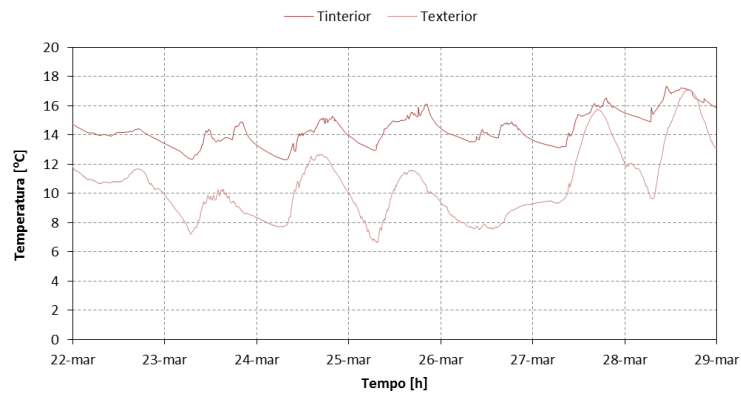


Figura AI-24: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- *Humidade relativa – caso de estudo 1*

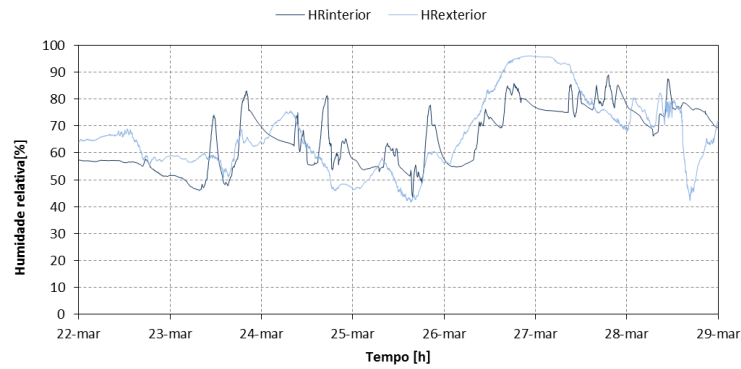


Figura AI-25: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 1*

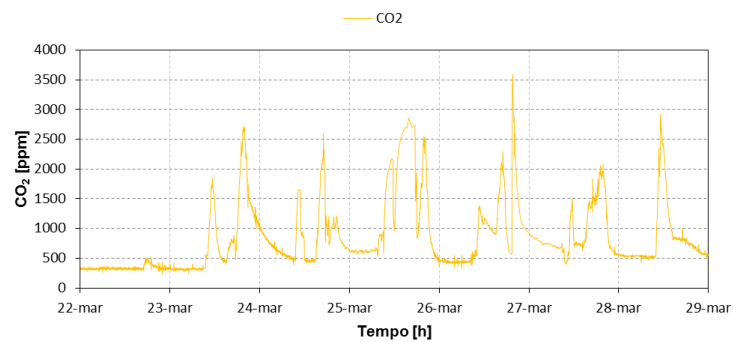


Figura AI-26: Variação do CO₂-caso de estudo 1

10ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

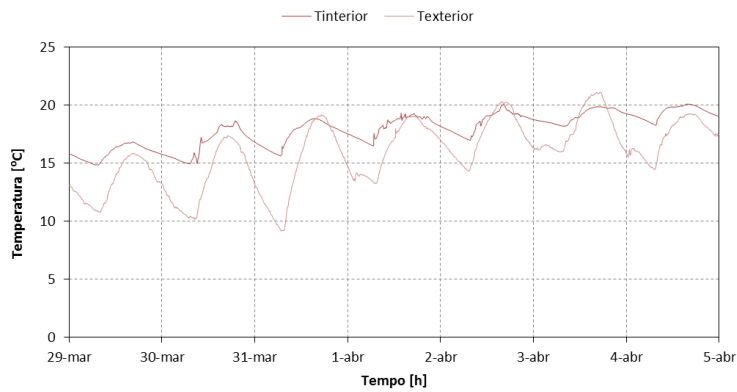


Figura AI-27: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

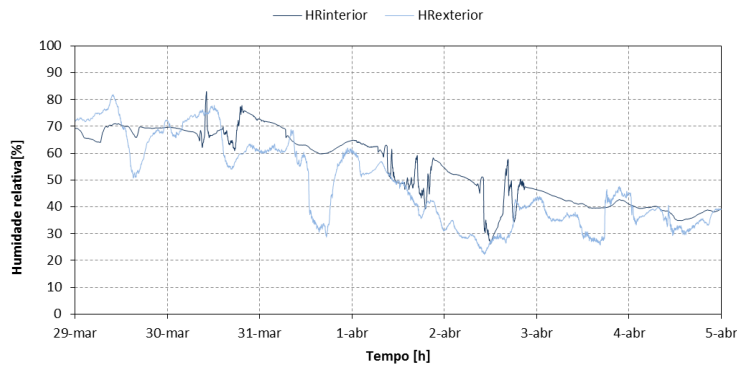


Figura AI-28: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

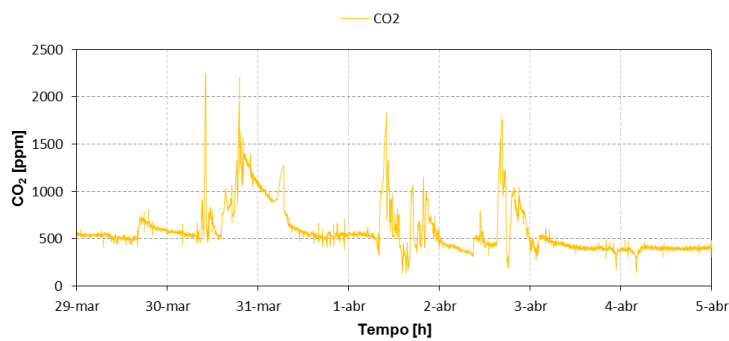


Figura AI-29: Variação do CO₂-caso de estudo 1

11ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 1*

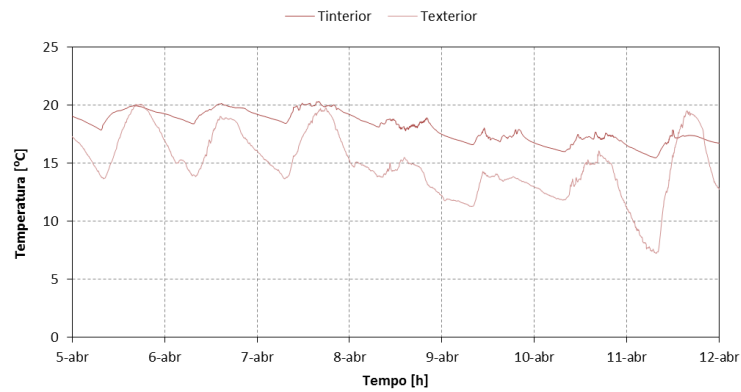


Figura AI-30: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- *Humidade relativa – caso de estudo 1*

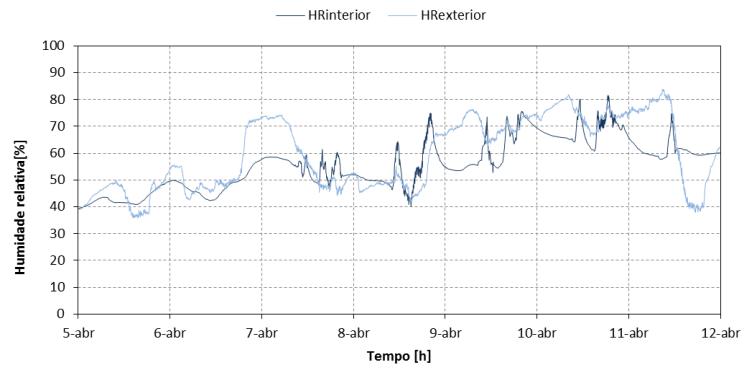


Figura AI-31: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 1*

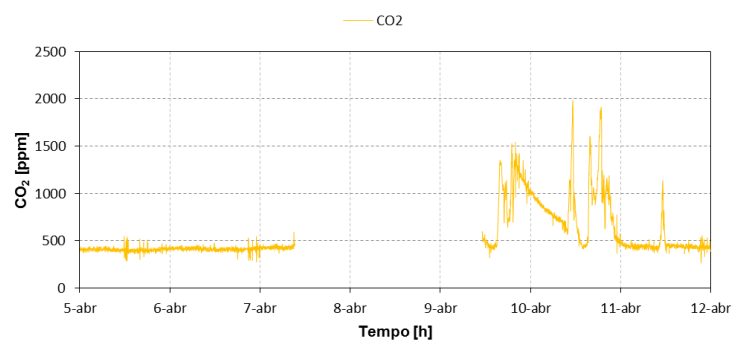


Figura AI-32: Variação do CO₂-caso de estudo 1

12ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

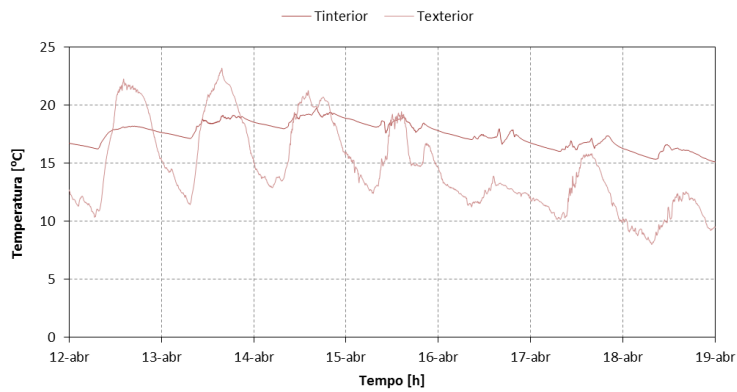


Figura AI-33: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

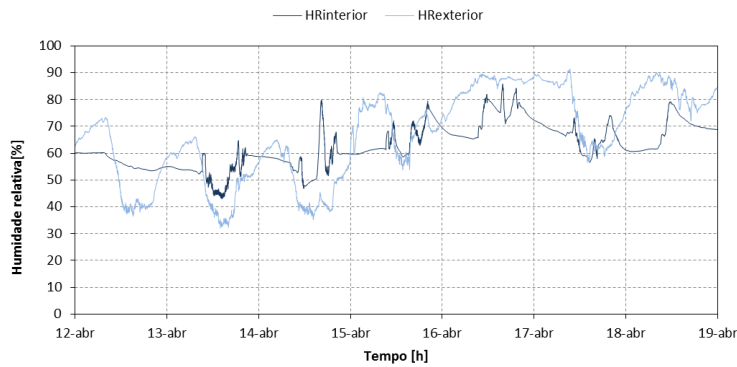


Figura AI-34: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

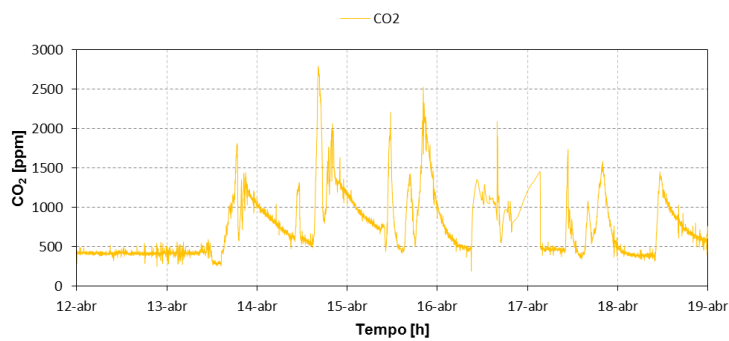


Figura AI-35: Variação do CO₂-caso de estudo 1

13ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

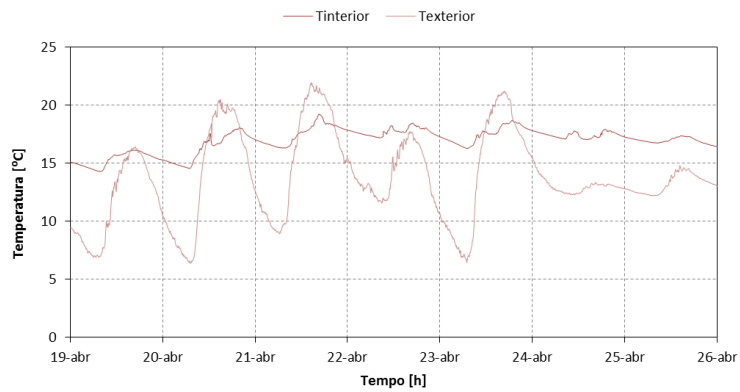


Figura AI-36: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

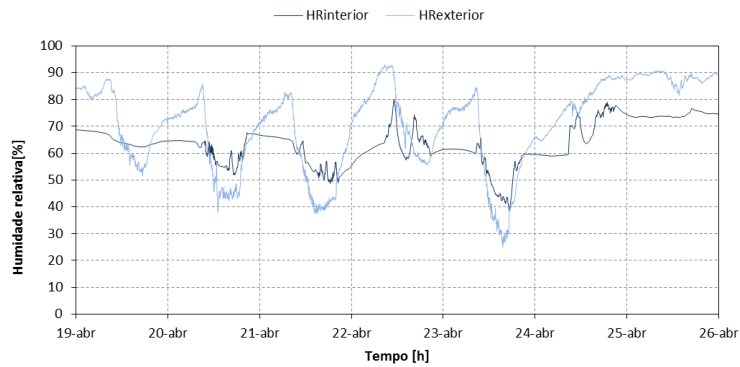


Figura AI-37: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

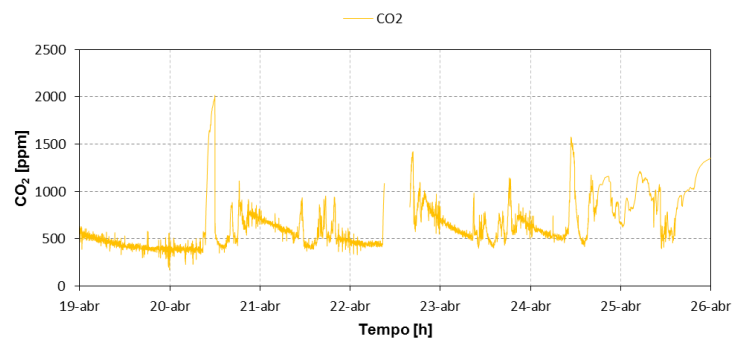


Figura AI-38: Variação do CO₂-caso de estudo 1

14ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

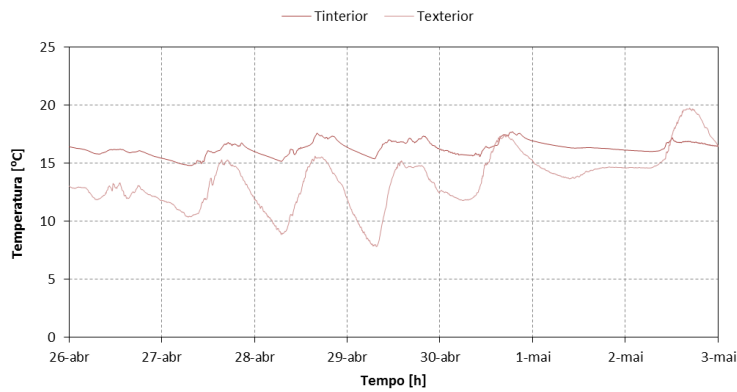


Figura AI-39: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

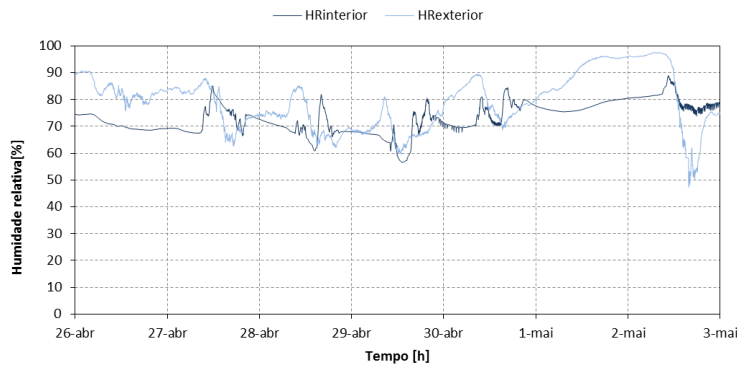


Figura AI-40: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

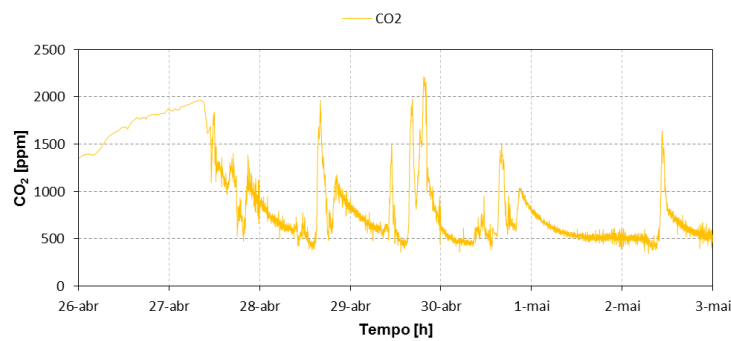


Figura AI-41: Variação do CO₂-caso de estudo 1

15ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

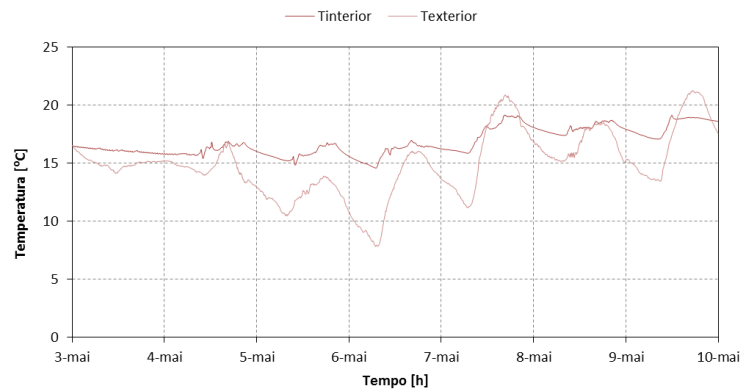


Figura AI-42: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

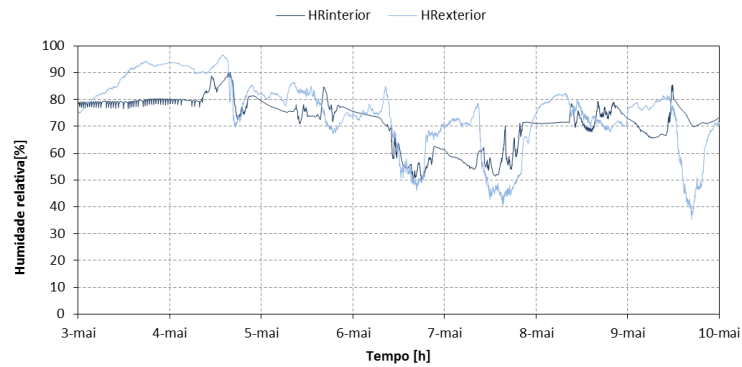


Figura AI-43: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

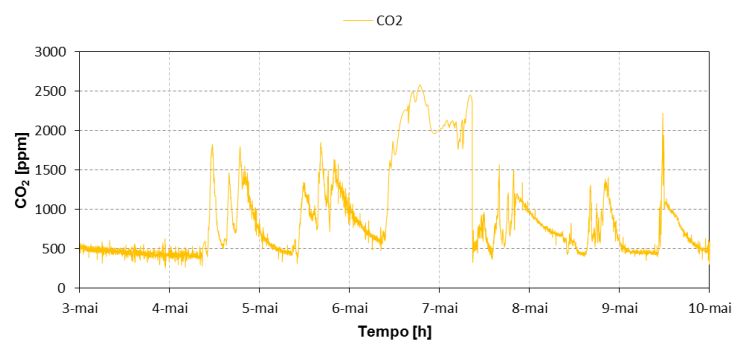


Figura AI-44: Variação do CO₂-caso de estudo 1

16ª semana

- ***Temperatura – caso de estudo 1***

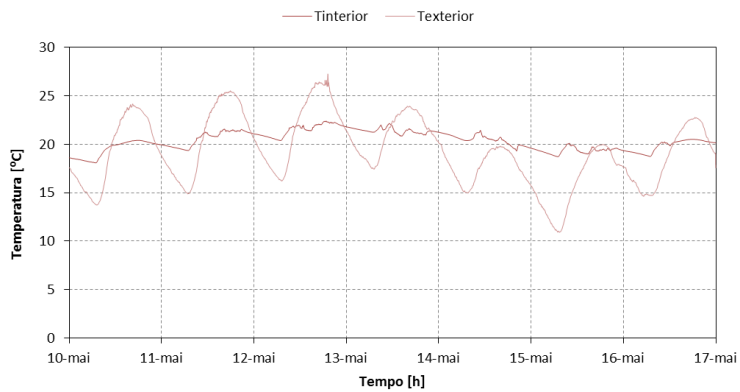


Figura AI-45: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- ***Humidade relativa – caso de estudo 1***

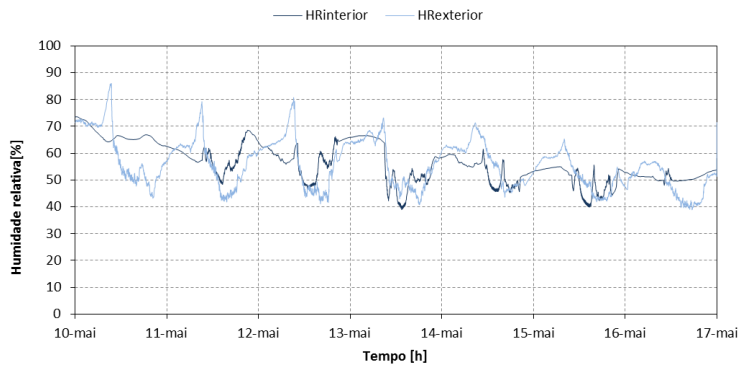


Figura AI-46: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- ***Dióxido de carbono – caso de estudo 1***

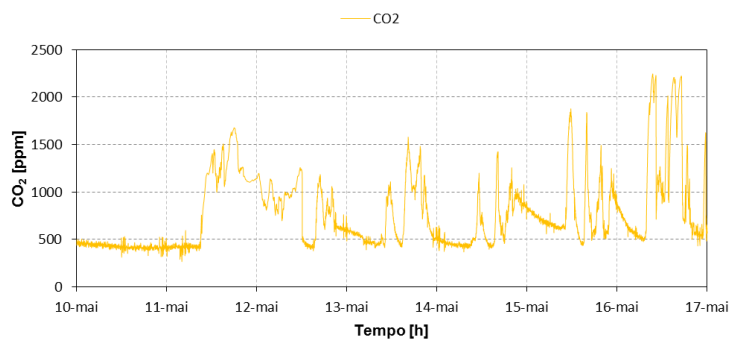


Figura AI-47: Variação do CO₂-caso de estudo 1

17ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 1**

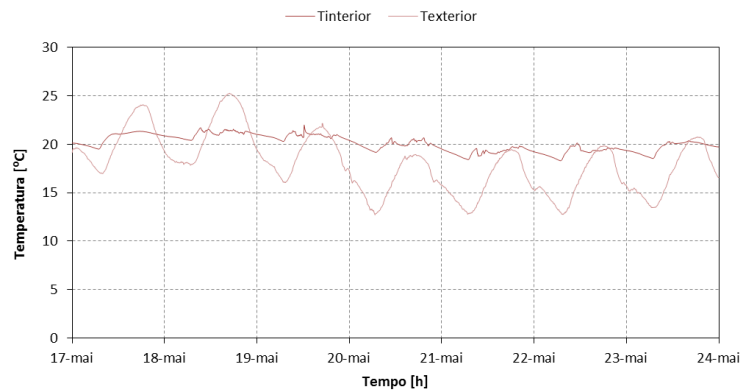


Figura AI-48: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- **Humidade relativa – caso de estudo 1**

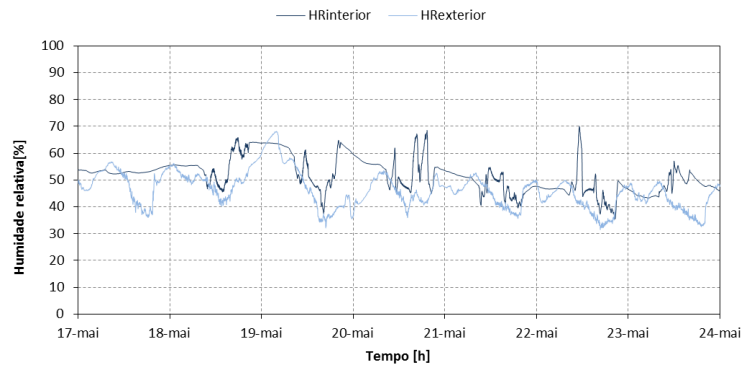


Figura AI-49: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 1**

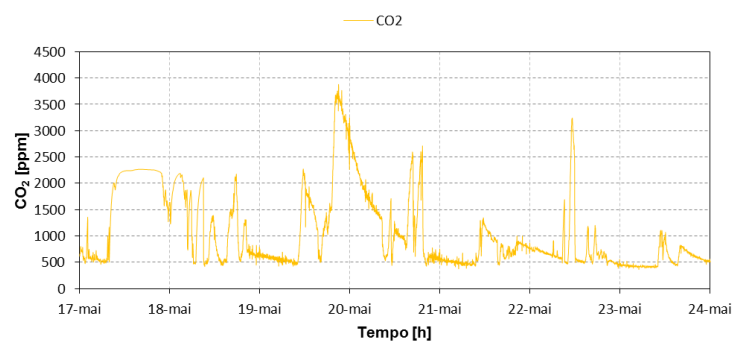


Figura AI-50: Variação do CO₂-caso de estudo 1

18ª semana

- ***Temperatura – caso de estudo 1***

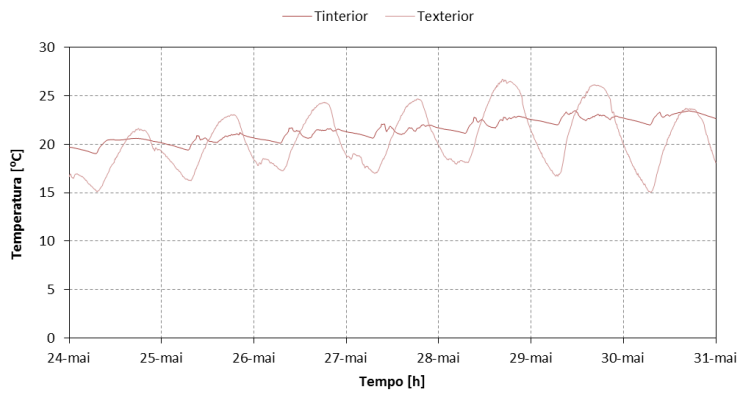


Figura AI-51: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 1

- ***Humidade relativa – caso de estudo 1***

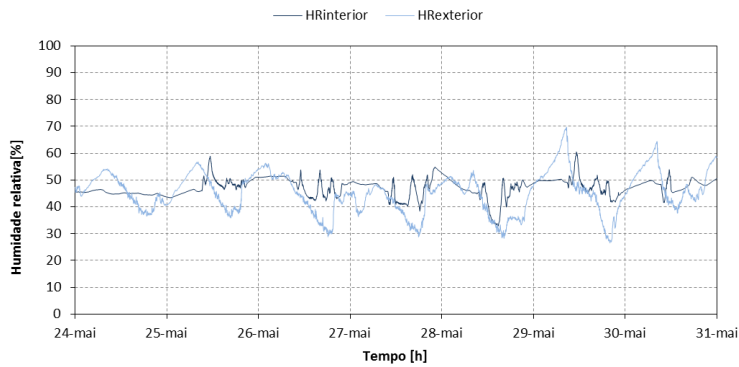


Figura AI-52: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 1

- ***Dióxido de carbono – caso de estudo 1***

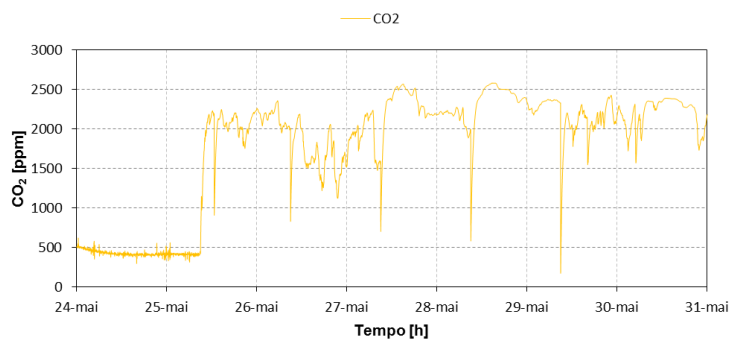


Figura AI-53: Variação do CO₂-caso de estudo 1

Caso de estudo 2

1ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 2*

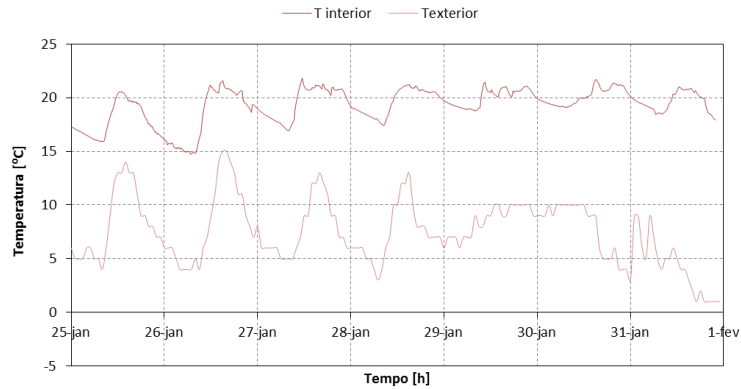


Figura AI-54: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- *Humidade relativa – caso de estudo 2*

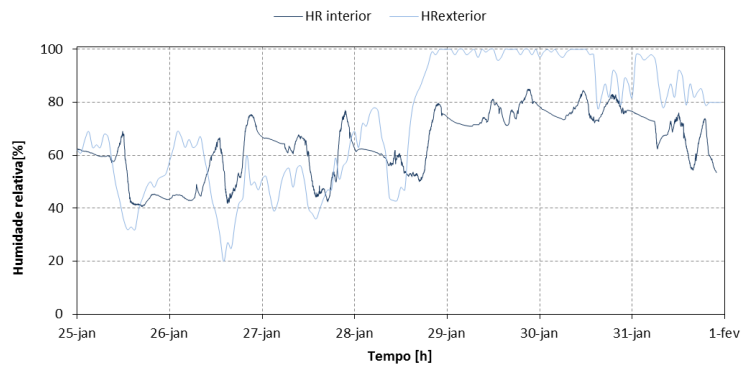


Figura AI-55: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 2*

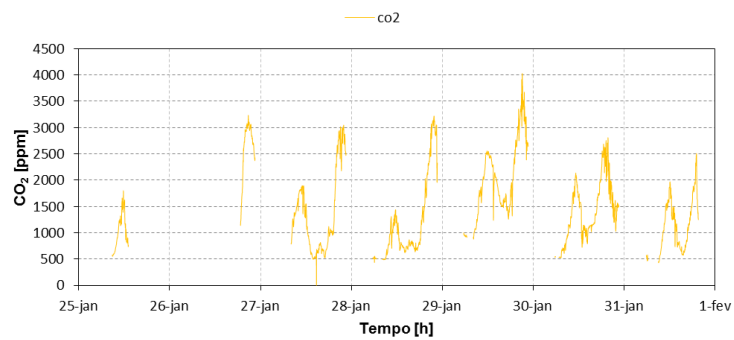


Figura AI-56: Variação do CO₂-caso de estudo 2

2ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

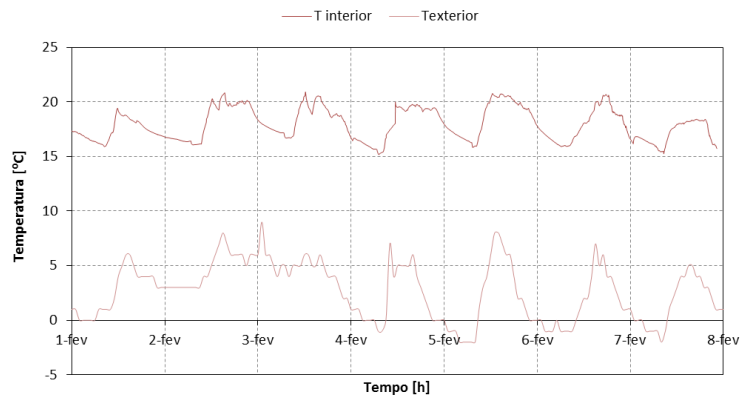


Figura AI-57: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

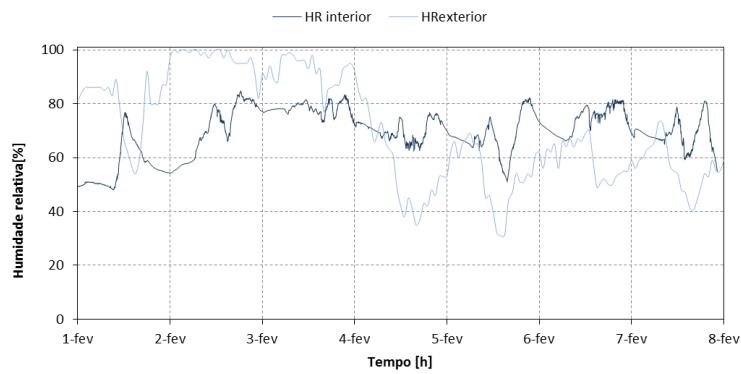


Figura AI-58: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

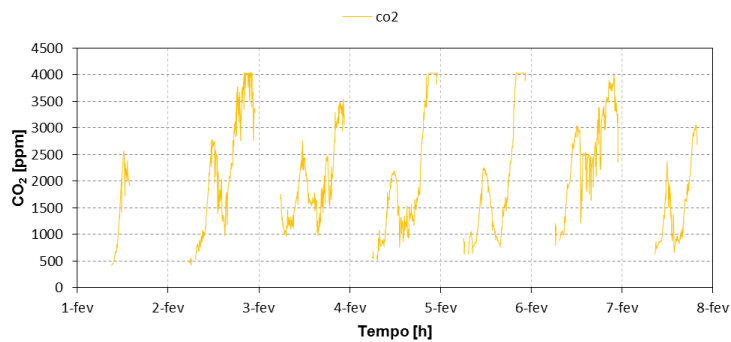


Figura AI-59: Variação do CO₂-caso de estudo 2

3ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 2*

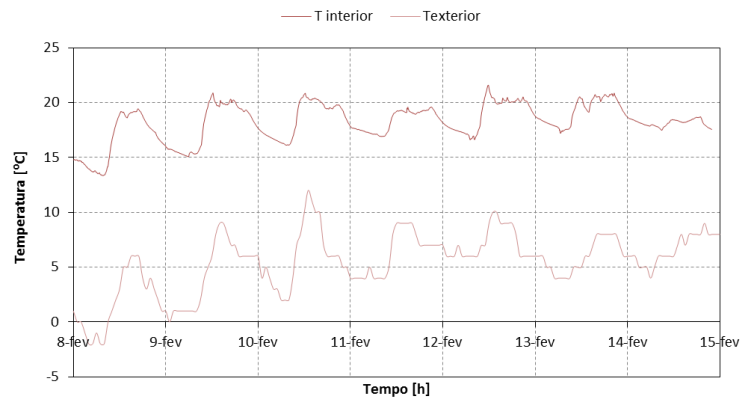


Figura AI-60: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- *Humidade relativa – caso de estudo 2*

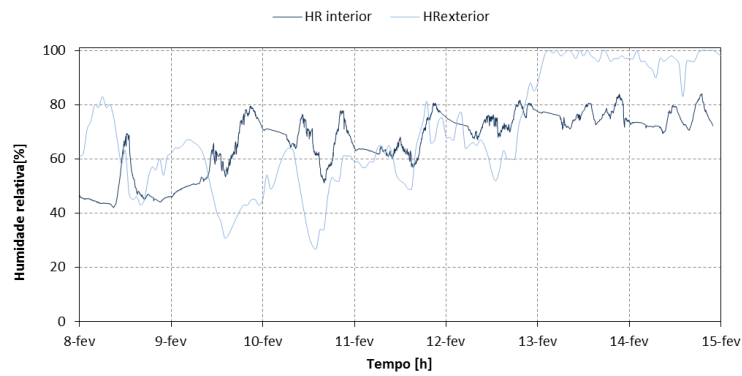


Figura AI-61: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 2*

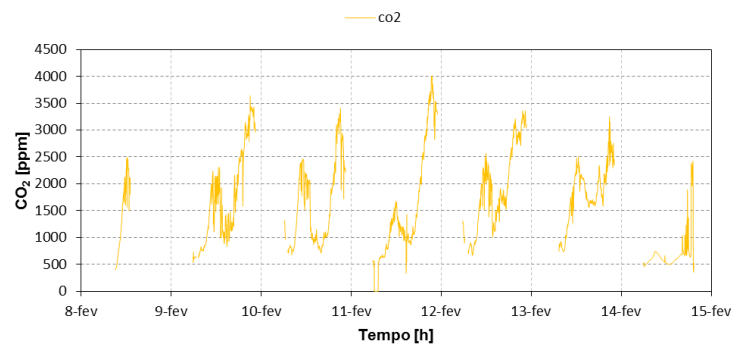


Figura AI-62: Variação do CO₂-caso de estudo 2

4ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

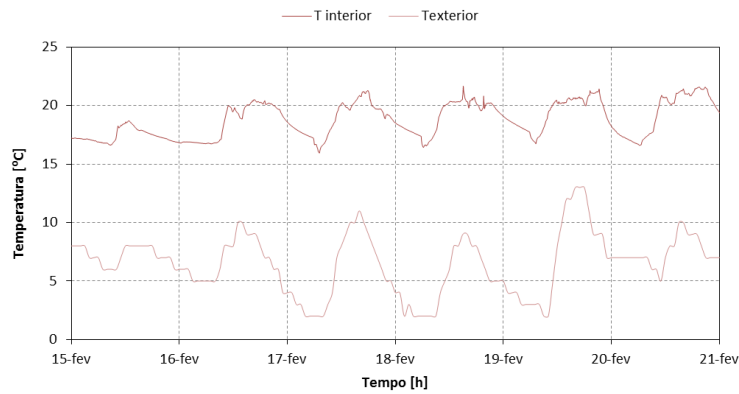


Figura AI-63: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

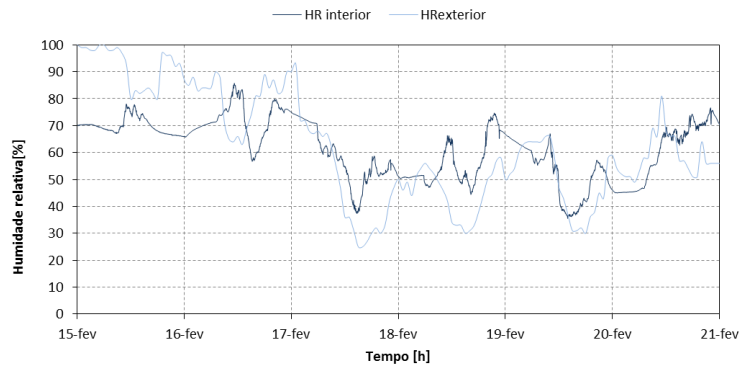


Figura AI-64: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

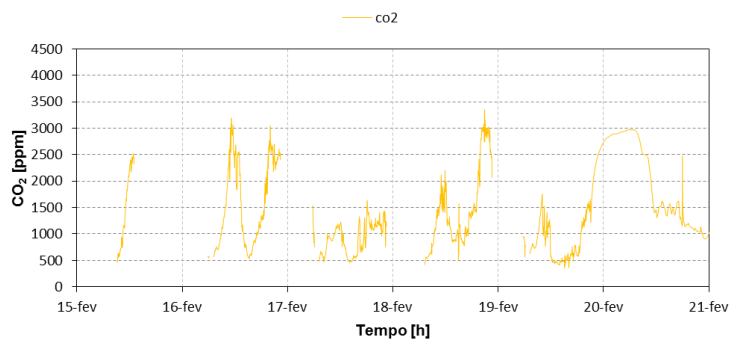


Figura AI-65: Variação do CO₂-caso de estudo 2

5ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

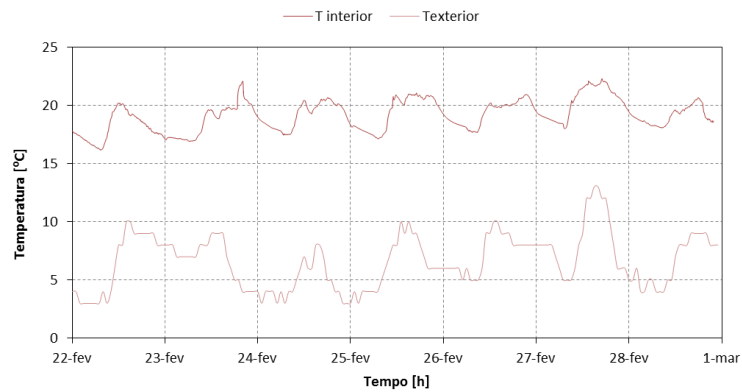


Figura AI-66: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

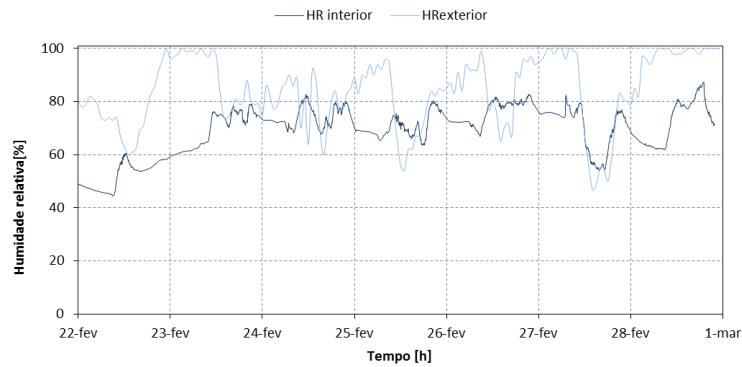


Figura AI-67: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

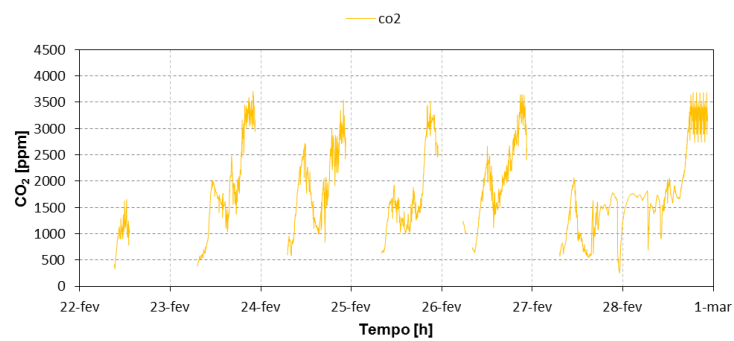


Figura AI-68: Variação do CO₂-caso de estudo 2

6ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

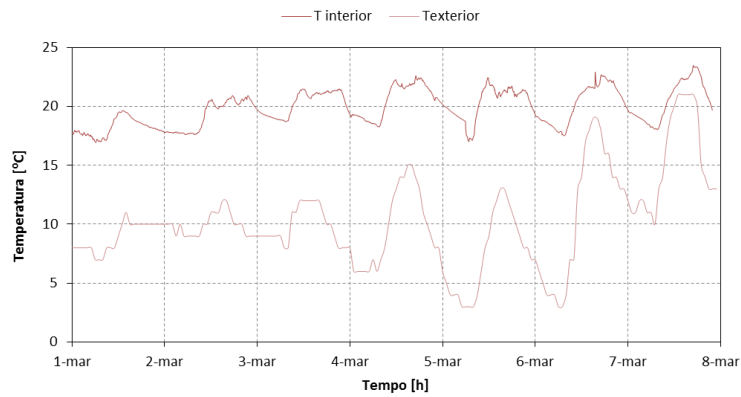


Figura AI-69: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

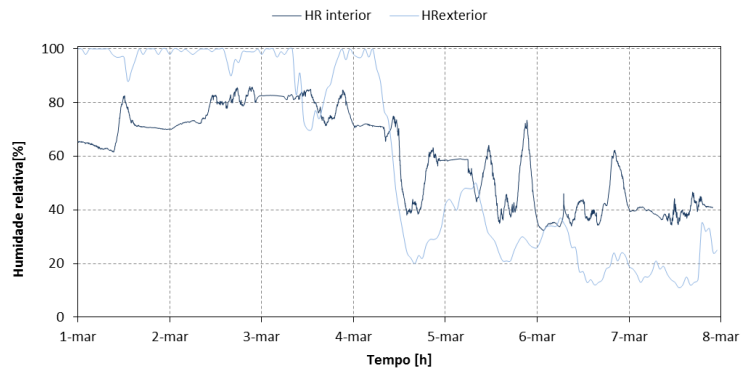


Figura AI-70: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

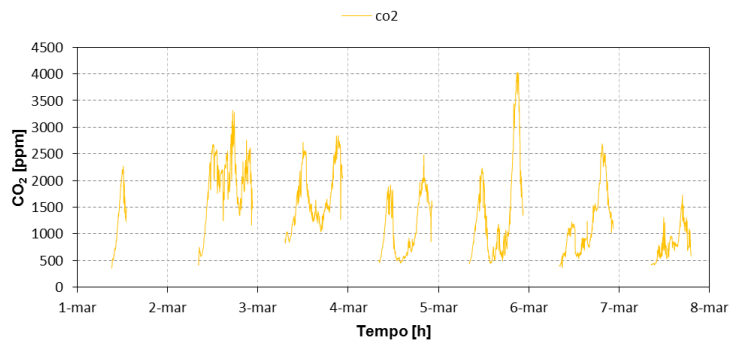


Figura AI-71: Variação do CO₂-caso de estudo 2

7ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

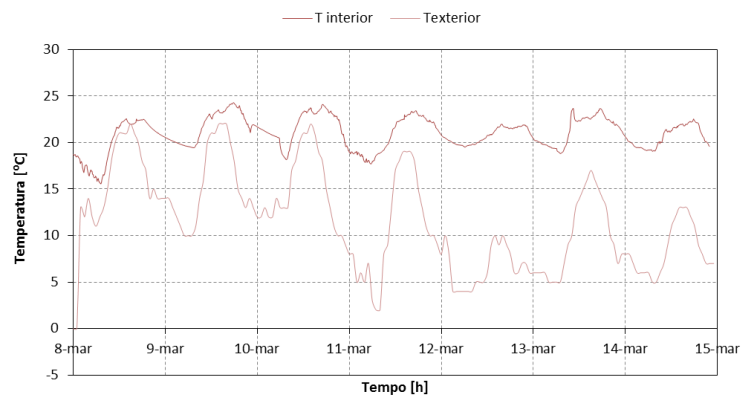


Figura AI-72: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

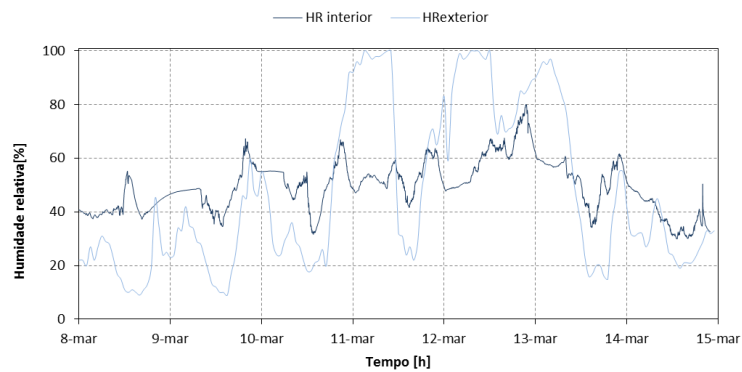


Figura AI-73: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

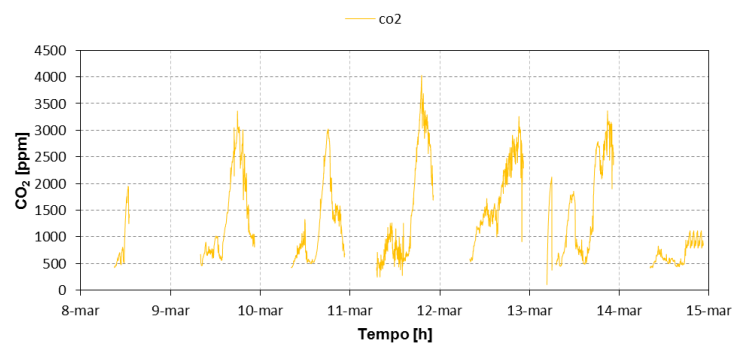


Figura AI-74: Variação do CO₂-caso de estudo 2

8ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

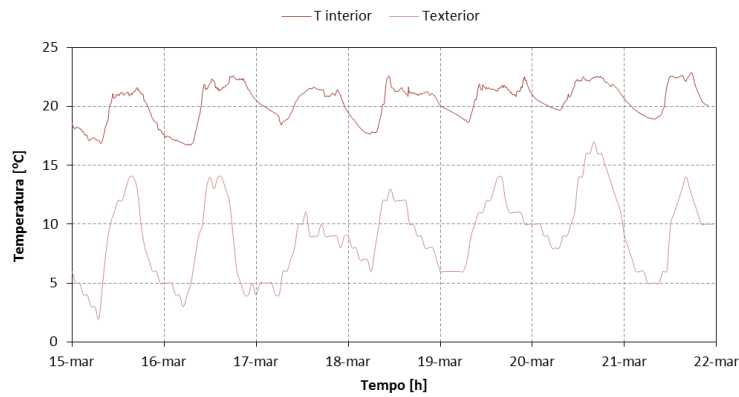


Figura AI-75: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

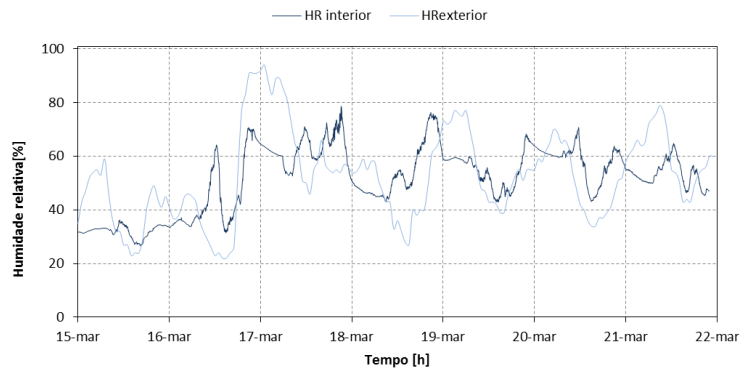


Figura AI-76: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

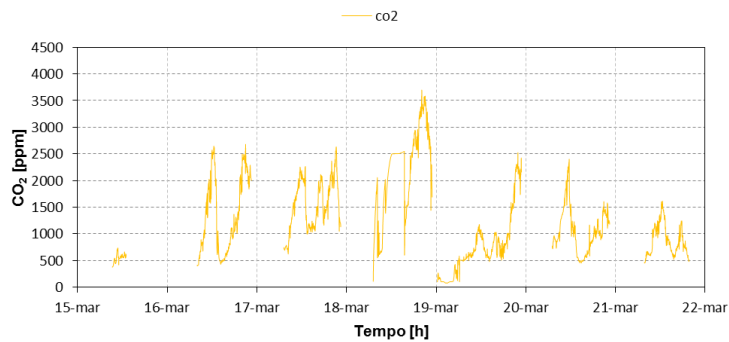


Figura AI-77: Variação do CO₂-caso de estudo 2

9ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

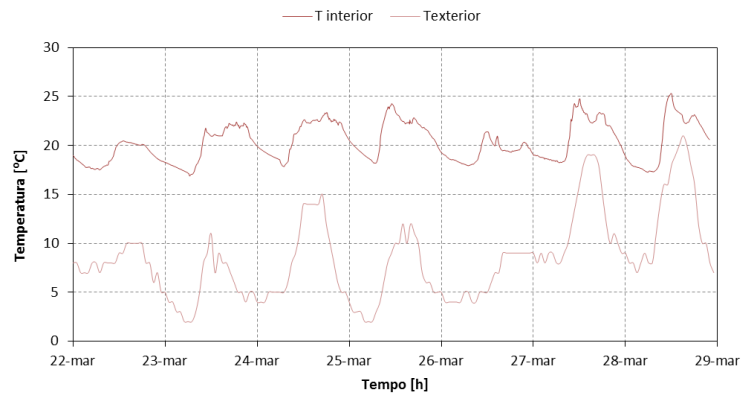


Figura AI-78: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

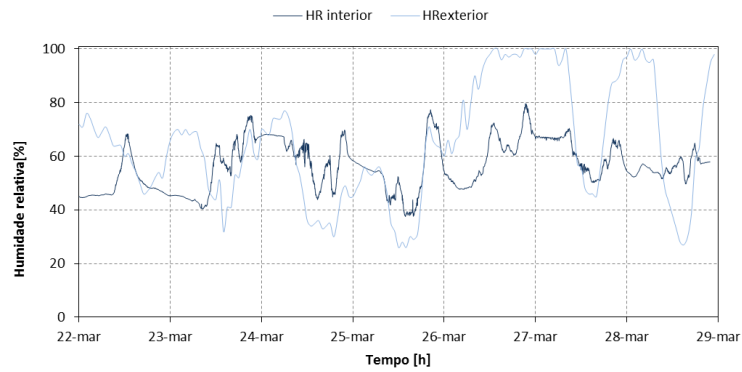


Figura AI-79: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

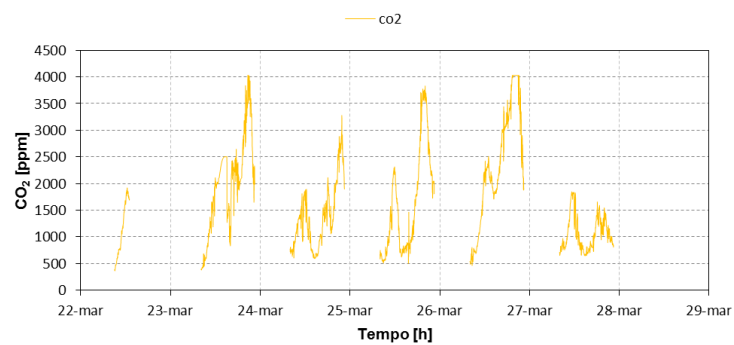


Figura AI-80: Variação do CO₂-caso de estudo 2

10ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

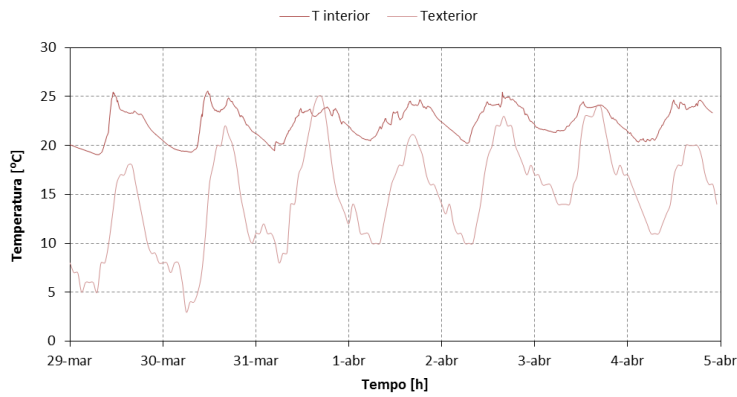


Figura AI-81: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

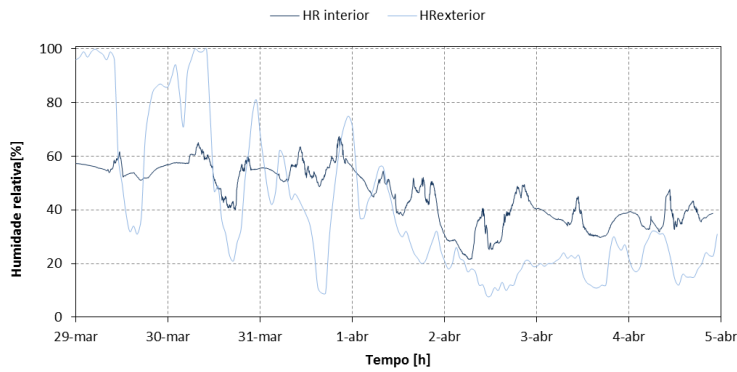


Figura AI-82: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

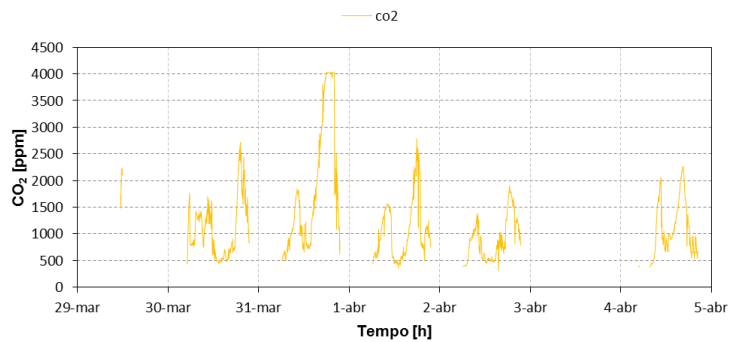


Figura AI-83: Variação do CO₂-caso de estudo 2

11ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

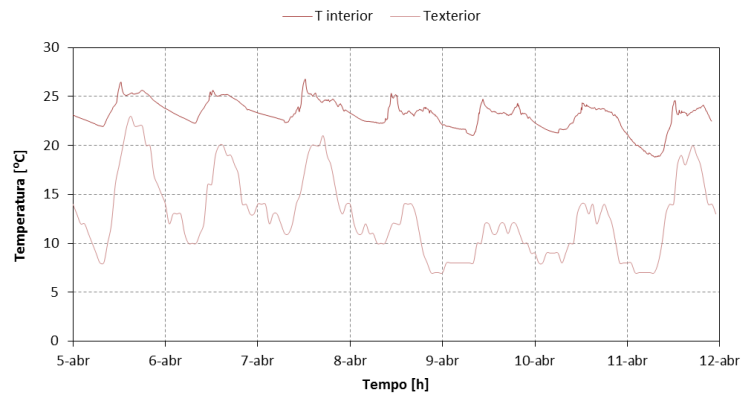


Figura AI-84: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

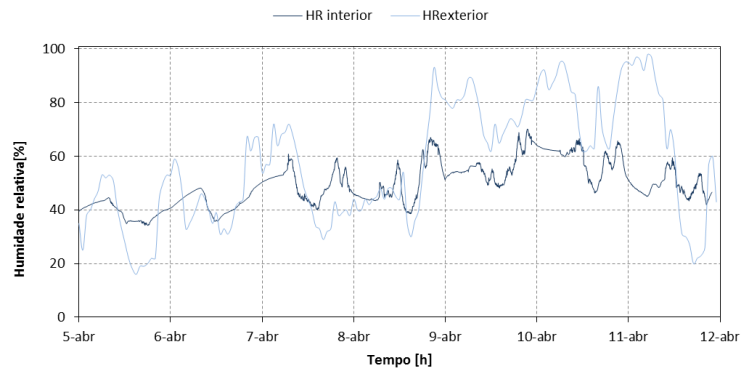


Figura AI-85: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

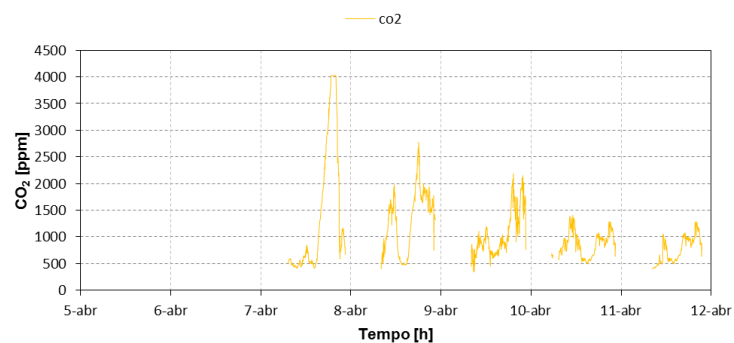


Figura AI-86: Variação do CO₂-caso de estudo 2

12ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

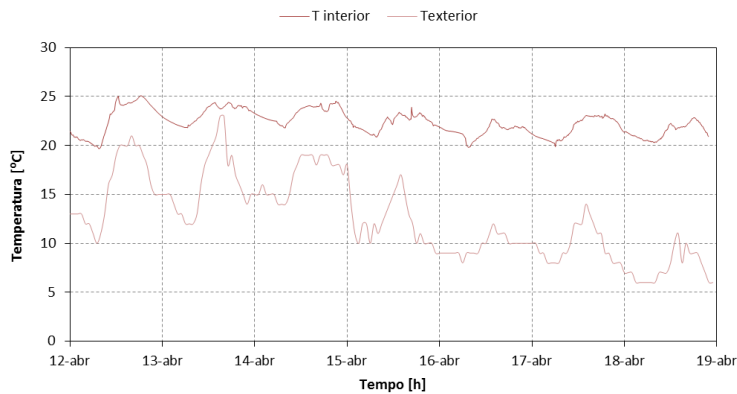


Figura AI-87: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

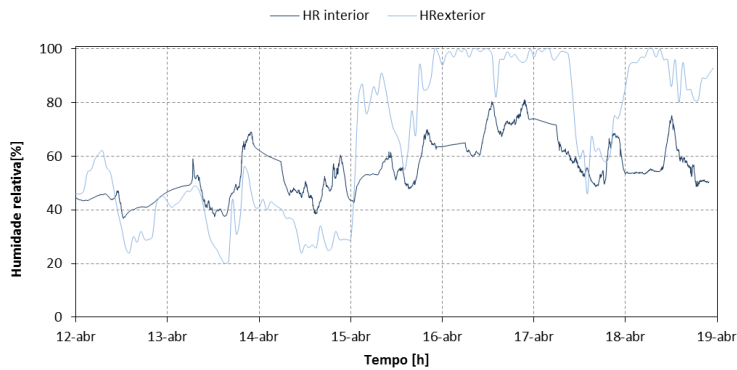


Figura AI-88: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

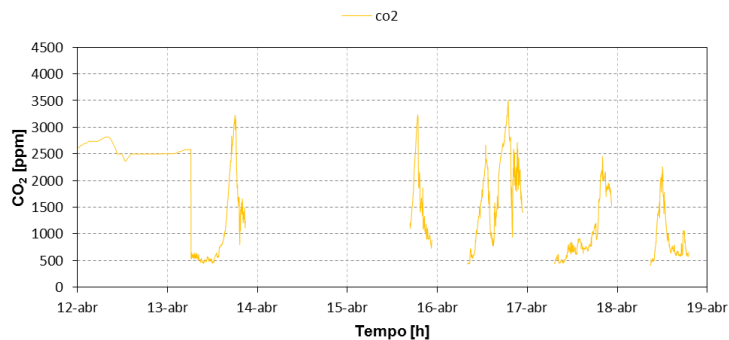


Figura AI-89: Variação do CO₂-caso de estudo 2

13ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

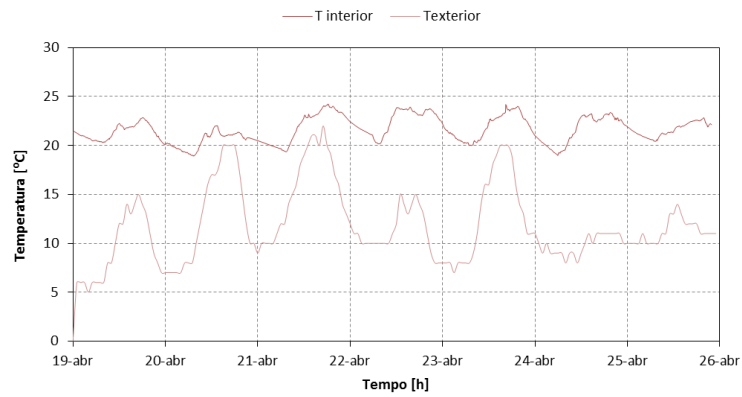


Figura AI-90: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

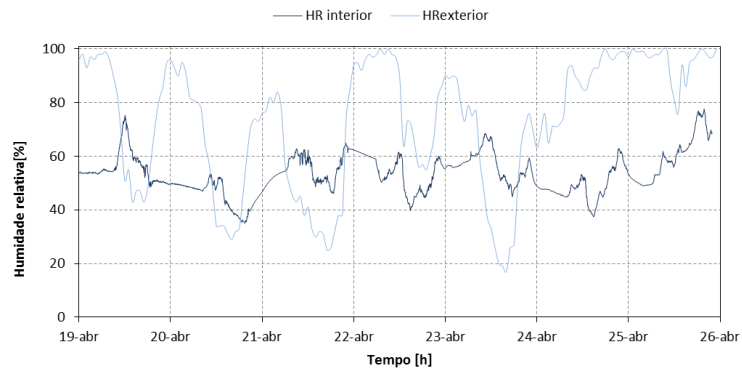


Figura AI-91: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

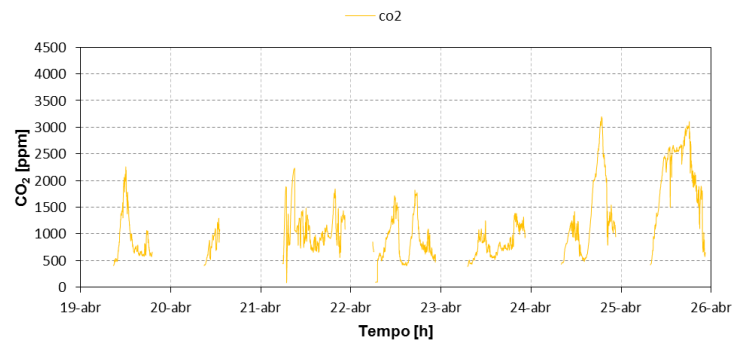


Figura AI-92: Variação do CO₂-caso de estudo 2

14ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 2*

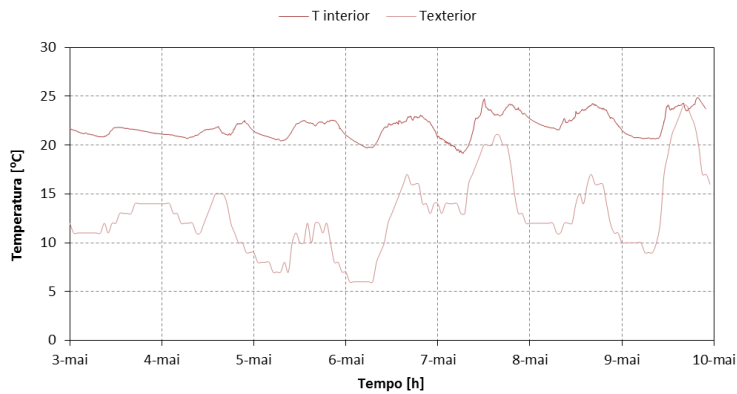


Figura AI-93: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- *Humidade relativa – caso de estudo 2*

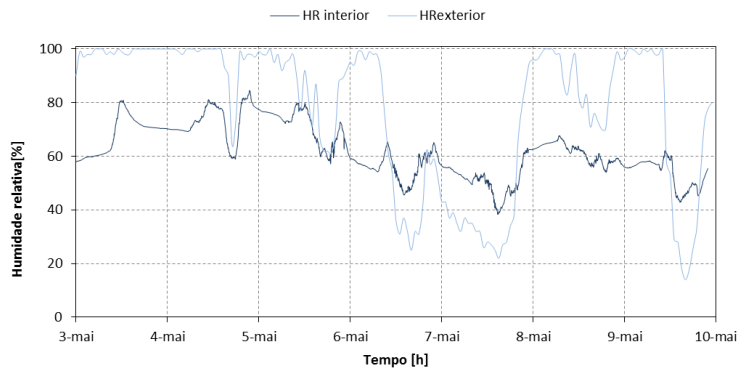


Figura AI-94: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 2*

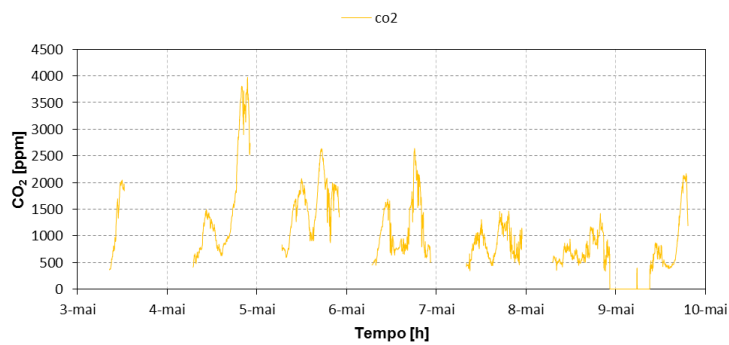


Figura AI-95: Variação do CO₂-caso de estudo 2

15ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

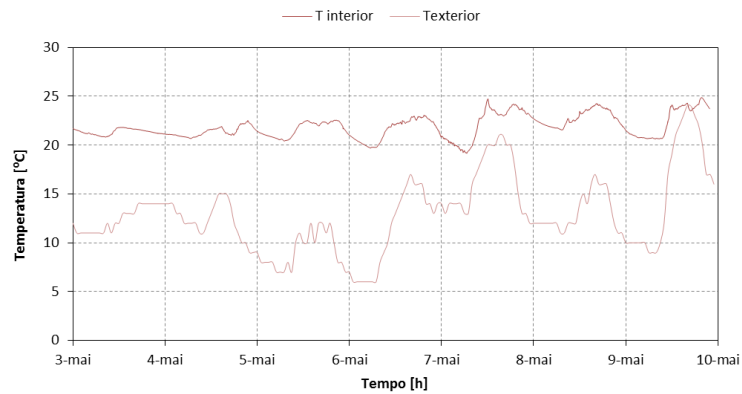


Figura AI-96: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

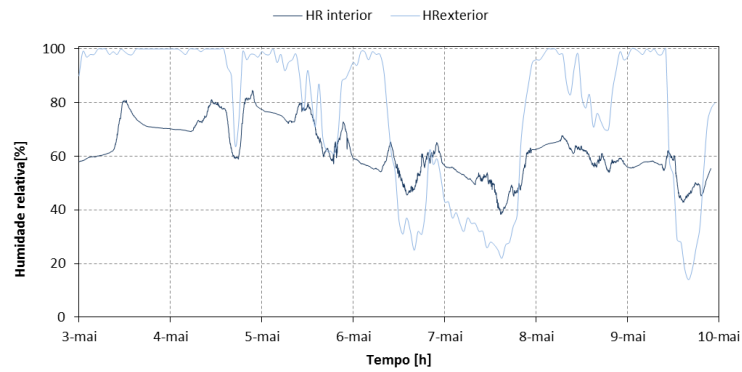


Figura AI-97: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

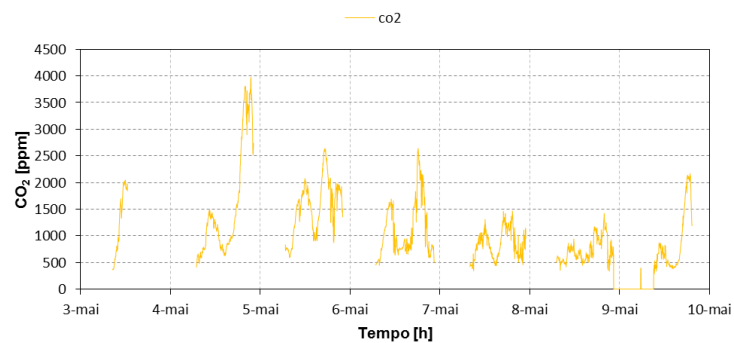


Figura AI-98: Variação do CO₂-caso de estudo 2

16ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

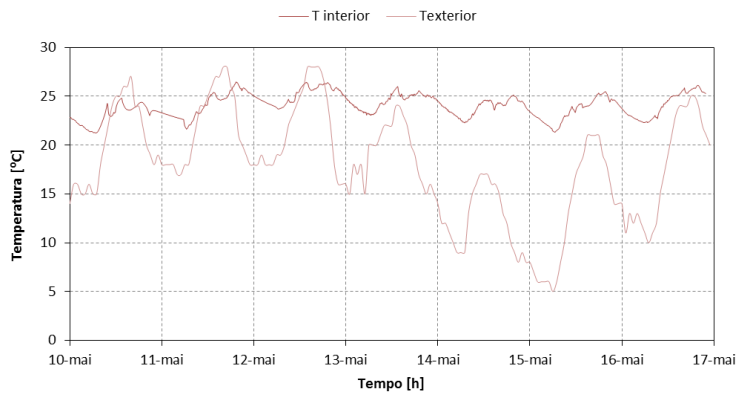


Figura AI-99: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

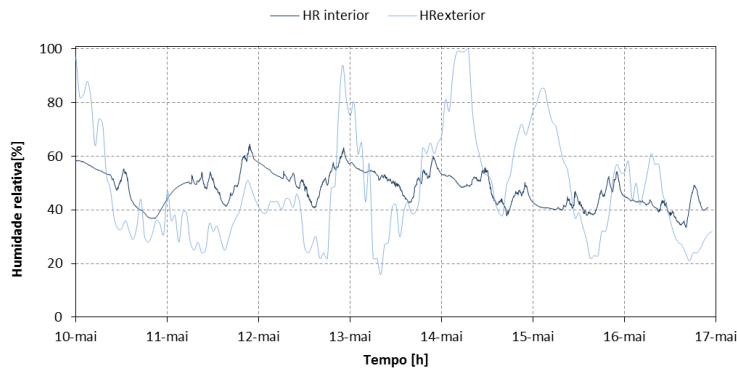


Figura AI-100: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

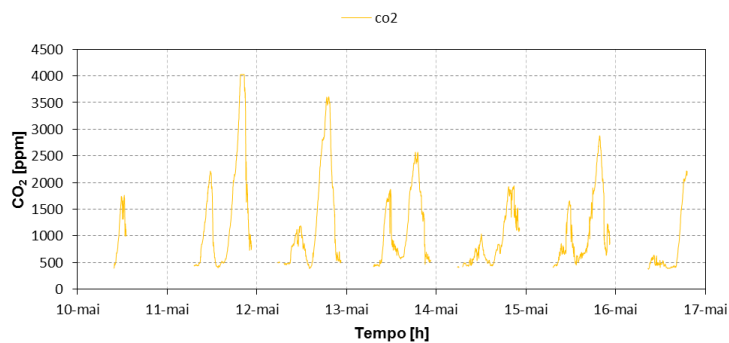


Figura AI-101: Variação do CO₂-caso de estudo 2

17ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 2**

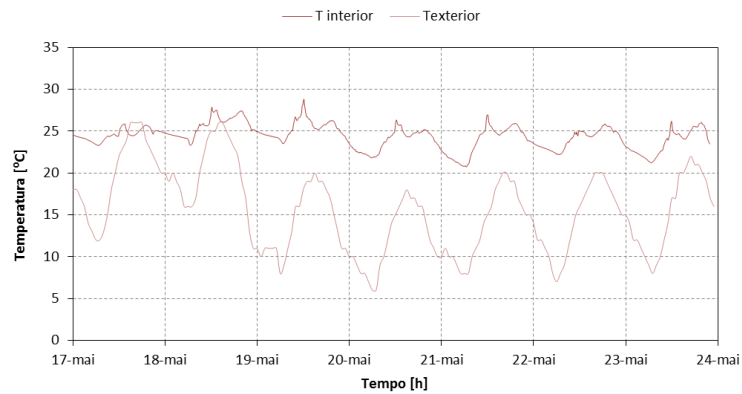


Figura AI-102: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 2**

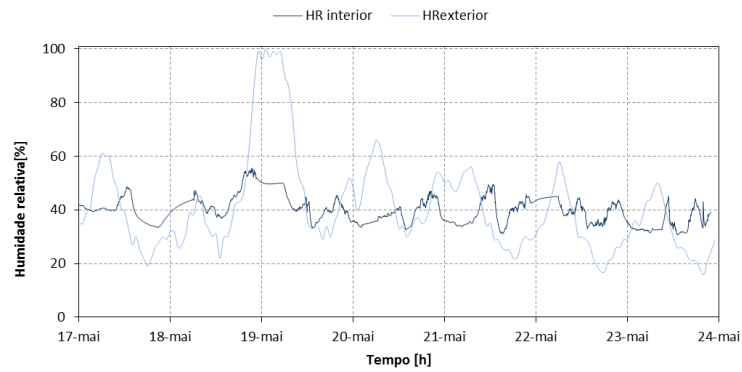


Figura AI-103: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 2**

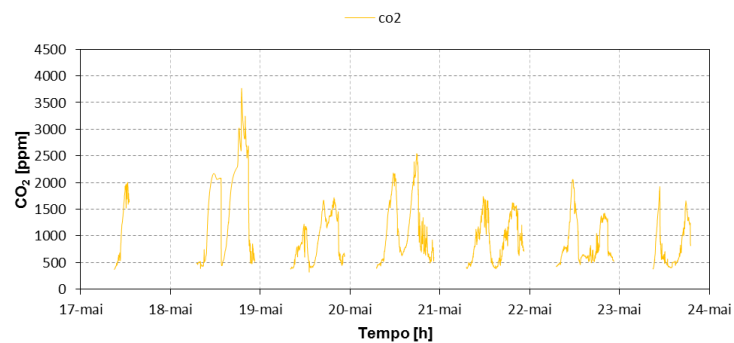


Figura AI-104: Variação do CO₂-caso de estudo 2

18ª semana

- ***Temperatura – caso de estudo 2***

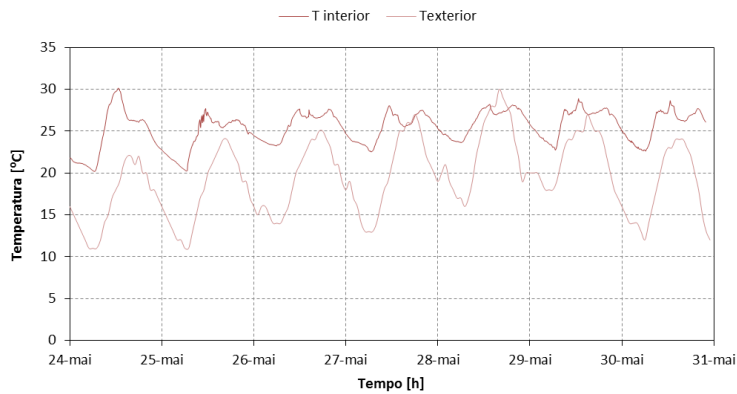


Figura AI-105: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- ***Humidade relativa – caso de estudo 2***

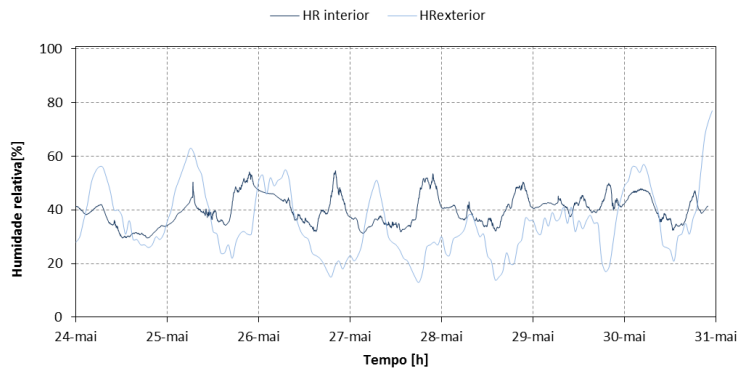


Figura AI-106: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 2

- ***Dióxido de carbono – caso de estudo 2***

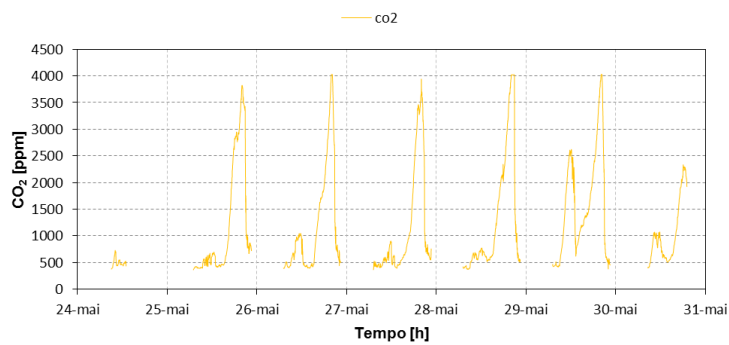


Figura AI-107: Variação do CO₂-caso de estudo 2

Caso de estudo 3

1ª semana

- *Temperatura – caso de estudo 3*

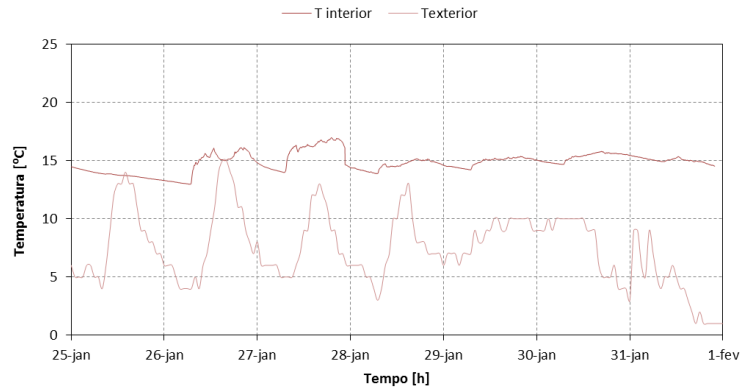


Figura AI-108: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- *Humidade relativa – caso de estudo 3*

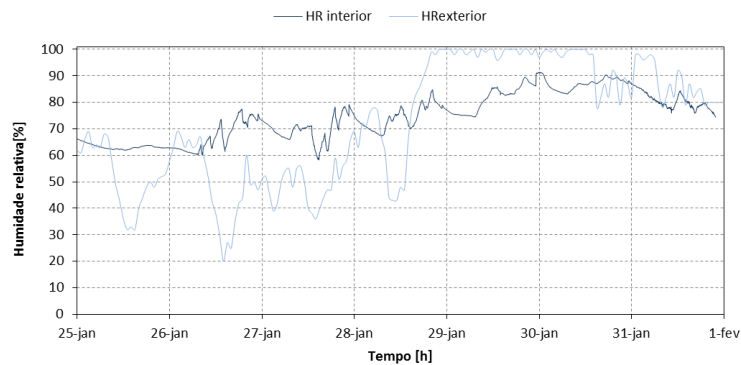


Figura AI-109: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- *Dióxido de carbono – caso de estudo 3*

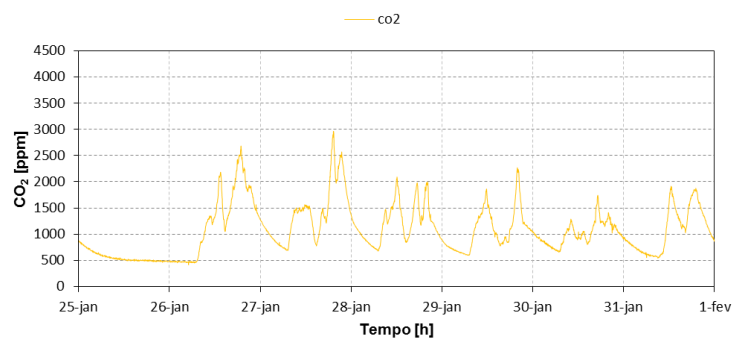


Figura AI-110: Variação do CO₂-caso de estudo 3

2ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

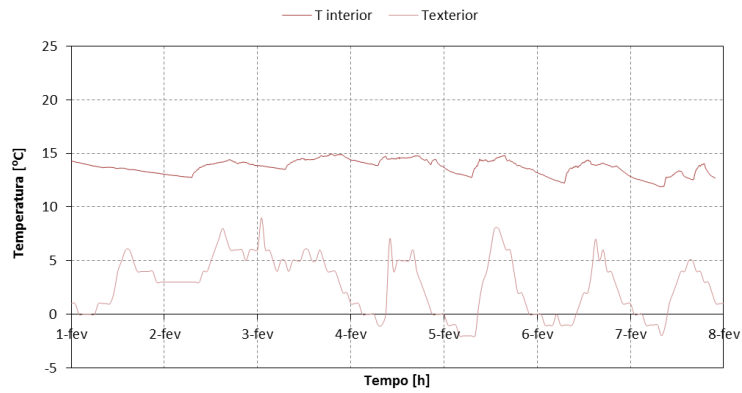


Figura AI-111: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

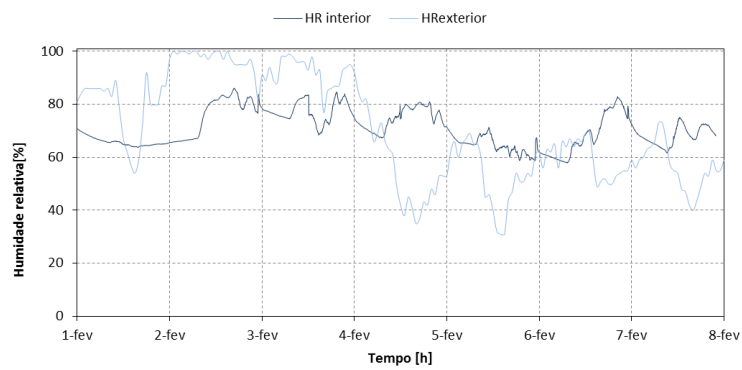


Figura AI-112: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

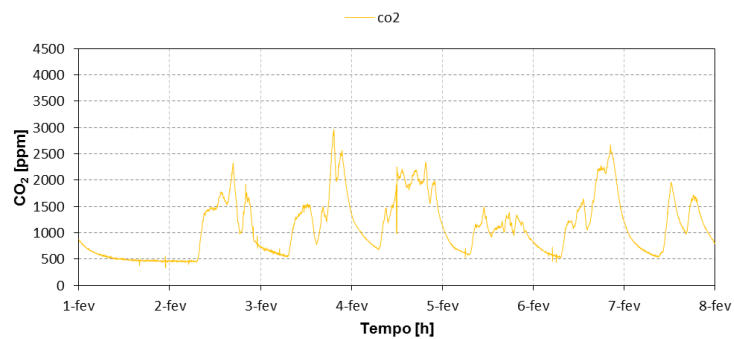


Figura AI-113: Variação do CO₂-caso de estudo 3

3ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

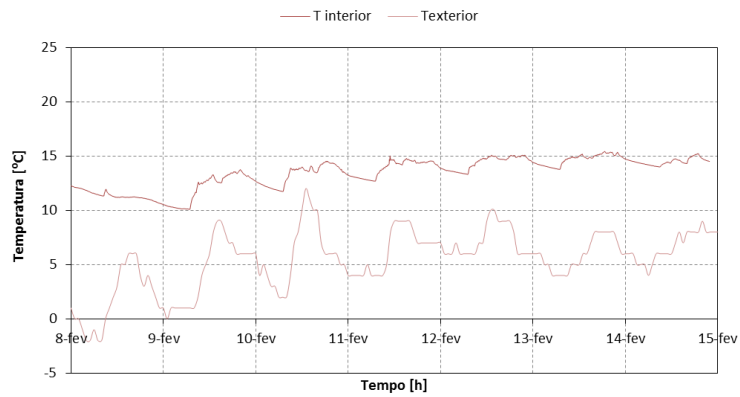


Figura AI-114: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

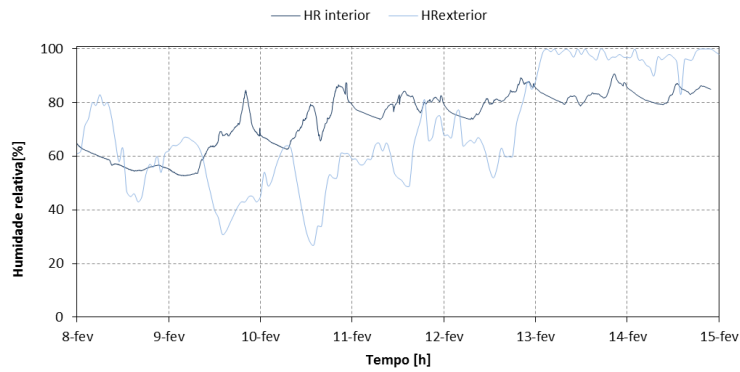


Figura AI-115: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

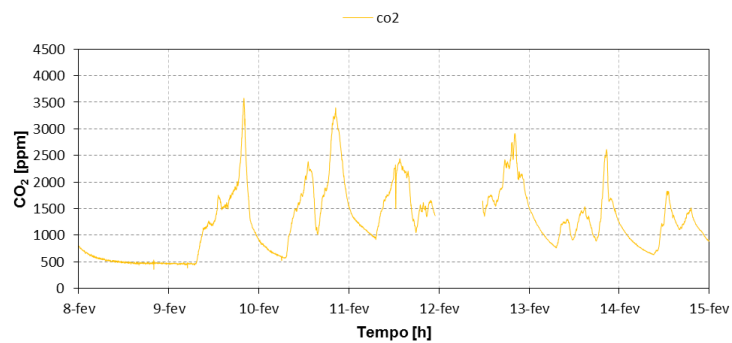


Figura AI-116: Variação do CO₂-caso de estudo 3

4ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

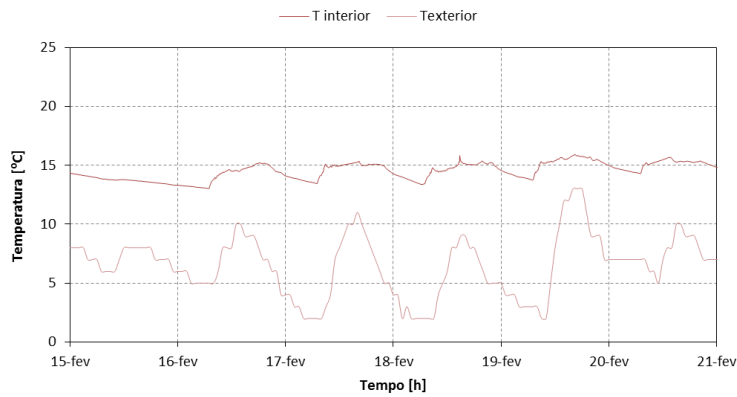


Figura AI-117: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

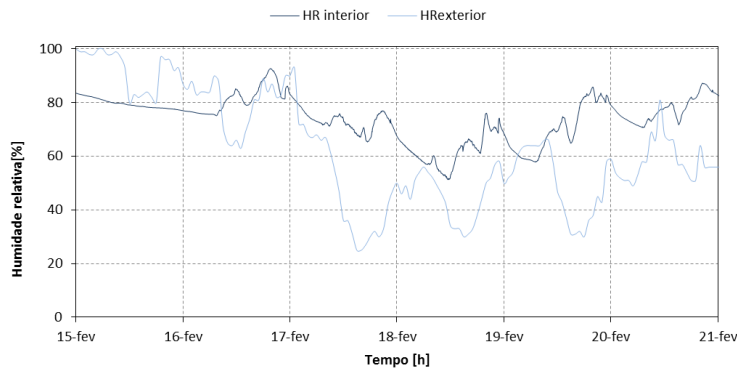


Figura AI-118: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

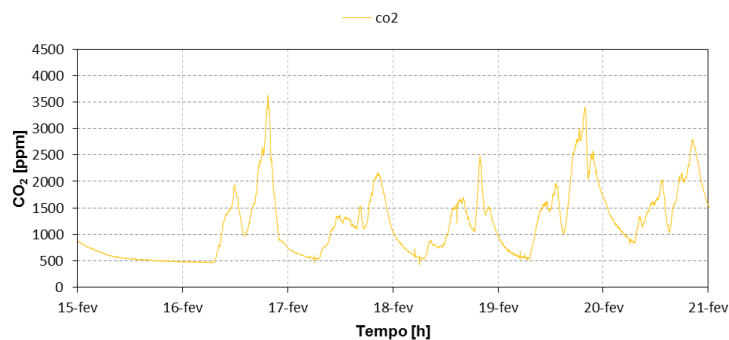


Figura AI-119: Variação do CO₂-caso de estudo 3

5ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

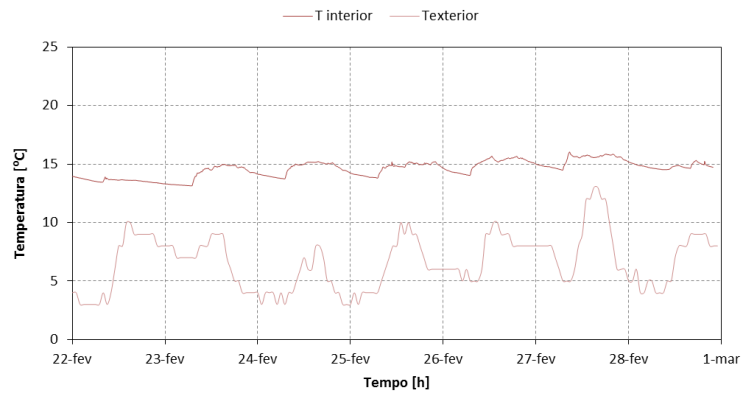


Figura AI-120: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

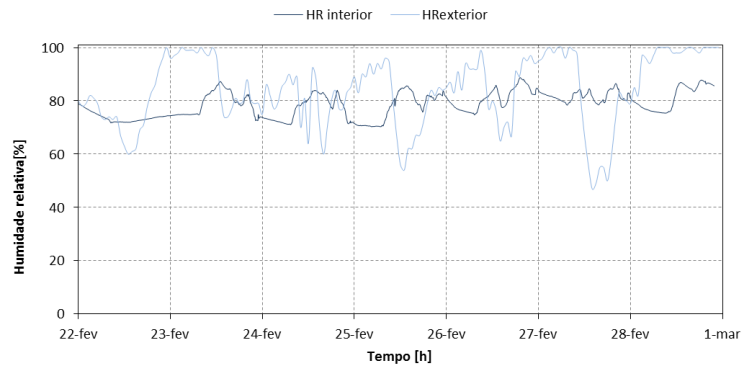


Figura AI-121: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

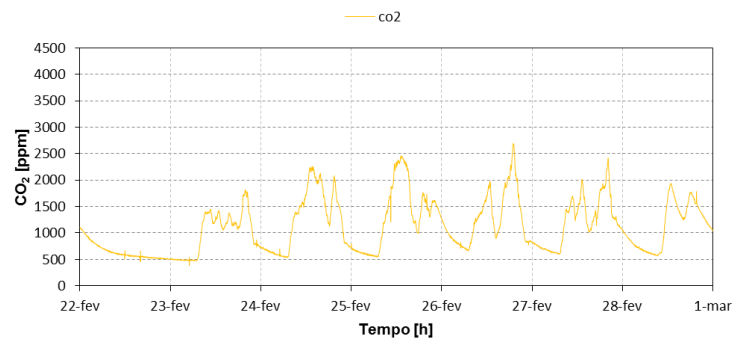


Figura AI-122: Variação do CO₂-caso de estudo 3

6ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

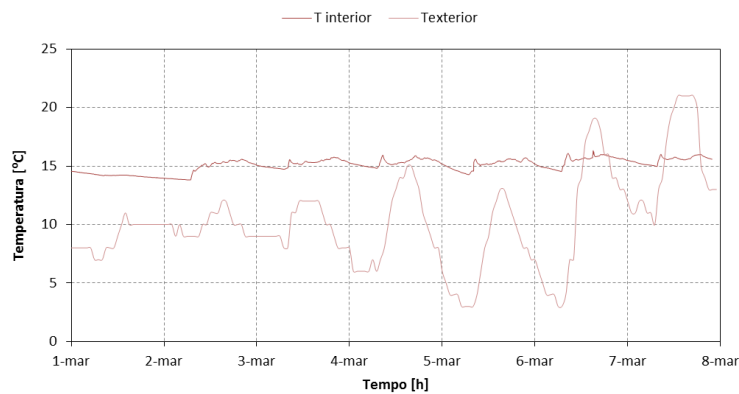


Figura AI-123: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

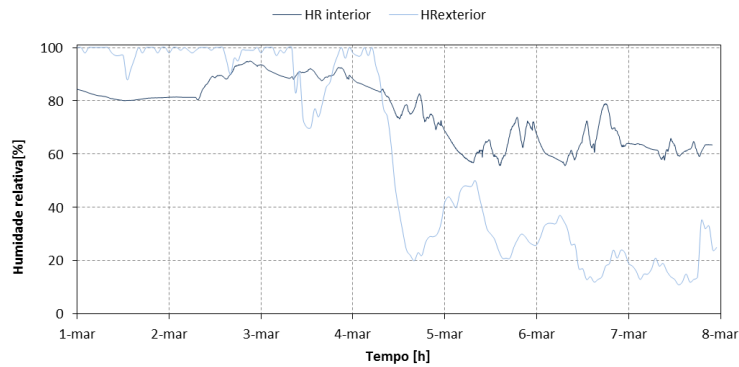


Figura AI-124: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

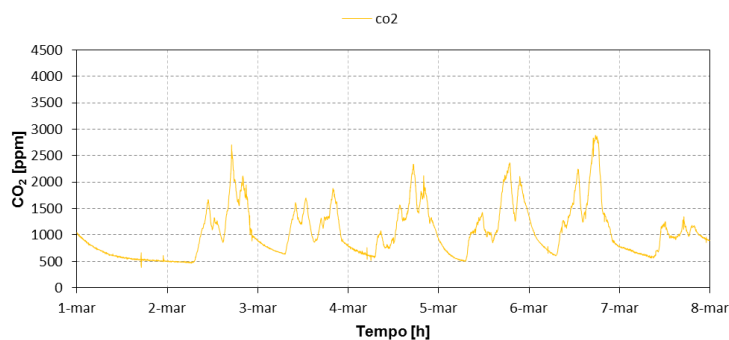


Figura AI-125: Variação do CO₂-caso de estudo 3

7ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

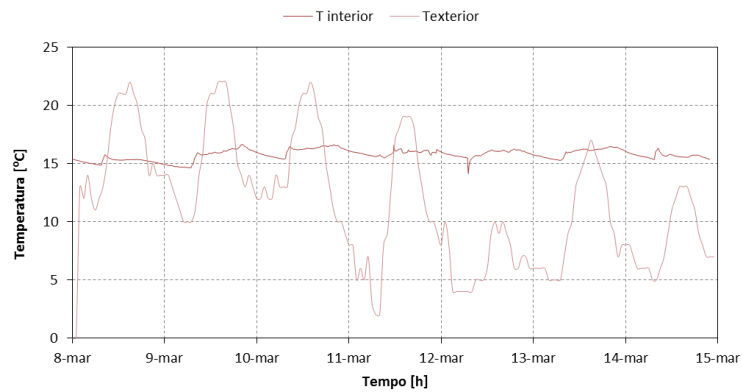


Figura AI-126: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

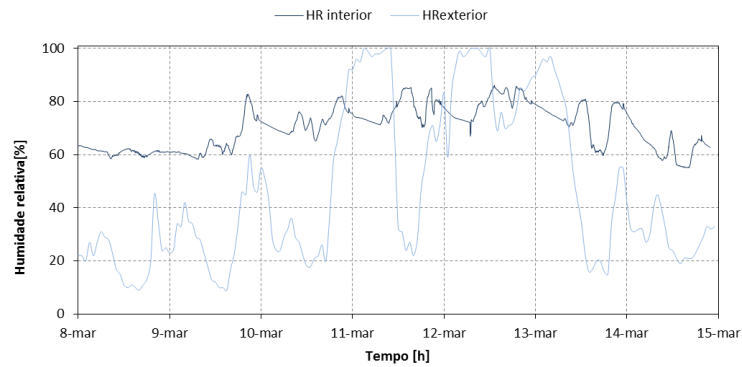


Figura AI-127: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

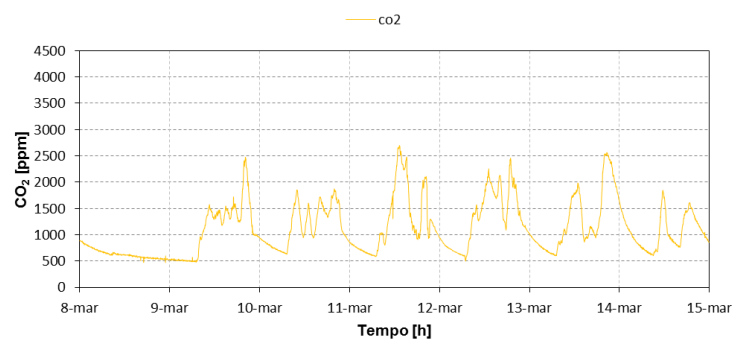


Figura AI-128: Variação do CO₂-caso de estudo 3

8ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

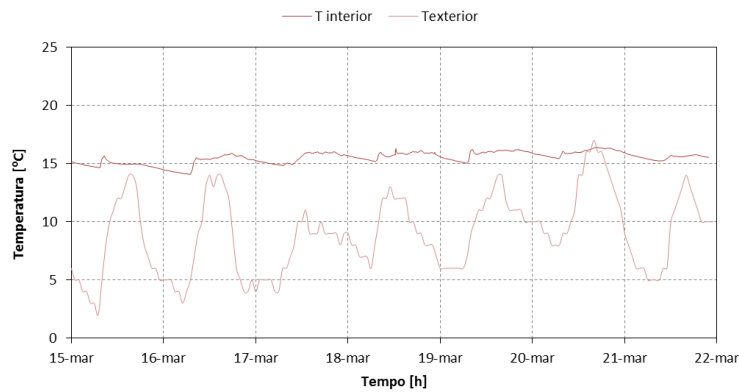


Figura AI-129: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

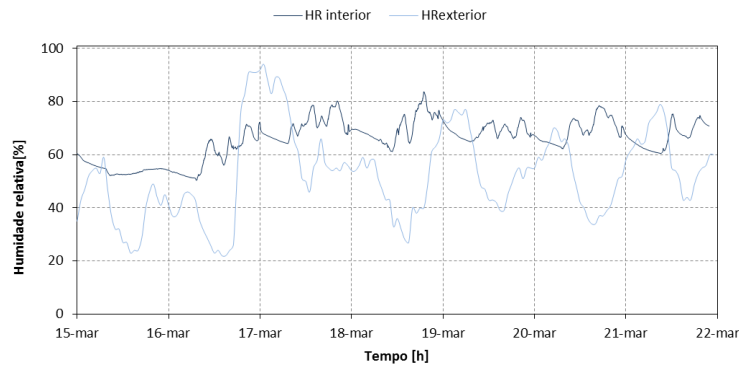


Figura AI-130: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

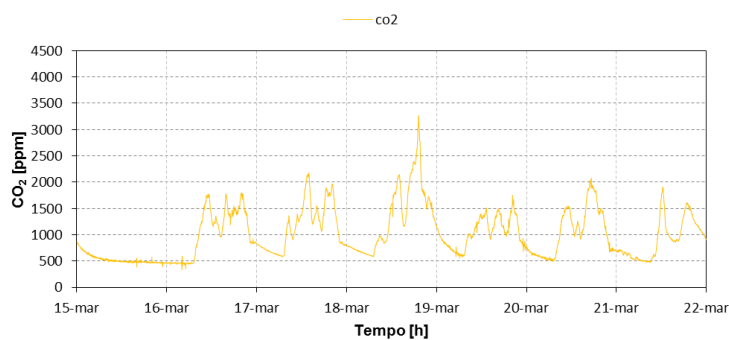


Figura AI-131: Variação do CO₂-caso de estudo 3

9ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

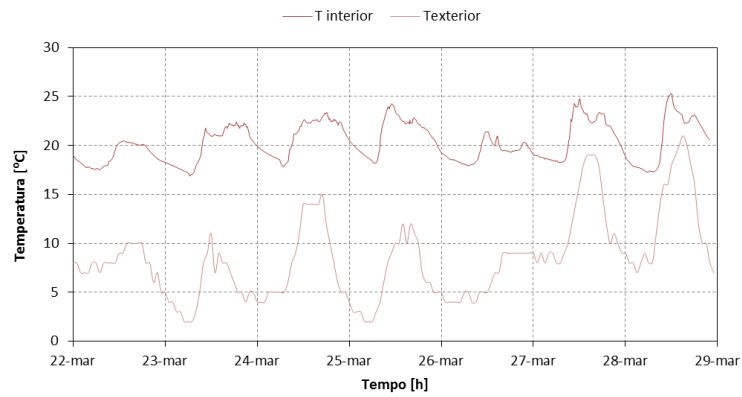


Figura AI-24: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

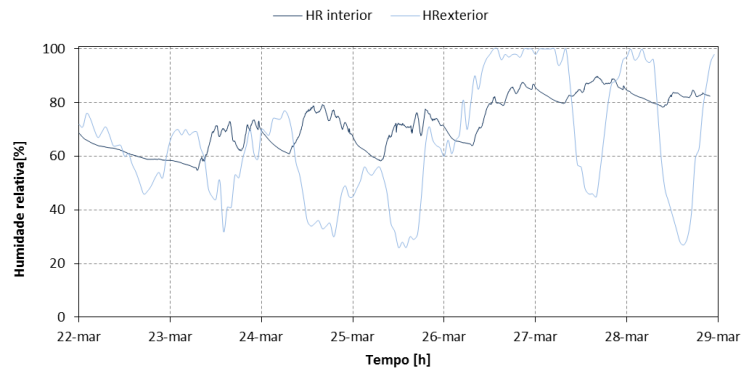


Figura AI-132: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

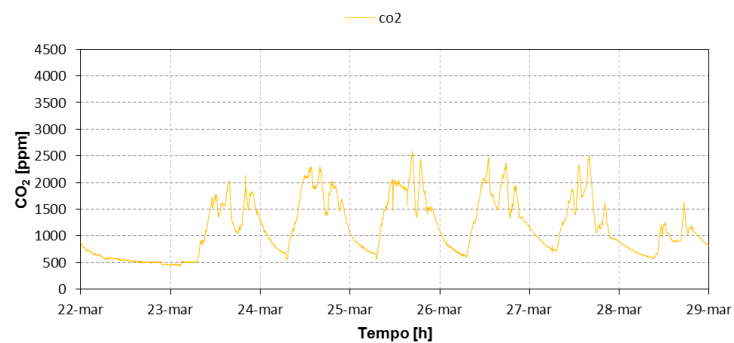


Figura AI-133: Variação do CO₂-caso de estudo 3

10ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

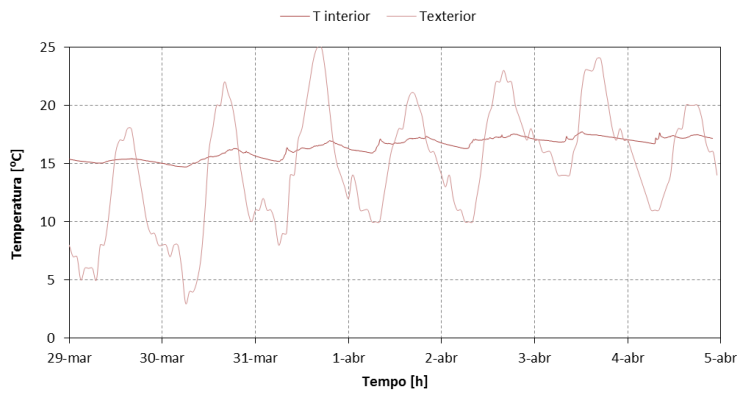


Figura AI-134: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

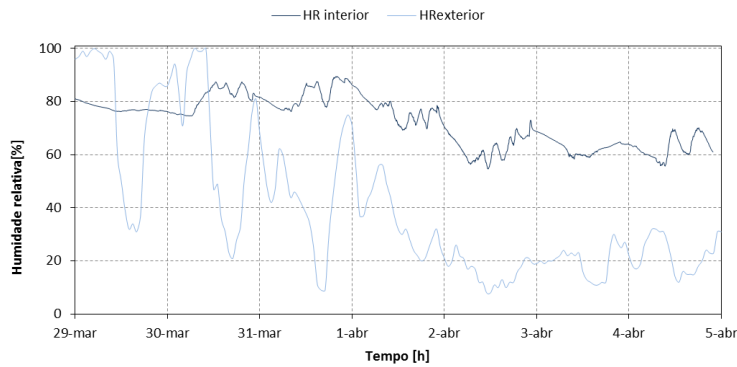


Figura AI-135: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

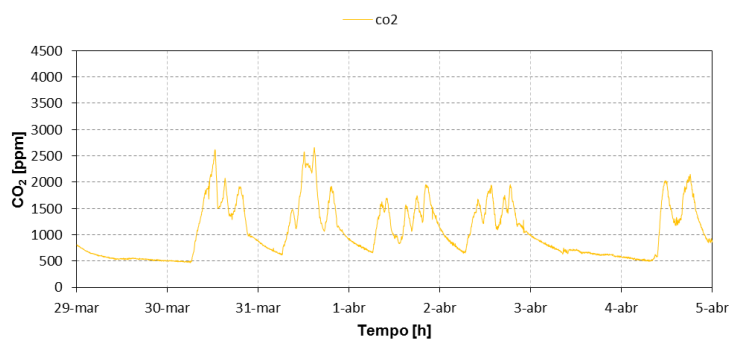


Figura AI-136: Variação do CO₂-caso de estudo 3

11ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

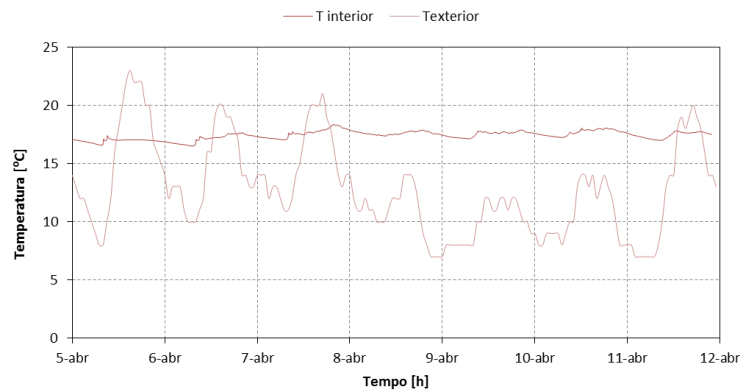


Figura AI-137: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 2

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

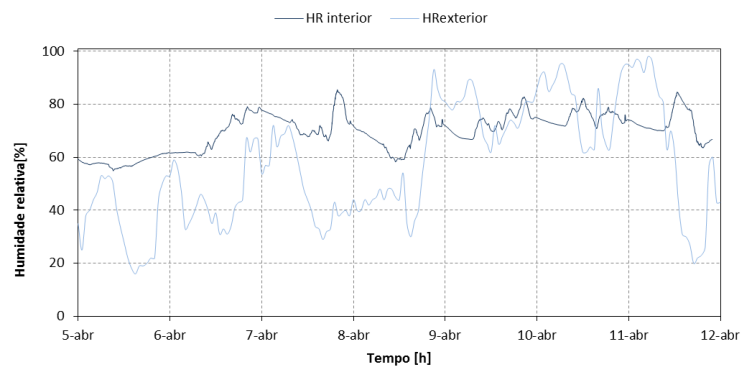


Figura AI-138: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

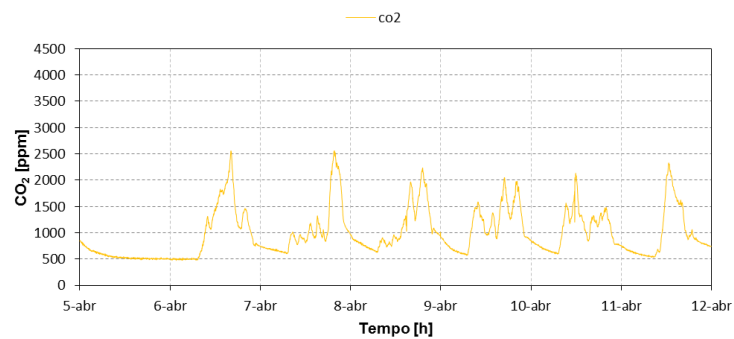


Figura AI-139: Variação do CO₂-caso de estudo 3

12ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

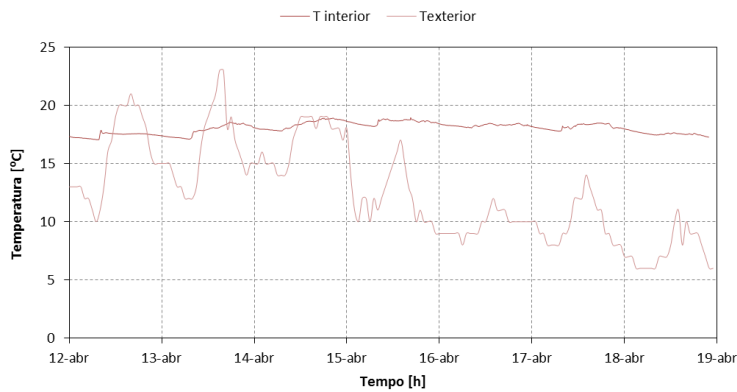


Figura AI-140: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

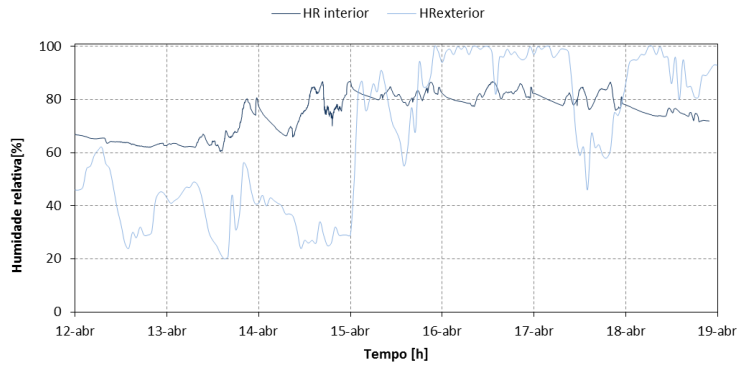


Figura AI-141: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

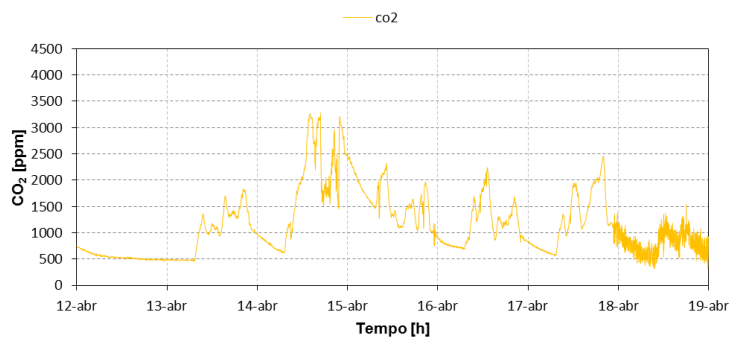


Figura AI-142: Variação do CO₂-caso de estudo 3

13ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

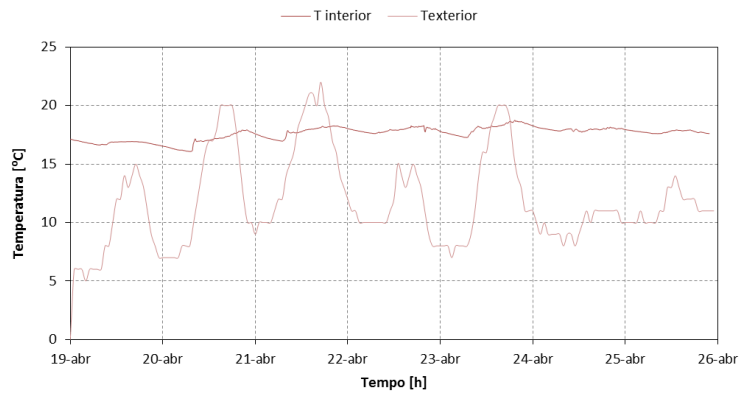


Figura AI-143: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

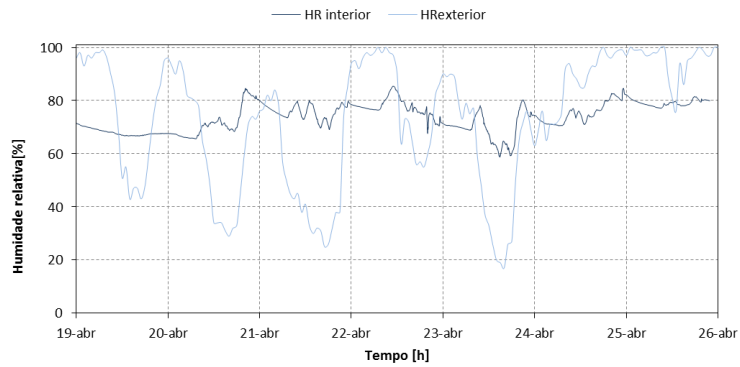


Figura AI-144: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

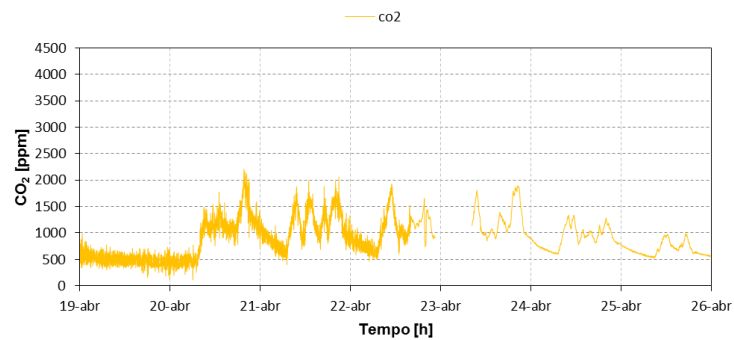


Figura AI-145: Variação do CO₂-caso de estudo 3

14ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

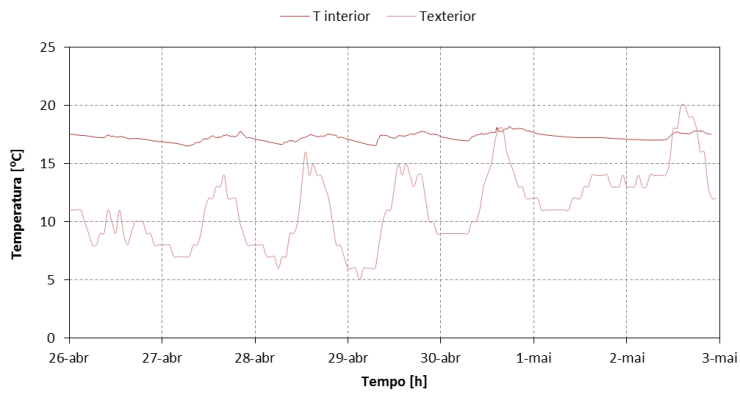


Figura AI-146: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

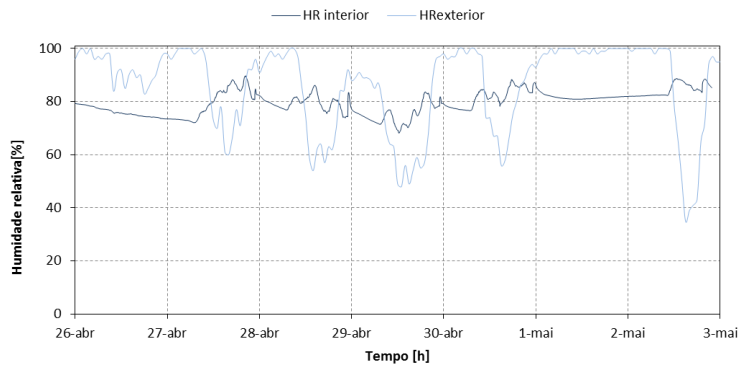


Figura AI-147: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

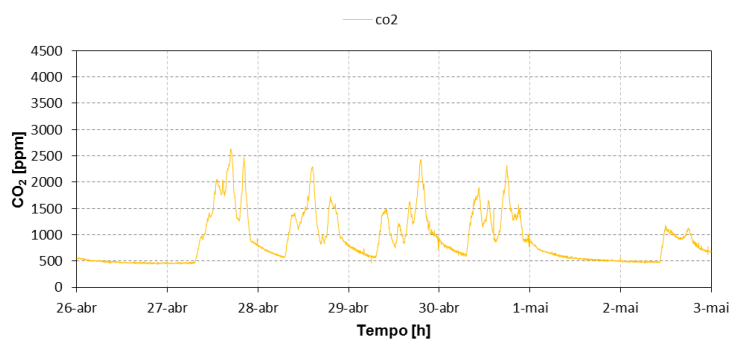


Figura AI-148: Variação do CO₂-caso de estudo 3

15ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

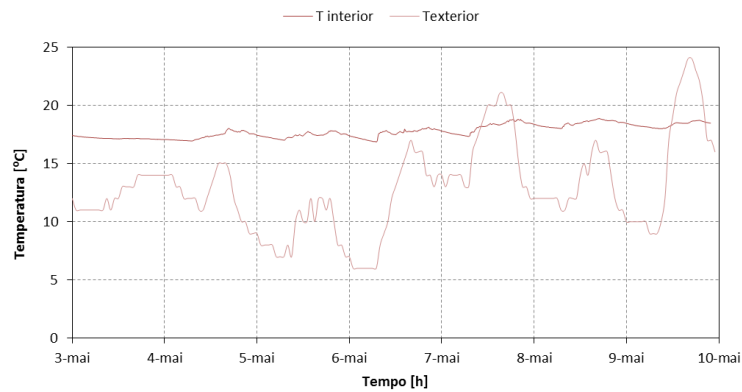


Figura AI-149: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

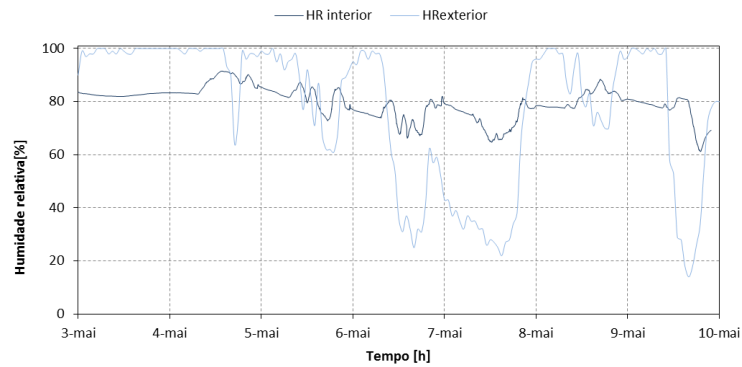


Figura AI-150: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

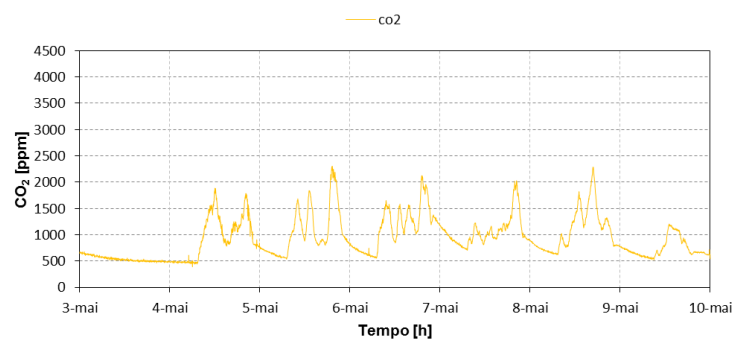


Figura AI-151: Variação do CO₂-caso de estudo 3

16ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

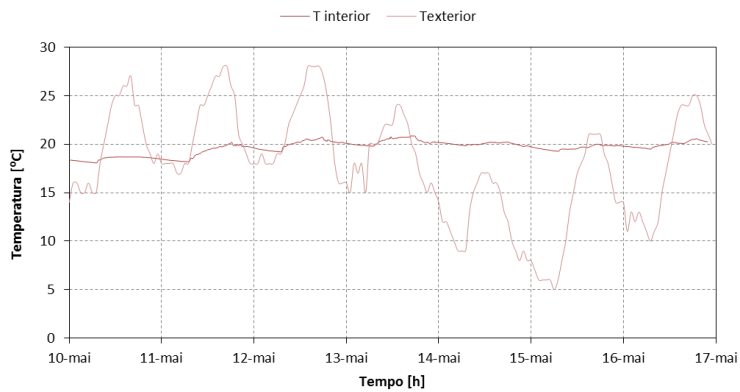


Figura AI-152: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

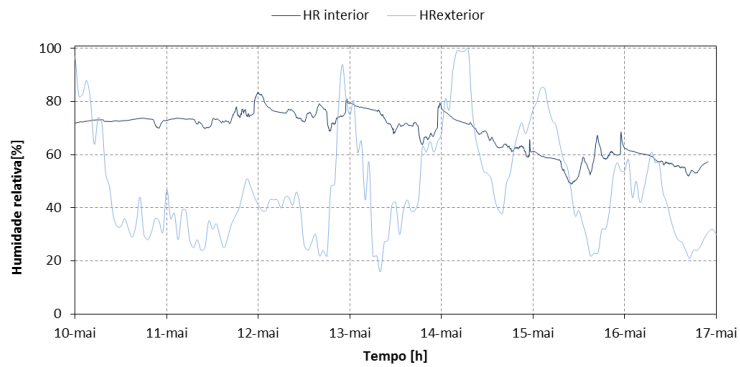


Figura AI-153: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

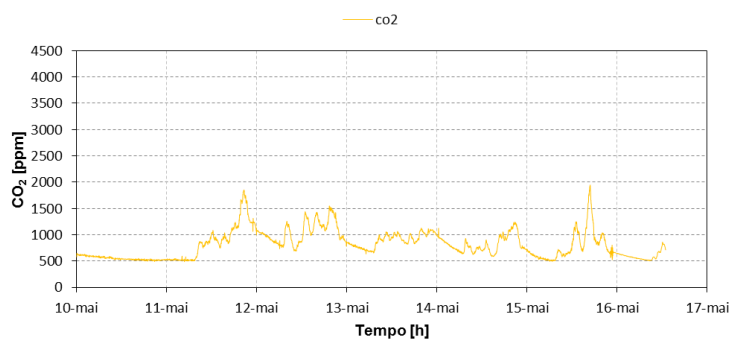


Figura AI-154: Variação do CO₂-caso de estudo 3

17ª semana

- **Temperatura – caso de estudo 3**

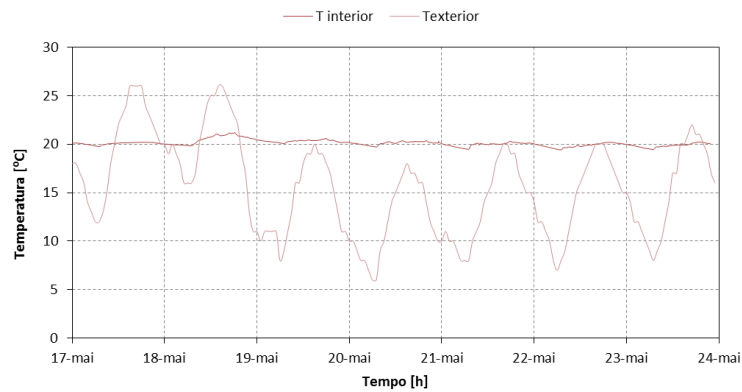


Figura AI-155: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- **Humidade relativa – caso de estudo 3**

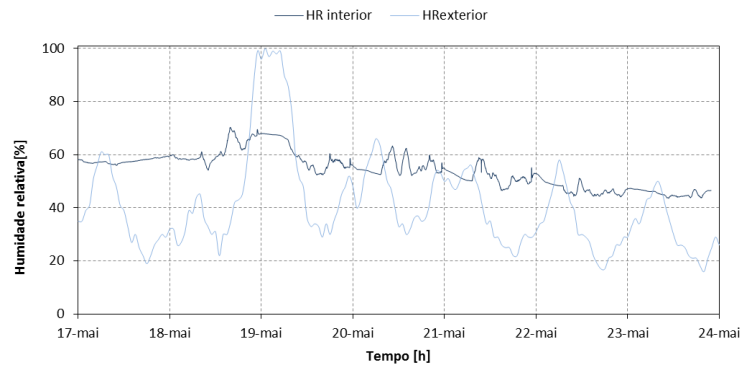


Figura AI-156: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- **Dióxido de carbono – caso de estudo 3**

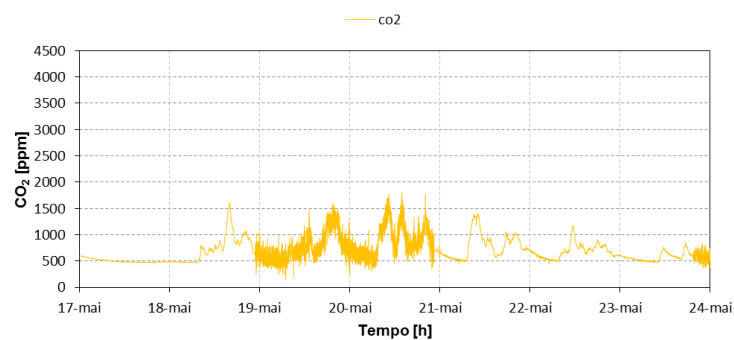


Figura AI-157: Variação do CO₂-caso de estudo 3

18ª semana

- ***Temperatura – caso de estudo 3***

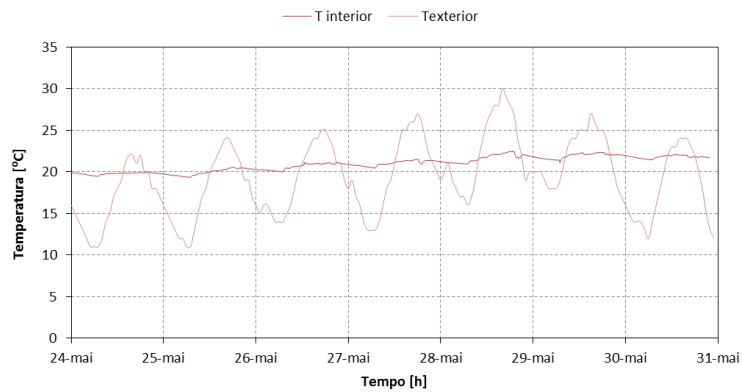


Figura AI-158: Variação da temperatura interior e exterior-caso de estudo 3

- ***Humidade relativa – caso de estudo 3***

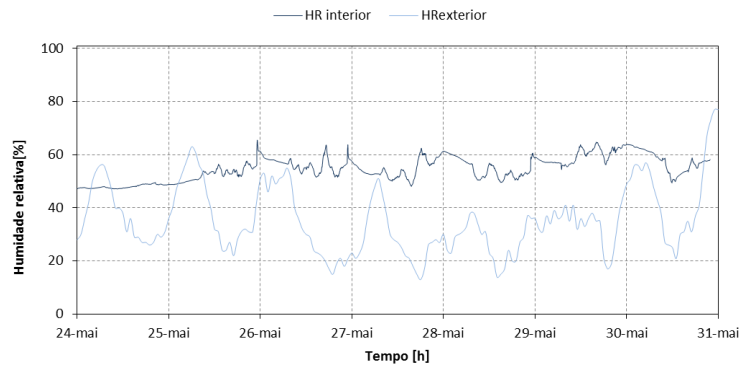


Figura AI-159: Variação da humidade relativa interior e exterior-caso de estudo 3

- ***Dióxido de carbono – caso de estudo 3***

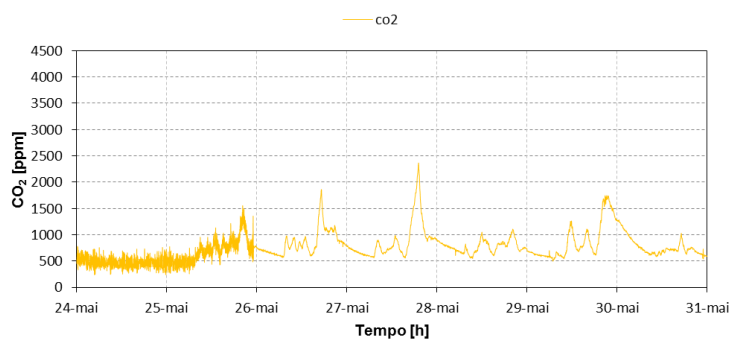


Figura AI-160: Variação do CO₂-caso de estudo 3

Anexo II- Estudo do risco de condensação-caso estudo 1

- *Análise gráfica do risco de condensação*

1ª semana

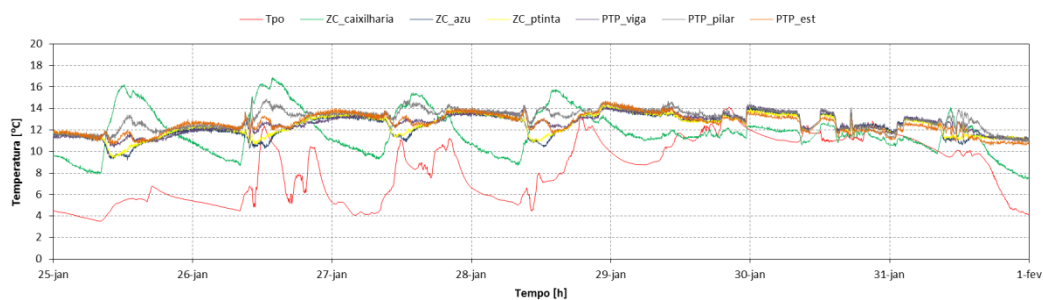


Figura AII-1: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

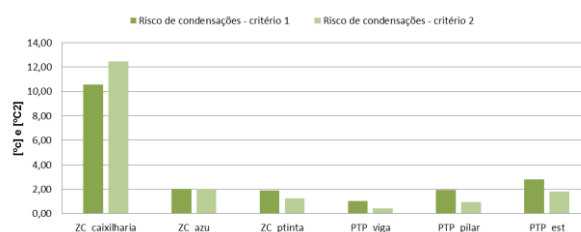


Figura AII-2: Critérios do risco de condensação

2ª semana

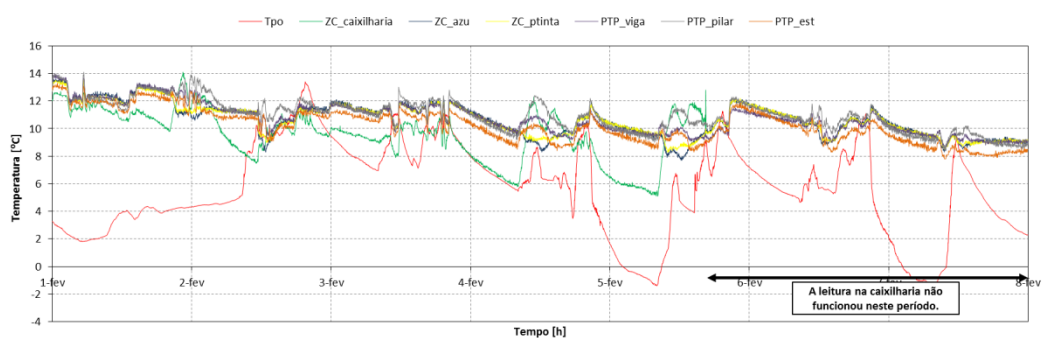


Figura AII-3: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

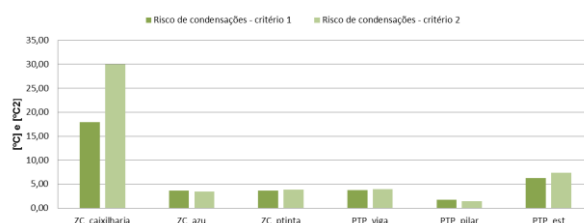


Figura AII-4: Critérios do risco de condensação

3ª semana

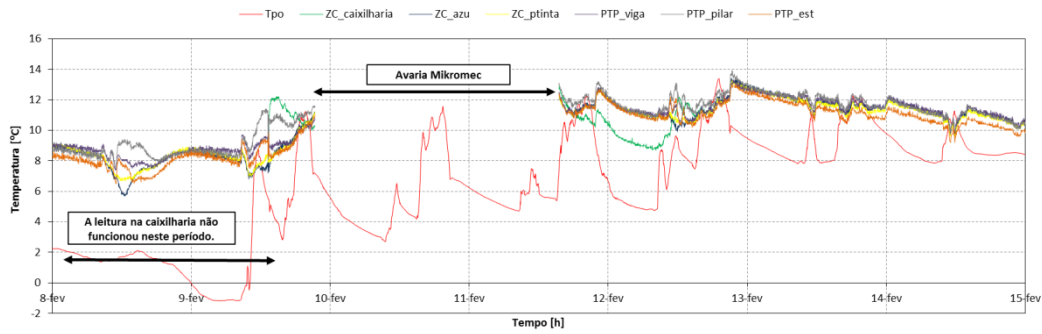


Figura AII-5: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

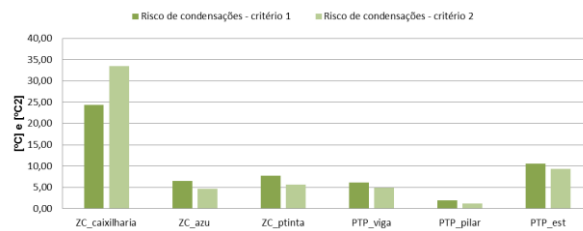


Figura AII-6: Critérios do risco de condensação

4ª semana

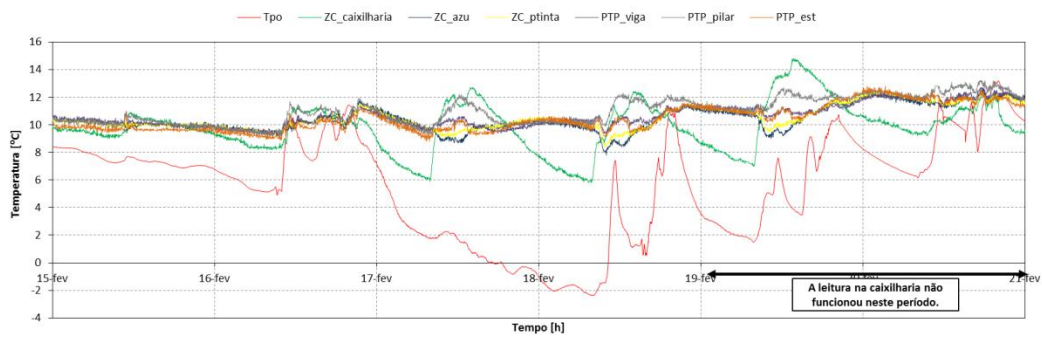


Figura AII-7: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

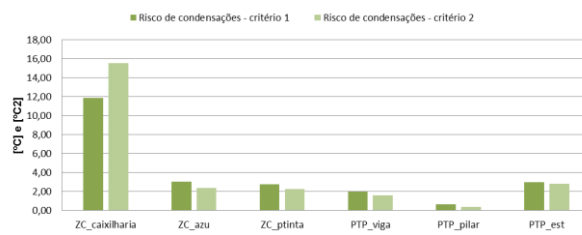


Figura AII-8: Critérios do risco de condensação

5ª semana

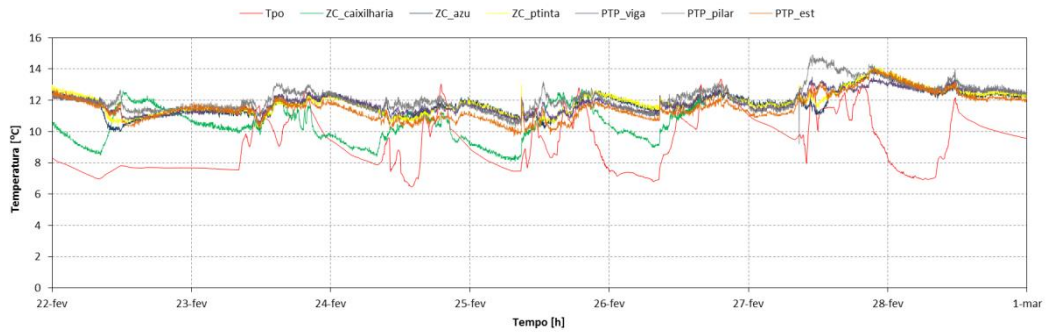


Figura AII-9: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

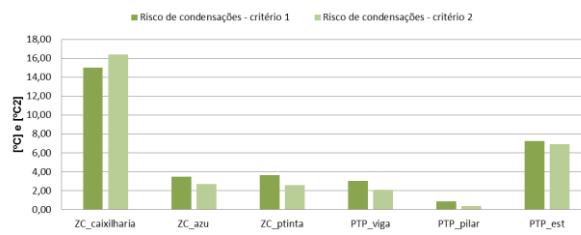


Figura AII-10: Critérios do risco de condensação

6ª semana

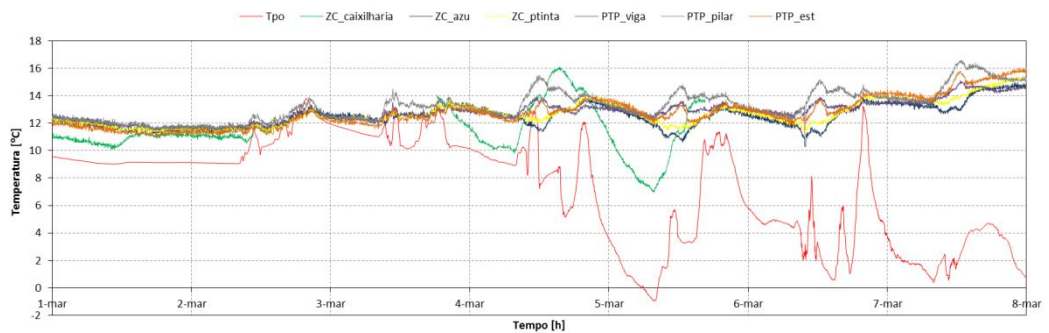


Figura AII-11: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

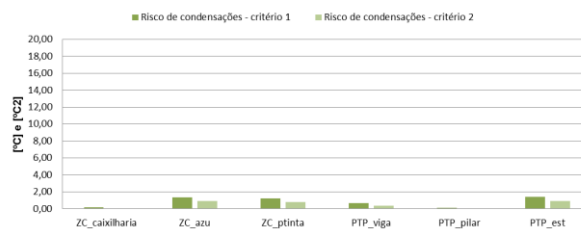


Figura AII-12: Critérios do risco de condensação

7ª semana

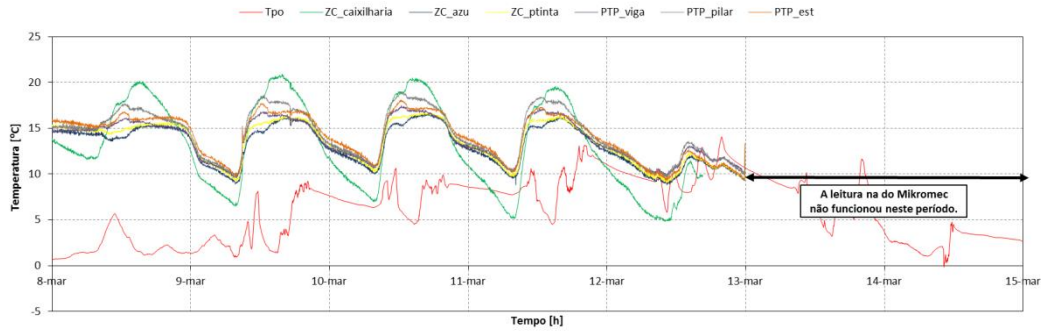


Figura AII-13: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

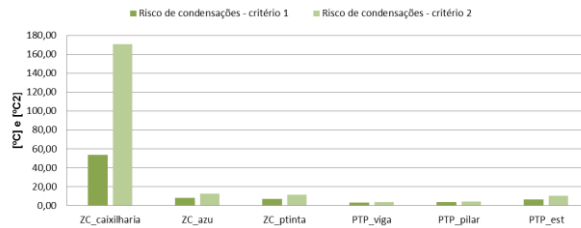


Figura AII-14: Critérios do risco de condensação

9ª semana

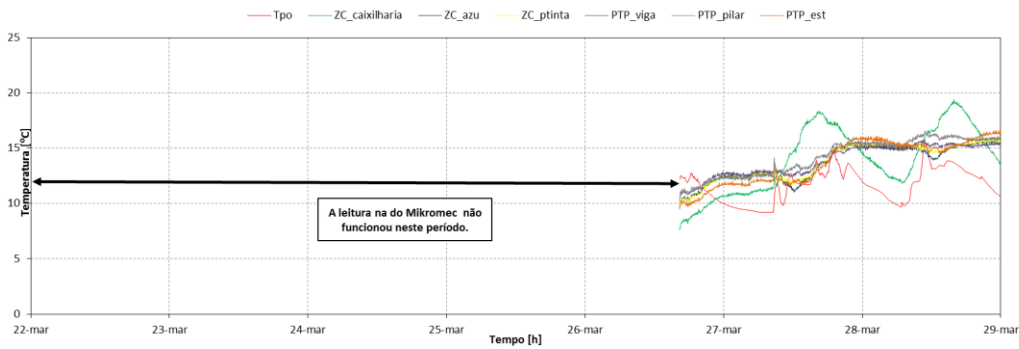


Figura AII-15: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

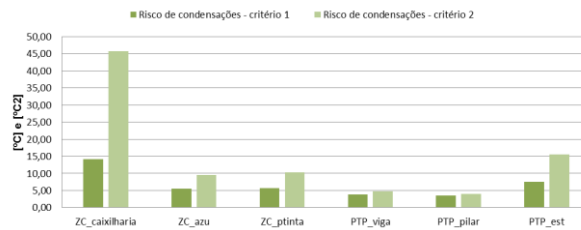


Figura AII-16: Critérios do risco de condensação

10ª semana

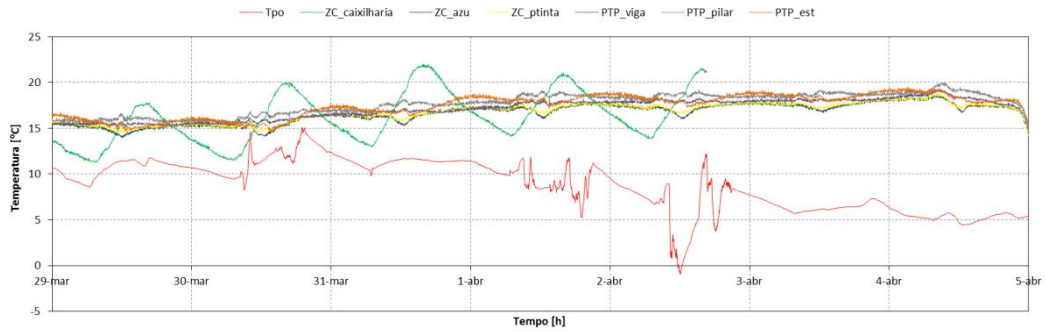


Figura AII-17: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho



Figura AII-18: Critérios do risco de condensação

11ª semana

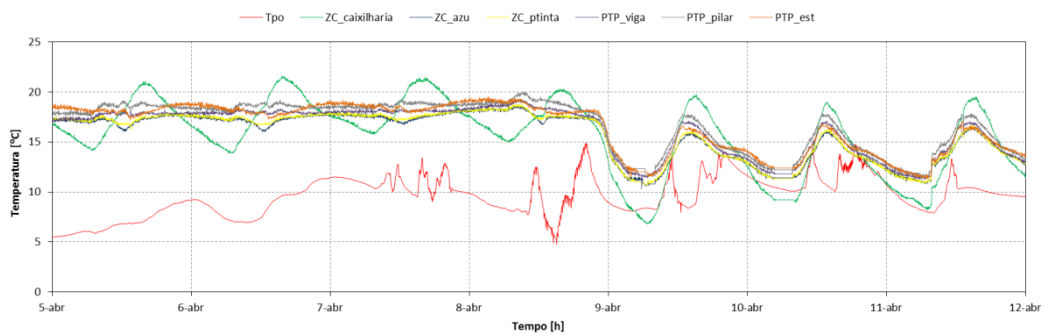


Figura AII-19: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

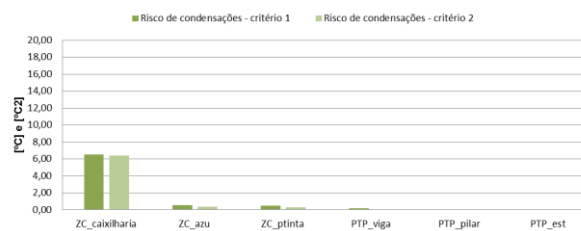


Figura AII-20: Critérios do risco de condensação

12ª semana

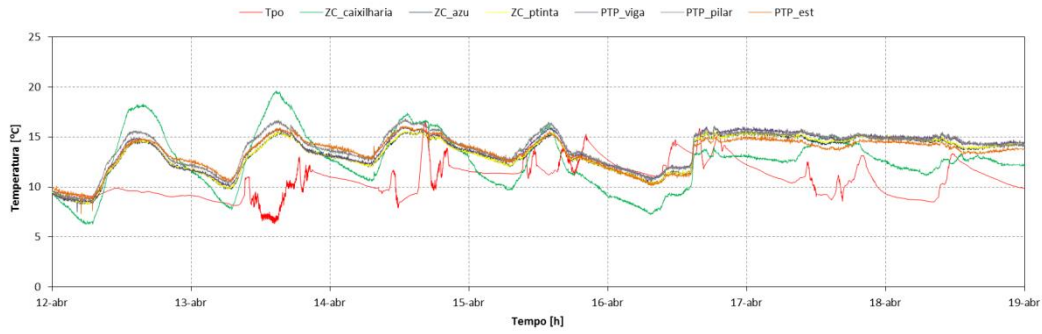


Figura AII-21: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

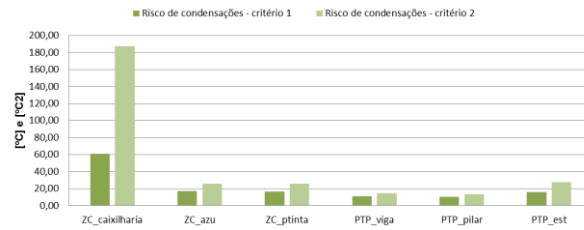


Figura AII-22: Critérios do risco de condensação

13ª semana

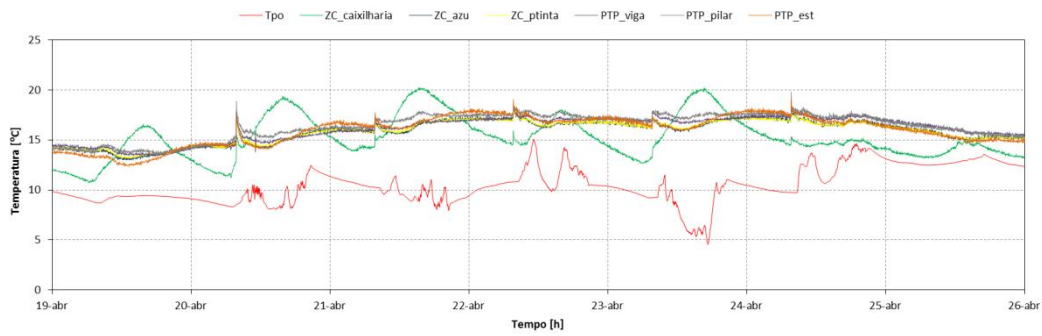


Figura AII-23: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

14ª semana

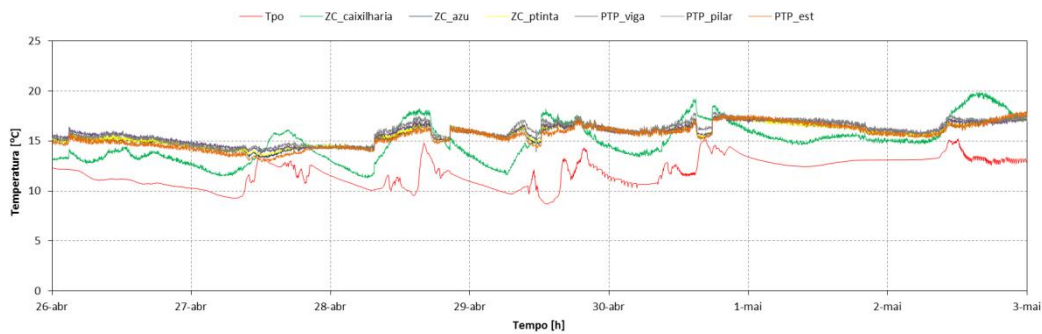


Figura AII-24: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

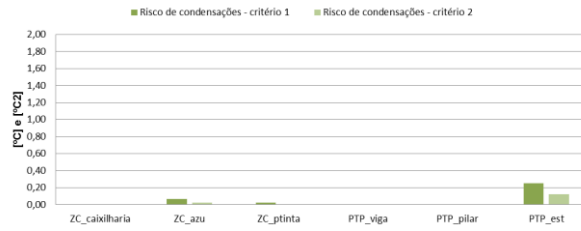


Figura AII-25: Critérios do risco de condensação

15ª semana

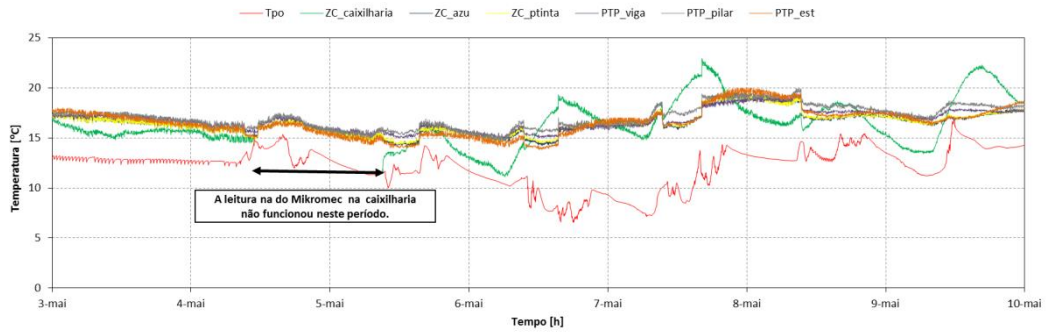


Figura AII-26: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho



Figura AII-27: Critérios do risco de condensação

16ª semana

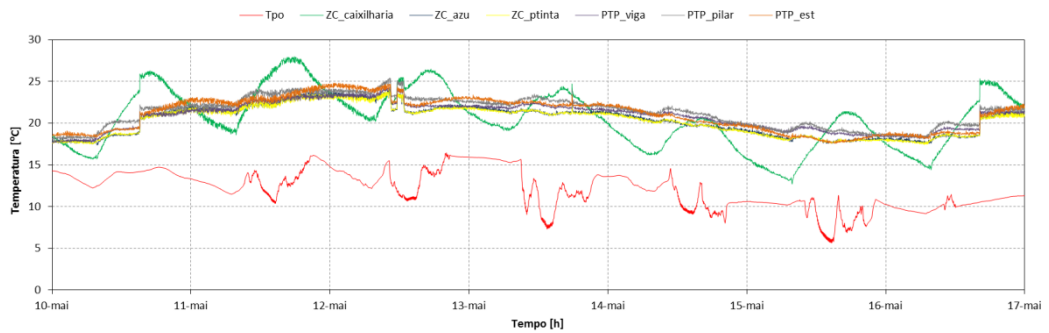


Figura AII-28: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

17ª semana

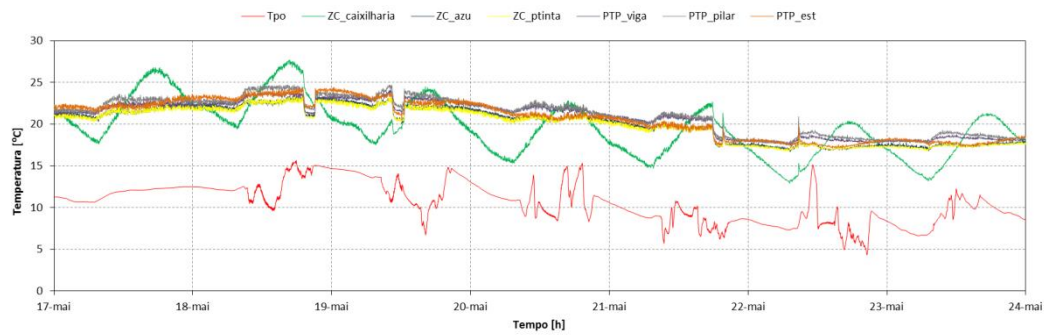


Figura AII-29: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho

18ª semana

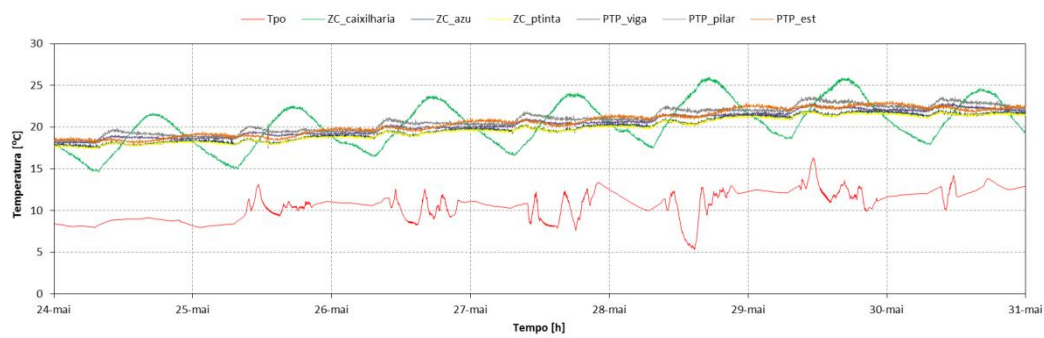


Figura AII-30: Temperatura superficial e temperatura de ponto de orvalho