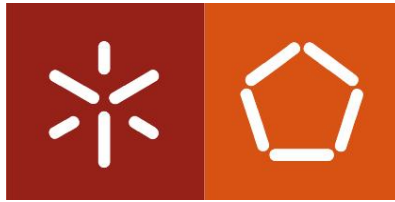


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diogo Fernandes Ferreira Amorim

**Otimização das condições de ventilação
natural em edifícios de serviço para
assegurar a qualidade do ar interior sem
consumos excessivos de energia**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diogo Fernandes Ferreira Amorim

**Otimização das condições de ventilação
natural em edifícios de serviço para
assegurar a qualidade do ar interior sem
consumos excessivos de energia**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva

Setembro de 2012

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Sandra Maria Gomes Monteiro da Silva, minha orientadora, por todo o apoio, conhecimento, ajuda e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu colega e amigo Luís Ferreira pela colaboração e ajuda em algumas fases deste trabalho.

À minha prima Filipa Ferreira pela ajuda na execução e compreensão de textos em Língua Inglesa.

À minha namorada Joana Amorim por todo o carinho, incentivo, apoio e conselhos prestados que me deram forças para enfrentar todas as adversidades que surgiram ao longo destes anos.

E a toda a minha família que me acompanhou e apoiou, em especial à minha mãe e à minha irmã que são a minha fonte de inspiração.

Os meus sinceros agradecimentos.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Resumo

A saúde e o bem-estar em locais de trabalho são dois pré-requisitos fundamentais para a existência de um bom desempenho dos seus ocupantes. Assim, a permanência prolongada de trabalhadores no interior de locais de trabalho fechados pode prejudicar a sua saúde e reduzir a produtividade da empresa e conseqüentemente acarretar prejuízos financeiros. É neste contexto que a ventilação natural desempenha um papel importante no controle dos níveis de poluição no interior de edifícios. Todavia as condições de conforto térmico também devem ser tidas em conta, uma vez que o calor ou frio excessivo contribuem para a redução de produtividade e para o aumento de queixas dos utilizadores, e para maiores consumos energéticos de climatização.

Para compreender como estes três parâmetros se correlacionavam foram realizadas medições *in situ* da qualidade do ar interior e foram administrados inquéritos aos ocupantes de dois edifícios de serviço. Estas medições contribuíram para a identificação das principais fontes de poluição, das condições de conforto térmico e da percepção dos ocupantes relativamente ao ambiente interior de edifícios desse tipo. Os resultados das medições da qualidade do ar e a análise do desempenho dos edifícios mostraram que as condições da qualidade do ar interior e do conforto térmico não eram adequadas, particularmente durante o período de ocupação, e que essas poderiam ser melhoradas com o auxílio de estratégias de ventilação natural, sem que ocorressem consumos excessivos de energia.

Tendo em conta as condições climáticas do caso de estudo verificou-se que a utilização de ventilação cruzada noturna constitui uma estratégia eficaz para garantir a renovação de ar necessária à qualidade do ar interior, mas também para a melhoria do conforto térmico e para a redução dos consumos energéticos, em particular na estação de arrefecimento. Para a estação de aquecimento, esta estratégia conduz a custos acrescidos com climatização dos espaços, comparativamente à situação de um ambiente interior fechado. Contudo, ao longo do ano os custos totais de climatização para aquecimento e arrefecimento, proporcionados por esta estratégia são muito baixos.

Palavras-chave: Ventilação Natural; Qualidade do Ar Interior; Conforto Térmico; Eficiência Energética; Edifícios de Serviço.

Natural ventilation optimization in office buildings

Abstract

The health and wellbeing at workplaces are essential to ensure a good performance of the workers. Therefore, prolonged exposure to a poor indoor air quality of workers inside enclosed workplaces can harm their health, reducing productivity and increasing absenteeism leading to financial losses to the companies. Natural ventilation plays an important role in the control of pollution levels inside buildings and is often considered to be the most energy efficient and healthy solution.

However the thermal comfort conditions must also be taken into account, since thermal discomfort can also contribute to the reduction of productivity and can increase complaints of the occupants as well to higher energy consumption.

To understand how these parameters are correlated, the indoor air quality and the thermal conditions were assessment in two office buildings. Additionally a survey of the occupants' perception of the thermal conditions and indoor air quality was also performed.

These measurements allowed identifying the main sources of pollution, to assess the thermal comfort conditions and to be acquainted with the perception of the occupants related to the indoor conditions of buildings.

The survey showed that the indoor air quality and thermal comfort conditions were not adequate. Carefully designed, natural processes can provide ventilation to improve indoor air quality and thermal comfort condition at low running costs. Thus, several natural ventilation strategies were analyzed to ensure the indoor air quality, thermal comfort conditions and energy efficiency of a case study.

Taking into account the climatic conditions, it was verified that the use of night cross ventilation is an effective way to ensure the indoor air quality, to improve the thermal comfort conditions and to reduce energy consumption in particular for cooling. In the heating season, this strategy leads to increased energy costs, compared to a closed indoor environment situation (air renovation is due to infiltration). However, the annual costs for heating and cooling associated to the implementation of this strategy are low.

Keywords: Natural Ventilation; Indoor Air Quality; Thermal Comfort; Energy Efficiency; Office Buildings.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura do trabalho realizado	3
2	Estado da arte.....	5
2.1	Conforto Térmico	5
2.1.1	Humidade	9
2.1.2	Qualidade do ar interior.....	10
2.2	Processo de ventilação natural	19
2.2.1	Ventilação Natural pela Ação Térmica	21
2.2.2	Ventilação Natural por Ação do Vento	26
2.2.3	Ventilação Natural por Combinação de Efeitos	29
2.3	Fatores que condicionam o processo de Ventilação Natural	29
2.3.1	Clima Urbano	30
2.3.2	Influência das aberturas no processo de ventilação natural.....	31
3	Metodologia.....	35
3.1	Medição <i>in situ</i> da qualidade do ar interior	35
3.2	Descrição dos edifícios avaliados	37
3.3	Simulação Numérica.....	41
3.3.1	Programa de simulação EnergyPlus	44
3.3.2	Dados de entrada necessários à simulação do problema em estudo.....	46
4	Avaliação da qualidade do ar interior.....	63
4.1	Resultados da avaliação da qualidade do ar interior.....	63
4.2	Estratégias de Mitigação	70
5	Simulação Numérica.....	73

5.1	Caso Base	76
5.1.1	Taxas de renovação de ar	76
5.1.2	Impacte nas condições do conforto térmico.....	80
5.2	Estratégias de ventilação natural	83
5.2.1	Análise das taxas de renovação de ar.....	84
5.2.2	Impacte nas condições de conforto térmico.....	96
5.3	Análise dos consumos energéticos	113
6	Conclusão.....	123
	Referências Bibliográficas	129
	ANEXOS	135
A I.	Inquérito	137
A II.	Equipamentos utilizados nas medições da qualidade do ar interior.....	139
A III.	Ficheiros TNO Cp Generator	147
A IV.	Resultados das medições <i>in situ</i> da QAI.....	149

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Obtenção do índice PPD através do índice PMV	7
Figura 2.2 – Influência da humidade relativa na saúde dos ocupantes e do edifício	9
Figura 2.3 – Percentagem de desempenho em função da percentagem de ocupantes insatisfeitos com a qualidade do ar	14
Figura 2.4 – Execução de um trabalho da escola como uma função da taxa de fluxo de ar exterior	15
Figura 2.5 – Percentagem de pessoas descontentes em função da concentração de CO ₂	16
Figura 2.6 – Percentagem de pessoas descontentes em função da taxa de ventilação por pessoa padrão CO ₂	17
Figura 2.7 – Movimentação de ar através de duas aberturas verticais	21
Figura 2.8 – Distribuição de pressões por ação do vento	26
Figura 2.9 – Ventilação por ação do Vento	27
Figura 2.10 – Representação de uma má combinação entre efeito chaminé e por ação dos ventos	29
Figura 2.11 – Velocidade interna média em função da relação entre o tamanho das aberturas de entrada e saída e direção do vento para 45° e 90°	31
Figura 2.12 – Distribuição do fluxo de ar relacionado com a localização das aberturas para uma do vento de 45° e 90°	32
Figura 2.13 – Efeito das projeções horizontais e verticais na movimentação do fluxo do ar	33
Figura 2.14 – Movimentação do fluxo de ar de acordo com a tipologia das aberturas	34
Figura 3.1 – Localização do Edifício A	37
Figura 3.2 – Localização dos compartimentos do Edifício A onde a QAI foi avaliada	38
Figura 3.3 – Localização do Edifício B	39
Figura 3.4 – Localização dos compartimentos do Edifício B onde a QAI foi avaliada	40
Figura 3.5 – Determinação do número graus-hora de desconforto de arrefecimento e aquecimento.....	42

Figura 3.6 – Estrutura modular do EnergyPlus	45
Figura 3.7 – Exemplos zonas convexas e zonas não convexas.....	47
Figura 3.8 – Modelação 3D do edifício em estudo no programa Sketchup.....	52
Figura 3.9 – Zonas térmicas consideradas para o Edifício A.....	52
Figura 3.10 – Padrão de referência de ocupação para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmaras municipais	54
Figura 3.11 – Padrão de referência de utilização de equipamentos para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmara	55
Figura 3.12 – Padrão de referência de utilização sistema de iluminação para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmara municipais	56
Figura 3.13 – Função do Modelador de Temperatura	57
Figura 3.14 – Fatores de abertura	58
Figura 3.15 – Edifícios obstáculo considerados para o cálculo dos Coeficientes de Pressão..	61
Figura 4.1 – Concentração de CO no Comp.A _{0-SE}	64
Figura 4.2 – Concentração de CO no Comp.E _{0-W}	64
Figura 4.3 – Concentração de CO ₂ no Comp.E _{0-W}	64
Figura 4.4 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.E _{0-W}	65
Figura 4.5 – Concentração de CO no Comp.j _{2-SW}	67
Figura 4.6 – Concentração de CO no Comp.f _{1-NE}	67
Figura 4.7 – Concentração de CO ₂ no Comp.i _{2-NE}	68
Figura 4.8 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.a _{0-SW}	68
Figura 5.1 – Temperatura horária para a cidade do Porto ao longo de um ano	73
Figura 5.2 – Frequência do vento em cada direção para a cidade do Porto (%) (à esquerda) e velocidade predominante do vento para a cidade do Porto (m/s) (à direita).....	75
Figura 5.3 – Taxa de renovação de ar no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 6 Julho	77
Figura 5.4 – Taxa de renovação de ar no 1º piso para ao Caso Base, no dia 6 de Julho	77

Figura 5.5 – Taxa de renovação de ar no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 25 de Janeiro	78
Figura 5.6 – Taxa de renovação de ar no 1º piso para ao Caso Base, no dia 25 de Janeiro	78
Figura 5.7 – Taxas de renovação de ar médias de ar param o Caso Base nas estações de aquecimento e arrefecimento.....	79
Figura 5.8 – Temperatura interior no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 6 de Julho.....	80
Figura 5.9 – Temperatura interior no 1º piso para o Caso Base, no dia 6 de Julho.....	80
Figura 5.10 – Temperatura interior no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 26 de Janeiro...	82
Figura 5.11 – Temperatura interior no 1º piso para o Caso Base, no dia 26 de Janeiro.....	82
Figura 5.12 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.M(1-SE) para as diferentes estratégias de ventilação no dia 6 de Julho	84
Figura 5.13 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro	86
Figura 5.14 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.K(1-W)quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho.....	86
Figura 5.15 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.K(1-W)quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro	87
Figura 5.16 – Renovações de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho	88
Figura 5.17 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro	89
Figura 5.18 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho.....	90
Figura 5.19 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro	91
Figura 5.20 – Taxas de renovação de ar médias referentes às diferentes estratégias de ventilação para estação de arrefecimento	92
Figura 5.21 – Taxas de renovação de ar médias referentes às diferentes estratégias de ventilação para estação de aquecimento.....	93

Figura 5.22 – Temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho	96
Figura 5.23 – Temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro	97
Figura 5.24 – Temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho	98
Figura 5.25 – Temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro	99
Figura 5.26 – Temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho	99
Figura 5.27 – Temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro	100
Figura 5.28 – Temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho	101
Figura 5.29 – Temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro	102
Figura 5.30 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação natural, durante a estação de arrefecimento	103
Figura 5.31 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as estratégias de ventilação natural, durante a estação de aquecimento	105
Figura 5.32 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, durante a estação de arrefecimento	108
Figura 5.33 – Número de graus-hora de desconforto para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”, durante a estação de aquecimento	111
Figura 5.34 – Custos de arrefecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural .	113
Figura 5.35 – Custos de arrefecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”	115
Figura 5.36 – Custos de aquecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural ...	116

Figura 5.37 – Custos de aquecimento para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”	118
Figura 5.38 – Custos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural	119
Figura 5.39 – Custos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”	120
Figura II.1 – Photovac modelo 2020ppbPRO	139
Figura II.2 – Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 ..	140
Figura II.3 – Sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.....	142
Figura II.4 – Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531	143
Figura II.5 – Mostrador do sensor de CO e de CO2 da Testo modelo 435	144
Figura III.1 – Ficheiro de entrada do TNO Cp Generator.	147
Figura III.2 – Ficheiro de saída do TNO Cp Generator.....	148
Figura IV.1 – Concentração de CO ₂ no Comp.E _{0-w}	149
Figura IV.2 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.E _{0-w}	149
Figura IV.3 – Concentração de CO no Comp.E _{0-w}	150
Figura IV.4 – Concentração de O ₃ no Comp.E _{0-w}	150
Figura IV.5 – Concentração de HCHO no Comp.E _{0-w}	150
Figura IV.6 – Concentração de CO ₂ no Comp.C ₀	151
Figura IV.7 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.C ₀	151
Figura IV.8 – Concentração de CO no Comp.C ₀	151
Figura IV.9 – Concentração de O ₃ no Comp.C ₀	152
Figura IV.10 – Concentração de HCHO no Comp.C ₀	152
Figura IV.11 – Concentração de CO ₂ na Comp.A _{0-SE}	152
Figura IV.12 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.A _{0-SE}	153
Figura IV.13 – Concentração de CO na Comp.A _{0-SE}	153

Figura IV.14 – Concentração de O ₃ na Comp.A _{0-SE}	153
Figura IV.15 – Concentração de HCHO na Comp.A _{0-SE}	154
Figura IV.16 – Concentração de CO ₂ na zona COMP.G _{1-SE}	154
Figura IV.17 – Concentração de PM ₁₀ na zona COMP.G _{1-SE}	154
Figura IV.18 – Concentração de CO na zona COMP.G _{1-SE}	155
Figura IV.19 – Concentração de O ₃ na zona COMP.G _{1-SE}	155
Figura IV.20 – Concentração de HCHO na zona COMP.G _{1-SE}	155
Figura IV.21 – Concentração de CO ₂ na Comp.B _{0-NE}	156
Figura IV.22 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.B _{0-NE}	156
Figura IV.23 – Concentração de CO na Comp.B _{0-NE}	156
Figura IV.24 – Concentração de O ₃ na Comp.B _{0-NE}	157
Figura IV.25 – Concentração de HCHO na Comp.B _{0-NE}	157
Figura IV.26 – Concentração de CO ₂ no Comp.D ₀	157
Figura IV.27 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.D ₀	158
Figura IV.28 – Concentração de CO no Comp.D ₀	158
Figura IV.29 – Concentração de O ₃ no Comp.D ₀	158
Figura IV.30 – Concentração de HCHO no Comp.D ₀	159
Figura IV.31 – Concentração de CO ₂ no Comp.F _{1-NESE}	159
Figura IV.32 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.F _{1-NESE}	159
Figura IV.33 – Concentração de CO no Comp.F _{1-NESE}	160
Figura IV.34 – Concentração de O ₃ no Comp.F _{1-NESE}	160
Figura IV.35 – Concentração de HCHO no Comp.F _{1-NESE}	160
Figura IV.36 – Concentração de CO ₂ no Comp.H _{1-W}	161
Figura IV.37 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.H _{1-W}	161
Figura IV.38 – Concentração de CO no Comp.H _{1-W}	161
Figura IV.39 – Concentração de O ₃ no Comp.H _{1-W}	162

Figura IV.40 – Concentração de HCHO no Comp.H _{1-w}	162
Figura IV.41 – Concentração de CO ₂ no Comp.e _{1-sw}	162
Figura IV.42 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.e _{1-sw}	163
Figura IV.43 – Concentração de CO no Comp.e _{1-sw}	163
Figura IV.44 – Concentração de O ₃ no Comp.e _{1-sw}	163
Figura IV.45 – Concentração de HCHO no Comp.e _{1-sw}	164
Figura IV.46 – Concentração de CO ₂ no Comp.c _{0-NE}	164
Figura IV.47 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.c _{0-NE}	164
Figura IV.48 – Concentração de CO no Comp.c _{0-NE}	165
Figura IV.49 – Concentração de O ₃ no Comp.c _{0-NE}	165
Figura IV.50 – Concentração de HCHO no Comp.c _{0-NE}	165
Figura IV.51 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.b _{0-NE}	166
Figura IV.52 – Concentração de CO no Comp.b _{0-NE}	166
Figura IV.53 – Concentração de O ₃ no Comp.b _{0-NE}	166
Figura IV.54 – Concentração de HCHO no Comp.b _{0-NE}	167
Figura IV.55 – Concentração de CO ₂ no Comp.b _{0-NE}	167
Figura IV.56 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.d _{1-NW}	167
Figura IV.57 – Concentração de CO ₂ na Comp.d _{1-NW}	168
Figura IV.58 – Concentração de O ₃ na Comp.d _{1-NW}	168
Figura IV.59 – Concentração de HCHO na Comp.d _{1-NW}	168
Figura IV.60 – Concentração de CO na Comp.d _{1-NW}	169
Figura IV.61 – Concentração de CO ₂ na Comp.j _{2-sw}	169
Figura IV.62 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.j _{2-sw}	169
Figura IV.63 – Concentração de CO na Comp.j _{2-sw}	170
Figura IV.64 – Concentração de HCHO na Comp.j _{2-sw}	170
Figura IV.65 – Concentração de O ₃ na Comp.j _{2-sw}	170

Figura IV.66 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.i ₂ -NE	171
Figura IV.67 – Concentração de CO ₂ na Comp.i ₂ -NE	171
Figura IV.68 – Concentração de O ₃ na Comp.i ₂ -NE	171
Figura IV.69 – Concentração de HCHO na Comp.i ₂ -NE	172
Figura IV.70 – Concentração de CO na Comp.i ₂ -NE	172
Figura IV.71 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.h ₂ -SW	172
Figura IV.72 – Concentração de CO ₂ na Comp.h ₂ -SW	173
Figura IV.73 – Concentração de O ₃ na Comp.h ₂ -SW	173
Figura IV.74 – Concentração de HCHO na Comp.h ₂ -SW	173
Figura IV.75 – Concentração de CO na Comp.h ₂ -SW	174
Figura IV.76 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.a ₀ -SW	174
Figura IV.77 – Concentração de CO ₂ na Comp.a ₀ -SW	174
Figura IV.78 – Concentração de CO na Comp.a ₀ -SW	175
Figura IV.79 – Concentração de HCHO na Comp.a ₀ -SW	175
Figura IV.80 – Concentração de O ₃ na Comp.a ₀ -SW	175
Figura IV.81 – Concentração de PM ₁₀ na Comp.l ₃ -NE	176
Figura IV.82 – Concentração de CO ₂ na Comp.l ₃ -NE	176
Figura IV.83 – Concentração de O ₃ na Comp.l ₃ -NE	176
Figura IV.84 – Concentração de HCHO na Comp.l ₃ -NE	177
Figura IV.85 – Concentração de CO na Comp.l ₃ -NE	177
Figura IV.86 – Concentração de O ₃ no Comp.k ₃ -SW	177
Figura IV.87 – Concentração de HCHO no Comp.k ₃ -SW	178
Figura IV.88 – Concentração de CO no Comp.k ₃ -SW	178
Figura IV.89 – Concentração de PM ₁₀ no Comp.k ₃ -SW	178
Figura IV.90 – Concentração de CO ₂ no Comp.k ₃ -SW	179
Figura IV.91 – Concentração de CO ₂ na Comp.g ₂ -NWNE	179

Figura IV.92 – Concentração PM_{10} na Comp.g _{2-NWNE}	179
Figura IV.93 – Concentração CO na Comp.g _{2-NWNE}	180
Figura IV.94 – Concentração HCHO na Comp.g _{2-NWNE}	180
Figura IV.95 – Concentração O_3 na Comp.g _{2-NWNE}	180
Figura IV.96 – Concentração de PM_{10} no Comp.f _{1-NE}	181
Figura IV.97 – Concentração de CO_2 no Comp.f _{1-NE}	181
Figura IV.98 – Concentração de O_3 no Comp.f _{1-NE}	181
Figura IV.99 – Concentração de HCHO no Comp.f _{1-NE}	182
Figura IV.100 – Concentração de CO no Comp.f _{1-NE}	182

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Escala de sensação térmica	6
Tabela 2.2 – Temperatura operativa e velocidade do ar para assegurarem as condições de conforto	8
Tabela 2.3 – Fontes e efeitos na saúde de poluentes que afetam a qualidade do ar	12
Tabela 2.4 – Taxas de ventilação recomendadas para edifícios não residenciais	18
Tabela 2.5 – Concentrações máximas de referência	19
Tabela 2.6 – Caudais mínimos de ar novo	19
Tabela 2.7 – Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas	25
Tabela 2.8 – Coeficientes e expoentes fluxo de ar para portas	26
Tabela 3.1 – Fatores de conversão em frações molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m ³)	37
Tabela 3.2 – Características dos compartimentos avaliados <i>in situ</i> do Edifício A.....	39
Tabela 3.3 – Características dos compartimentos avaliados <i>in situ</i> do Edifício B.....	41
Tabela 3.4 – Características dos sistemas de climatização	43
Tabela 3.5 – Características Físicas e Térmicas de materiais frequentemente utilizados na construção em Portugal	49
Tabela 3.6 – Valores da potência média e tempo de uso para equipamentos de escritório	54
Tabela 3.7 – Valores dos expoentes e coeficientes de fluxo de ar adotados para janelas e portas	59
Tabela 3.8 – Dimensões dos vãos envidraçados.....	59
Tabela 3.9 – Coeficientes de pressão considerados para as aberturas exteriores do edifício...	61
Tabela 4.1 – Concentrações dos poluentes medidos no exterior	63
Tabela 4.2 – Valores da temperatura interior e da humidade relativa medidos nos compartimentos avaliados no Edifício A.....	65
Tabela 4.3 – Concentrações dos poluentes medidos no exterior.....	67

Tabela 4.4 – Valores da temperatura interior e da humidade relativa obtidos para as zonas avaliadas no Edifício B	69
Tabela 5.1 – Temperaturas máximas e mínimas mensais registadas na cidade do Porto	74
Tabela 5.2 – Frequência de ocorrência do vento por direção e períodos do dia, para a estação de aquecimento e arrefecimento, para a cidade do Porto.....	75
Tabela 5.3 – Velocidades do vento com maior frequência de ocorrência, considerando o período do dia e direção do vento	75
Tabela 5.4 – Caudais mínimos de ar novo	94
Tabela 5.5 – Verificação dos caudais mínimos de ar novo em conformidade com o RSECE para a estação de arrefecimento	95
Tabela 5.6 – Verificação dos caudais mínimos de ar novo em conformidade com o RSECE para a estação de aquecimento	95
Tabela 5.7 – Frequência de horas de desconforto das diversas estratégias de ventilação para estação de arrefecimento.....	103
Tabela 5.8 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diversas estratégias de ventilação, na estação de arrefecimento.....	104
Tabela 5.9 – Frequência de horas de desconforto das diversas estratégias de ventilação para estação de aquecimento.....	106
Tabela 5.10 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diversas estratégias de ventilação, na estação de aquecimento	106
Tabela 5.11 – Características do vidro original e do “vidro solar”.....	108
Tabela 5.12 – Frequência de horas de desconforto para as diversas estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de arrefecimento.....	109
Tabela 5.13 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de arrefecimento	109
Tabela 5.14 – Frequência de horas de desconforto para estratégias de ventilação quando utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento	111

Tabela 5.15 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação quando utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento.....	112
Tabela 5.16 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de arrefecimento	113
Tabela 5.17 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar” na estação de arrefecimento	114
Tabela 5.18 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de aquecimento	116
Tabela 5.19 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento.....	117
Tabela 5.20 – Consumos energéticos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural.....	119
Tabela 5.21 – Consumos energéticos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”	120
Tabela II.1 – Especificações dos componentes do sensor Photovac modelo 2020ppbPRO ..	140
Tabela II.2 – Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.....	141
Tabela II.3 – Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.....	141
Tabela II.4 – Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.....	142
Tabela II.5 – Sensibilidade do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200	142
Tabela II.6 – Especificações dos componentes do sensor do de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531	143
Tabela II.7 – Especificações dos componentes do sensor de CO e CO2, Testo 435	145

Lista de Abreviaturas e Siglas

BRI	Doença relativa ao edifício (acrónimo do inglês <i>building related illness</i>)
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CHOH	Formaldeído
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV's	Compostos orgânicos voláteis
CRT	Cathode-Ray-Tube
O ₃	Ozono
PM ₁₀	Partículas respiráveis
PPD	Percentagem de pessoas descontentes
PMV	Voto médio previsto
QAI	Qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
RSA	Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes
SBS	Síndrome do edifício doente (acrónimo do inglês <i>sick building syndrome</i>)
SRAE	Superfície Relativa de Área de Envidraçado
SRAV	Superfície Relativa de Área de Ventilação
WHO	Organização Mundial da Saúde (acrónimo do inglês <i>World Health Organization</i>)

Simbologia

A	Área da abertura	(m)
A_p	Área de pavimento	(m ²)
C_d	Coefficiente de Descarga	(-)
C_{medida}	Concentração normalizada de poluente medida	(mg/m ³)
$C_{normalizada}$	Concentração normalizada do poluente	(mg/m ³)
C_p	Coefficiente de pressão do vento	(-)
C_{res}	Tocas de calor por convecção na respiração;	(W/m ²)
C_u	Poder calorífico Inferior	(kWh/m ³)
E_c	Trocas de calor por evaporação na pele	(W/m ²)
E_{res}	Trocas de calor evaporativas na respiração	(W/m ²)
g	Aceleração gravítica	(m/s ²)
H	Diferença de cotas entre as aberturas inferior e superior	(m)
\dot{H}	Perda de calor sensível	(W/m ²)
h_{inf}	Altura da abertura inferior	(m)
h_{sup}	Altura da abertura superior	(m)
k	Coefficiente de fluxo	(Kg/s.m)
M	Nível de atividade metabólica	(W/m ²)
n	expoente de fluxo	(-)
n_p	Número de pessoas no compartimento	(-)
PCI	Custo Unitário	(€/kW)
P_{medida}	Pressão atmosférica medida	(kPa)

$P_{\text{normalizada}}$	Pressão atmosférica normalizada	(kPa)
q_B	Taxa de ventilação para as emissões libertadas pelos materiais de construção	(l/s.m ²)
q_p	Taxa de ventilação para ocupação	(l/s.ocup)
\bar{T}	Temperatura média	(K)
$Temp$	Valor de temperatura num determinado instante	(K)
T_{medida}	Temperatura medida	(K)
$T_{\text{normalizada}}$	Temperatura normalizada	(K)
T_o	Temperatura operativa	(K)
U_L	Velocidade média no espaço interior em frente a abertura	(m/s)
U_R	Velocidade do vento no local de referência	(m/s)
v	Velocidade do vento à altura de referência	(m/s)
W	Trabalho mecânico exterior	(W/m ²)
Δp	Diferencial de pressão	(Pa)
ΔT	Diferença de temperaturas	(°C)
ρ	Densidade do ar	(kg/m ³)
ρ_{ext}	Densidade do ar exterior	(kg/m ³)
ρ_{int}	Densidade do ar interior	(kg/m ³)
η	Rendimento do equipamento	(-)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Apesar da crescente preocupação com o crescimento excessivo do consumo de energia, o sector dos edifícios continua a ser um dos maiores consumidores de energia.

Na União Europeia, o sector residencial e terciário, na sua maioria constituído por edifícios, consome mais de 40 % do consumo final de energia (EPDB, 2010). Em Portugal, o sector doméstico e de serviços é responsável pelo consumo de 29 % da energia final (DGEG, 2010).

O sector dos edifícios de serviço apresenta-se como o maior consumidor de energia elétrica, onde os sistemas de climatização (aquecimento e arrefecimento) são os principais responsáveis pelo crescimento do consumo de energia neste sector.

Ao longo dos anos, têm surgido novos produtos e técnicas de construção com o intuito de proporcionar aos edifícios ambientes interiores que se adequem às atividades realizadas pelos ocupantes, com o menor custo possível.

Para reduzir o impacte nas cargas de aquecimento e arrefecimento, as envolventes tornaram-se cada vez mais isoladas e mais estanques com o objetivo de reduzir as infiltrações de ar responsáveis pelas perdas descontroladas de energia.

No entanto, com a redução de ventilação associada às novas tendências arquitetónicas de projetar edifícios com grandes áreas de envidraçados, com proteções solares interiores, e de fraca inércia térmica, tem levado a um aumento significativo nas necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Por consequência, a dependência de sistema de climatização tem vindo a crescer ao longo dos anos, sendo mais notória nos edifícios de serviço.

Nestes edifícios, as necessidades de climatização são agravadas pelos crescentes níveis de iluminação, de densidade de equipamentos (computadores, fotocopiadores, impressoras, etc.) e de densidade de ocupação, o que faz com que a energia necessária para o arrefecimento dos ambientes interiores seja significativa.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Além disso, a exigência de ventilação de edifícios prende-se para além das necessidades de conforto térmico, sendo essencial para a manutenção da qualidade do ar interior.

A renovação de ar é fundamental para o controlo dos poluentes, dos odores e dos níveis de humidade existentes no ambiente interior, visto que estes podem comprometer a saúde e a produtividade dos ocupantes.

Com o aparecimento da legislação a nível nacional e internacional que impõe a verificação da qualidade do ar interior este tema tem assumido maior importância.

Em Portugal, com a entrada em vigor dos Decretos-Lei n.º 78, 79 e 80 de 2006, que visam a eficiência energética dos edifícios, a análise da qualidade do ar interior tornou-se obrigatória em edifícios de serviços.

Assim, a sustentabilidade dos edifícios passa a ter que estabelecer um equilíbrio entre a otimização de um ambiente interior, que promova as condições de conforto térmico e a saúde dos ocupantes associada à qualidade do ar interior e a energia necessária para manter as condições desse mesmo ambiente.

Numa fase em que a eficiência energética de edifícios assume grande importância, os conceitos da arquitetura bioclimática voltam a ter um maior relevo na projeção e construção de edifícios. Com este tipo de arquitetura, a conceção de edifícios volta a tirar partido das condições climáticas existentes no local de implantação, adotando estratégias que minimizam os consumos energéticos da sua utilização.

Uma dessas estratégias é a ventilação natural, que constitui uma alternativa para assegurar a renovação de ar de baixo custo, e que pode ser assegurada simplesmente através dos vãos envidraçados.

O conhecimento e a aplicação de recursos de projeto adequados a este processo de ventilação podem proporcionar um ambiente interior saudável e confortável aos ocupantes sem dispêndio excessivo de energia.

Na conceção e reabilitação de vãos envidraçados a vertente térmica tem sido alvo de todas as atenções, sendo descartada muitas vezes a importância destes na ventilação de edifícios e na manutenção da qualidade do ar interior.

Para o dimensionamento e a seleção de estratégias de ventilação natural é necessário estudar as condições do clima local (temperatura, vento e relevo) e concilia-las com as características dos vãos envidraçados (orientação, localização e área das aberturas).

O maior desafio da ventilação natural consiste assim, em como promover a renovação do ar sem promover grandes alterações na temperatura do ambiente interior.

1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo principal otimizar as condições de ventilação natural em edifícios de serviço de modo a melhorar as condições de conforto térmico e de qualidade do ar interior, reduzindo os consumos energéticos.

Para atingir esse objetivo foi seguida uma metodologia que permitiu a identificação e caracterização dos principais fatores que afetam a qualidade do ar interior em edifícios de serviço. Posteriormente, foram definidas estratégias que garantam valores adequados de qualidade do ar interior em condições de ventilação natural. Analisando diversas estratégias de ventilação natural encontraram-se aquelas que, tendo em conta as características do edifício e do ambiente climático onde está inserido, contribuem para uma maior sustentabilidade do mesmo.

No presente estudo testou-se a eficácia da ventilação natural através da abertura de janelas, que constitui a forma mais básica de promover a troca do ar entre os ambientes interiores e exterior, e que são elementos presentes em todos os edifícios.

Com os resultados obtidos pretendeu-se sensibilizar os projetistas relativamente às potencialidades da ventilação natural, a fim de que esta possa vir a ser implementada na conceção de projetos futuros e na reabilitação de edifícios existentes.

1.3 Estrutura do trabalho realizado

No **Capítulo 1** é apresentado o enquadramento do trabalho, os objetivos que estão na base da sua realização e a estrutura da dissertação.

No **Capítulo 2** consta o Estado da Arte, onde são explicitados os temas que estão na base da realização da presente dissertação. Assim, são descritos os parâmetros associados ao conforto térmico e à qualidade do ar interior, a referência às normas e os conceitos relacionados com a ventilação natural.

No **Capítulo 3** é descrita toda a metodologia utilizada no presente trabalho, a justificação das diferentes opções tomadas e os pressupostos de estudo.

São apresentadas os edifícios avaliados, os programas utilizados e os procedimentos adotados, necessários para a caracterização da qualidade do ar interior em edifícios de serviço e para a previsão do desempenho da ventilação natural, através da simulação numérica.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados das medições *in situ* e a análise subjetiva da perceção dos ocupantes no que respeita à qualidade do ambiente interior em edifícios de serviço.

No **Capítulo 5** são apresentados os resultados da simulação numérica que visa prever as taxas de renovação de ar de diferentes estratégias de ventilação natural e os seus impactes nas condições de conforto térmico e nos consumos energéticos necessários para manter essas mesmas condições.

No **Capítulo 6** são apresentadas as conclusões do presente trabalho relativamente ao potencial da aplicação das diferentes estratégias de ventilação natural. Este capítulo é finalizado com as perspetivas para trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo é analisada a importância dos parâmetros associados ao conforto térmico e à qualidade do ar interior, assim como o seu enquadramento normativo e regulamentar. É também analisada a importância da ventilação natural na manutenção desses parâmetros, os seus mecanismos, e os fatores que influenciam o seu desempenho.

2.1 Conforto Térmico

Quando as condições de conforto térmico são asseguradas há uma maior produtividade do homem nas suas atividades de lazer e laborais. A sensação de conforto térmico pode ser definida como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE 55, 2010).

O conforto térmico está dependente de fatores ambientais tais como a radiação solar, a temperatura, a humidade relativa, a velocidade do ar; de fatores arquitetónicos tais como o local de implantação, as soluções construtivas, as características das aberturas para o exterior; e de fatores individuais tais como a idade, o vestuário, a atividade e o metabolismo.

Perante condições desconfortáveis, o corpo humano reage e tenta estabelecer um equilíbrio entre a energia produzida no interior do corpo e as suas perdas térmicas para o exterior. A energia que é produzida no interior do corpo é chamada de Atividade Metabólica e depende do tipo de trabalho realizado, a unidade que a caracteriza é o Met ($58,2 \text{ W/m}^2$). Quanto maior for o trabalho realizado por este sistema maior é a sensação de desconforto.

Devido às diferenças de temperatura o homem utiliza mecanismos de forma a estabelecer esse equilíbrio através de mecanismos fisiológicos como suar, aumentar o batimento cardíaco, dilatar os vasos sanguíneos, contrair os músculos, os arrepios ou através de mecanismos comportamentais como o sono, abatimento e a redução da capacidade de trabalho.

Um outro fator que influencia o conforto térmico é a roupa utilizada por cada pessoa. A unidade que é utilizada para caracterizar o efeito do isolamento proporcionado pela roupa é o Clo (1 Clo é o equivalente a $0.155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$).

Diferentes tipos de índices e modelos têm sido adotados na avaliação do conforto térmico, particularmente nos edifícios. Os métodos mais conhecidos e utilizados são a temperatura

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

operativa, T_o , e o modelo PMV (*Predicted Mean Vote* – Voto Médio Previsto) proposto por Fanger, apresentados na norma internacional EN ISO 7730 (2005) e na norma americana ASHRAE 55 (2010).

A norma EN ISO 7730 (2005) define temperatura operativa como uma temperatura fictícia que produz a mesma transferência de calor do corpo para o ambiente envolvente que o efeito global da transmissão de calor por radiação e por convecção do ar.

Relativamente ao método utilizado por Fanger, este baseou-se em pesquisas realizadas com populações na Dinamarca e nos EUA. As pessoas eram colocadas no interior de câmaras climáticas, onde eram controladas as condições de temperatura, humidade e velocidade do ar. Após permanecerem algum tempo no seu interior, as pessoas responderam a um questionário sobre a perceção do ambiente térmico (FANGER, 1970) O índice PMV reflete a opinião média desse grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, pelo qual são expressas as respetivas sensações térmicas de acordo com uma escala de sete níveis apresentada na Tabela 2.1 (EN ISO 7730, 2005).

Tabela 2.1 – Escala de sensação térmica (EN ISO 7730, 2005)

Escala	Sensação Térmica
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Fresco
-2	Fresco
-3	Frio

Em cada condição do ensaio mediram-se os parâmetros de temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa relacionando-os com a atividade metabólica e a resistência térmica do vestuário. A equação (2.1) é a equação obtida por Fanger (1970) com base nos estudos realizados.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

$$PMV = (0,303 \times e^{-2,100 \times M} + 0,028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (2.1)$$

Onde:

M – Nível de atividade metabólica (W/m^2);

W – Trabalho mecânico exterior (W/m^2);

H – Perda de calor sensível (W/m^2);

E_c – Trocas de calor por evaporação na pele (W/m^2);

C_{res} – Trocas de calor por convecção na respiração (W/m^2);

E_{res} – Trocas de calor evaporativas na respiração (W/m^2).

O tratamento dos resultados obtidos possibilitou ainda estabelecer uma previsão quantitativa da percentagem de insatisfação com o ambiente térmico definida pelo indicador PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – Percentagem Prevista de Descontentes), de acordo com a equação do gráfico representado na Figura 2.1.

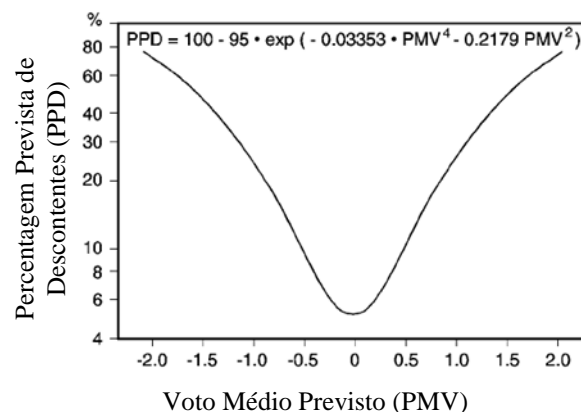


Figura 2.1 – Obtenção do índice PPD através do índice PMV (ASHRAE 55 2010; EN ISO 7730, 2005)

O conforto térmico é dado pelo intervalo de valores de PMV situado entre -0,5 e 0,5, o que indica que a percentagem previsível de pessoas descontentes (PPD) deve ser inferior a 10 %. A análise da Figura 2.1 permite concluir, que devido a subjetividade da sensação térmica que varia de pessoa para pessoa, para a situação que em média é considerada pelas pessoas como de neutralidade térmica ($PMV=0$) a percentagem de insatisfeitos é de 5 %.

A sensação de calor é diferente da sensação de temperatura alta. Em ambientes exteriores as pessoas apresentam por vezes uma maior tolerância a temperaturas altas do que quando

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

submetidas a temperaturas similares em ambientes fechados (MAGNINO, 2006). Isto deve-se à ocorrência do fluxo de ar (brisa) que promove uma sensação térmica agradável.

De facto, nos dias de maior calor a movimentação de ar facilita a evaporação do suor proporcionando o arrefecimento do corpo humano que se traduz num alívio da sensação de calor. No entanto na estação mais fria a movimentação de ar traduz-se numa sensação de frio.

Para existir uma sensação de conforto no interior dos edifícios a velocidade do ar não deve ultrapassar os valores limites de velocidade do ar para Inverno e Verão.

Na Tabela 2.2 apresentam-se os valores aceitáveis para a temperatura operativa e velocidade do ar para três classes de ambiente térmico de acordo com os parâmetros de desconforto térmico locais (assimetria da temperatura radiante, diferença de temperatura do ar vertical e temperatura superficial de pavimento). Estes valores referem-se a pessoas com atividade sedentária, com vestuário típico de verão (0,5 clo) e com vestuário típico de Inverno (1,0 clo), em escritórios, salas de aula, habitações, etc.

Tabela 2.2 – Temperatura operativa e velocidade do ar para assegurarem as condições de conforto (EN 15251, 2007; EN ISO 7730, 2005)

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo		Temperatura operativa (°C)		Velocidade média do ar máxima (m/s)	
	PPD	PMV	Arrefecimento Verão =0,5 Clo	Aquecimento Inverno=1 Clo	Arrefecimento Verão= 0,5 Clo	Aquecimento Inverno=1 Clo
I _(a)	<6	-0,2<PMV <+0,2	23,5- 25,5	21,0-23,0	0,18	0,15
II _(b)	<10	-0,5<PMV <+0,5	23,0-26,0	20,0-24,0	0,22	0,18
III _(c)	<15	0,7<PMV <+0,7	22,0-27,0	19,0-25,0	0,25	0,21

Notas:

- (a) Elevado nível de exigência (hospitais, infantários, lares de idosos);
- (b) Níveis de exigência normais (edifícios novos e reabilitados);
- (c) Nível de exigência aceitáveis, moderados (edifícios existentes).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Os regulamentos vigentes em Portugal relativos à certificação energética, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), propõem que sejam garantidos os seguintes parâmetros relativos ao conforto térmico (RCCTE, 2006; RSECE, 2006):

- A temperatura do ar interior deve estar compreendida entre 18°C e 26°C, podendo estes limites serem excedidos em 2°C em períodos curtos. O RCCTE define como temperaturas de referência 20°C para o Inverno e 25°C para o Verão.
- A flutuação diária de temperatura durante os períodos de ocupação não deve exceder $\pm 2^\circ\text{C}$ e em períodos de Inverno, a diferença de temperatura para locais não aquecidos não deve ser superior a 4°C;
- A velocidade do ar deve ser inferior a 0,2 m/s para o Inverno, podendo de Verão atingir um máximo de 0,5 m/s;

2.1.1 Humidade

A humidade tem apenas um pequeno efeito na sensação térmica e na perceção da qualidade do ar em espaços com ocupação sedentária (EN 15251 2007). No entanto, a longo prazo, valores altos de humidade podem provocar desconforto, uma vez que inibem a transpiração através da pele e facilitam o desenvolvimento de microrganismos patogénicos e alérgicos causadores de alergias, irritações nas vias respiratórias e asma.

A Figura 2.2 apresenta a influência da humidade relativa na saúde dos ocupantes e do edifício.

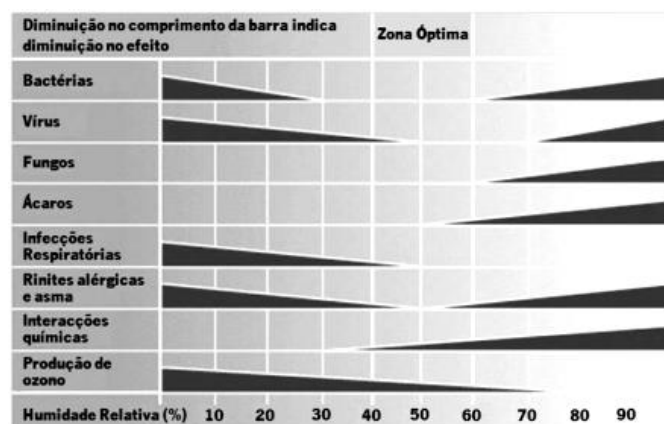


Figura 2.2 – Influência da humidade relativa na saúde dos ocupantes e do edifício (adaptado de TUOMISTO, 2009)

De acordo com a Figura 2.2, verifica-se que o intervalo para o qual existe menor risco de produção de fungos e bactérias situa-se entre 40% e 60% de humidade relativa. Para valores inferiores a 40% aumentam os riscos de infeções respiratórias e rinites alérgicas assim como aumentam os níveis de bactérias e vírus. Para valores superiores a 60% aumentam os riscos de produção bactérias e fungos. Valores baixos de humidade (inferiores a 20%) podem provocar secura e irritação na pele e olhos e infeções das vias respiratórias.

A inadequada ventilação, quando combinada com a humidade do ar, pode constituir um importante fator de risco para a saúde humana (OLESEN, 2006).

De acordo com a norma ASHRAE 62 (2010), a humidade relativa do ar em espaços habitáveis deve ser mantida entre 30% e 60% de forma a minimizar o crescimento de organismos prejudiciais à saúde humana. No entanto, estes valores podem variar dependendo das exigências de conforto térmico e da qualidade do ar interior do edifício. Para edifícios especiais como museus, edifícios históricos e igrejas devem ser tomadas medidas de controlo de humidade adicionais.

O RCCTE (2006) define como humidade relativa de referência 50% para condições de Verão, de forma que a humidade relativa não interfira no conforto térmico. No entanto, é exigido que sejam garantidos valores de humidade relativa entre 30% e 70% ao longo de todo o ano de forma a reduzir os riscos de contaminação do ambiente interior.

2.1.2 Qualidade do ar interior

O ar interior saudável pode ser definido como o ar que não oferece qualquer risco de doença e que garante conforto e bem-estar para todos os ocupantes (FANGER, 2003).

No ano de 1982, a Organização Mundial da Saúde (WHO – *World Health Organization*) utiliza pela primeira vez o termo “Síndrome do Edifício Doente” (SBS – *Sick Building Syndrome*). De acordo com esta organização, 20 % dos ocupantes de um edifício queixam-se de problemas físicos quando entram num edifício, e que após abandonarem o mesmo os sintomas são atenuados ou desaparecem gradualmente (WHO, 1983). O SBS é assim caracterizado como um fenómeno onde os ocupantes apresentam sintomas que podem ser atenuados ou que desaparecem ao abandonar o edifício. Perante edifícios com problemas de

salubridade deste tipo, as pessoas podem apresentar os seguintes sintomas: comichão ou ardor nos olhos, garganta seca e comichão, coriza ou espirros, dor de cabeça, pele inflamada ou irritada, fadiga, dificuldade em respirar, tonturas e náuseas.

Estudos científicos deduziram que algumas das queixas apresentadas pelos ocupantes a nível da saúde e conforto estão associados às características dos edifícios, sistemas de climatização e do ambiente interior, às características pessoais e das atividades praticadas pelos ocupantes (MENDELL, 1994; MENZIS & BOURBEAU, 1997; SEPPANEN & FISK, 2005).

No entanto, é importante salientar que existe uma diferença entre SBS e as doenças relativas ao edifício. As doenças que estão relacionadas ao edifício, identificadas pelo termo *Building Related Illness* (BRI), estão relacionadas a uma infeção verdadeira e não simplesmente temporária, dos ocupantes (HANSEN, 1991). Isto é, um edifício com SBS não promove o aparecimento de doenças, apenas contribui no agravamento de problemas de saúde de pessoas mais propensas e sensíveis num período transitório. Uma pessoa com asma, por exemplo, pode apresentar uma irritação no sistema respiratório, ao entrar no edifício e enquanto permanecer no mesmo.

Porém edifícios com BRI podem mesmo estar na origem de determinadas doenças como asma, infeções bacteriológicas, virais e fúngicas.

Os casos conhecidos de BRI correspondem na sua maioria, a um estagio avançado de SBS. No caso da SBS o problema pode ser atenuado pelo fornecimento de ar exterior caso este seja percecionado como límpido, porém o mesmo procedimento pode não resolver os problemas relacionados com a BRI (CUELL, 1993).

Os sintomas associados à Síndrome do Edifício Doente podem estar relacionados com uma vasta variedade de partículas e bactérias que ao entrar em contacto com a pele provocam um conjunto de reações no organismo. As próprias atividades humanas, respiração e transpiração, produzem poluentes como dióxido de carbono e compostos orgânicos voláteis (COV), que degradam o ambiente. Os produtos cosméticos que as pessoas utilizam como desodorizantes e perfumes são produtores de COV's.

Em escritórios, o empilhamento de papéis com acumulação de poeiras constitui um habitat para a proliferação de organismos patogénicos, que quando derrubados ou movidos contribuem para a contaminação biológica do ambiente interior. Alguns materiais construtivos

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

como tintas e colas libertam compostos orgânicos voláteis e equipamentos de escritório e domésticos libertam calor e substâncias (ozono) que danificam a qualidade do ar do espaço.

A Tabela 2.3 resume as principais fontes e efeitos na saúde dos poluentes mais relevantes que afetam a qualidade do ar interior.

Tabela 2.3 – Fontes e efeitos na saúde de poluentes que afetam a qualidade do ar (ADENE et al., 2009a; ADENE et al., 2009b; APA, 2009)

Poluente	Principais fontes	Efeitos na saúde
Monóxido de Carbono (CO)	Processos de combustão (aquecedores, esquentadores, fogões, lareiras, braseiras); fumo de tabaco; escape de veículos	Carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigénio); dores de cabeça; náuseas; cansaço; efeitos no sistema nervoso central e do sistema cardiovascular
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Ocupantes (suor/ transpiração, respiração, digestão da boca, estômago e canal intestinal – Biofluentes); fumo de tabaco	Efeitos no sistema nervoso central e no sistema cardiovascular; dores de cabeça, irritação de olhos e garganta; fadiga, falta de ar
Formaldeído (HCHO)	Desinfetantes; pesticidas; produtos derivados da madeira; conservantes de madeira; isolantes, adesivos, colas e tintas; fumo de tabaco; material têxtil; solventes de lacas e resinas; materiais de construção; mobiliário	Irritação dos olhos e nariz, garganta e pele; problemas respiratórios; dores de cabeça; enjoos; fadiga
Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)	Solventes; tintas; colas, resinas e vernizes; produtos de limpeza; desinfetantes, desodorizantes, perfume; inseticidas, pesticidas e fungicidas; material de construção; mobiliário, fumo de tabaco	Odores; sintomas de alergia; náuseas; leucemia; cancro da pele e pulmão; olhos vermelhos; secura das mucosas do nariz e garganta; dores de cabeça; fadiga; vertigens
Ozono (O ₃)	Fotocopiadoras; impressoras a laser; aparelhos de limpeza; reações fotoquímicas; desinfetantes da água	Problemas respiratórios; irritação nos olhos, dores de cabeça; alterações da vigilância e da atuação; reações asmáticas e alérgicas; secura da boca e garganta; pressão no peito e tosse
Partículas respiráveis (PM ₁₀)	Processos de Combustão; ocupantes; sistema AVAC; fumo de tabaco; papel	Problemas respiratórios; olhos secos, asma e alergias; irritação da pele e mucosas; doenças profissionais (metais); tosse e espirros
Radão	Solo de zonas graníticas; materiais de construção; rochas graníticas por baixo do edifício	Cancro do pulmão
Bactérias, fungos, legionella	Sistemas AVAC; materiais de construção; têxteis; pólen; zonas húmidas do edifício; pelos, penas e excrementos de animais e insetos; ocupantes (bactérias); água estagnada	Alergias (rinite, sinusite, asma); infeções (tuberculose, pneumonia); efeitos irritantes (olhos, nariz, garganta e pele; dores de cabeça; febre; Irritação cutânea fadiga e dores musculares
Dióxido de azoto	Produtos derivados da madeira; fumo de tabaco	Cancro
Benzeno	Produtos derivados da madeira; fumo de tabaco	Cancro
Naftaleno	Fumo de tabaco; naftalina	Irritação dos olhos; irritação do sistema respiratório

Qualidade do ar interior e produtividade

A existência de ventilação inadequada e a concentração de poluentes excessivas afetam negativamente a perceção da qualidade do ar, podendo esta ser medida em função da produtividade dos ocupantes.

As pessoas quando manifestam sintomas associados à SBS (dores de cabeça, dificuldade de concentração, cansaço) apresentam menor produtividade e uma maior distração no trabalho que podem conduzir ao absentéismo a curto prazo (OLESEN, 2006).

Os estudos desenvolvidos por Wargocki et al. (1999; 2000; 2002) pretenderam relacionar a qualidade do ar com a produtividade dos ocupantes em escritórios.

Os estudos baseavam-se em alterar a qualidade do ar interior (QAI) e avaliar a saúde, o conforto e a produtividade dos ocupantes (WARGOCKI et al., 1999; WARGOCKI et al., 2000; WARGOCKI et al., 2002). As pessoas intervenientes nestes estudos eram do sexo feminino e desempenhavam trabalhos típicos de escritório e atividades que exigiam concentração como digitação de textos e tarefas de cálculo.

A qualidade do ar foi avaliada através da medição da taxa de aceitabilidade da qualidade do ar interior percecionada pelos ocupantes no escritório, antes e após a exposição.

Os resultados obtidos comprovaram que a remoção de uma fonte de poluição (tapete com 20 anos de uso colocado no espaço) ou o aumento da taxa de ventilação do ar melhoravam significativamente a perceção da qualidade do ar interior e do desempenho dos trabalhos de escritório simulados.

Estes resultados estão representados na Figura 2.3, onde é visível o aumento da produtividade dos ocupantes à medida que diminui a percentagem de insatisfeitos (uma redução de 10 % de insatisfeitos corresponde a um acréscimo de 1,1 % a nível de desempenho).

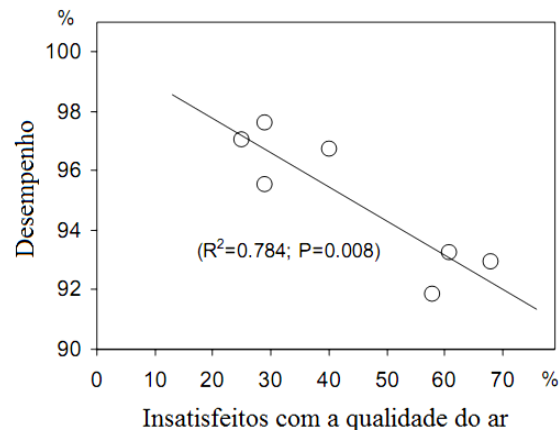


Figura 2.3 – Percentagem de desempenho em função da percentagem de ocupantes insatisfeitos com a qualidade do ar (WARGOCKI et al., 1999; WARGOCKI et al., 2000; WARGOCKI et al., 2002)

Posteriormente foram realizados outros dois estudos com o objetivo de determinar os efeitos no desempenho do trabalho quando a qualidade do ar era melhorada pela remoção de outros tipos de fontes de poluição.

Um consistia em remover uma mistura de linóleo de 3 anos de idade, um selante de 2 meses de idade e uma prateleira com livros, onde o espaço era ventilado a uma taxa de 5 l/s por pessoa e o outro tinha como fonte de poluição a presença de seis computadores com monitores tradicionais (CRT – Cathode-Ray-Tube) ventilados a uma taxa de 10 l/s por pessoa (BAKO-BIRO et al., 2004).

Os resultados obtidos no primeiro estudo verificaram que o desempenho de digitação de textos aumentou 1,5% quando a mistura de fontes de poluição foi removida, verificando-se também uma redução da percentagem de insatisfeitos de 42% para 28% (BAKO-BIRO et al., 2004).

No segundo estudo verificou-se que com a remoção dos computadores o desempenho de digitação de textos aumentou 1,2% e percentagem de insatisfeitos reduziu-se de 32% para 15% (BAKO-BIRO et al., 2004).

Outras experiências desenvolvidas em escolas primárias na Dinamarca provaram que a qualidade do ar nas salas de aula era melhorada com o aumento da taxa de fornecimento de ar exterior (WARGOCKI & WYON, 2007a; WARGOCKI & WYON, 2007b). Nestes estudos, as crianças com idade compreendida entre os 10 e os 12 anos tiveram que realizar tarefas

habituais na sala de aula como a leitura e resolução de exercícios de matemática. No final de cada semana experimental, os alunos teriam que avaliar as condições ambientais da sala de aula e a intensidade de sintomas relacionados com a saúde. O plano de aulas e as atividades escolares não foram alterados de forma que o ambiente de ensino e as rotinas diárias se aproximassem das que eram habituais no dia-a-dia (WARGOCKI & WYON, 2007a; WARGOCKI & WYON, 2007b). Os resultados obtidos mostraram que com o aumento da taxa de abastecimento de ar exterior obteve-se um melhoramento significativo no desempenho de muitas tarefas (ver Figura 2.4), visível no facto de que com a duplicação da taxa de abastecimento de ar exterior a velocidade de raciocínio melhorava 8% e que o aumento da taxa de abastecimento de ar externo não afetaria significativamente o desempenho escolar em termos de percentagem de erros (WARGOCKI & WYON, 2007a; WARGOCKI & WYON, 2007b).

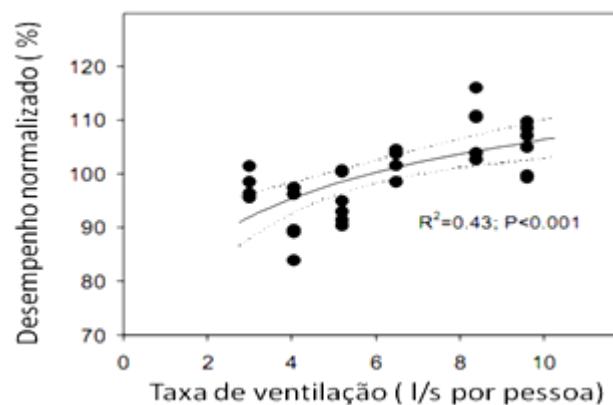


Figura 2.4 – Execução de um trabalho da escola como uma função da taxa de fluxo de ar exterior (WARGOCKI & WYON, 2007a; WARGOCKI & WYON, 2007b)

Métodos de avaliação da qualidade do ar

A maioria das normas internacionais recomenda taxas de ventilação baseando-se em critérios de conforto, que estão relacionados com a qualidade do ar (OLESEN, 2004).

A qualidade do ar pode ser expressa em função do número de pessoas que apresentam reações de desconforto (percentagem de descontentes com a qualidade do ar interior, utilizando o dióxido de carbono como indicador dos biofluentes humanos e/ou através da taxa de ventilação por pessoa padrão (EN 15152, 2007).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Na Figura 2.5 são apresentados três níveis de qualidade do ar que refletem sucessivamente 15%, 20% e 30% de insatisfação, correspondendo a graus de exigência de qualidade do ar progressivamente menores.

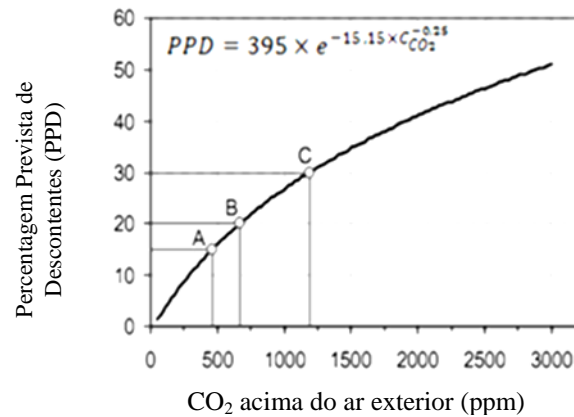


Figura 2.5 – Percentagem de pessoas descontentes em função da concentração de CO₂ (CR 1752, 1998; EN 15251, 2007)

Tal como referido na Tabela 2.3, o ar interior pode ser deteriorado pelas pessoas e pelas suas atividades (tabaco, tipo atividade), elementos construtivos e de decoração (revestimentos, tinta, mobiliário, produtos de limpeza, equipamentos eletrónicos) e sistemas de ventilação (filtros, condutas). No entanto, é difícil quantificar todos os tipos de fontes poluentes intervenientes e que podem não ser perceptíveis pelas pessoas.

Para espaços com uma taxa de ocupação considerável, a concentração de CO₂ é vista como um bom indicador de poluição, no entanto não tem em conta as fontes de poluição que não produzem CO₂ e os poluentes que não são perceptíveis pelos ocupantes, o que constitui um fraco indicador da qualidade do ar.

A qualidade do ar interior pode ainda ser expressa pela percentagem de insatisfeitos em função da taxa de ventilação por pessoa padrão (Figura 2.6). Uma pessoa padrão corresponde, em média, a um trabalhador de escritório adulto, sedentário em situação de neutralidade térmica. A poluição gerada por uma pessoa padrão é designado por olf e a taxa de ventilação mínima exigida pelas três categorias de qualidade do ar são 10l/s.olf, 7l/s.olf e 4l/s.olf respetivamente (EN 15251, 2007).

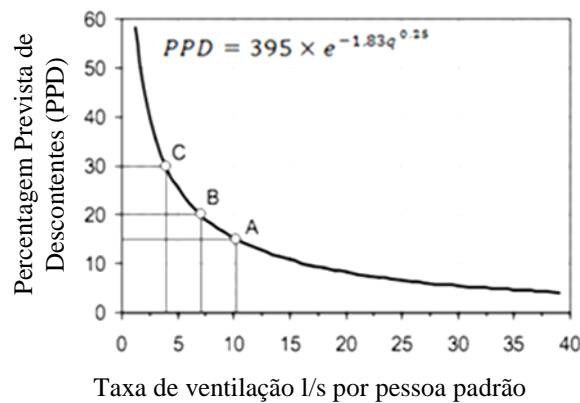


Figura 2.6 – Percentagem de pessoas descontentes em função da taxa de ventilação por pessoa padrão CO₂ (CR 1752, 1998; EN 15251, 2007)

Exigências para QAI pelas regulamentações nacionais e internacionais

Apesar de não existir unanimidade internacional sobre o modo como avaliar a qualidade do ar, tendo por base a avaliação integrada dos diversos poluentes, a norma EN 15251 (2007), considera que devem ser tidos em conta três critérios:

- Cálculo da taxa de ventilação em função dos bio efluentes libertados pelos ocupantes (fumadores e não fumadores) e das emissões libertadas pelos materiais de construção;
- Cálculo da taxa de ventilação em função do número de pessoas presentes no espaço ou por metro quadrado de área útil do recinto, sendo apenas considerados os poluentes libertados pelas pessoas;
- Cálculo da taxa de ventilação baseado num balanço de massa e em critérios associados à concentração de CO₂.

Desta forma a taxa de ventilação para um compartimento é calculada pela equação (2.2).

$$q_{\text{tot}} = n_p \times q_p + A_p \times q_B \quad (2.2)$$

Onde

q_p – Taxa de ventilação para ocupação (l/s.ocup);

q_B – Taxa de ventilação para as emissões libertadas pelos materiais de construção (l/s.m²);

n_p – Número de pessoas no compartimento;

A_p – Área de pavimento (m²).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Através desta equação, a norma EN 15251 (2007) determinou as taxas de ventilação para edifícios não residenciais em função da categoria de qualidade pretendida para o edifício, assumindo as densidades de ocupação como pré-definidas. Os resultados apresentados estão ainda dispostos de acordo com o grau de poluição associado aos materiais existentes no acabamento interior do edifício e aos biofluentes, classificando assim os edifícios como: edifícios muito pouco poluentes; edifícios pouco poluentes, edifícios poluentes.

Tabela 2.4 – Taxas de ventilação recomendadas para edifícios não residenciais (EN 15251, 2007)

Tipo edifício	Categoria ^(a)	Área Pavimento m ² /ocup	q _p	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	Fumadores l/s.m ²
			Ocupação l/s.m ²	Edifícios muito pouco poluentes ^(b) l/s.m ²		Edifícios pouco poluentes ^(c) l/s.m ²		Edifícios poluentes ^(d) l/s.m ²		
Escritório	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3

Notas:

- (a) Categoria I corresponde a um melhor nível de QAI;
- (b) Edifícios com reduzida emissão de poluentes associados aos materiais de acabamento interior e sem registo de biofluentes;
- (c) Edifícios com baixa emissão de poluentes associados aos materiais de acabamento interior e onde os níveis de biofluentes são limitados ou proibidos;
- (d) Edifício onde não foi feito qualquer esforço para baixar a quantidade de poluentes libertados pelos materiais de construção, nem para baixar os níveis de biofluentes.

A norma americana ASHRAE 62 (2010) também estabelece as taxas de ventilação necessárias para obter uma qualidade do ar interior aceitável e para baixar os níveis de biofluentes e outros contaminantes, com uma margem de segurança que tem em conta a sensibilidade dos ocupantes e os seus níveis de atividade.

Em Portugal, os critérios de qualidade do ar interior em edifícios estão regulamentados pelo Decreto-Lei n.º79/2006 (RSECE) e Decreto-Lei n.º 80/2006 (RCCTE).

O RSECE está orientado particularmente para edifícios de serviços. As suas exigências vão desde a limitação de valores máximos de concentração de poluentes (Tabela 2.5) à imposição de caudais mínimos de renovação de ar por área de pavimento, em função da sua utilização (Tabela 2.6), até à obrigação de todos sistemas energéticos construídos ou existentes garantirem a qualidade do ar interior (RSECE, 2006).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 2.5 – Concentrações máximas de referência (RSECE, 2006)

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15mg /m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800mg /m ³ (a)
Monóxido de carbono (CO)	12,5mg /m ³
Ozono (O ₃)	0,2mg /m ³
Formaldeído (HCHO)	0,1mg /m ³
Compostos Orgânicos voláteis (COV's)	0,6mg /m ³
Microrganismos (bactérias ou fungos)	500UFC/m ³ (b)
Legionella (c)	100UFC/m ³
Radão (d)	400Bq/m ³

Notas:

- (a) Presumivelmente, o valor limite do CO₂ prende-se com critérios sensoriais;
- (b) UFC = unidades formadoras de colónias;
- (c) Pesquisa obrigatória em edifícios com sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) com produção de aerossóis;
- (d) Pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente no distrito de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Tabela 2.6 – Caudais mínimos de ar novo (RSECE, 2006)

Tipo de atividade		Caudais mínimos de ar novo	
		m ³ /h.ocup	m ³ /h.m ²
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferência	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de receção	30	15
	Salas de computador	30	

2.2 Processo de ventilação natural

A ventilação natural de edifícios constitui uma forma eficaz para a obtenção de um ambiente interior saudável. Neste contexto, a ventilação de edifícios deve ser geral e permanente, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obrigue a manter as janelas fechadas, uma vez que a renovação de ar é essencial para a remoção de poluentes e para garantir os níveis de humidade e temperatura indispensáveis para garantir a saúde, o conforto e a produtividade dos ocupantes.

O processo de ventilação natural é promovido pela diferença de pressões causada pela diferença de temperaturas, Ação do vento ou combinação de ambos.

Quando a diferença de pressões origina um fluxo de ar através de aberturas criadas de forma voluntária para esse efeito designa-se por ventilação natural, porém o fluxo de ar pode ocorrer de forma involuntária e incontrolada por intermédio de frinchas ou fendas existentes na envolvente (infiltrações).

Estas trocas de ar afetam consideravelmente o consumo energético, o conforto térmico e a qualidade do ar, e variam com o clima, o tipo de utilização e uso do edifício. Desta forma não existe uma solução única para um sistema de ventilação natural pelo que é necessário compreender a complexidade destes sistemas e como a estrutura do edifício influencia o seu desempenho.

Para que exista movimentação de ar é necessário existir uma diferença de pressões e um caminho para que o ar se desloque que está dependente da localização das aberturas. De acordo com a localização das aberturas a ventilação natural pode dividir-se em duas categorias: ventilação unilateral e ventilação cruzada. A ventilação unilateral é caracterizada por uma única abertura ou mais de uma, situada(s) no mesmo plano do edifício em zona de igual ou de pequena diferença de pressão (CIBIM8, 2007). A ventilação cruzada é caracterizada pela localização de aberturas de entrada e de saída do ar em planos opostos ou adjacentes (CIBIM8, 2007).

A ventilação unilateral representa a situação corrente em que se pretende ventilar apenas um compartimento ou o caso em que os edifícios apresentem apenas uma fachada para colocar aberturas. Esta forma de ventilação pode ser desvantajosa em situações nas quais a diferença de temperaturas entre o interior e o exterior ou a velocidade do vento sejam reduzidas originando um fluxo de ar reduzido. Nestas situações é aconselhável colocar as aberturas espaçadas de forma a melhorar o escoamento.

Por outro lado, a ventilação cruzada constitui uma solução mais vantajosa na qual a disposição das aberturas permite ao fluxo de ar atravessar o espaço interior e abranger uma área maior.

2.2.1 Ventilação Natural pela Ação Térmica

A ventilação natural de edifícios pode ocorrer devido à diferença de temperatura existente entre o exterior e o interior, ou entre espaços interiores. Este diferencial gera diferentes gradientes de pressão e, conseqüentemente, um desequilíbrio de pressões que promovem a troca de fluxos de ar entre ambientes termicamente distintos.

A pressão exercida pela diferença de temperaturas corresponde à pressão hidrostática causada pela diferença entre as alturas da coluna de ar entre o interior e o exterior do edifício (ALLARD et al., 1998). A pressão hidrostática depende da diferença da densidade do ar e da altura do ponto de estudo entre o ambiente interno e externo (ALLARD et al., 1998).

Quando o ar é quente e húmido é mais leve (menos denso) sobe, enquanto o ar frio e seco (mais denso) desce gerando a movimentação do fluxo de ar. Nos casos em que a temperatura interior se encontra a uma temperatura superior à do ar exterior o ar tende a abandonar o edifício por aberturas localizadas a uma cota superior (zona de pressão) podendo ser substituído pelo ar exterior mais frio que entra por aberturas localizadas a uma cota inferior (zona subpressão). A Figura 2.7 descreve o processo de movimentação de ar através de duas aberturas verticais.

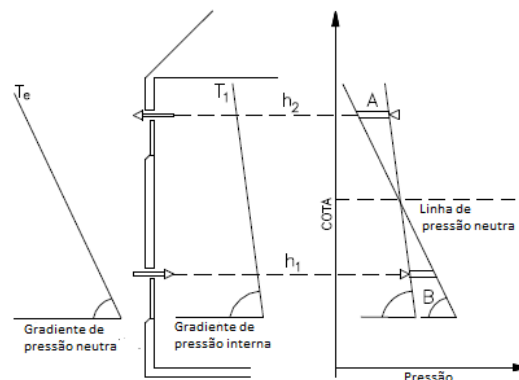


Figura 2.7 – Movimentação de ar através de duas aberturas verticais (SILVANI, 2005)

O ponto em que a diferença de pressão é nula, isto é a pressão interior é igual à exterior, designa-se por zona neutra em que a colocação de uma abertura nesse ponto não proporciona a entrada e saída de ar.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

O diferencial de pressão (Δ_p), como consequência de um diferencial de temperatura e de massas volúmicas diferentes, pode ser obtido pela equação de Bernoulli (equação (2.3)).

$$\Delta_p = \rho_{\text{ext}} \times g \times (h_{\text{sup}} - h_{\text{inf}}) - \rho_{\text{int}} \times g \times (h_{\text{sup}} - h_{\text{inf}}) \quad (2.3)$$

Onde:

ρ_{ext} – Densidade do ar exterior (kg/m^3);

ρ_{int} – Densidade do ar interior (kg/m^3);

h_{sup} – Altura da abertura superior (m);

h_{inf} – Altura da abertura inferior (m);

g – Gravidade (m/s^2).

Através do diferencial de pressões pode-se obter a expressão teórica para a velocidade de um fluxo de ar. O caudal mássico teórico (Q) obtido por esta diferença de pressões é obtido pela equação (2.4).

$$Q_t = \rho \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta_p}{\rho}} \quad (2.4)$$

Onde:

Δ_p – Diferencial de pressão (Pa);

ρ – Densidade do ar (kg/m^3);

A – área da abertura (m^2).

No entanto, a equação (2.4) não descreve corretamente o comportamento real do fluxo de ar. Numa situação real a força de pressão perde intensidade devido à resistência encontrada pelo caminho que percorre.

Estas perdas podem estar associadas à fricção, mudança de direção, alteração da secção (expansão e contração da corrente) e à resistência existente à entrada e saída de ar nos ambientes pelas aberturas. Assumindo que o fluxo é afetado pelas características geométricas da abertura, impõe-se um coeficiente de descarga (C_d) à expressão do caudal obtendo valores mais próximos dos reais (equação (2.5)).

$$Q = C_d \times \rho \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta_p}{\rho}} \quad (2.5)$$

Onde:

Δ_p – Diferencial de pressão (Pa);

ρ – Densidade do ar (kg/m^3);

A – área da abertura (m^2);

C_d – Coeficiente de descarga (-).

Nas últimas décadas têm-se realizado algumas experiências em tuneis de vento para definir o coeficiente de descarga de aberturas em função da diferença de temperatura, velocidade do ar e altura da abertura.

Para pequenas aberturas um valor representativo de C_d é 0,65 e para grandes aberturas o valor de C_d aproxima-se da unidade, no entanto é razoável considerar como valor médio para uma abertura padrão, 0,78 (ALLARD et al., 1998).

Quando as aberturas se encontram desobstruídas apresentam valores de C_d entre 0,5 e 0,7 (FLOURENTZOU et al., 1998).

No caso de janelas e portas retangulares o valor C_d é geralmente 0,6 (AYNSLEY, 1997).

A equação (2.5) pode ainda ser reescrita recorrendo à Lei dos Gases Perfeitos ($P=\rho RT$), tomando a forma da equação (2.6).

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{\frac{\Delta T \times g \times H}{\bar{T}}} \quad (2.6)$$

Onde:

ΔT – Diferença de temperaturas (K);

\bar{T} – Temperatura média (K) = $(T_i+T_e)/2$;

H – Diferença de cotas entre as aberturas inferior e superior;

C_d – Coeficiente de descarga (-);

g – Gravidade (m/s^2);

A – área da abertura (m^2).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No caso do fluxo de ar ser promovido pela flutuação térmica em uma única abertura, considera-se que o ar interior, mais quente, flui para o exterior pela parte superior da abertura e o ar exterior, mais frio, flui para o interior pela parte inferior da abertura. Assumindo que o nível de pressão neutro se encontra a meia altura da abertura, integra-se a equação em relação à altura da abertura e obtém-se a equação (2.7) (WARREN & PARKINS, 1985).

$$Q = \frac{1}{3} \times C_d \times A \times \sqrt{\frac{\Delta T \times g \times H}{\bar{T}}} \quad (2.7)$$

Onde:

ΔT – Diferença de temperaturas (K);

\bar{T} – Temperatura média (K) = $(T_i + T_e)/2$;

H – Diferença de cotas entre as aberturas inferior e superior;

C_d – Coeficiente de descarga (-);

g – Gravidade (m/s^2);

A – área da abertura (m^2).

Quando a passagem de ar se dá por frinchas e fendas ou quando a geometria das aberturas é mais complexa, a quantificação do caudal de fluxo é feita recorrendo à função empírica da lei de potência (equação (2.8)).

$$Q = k \times \Delta p^n \quad (2.8)$$

Onde:

Δp – Diferencial de pressão (Pa);

k – Coeficiente de fluxo (Kg/s.m);

n – expoente de fluxo (-).

O expoente de fluxo (n) representa as características do fluxo, em que para um escoamento turbulento assume o valor de 0,5, e para escoamento laminar assume o valor de 1, sendo recomendável utilizar um valor médio de 0,67 para frinchas que ficam em volta de janelas fechadas (ALLARD et al., 1998).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Por outro lado o coeficiente de fluxo (k) representa as características geométricas da secção e o efeito de descarga, e corresponde fisicamente ao caudal induzido por uma diferença de pressões unitária.

Liddament (1986) dedicou-se ao estudo destes parâmetros e criou uma base de dados com coeficientes e expoentes de fluxo de ar para diversos tipos de aberturas (Tabela 2.7 e Tabela 2.8).

Tabela 2.7 – Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas (LIDDAMENT, 1986)

Tipo de janela	Vedação	Material	Expoente de fluxo de ar (n)			Coeficiente fluxo (Kg/s.m)		
			Max	Med	Min	Max	Med	Min
Pivotante - eixo vertical lateral	Sim	Madeira		0,66		0,00013	0,00004	0,00001
	Sim	Madeira		0,66				
	Sim	Metal		0,66		0,00037	0,00035	0,00018
	Não	Madeira	0,85	0,66	0,50	0,00154	0,00030	0,00005
Pivotante - eixo horizontal superior	Sim	Madeira	0,69	0,57	0,50	0,00158	0,00054	0,00014
	Sim	Metal	0,64	0,6	0,52	0,00071	0,00041	0,00023
	Não	Madeira	0,61	0,56	0,60	0,00178	0,00140	0,00114
Pivotante - eixo vertical central	Sim	Madeira		0,78			0,00004	
	Não	Metal	0,7	0,66	0,63	0,00016	0,00009	0,00003
Pivotante - eixo horizontal central	Sim	Madeira		0,57			0,00003	
	Não	Metal	0,9	0,6	0,53	0,00162	0,00103	0,00005
1 folha - Deslizamento horizontal	Sim	Madeira		0,66			0,00006	
	Sim	Madeira		0,66			0,00008	
	Sim	Metal		0,66		0,00023	0,00010	0,00006
	Não	Madeira		0,66			0,00017	
2 folhas – Deslizamento horizontal	Sim	Madeira		0,66			0,00008	
	Sim	Madeira		0,66		0,00017	0,00010	0,00005
	Sim	Metal		0,66			0,00010	
	Não	Madeira		0,66		0,00040	0,00025	0,00010
	Não	Metal		0,63		0,00056	0,00028	0,00016
1 Folha – Deslizamento vertical	Sim	Metal		0,66			0,00012	
	Não	Madeira		0,66			0,00021	
2 folhas – Deslizamento vertical	Sim	Madeira		0,66				
	Sim	Metal	0,79	0,66	0,56	0,00036	0,00023	0,00005
	Não	Madeira		0,66			0,00022	
	Não	Metal	0,69	0,58	0,45	0,00155	0,00058	0,00026
Claraboia	Não	Metal	0,59	0,55	0,50	0,00397	0,00023	0,00021

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 2.8 – Coeficientes e expoentes fluxo de ar para portas (LIDDAMENT, 1986)

Tipo de porta	Vedação	Material	Local	Expoente de fluxo de ar (n)			Coeficiente fluxo (Kg/s.m)		
				Max	Med	Min	Max	Med	Min
1 folha pivotante	Sim	Madeira	Interior	0,70	0,60	0,50	0,00332	0,00187	0,00105
	Sim	Madeira	Exterior		0,64		0,00160	0,00124	0,00090
	Não	Madeira	Interior	0,79	0,59	0,51	0,00437	0,00204	0,00063
	Não	Madeira	Exterior	0,71	0,59	0,50	0,00455	0,00171	0,00102
	Não	Metal	Interior		0,66			0,00005	
	Não	Metal	Exterior		0,66			0,00005	
2 folhas pivotante	Não	Madeira	Interior		0,66			0,00539	
	Não	Madeira	Exterior		0,60			0,00252	
1 folha de correr	Sim	Madeira	Externa		0,66			0,00026	

2.2.2 Ventilação Natural por Ação do Vento

O efeito da ação do vento ocorre quando o vento atinge um edifício criando diferenças de pressão nas suas superfícies que promovem a movimentação de ar no interior dos mesmos. A forma dos edifícios assume um papel importante na forma como o fluxo de ar se desloca em seu redor. Para estudar este fenómeno são realizados testes em túneis de vento, escoamento em fluxo de água em maquetas ou testes em modelos reais (ASHRAE 62, 2010).

Geralmente, quando o vento incide sobre um edifício cria pressões positivas na fachada que incide e pressões negativas na fachada oposta o que origina uma deslocação de ar no sentido da pressão positiva para a pressão negativa. No caso das coberturas a pressão será positiva ou negativa conforme a inclinação das águas. Na Figura 2.8 é apresentado um exemplo de distribuição de pressões por ação dos ventos em torno de um edifício.

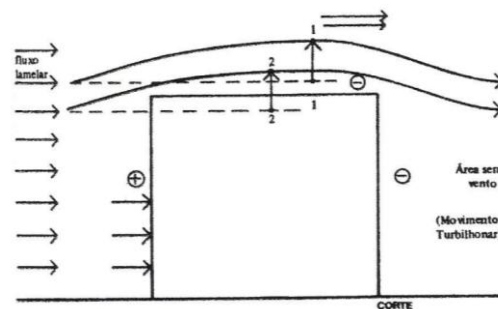


Figura 2.8 – Distribuição de pressões por ação do vento (ER & SCHIFFER, 1999)

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

O conhecimento do fluxo de ar em torno do edifício e dos obstáculos existentes na sua periferia deve ser tido em conta de forma a adotar as estratégias que melhor potenciam o uso de ventilação natural. Por esse motivo, a colocação de aberturas para a entrada de ar na fachada a barlavento e a colocação de aberturas para a saída de ar na fachada a sotavento é uma forma de potenciar o aproveitamento da ação dos ventos. A Figura 2.9 demonstra como esta disposição de aberturas melhora a eficiência da ventilação de ambientes interiores.

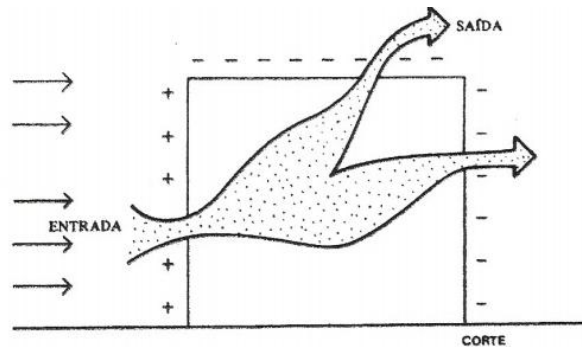


Figura 2.9 – Ventilação por ação do Vento (ER & SCHIFFER, 1999)

As pressões exercidas na envolvente do edifício dependem da densidade do ar, da direção e da velocidade do vento, orientação da envolvente e características do terreno, topografia, obstáculos vizinhos e podem ser traduzidas pela equação (2.9).

$$\Delta p = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times v^2 \quad (2.9)$$

Onde:

ρ – Densidade do ar (kg/m^3);

C_p – Coeficiente de pressão do vento à altura de referência (-);

v – Velocidade do vento à altura de referência (m/s).

Para o caso de ventilação unilateral deve ser considerado o efeito da velocidade do vento juntamente com o efeito da turbulência do vento e com as flutuações de pressão na abertura. O valor do caudal de fluxo (Q_v) pode ser determinado pelas equações (2.10) e (2.11) deduzidas por Warren et al nos ensaios realizados em tuneis de vento (Warren et al, 1985).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

$$Q_v = 0,1 \times A \times U_L \quad (2.10)$$

$$Q_v = 0,025 \times A \times U_R \quad (2.11)$$

Onde:

U_L – Velocidade média do ar junto da abertura;

U_R – Velocidade do vento no local de referência à altura de 10 metros.

Se se substituir o valor Δp_v na expressão do caudal mássico teórico (equação (2.5)) pode-se obter a equação (2.12).

$$Q = \rho \times C_d \times A \times v \times \sqrt{C_p} \quad (2.12)$$

Onde:

ρ – Densidade do ar (kg/m^3);

C_d – Coeficiente de descarga (-);

v – Velocidade do vento à altura de referência (m/s);

A – área da abertura (m^2);

C_p – Coeficiente de pressão do vento à altura de referência (-).

Na equação (2.12) verifica-se a existência de um coeficiente adimensional de pressão C_p , que depende da direção e orientação do vento, da topografia e rugosidade do terreno e dos obstáculos vizinhos. Os valores dos coeficientes de pressão podem ser obtidos através de bancos de dados de estudos realizados em túneis de vento (AKINS et al., 1977; ALLEN, 1984; LIDDAMENT, 1986; SHARAG-ELDIN, 2007; SWAMI & CHANDRA, 1988). Outros autores desenvolveram modelos computacionais com base em estudos realizados em túneis de vento, que permitem determinar os valores de C_p (GROSSO, 1992; KNOLL et al., 1996).

Os valores de coeficientes de pressão para os casos mais frequentes de edifícios com geometria retangular, em Portugal, são definidos no Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1988).

2.2.3 Ventilação Natural por Combinação de Efeitos

A combinação do efeito da temperatura e da ação do vento pode tornar a ventilação natural mais eficiente, uma vez que garante a renovação de ar e mantém o ambiente interior mais confortável. No entanto, as forças exercidas por estes dois efeitos podem tomar o mesmo sentido ou sentidos contrários.

Assim, no estudo da ventilação natural em edifícios deve-se ter em conta estes dois efeitos de forma que estes se complementem e não se anulem, uma vez que a oposição do efeito do vento sobre o efeito da temperatura (efeito chaminé) provoca o refluxo do ar a ser removido e não promove a renovação de ar no ambiente interior (ver Figura 2.10).

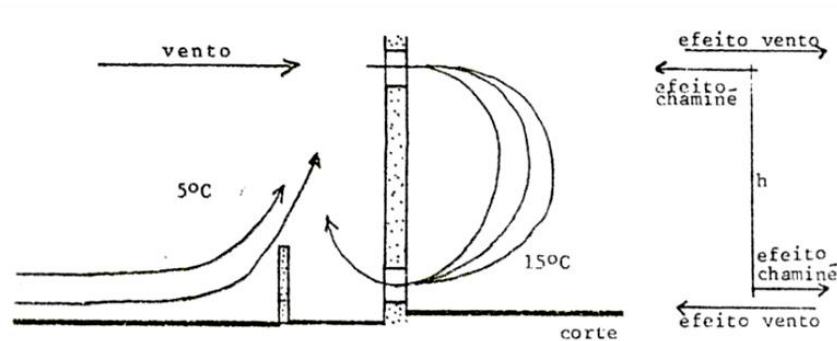


Figura 2.10 – Representação de uma má combinação entre efeito chaminé e por ação dos ventos (FROTA & SCHIFFER, 2000)

2.3 Fatores que condicionam o processo de Ventilação Natural

A eficiência dos sistemas de ventilação natural está condicionada por fatores de natureza distinta, que influenciam o desempenho energético e ambiental de um edifício. Estes fatores podem dividir-se em dois grupos:

- Fatores climáticos – radiação solar, temperatura, humidade e vento;
- Fatores arquitetónicos – características do local de implantação, soluções construtivas, exposição ao vento das fachadas, geometria do edifício, tipologia do edifício, características das aberturas interiores e exteriores e organização dos compartimentos do edifício.

2.3.1 Clima Urbano

O clima encontrado num ambiente urbano é ligeiramente diferente daquele que se encontra no ambiente periférico rural. Isto é, zonas mais urbanizadas e densas apresentam um acréscimo de temperatura devido ao fenómeno designado por ilha de calor (SANTAMOURIS, 2007). As principais causas deste fenómeno são as formas urbanas, a estrutura da cidade e o calor libertado pelos veículos. Adicionalmente, ao contrário do que se passa em zonas rurais, as zonas urbanas apresentam áreas reduzidas de vegetação e uma maior concentração de materiais artificiais com um grande poder de absorção. Quando a radiação solar incide nestes materiais é absorvida e armazenada e no final do dia esta radiação é devolvida ao ambiente.

O ar que se encontra no ambiente urbano além de ser mais quente carrega com ele poluentes que podem acrescer o efeito de ilha de calor. Isto é, quando o ar quente se move das zonas mais urbanas para as zonas periféricas arrefece e precipita. Quando o ar mais frio da periferia se dirige para o centro urbano carrega com ele os poluentes e cria-se assim um ciclo que promove a formação de uma camada que bloqueia a radiação do ambiente urbano para a atmosfera.

Uma vez que no meio urbano existem muitos obstáculos à passagem do vento, a rugosidade junto ao solo é maior e como consequência o efeito de fricção ao fluxo do ar é acrescido. Deste modo a velocidade do vento também difere do meio urbano para o meio rural.

A poluição e o ruído exterior também caracterizam o ambiente urbano e constituem os principais problemas associados à utilização de ventilação natural.

Nos centros urbanos, a poluição exterior apresenta-se como o principal problema à utilização desta estratégia. De acordo com Stanners e Bourdeau (1995), cerca de 80% das grandes cidades europeias excedem os limites de poluição impostos pela Organização Mundial de Saúde pelo menos uma vez por ano (STANNERS & BOURDEAU, 1995).

Relativamente ao ruído, os mesmos autores verificaram que 10 a 20% dos habitantes de zonas urbanas estão expostos a níveis de ruído inaceitáveis, superiores a 65dB (STANNERS & BOURDEAU, 1995).

2.3.2 Influência das aberturas no processo de ventilação natural

O processo de ventilação natural deve garantir uma correta distribuição do fluxo de ar de forma que não comprometa a saúde e o conforto dos ocupantes. As aberturas assumem um papel fundamental na distribuição do fluxo de ar no interior dos edifícios. A configuração do fluxo de ar no interior de um edifício está dependente de três fatores principais: o tamanho e localização das aberturas de entrada e saída de ar, tipo e configuração das aberturas e localização de outros elementos arquitetónicos próximos das aberturas.

Tamanho e localização das aberturas

A velocidade e a distribuição do fluxo de ar no interior dos edifícios são fortemente influenciadas pelo tamanho e localização das aberturas de entrada e saída do ar.

Nos estudos desenvolvidos por Givoni (1976) em túneis de vento, a dimensão das aberturas foi correlacionada com a orientação do vento (testes realizados com orientações de 45° e 90°) como mostra a Figura 2.11.

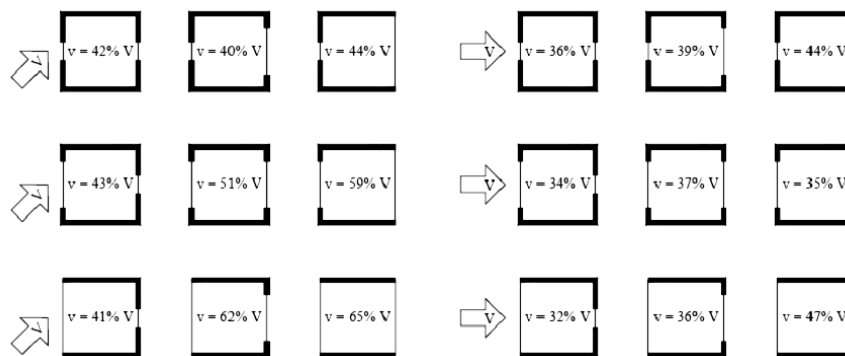


Figura 2.11 – Velocidade interna média em função da relação entre o tamanho das aberturas de entrada e saída e direção do vento para 45° e 90° (Givoni, 1976)

Os resultados obtidos mostram que quanto maior for a razão entre as aberturas, melhores são as condições de ventilação. A adoção deste procedimento na arquitetura dos edifícios pode proporcionar um fluxo de ar contínuo mesmo quando as condições exteriores não sejam as mais favoráveis. Este estudo revela também que são atingidas maiores velocidades de escoamento quando a dimensão da abertura de entrada é inferior à abertura de saída.

Localização das aberturas

A distribuição do fluxo de ar está também dependente da localização das aberturas, em função da qual o fluxo pode ocorrer de forma mais concentrada ou dispersa no interior do edifício (SEQUEIRA, 2010).

De uma forma geral, a colocação de aberturas em diferentes fachadas produz gradientes de pressão em vários pontos do espaço. Neste contexto, a utilização de ventilação cruzada contribui para a redução de zonas de estagnação de ar.

Para melhorar a eficiência da ventilação natural torna-se necessário ter em conta as aberturas que se encontram num nível inferior das fachadas, uma vez que estas promovem a entrada de ar mais límpido do exterior (considerando que este não contém níveis de poluentes significativos), e ter também em consideração as aberturas em pontos mais altos, pois estas permitem eliminar de forma mais eficiente o ar quente e viciado, em intervalos de tempo reduzidos (SEQUEIRA, 2010).

Os estudos desenvolvidos por Givoni (1976) demonstraram que se pode obter uma ventilação mais eficaz quando as aberturas de entrada e saída se encontram a alturas diferentes. Os resultados obtidos demonstram ainda que as aberturas a meia altura têm maior incidência sobre os ocupantes, podendo causar desconforto térmico e também deslocação de papéis quando colocados em secretárias (ver Figura 2.12).

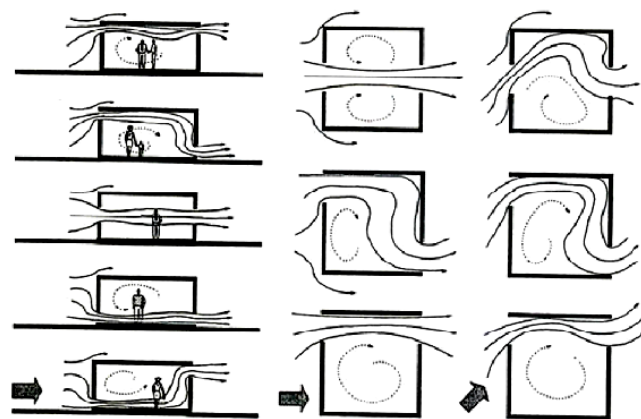


Figura 2.12 – Distribuição do fluxo de ar relacionado com a localização das aberturas para uma do vento de 45° e 90° (TRINDADE, 2006)

Elementos arquitetónicos junto às aberturas

A existência de elementos de obstrução verticais ou horizontais na proximidade das aberturas pode constituir um obstáculo à passagem do vento. As varandas, marquises, beirais, ou sistemas de sombreamento (palas horizontais ou verticais) são facilmente encontradas nos edifícios, podendo redirecionar o fluxo do ar em volta do edifício, como mostra a Figura 2.13.

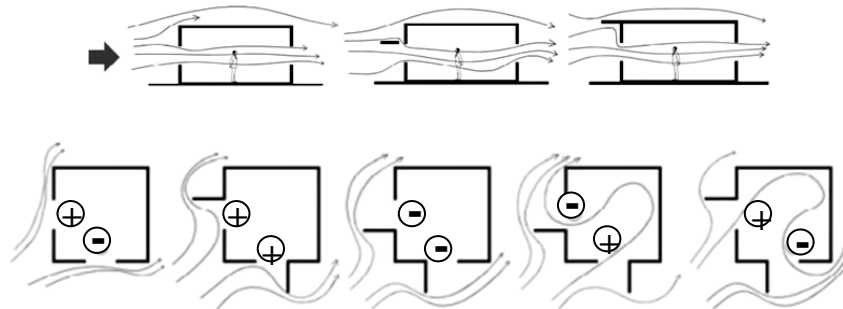


Figura 2.13 – Efeito das projeções horizontais e verticais na movimentação do fluxo do ar (adaptado de CÂNDIDO, 2006; TRINDADE, 2006)

A colocação de projeções verticais pode influenciar a movimentação de ar no interior do edifício, no entanto este efeito só ocorre devido à existência de zonas de sobrepessão (pressão positiva) e de depressão (pressão negativa). A colocação de elementos verticais que não proporcionem zonas de pressão com sinal contrário, não favorece a movimentação de ar para no interior do edifício.

Tipologia das aberturas

A tipologia das aberturas pode oferecer maior ou menor resistência à passagem de ar influenciando a ventilação do ambiente interior (ver Figura 2.14).

A existência de infiltrações junto às aberturas não proporciona uma renovação de ar controlada e no período do ano em que as temperaturas são mais baixas pode provocar desconforto térmico aos ocupantes. O conhecimento da tipologia de aberturas existente pode ajudar no controle mais eficaz da entrada e saída de ar no interior dos edifícios.

Atualmente, existe uma variedade de caixilharias como as pivotantes e as basculantes que permitem ao utilizador controlar o fluxo e por conseguinte garantir melhores condições de

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

ventilação. Estes tipos de aberturas são favoráveis para a ventilação noturna, no entanto inviabilizam a colocação de proteções solares, como estores e persianas, pelo lado exterior do edifício


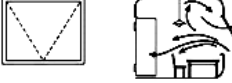
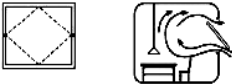
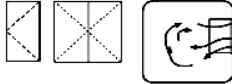


<p>Janela basculante inferior</p> 	<p>Janela basculante superior</p> 
<p>Janela pivotante horizontal</p> 	<p>Janela abrir duas folhas</p> 
<p>Janela pivotante vertical</p> 	<p>Janela de correr</p> 

Figura 2.14 – Movimentação do fluxo de ar de acordo com a tipologia das aberturas (FIGUEIREDO, 2007)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os edifícios que foram alvo de estudo na presente dissertação e a descrição dos procedimentos utilizados nas medições realizadas *in situ*, visando caracterizar a QAI em edifícios de serviço. É também apresentado o programa de simulação utilizado para prever o desempenho do edifício em função das estratégias de ventilação natural estudadas, assim como todos os parâmetros necessários para a realização da simulação numérica realizada.

3.1 Medição *in situ* da qualidade do ar interior

Antes de proceder às medições da qualidade do ar interior (QAI) *in situ* foi pedido aos ocupantes que preenchessem um inquérito relativo à perceção dos mesmos à qualidade do ar interior. O inquérito possui questões relativas ao grau de satisfação com temperatura interior, humidade e QAI, à existência de sinais de insalubridade do ar interior (bolor, poeira no ar, odores a mofo, etc.), à existência de algum sintoma de doença (dores de cabeça, tosse, etc.) e à influência desses parâmetros na produtividade das suas atividades laborais. Este inquérito encontra-se disponível no anexo A I.

A avaliação da qualidade do ar interior dos edifícios de serviço foi realizada através da medição *in situ* dos seguintes poluentes químicos: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), formaldeído (CHOH), partículas suspensas no ar (PM₁₀) e ozono (O₃). A medição dos níveis de poluentes microbiológicos, bactérias, fungos e legionella e de radão, não foi realizada, porque o tempo necessário à sua realização era muito demorado para o tempo disponível para a realização das medições. A descrição dos equipamentos utilizados para a realização destas medições encontra-se no anexo A II.

A realização da avaliação da qualidade do ar interior teve em conta as recomendações da Nota Técnica NT-SCE-02 (2009) relativamente à metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE (ADENE et al., 2009b). Nesta Nota Técnica são definidas as medições de poluentes a ser realizadas em auditorias de QAI, assim como a metodologia dos ensaios e as características dos equipamentos (ADENE et al. 2009b).

Para a avaliação da qualidade do ar interior foram estudados dois edifícios de serviço (Edifício A e Edifício B) existentes na zona de Guimarães.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Nesses edifícios foram definidos previamente os compartimentos onde seriam realizadas as medições, tendo em conta o tipo de ocupação, volume, orientação e área das aberturas. Em cada um desses compartimentos, para cada um dos poluentes foram realizadas no mínimo três medições de 5 minutos, em três pontos distintos, respeitando as recomendações da Nota Técnica NT-SCE-02 (ADENE et al., 2009b).

Na realização dos ensaios não foi imposta qualquer alteração à ocupação e ao habitual funcionamento das atividades desenvolvidas nos compartimentos.

Os valores obtidos nas medições foram comparados com os valores regulamentares indicados no Decreto-Lei 79/2006 (RSECE, 2006). Para cada poluente, em cada compartimento, foram ainda estudadas as suas possíveis origens e as estratégias de mitigação para os mesmos.

As concentrações dos poluentes medidos em ppm devem ser convertidos em mg/m^3 , e normalizados para os valores de referência de pressão e temperatura

A concentração normalizada $C_{\text{normalizada}}$ é dada pela equação (2.1).

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} * \frac{P_{\text{medida}}}{P_{\text{normalizada}}} * \frac{T_{\text{normalizada}}}{T_{\text{medida}}} \quad (3.1)$$

Onde:

$C_{\text{normalizada}}$ – Concentração normalizada do poluente (mg/m^3);

C_{medida} – Concentração normalizada do poluente medida (mg/m^3);

$T_{\text{normalizada}}$ – Temperatura normalizada (293 K);

T_{medida} – Temperatura medida (K);

P_{medida} – Pressão atmosférica medida (kPa);

$P_{\text{normalizada}}$ – Pressão atmosférica normalizada (101,3 kPa).

Esta expressão pode ser simplificada obtendo a equação (3.2)

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{101,3} \times \frac{293}{T_{\text{medida}}} \quad (3.2)$$

Na Tabela 3.1 apresentam-se os fatores de conversão de gases em frações molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m^3) normalizados à temperatura de 293K (20°C) e à pressão de 101,3kPa (ADENE et al., 2009b).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 3.1 – Fatores de conversão em frações molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m^3)

Parâmetro	Fatores de Conversão
Dióxido de carbono (CO_2)	$1 \text{ ppm} = 1,83 \text{ mg}/\text{m}^3$ $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,54 \text{ ppm}$
Ozono (O_3)	$1 \text{ ppm} = 2 \text{ mg}/\text{m}^3$ $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,5 \text{ ppm}$
Formaldeído (CHOH)	$1 \text{ ppm} = 1,25 \text{ mg}/\text{m}^3$ $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,8 \text{ ppm}$
Monóxido de carbono (CO)	$1 \text{ ppm} = 1,164 \text{ mg}/\text{m}^3$ $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,86 \text{ ppm}$

Além da avaliação do nível de poluentes, foi feita uma análise da temperatura interior e humidade relativa, comparando os valores obtidos pelas medições com os valores de referência preconizados pelo RSECE, a fim de avaliar o impacto destes dois parâmetro na qualidade do ar interior.

3.2 Descrição dos edifícios avaliados

Edifício A

O edifício A está implantado no centro histórico da cidade de Guimarães, numa zona com circulação automóvel restrita.

A zona envolvente caracteriza-se pela existência de edifícios antigos e por alguns espaços verdes com árvores e arbustos. A altura destes edifícios é na sua maioria semelhante à do edifício em estudo. A Figura 3.1 apresenta a localização do Edifício A.

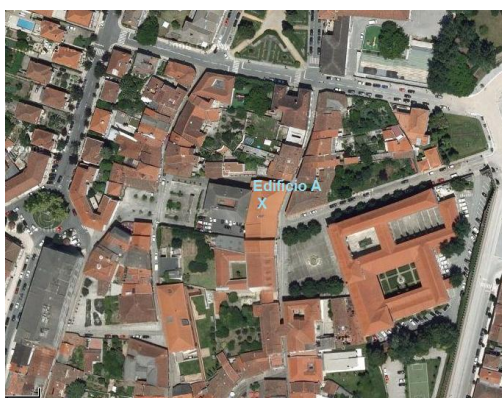


Figura 3.1 – Localização do Edifício A (Google Maps, 2012)

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

A tipologia do edifício corresponde à de um edifício em banda e a orientação do seu alçado principal aproxima-se das coordenadas cartesianas Sudeste. Este edifício é composto por dois pisos, cada um com um pé-direito de aproximadamente 3 metros.

Relativamente à arquitetura do edifício, este apresenta uma geometria irregular delimitada exteriormente por fachadas em alvenaria de granito e por uma cobertura inclinada em telha cerâmica de barro vermelho.

Os envidraçados existentes são constituídos por vidro simples e caixilharia de madeira quadrangular, a forma de abertura de janelas é do tipo guilhotina e apresentavam um sistema sombreamento constituído por portadas interiores.

Os acabamentos interiores são em tinta para as paredes e de madeira para os pavimentos e tetos.

O edifício apresenta ainda um sistema de climatização do tipo *split* que se localizava na fachada oposta ao alçado principal.

Na Figura 3.2 apresentam-se as plantas de piso do Edifício A, estando assinalados os compartimentos onde foram realizadas as medições da QAI. As características destes compartimentos encontram-se listadas na Tabela 3.2

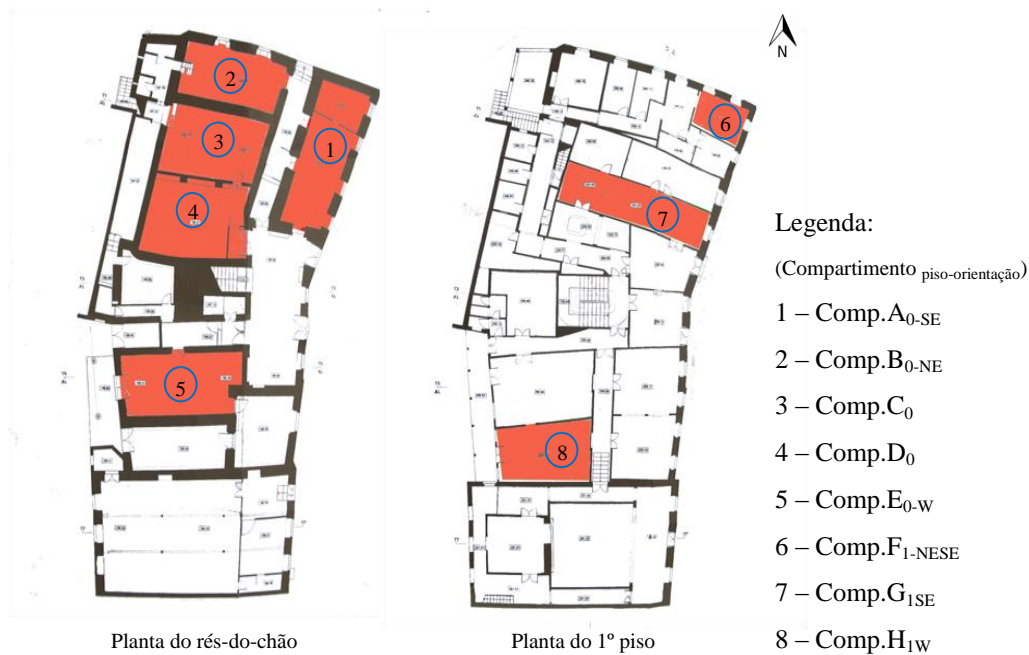


Figura 3.2 – Localização dos compartimentos do Edifício A onde a QAI foi avaliada

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 3.2 – Características dos compartimentos avaliados *in situ* do Edifício A

Compartimento	Ocupação	Conteúdo
Comp.A _{0-SE}	Cinco ocupantes	Mobiliário em Madeira, equipamentos de escritório (8 computadores, 6 impressoras, 1 fax), empilhamento de papéis nas secretárias
Comp.B _{0-NE}	Cinco ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (8 computadores, 3 impressoras)
Comp.C ₀	Sem ocupação	Mobiliário em alumínio (arquivadores e estantes), caixotes de papelão, papel
Comp.D ₀	Três ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (3 computadores, 2 impressoras)
Comp.E _{0-W}	Quatro ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (6 computadores, 3 impressoras), máquina de café
Comp.H _{1-W}	Três ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (3 computadores, 2 impressoras), uma carpete, uma porta envidraçada exterior
Comp.G _{1-SE}	Cinco ocupantes	Mobiliário de madeira, equipamentos de escritório (3 computadores, 2 impressoras)
Comp.F _{1-NESE}	Sem ocupação	Mobiliário de madeira, equipamentos de escritório (3 computadores, 2 impressoras)

Edifício B

O Edifício B corresponde a um edifício de serviço de construção recente (com aproximadamente 8 anos) e está implantado na cidade de Guimarães numa zona com circulação automóvel elevada.

A zona envolvente é pouco densa e constituída por edifícios com altura semelhante à do edifício em causa. A Figura 3.3 apresenta a localização do Edifício B.

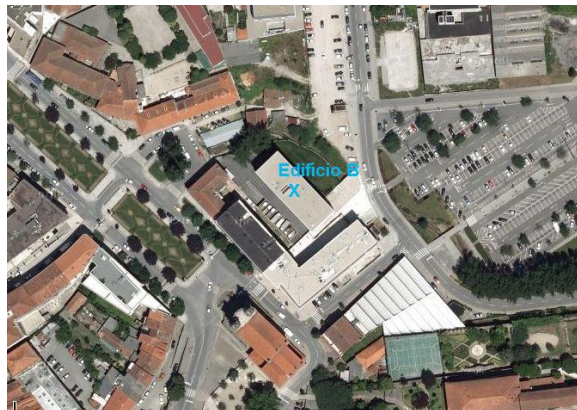


Figura 3.3 – Localização do Edifício B (Google Maps, 2012)

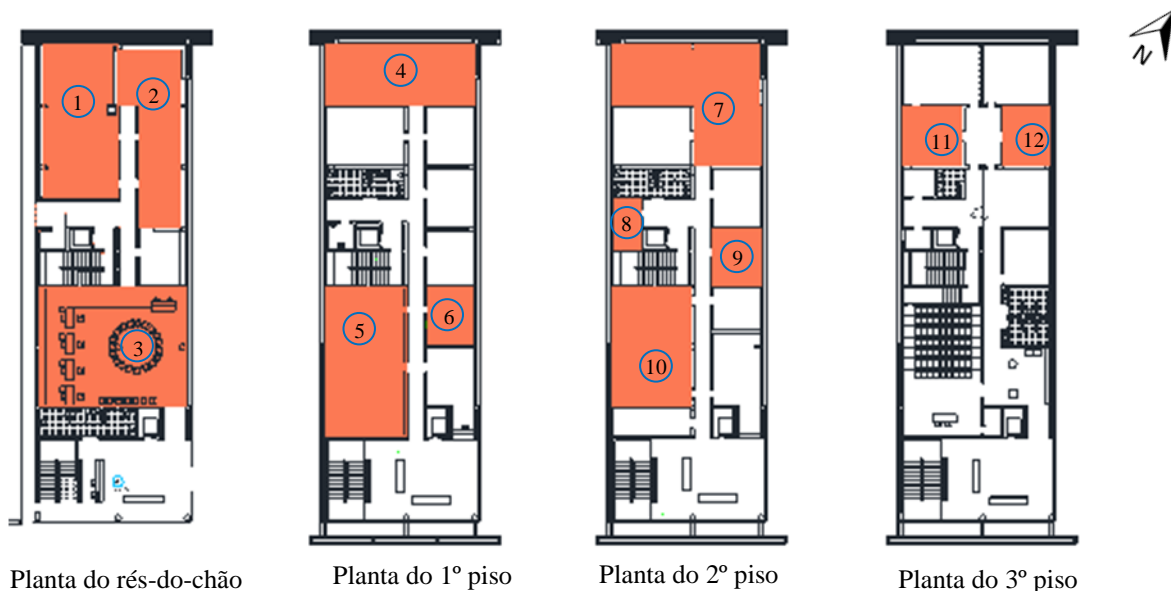
Este é um edifício isolado, com geometria prismática regular e constituído por cave, rés-do-chão e 3 pisos, com um pé direito de aproximadamente 3 m. A orientação do alçado principal é Nordeste e encontra-se muito exposta à ação do vento.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Os envidraçados existentes, são de vidro duplo e apresentam palas de sombreamento exteriores que reduzem a incidência de radiação solar. A abertura de janelas é do tipo basculante superior. Os acabamentos interiores são em tinta para as paredes e tetos e soalho de madeira para os pavimentos.

As condições de conforto do ambiente interior do edifício são garantidas recorrendo a sistema de climatização centralizado tudo ar, com difusores no teto e com uma bomba de calor com ciclo de aquecimento e arrefecimento localizado na cobertura.

Na Figura 3.4 apresentam-se as plantas de piso do Edifício A, estando assinalados os compartimentos onde foram realizadas as medições da QAI. As características destes compartimentos encontram-se listadas na Tabela 3.3.



Legenda (Compartimento_{piso-orientação}):

1 – Comp.a _{0-SW}	4 – Comp.d _{1-NW}	7 – Comp.g _{2-NWNE}	10 – Comp.j _{2-SW}
2 – Comp.b _{0-NE}	5 – Comp.e _{1-SW}	8 – Comp.h _{2-SW}	11 – Comp.k _{3-SW}
3 – Comp.c _{0-NE}	6 – Comp.f _{1-NE}	9 – Comp.i _{2-NE}	12 – Comp.l _{3-NE}

Figura 3.4 – Localização dos compartimentos do Edifício B onde a QAI foi avaliada

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 3.3 – Características dos compartimentos avaliados *in situ* do Edifício B

Compartimento	Ocupação	Conteúdo
Comp.c _{0-NE}	3 ocupantes	Balcão de receção, cadeiras em plástico, 2 ventoinhas em funcionamento. Equipamentos de escritório (6 computadores, 3 impressoras)
Comp.b _{0-NE}	2 ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (6 computadores, 3 impressoras)
Comp.a _{0-SW}	4 ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (5 computadores, 4 impressoras)
Comp.f _{1-NE}	2 ocupantes	Mobiliário em madeira, equipamentos de escritório (6 computadores, 3 impressoras), máquina de café
Comp.i _{2-NE}	Sem ocupação	Arquivadores em alumínio, caixotes de papelão, amontoamento de papéis, 1 desumificador
Comp.d _{1-NW}	1 ocupante	Mobiliário de madeira, equipamentos de escritório (4 computadores, 1 impressora)
Comp.g _{2-NWNE}	4 ocupantes	Mobiliário de madeira, equipamentos de escritório (12 computadores, 9 impressoras), acumulação de papéis
Comp.e _{1-SW}	3 ocupantes	Mobiliário de madeira, equipamento de escritório (12 computadores, 5 impressoras), amontoamento de papéis, estantes com livros
Comp.j _{2-SW}	4 ocupantes	Mobiliário de madeira, equipamento de escritório (4 computadores, 3 impressoras), sucata informática
Comp.h _{2-SW}	Sem ocupação	Equipamentos de impressão, 2 fotocopiadoras, um mini frigorífico
Comp.l _{3-NE}	3 ocupantes	Mobiliário de madeira, equipamentos de escritório (2 computadores, 1 impressora)
Comp.k _{3-SW}	Sem ocupação	Mobiliário de madeira, 1 computador

3.3 Simulação Numérica

As simulações paramétricas do presente estudo avaliaram o impacto de várias estratégias de ventilação natural com o objetivo de otimizar as condições de conforto térmico e da qualidade do ar interior comparativamente ao Caso Base, situação atual. O Caso Base apresenta-se como o caso comum em que perante a existência de um sistema de climatização que permite estabelecer as condições de conforto térmico desejáveis, existe uma despreocupação por parte dos ocupantes em abrir as janelas.

As estratégias de ventilação adotadas foram as seguintes: ventilação unilateral diurna, ventilação unilateral diurna seletiva, ventilação unilateral noturna, ventilação cruzada diurna e ventilação cruzada noturna.

Para a **ventilação unilateral diurna seletiva**, considerou-se que as janelas se encontravam abertas entre as 8 horas e as 20 horas durante todo o ano, caso as condições de temperatura o permitam.

Para a **ventilação unilateral diurna**, as janelas encontravam-se abertas das 8 horas às 20 horas durante todo o ano.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No caso da **ventilação unilateral noturna**, as janelas encontravam-se abertas das 20 horas até às 8 horas do dia, durante todo o ano.

Relativamente à **ventilação cruzada diurna**, além das janelas se encontrarem abertas entre as 8 e as 20 horas, foi considerada a abertura das portas interiores proporcionando maiores trocas de ar entre os diversos espaços interiores.

E por fim, a **ventilação cruzada noturna**, além das janelas se encontrarem abertas entre as 20 e as 8 horas, foi considerada a abertura das portas interiores proporcionando maiores trocas de ar entre os diversos espaços interiores.

Através destas estratégias foram contabilizadas as taxas de renovação de ar e comparados com valores mínimos exigidos RSECE para manutenção da QAI.

Para avaliar o efeito dessas estratégias na carga térmica do ambiente interior foi contabilizado o número de graus-hora de desconforto, isto é o somatório da diferença de temperatura horária, quando esta é superior a 25°C na estação de arrefecimento e inferior a 20°C na estação de aquecimento (Figura 3.5).

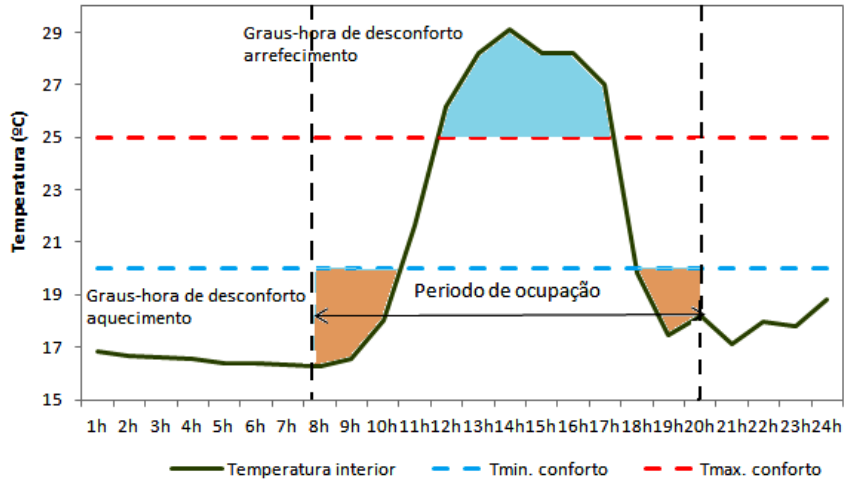


Figura 3.5 – Determinação do número graus-hora de desconforto de arrefecimento e aquecimento

As equações (3.3) e (3.4) permitiram obter o número de graus-hora de desconforto por arrefecimento e aquecimento

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

$$GrausHora_{arref} = \sum (Temp - 25 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (3.3)$$

$$GrausHora_{aquec} = \sum (20^\circ\text{C} - Temp) \quad (3.4)$$

Onde:

Temp – Valor de temperatura num determinado instante (°C)

Posteriormente foram determinados os consumos energéticos a partir da energia necessária para estabelecer as condições de conforto térmico.

No final adotando determinadas características para o sistema de climatização foram determinados os custos associados às estratégias de ventilação.

As características adotadas para o sistema de climatização encontra-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Características dos sistemas de climatização (ADENE et al., 2010; RCCTE, 2006)

Parâmetro	Aquecimento (caldeira - gás natural)	Arrefecimento (Bomba de calor -eletricidade)
Poder calorífico inferior	10,5	-
Rendimento	0,9	3,0
Custo Unitário	0,062	0,1221

Para obter os consumos e custos com os aparelhos de climatização utiliza-se a equação (3.5) (ADENE et al., 2010).

$$Custo\ Total = \frac{E}{PCI \times \eta} \times C_u \quad (3.5)$$

Onde:

C_u – Poder calorífico Inferior (kW.h/m³);

η – Rendimento;

PCI – Custo Unitário (€/kW).

A simulação numérica teve como programa de base o EnergyPlus onde, por intermédio de simulações, foram estimadas as renovações de ar e o impacte das mesmas nas condições do conforto térmico.

Uma vez que as simulações no EnergyPlus são muito morosas e implicam a manipulação e escolha criteriosa de um vasto número de parâmetros, apenas se analisou o desempenho da ventilação natural num dos edifícios (Edifício A).

Os motivos que levaram à escolha do programa EnergyPlus estão consubstanciados nas suas características que se descrevem já de seguida.

3.3.1 Programa de simulação EnergyPlus

O programa de cálculo utilizado para a simulação numérica realizada na dissertação foi o EnergyPlus correspondente à versão 6.0.

O EnergyPlus foi criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos baseado nos programas Blast e DOE-2, com o objetivo de calcular a carga térmica e os consumos energéticos dos sistemas de climatização de edifícios.

O EnergyPlus permite criar um modelo a partir da informação das condições meteorológicas, das características da envolvente e dos elementos construtivos do edifício, dos padrões de utilização e dos sistemas de climatização, obter simulações horárias para estimar a temperatura interior e os consumos energéticos dos sistemas de climatização.

Uma das potencialidades do EnergyPlus prende-se com o facto de permitir obter simulações para intervalos inferiores a uma hora, possibilitando uma análise mais detalhada do comportamento térmico do edifício ao longo do dia.

A estrutura do programa é modular e é essencialmente composta por 3 componentes: Módulo de Simulação (*Simulation Manager*), Módulo de Simulação Balanço Térmico e de Massa (*Heat and Mass Balance Simulation Module*), Módulo de Simulação de Sistemas (*Building Systems Simulation Module*). A Figura 3.6 apresenta de forma esquemática a estrutura modular do EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2010a).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

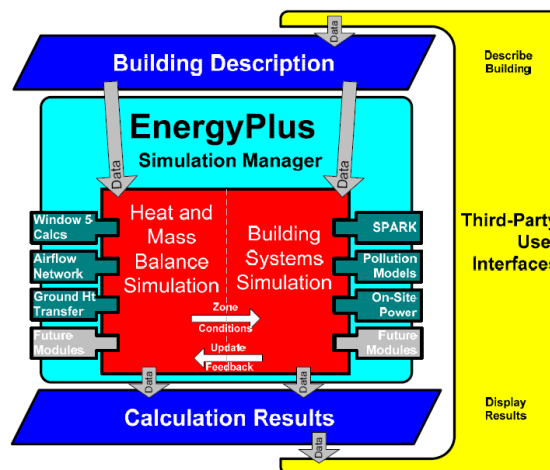


Figura 3.6 – Estrutura modular do EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2010a)

O Módulo de Simulação coordena os restantes módulos nas suas ações individuais. O Módulo de Balanço Térmico e Massa utiliza os princípios de conservação de energia e massa no cálculo de transferência de energia entre zonas. O Módulo de Simulação dos Sistemas estabelece a ligação entre a equação de balanço de calor e o módulo dos sistemas de climatização.

A validação do EnergyPlus foi obtida através de vários testes padrões, analíticos (comparações com soluções matemáticas), comparativos (comparando com outros programas, BESTEST, ASHRAE 140), de sensibilidade (comparando pequenas alterações dos dados com uma base) e empíricos (comparação com dados experimentais) (ASHRAE 140, 2001; WITTE et al., 2001; NEYMARK & JUDKOFF, 2002).

O modelo de ventilação presente no EnergyPlus foi validado comparando os resultados do modelo com os dados de medições realizadas no Laboratório Nacional de Oak Ridge (ORNL) e no Centro de Energia Solar da Flórida (FSEC) (ENERGYPLUS, 2010a).

O modelo de cálculo associado à ventilação natural é designado por *AirflowNetwork*. Este modelo calcula o fluxo de ar entre zonas e o exterior através de frinchas e aberturas de janelas e portas, sendo necessário o conhecimento das características da envolvente, das condições das aberturas e das condições de ventilação.

O *AirFlowNetwork* contém partes da rotina de cálculo da versão mais recente do COMIS e partes da rotina de cálculo do programa AIRNET. (ENERGYPLUS, 2010a). O programa

AIRNET foi desenvolvido por George Walton do NIST (*Nacional Institute of Standards and Technology*) (ENERGYPLUS, 2010a). O programa COMIS foi desenvolvido por um conjunto de pesquisadores do Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley (ENERGYPLUS, 2010a). Inicialmente a modelagem de fluxo de ar no EnergyPlus estava associada ao COMIS, visto que possibilitava um maior número de interações com os modelos. A vertente deste modelo era essencialmente utilizada para calcular os fluxos de ar multizona através da interação do vento na envolvente do edifício.

Posteriormente, foi introduzido o modelo de um Sistema de Distribuição de Ar (ADS- *Air Distribution System*) que utilizava equações provenientes do AIRNET no cálculo dos fluxos de ar e das perdas de energia associadas aos mesmos. Durante algum tempo, estes dois programas estiveram inseridos no EnergyPlus onde desempenhavam funções. Atualmente a modelagem dos sistemas de ventilação é possibilitada pelo modelo *AirflowNetwork*. Neste modelo é possível o cálculo do fluxo de ar multizona juntamente com a simulação de um sistema de climatização permitindo controlar um sistema de ventilação híbrido.

Este programa permite manipular um vasto número de parâmetros que englobam tanto a envolvente interior como a envolvente exterior do edifício permitindo uma análise detalhada e aproximada da realidade.

De seguida apresentam-se os parâmetros adotados para a simulação do problema em estudo.

3.3.2 Dados de entrada necessários à simulação do problema em estudo.

Nesta secção são abordados todos os módulos utilizados no EnergyPlus para a preparação da simulação em estudo, assim como toda a informação necessária para a obtenção de uma simulação mais precisa e rigorosa.

Parâmetros de simulação (*Simulation Parameters*)

Neste módulo foram inseridos os dados necessários para definir o problema em estudo. Alguns desses dados correspondem à versão do software, ao tipo de distribuição solar, aos algoritmos de convecção interior e exterior e ao algoritmo de transferência de calor na envolvente do edifício.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No campo *Building* foram inseridos os dados relativos à orientação do edifício (110° em relação ao Norte), o tipo de zona de implantação (cidade), os valores de tolerância de convergência e de carga térmica, o tipo de distribuição solar e o número máximo de dias para verificação das convergências.

Para caracterizar o tipo de distribuição solar deve-se preferencialmente utilizar o tipo *Full Interior And Exterior*, onde o programa calcula a quantidade de radiação solar absorvida em cada superfície, incluindo pavimentos, paredes e envidraçados. Porém, o EnergyPlus apenas permite determinar a distribuição solar através do *Full Interior And Exterior* para edifícios com geometria convexa (ver Figura 3.7), o que não se verificou no edifício em estudo.



Figura 3.7 – Exemplos zonas convexas e zonas não convexas

O número de dias para verificação das convergências é pré-definido pelo programa como 25 dias.

Para o algoritmo de convecção interior utilizou-se o algoritmo *TARP*, definido por Walton, onde a variável de convecção natural se baseia na diferença de temperatura entre zonas e para o algoritmo de convecção exterior utilizou-se o algoritmo *DOE-2* que se baseia em medições realizadas por Klems e Yazdanian (ENERGYPLUS, 2010b).

Relativamente ao algoritmo de transferência de calor nas envolventes utilizou-se o *Conduction Transfer Function*, que considera apenas o calor sensível.

O campo *Timestep* permitiu definir o número de intervalos de tempo inferiores a uma hora em que a simulação decorrerá. De acordo com o programa foram definidos seis intervalos de tempo por hora, que é o valor mínimo para que sejam garantidos resultados seguros.

Localização e Clima (Location and Climate)

As condições climáticas do ambiente exterior assumem extrema importância nas condições de conforto térmico e da qualidade do ar em ambientes interiores, apresentando informações importantes para simulações da eficiência energética e de climatização de edifícios.

Ficheiros climáticos

Os ficheiros climáticos de uma localidade podem apresentar vários formatos e fontes, podendo resultar de medições efetuadas no próprio local ou na sua proximidade ou gerados por um programa específico para esse efeito com base em cálculos estatísticos (EERE, 2010).

O Departamento de Energia dos Estados Unidos da América dispõe de uma base de dados onde se pode encontrar ficheiros em formato “epw”, que podem ser utilizados no EnergyPlus. Estes ficheiros provêm do IWEC (Internacional Weather for Energy Calculations) e baseiam-se nas informações climáticas do Centro Nacional de Dados Climáticos dos Estados Unidos da América (EERE, 2010).

No caso do edifício em estudo, este encontrava-se na localidade de Guimarães, que não consta da lista de localidades disponíveis. Por isso, utilizou-se um ficheiro com características climáticas mais próximas das encontradas no local de implantação do edifício, que neste caso é o ficheiro climático da cidade do Porto.

Através deste ficheiro foram importadas para a base de dados do EnergyPlus as condições climáticas representativas dessa região tais como a temperatura do bolbo seco, a temperatura de bolbo húmido, a velocidade e a direção do vento.

Uma vez que o edifício está em contacto com o solo, foi necessário introduzir na base de dados do programa a temperatura do solo para cada mês do ano. Esta informação consta no ficheiro climático, no entanto o EnergyPlus não consegue importá-la diretamente para a sua base de dados. Por isso, foi introduzida essa informação manualmente através do campo *GroundTemperature: Building Surface*. Para o caso do Porto a temperatura do solo média mensal ronda os 15°C.

Neste módulo é ainda definido o período do ano em que decorrerá a simulação (*Run Period*). Uma vez que se pretende estudar o efeito das estratégias de ventilação na temperatura interior

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

e nos consumos energéticos dos equipamentos de climatização ao longo do ano, a simulação decorrerá entre 1 de Janeiro a 31 de Dezembro de um mesmo ano.

Elementos de construção (*Surface Construction Elements*)

A escolha dos materiais construtivos na fase de projeto apresenta um papel importante na melhoria da eficiência energética de um edifício. A troca de energia calorífica ocorre essencialmente pela envolvente exterior, porém no caso de compartimentos com diferentes temperaturas, estas trocas de calor também podem acontecer.

A transferência de calor num edifício pode ocorrer por intermédio de três mecanismos: condução, convecção e radiação. Para que ocorra condução ou convecção é necessária a existência de um meio material, no caso de radiação esta exigência não é aplicada.

O comportamento energético de um edifício está assim relacionado com as características físicas e térmicas dos materiais. Na Tabela 3.5 são apresentadas algumas características de materiais frequentemente utilizados na construção em Portugal e que foram adotados no edifício em estudo.

Tabela 3.5 – Características Físicas e Térmicas de materiais frequentemente utilizados na construção em Portugal

Material	Condutibilidade térmica W/m.K	Densidade kg/m ³	Calor Especifico J/kg.K	Absortância térmica	Absortância solar	Absortância Visível
Tijolo Furado	0,72	1920,00	837,00	0,90	0,75	0,75
Alvenaria pedra, granito	2,90	2650,00	837,00	0,90	0,55	0,55
Poliestireno expandido	0,04	25,00	1470,00	0,90	0,50	0,50
Argamassa de cimento	0,72	1856,00	837,00	0,90	0,75	0,75
Telha Cerâmica	0,60	1500,00	920,00	0,90	0,75	0,75
Betão estrutural	1,75	2500,00	837,00	0,90	0,65	0,65
Membrana impermeável	0,20	1000,00	1600,00	0,90	0,75	0,75
Estuque tradicional	0,65	1280,00	837,00	0,90	0,75	0,75
Soalho de madeira	0,15	500,00	837,00	0,90	0,75	0,75
Betonilha de regularização	1,65	2000,00	837,00	0,90	0,65	0,65

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Uma vez definidas as características físicas e térmicas dos materiais, definiram-se as soluções construtivas que formam os elementos construtivos do edifício (paredes, pavimentos e cobertura) no módulo *Construction*.

A solução construtiva das paredes exteriores é composta por um pano exterior em alvenaria de pedra granítica com 30 cm de espessura e um pano interior em alvenaria de tijolo cerâmico perfurado de 11 cm. Os panos estão separados por uma caixa-de-ar com 10 cm de espessura, parcialmente preenchida com placas de poliestireno expandido, com 5 cm de espessura, fixadas ao pano interior. O revestimento interior é composto por uma camada de reboco tradicional, com 2 cm de espessura.

A solução construtiva das paredes interiores é composta por um único pano em alvenaria de tijolo cerâmico perfurado de 20 cm, rebocado em ambos os lados por uma camada de reboco tradicional, com 2 cm de espessura.

A solução construtiva do pavimento em contacto com o solo é composta por uma soleira de betão com 16 cm de espessura colocada sobre uma camada de gravilha. Na superfície interior é colocado um isolante térmico, constituído por placas de poliestireno expandido com 8 cm de espessura. Sobre este é colocada ainda uma camada de regularização com 5 cm e um acabamento em soalho de madeira com 1 cm de espessura.

Os pavimentos interiores são constituídos por uma laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos de 24 cm de altura, com uma camada de compressão de 5 cm de espessura. Na face superior da laje é colocado o isolamento térmico constituído por placas de poliestireno expandido com 8 cm de espessura, seguido de uma lajeta com 5 cm de espessura. O revestimento do piso é constituído por soalho de madeira com 1 cm de espessura.

A cobertura é inclinada com revestimento em telha cerâmica de barro vermelho, espaço de ar pouco ventilado e laje de esteira constituída por (do exterior para o interior) 8 cm de poliestireno expandido, laje alveolar com 20 cm de espessura e reboco com 2 cm de espessura no acabamento interior.

Para a caracterização das portas, envidraçados e caixa-de-ar existentes entre os elementos construtivos o processo é mais simples. A caracterização da caixa-de-ar apenas implica a introdução do valor da sua resistência térmica. A descrição de portas implica a introdução da

condutividade térmica, o grau de rugosidade, calor específico e os coeficientes de absorção térmica, solar e visível.

A caracterização dos vidros utilizados foi feita no campo *Window Material Glazing*, onde é necessário introduzir os dados referentes à capacidade do vidro em transmitir, refletir e emitir a radiação incidente, e a sua condutibilidade térmica.

Para a caracterização dos envidraçados é ainda necessário definir as características das caixilharias que os compõem, sendo para isso necessário definir as suas dimensões, condutibilidade térmica, absorvância térmica e visível e emissividade. A informação referente às caixilharias deve ser introduzida no campo *Window Property: Frame and Divider*.

Zonas Térmicas e Superfícies (*Thermal Zones and Surfaces*)

Neste módulo foi definida toda a geometria do edifício, assim como as zonas e as superfícies que o delimitam interiormente e exteriormente.

A modelação da geometria do edifício através do IDF Editor torna-se numa das etapas mais laboriosas e suscetível à ocorrência de erros. A sua interface não possibilita ao utilizador observar a montagem do “esqueleto” do edifício em estudo.

Para facilitar esta etapa existem programas exteriores ao EnergyPlus, que permitem a construção do edifício num formato tridimensional, que possibilitam a visualização do edifício durante o processo de construção. A geometria criada nesses programas é posteriormente importada para os campos do EnergyPlus.

De entre muitos os programas destacam-se o DesignBuilder, o Ecotect, e o Sketchup (DESIGNBUILDER, 2007; ECOTECT, 2010; SKETCHUP, 2010). Estes programas além de permitirem criar a geometria do edifício, apresentam uma interface semelhante à existente no EnergyPlus, desde a adoção de materiais, criação de calendários (shedules), caracterização de sistemas de ventilação, adoção de elementos de sombreamento entre outros parâmetros.

Durante a criação da geometria do edifício foram definidas as várias zonas térmicas que se pretendia implementar e simular. A definição das zonas térmicas pertencentes ao edifício foi feita de acordo com o tipo de utilização e da capacidade de ventilação existente em cada

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

espaço associada à orientação das aberturas. No caso de zonas adjacentes com características semelhantes, precedeu-se ao seu agrupamento criando-se uma única zona térmica.

A adoção de zonas no EnergyPlus é conseguida com o preenchimento do campo *Zone*.

A Figura 3.8 e a Figura 3.9 apresentam a modelação tridimensional do edifício em estudo no programa Sketchup e as zonas térmicas consideradas para o Edifício A.

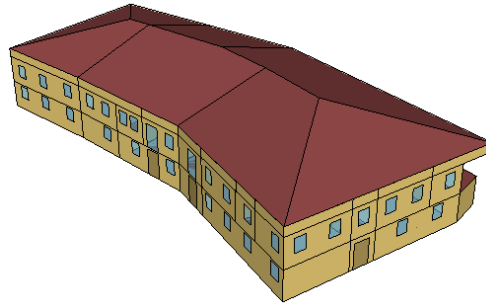
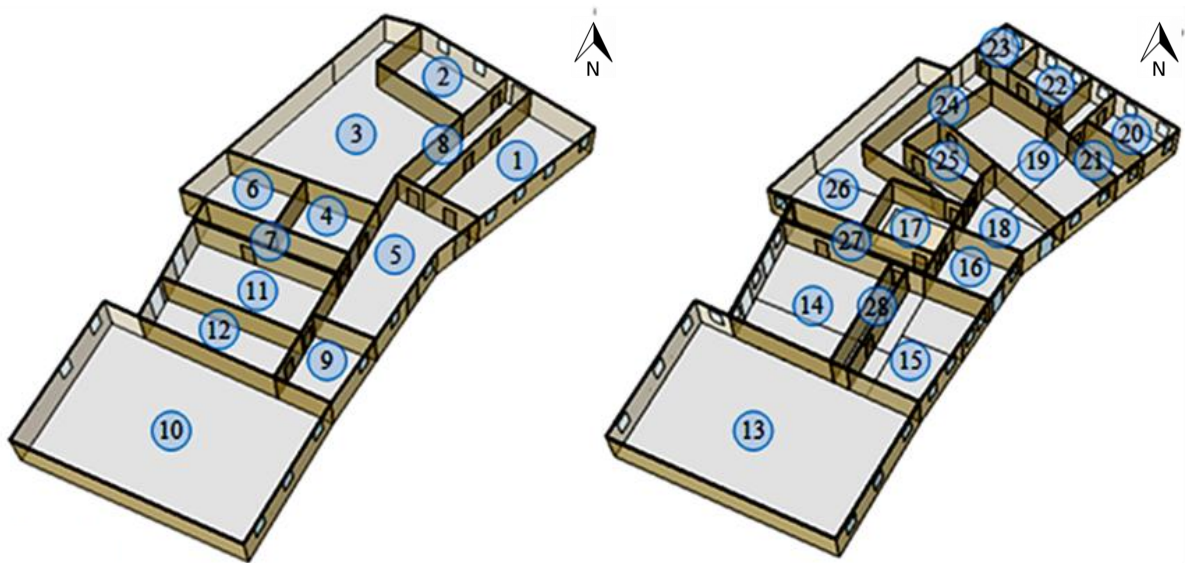


Figura 3.8 – Modelação 3D do edifício em estudo no programa Sketchup



Legenda [Zona Térmica (piso-orientação)]:

1 – Zon.A(0-SE)	7 – Cor.2(0)	13 – Zon.J(1-NWSE)	19 – Zon.O(1-SE)	21 – Zon.Q(1-SE)
2 – Zon.B(0-NE)	8 – Cor.1(0)	14 – Zon.K(1-W)	20 – Zon. P(1-NESE)	26 – Zon.U(1)
3 – Zon.C(0)	9 – Zon.F(0-SE)	15 – Zon.L(1-SE)	22 – Zon.R(1-NE)	27 – Cor.4(1)
4 – CE(0)	10 – Zon.G(0-NWSE)	16 – Zon.M(1-SE)	23 – Zon.S(1-NE)	28 – Cor.5(1)
5 – Zon.D(0-SE)	11 – Zon.H(0-W)	17 – CE(1)	24 – Cor.3(1)	
6 – Zon.E(0)	12 – Zon.I(0-W)	18 – Zon.N(1-SE)	25 – Zon.T(1)	

Figura 3.9 – Zonas térmicas consideradas para o Edifício A

Neste módulo podem ainda ser definidos os outros elementos constituintes dos envidraçados tais como caixilharias e elementos de sombreamento. Desta forma, procedeu-se ao preenchimento do campo relativo a caixilharias *WindowProperty Frame And Divider*.

Para isso, utilizou-se uma vez mais a informação existente no software Window 6 que contempla uma vasta base de dados com características de materiais, de vários fabricantes que podem ser utilizados no EnergyPlus (WINDOW 6, 2006).

Ganhos internos (*Internal Gains*)

Neste módulo foram caracterizados os ganhos internos de cada zona relativamente à ocupação, iluminação e equipamentos. Estes ganhos podem apresentar um impacto significativo nas temperaturas interiores e devem ser devidamente caracterizados.

Ocupação

A energia libertada por cada ocupante está associada à atividade metabólica que desempenha. De acordo com o manual do EnergyPlus, um ocupante com atividade de escritório produz entre 100 W a 150 W de energia (EnergyPlus, 2010a). Este valor é associado a cada ocupante por intermédio de um outro calendário que representa o calor metabólico libertado por cada ocupante.

O calor libertado por cada ocupante está também associado à roupa, desta forma considera-se que para o período de aquecimento, os ocupantes usavam roupa típica de Inverno (1 clo) e para o período de arrefecimento as pessoas utilizavam roupa típica de verão (0,5 clo).

A ocupação de cada zona é controlada por um calendário, que indica o número de ocupantes presentes numa zona para um determinado instante. Para definir o calendário é necessário conhecer a hora de entrada e saída de cada ocupante do local de trabalho.

Os ganhos associados à ocupação são diretamente proporcionais ao número de pessoas que ocupam o mesmo compartimento durante um determinado período do dia. Isto é, para reproduzir estes ganhos foi necessário definir o número de pessoas que ocupam cada compartimento que seria controlado por um calendário que corrige esse número hora a hora.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No Anexo XV do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE) encontram-se representados os padrões de referência de utilização para vários tipos de edifícios (RSECE, 2006). Para a presente simulação adotaram-se os valores representados pelo RSECE para edifícios associados a tribunais, ministérios e câmaras, e que constam na Figura 3.10.

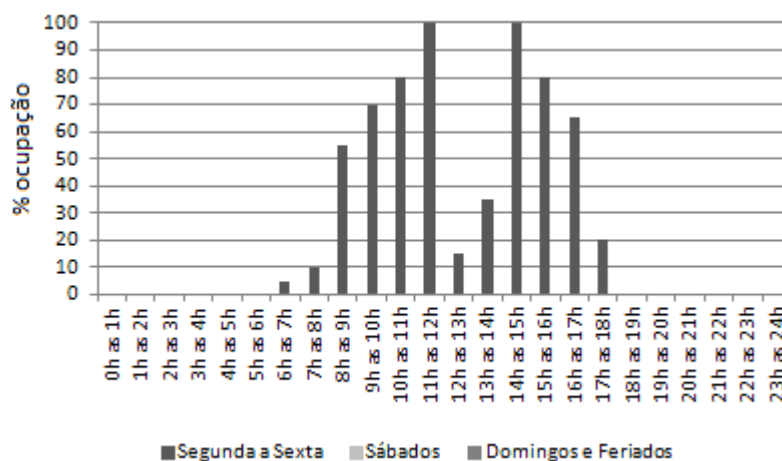


Figura 3.10 – Padrão de referência de ocupação para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmaras municipais (RSECE, 2006)

Equipamentos

Os ganhos associados aos equipamentos estão relacionados com o número e tipo de equipamentos que se encontram em funcionamento em cada compartimento e durante um determinado período de tempo. A energia libertada por cada equipamento está relacionada com a potência média de cada um deles, sendo que quanto maior for a potência maior é a energia libertada. O guia F da CIBSE (*Chartered Institution of Building Services Engineers*) apresenta algumas características de equipamentos frequentes em escritório, como potência média, tempo diário de utilização (ver Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Valores da potência média e tempo de uso para equipamentos de escritório (CIBSE, 2004)

Equipamentos	Potência média (W)	Tempo de uso diário (H)
Computador	120 - 175	4
Impressora jacto de tinta	40 - 80	1 - 2
Fotocopiadoras	120 - 1000	1 - 2
Fax	30 - 40	0,3 - 0,5

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Para o presente estudo utilizou-se o valor de ganhos caloríficos referenciado pelo RSECE, que para o caso de edifícios do tipo em estudo correspondem a 5 kW/m^2 .

Na Figura 3.11 encontra-se representado o padrão de utilização dos equipamentos de acordo com o RSECE (2006).

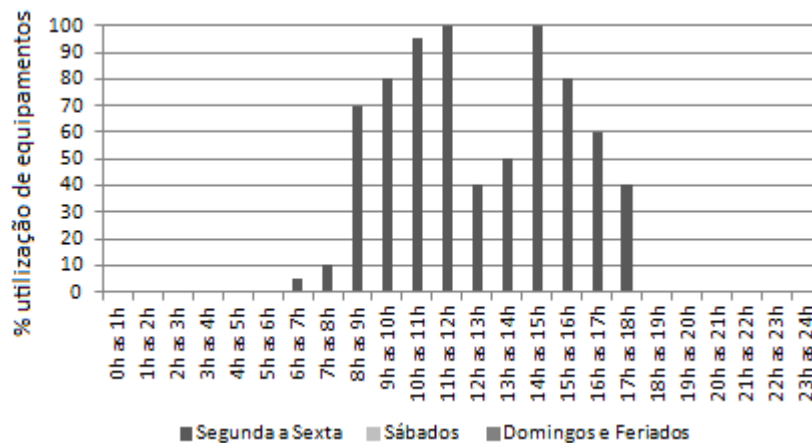


Figura 3.11 – Padrão de referência de utilização de equipamentos para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmara (RSECE, 2006)

Iluminação

Relativamente aos ganhos internos associados à iluminação, o RSECE é omissivo, por isso para a quantificação da energia libertada pela iluminação utilizou-se o valor definido pela CIBSE, que considera um valor médio de potência por área de pavimento de 12 W/m^2 em escritórios (CIBSE, 2004).

Além do valor de potência do sistema de iluminação, o EnergyPlus requer a introdução de valores referentes à fração de ar de retorno, fração radiante e fração visível, de acordo com a configuração do sistema de iluminação. Assumindo que o sistema de iluminação é do tipo *Surface Mount*, isto é, instalada na superfície do teto os valores admitidos foram os seguintes: fração ar de retorno, 0; fração radiante, 0.72; fração visível, 0,18 (ENERGYPLUS, 2010b).

Relativamente ao calendário de utilização do sistema de iluminação considerou-se o padrão de utilização definido no RSECE e que se encontra representada na Figura 3.12 (RSECE, 2006).

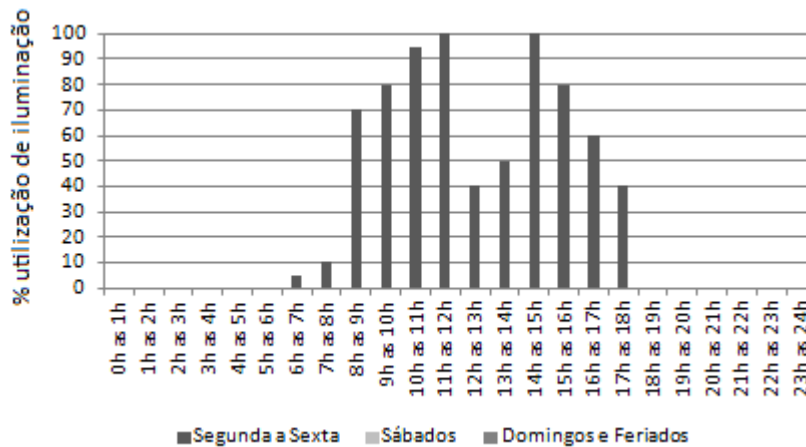


Figura 3.12 – Padrão de referência de utilização sistema de iluminação para edifícios do tipo tribunais, ministérios e câmara municipais (RSECE, 2006)

Definição da Rede de fluxo de ar

No módulo *AirflowNetwork* é calculado o fluxo de ar entre o interior e o exterior do edifício através das frinchas e da abertura de janelas, sendo para isso necessário fornecer ao programa informação sobre as características da envolvente do edifício e sobre as condições de abertura das janelas e portas.

No campo *AirflowNetwork Simulation Control* é definido o tipo de controlo para a ventilação e é definido se os coeficientes de pressão do vento são introduzidos pelo utilizador ou calculados pelo programa. Para o controlo de ventilação adotou-se neste estudo a função *Multizone Without Distribution*, que define que o cálculo de ventilação ocorre durante toda a simulação sem que o sistema de distribuição de ar seja definido.

Para determinar o fluxo de ar no interior do edifício é necessário inserir o nome das zonas térmicas que se pretende avaliar no campo *AirflowNetwork Multizone Zone*.

No módulo *AirflowNetwork Multizone Surface* são definidas as propriedades das aberturas relativamente ao nome do nó exterior ou fachada exterior a que estão associadas, fator de abertura e tipo de controlo de ventilação.

Controle de ventilação

No que diz respeito ao controle de ventilação, a abertura de janelas ou portas pode ser limitada por dois tipos de controlo distintos mas que podem ser usados simultaneamente, a temperatura e um calendário de abertura definido pelo utilizador.

No caso de as aberturas serem controladas pela temperatura, as portas e janelas são abertas quando a temperatura da zona é superior à temperatura exterior ou quando a temperatura da zona é superior à temperatura definida de atuação ou temperatura *setpoint* (20°C).

O controlo oferecido por um calendário ocorre independentemente das condições externas e internas do edifício, ou seja, as janelas e portas são abertas apenas no horário definido pelo utilizador.

Assim sendo, as opções de abertura foram: abertura constante controlada pelo calendário, e abertura controlada pela temperatura e pelo calendário.

No caso de as aberturas serem controladas pela temperatura o programa necessita de um outro fator designado de Modulador de Temperatura que varia entre 0 e 1 que é multiplicado pelo fator de abertura. A Figura 3.13 apresenta a função que caracteriza este fator.

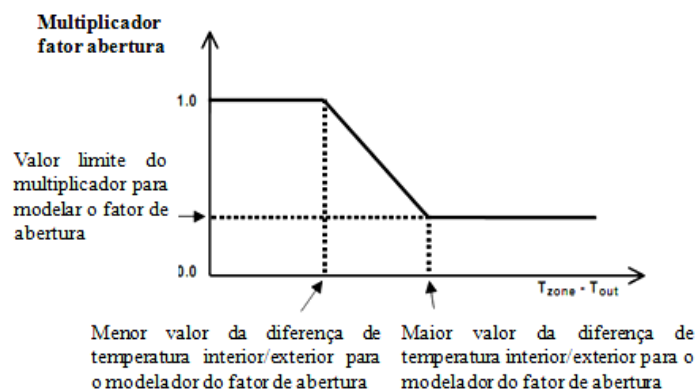


Figura 3.13 – Função do Modelador de Temperatura (adaptado ENERGYPLUS, 2010b)

O menor valor da diferença de temperatura entre o interior e exterior adotado para o controle das aberturas foi de 6°C , isto é, a partir do momento em que a diferença de temperaturas é maior ou igual a este valor, a janela começa a fechar-se. O maior valor de diferença de

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

temperatura entre o interior e o exterior foi de 10°C, isto é, quando a diferença de temperatura atingir os 10°C a janela encontra-se aberta em apenas 50% da sua área de abertura.

Pormenorização das componentes de abertura

A ventilação natural está dependente da tipologia das aberturas podendo oferecer maior ou menor resistência à passagem de ar. Deste modo, é necessário introduzir no EnergyPlus as características que definem a tipologia das aberturas existentes no edifício em estudo, utilizando para isso o campo *AirflowNetwork: Multizone Detailed Opening*.

A tipologia das aberturas existentes para efeito da ventilação natural correspondem a janelas largas e verticais (LVO), com 1,5 m de altura e 1,2 m de largura, sem pivotização. As janelas existentes são tipo guilhotina e por isso só pode ser considerada 50% da área de abertura total.

A este valor é necessário adicionar um outro fator que representa as possibilidades de abertura das janelas. O EnergyPlus exige no mínimo duas possibilidades de abertura para que seja realizada a interpolação entre esses valores pela multiplicação dos fatores de abertura. Caso as janelas se encontrem fechadas, o fator de abertura assume o valor de 0, caso contrário, na situação em que as janelas se encontram abertas, o fator de abertura assume o valor de 1.

Para além deste fator, outros são exigidos pelo programa como o fator de largura e o fator de altura das aberturas. A obtenção destes fatores encontra-se representada na Figura 3.14.

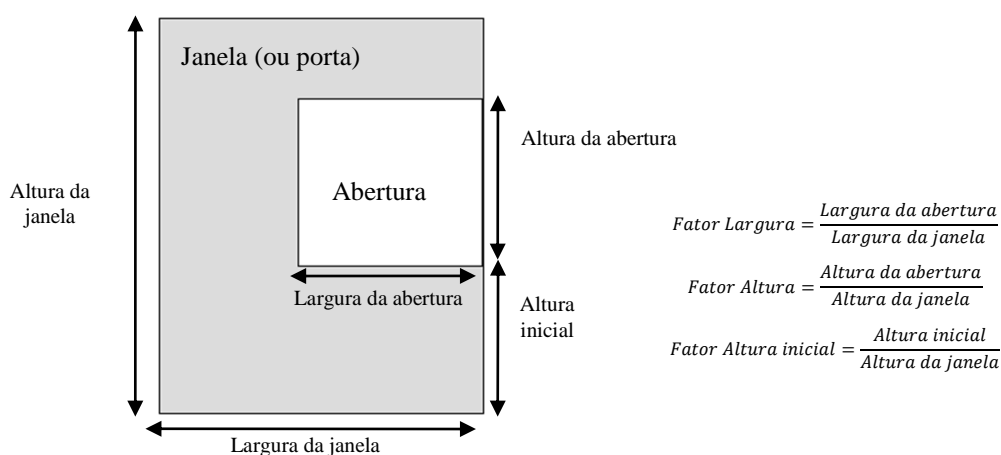


Figura 3.14 – Fatores de abertura (adaptado de ENERGYPLUS, 2010b)

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Uma vez definidas as possibilidades de abertura das janelas importa conhecer os coeficientes de descarga para os fatores de abertura correspondentes. De acordo com o que foi referido no ponto 2.2.1, adotou-se o valor de 0,6. Na situação em que as janelas se encontram fechadas é necessário definir o valor do expoente e coeficiente de fluxo e massa de ar.

A Tabela 3.7 apresenta os valores do expoente e coeficiente de fluxo de ar considerados para as aberturas existentes no edifício em estudo, baseando-se para isso na base de dados criada por Liddament (1986).

Tabela 3.7 – Valores dos expoentes e coeficientes de fluxo de ar adotados para janelas e portas (LIDDAMENT, 1986)

Abertura	Vedação	Material	Expoente de fluxo de ar (n)	Coefficiente fluxo de ar (kg/s.m)
Janela exterior- 2 Folhas Deslizamento vertical	Não	Madeira	0,66	0,00022
Porta Interior -1 Folha pivotante	Não	Madeira	0,59	0,00204
Porta Exterior -1 Folha pivotante	Sim	Madeira	0,64	0,00124

A Tabela 3.8 apresenta as dimensões dos vãos envidraçados existentes no edifício em estudo assim como os valores da Superfície Relativa de Área de Envidraçado (SRAE) e da Superfície Relativa de Área de Ventilação (SRAV). Os valores de SRAE foram obtidos pelo quociente entre a área de envidraçado e área de pavimento de cada zona. Os valores SRAV foram obtidos pelo quociente entre a área de ventilação e a área de pavimento.

Tabela 3.8 – Dimensões dos vãos envidraçados

Compartimento	janelas		portas envidraçadas		Área Envidraçado (%)	Área de ventilação (%)	SRAE (%)	SRAV (%)
	Altura (m)	Largura (m)	Altura (m)	Largura (m)				
ZON.A(0-SE)	1,5	4x1,2			7,2	3,6	7,4	3,7
ZON.B(0-SE)	1,5	2x1,2			3,6	1,8	5,2	2,6
ZON.D(0-SE)	1,5	2x1,2	3	2x1,7	3,6	1,8	3,6	1,8
ZON.F(0-SE)	1,5	1,2			1,8	0,9	5,3	2,6
ZON.L(0-SE)	1,5	4x1,2			7,2	3,6	9,6	4,8
ZON.K(1-W)	1,5	3x1,2	3	2x1,7	15,6	2,7	14,9	2,6
ZON.M(1-SE)	1,5	1,2	3	1,7	6,9	0,9	19,8	2,6
ZON.S(1-NE)	1,5	1,2			1,8	0,9	10,1	5,1
ZON.R(1-NE)	1,5	2x1,2			3,6	1,8	12,4	6,2
ZON.O(1-SE)	1,5	3x1,2			3,6	1,8	3,2	1,6
ZON.P(1-NESE)	1,5	3x1,2			5,4	2,7	16,7	5,5

Definição das condições do ambiente exterior

A capacidade de um edifício usufruir da ventilação natural para cumprimento das condições de conforto térmico e qualidade do ar está dependente das condições do ambiente exterior.

A definição das condições do ambiente exterior é conseguida com o preenchimento dos seguintes campos:

- *AirflowNetwork Multizone External Node* (descrição das condições exteriores do edifício);
- *AirflowNetwork Multizone Wind Pressure Coefficient Air* (introdução das características do vento, nomeadamente as direções do vento consideradas para a simulação);
- *AirflowNetwork Multizone Wind Pressure Coefficient Values* (introdução dos valores dos coeficientes pressão para as direções do vento consideradas).

Para a determinação dos coeficientes de pressão associados à ação do vento nas fachadas do edifício recorreu-se ao programa TNO Cp Generator (KNOLL et al., 1996). Neste programa foi necessário criar um ficheiro com as características geométricas do edifício e inserir os dados correspondentes à sua envolvente, como direção do vento e rugosidade do terreno. O ficheiro de entrada e de saída podem ser consultados no anexo A II.

Uma das vantagens deste programa é que permite inserir a geometria dos edifícios que apresentam-se como obstáculo à passagem do vento.

O TNO Cp Generator apresenta a desvantagem de apenas considerar edifícios com geometria retangular. Sabe-se à partida que o edifício em estudo apresenta uma geometria irregular, por isso, para possibilitar o cálculo dos valores de Cp através deste programa, recriou-se um edifício com geometria retangular mas com dimensões e orientação semelhante ao edifício em estudo.

O efeito do vento num edifício pode variar com a existência de obstáculos próximos. Um exemplo desse facto é o caso de fachadas que sem obstáculos estavam sujeitas a coeficientes de pressão negativos e na presença de edifícios relativamente próximos passaram a estar sujeitas a coeficientes de pressão positivos.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Para evitar esta situação optou-se por considerar que as aberturas encontravam-se acima de qualquer obstáculo.

Na Figura 3.15 é apresentado o conjunto de edifícios obstáculo considerado no cálculo dos coeficientes de pressão.

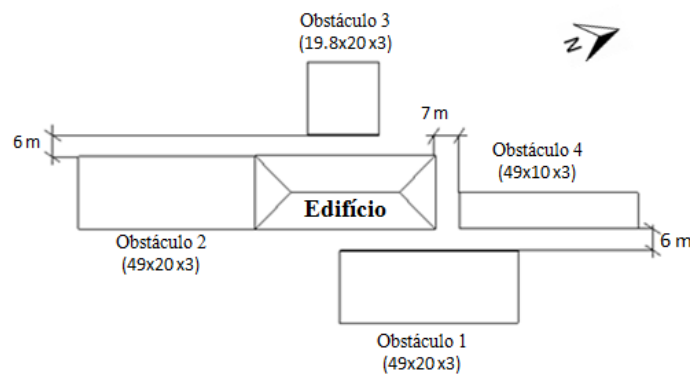


Figura 3.15 – Edifícios obstáculo considerados para o cálculo dos Coeficientes de Pressão

No cálculo dos coeficientes de pressão foi ainda necessário definir o ponto de incidência do vento em cada fachada do edifício. Para o presente estudo determinou-se os valores de C_p para os pontos localizados no centro de cada fachada.

A Tabela 3.9 apresenta os valores dos coeficientes de pressão considerados para direções do vento que variam entre si 30° .

Tabela 3.9 – Coeficientes de pressão considerados para as aberturas exteriores do edifício

Direção do vento	Fachada Noroeste	Fachada Nordeste	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste
0° (Norte)	-0,150	-0,132	-0,052	0,243
30°	-0,052	-0,131	-0,150	-0,243
60°	0,151	-0,150	-0,122	-0,126
90° (Este)	0,251	-0,269	-0,125	-0,142
120°	0,251	-0,204	-0,125	-0,243
150°	0,151	0,028	-0,122	-0,147
180° (Sul)	-0,052	0,153	-0,150	-0,122
210°	-0,150	0,161	-0,052	-0,122
240°	-0,122	-0,060	0,151	-0,147
270° (Oeste)	-0,125	-0,179	0,251	-0,243
300°	-0,125	0,247	0,251	-0,142
330°	-0,122	-0,156	0,151	0,126

Sistema de climatização (HVAC Templates)

A utilização de sistemas de climatização em simulações prende-se com a necessidade de quantificar a carga térmica existente no edifício. Quando se pretende avaliar a potencialidade do uso de ventilação natural num edifício, a necessidade de modelar um sistema de climatização não assume grande importância. Para quantificar a energia útil necessária para promover as condições de conforto térmico sem modelagem completa de um sistema de climatização, o EnergyPlus propõe a utilização de um sistema ideal de climatização designado por *IdealLoadsAir System*.

O funcionamento deste sistema é controlado por um termóstato que regista a temperatura na zona em cada instante e verifica se é necessário fornecer ar frio ou quente para se estabelecer a temperatura definida. Para que não ocorra aquecimento no verão e arrefecimento no Inverno, o termóstato é controlado por um calendário que estabelece a temperatura que não deve ser excedida inferiormente, na estação de aquecimento, e a temperatura que não deve ser excedida superiormente, na estação de arrefecimento. Deste modo para o período de 1 de Outubro a 31 de Maio, a zona é aquecida sempre que a temperatura seja inferior a 20°C e, para o período de 1 de Junho a 30 de Setembro, a zona é arrefecida sempre que a temperatura seja superior a 25°C

4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Neste capítulo são apresentados os resultados das medições *in situ* relativas à qualidade do ar interior. Assim, são aqui apresentados e comparados os níveis de poluentes com os valores máximos regulamentares exigidos para a certificação da QAI, a análise da temperatura e da humidade relativa do ambiente interior e a análise da perceção dos ocupantes às condições desse mesmo ambiente.

4.1 Resultados da avaliação da qualidade do ar interior

De seguida apresenta-se uma análise dos resultados da avaliação da qualidade do ar interior realizada nos dois edifícios de serviço: Edifício A e Edifício B.

No anexo A IV estão expostos os resultados de todos os compartimentos dos dois edifícios estudados.

Edifício A

As medições *in situ* do edifício A realizaram-se no dia 27 de Julho e a temperatura exterior média rondava os 27°C.

Na Tabela 4.1 apresentam-se as concentrações das poluentes medidas no exterior.

Tabela 4.1 – Concentrações dos poluentes medidos no exterior

Parâmetros	Concentração no exterior
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,07 mg /m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	969,90 mg /m ³
Monóxido de carbono (CO)	1,16 mg /m ³

No Edifício A foram detetadas pequenas concentrações de CO, 90% abaixo do valor máximo de referência, em dois compartimentos, Comp.A_{0-SE} e Comp.E_{0-W} (ver Figura 4.1e Figura 4.2). Apesar da circulação automóvel ser interdita, nas imediações do edifício existiam parques de estacionamento que podem estar na origem das concentrações deste poluente no interior do edifício. Nos restantes compartimentos não foi detetada a presença deste poluente.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

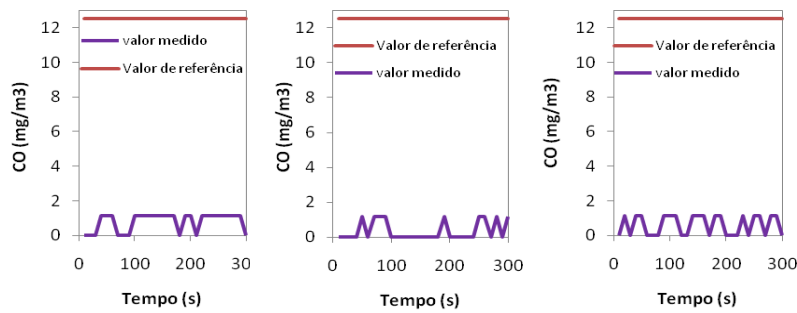


Figura 4.1 – Concentração de CO no Comp.A_{0-SE}

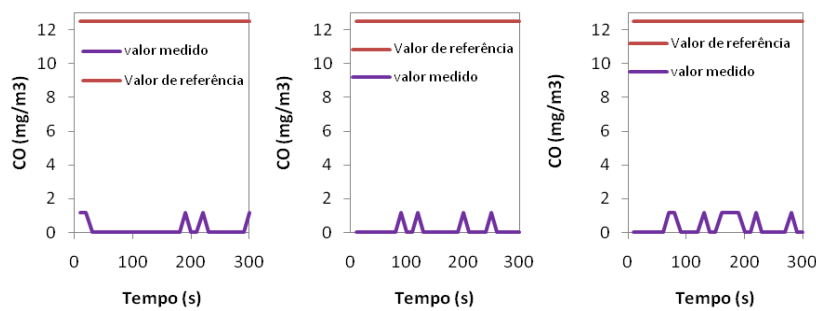


Figura 4.2 – Concentração de CO no Comp.E_{0-w}

No que se refere às concentrações de CO₂, estas encontravam-se em geral aproximadamente 50% abaixo do valor máximo regulamentar. Porém, na Comp.A_{0-SE} a concentração deste poluente era mais alta, em média 29% abaixo do valor máximo, e no Comp.E_{0-w} chegou mesmo a ultrapassar o limite máximo de referência, 17% acima da concentração máxima regulamentar (ver Figura 4.3). Estes valores podem estar associados à inadequação da ventilação do espaço e ao tipo de ocupação existente no mesmo, uma vez que constitui uma fonte importante para concentração de CO₂.

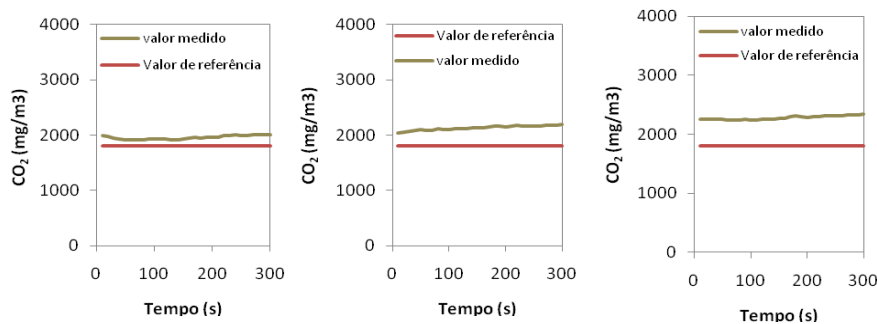


Figura 4.3 – Concentração de CO₂ no Comp.E_{0-w}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Nos compartimentos avaliados não foram registadas concentrações de O₃ nem de CHOH.

Em todos os compartimentos avaliados, verificou-se que a concentração de PM₁₀ encontrava-se muito abaixo do limite regulamentar. Os valores mais altos verificaram-se no Comp.E_{0-W}, no entanto correspondiam a 25% do limite máximo (ver Figura 4.4). Os valores registados podem estar relacionados com os papéis acumulados nas secretárias e armários, a existência de alguns têxteis (carpetes) e a constituição do ambiente exterior (arbustos e árvores que se encontram na proximidade do edifício).

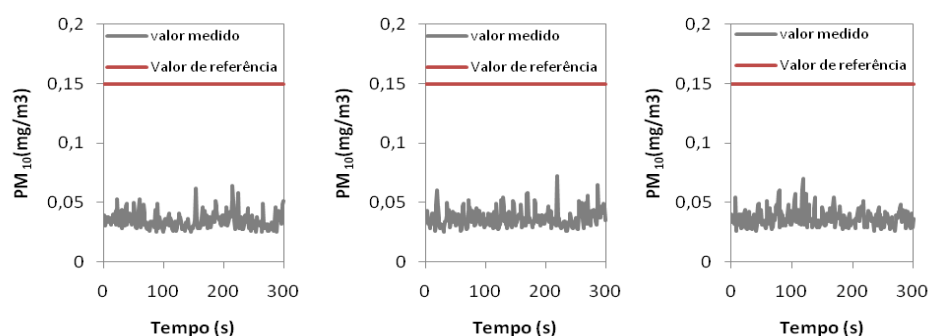


Figura 4.4 – Concentração de PM₁₀ no Comp.E_{0-W}

A medição dos níveis de COV's não foi realizada devido a um problema técnico com o equipamento de medição.

Temperatura e humidade relativa

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores da temperatura interior e humidade relativa de cada Compartimento avaliada no Edifício A.

Tabela 4.2 – Valores da temperatura interior e da humidade relativa medidos nos compartimentos avaliados no Edifício A

Compartimento	Temperatura do ar (°C)	Humidade Relativa (%)	Velocidade do ar (m/s)
Comp.A0-SE	24,90	40,80	0,05
Comp.B0-NE	25,97	37,61	0,05
Comp.E0-W	23,97	37,95	0,05
Comp.C0	25,02	44,73	0,00
Comp.G1SE	28,10	32,69	0,05
Comp.D0	24,98	39,94	0,03
Comp.F1-NESE	24,51	41,70	0,03
Comp.H1W	24,51	41,70	0,03

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

As temperaturas interiores dos compartimentos avaliados encontravam-se dentro do intervalo de conforto térmico, entre 20°C e 25°C, à exceção do Comp.G_{1SE} que apresentou uma temperatura interior próxima dos 28°C, superior à temperatura máxima de conforto.

Os valores da humidade relativa encontravam-se dentro do intervalo recomendado pelo RCCTE, entre 30% e 70%. No entanto no caso das Compartimentos Comp.B_{0-NE}, Comp.E_{0-W} e Comp.G_{1SE} os valores de humidade relativa apresentam-se muito baixos e próximos do limite mínimo. Os valores baixos de humidade relativa podem provocar a secagem e irritação de olhos e das vias respiratórias.

Relativamente à velocidade do ar, os valores dos compartimentos avaliados apresentaram-se inferiores ao máximo regulamentar imposto no RSECE e nas normas internacionais (0,2 m/s), não existindo desconforto devido à sensação tipo “corrente de ar”.

Análise subjetiva dos ocupantes relativamente à qualidade do ar interior

De acordo com a informação obtida pelos inquéritos, os ocupantes encontravam-se satisfeitos com a temperatura interior, pois esta apresentava-se adequada. Apenas no compartimento Comp.G_{1SE} alguns ocupantes responderam que o ambiente interior estava quente.

Relativamente à humidade relativa a resposta foi unânime, em todos os compartimentos avaliados os ocupantes avaliaram as condições de humidade como razoáveis.

Em relação à qualidade do ar interior, os ocupantes dos compartimentos avaliados queixaram-se de um odor a mofo e falta de ar fresco. Nas Compartimentos Comp.B_{0-NE} e Comp.D₀ queixaram-se ainda de outros odores não identificáveis.

Nestes compartimentos, os ocupantes apresentavam sintomas tais como irritação dos olhos, cansaço e dores de cabeça.

Estes sintomas podem estar relacionados com o excesso de poluentes, como por exemplo de dióxido de carbono identificado nas medições *in situ*.

Edifício B

As medições *in situ* do Edifício B realizaram-se no dia 29 de Julho. A temperatura exterior rondava os 27°C.

Na Tabela 4.3 são apresentadas as concentrações de poluentes medidas no exterior junto de uma abertura no terceiro piso.

Tabela 4.3 – Concentrações dos poluentes medidos no exterior

Parâmetros	Concentração no exterior
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,03 mg /m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	683,81 mg /m ³
Monóxido de carbono (CO)	0,00 mg /m ³

No Edifício B, foram detetadas pequenas concentrações de monóxido de carbono nas zonas Comp.j₂-SW e Comp.f₁-NE. A existência deste poluente pode estar relacionada com a infiltração de ar exterior em que este estava presente, visto que junto ao edifício existia circulação automóvel significativa. Na Figura 4.5e Figura 4.6 são apresentadas as concentrações de CO no Comp.j₂-SW e Comp.f₁-NE.

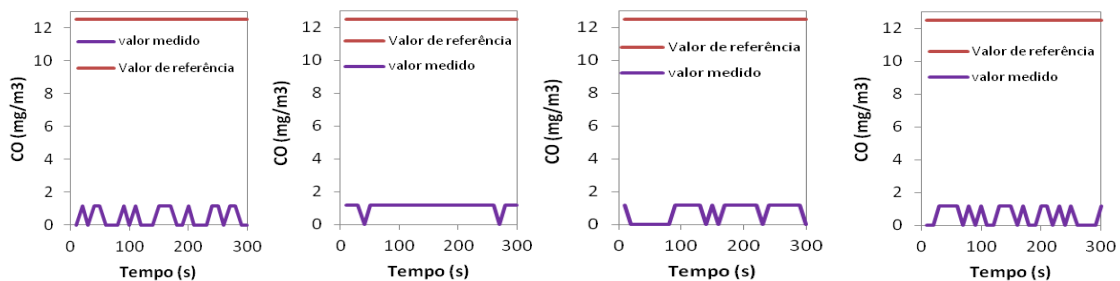


Figura 4.5 – Concentração de CO no Comp.j₂-sw

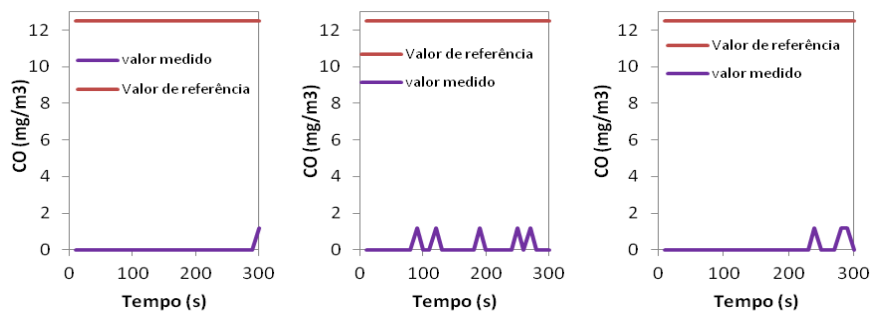


Figura 4.6 – Concentração de CO no Comp.f₁-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

As concentrações de dióxido de carbono medidas nos compartimentos Comp.i₂-NE, Comp.j₂-SW, Comp.g₂-NWNE, Comp.b₀-NE e Comp.f₁-NE encontravam-se superiores ao valor máximo de referência definido pelo RSECE (1800mg/m³). A concentração mais elevada de CO₂ foi encontrada no compartimento Comp.i₂-NE, onde se verificaram valores 30% acima do limite máximo regulamentar (ver Figura 4.7).

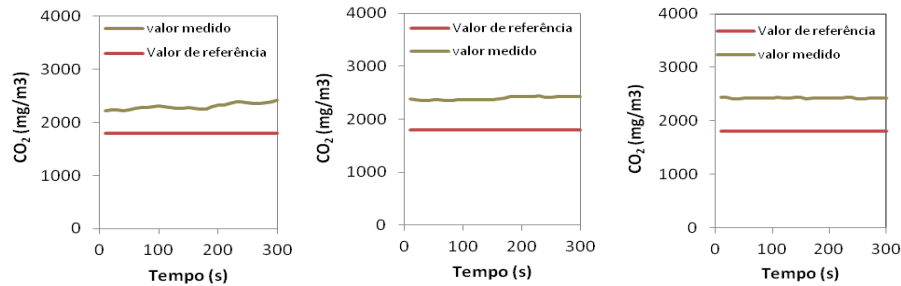


Figura 4.7 – Concentração de CO₂ no Comp.i₂-NE

Os restantes compartimentos apresentaram concentrações de CO₂ inferiores ao limite regulamentar, em geral inferiores a 25%. Porém, os compartimentos Comp.c₀-NE e Comp.a₀-SW apresentaram concentrações de CO₂ próximas do valor regulamentado (1800mg/m³). Estas concentrações podem estar associadas à insuficiente renovação de ar e aos níveis de ocupação interior ou a uma combinação dos dois.

A concentração de partículas suspensas no ar nos compartimentos deste edifício foi na generalidade muito baixa, 83% inferiores ao limite regulamentar. No entanto, o compartimento Comp.a₀-SW apresentou concentrações ligeiramente mais altas, a rondar os 0,1 mg/m³, como é visível na Figura 4.8. As concentrações registadas deste poluente estão mais uma vez relacionadas com os papéis acumulados nas secretárias e armários e com o ar exterior (pó associado as obras que ocorriam nas proximidades do edifício).

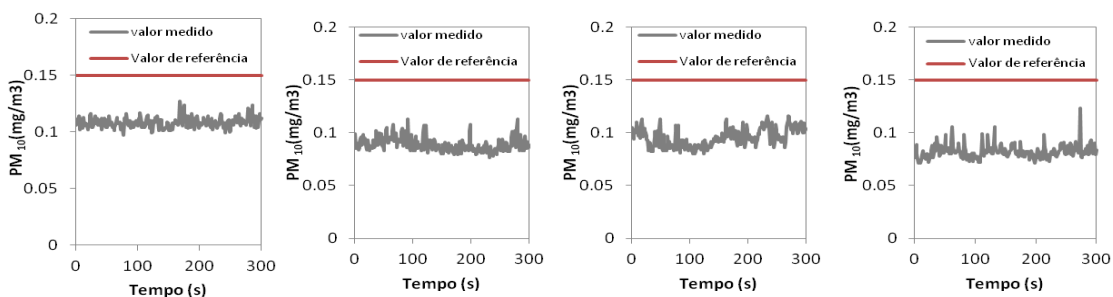


Figura 4.8 – Concentração de PM₁₀ no Comp.a₀-SW

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Em nenhum dos compartimentos avaliados foi detetada a presença de O₃ e CHO₂.

A medição dos níveis de COV's não foi realizada devido a um problema técnico com o equipamento de medição.

Conforto térmico

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores da temperatura interior e humidade relativa medidos em cada zona avaliada no Edifício B.

Tabela 4.4 – Valores da temperatura interior e da humidade relativa obtidos para as zonas avaliadas no Edifício B

Compartimento	Temperatura do ar (°C)	Humidade Relativa (%)	Velocidade do ar (m/s)
Comp.c _{0-NE}	28,19	38,80	0,00
Comp.b _{0-NE}	25,31	37,18	0,00
Comp.a _{0-SW}	26,83	38,71	0,03
Comp.f _{1-NE}	24,28	38,24	0,05
Comp.e _{1-SW}	26,61	34,62	0,00
Comp.d _{1-NW}	24,44	38,25	0,05
Comp.g _{2-NWNE}	27,26	34,07	0,05
Comp.j _{2-SW}	25,10	37,01	0,03
Comp.h _{2-SW}	26,77	33,33	0,03
Comp.i _{2-NE}	24,53	42,55	0,05
Comp.l _{3-NE}	26,03	38,03	0,03
Comp.k _{3-SW}	29,20	37,88	0,00

De acordo com as medições realizadas, os compartimentos Comp.c_{0-NE}, Comp.d_{1-NW} e Comp.i_{2-NE}, apresentaram temperaturas interiores inferiores à temperatura máxima de conforto (25°C). As restantes zonas apresentaram temperaturas interiores superiores ao limite máximo de conforto. Nos compartimentos Comp.c_{0-NE} e Comp.k_{3-SW} foram encontradas as temperaturas interiores mais elevadas, cerca de 28,2°C e 29,2°C respetivamente.

Relativamente à humidade relativa, os valores apresentados pelos compartimentos avaliados encontravam-se dentro do intervalo regulamentar, superiores a 30% e inferiores a 70%. Porém para a estação de arrefecimento, o RCCTE define como humidade relativa de referência 50%, neste caso os valores medidos encontravam-se um pouco abaixo do regulamentar, no geral

aproximadamente 38%. O valor mais elevado de humidade relativa foi obtido na zona Comp.i_{2-NE} (na ordem dos 43%).

Todos os compartimentos avaliados apresentaram velocidades do ar inferiores ao limite regulamentar (0,2 m/s).

De referir que em todos os compartimentos os ocupantes indicaram que tinham o hábito de abrir as janelas ao início da manhã.

Análise subjetiva dos ocupantes relativamente à qualidade do ar interior.

De acordo com a informação obtida pelos inquéritos, os ocupantes apresentavam-se insatisfeitos com a temperatura interior manifestando a sensação de calor. Apenas nas zonas Comp.d_{1-NW} e Comp.i_{2-NE} os ocupantes responderam que a temperatura sentida era adequada.

Relativamente à humidade relativa a resposta foi unânime, em todas as zonas avaliadas os ocupantes consideraram as condições de humidade entre razoáveis a boas.

Em relação à qualidade do ar interior, os ocupantes das zonas Comp.j_{2-SW} e Comp.b_{0-NE} referiram a existência de falta de ar fresco. Na zona Comp.d_{1-NW} os ocupantes queixaram-se ainda de odores a mofo.

Devido a isso, os sintomas dominantes nos ocupantes era a dor de cabeça e irritação nos olhos. Podendo estes sintomas estar ligados ao excesso de tempo passado frente ao computador, como podem também estar ligados ao facto de existir um excesso de poluentes, como por exemplo o dióxido de carbono identificado nas medições *in situ*.

Verificou-se ainda que os ocupantes em geral têm o hábito de abrir as janelas apenas ao início da manhã para melhorar o conforto do ambiente interior.

4.2 Estratégias de Mitigação

Após terem sido indicadas as causas prováveis para o registo das concentrações de poluentes medidas, é importante estudar e encontrar soluções de forma a melhorar a qualidade do ar interior dos edifícios em estudo.

Pela análise dos resultados conclui-se que as principais fontes de monóxido de carbono, dióxido de carbono e partículas respiráveis estavam associadas à ocupação e a contaminação provenientes do exterior.

Uma das formas para minimizar a concentração de dióxido de carbono é fazer uma avaliação adequada do espaço existente em cada zona de forma a encontrar um equilíbrio entre espaço disponível e o número de ocupantes que devem ocupar esse mesmo espaço.

Porém, esta solução não resolve os problemas associado às concentrações elevadas de outros poluentes identificados.

A solução mais eficaz para reduzir os níveis de poluentes e a consequente exposição dos ocupantes aos mesmos é recorrer ao aumento das renovações de ar, que pode ser realizada pela abertura de janelas durante e após a utilização de cada espaço.

Em relação ao conforto térmico pode-se verificar que no período de ocupação a temperatura máxima de referência (25°C) é ultrapassada, levando a que os ocupantes percecionem o ambiente interior como quente e se sintam desconfortáveis.

Desta forma, abertura de janelas durante os períodos do dia em que a temperatura do ambiente exterior é mais baixa do que a do ambiente interior pode reduzir a sensação de desconforto térmico dos ocupantes. Porém, os ocupantes devem ter um papel ativo para garantir as condições de conforto térmico.

Uma vez que o ar exterior pode ser considerado uma possível fonte de contaminação, sugere-se que seja admitida a abertura de janelas durante a noite, período em que existe menor quantidade de poluentes no exterior, devido à menor circulação automóvel. No caso específico onde decorrem obras no espaço exterior é também favorável a abertura de janelas no período da noite, pois durante este espaço de tempo as obras também são interrompidas.

A abertura de janelas durante o período noturno apresenta-se também como uma estratégia eficaz para o arrefecimento do espaço interior, visto que é durante a noite que a temperatura exterior está mais baixa.

Para minimizar os riscos de segurança nestes edifícios sugere-se a abertura de janelas nos pisos superiores.

5 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Antes de se proceder à simulação numérica propriamente dita é importante que se tenha conhecimento das condições climáticas do local de implantação, uma vez estas influenciam o desempenho de estratégias bioclimáticas.

No caso das estratégias de ventilação natural, o conhecimento da temperatura exterior e das características do vento é decisivo para o estudo da sua viabilidade e aplicabilidade.

Como foi dito no ponto 3.3.2, o ficheiro climático utilizado para a presente dissertação foi o da cidade do Porto, sendo importadas para a base de dados do EnergyPlus as condições climáticas representativas dessa região.

Na Figura 5.1 é apresentada a temperatura horária para a cidade do Porto ao longo de um ano típico.

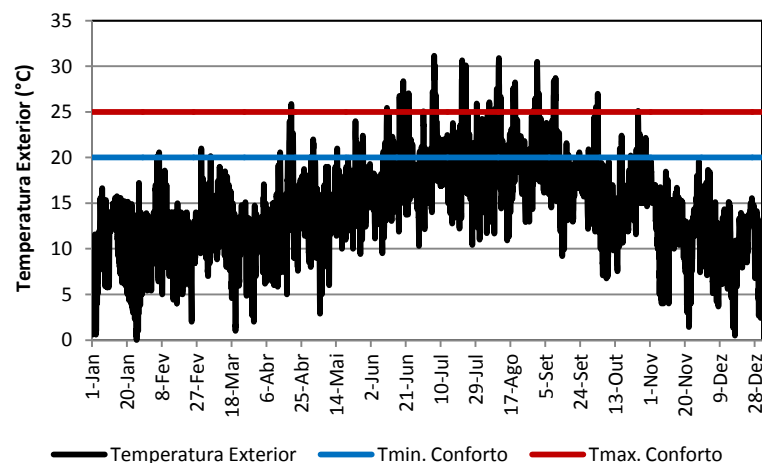


Figura 5.1 – Temperatura horária para a cidade do Porto ao longo de um ano

Como se pode observar na Figura 5.1, se se considerar que a temperatura de conforto está compreendida entre os 20°C e os 25°C, a cidade do Porto apresenta em 90 % das horas do ano condições de desconforto térmico, dos quais 88 % das horas está associado ao frio e apenas 2% associado ao calor.

Durante a estação de arrefecimento, observa-se que a temperatura exterior se encontra abaixo da temperatura máxima de conforto em grande parte do tempo, o que pode favorecer a

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

utilização da ventilação natural como estratégia de arrefecimento, não sendo necessário recorrer a sistemas de climatização para a obtenção de conforto térmico.

Contudo, na estação de aquecimento, a temperatura exterior é na maior parte do tempo inferior a 15°C, o que dificulta a utilização de estratégias de ventilação, sendo que para este período se pretende reduzir as perdas térmicas.

Na Tabela 5.1 são apresentadas as temperaturas máximas e mínimas mensais para a cidade do porto.

Tabela 5.1 – Temperaturas máximas e mínimas mensais registadas na cidade do Porto

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temp. máxima	17.2	20.6	21.0	25.9	24.0	28.4	31.2	30.9	28.7	27.0	19.6	18.7
Temp. mínima	0.0	2.0	1.0	5.0	2.9	9.5	10.4	10.9	9.2	6.8	1.4	0.5

Analisando a Tabela 5.1, verifica-se que o período onde se registam temperaturas máximas mais elevadas está compreendido entre o mês de Junho e o mês de Setembro, onde se verificam temperaturas máximas entre 28°C e 31°C. Os meses do ano que apresentam temperaturas máximas mais baixas são Dezembro e Janeiro, com temperaturas máximas de 18,7°C e 17,2°C respetivamente. Os valores máximos de temperatura ocorrem entre as 11 horas e as 15 horas e os valores mínimos ocorrem durante a madrugada.

É assim necessário, de forma controlada, estabelecer limites relativamente à entrada de ar exterior tendo em conta a estação do ano e o período de ocupação.

As características do vento assumem também um papel importante nas trocas de ar entre o ambiente interior e o ambiente exterior, extremamente importantes para garantir as taxas de renovação de ar necessárias para estabelecer os parâmetros da qualidade do ar interior e do conforto térmico.

Como ao longo do ano, o comportamento do vento não é uniforme, podendo alterar a sua direção e velocidade ao longo do dia, torna-se necessário ter conhecimento destas mesmas variações para que se possa adotar a estratégia de ventilação natural mais adequada.

Na Tabela 5.2, na Tabela 5.2 e na Tabela 5.3 são apresentadas as características do vento, à direção e velocidade predominantes, na cidade do Porto para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

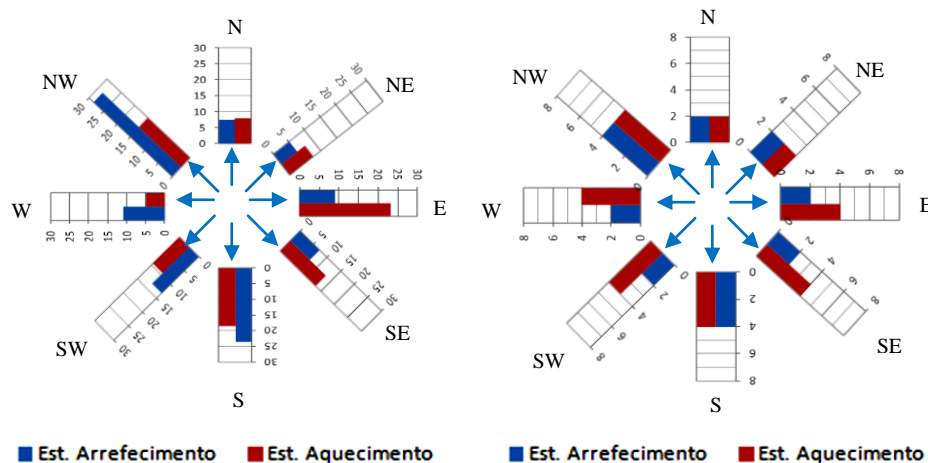


Figura 5.2 – Frequência do vento em cada direção para a cidade do Porto (%) (à esquerda) e velocidade predominante do vento para a cidade do Porto (m/s) (à direita)

Tabela 5.2 – Frequência de ocorrência do vento por direção e períodos do dia, para a estação de aquecimento e arrefecimento, para a cidade do Porto

Direção vento	Estação de Arrefecimento		Estação Aquecimento	
	Noite	Dia	Noite	Dia
Norte	11,6%	3,0%	9,2%	6,6%
Nordeste	8,8%	1,4%	10,6%	4,3%
Este	15,4%	2,6%	31,4%	14,4%
Sudeste	12,8%	1,8%	15,7%	10,3%
Sul	23,7%	13,6%	16,3%	20,4%
Sudoeste	10,6%	15,9%	8,3%	10,6%
Oeste	4,9%	16,9%	2,1%	8,3%
Noroeste	12,2%	44,7%	6,5%	25,1%

Tabela 5.3 – Velocidades do vento com maior frequência de ocorrência, considerando o período do dia e direção do vento

Direção vento	Estação de Arrefecimento		Estação de Aquecimento	
	Dia	Noite	Dia	Noite
Norte	46,2% 2 a 4 m/s	71,2% 0 a 2 m/s	32,1% 0 a 2 m/s	40,4% 0 a 2 m/s
Nordeste	57,9% 0 a 2 m/s	91,4% 0 a 4 m/s	70,9% 0 a 2 m/s	76,2% 0 a 2 m/s
Este	38,2% 0 a 2 m/s	73,4% 2 a 4 m/s	44,6% 0 a 2 m/s	53,7% 2 a 4 m/s
Sudeste	70,8% 0 a 2 m/s	85,7% 0 a 2 m/s	41,2% 2 a 4 m/s	46,7% 2 a 4 m/s
Sul	60,3% 2 a 4 m/s	55,0% 0 a 2 m/s	25,8% 2 a 4 m/s	24,7% 2 a 4 m/s
Sudoeste	40,4% 2 a 4 m/s	73,4% 0 a 2 m/s	44,8% 0 a 2 m/s	47,2% 0 a 2 m/s
Oeste	48,7% 2 a 4 m/s	84,4% 0 a 2 m/s	54,9% 2 a 4 m/s	43,1% 0 a 2 m/s
Noroeste	44,1% 2 a 4 m/s	60,0% 0 a 2 m/s	30,8% 4 a 6 m/s	46,7% 2 a 4 m/s

De acordo com a Figura 5.2, Tabela 5.2 e Tabela 5.3 pode-se constatar que as características predominantes do vento diferem da estação de aquecimento para a estação de arrefecimento.

Na estação de aquecimento, a direção do vento predominante é Este, verificando-se também grandes frequências de ocorrência de vento com direção Noroeste e Sul. Estes últimos ocorrem com maior frequência durante o período do dia, contrariamente ao que sucede com o vento direcionado a Este que sucede durante o período da noite. Para estas direções são registadas, maioritariamente, velocidades entre os 2 e 4 m/s.

Na estação de arrefecimento é predominante o vento com direção Noroeste e Sul. O vento direcionado a Noroeste ocorre com maior frequência durante o período do dia enquanto que o com direção Sul ocorre com maior frequência no período noturno, para ambas as orientações prevalecem velocidades entre os 2 e 4 m/s.

De seguida apresenta-se a análise do Caso Base relativamente às taxas de renovação de ar e às condições do conforto térmico.

5.1 Caso Base

No Caso Base, situação em que as janelas permanecem fechadas durante todo o dia, a renovação de ar é apenas garantida pela infiltração de ar nas frinchas das portas e janelas existentes no edifício, estando estas dependentes das condições do vento e da temperatura verificadas na exterior.

Seguidamente apresentam-se as renovações de ar proporcionadas pelas frinchas das janelas e das portas para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano, sendo posteriormente apresentados os valores médios para as estações de aquecimento e de arrefecimento.

5.1.1 Taxas de renovação de ar

Na Figura 5.3 e na Figura 5.4 são apresentados taxas de renovação de ar para as zonas avaliadas, a velocidade e a direção do vento no dia mais quente do ano, que de acordo com o ficheiro climático da cidade do Porto corresponde ao dia 6 de Julho. Para este dia a velocidade do vento exterior encontra-se entre 3 e 5 m/s em grande parte do período de ocupação.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

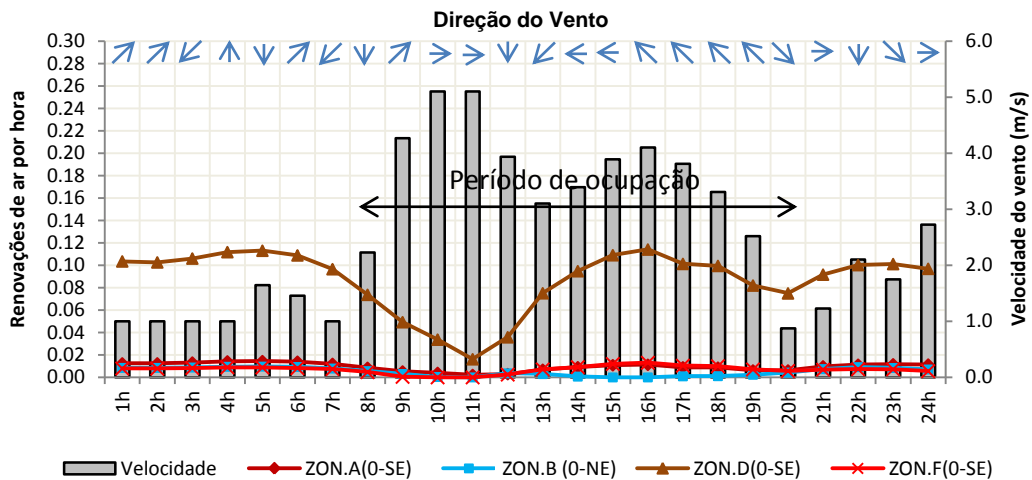


Figura 5.3 – Taxa de renovação de ar no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 6 Julho

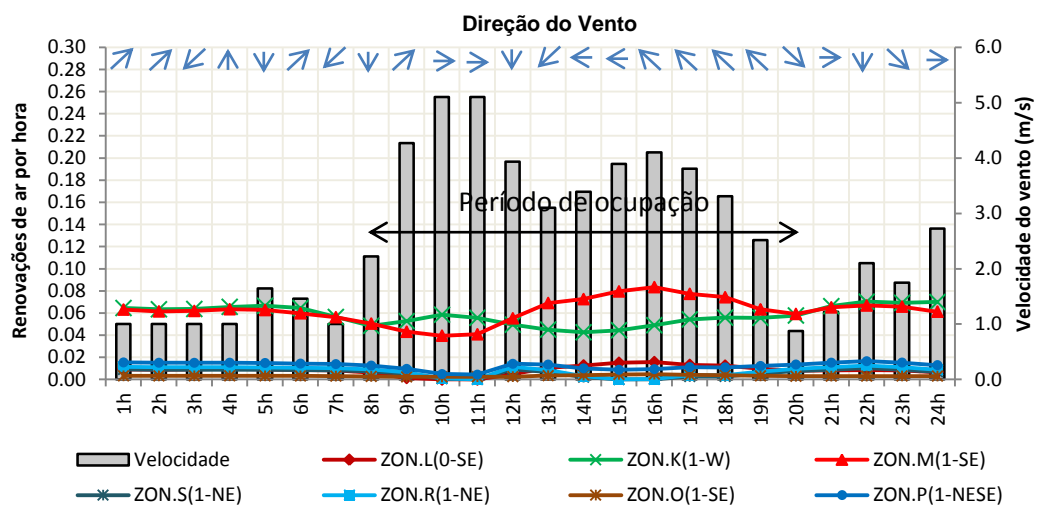


Figura 5.4 – Taxa de renovação de ar no 1º piso para o Caso Base, no dia 6 de Julho

Pela análise da Figura 5.3 e da Figura 5.4 observa-se que as zonas avaliadas apresentam valores máximos de renovação de ar em períodos distintos do dia, que depende da orientação apresentada pelas suas aberturas.

No período da manhã, quando a velocidade do vento é mais elevada e com direção próxima da Este, surge um pequeno acréscimo de infiltrações na Zon.K(1-W), com orientação Oeste.

Durante a tarde, quando a direção do vento se torna predominante a Noroeste, as zonas orientadas a Sudeste atingem os valores mais altos de infiltração. Nas zonas Zon.D(0-SE) e

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Zon.M(1-SE), que apresentam uma maior área de frinchas (além de janelas, apresenta portas exteriores), os valores de infiltração acompanham a curva da velocidade do vento e atingem valores máximos de $0,11h^{-1}$ e $0,08h^{-1}$ respetivamente.

Nas zonas em que a infiltração de ar se dá apenas pelas frinchas das janelas exteriores as taxas de infiltração são praticamente nulas.

Na Figura 5.5 e na Figura 5.6 apresentam-se as taxas de renovação de ar, a velocidade e a direção do vento, no dia mais frio do ano, que de acordo com o ficheiro climático da cidade do Porto corresponde ao dia 25 de Janeiro.

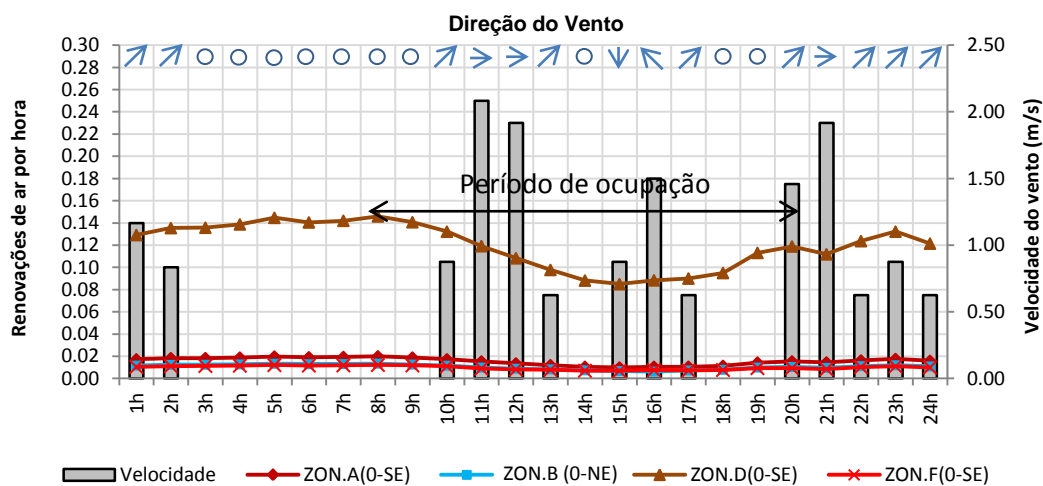


Figura 5.5 – Taxa de renovação de ar no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 25 de Janeiro

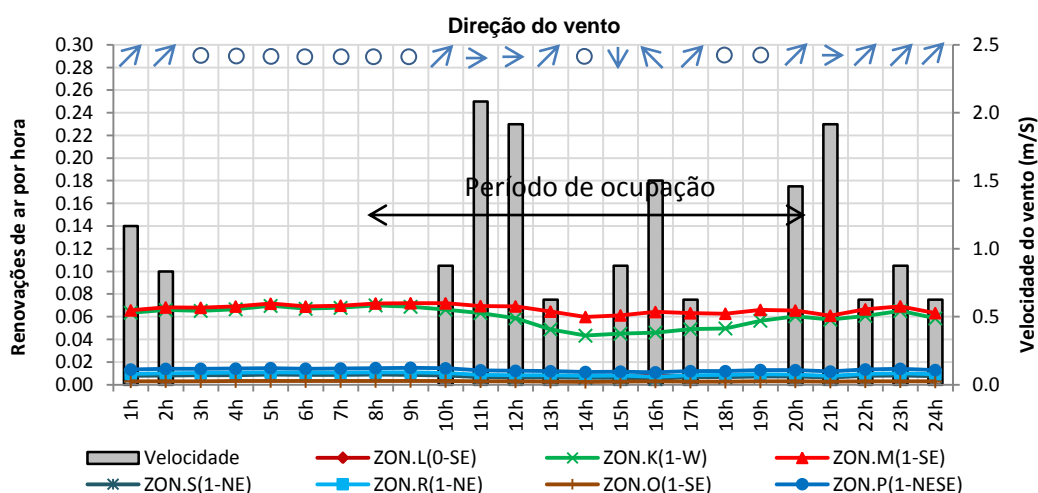


Figura 5.6 – Taxa de renovação de ar no 1º piso para o Caso Base, no dia 25 de Janeiro

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Analisando a Figura 5.5 e a Figura 5.6 constata-se que, no dia mais frio do ano, os valores das taxas de renovação de ar são próximos dos encontrados para o dia mais quente do ano.

Verifica-se também que as taxas de renovação de ar permanecem praticamente constantes ao longo do dia, o que pode estar relacionado com a fraca intensidade do vento durante esse dia.

Nas zonas Zon.D(0-SE), Zon.K(1-W) e Zon.M(1-SE), como seria de esperar, continuam-se a verificar maiores infiltrações, acima das $0,07h^{-1}$ ao longo do dia.

Feita a análise para o dia mais quente do ano e para o dia mais frio do ano, em que se verificou que as renovações proporcionadas pelas frinchas das janelas e portas são muito semelhantes, torna-se necessário verificar se a mesma tendência é verificada ao longo do ano.

Na Figura 5.7 são apresentadas, de forma resumida, as taxas de renovação de ar médias para o Caso Base nas estações de aquecimento e arrefecimento.

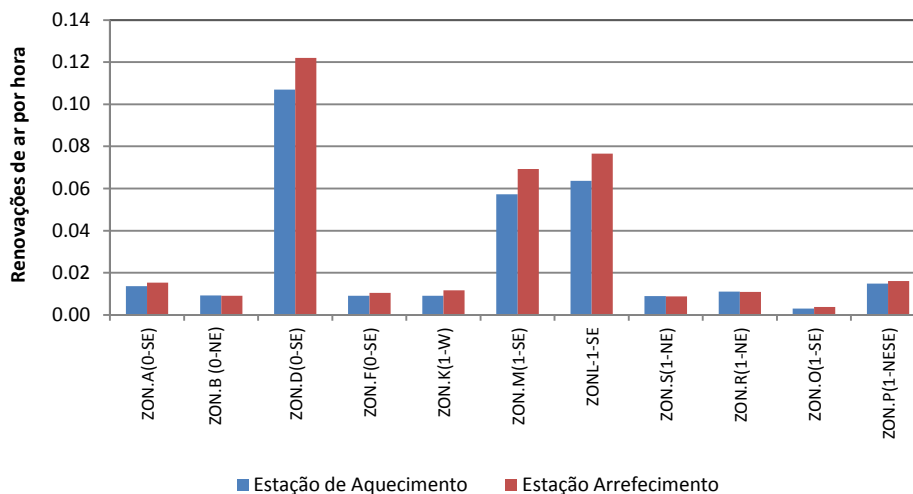


Figura 5.7 – Taxas de renovação de ar médias de ar para o Caso Base nas estações de aquecimento e arrefecimento

Observa-se pela Figura 5.7 que as zonas Zon.D(0-SE), Zon.K(1-W) e Zon.M(1-SE), apresentam taxas de renovação de ar médias mais elevadas comparativamente às restantes zonas avaliadas. De destacar a zona ZON.D(0-SE) que apresenta os valores mais elevados, na ordem das $0,11h^{-1}$. Verifica-se também que os valores apresentados para a estação de aquecimento e de arrefecimento não diferem muito entre si.

As zonas que apresentam apenas janelas exteriores possuem menores taxas de infiltração devido à menor área de frincha. Os valores médios rondam $0,01h^{-1}$, não sendo visíveis grandes diferenças entre a estação de arrefecimento e a estação de aquecimento.

As taxas de renovação de ar proporcionadas pelas frinchas existentes nas aberturas do edifício podem ter um efeito positivo ou negativo nas condições do conforto térmico dependendo da estação do ano.

5.1.2 Impacte nas condições do conforto térmico

Na Figura 5.8 e na Figura 5.9 são apresentadas as temperaturas interiores nas zonas do rés-do-chão e do 1º andar para o Caso Base, no dia 6 de Julho.

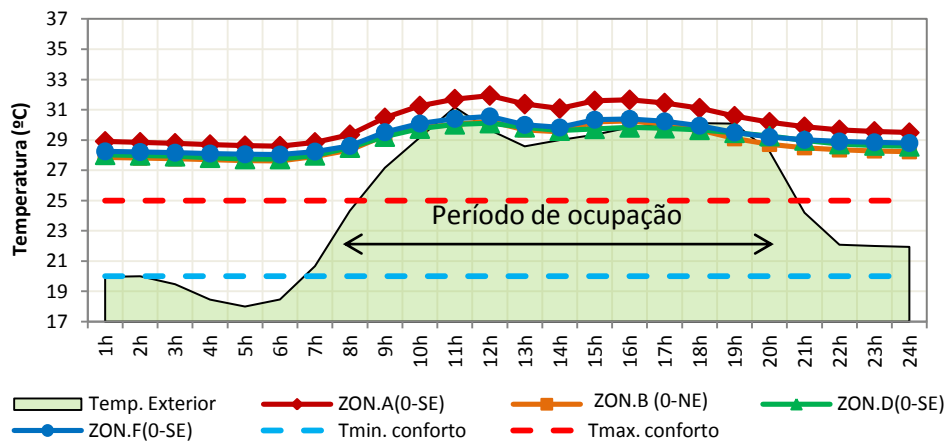


Figura 5.8 – Temperatura interior no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 6 de Julho

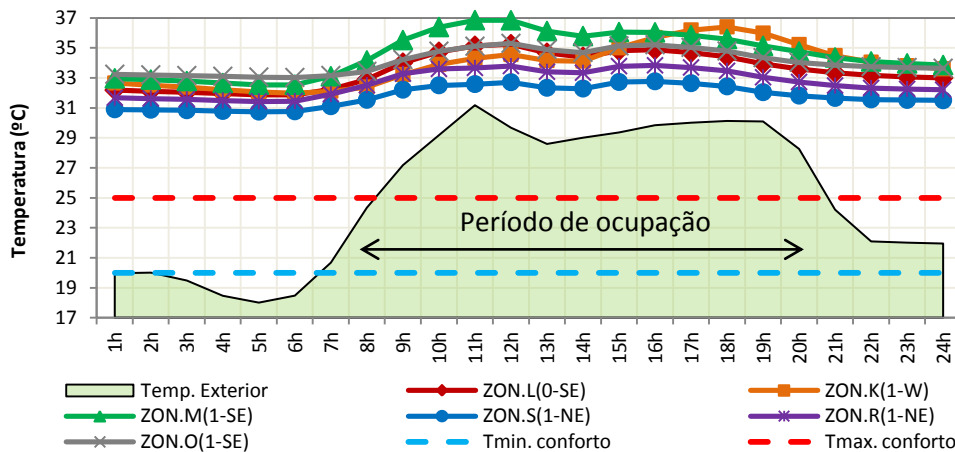


Figura 5.9 – Temperatura interior no 1º piso para o Caso Base, no dia 6 de Julho

Como se pode verificar na Figura 5.8 e na Figura 5.9, para o dia mais quente do ano, as temperaturas interiores das zonas do 1º piso são ligeiramente superiores às verificadas nas zonas do rés-do-chão. No 1º piso a temperatura interior encontra-se entre os 30°C e os 37°C enquanto no rés-do-chão a temperatura interior encontra-se entre os 28°C e os 31°C.

Esta diferença é justificada pelo facto das zonas do piso superior apresentarem uma maior área de contacto com o exterior e pelo facto do sol, que se encontra mais alto na estação mais quente, incidir com maior intensidade na envolvente do 1º piso.

Verifica-se também que as zonas orientadas a Sudeste apresentam temperaturas mais altas no final do período da manhã. Isto deve-se ao facto da radiação solar incidir com maior intensidade em fachadas com orientação a Sudeste durante esse período.

A zona Zon.M(1-SE) apresenta a maior Superfície Relativa de Área de Envidraçado (SRAE), obtida pelo quociente entre a área de envidraçado e a área de pavimento, na ordem dos 19,8%, o que faz com que, associado à sua orientação (Sudeste) apresente os valores mais elevados de temperatura interior, cerca de 36,4°C.

Na zona Zon.K(1-W), com orientação Oeste, verifica-se um maior acréscimo de temperatura no final da tarde. Na estação mais quente do ano, a radiação solar incide com alguma intensidade em fachadas com esta orientação durante o período da tarde, desde o meio-dia até ao pôr-do-sol que ocorre próximo da orientação Noroeste. Além disso, esta zona apresenta uma Superfície Relativa de Área de Envidraçado (SRAE) também significativa, na ordem dos 14,9%, levando a que a temperatura interior atinja o máximo de 36,4°C.

Relativamente às fachadas com orientação Nordeste apenas recebem uma pequena fração de radiação solar no início da manhã, apresentando desta forma temperaturas mais baixas durante todo o dia. No entanto, os valores encontram-se muito distantes da temperatura de conforto, entre 4 e 7°C acima da temperatura máxima de conforto.

Contrariamente, no dia mais frio do ano, apesar da temperatura exterior ser muito baixa, as temperaturas interiores encontram-se próximas da temperatura de conforto, como se pode constatar na Figura 5.10 e na Figura 5.11.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

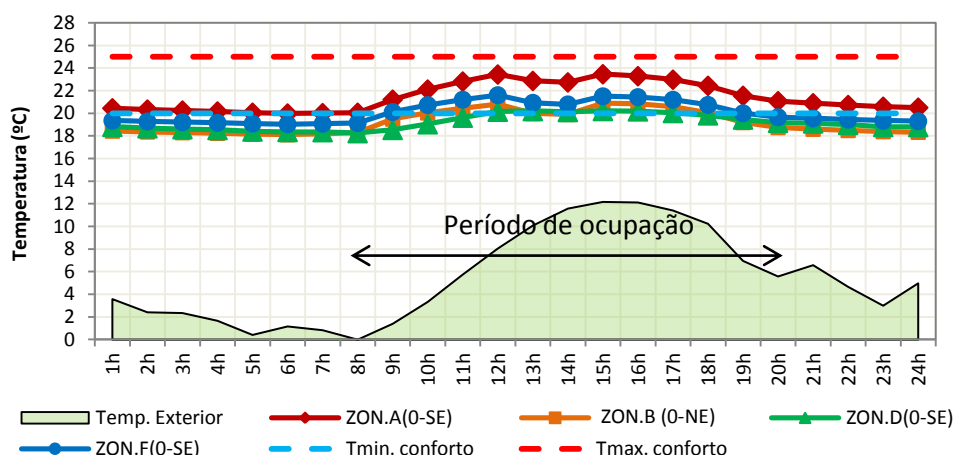


Figura 5.10 – Temperatura interior no rés-do-chão para o Caso Base, no dia 26 de Janeiro

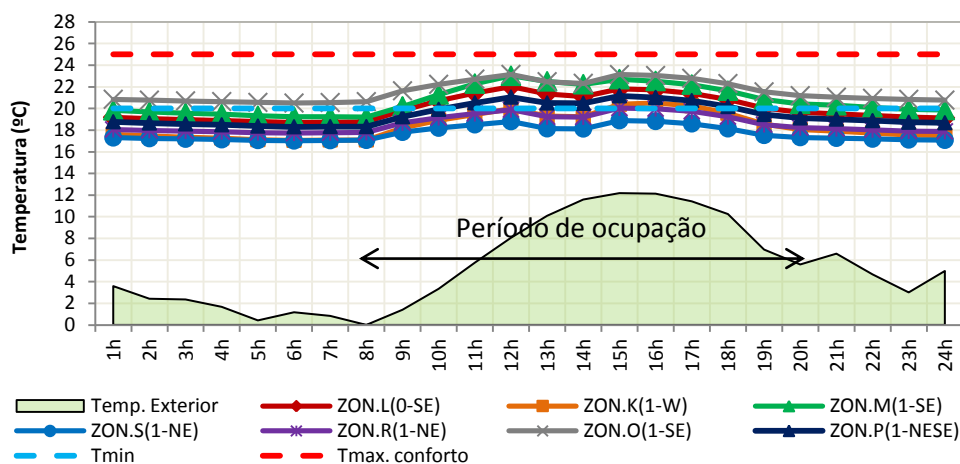


Figura 5.11 – Temperatura interior no 1º piso para o Caso Base, no dia 26 de Janeiro

No dia mais frio do ano, as zonas orientadas a Sudeste continuam a apresentar os valores de temperatura interior mais altos enquanto as zonas orientadas a Nordeste permanecem com os valores mais baixos.

No rés-do-chão, a zona Zon.A(0-SE) apresenta a temperatura interior mais elevada, rondando os 23,5°C, que se deve essencialmente a uma maior Superfície Relativa de Área de Envidraçado (SRAE), na ordem dos 7,4 %, em relação às restantes zonas do mesmo piso.

As zonas Zon.S(1-NE) e Zon.R(1-NE) com orientação Nordeste apresentam as temperaturas interiores mais baixas que se devem aos menores ganhos solares, observando-se temperaturas máximas de 18,9°C e 20,0°C respetivamente.

A zona ZON.K(1-W), com orientação Oeste, apresenta valores tão baixos como as zonas orientadas a Nordeste, em que a temperatura máxima é de 20,5°C. Apesar de apresentar um valor de SRAE significativo, cerca de 14,9%, esta zona recebe radiação apenas durante um curto período da tarde.

Estes últimos valores, apesar de se apresentarem mais baixos comparativamente aos valores das restantes zonas do edifício, encontram-se próximos da temperatura mínima de conforto (20°C).

Como se pode comprovar, manter as janelas fechadas (Caso Base) não se apresenta como uma estratégia eficaz visto que não se consegue garantir as taxas de renovação necessárias para controlar a qualidade do ar interior, mesmo que para a estação de aquecimento garanta valores de temperatura interior dentro do intervalo de conforto.

Por isso torna-se necessário abordar outras estratégias de ventilação que possibilitem garantir as taxas de renovação de ar mínimas para a QAI mas que ao mesmo tempo não penalizem o conforto térmico do ambiente interior.

5.2 Estratégias de ventilação natural

Neste ponto são apresentados os resultados relativos à previsão das taxas de renovação de ar proporcionadas pelas diferentes estratégias de ventilação natural (unilateral diurna, unilateral diurna seletiva, unilateral noturna, cruzada diurna e cruzada noturna), sendo posteriormente apresentados os seus impactes nas condições de conforto térmico e nos consumos energéticos associados à climatização do ambiente interior.

Atendendo às características das Zon.M(1-SE), Zon.K(1-W), Zon.R(1-NE) e Zon.A(0-SE) (orientação, área e localização das aberturas distintas), são analisadas pormenorizadamente as renovações de ar dessas zonas e assim como as temperaturas interiores para os dias mais quente e mais frio do ano. Posteriormente são apresentados os resultados para todas as zonas do edifício através da análise do número de graus-hora de desconforto (somatório de graus por hora acima ou abaixo do intervalo de conforto) para as estações de aquecimento e de arrefecimento.

Note-se que para o caso da zona Zon.P(1-NESE), apenas se considerou abertura de janelas a Nordeste de forma a evitar caudais de ventilação excessivos provocados por uma possível situação de ventilação cruzada.

5.2.1 Análise das taxas de renovação de ar

Na Figura 5.12 são apresentadas as taxas de renovação de ar da zona Zon.M(1-SE) conseguidas através das diversas estratégias de ventilação no dia mais quente do ano, 6 de Julho.

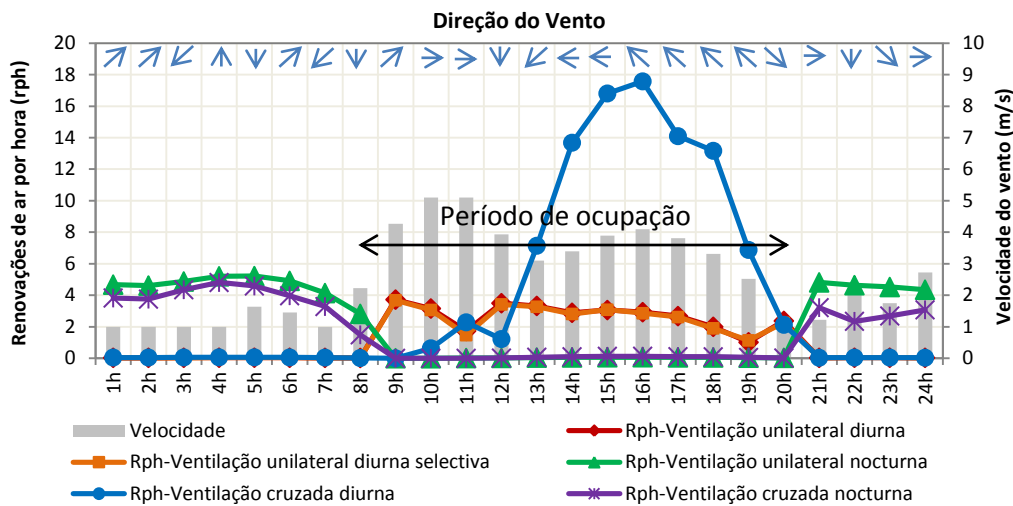


Figura 5.12 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.M(1-SE) para as diferentes estratégias de ventilação no dia 6 de Julho

De acordo com a Figura 5.12, a estratégia que apresenta taxas de renovação de ar mais elevadas na Zon.M(1-SE), para a estação de arrefecimento, é a ventilação cruzada diurna. No período da tarde, as taxas de renovação de ar proporcionadas por esta estratégia acompanham a velocidade do vento, cuja direção varia entre Oeste e Noroeste. Quando o vento direcionado a Noroeste atinge a velocidade de 4 m/s é atingida a taxa máxima de renovação de ar, cerca de $17,6 \text{ h}^{-1}$.

No período da manhã, também se verifica taxas de renovação de ar, embora reduzidas, que se devem exclusivamente à diferença de temperaturas entre o ambiente interior e o ambiente exterior.

As taxas de renovação de ar obtidas pelas estratégias de ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva (a abertura de janelas só ocorre quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior e quando a temperatura interior é superior a 20°C) são mais reduzidas comparativamente à taxa promovida pela ventilação cruzada diurna. Os valores obtidos por estas duas estratégias são semelhantes, o que indicia que as condições exteriores e interiores tornam favorável a abertura de janelas em grande parte do dia.

Contrariamente ao que acontecia na situação de ventilação cruzada diurna, o efeito do vento nas taxas de renovação de ar proporcionadas pelas estratégias de ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva é impercetível. Para estes dois casos pode-se admitir que a variação de trocas de ar apenas acompanha a diferença de temperatura entre o ambiente interior e o ambiente exterior. Isto é, quando se dá a abertura de janelas, o ar quente existente no ambiente interior é impulsionado para o ambiente exterior até que se atinja o equilíbrio térmico. Assim, as taxas máximas de renovação de ar, para estas duas estratégias, são obtidas ao início da manhã, quando a temperatura exterior é mais baixa (27,2°C), obtendo-se 4h⁻¹. À medida que a temperatura exterior aumenta as renovações de ar vão sendo reduzidas devido à proximidade da temperatura interior com a temperatura exterior.

As estratégias de ventilação noturna apresentam taxas de renovação de ar também significativas, que se devem em grande parte à maior diferença de temperaturas entre o ambiente interior e o ambiente exterior, sendo mais expressivas quando se utiliza a ventilação unilateral noturna.

No caso da ventilação cruzada noturna as taxas de renovação de ar são mais baixas, o que pode estar relacionado com a ausência de vento direcionado a Noroeste durante o período noturno. Além disso, com a abertura de portas interiores aumenta-se o volume de ar a ser renovado.

Para o dia mais frio do ano, 25 de Janeiro, o efeito do vento, com direção Nordeste e com velocidade inferior a 2m/s, nas trocas de ar entre o ambiente interior e exterior é pouco significativo (Figura 5.13).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

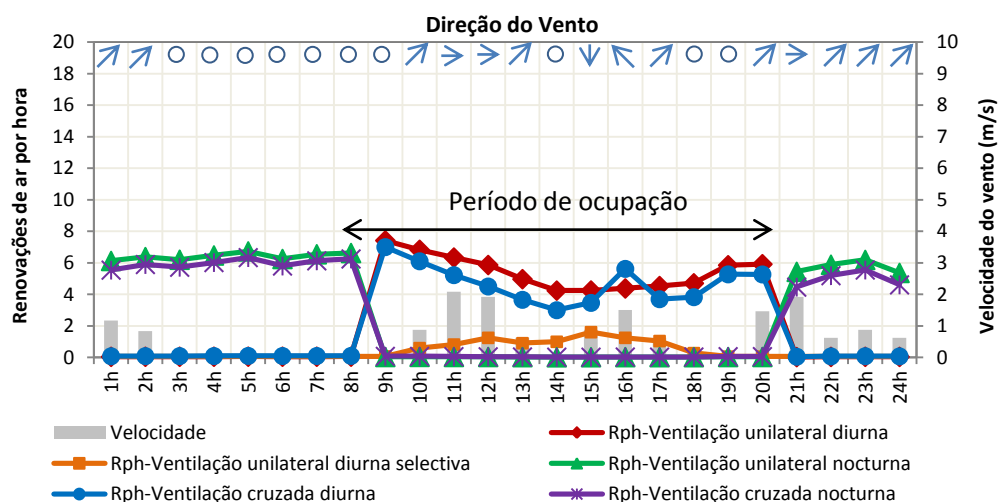


Figura 5.13 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro

Para a zona Zon.M(1-SE), a Figura 5.13 demonstra que independentemente da estratégia de ventilação as taxas de renovação de ar médias são semelhantes, na ordem das $6h^{-1}$.

A estratégia de ventilação unilateral diurna selectiva apresenta-se como uma exceção, apresentando taxas de renovação de ar relativamente baixas comparativamente às restantes estratégias de ventilação, inferiores a $2h^{-1}$.

Na Figura 5.14 são apresentadas as renovações de ar da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho.

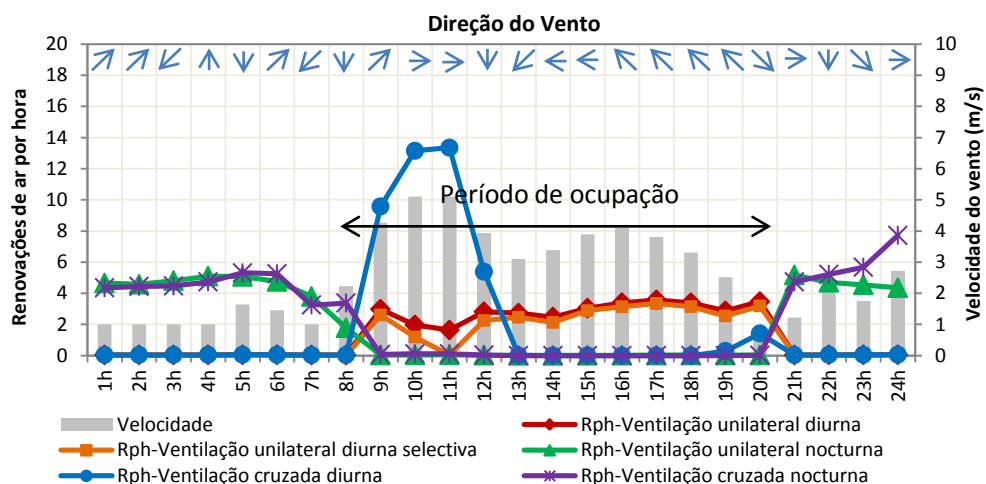


Figura 5.14 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Para a zona Zon.K(1-W), a utilização de ventilação cruzada diurna proporciona taxas de renovação de ar significativas durante o período da manhã, correspondente ao período onde se regista vento com direção Este e com velocidade na ordem dos 5m/s, atingindo aproximadamente as 13h⁻¹. Contudo, nas restantes horas do dia as taxas de renovação de ar são muito baixas devido à ausência de vento com direção favorável.

No caso da ventilação unilateral diurna, a variação das taxas de renovação de ar apresenta um comportamento semelhante ao verificado na zona Zon.M(1-SE). Isto é, as renovações de ar são impulsionadas exclusivamente pela diferença de densidades entre o ar interior e o ar exterior, obtendo valores médios de renovação de ar na ordem dos 3h⁻¹.

No caso da ventilação unilateral noturna, o comportamento descrito pelas renovações de ar acompanha a variação da temperatura exterior.

As renovações de ar obtidas pela ventilação cruzada noturna são muito próximas das obtidas com ventilação unilateral noturna.

A Figura 5.15 apresenta as taxas de renovação de ar da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro.

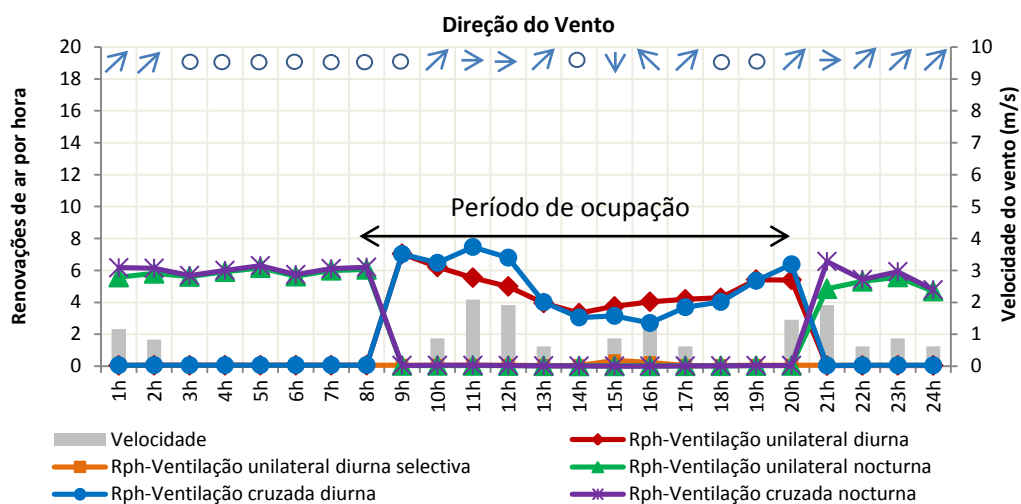


Figura 5.15 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro

Para o dia mais frio do ano, as taxas de renovação de ar proporcionadas pelas diferentes estratégias de ventilação na zona Zon.K(1-W) apresentam um comportamento semelhante ao encontrado na zona Zon.M(1-SE) para o mesmo período. Isto é, as taxas de renovação de ar

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

obtidas pelas estratégias de ventilação cruzada e ventilação unilateral são muito semelhantes, com valores médios compreendidos entre $5h^{-1}$ e $6h^{-1}$.

Verifica-se ainda que para a ventilação unilateral diurna seletiva as taxas de renovação de ar são praticamente nulas.

Na Figura 5.16 são apresentadas as renovações de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as diferentes estratégias de ventilação no dia 6 de Julho.

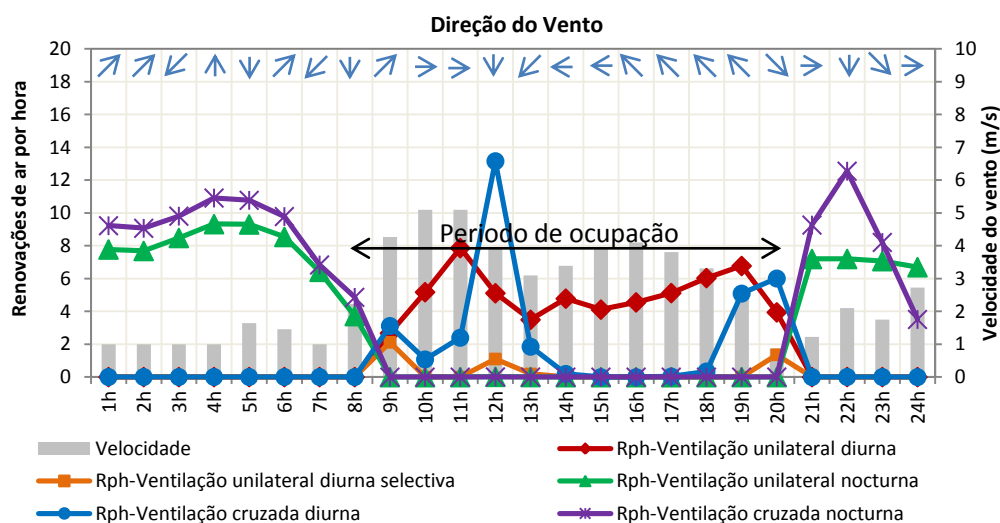


Figura 5.16 – Renovações de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho

Analisando a Figura 5.16, verifica-se que o pico de trocas de ar promovidas pela ventilação cruzada diurna na zona Zon.R(1-NE) ocorre ao fim da manhã, quando o vento é direcionado a Sul. Apesar da direção do vento não incidir perpendicularmente na superfície das aberturas, é possível obter taxas de renovação de ar significativas, cerca de $13,2h^{-1}$. No restante período do dia, as trocas de ar diminuem devido à ausência de ventos favoráveis.

Relativamente à ventilação unilateral diurna, os valores máximos de renovação de ar são atingidos no final da manhã, quando a temperatura exterior é mais elevada. Desta forma, é potenciada a entrada de ar quente vindo do exterior, o que pode ser prejudicial para o conforto térmico dos ocupantes.

Comparando a ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva verificou-se que em grande parte do período diurno as condições exteriores não são favoráveis à abertura

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

de janelas, o que está visível na diferença significativa entre as taxas de ventilação destas duas estratégias de ventilação. Com a ventilação unilateral diurna seletiva verificou-se que apenas são obtidas taxas de renovação de ar nos períodos do dia em que a temperatura exterior é mais baixa, início da manhã (27,5°C) e final da tarde (28,3°C).

No que se refere às estratégias de ventilação noturna, a que promove maiores trocas de ar é a ventilação cruzada noturna. Com esta estratégia, as taxas de renovação de ar médias são de 4,4h⁻¹, enquanto que com a ventilação unilateral noturna as renovações de ar são de apenas 3,7h⁻¹.

Com a abertura das portas interiores a movimentação de ar quente de outras zonas para a zona Zon.R(1-NE) promove o aumento da sua temperatura interior. Desta forma, cria-se um maior potencial de ventilação devido à maior diferença de temperaturas entre o ambiente interior e o ambiente exterior. O aumento das taxas de renovação de ar neste período é também devido à incidência do vento com direção Sul que favorece a movimentação de ar entre os dois ambientes.

Na Figura 5.17 são apresentadas as taxas de renovação de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro.

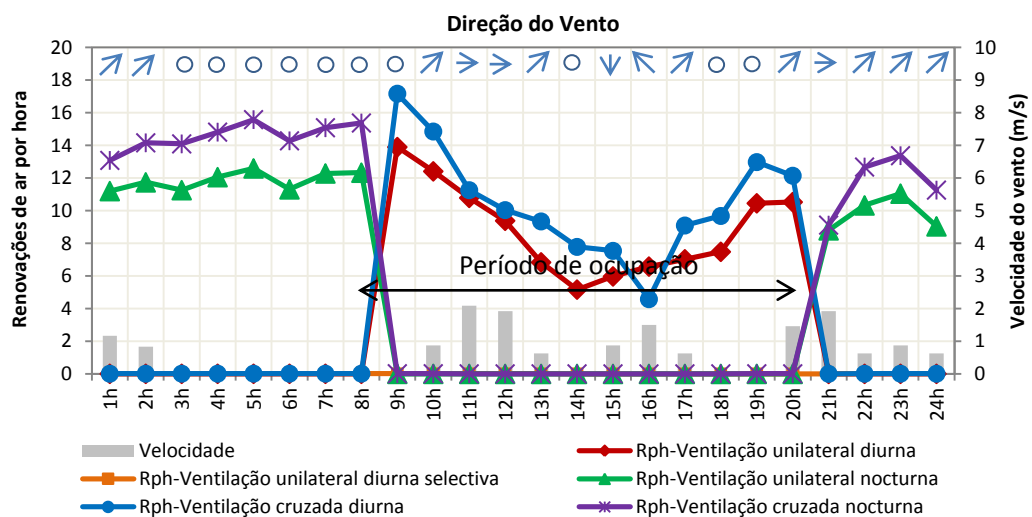


Figura 5.17 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

De acordo com Figura 5.17, no dia mais frio do ano, a zona Zon.R(1-NE) apresenta taxas de renovação ligeiramente mais altas quando são utilizadas as estratégias de ventilação cruzada, com uma diferença média de $2h^{-1}$.

Verifica-se ainda que a estratégia de ventilação unilateral diurna seletiva não contribui com qualquer valor de renovação de ar durante todo o período do dia, uma vez que as condições climáticas não são favoráveis.

Na Figura 5.18 são apresentadas as taxas de renovação de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho.

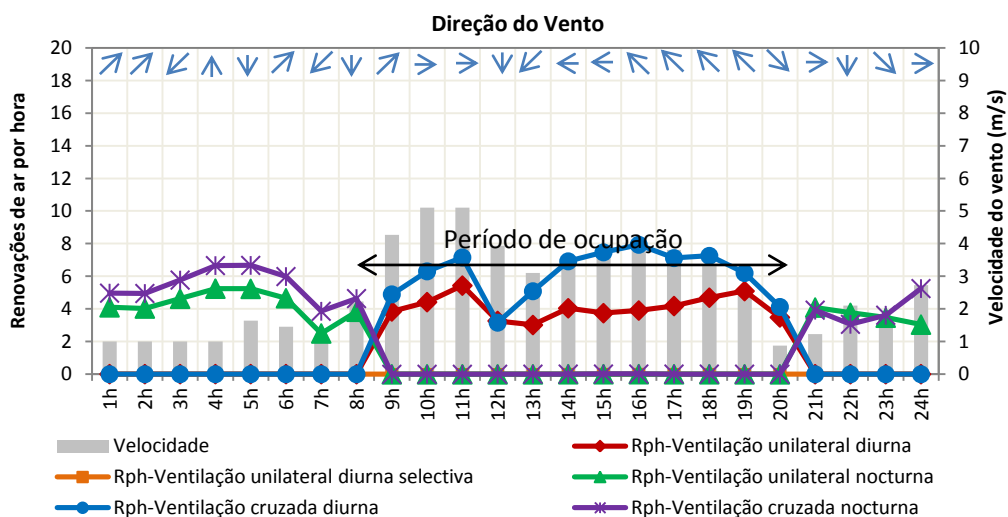


Figura 5.18 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 6 de Julho

Pela análise da Figura 5.18 constata-se que, tal como na zona Zon.M(1-SE), na zona Zon.A(0-SE) a estratégia que oferece maiores taxas de renovação de ar é a ventilação cruzada diurna, atingindo o valor máximo de $8h^{-1}$.

Analisando os valores das taxas de renovação de ar obtidas pela ventilação unilateral diurna, verifica-se que estes são maiores quando a temperatura exterior é mais alta. Tal como acontecia com a zona Zon.R(1-NE), nestas condições é promovida a movimentação de ar quente do exterior para interior, uma vez que no interior a temperatura é mais baixa.

As taxas de renovação de ar obtidas pela ventilação unilateral diurna seletiva apresentam-se nulas durante todo o dia, devido às condições climáticas adversas.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Relativamente à ventilação unilateral noturna, as maiores renovações de ar são atingidas nos quando a temperatura exterior é mais baixa, verificando-se renovações máximas de $5,2 \text{ h}^{-1}$.

Para a ventilação cruzada noturna, as taxas de renovação de ar apresentam um comportamento semelhante ao verificado na ventilação unilateral noturna.

A Figura 5.19 apresenta as renovações de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro.

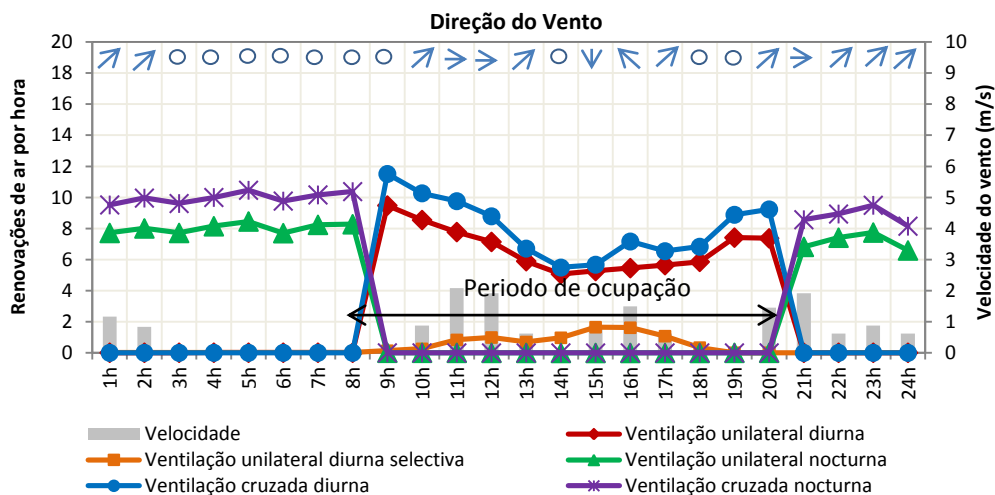


Figura 5.19 – Taxas de renovação de ar da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro

A análise da Figura 5.19 permite concluir que, para a zona Zon.A(0-SE), as renovações de ar promovidas pelas estratégias de ventilação acompanham a variação das temperaturas do ambiente interior e exterior durante o período de abertura de janelas. Verificando-se desta forma maiores taxas de renovação de ar quando utilizadas as estratégias de ventilação cruzada, tal como acontecia na zona Zon.R(1-NE) para o mesmo período (dia mais frio do ano).

Na Figura 5.20 são apresentados as taxas de renovação de ar médias referentes às diferentes estratégias de ventilação para a estação de arrefecimento.

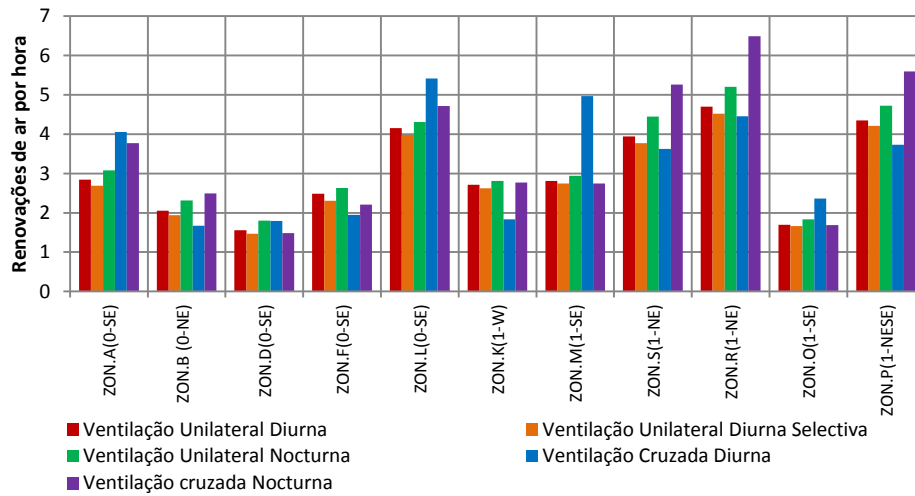


Figura 5.20 – Taxas de renovação de ar médias referentes às diferentes estratégias de ventilação para estação de arrefecimento

Os resultados apresentados na Figura 5.20 mostram que as estratégias que proporcionam maiores taxas de renovação de ar são a ventilação cruzada diurna e a ventilação cruzada noturna, sendo que as zonas orientadas a Sudeste apresentam maiores taxas de renovação de ar através da ventilação cruzada diurna e as zonas orientadas a Nordeste apresentam maiores taxas de renovação de ar através da ventilação cruzada noturna.

Verifica-se ainda que as zonas que apresentam maior Superfície Relativa de Área de Ventilação, apresentam taxas de renovação de ar mais elevadas.

Por exemplo, a zona Zon.L(1-SE), com orientação Sudeste e 4,8% de SRAV, apresenta a maior taxa de renovação de ar para o período diurno enquanto a zona Zon.R(1-NE), com orientação Nordeste e 6,2% de SRAV, apresenta a maior taxa de renovação para o período noturno.

Porém constata-se que algumas zonas apresentam valores mais baixos de renovação de ar quando utilizadas estratégias de ventilação cruzada diurna ou noturna, como é o caso das zonas Zon.K(1-W) e Zon.F(0-SE).

As baixas taxas de renovação de ar obtidas por estas estratégias na zona Zon.K(1-W) estão relacionadas com a baixa frequência de vento com direção Este na estação de arrefecimento, o que não potencia as trocas de ar entre o ambiente exterior o ambiente interior.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No caso da zona Zon.F(0-SE), as baixas taxas de renovação de ar obtidas pelas estratégias de ventilação cruzada devem-se às dificuldades impostas pela organização do espaço interior que dificultam a circulação de ar de e para fachadas com orientação distinta.

Na Figura 5.21 são apresentados as taxas de renovação médias de ar horárias das zonas avaliadas, referentes às estratégias de ventilação, para estação de aquecimento.

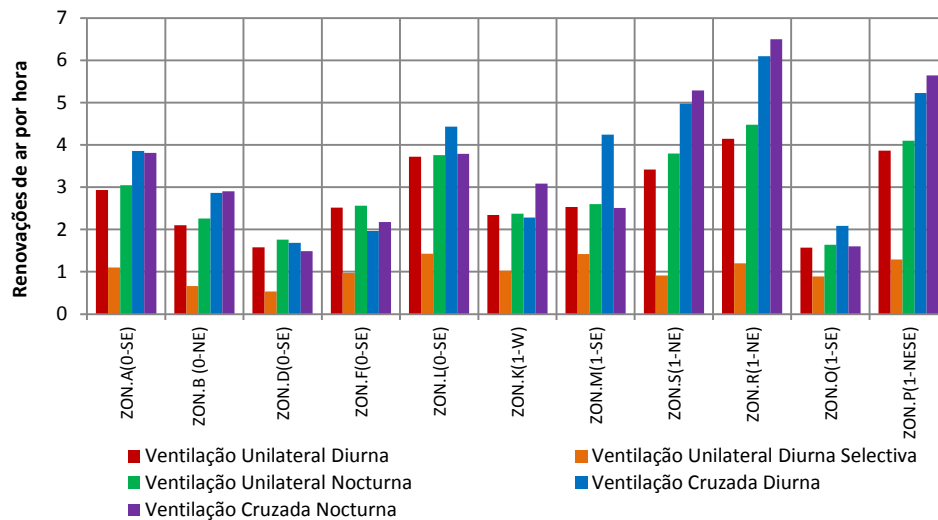


Figura 5.21 – Taxas de renovação de ar médias referentes às diferentes estratégias de ventilação para estação de aquecimento

Para a estação de aquecimento, as estratégias de ventilação cruzada diurna e ventilação cruzada noturna continuam a apresentar as maiores taxas de renovação de ar.

Contrariamente ao que acontecia na estação de arrefecimento, na zona Zon.K(1-W) a estratégia que propõe maiores taxas de renovação de ar é a ventilação cruzada noturna. Isto deve-se à maior frequência de vento com direção Este durante a estação de aquecimento, o que favorece a ventilação nesta zona.

Durante a estação de aquecimento, a frequência de vento com direção Sul é significativa, contribuindo para maiores taxas de renovação de ar nas zonas com orientação Nordeste.

No caso da ventilação unilateral diurna seletiva, as taxas de renovação de ar são significativamente mais baixas comparativamente às restantes estratégias de ventilação natural. As zonas que apresentam maiores taxas de renovação de ar, com utilização desta estratégia, são as que apresentam maiores ganhos solares, associados à sua orientação propícia

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

a maiores ganhos solares (neste caso Sudeste) e à maior Superfície Relativa de área de Envidraçado, que são as zonas Zon.M(1-SE) e Zon.L(1-SE).

Após ser avaliado o efeito da ventilação natural nas renovações de ar das zonas avaliadas, é realizada de seguida uma comparação com requisitos mínimos impostos pelo RSECE a fim de verificar se estão reunidas as condições mínimas para assegurar a qualidade do ar interior.

Verificação dos caudais mínimos ar novo em conformidade com o estabelecido no RSECE

No Anexo IV do Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), podem-se obter os caudais mínimos de ar novo para o edifício de serviço em estudo. Assumindo que este apresenta atividades semelhantes às de um gabinete, os caudais de ar novo devem ser superiores a $35 \text{ m}^3/(\text{h.ocup})$ e $5 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$. Tendo como base estes valores obtiveram-se os caudais mínimos de ar novo para as zonas térmicas avaliadas, que estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Caudais mínimos de ar novo (RSECE, 2006)

Zonas	Área (m ²)	Ocupação (m ² /ocup)	Caudal Mínimo (m ³ /h.ocup)	Caudal mínimo (m ³ /h.m ²)	Caudal mínimo critério ocupação (m ³)	Caudal mínimo critério área (m ³)	Caudal mínimo adotado (m ³)
ZON.A(0-SE)	97,01	15	35	5	245	485,06	485,06
ZON.B(0-NE)	69,30	15	35	5	175	346,49	346,49
ZON.D(0-SE)	101,10	15	35	5	245	505,48	505,48
ZON.F(0-SE)	34,15	15	35	5	105	170,77	170,77
ZON.L(0-SE)	75,08	15	35	5	175	375,38	375,38
ZON.K(1-W)	104,44	15	35	5	245	522,19	522,19
ZON.M(1-SE)	34,79	15	35	5	105	173,93	173,93
ZON.S(1-NE)	17,76	15	35	5	70	88,80	88,80
ZON.R(1-NE)	28,99	15	35	5	70	144,96	144,96
ZON.O(1-SE)	112,03	15	35	5	280	560,16	560,16
ZON.P(1-NESE)	32,43	15	35	5	105	162,14	162,14

Na Tabela 5.5 podem ser comparados os caudais de ar novo para as zonas avaliadas quando são aplicadas as estratégias de ventilação natural com o caudal mínimo regulamentar, para a estação de arrefecimento.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.5 – Verificação dos caudais mínimos de ar novo em conformidade com o RSECE para a estação de arrefecimento

Zona Avaliada	SREV (%)	Caudal Mínimo (m ³)	Ventilação Unilateral Diurna (m ³)	Ventilação Unilateral Diurna Seletiva (m ³)	Ventilação Unilateral Noturna (m ³)	Ventilação Cruzada Diurna (m ³)	Ventilação Cruzada Noturna (m ³)
ZON.A(0-SE)	3,71	485,06	881,19	834,50	956,40	1258,70	1170,00
ZON.B(0-NE)	2,60	346,49	456,03	430,20	513,60	370,10	552,30
ZON.D(0-SE)	1,78	505,48	502,70	474,10	581,60	581,10	481,10
ZON.F(0-SE)	2,64	170,765	271,20	252,10	287,80	213,10	241,30
ZON.L(0-SE)	4,80	375,38	997,90	956,70	1034,40	1301,10	1132,60
ZON.K(1-W)	2,59	522,19	906,40	876,70	938,50	611,80	925,70
ZON.M(1-SE)	2,59	173,93	313,00	305,90	327,70	552,60	305,70
ZON.S(1-NE)	5,10	88,80	223,80	214,30	252,60	205,80	299,10
ZON.R(1-NE)	6,20	14496	436,00	419,00	483,10	413,20	602,00
ZON.O(1-SE)	1,60	560,16	608,00	594,90	657,70	845,60	604,80
ZON.P(1-NESE)	5,60	162,14	451,20	436,80	490,40	387,40	580,30

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.5 verifica-se que, para a generalidade das estratégias de ventilação, são verificados os caudais mínimos de renovação de ar. Apenas a zona Zon.D(0-SE) apresenta valores de caudal inferiores ao mínimo regulamentar quando utilizada a ventilação unilateral diurna ou a ventilação unilateral diurna seletiva. Uma vez que é uma zona de circulação, os ganhos internos são menores. Além disso, apresenta uma Superfície Relativa de Área de Ventilação reduzida, na ordem dos 1,8%. A combinação destes dois efeitos reduz a capacidade de renovação de ar nesta zona.

Na Tabela 5.6 são apresentados os caudais médios para as zonas avaliadas quando são aplicadas as diferentes estratégias de ventilação natural, na estação de aquecimento.

Tabela 5.6 – Verificação dos caudais mínimos de ar novo em conformidade com o RSECE para a estação de aquecimento

Zona Avaliada	SREV (%)	Caudal Mínimo (m ³)	Ventilação Unilateral Diurna (m ³)	Ventilação Unilateral Diurna Seletiva (m ³)	Ventilação Unilateral Noturna (m ³)	Ventilação Cruzada Diurna (m ³)	Ventilação Cruzada Noturna (m ³)
ZON.A(0-SE)	3,71	485,06	909,90	341,40	946,30	1198,20	1182,80
ZON.B(0-NE)	2,60	346,49	465,90	147,10	500,70	635,00	644,30
ZON.D(0-SE)	1,78	505,48	509,60	173,50	568,60	543,90	480,70
ZON.F(0-SE)	2,64	170,765	275,10	106,10	280,10	214,60	237,50
ZON.L(0-SE)	4,80	375,375	894,10	342,70	902,10	1064,90	910,20
ZON.K(1-W)	2,59	522,185	783,50	344,20	793,60	761,90	1031,30
ZON.M(1-SE)	2,59	173,925	281,90	157,90	289,20	472,10	279,70
ZON.S(1-NE)	5,10	88,795	194,40	51,90	215,75	282,90	300,50
ZON.R(1-NE)	6,20	144,96	384,30	111,70	415,20	565,40	603,00
ZON.O(1-SE)	1,60	560,16	563,50	318,20	588,40	748,40	573,60
ZON.P(1-NESE)	5,60	162,14	400,80	134,10	425,60	542,50	585,60

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

De acordo com a Tabela 5.6 verifica-se que para a generalidade das estratégias de ventilação são assegurados os caudais mínimos impostos pelo RSECE. Porém, a estratégia de ventilação unilateral diurna seletiva apresenta valores inferiores ao limite mínimo regulamentar. Isto deve-se às baixas temperaturas que se fazem sentir na estação de aquecimento que não tornam possível a abertura de janelas sem que se comprometa o conforto térmico dos ocupantes.

Apesar de se ter verificado que para a generalidade das estratégias de ventilação são assegurados os requisitos mínimos para a qualidade do ar impostas pelo RSECE foram também quantificados os impactos destas nas condições de conforto.

5.2.2 Impacte nas condições de conforto térmico

Na Figura 5.22 é apresentada a temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as diferentes estratégias de ventilação natural no dia mais quente do ano, 6 de Julho.

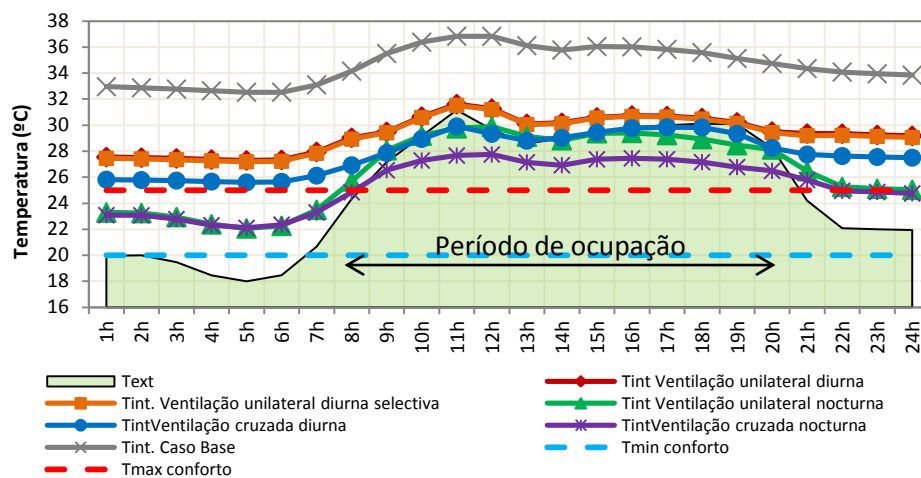


Figura 5.22 – Temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho

De acordo com Figura 5.22 verifica-se que, na zona Zon.M(1-SE), as estratégias de ventilação noturna conduzem à obtenção de temperaturas mais próximas do valor da temperatura máxima de conforto, das quais se destaca a ventilação cruzada noturna. Comparativamente ao Caso base, esta estratégia promove uma redução média de 9°C na temperatura do ambiente interior, no período de ocupação, mantendo a temperatura interior próxima dos 27°C.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

No caso das estratégias de ventilação diurna, como seria de esperar, as temperaturas interiores acompanham a curva da temperatura exterior.

As estratégias ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva, que apresentavam as menores taxas de renovação de ar, proporcionam temperaturas interiores mais elevadas, próximas dos 31°C durante o período de ocupação.

Analisando a ventilação cruzada diurna, à qual estão associados as taxas de renovação de ar mais elevadas, a temperatura interior apresenta-se um pouco mais baixa, próxima dos 29°C.

Para o dia mais frio do ano, a temperatura exterior apresenta-se muito baixa ao longo do dia, atingindo a temperatura mínima de 1°C e a temperatura máxima de 12°C.

Na Figura 5.23 é descrito o comportamento da temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia mais frio do ano, 25 de Janeiro.

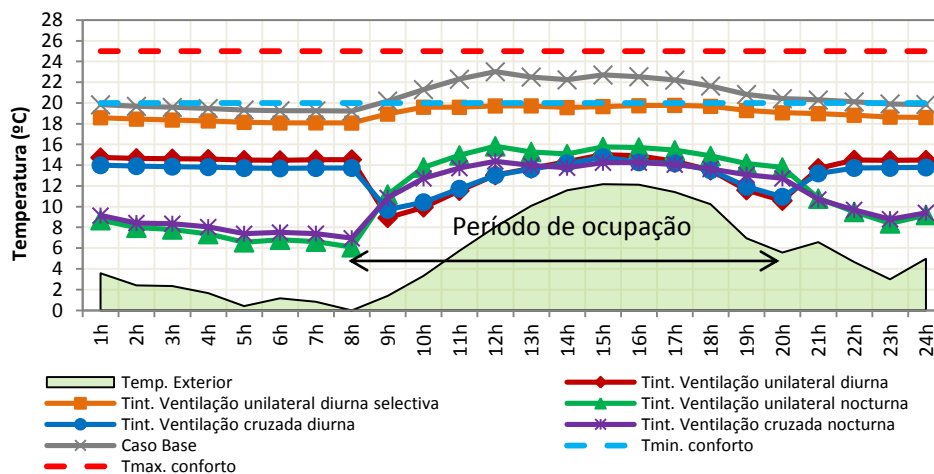


Figura 5.23 – Temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro

Para o dia mais frio do ano, como é visível na Figura 5.23, a estratégia de ventilação que apresenta um melhor desempenho ao nível do conforto térmico é o Caso base, onde em grande parte do período de ocupação a temperatura interior se encontra acima dos 20°C.

A ventilação unilateral diurna seletiva também apresenta valores próximos da temperatura mínima de conforto (20°C), no período de ocupação, no entanto deve-se ter em conta que não

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

são verificados os caudais mínimos para manutenção da qualidade do ar interior estabelecidos no RSECE.

As restantes estratégias de ventilação proporcionam temperaturas interiores semelhantes e inferiores a 14°C.

Porém, as estratégias de ventilação noturna apresentam uma ligeira vantagem em relação às estratégias de ventilação diurna, na medida em que permitem que a temperatura interior apresente menores oscilações durante o período de ocupação.

Na Figura 5.24 está apresentada a temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as diferentes estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho.

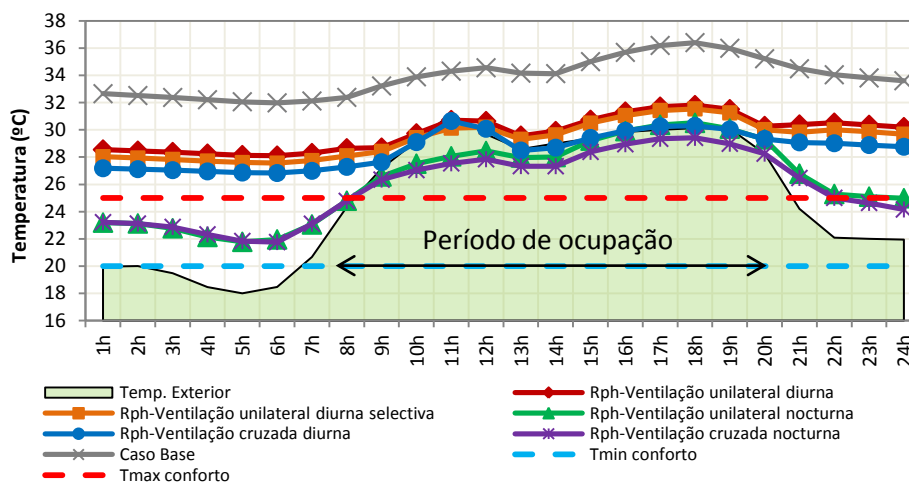


Figura 5.24 – Temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho

Analisando a Figura 5.24 verifica-se que, na zona Zon.K(1-W), as estratégias ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna continuam a garantir as temperaturas interiores mais baixas, redução de 6 a 7°C, relativamente ao Caso Base. Para esta zona, os valores da temperatura interior proporcionados pela ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna aproximam-se dos 28°C, no período de ocupação.

As temperaturas interiores mais elevadas são encontradas com as estratégias de ventilação diurna, mais concretamente as estratégias de ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva, temperaturas próximas dos 31°C.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

A Figura 5.25 apresenta a temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro.

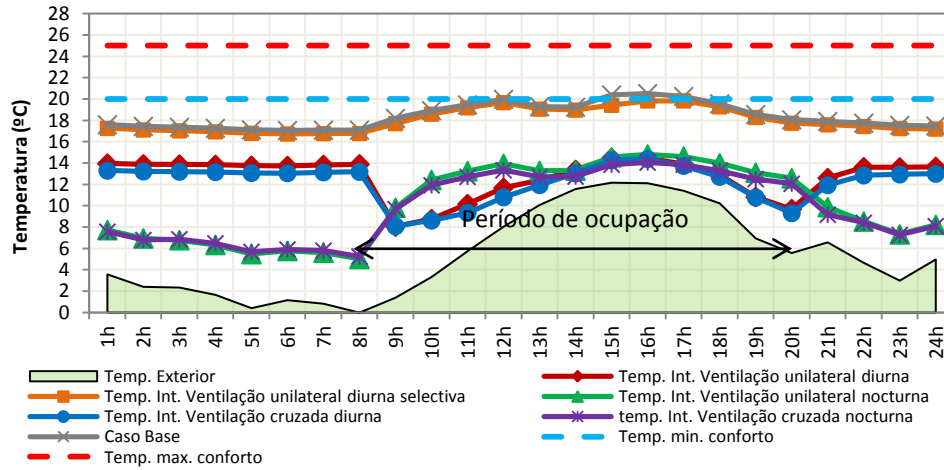


Figura 5.25 – Temperatura interior da zona Zon.K(1-W) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro

No dia mais frio do ano, como é visível na Figura 5.25, a temperatura interior da zona Zon.K(1-W) para o Caso Base e para a ventilação unilateral diurna selectiva encontra-se entre 18 e 20°C no período de ocupação. Para as restantes estratégias de ventilação verifica-se que a temperatura interior da zona Zon.K(1-W) é muito baixa, inferior a 14°C, tal como se verificava na zona Zon.M(1-SE).

Na Figura 5.26 é apresentada a temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as diferentes estratégias de ventilação estudadas no dia 6 de Julho.

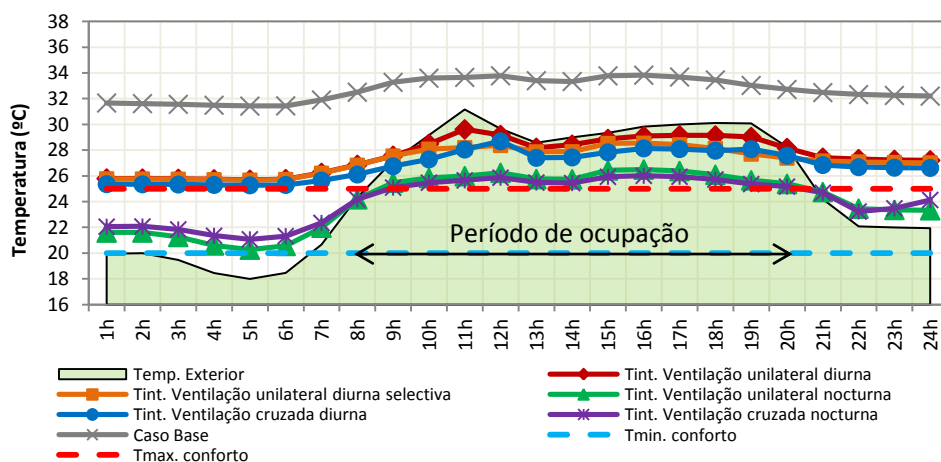


Figura 5.26 – Temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

De acordo com a Figura 5.26 verifica-se que, independentemente da estratégia de ventilação utilizada, os valores da temperatura interior encontram-se abaixo da temperatura verificada no exterior.

Na zona Zon.R(1-NE), as estratégias de ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna apresentam valores próximos da temperatura de conforto em grande parte do período de ocupação, temperaturas que rondam em média os 25,5°C. Comparativamente ao Caso Base, as estratégias de ventilação noturna proporcionam uma redução média na temperatura interior de 8°C.

No caso das estratégias de ventilação diurna essa redução é menor, na ordem dos 5°C, uma vez que com a abertura de janelas a temperatura interior tende a aproximar-se da temperatura exterior, que para o período de ocupação é superior a 28°C.

Na Figura 5.27 é apresentada a temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural para o dia 25 de Janeiro.

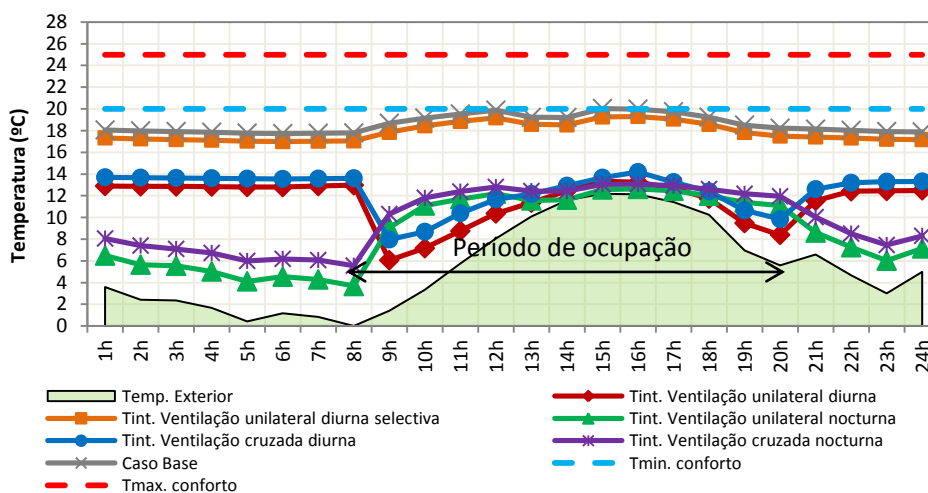


Figura 5.27 – Temperatura interior da zona Zon.R(1-NE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro

Analisando a Figura 5.27 constata-se que, tal como acontecia na zona Zon.K(1-W), as temperaturas interiores durante o período de ocupação, para o Caso Base e para a ventilação unilateral diurna seletiva são semelhantes e encontram-se entre 18 e 20°C.

Para as restantes estratégias de ventilação natural, os valores da temperatura interior encontram-se entre os 12 e os 14°C.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

A Figura 5.28 apresenta a temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as diferentes estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho.

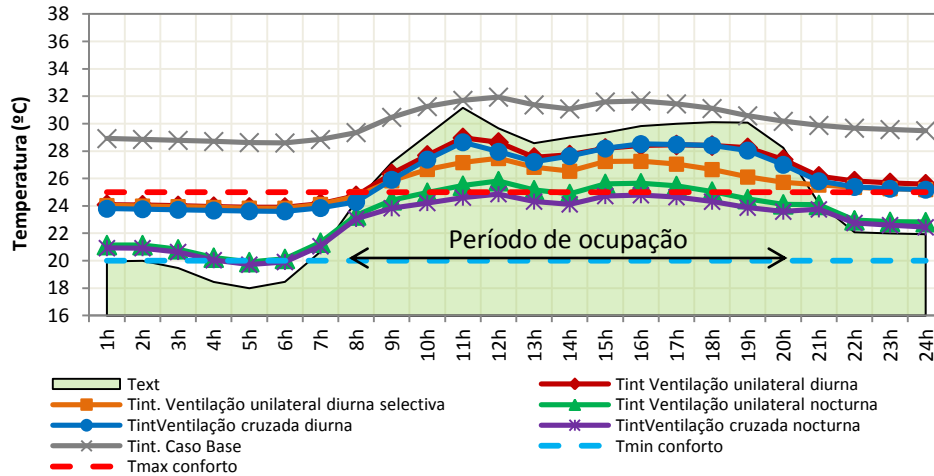


Figura 5.28 – Temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 6 de Julho.

Para a zona Zon.A(0-SE), as estratégias de ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna apresentam durante o período de ocupação, temperaturas interiores muito próximas da temperatura de conforto. Com a ventilação unilateral noturna, a temperatura interior é inferior a 26°C durante todo o período de ocupação. Relativamente à ventilação cruzada noturna, os valores obtidos para a temperatura interior são inferiores à temperatura máxima de conforto, abaixo dos 25°C.

Os valores obtidos pelas estratégias de ventilação unilateral diurna e ventilação cruzada diurna são muito próximos e registam uma redução média de 4°C na temperatura interior comparativamente ao Caso Base. No entanto, esses valores encontram-se acima da temperatura máxima de conforto, diferença média de 3°C.

Comparando a estratégia de ventilação unilateral diurna e ventilação unilateral diurna seletiva, verifica-se uma diferença média, a nível das temperaturas interiores, de 1°C.

Na Figura 5.29 está representado o comportamento da temperatura interior da zona Zon.M(1-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação no dia 25 de Janeiro.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

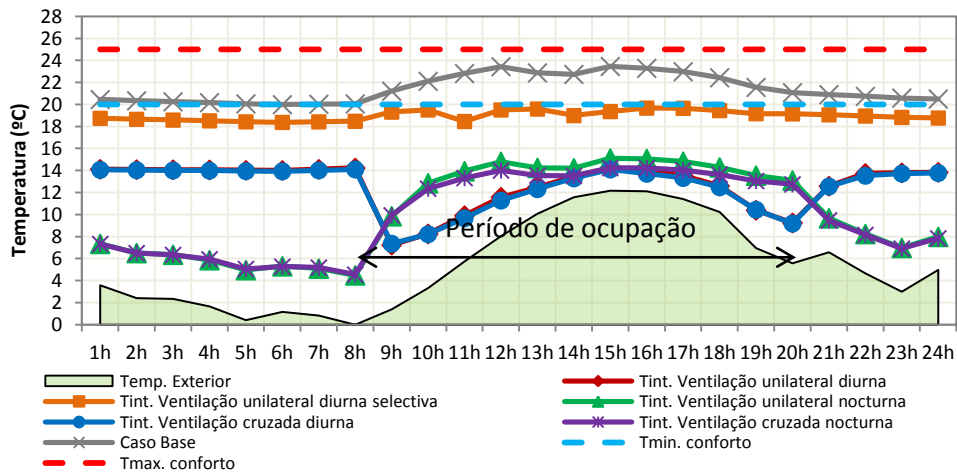


Figura 5.29 – Temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) quando são utilizadas as estratégias de ventilação natural no dia 25 de Janeiro

Pela análise da Figura 5.29 observa-se que, para o dia mais frio do ano, o Caso Base apresenta o melhor desempenho, mantendo a temperatura interior da zona Zon.A(0-SE) acima da temperatura mínima de conforto. Durante o período do dia, a zona Zon.A(0-SE), localizada no rés-do-chão, encontra-se mais resguardada das alterações climáticas comparativamente às zonas com a mesma orientação no piso superior. Desta forma apresentam temperaturas mais moderadas nos dias mais frios do ano, neste caso entre 21 e 24°C.

As temperaturas interiores apresentadas pelas estratégias de ventilação unilateral diurna e ventilação cruzada diurna apresentam-se semelhantes e variam entre 8°C e 14°C, durante o período de ocupação.

No caso das estratégias de ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna, a variação da temperatura interior no período de ocupação é menor, verificando-se uma variação entre 12°C e 14°C.

Verifica-se assim que as condições de conforto térmico de espaços interiores estão dependentes das condições climáticas verificadas no exterior e por sua vez das taxas de renovação de ar impostas pelas diferentes estratégias de ventilação natural.

Na Figura 5.30 apresenta o número de graus-hora de desconforto das zonas avaliadas quando são aplicadas as diferentes estratégias de ventilação natural, durante a estação de arrefecimento.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

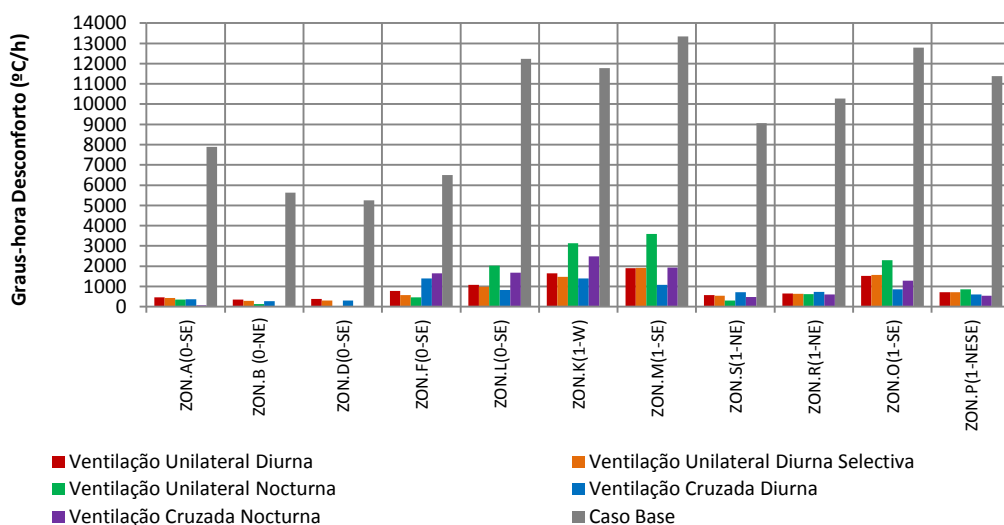


Figura 5.30 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação natural, durante a estação de arrefecimento

A Tabela 5.7 apresenta, para as diferentes estratégias de ventilação adotadas, as horas em que os ocupantes se sentem desconfortáveis para a estação de arrefecimento, isto é a percentagem de horas que durante o período de ocupação se encontra acima de 25°C. Na Tabela 5.8 são apresentados os valores da diferença de temperatura horária, obtidos pela diferença entre a temperatura interior e a temperatura máxima de conforto para a estação de arrefecimento (25°C).

Tabela 5.7 – Frequência de horas de desconforto das diversas estratégias de ventilação para estação de arrefecimento

Zona Avaliada	Estratégias de Ventilação					
	Caso Base (%)	Ventilação Unilateral Diurna (%)	Ventilação Unilateral Diurna Selectiva (%)	Ventilação Unilateral Noturna (%)	Ventilação Cruzada Diurna (%)	Ventilação Cruzada Noturna (%)
ZON.A(0-SE)	93,3	20,4	20,3	32,4	16,5	13,1
ZON.B(0-NE)	93,3	18,3	18,2	20,7	16,3	7,4
ZON.D(0-SE)	93,3	21,1	19,7	7,9	17,1	6,1
ZON.F(0-SE)	93,3	33,9	29,2	41,2	63,8	69,7
ZON.L(0-SE)	93,3	33,2	31,7	67,5	27,9	64,2
ZON.K(1-W)	93,3	51,2	49,0	76,0	50,1	70,4
ZON.M(1-SE)	93,3	57,2	59,3	82,0	38,2	66,8
ZON.S(1-NE)	93,3	25,0	24,9	29,0	33,8	40,1
ZON.R(1-NE)	93,3	25,0	25,0	44,2	33,3	44,8
ZON.O(1-SE)	93,3	54,5	57,4	74,7	36,0	61,2
ZON.P(1-NESE)	93,3	27,3	27,3	49,1	26,0	39,2

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.8 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diversas estratégias de ventilação, na estação de arrefecimento

Estratégia	°C/h	ZonA (0-SE) (%)	ZonB (0-NE) (%)	ZonD (0-SE) (%)	ZonF (0-SE) (%)	ZonL (1-SE) (%)	ZonK (1-W) (%)	ZonM (1-SE) (%)	ZonS (1-NE) (%)	ZonR (1-NE) (%)	ZonO (1-SE) (%)	ZonP (1-NESE) (%)
Ventilação Unilateral Diurna	0-2	76,7	86,5	88,2	77,4	56,2	62,3	61,9	78,0	74,4	67,4	71,2
	2-4	22,6	13,5	11,8	21,3	34,0	26,5	25,3	20,7	22,6	27,1	24,7
	4-6	0,7			1,2	9,8	9,6	11,7	1,4	3,0	5,4	4,0
	6-8						1,6	1,1				
Ventilação Unilateral Diurna Seletiva	0-2	81,0	97,0	95,8	83,7	62,2	63,2	63,2	82,3	74,7	68,6	71,0
	2-4	19,0	3,0	4,2	16,3	28,5	27,4	25,0	17,2	24,0	26,5	26,0
	4-6					9,3	7,9	10,9	0,6	1,4	4,9	3,0
	6-8						1,5	0,9				
Ventilação Unilateral Noturna	0-2	99,8	100	100	99,8	64,1	42,48	32,0	100,0	99,1	57,7	93,8
	2-4	0,2			0,2	34,9	42,3	51,8		0,9	42,2	16,6
	4-6					3,1	23,5	24,3			0,1	
	6-8						2,3	1,0				
Ventilação Cruzada Diurna	0-2	82,4	92,2	90,0	82,3	66,2	70,6	68,8	79,8	78,5	76,6	75,1
	2-4	17,2	7,2	10,0	17,4	27,4	23,6	25,6	20,2	21,5	21,1	23,3
	4-6	0,4			0,2	6,4	5,8	5,6			2,3	1,6
	6-8											
Ventilação Cruzada Noturna	0-2	100,0	100,0	100,0	90,8	73,9	51,2	70,8	100,0	99,5	92,9	98,9
	2-4				9,2	25,9	43,4	29,0		0,5	7,1	1,1
	4-6					0,2	5,5	0,2				
	6-8											

Pela análise da Figura 5.30 é visível o elevado número de graus-hora de desconforto associado ao Caso Base e que esse número pode ser reduzido com a adoção de estratégias de ventilação natural.

Na generalidade das zonas avaliadas, a estratégia de ventilação que apresenta melhor desempenho é a ventilação cruzada noturna, sendo que para a generalidade das horas de desconforto estão associados valores de temperatura que se encontram apenas entre 0 a 2°C acima da temperatura máxima de conforto (Tabela 5.8).

Com a adoção desta estratégia verifica-se uma redução no número graus-hora de desconforto na ordem dos 95% relativamente ao Caso Base.

No entanto há que referir o facto de que para as zonas orientadas a sudeste e localizadas no 1º piso, a melhor estratégia de ventilação é a ventilação cruzada diurna. É visível que quando se aplica esta estratégia nestas zonas a percentagem de horas de desconforto é inferior a 50% e que correspondem, na sua maioria, a temperaturas no máximo 2°C acima da temperatura de conforto (Tabela 5.8).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Embora se verifiquem resultados bastante satisfatórios para todas as estratégias de ventilação natural, a utilização da ventilação unilateral noturna exhibe os piores resultados, pois apresenta as maiores percentagens de horas de desconforto. Contudo, constata-se que para essas horas a temperatura interior encontra-se em geral 2°C acima da temperatura de conforto.

Com apenas 2°C acima da temperatura de conforto é possível, através da aclimatização, que os ocupantes se adaptem a estas condições térmicas, reduzindo a sensação de desconforto.

Na Figura 5.31, apresenta o número de graus-hora de desconforto das zonas avaliadas quando são aplicadas as diferentes estratégias de ventilação natural, durante a estação de aquecimento.

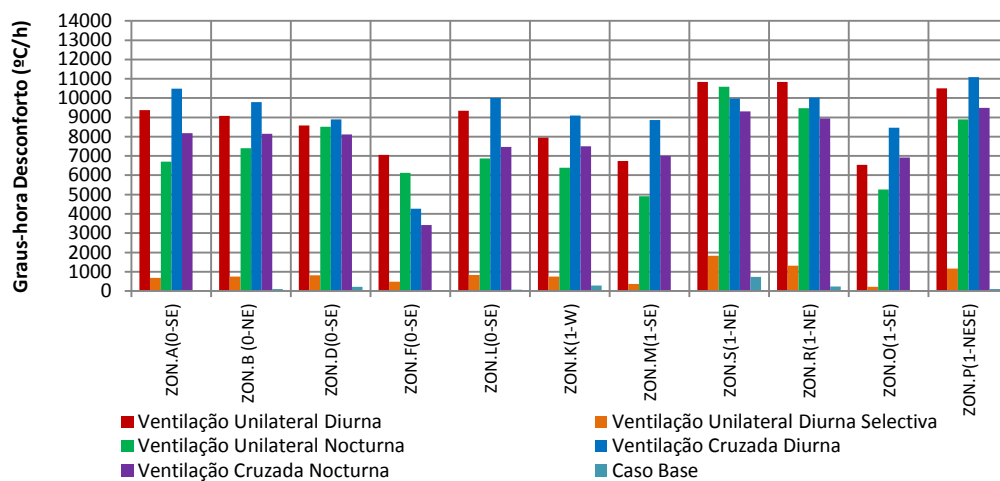


Figura 5.31 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as estratégias de ventilação natural, durante a estação de aquecimento

A Tabela 5.9 apresenta, para as diferentes estratégias de ventilação adotadas, as horas em que os ocupantes se sentem desconfortáveis para a estação de aquecimento, isto é a percentagem de horas que durante o período de ocupação se encontra abaixo de 20°C. Na Tabela 5.10 são apresentados os valores da diferença de temperatura horária, obtidos pela diferença entre a temperatura interior e a temperatura mínima de conforto para a estação de aquecimento (20°C).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.9 – Frequência de horas de desconforto das diversas estratégias de ventilação para estação de aquecimento

Zona Avaliada	Estratégias de ventilação					
	Caso Base (%)	Ventilação Unilateral Diurna (%)	Ventilação Unilateral Diurna Seletiva (%)	Ventilação Unilateral Noturna (%)	Ventilação Cruzada Diurna (%)	Ventilação Cruzada Noturna (%)
ZON.A(0-SE)	0,6	77,1	66,2	67,6	82,8	75,3
ZON.B(0-NE)	5,6	77,2	67,6	72,0	82,6	77,2
ZON.D(0-SE)	14,0	75,4	65,6	76,9	80,8	76,8
ZON.F(0-SE)	3,0	68,8	59,3	65,9	59,7	55,4
ZON.L(0-SE)	3,5	73,8	64,1	62,9	79,6	65,4
ZON.K(1-W)	11,5	67,3	58,1	60,7	71,8	65,4
ZON.M(1-SE)	1,9	62,8	45,6	53,5	77,3	64,8
ZON.S(1-NE)	27,5	79,2	71,3	77,6	79,1	75,4
ZON.R(1-NE)	12,2	78,5	71,2	73,1	79,3	73,9
ZON.O(1-SE)	0	63,6	44,7	59,9	77,3	66,9
ZON.P(1-NESE)	6,0	77,6	68,9	71,3	82,9	74,8

Tabela 5.10 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diversas estratégias de ventilação, na estação de aquecimento

Estratégia	°C/h	ZonA (0-SE) (%)	ZonB (0-NE) (%)	ZonD (0-SE) (%)	ZonF (0-SE) (%)	ZonL (1-SE) (%)	ZonK (1-W) (%)	ZonM (1-SE) (%)	ZonS (1-NE) (%)	ZonR (1-NE) (%)	ZonO (1-SE) (%)	ZonP (1-NESE) (%)
Ventilação Unilateral Diurna	0-2	27,9	29,0	30,1	35,5	27,1	28,9	32,2	23,4	23,6	33,7	24,2
	2-4	32,4	33,4	39,8	30,0	34,6	40,3	24,0	24,4	24,4	42,4	25,5
	4-6	26,4	26,5	26,4	18,3	27,7	24,8	19,7	32,6	32,0	18,2	31,1
	6-8	9,4	8,4	7,7	5,3	10,3	8,6	6,3	13,9	13,3	4,9	13,0
	+8	3,8	2,7	1,4	1,2	5,0	3,2	1,5	6,1	6,8	0,8	6,2
Ventilação Unilateral Diurna Seletiva	0-2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,7	100,0	96,2	99,1	100	99,0
	2-4						1,3		3,8	0,9		1,0
	4-6											
	6-8											
	+8											
Ventilação Unilateral Noturna	0-2	44,8	35,0	26,9	45,2	38,2	38,5	48,0	21,4	22,3	48,5	25,0
	2-4	29,8	39,1	41,1	33,3	30,5	31,9	28,0	27,6	32,9	29,5	35,5
	4-6	14,8	16,5	21,1	13,8	17,9	17,5	15,1	28,5	26,0	14,5	21,4
	6-8	5,6	5,5	7,6	4,5	7,4	7,1	4,9	14,6	11,9	4,5	10,8
	+8	5,0	3,9	3,3	3,2	6,0	4,9	4,0	7,9	6,8	3,0	7,3
Ventilação Cruzada Diurna	0-2	23,8	27,6	28,5	52,9	25,1	24,6	25,8	24,4	24,2	28,0	23,7
	2-4	29,4	26,5	31,3	38,6	28,4	30,2	31,9	24,1	24,5	33,5	21,4
	4-6	30,0	32,6	32,0	8,0	29,2	27,7	32,5	34,0	33,5	30,8	32,8
	6-8	12,0	11,4	7,3	0,5	12,8	11,4	8,6	15,0	15,0	6,9	17,1
	+8											
Ventilação Cruzada Noturna	0-2	30,1	29,9	27,0	69,6	30,1	30,9	31,3	22,1	22,4	32,3	21,6
	2-4	40,5	42,3	43,8	22,8	36,5	33,9	38,5	32,6	35,2	41,4	34,6
	4-6	19,4	18,9	21,6	5,1	21,7	22,8	21,4	31,2	29,6	18,4	27,1
	6-8	5,3	5,6	5,0	2,2	6,5	7,0	5,6	11,2	9,4	4,9	11,8
	+8	4,8	3,3	2,6	0,4							

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Os resultados apresentados Figura 5.31 na Tabela 5.9 Tabela 5.10 mostram que manter as janelas fechadas (Caso Base) constitui a melhor solução para assegurar o conforto térmico durante a estação de aquecimento.

Verifica-se também que a estratégia de ventilação que apresenta melhores resultados a nível de número de graus-hora de desconforto é a ventilação unilateral diurna seletiva. A frequência de horas de desconforto, associados a esta estratégia, não ultrapassa os 71% e, embora esta percentagem seja considerável, é de realçar que corresponde a valores de temperatura interior que se encontram apenas entre 0 a 2°C abaixo do limite mínimo de conforto.

Todas as restantes estratégias de ventilação apresentam um elevado número de graus-hora de desconforto. Os piores resultados são obtidos quando se utiliza a estratégia ventilação cruzada diurna. Existem zonas avaliadas onde se registam frequências de horas de desconforto superiores a 80%, onde as temperaturas interiores se encontram 4°C a 6°C abaixo da temperatura mínima de conforto.

Verifica-se também que é mais favorecida a utilização de estratégias de ventilação noturna relativamente às estratégias de ventilação diurna, o que se pode comprovar com as menores horas de desconforto durante o período de ocupação.

Numa análise generalizada, verifica-se que a existência de maiores áreas de envidraçados contribui para um maior número de graus-hora de desconforto na estação de arrefecimento mas também na estação de aquecimento.

Na estação de aquecimento a utilização de sombreamento dos vãos envidraçados pode contribuir favoravelmente para a redução da temperatura do ambiente interior. Assim foi estudado o contributo destes sistemas nas condições de conforto térmico, na estação de arrefecimento.

De seguida apresenta-se a análise do número de graus-hora de desconforto quando são colocadas proteções solares nos envidraçados.

Impacte das proteções solares nos vãos envidraçados nas condições de conforto térmico.

Neste edifício não é possível colocar proteções solares exteriores e a adoção de elementos de sombreamento pelo interior não constitui uma barreira eficaz às trocas por condução e

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

radiação, por isso a única solução passa por utilizar um “vidro solar”. Este tipo de vidro caracteriza-se por apresentar uma maior reflexão da radiação solar, menor emissividade, menor condutividade térmica e garante uma boa transmissão luminosa. Na Tabela 5.11 podem-se comparar as características do vidro original do Edifício A e do “vidro solar”.

Tabela 5.11 – Características do vidro original e do “vidro solar”

Parâmetro	Vidro original	Vidro solar
Espessura	3 mm	3mm
Fator solar	0,771	0,125
Refletância solar	0,070	0,592
Emissividade	0,84	0,013
Condutividade	1	0,9

Na Figura 5.32, apresenta o número dos graus-hora de desconforto das zonas avaliadas quando é utilizado o “vidro solar”, para a estação de arrefecimento.

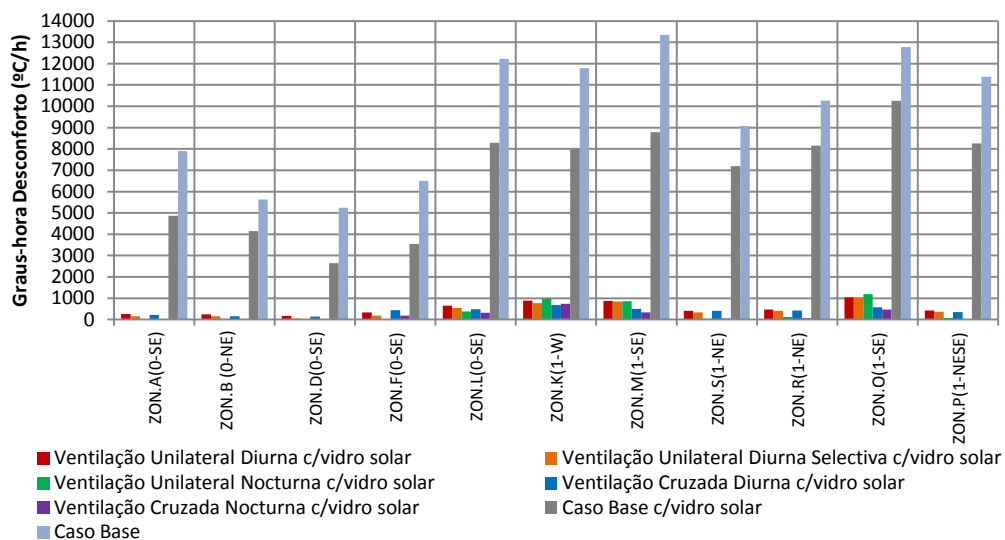


Figura 5.32 – Número graus-hora de desconforto das zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, durante a estação de arrefecimento

A Tabela 5.12 apresenta as horas em que os ocupantes se sentem desconfortáveis para a estação de arrefecimento quando é utilizado o “vidro solar”. Na Tabela 5.13 são apresentados os valores da diferença de temperatura horária, obtidos pela diferença entre a temperatura interior e a temperatura mínima de conforto para a estação de arrefecimento (25°C).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.12 – Frequência de horas de desconforto para as diversas estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de arrefecimento

Zona Avaliada	Estratégias de Ventilação					
	Caso Base (%)	Ventilação Unilateral Diurna (%)	Ventilação Unilateral Diurna Seletiva (%)	Ventilação Unilateral Noturna (%)	Ventilação Cruzada Diurna (%)	Ventilação Cruzada Noturna (%)
ZON.A(0-SE)	92,8	13,6	12,3	0,8	11,9	0,0
ZON.B(0-NE)	92,2	15,2	13,9	3,4	11,2	0,1
ZON.D(0-SE)	86,8	11,3	8,3	0	9,9	0,0
ZON.F(0-SE)	91,6	19,9	14,7	0,9	34,3	31,0
ZON.L(0-SE)	93,2	24,9	23,9	33,7	21,3	31,8
ZON.K(1-W)	93,2	35,4	32,4	50,8	32,9	47,0
ZON.M(1-SE)	93,2	35,9	35,4	53,2	23,3	34,7
ZON.S(1-NE)	93,2	20,4	20,3	9,4	24,0	12,5
ZON.R(1-NE)	93,2	21,2	21,3	19,3	23,6	15,5
ZON.O(1-SE)	93,2	44,8	45,7	60,5	28,4	39,9
ZON.P(1-NESE)	93,2	19,7	19,2	14,1	17,1	5,2

Tabela 5.13 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de arrefecimento

Estratégia	°C/h	ZonA (0-SE) (%)	ZonB (0-NE) (%)	ZonD (0-SE) (%)	ZonF (0-SE) (%)	ZonL (1-SE) (%)	ZonK (1-W) (%)	ZonM (1-SE) (%)	ZonS (1-NE) (%)	ZonR (1-NE) (%)	ZonO (1-SE) (%)	ZonP (1-NESE) (%)
Ventilação Unilateral Diurna	0-2	85,8	91,4	95,1	90,7	73,4	72,2	73,7	86,8	80,8	76,9	81,5
	2-4	14,2	8,6	4,9	9,3	24,4	24,7	24,8	13,2	18,5	22,0	18,2
	4-6					2,2	3,1	1,5		0,6	1,1	0,3
	6-8											
	+8											
Ventilação Unilateral Diurna Seletiva	0-2	100,0	100,0	100,0	100,0	76,7	73,7	74,1	94,2	89,7	77,4	91,0
	2-4					22,8	24,8	24,7	5,8	10,3	21,6	9,0
	4-6					0,6	1,5	1,2			1,1	
	6-8											
	+8											
Ventilação Unilateral Noturna	0-2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,8	98,1	100,0	100,0	97,0	100
	2-4						6,2	1,9			3,0	
	4-6											
	6-8											
	+8											
Ventilação Cruzada Diurna	0-2	87,9	100,0	95,1	97,0	77,7	79,3	81,1	93,1	91,8	83,1	86,3
	2-4	12,1		4,9	3,0	19,7	19,9	16,8	6,9	8,2	16,2	13,7
	4-6					2,6	0,8	2,1			0,7	
	6-8											
	+8											
Ventilação Cruzada Noturna	0-2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	2-4						1,2					
	4-6											
	6-8											
	+8											

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Os resultados apresentados na Figura 5.32, na Tabela 5.12 e na Tabela 5.13 mostram que a colocação do “vidro solar” proporciona melhorias significativas no número de graus-hora de desconforto durante o período de ocupação.

As diminuições mais expressivas são observadas quando se associa a colocação do “vidro solar” e a aplicação de estratégias de ventilação durante o período noturno (ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna), onde se verificam reduções que variam desde os 50% até os 82%.

A utilização deste tipo de vidro conjuntamente com a aplicação de estratégias de ventilação natural diurna também apresenta percentagens significativas na redução do número de graus-hora de desconforto. Contudo, pela análise da Tabela 5.13 observa-se que, para alguns períodos de desconforto térmico, os valores da temperatura interior encontram-se acima dos 2°C (cerca de 27%).

A razão para que a diminuição das horas de desconforto não seja tão expressiva quando se associa à presença de “vidro solar” e a utilização estratégias de ventilação natural durante o período diurno, deve-se ao facto de a abertura de janelas durante este período anular o “efeito barreira” à radiação solar proporcionado por este tipo de vidro.

De qualquer forma, a aplicação de envidraçados com proteção solar melhora os efeitos obtidos através das estratégias de ventilação natural independentemente da estratégia utilizada, pois para todas elas se observa uma diminuição significativa da percentagem de horas de desconforto.

Contrariamente, na estação de aquecimento, quando as temperaturas são mais baixas, os ganhos solares acabam por ser benéficos uma vez que contribuem para o aumento da temperatura do ar interior. Neste contexto a utilização do “vidro solar” pode aumentar o número de graus-hora de desconforto.

A Figura 5.33 apresenta o número de graus-hora de desconforto para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”, durante a estação de aquecimento.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

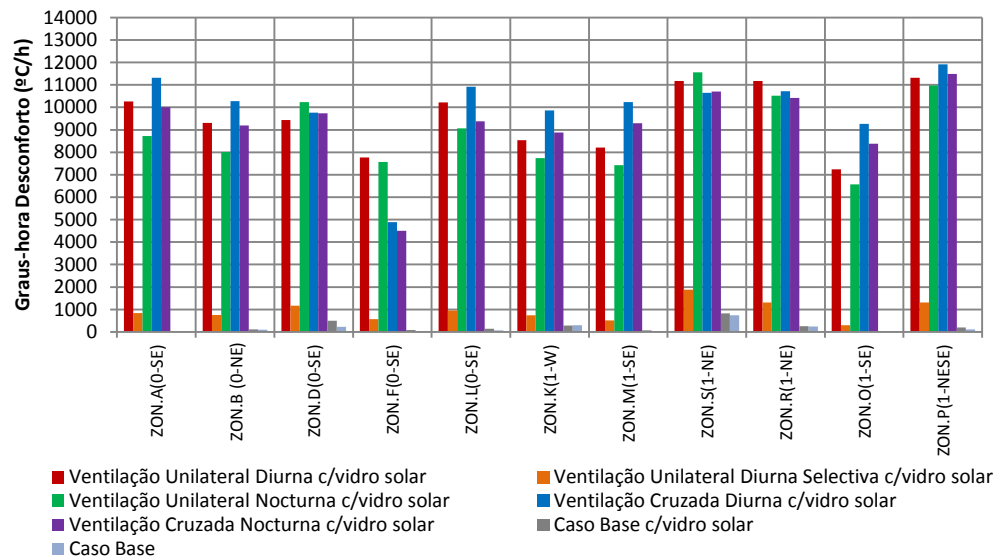


Figura 5.33 – Número de graus-hora de desconforto para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”, durante a estação de aquecimento

A Tabela 5.14 apresenta as horas em que os ocupantes se sentem desconfortáveis para a estação de aquecimento quando é utilizado o “vidro solar”. Na Tabela 5.15 são apresentados os valores da diferença de temperatura horária, obtidos pela diferença entre a temperatura interior e a temperatura mínima de conforto para a estação de aquecimento (20°C).

Tabela 5.14 – Frequência de horas de desconforto para estratégias de ventilação quando utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento

Zona Avaliada	Estratégias de Ventilação					
	Caso Base (%)	Ventilação Unilateral Diurna (%)	Ventilação Unilateral Diurna Seletiva (%)	Ventilação Unilateral Noturna (%)	Ventilação Cruzada Diurna (%)	Ventilação Cruzada Noturna (%)
ZON.A(0-SE)	1,7	82,8	72,7	80,6	85,4	85,3
ZON.B(0-NE)	6,5	80,8	69,9	77,3	85,1	83,0
ZON.D(0-SE)	25,8	82,6	72,7	86,1	84,6	85,6
ZON.F(0-SE)	5,7	76,5	66,8	77,1	65,4	64,6
ZON.L(0-SE)	7,7	79,8	70,9	74,4	82,8	76,4
ZON.K(1-W)	12,2	74,4	63,6	69,1	78,2	73,1
ZON.M(1-SE)	5,0	73,3	59,7	68,5	82,6	77,3
ZON.S(1-NE)	30,8	82,5	74,3	83,6	83,0	82,8
ZON.R(1-NE)	14,0	82,1	74,4	80,5	82,9	82,1
ZON.O(1-SE)	0,7	70,1	51,7	66,1	80,4	73,9
ZON.P(1-NESE)	11,0	82,4	74,2	81,7	85,3	84,7

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.15 – Frequência dos valores de diferença de temperatura horária nas zonas avaliadas para as diferentes estratégias de ventilação quando utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento

Estratégia	°C/h	ZonA (0-SE) (%)	ZonB (0-NE) (%)	ZonD (0-SE) (%)	ZonF (0-SE) (%)	ZonL (1-SE) (%)	ZonK (1-W) (%)	ZonM (1-SE) (%)	ZonS (1-NE) (%)	ZonR (1-NE) (%)	ZonO (1-SE) (%)	ZonP (1-NESE) (%)
Ventilação Unilateral Diurna	0-2	25,4	27,9	27,8	33,2	24,6	28,0	28,3	22,6	22,3	30,3	22,3
	2-4	28,4	32,1	30,7	37,4	27,0	33,7	34,7	23,9	24,1	39,1	23,7
	4-6	30,1	27,9	30,9	21,8	29,9	26,1	26,7	31,4	31,2	23,2	31,2
	6-8	11,6	9,1	8,8	6,2	12,6	9,2	8,2	15,6	15,3	6,3	15,6
	+8	4,6	2,9	1,8	1,4	5,9	3,1	2,0	6,6	7,1	1,1	7,2
Ventilação Unilateral Diurna Seletiva	0-2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	100,0	97,2	99,6	100,0	99,5
	2-4						0,5		2,8	0,4		0,5
	4-6											
	6-8											
	+8											
Ventilação Unilateral Noturna	0-2	31,9	33,5	25,6	36,2	25,7	31,1	31,5	22,4	23,5	38,4	23,0
	2-4	38,4	39,8	32,8	39,9	36,1	36,8	38,8	23,4	29,1	36,1	27,4
	4-6	18,1	17,2	28,5	15,9	22,0	19,7	19,0	31,1	28,4	17,4	28,5
	6-8	6,8	5,6	9,8	4,8	9,9	7,7	6,7	15,2	12,0	4,9	13,3
	+8	4,7	3,9	3,4	3,1	6,3	4,7	3,9	7,9	6,9	3,2	7,8
Ventilação Cruzada Diurna	0-2	22,3	26,7	27,7	48,6	22,4	25,5	23,8	24,8	24,2	26,7	21,3
	2-4	27,1	26,2	28,1	42,4	26,0	27,0	26,7	21,6	22,1	29,9	21,2
	4-6	30,6	33,5	34,6	8,6	31,8	30,1	35,3	34,8	34,0	33,8	31,8
	6-8	14,7	11,7	8,4	0,4	15,0	11,6	12,5	16,0	16,6	8,4	20,1
	+8	5,4	1,9	1,2		4,8	5,7	1,7	2,8	3,2	1,1	5,6
Ventilação Cruzada Noturna	0-2	26,5	27,9	26,7	60,5	23,5	25,0	24,3	23,4	24,1	25,5	22,2
	2-4	35,8	38,9	35,4	30,8	35,0	34,8	32,4	25,2	26,7	39,4	23,4
	4-6	25,5	23,3	28,0	6,0	26,5	25,7	29,3	33,6	32,3	24,9	33,2
	6-8	7,4	6,5	6,9	2,2	10,0	9,2	10,3	14,0	13,1	6,7	14,7
	+8	4,7	3,5	2,9	0,5	5,0	5,3	3,6	3,8	3,8	3,5	6,5

Pela análise da Figura 5.33, da Tabela 5.14 e da Tabela 5.15 observa-se que a colocação de envidraçados com proteção solar aumenta ligeiramente o número de graus-hora de desconforto.

Independentemente da estratégia de ventilação utilizada verifica-se um acréscimo no número de horas de desconforto, na generalidade das zonas de cerca de 10%. Porém as zonas com orientação Sudeste apresentam um acréscimo no número de horas de desconforto na ordem dos 15%.

5.3 Análise dos consumos energéticos

Após análise do impacto das estratégias de ventilação natural na temperatura interior, procedeu-se à quantificação dos consumos energéticos para a estação de arrefecimento, para a estação de aquecimento e anuais e ao longo do ano.

Consumos energéticos para a estação de arrefecimento

Na Tabela 5.16 e na Figura 5.34 são apresentados os consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de arrefecimento.

Tabela 5.16 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de arrefecimento

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna (kW/m ²)	Ventilação cruzada diurna (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna (kW/m ²)	Caso Base (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97,01	6,08	7,40	2,01	0,51	18,88
Zon.B(0-NE)	69,30	4,14	3,01	1,04	0,16	13,37
Zon.F(0-SE)	34,15	6,55	7,75	1,89	6,69	17,18
Zon.L(1-SE)	75,08	13,40	13,75	8,79	8,75	33,80
Zon.K(1-W)	104,44	16,12	17,18	13,70	13,43	35,25
Zon.M(1-SE)	34,79	19,49	17,19	17,06	14,42	45,46
Zon.S(1-NE)	17,76	8,91	10,62	2,05	2,07	28,67
Zon.R(1-NE)	28,99	10,68	12,16	3,70	2,90	32,61
Zon.O(1-SE)	112,03	10,40	7,80	8,58	5,81	29,90
Zon.P(1-NESE)	32,43	11,43	14,59	5,08	4,08	38,33

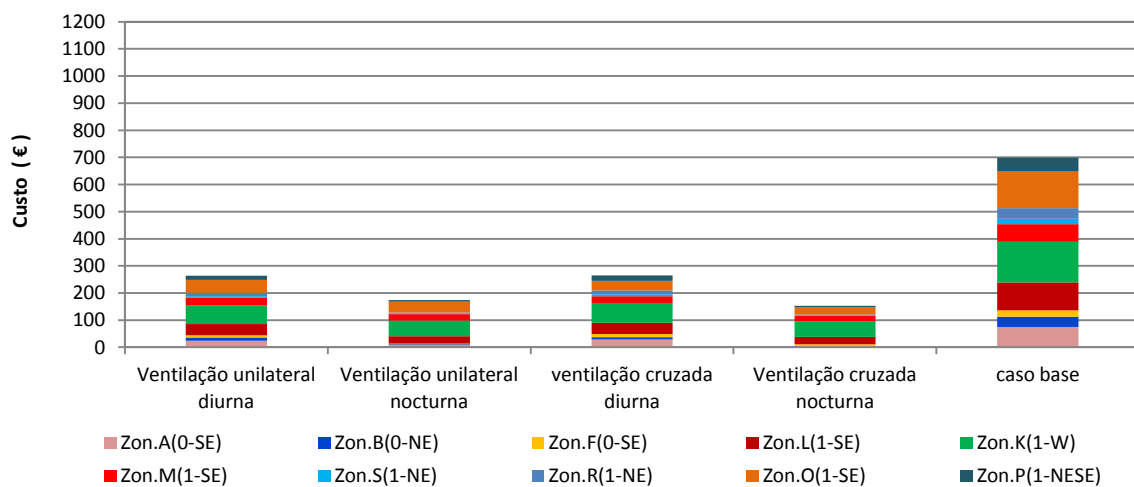


Figura 5.34 – Custos de arrefecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

De acordo com a Tabela 5.16 e com a Figura 5.34 constata-se que, a implementação de estratégias de ventilação natural no Edifício A contribui para uma diminuição significativa nos custos associados ao arrefecimento. Esta redução varia entre os 435€ quando aplicadas as estratégias de ventilação no período diurno, e 525 a 550€ quando aplicadas as estratégias no período noturno.

No que diz respeito aos consumos energéticos são observadas reduções entre os 60%, quando se utilizam a ventilação unilateral diurna e a ventilação cruzada diurna, e os 80%, quando são adotadas a ventilação cruzada noturna e a ventilação unilateral noturna.

Desta forma conclui-se que é mais rentável a adoção de estratégias de ventilação no período noturno, visto que estas têm um maior impacto na diminuição do consumo energético e consequentemente dos custos a ele associados.

Verifica-se ainda que as zonas com maiores ganhos solares (apresentam envidraçados com maior Superfície Relativa de Área de Envidraçado orientados a Sudeste ou Oeste) representam uma parcela importante nos custos finais de arrefecimento. Assim, comprova-se a importância de dotar os envidraçados com proteções solares.

Na Tabela 5.17 e na Figura 5.35 apresentam-se os consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de arrefecimento e os custos a eles associados quando é utilizado um “vidro solar”.

Tabela 5.17 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar” na estação de arrefecimento

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna (kW/m ²)	Ventilação cruzada diurna (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna (kW/m ²)	Caso Base (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97,01	4,42	5,42	0,03	0,00	11,04
Zon.B(0-NE)	69,30	3,47	1,84	0,12	0,00	10,64
Zon.F(0-SE)	34,15	3,97	4,77	0,02	0,98	9,53
Zon.L(1-SE)	75,08	8,68	9,16	2,26	2,21	21,53
Zon.K(1-W)	104,44	8,33	7,44	5,12	4,98	21,64
Zon.M(1-SE)	34,79	8,13	8,77	4,46	2,62	25,70
Zon.S(1-NE)	17,76	7,39	6,69	0,40	0,29	22,16
Zon.R(1-NE)	28,99	8,88	7,67	1,02	0,37	24,82
Zon.O(1-SE)	112,03	7,16	5,65	5,26	2,97	24,19
Zon.P(1-NESE)	32,43	8,03	9,38	0,67	0,18	24,77

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

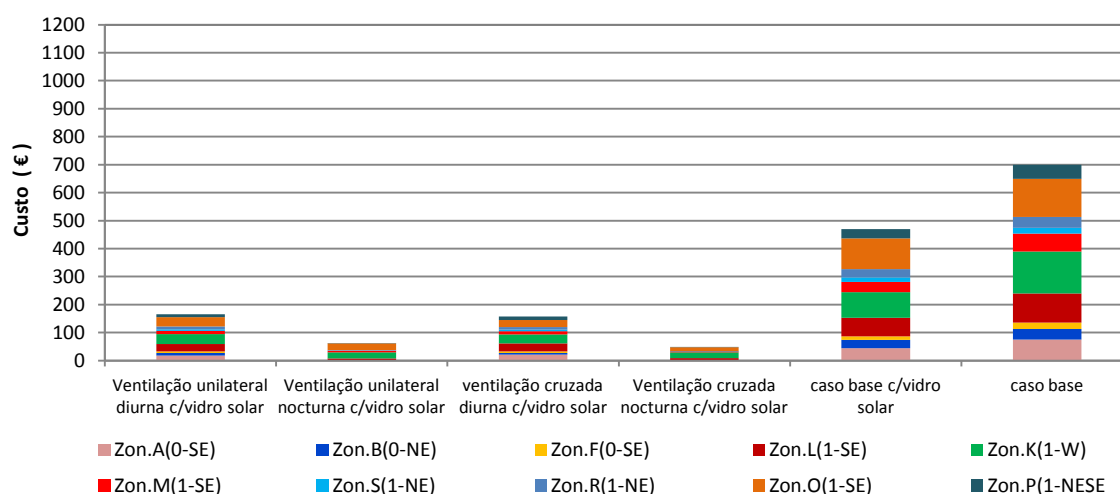


Figura 5.35 – Custos de arrefecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”

Analisando a Tabela 5.17e a Figura 5.35 verifica-se que a utilização do “vidro solar” conduz a uma redução significativa dos consumos energéticos associados ao arrefecimento do edifício. Relativamente ao Caso Base, a redução dos consumos energéticos totais atinge os 33%, quando se substitui o vidro original pelo “vidro solar”.

As maiores reduções são encontradas quando são combinadas as estratégias de ventilação noturna com a utilização do “vidro solar”. A aplicação de estratégias de ventilação noturna contribuem para reduções no consumo energético superiores a 65%, conduzindo a valores de consumos energéticos baixos na estação de arrefecimento.

Como seria de esperar, a utilização do “vidro solar” veio complementar o bom desempenho das estratégias de ventilação noturna, pelo que constitui uma boa solução para a redução de consumos energéticos na estação de arrefecimento.

Consumos energéticos para a estação de aquecimento

Durante a estação de aquecimento as condições climáticas verificadas no exterior são mais desfavoráveis para a utilização de estratégias de ventilação natural, no entanto estas devem ser consideradas para que seja mantida a qualidade do ar interior, o que resulta em custos acrescido de climatização (aquecimento).

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Na Tabela 5.18 são apresentados os consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para à estação de aquecimento e na Figura 5.36 é apresentada a análise de custos a eles associados.

Tabela 5.18 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural para a estação de aquecimento

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna (kW/m ²)	ventilação cruzada diurna (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna (kW/m ²)	Caso Base (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97,01	187,34	220,79	19,03	38,50	0,01
Zon.B(0-NE)	69,30	134,45	159,34	23,02	30,50	0,47
Zon.F(0-SE)	34,15	122,95	82,97	22,34	8,52	0,20
Zon.L(1-SE)	75,08	236,30	247,96	20,78	27,90	0,28
Zon.K(1-W)	104,44	121,04	131,50	17,96	24,95	1,14
Zon.M(1-SE)	34,79	110,07	155,21	15,40	32,82	0,09
Zon.S(1-NE)	17,76	274,27	285,23	49,62	67,36	3,70
Zon.R(1-NE)	28,99	329,46	344,41	38,17	63,63	1,08
Zon.O(1-SE)	112,03	67,92	83,16	12,60	18,24	0,00
Zon.P(1-NESE)	32,43	294,21	414,76	35,97	62,07	0,56

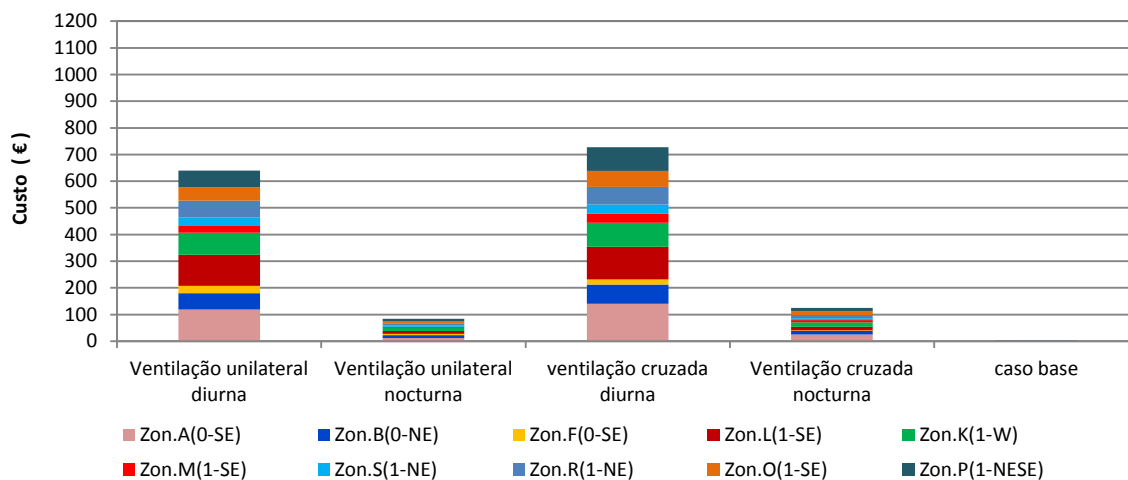


Figura 5.36 – Custos de aquecimento para as diferentes estratégias de ventilação natural

Analisando a Tabela 5.18 e a Figura 5.36 verifica-se que, durante a estação de aquecimento, a opção em manter as janelas fechadas (Caso Base), apresenta os consumos energéticos mais baixos, sendo os custos praticamente nulos.

Porém, verifica-se que as estratégias de ventilação noturna também apresentam um bom desempenho. Apesar de originarem consumos energéticos mais elevados em relação ao Caso

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Base, derivados da redução de temperatura promovida pela abertura de janelas durante o período noturno.

Os custos associados às estratégias ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna são muito próximos e rondam em média os 100 € para toda a estação de aquecimento.

No que diz respeito às estratégias de ventilação diurna, verificam-se valores relativamente mais altos entre 650 e 750 € para a estratégia ventilação unilateral diurna e ventilação cruzada diurna.. Os consumos energéticos associados a estas estratégias são em média 5 vezes superiores aos consumos associados às estratégias de ventilação noturna. De facto a abertura de janelas e a utilização simultânea de sistemas de climatização leva a um acréscimo significativo dos consumos energéticos, uma vez que o ar interior está em contacto com o ar exterior.

Na Tabela 5.19 e na Figura 5.37 apresentam-se os consumos energéticos e os seus custos para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento.

Tabela 5.19 – Consumos energéticos das diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”, na estação de aquecimento

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna c/vidro solar (kW/m ²)	ventilação cruzada diurna c/vidro solar (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna c/vidro solar (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna c/vidro solar (kW/m ²)	Caso Base c/vidro solar (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97,01	196,01	231,65	29,83	54,59	0,04
Zon.B(0-NE)	69,30	136,06	163,20	28,18	37,11	0,56
Zon.F(0-SE)	34,15	130,42	90,02	32,12	13,33	0,41
Zon.L(1-SE)	75,08	247,67	260,07	32,42	40,12	0,64
Zon.K(1-W)	104,44	126,68	135,63	24,65	32,21	1,14
Zon.M(1-SE)	34,79	125,41	172,14	28,20	50,78	0,32
Zon.S(1-NE)	17,76	277,69	292,11	59,39	81,07	3,97
Zon.R(1-NE)	28,99	333,60	352,32	46,85	77,50	1,13
Zon.O(1-SE)	112,03	72,73	87,98	17,93	24,30	0,01
Zon.P(1-NESE)	32,43	304,47	434,61	50,72	84,13	1,05

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

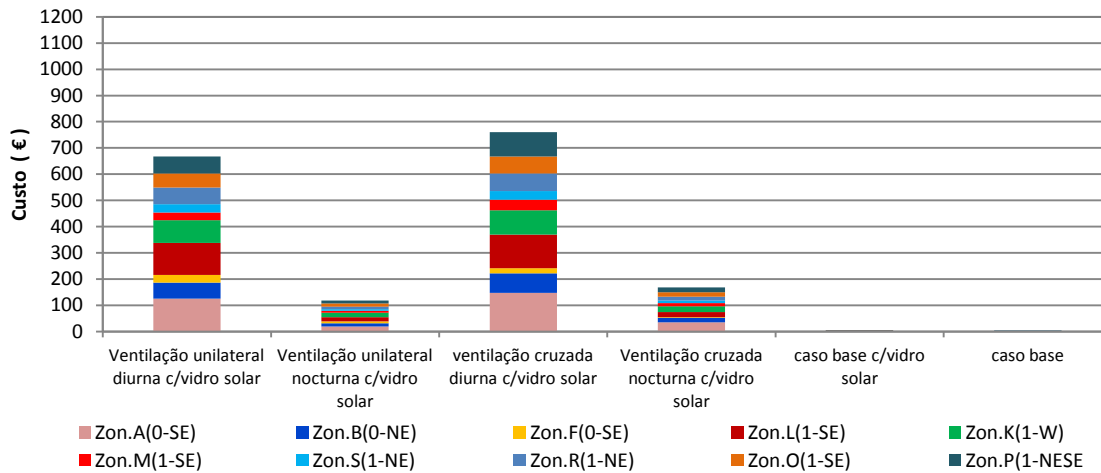


Figura 5.37 – Custos de aquecimento para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”

De acordo com a Tabela 5.19 e a Figura 5.37 verifica-se que, para o Caso Base os consumos energéticos permaneceram praticamente inalterados, não se verificando diferenças significativas com e sem proteção solar. No caso das restantes estratégias de ventilação natural avaliadas verifica-se um ligeiro acréscimo nos consumos energéticos, sendo mais significativo para as estratégias de ventilação noturna (aproximadamente 30%).

Consumos energéticos anuais

Com a diminuição dos ganhos solares pelos envidraçados, tal como esperado, verificou-se um acréscimo nos consumos energéticos para as estratégias de ventilação unilateral noturna e ventilação cruzada noturna, na ordem dos 35 e 40% respetivamente. Ao nível de custos esta situação corresponde a uma diferença de 35 e 40€ entre as situações sem e com proteção solar.

Na Tabela 5.20 e na Figura 5.38 apresentam-se os consumos energéticos anuais e os seus custos para as diferentes estratégias de ventilação natural.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela 5.20 – Consumos energéticos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna (kW/m ²)	ventilação cruzada diurna (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna (kW/m ²)	Caso Base (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97.01	193.43	228.19	21.04	39.00	18.89
Zon.B(0-NE)	69.30	138.58	162.35	24.06	30.67	13.84
Zon.F(0-SE)	34.15	129.50	90.72	24.23	15.21	17.38
Zon.L(1-SE)	75.08	249.70	261.71	29.58	36.65	34.07
Zon.K(1-W)	104.44	137.16	148.68	31.66	38.38	36.40
Zon.M(1-SE)	34.79	129.56	172.40	32.46	47.24	45.55
Zon.S(1-NE)	17.76	283.18	295.85	51.67	69.44	32.37
Zon.R(1-NE)	28.99	340.13	356.57	41.87	66.52	33.68
Zon.O(1-SE)	112.03	78.32	90.96	21.17	24.05	29.90
Zon.P(1-NESE)	32.43	305.64	429.35	41.05	66.16	38.89

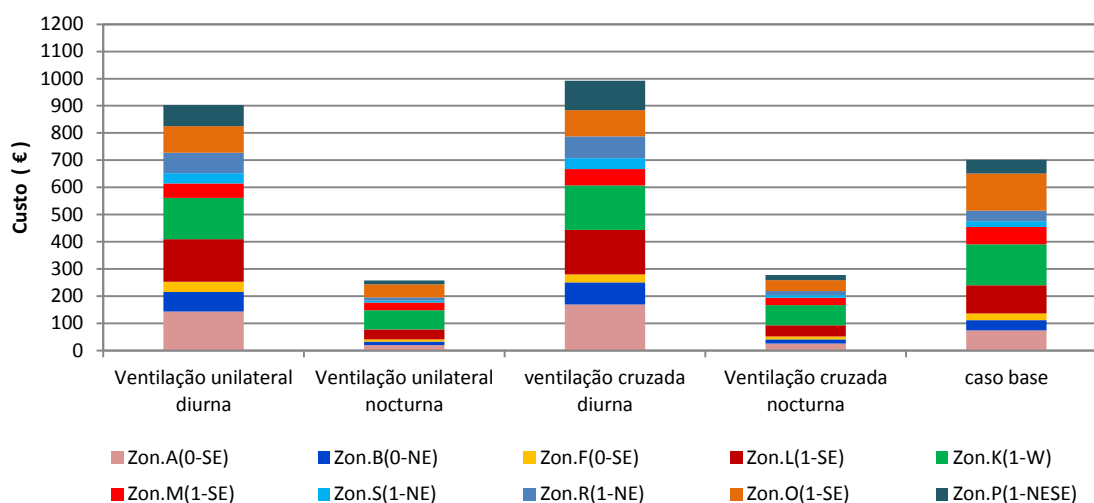


Figura 5.38 – Custos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural

Analisando a Tabela 5.20 verifica-se que o Caso Base apresenta os consumos energéticos anuais mais baixos e as estratégias de ventilação diurna os mais elevados.

No entanto, pela análise da Figura 5.38 verifica-se que as estratégias que apresentam menores custos de climatização ao longo do ano são as estratégias de ventilação noturna, valores que rondam os 230€. Comparativamente ao Caso Base, estas estratégias promovem uma redução de custos de cerca de 38%.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Grande parte dos consumos energéticos anuais para as estratégias de ventilação noturna estão associados ao aquecimento, na ordem dos 80%, enquanto que para o Caso Base a maioria dos consumos energéticos está associado ao arrefecimento, na ordem dos 97%.

Visto que o custo unitário para aquecimento é significativamente menor em relação ao custo unitário para arrefecimento, é evidente que as estratégias com maiores consumos energéticos de arrefecimento apresentem custos de climatização mais baixos.

Na Tabela 5.21 e na Figura 5.39 apresentam-se os consumos energéticos anuais e os seus custos para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”.

Tabela 5.21 – Consumos energéticos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação natural quando é utilizado o “vidro solar”

Zona	Área (m ²)	Ventilação unilateral diurna c/vidro solar (kW/m ²)	Ventilação cruzada diurna c/vidro solar (kW/m ²)	Ventilação unilateral noturna c/vidro solar (kW/m ²)	Ventilação cruzada noturna c/vidro solar (kW/m ²)	Caso Base c/vidro solar (kW/m ²)
Zon.A(0-SE)	97,01	200,43	237,07	29,86	54,59	11,08
Zon.B(0-NE)	69,30	139,53	165,05	28,31	37,11	11,20
Zon.F(0-SE)	34,15	134,39	94,79	32,14	14,32	9,94
Zon.L(1-SE)	75,08	256,35	269,23	34,68	42,33	22,17
Zon.K(1-W)	104,44	135,01	143,07	29,77	37,19	22,79
Zon.M(1-SE)	34,79	133,55	180,92	32,66	53,40	26,02
Zon.S(1-NE)	17,76	285,08	298,79	59,78	81,36	26,13
Zon.R(1-NE)	28,99	342,48	359,98	47,87	77,87	25,95
Zon.O(1-SE)	112,03	79,89	93,63	23,19	27,27	24,19
Zon.P(1-NESE)	32,43	312,51	443,99	51,39	84,32	25,82

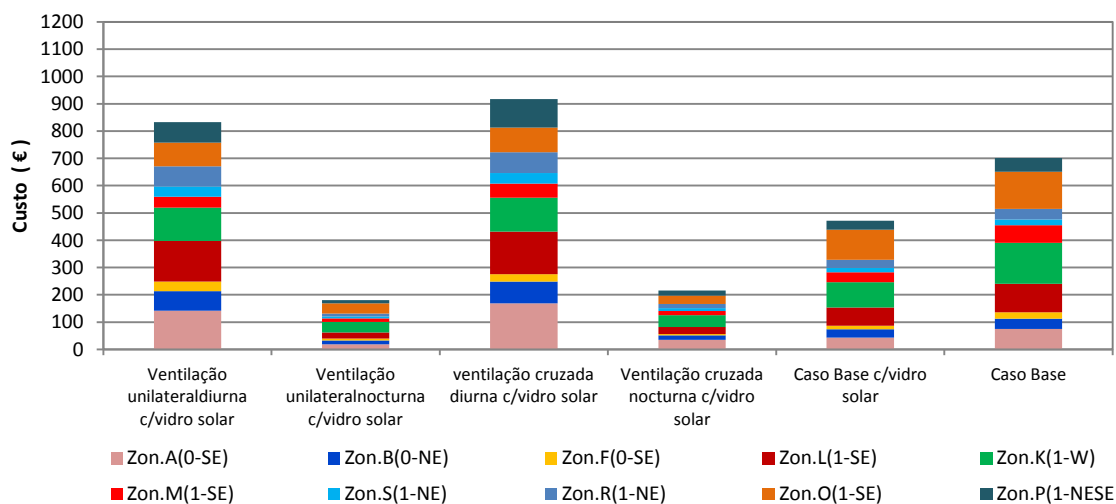


Figura 5.39 – Custos de climatização anuais para as diferentes estratégias de ventilação quando é utilizado o “vidro solar”

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

De acordo com a tabela verifica-se que os consumos energéticos associados às estratégias de ventilação adotadas e a utilização do “vidro solar” são ligeiramente mais altos, com exceção da situação do Caso Base em que existe uma redução desses consumos.

Analisando a Figura 5.39 verifica-se que a colocação do “vidro solar” melhorou o desempenho das estratégias de ventilação noturna, levando a que os custos de climatização sejam inferiores a 200€. Comparando estas estratégias com e sem “vidro solar” verifica-se uma redução nos custos de climatização de aproximadamente 25%.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo são resumidos os pontos com maior interesse relacionando-os com os objetivos do trabalho.

O objetivo principal desta dissertação consistia em através de estratégias de ventilação natural, melhorar as condições de conforto térmico e de qualidade do ar interior, reduzindo os consumos energéticos, em edifícios de serviços.

Para caracterizar a QAI de edifícios de serviço foram realizadas medições *in situ* em dois edifícios desse tipo (Edifício A e Edifício B), onde foram registados os níveis de poluentes (CO₂, CO, O₃, HCHO, PM₁₀) e outros parâmetros que podem influenciar a mesma, como a temperatura interior, humidade relativa e velocidade do ar.

As medições foram realizadas nos dias 27 e 29 de Julho para o Edifício A e Edifício B respetivamente. Nestes dois dias, a temperatura exterior rondava os 27°C.

De acordo com os resultados dessas medições verificou-se que, na generalidade dos compartimentos dos dois edifícios, as concentrações de poluentes eram inferiores aos limites máximos definidos no RSECE. Porém, em alguns compartimentos foram detetadas concentrações de dióxido de carbono superiores aos valores regulamentares, sendo a principal fonte de poluição era a ocupação.

Relativamente à temperatura interior, verificou-se que no Edifício A, os valores se encontravam em geral dentro do intervalo de conforto (entre 20 e 25°C), enquanto que no Edifício B existia um número considerável de compartimentos com temperaturas acima dos 25°C.

No que diz respeito à humidade relativa interior medida nos dois edifícios, esta encontrava-se, em geral, entre 30 e 40%, valores um pouco inferiores ao valor recomendado pelo RCCTE (humidade relativa deve encontrar-se nos 50%).

Desta forma, seria necessário melhorar as condições de ventilação do edifício, o que poderia ser realizada com recurso à abertura de janelas (ventilação natural) de forma regular e controlada, nos períodos de maior libertação de poluentes.

A fim de avaliar as possibilidades de utilização de ventilação natural em edifícios de serviço para melhorar a QAI, assegurando as condições de conforto, foram estudadas diversas

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

estratégias de ventilação natural (ventilação unilateral diurna, ventilação unilateral diurna seletiva, ventilação unilateral noturna, ventilação cruzada diurna e ventilação cruzada noturna). A avaliação do desempenho destas estratégias foi realizada para o Edifício A através de simulações usando o EnergyPlus. Atendendo às características do Edifício A e às características do ficheiro climático adotado (cidade do Porto), quantificaram-se as taxas de renovação de ar assim como o seu impacto nas condições de conforto térmico dos ocupantes e nos consumos energéticos do edifício.

Numa primeira análise, procedeu-se à avaliação do ambiente interior, na situação em que as janelas permaneciam fechadas ao longo do ano (Caso Base). Os resultados referentes à estação de arrefecimento mostraram que esta situação originava valores de temperatura muito elevados, na ordem dos 30°C. Contrariamente, na estação de aquecimento, as temperaturas interiores encontravam-se dentro do intervalo de conforto.

Como seria de esperar para o Caso Base, as taxas de renovação de ar apresentaram-se muito reduzidas, o que poderia pôr em causa a qualidade do ar interior, sendo necessário ventilar o espaço interior mesmo quando as condições exteriores não o permitissem.

Para a generalidade das estratégias de ventilação natural estudadas foi possível assegurar os caudais mínimos de renovação de ar definidos no RSECE para as estações de arrefecimento e aquecimento. Os valores mais elevados foram obtidos quando se aplicou estratégias de ventilação cruzada (diurna e noturna).

O aumento das taxas de renovação de ar, proporcionado por estas estratégias mostrou-se dependente da relação existente entre a orientação das aberturas do edifício e a direção predominante do vento, sendo mais significativas quando o vento incide perpendicularmente à superfície das aberturas.

Desta forma conclui-se que existe uma maior capacidade de ventilação nas zonas orientadas a Sudeste na estação de arrefecimento, em particular durante o período diurno. No caso da estação de aquecimento, a direção do vento era propícia à ventilação de zonas com orientação Oeste e Sul.

No caso das estratégias de ventilação unilateral, o efeito do vento nas taxas de renovação foi pouco significativo, sendo que as trocas de ar entre o ambiente interior e o ambiente exterior se deviam apenas à diferença de temperatura encontrada entre os dois ambientes.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Porém no caso da ventilação unilateral diurna seletiva não se cumpriram os caudais mínimos de ar novo definidos pelo RSECE para a estação de aquecimento. Uma vez que para esta estratégia, a abertura de janelas está dependente das condições de temperatura verificadas no interior e no exterior (abertura de janelas ocorre apenas quando a temperatura interior se encontra acima de 20°C e quando a temperatura exterior é superior a esta), as baixas temperaturas verificadas no Inverno penalizavam as trocas de ar entre os dois ambientes.

As estratégias de ventilação diurna apresentam-se vantajosas por permitirem a renovação de ar no período de maior libertação de poluentes no ambiente interior (período de ocupação), no entanto os níveis de ruído verificados no exterior podem prejudicar a produtividade dos ocupantes.

Desta forma a utilização de estratégias de ventilação noturna é mais favorável, além de serem garantidas as taxas de renovação de ar necessárias à QAI, os problemas associados ao ruído no exterior são evitados, uma vez que durante o dia as janelas estão fechadas

Após a avaliação das taxas de renovação procedeu-se à análise dos seus impactes na temperatura do ambiente interior.

Durante a estação de arrefecimento, a utilização de estratégias de ventilação conduziu a uma redução expressiva na percentagem de horas de desconforto comparativamente ao Caso Base.

Para a estação de arrefecimento, a estratégia que na generalidade das zonas apresentou melhor desempenho foi a ventilação cruzada noturna, onde se verificou uma redução no número de graus-hora de desconforto (somatório dos graus por hora acima da temperatura máxima de conforto) próxima dos 95%.

Porém a utilização desta estratégia não se mostrou tão eficaz nas zonas com maiores ganhos solares (zonas do piso superior e com envidraçados orientados a Sudeste ou a Oeste). Para estas zonas a estratégia de ventilação cruzada noturna apresentou um maior número de horas de desconforto.

Relativamente à estação de aquecimento a implementação de estratégias de ventilação conduziu a um aumento significativo do número de graus-hora de desconforto em comparativamente ao Caso Base.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Porém, verificou-se que a utilização de estratégias de ventilação noturna era mais vantajosa em relação às outras estratégias, pois conduziram a um menor número de horas de desconforto.

Para reduzir o efeito dos ganhos solares no desempenho das estratégias de ventilação natural propôs-se a utilização de um “vidro solar” (menor emissividade, maior refletância, fator solar reduzido) nos envidraçados existentes no edifício, uma vez que não era possível instalar sistemas de sombreamento pelo exterior.

Com a utilização do “vidro solar”, as estratégias de ventilação noturna melhoraram o seu desempenho em todas as zonas avaliadas, destacando-se a ventilação cruzada noturna onde a redução do número de graus-hora de desconforto foi em média de 82%.

Para a estação de aquecimento, com a colocação do “vidro solar”, o número de graus-hora de desconforto aumentou, uma vez que com a diminuição dos ganhos solares a temperatura do ambiente interior se tornou mais baixa.

Por fim, através da análise dos consumos energéticos, verificou-se que a utilização de estratégias de ventilação natural contribuiu para uma melhoria significativa da eficiência energética do edifício durante a estação de arrefecimento.

Comparando as estratégias de ventilação noturna e o Caso Base, verificou-se uma redução dos consumos energéticos na ordem dos 80%, que se refletiu numa redução dos custos energéticos anuais superiores a 525€. No caso das estratégias de ventilação diurna a redução é menos significativa, na ordem dos 60%.

Com adoção do “vidro solar”, os consumos energéticos na estação de arrefecimento foram significativamente reduzidos, principalmente quando foram utilizadas as estratégias de ventilação noturna.

No entanto, na estação de aquecimento a utilização destas estratégias conduziu a um acréscimo no consumo associado ao aquecimento, que piorou ligeiramente quando se utilizou o “vidro solar”.

Os consumos mais baixos foram encontrados quando se utilizaram estratégias de ventilação noturna, onde os custos associados ao aquecimento rondaram os 120€ para a ventilação unilateral noturna e os 170€ para a ventilação cruzada noturna

Os consumos energéticos associados às estratégias de ventilação diurna foram os mais elevados e eram cerca de 5 vezes superiores aos consumos associados a estratégias de ventilação noturna.

Analisando os consumos energéticos ao longo do ano, verifica-se que a estratégia que apresentou melhores resultados foi a ventilação cruzada noturna, em que comparativamente ao Caso Base originou uma redução dos custos de climatização (aquecimento e arrefecimento) na ordem dos 38%.

A colocação do “vidro solar” melhorou o desempenho desta estratégia, levando a que os custos climatização sejam inferiores a 200€. Comparando esta estratégia com e sem “vidro solar” verificou-se uma redução nos custos de climatização de aproximadamente 25%.

Com este trabalho conseguiu-se provar que através da ventilação natural consegue-se promover a renovação do ar interior, fundamental para a remoção de poluentes e para a saúde dos ocupantes, garantindo temperaturas interiores próximas do intervalo de conforto, e consequentemente custos de climatização reduzidos.

Porém, como todos os fatores envolvidos nos processos de ventilação natural estão interligados e variam com a localização, clima e arquitetura do edifício, os resultados desta dissertação não podem ser extrapolados para outros edifícios, mesmo que os fatores envolvidos sejam semelhantes, por isso esta análise deve ser realizada caso a caso.

Propostas para Trabalhos Futuras

Face aos resultados do estudo efetuado propõe-se que esta metodologia seja adotada em edifícios de serviço localizados em outras regiões do país, de forma a verificar se a influência das suas condições climáticas no desempenho de estratégias de ventilação natural segue o mesmo padrão verificado na região estudada na presente dissertação (região do Porto).

Uma vez que neste estudo apenas se considerou a análise de ventilação natural pelos vãos envidraçados propõe-se também que seja avaliada a aplicação de sistemas inovadores de ventilação natural (torre de vento, tubos enterrados, chaminé solar) face às características climáticas e arquitetónicas de edifícios de serviço.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Por fim sugere-se o desenvolvimento de um manual de utilização tipo, com a indicação da forma mais adequada de atuação dos ocupantes, no que respeita à abertura de janelas e à utilização de sistemas de sombreamento dos edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE, DGEG AND APA. *Intervenção do PQ ao nível dos edifícios abrangidos pelo RSECE – Vertente QAI*. In., 2009a.

ADENE, DGEG AND APA. Nota técnica NT-SCE-02. *Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE*. 2009b.

ADENE DGEG APA Certificação Energética e ar interior declaração de conformidade regulamentar, 2010

AKINS, R. E., J. A. PETERKA AND J. E. CERMAK Mean force and moment coefficients for buildings in turbulent boundary layers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1977, p. 195-209.

AKINS, R. E., J. A. PETERKA AND J. E. CERMAK 1979. Averaged Pressure Coefficients for Rectangular Buildings. *Proceedings of the Fifth International Conference of Wind Engineering* 1979 Pergamon Press.

ALLARD, F., M. SANTAMOURIS, S. ALVAREZ AND ALTENER PROGRAMME *Natural ventilation in buildings : a design handbook*. Edition ed. London: James & James, 1998.

ALLEN, C. Wind pressure data requirements for air infiltration calculations. In *Technical Note AIC 13*. Bracknell, UK: Air Infiltration and Ventilation Centre, 1984, 124 p..

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 : *ventilation for acceptable indoor air quality*. Edition ed. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010. 170 p..

ANSI/ASHRAE Standard 55-210 : *thermal environmental conditions for human occupancy*. Edition ed. Atlanta, Ga.: ASHRAE, 2010.

APA. Qualidade do ar em espaços interiores, *Um guia técnico*. Laboratório de Referência do Ambiente, 2009.

AYNSLEY, R. M. A resistance approach to analysis of natural ventilation airflow networks. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1997, p. 711-719.

BAKO-BIRO, Z., P. WARGOCKI, C. WESCHLER AND P. FANGER Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices. *Indoor Air*, 2004, p. 178-187.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN Standard CEN/CR 1752. In *Ventilation for Buildings, Design Criteria for the indoor environment*. Brussels, 1998.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15251. In *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels, 2007.

CIBIM8. 8º Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, *Análise da Ventilação Natural Cruzada e Unilateral*, 2007.

CUELL, M. Building Related Sickness. *Buildings Services the CIBSE*, 1993, p. 21-22.

CÂNDIDO, C. M. *Ventilação Natural e Códigos de Obras: Uma Análise das Tipologias de Aberturas nos Edifícios de Escritórios* em Maceió/AL. Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado Universidade Federal de Alagoas Grande do Norte, 2006.

DECRETO-LEI 79/2006, D. D. A. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, 2006.

DECRETO-LEI 80/2006, D. D. A. Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. In., 2006.

DESIGNBUILDER. DesignBuilder Software Homepage. 2007. (<http://www.designbuilder.co.uk>.)

EN ISO 7726, Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities, Brussels, 1998

EN ISO 7730, 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, Brussels, 2005

ENERGYPLUS. Engineering Documentation. *The Reference to EnergyPlus Calculations*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2010a.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

ENERGYPLUS. Input Output Reference: The Encyclopedia Reference to EnergyPlus Input and Output. *Building Simulation Group*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2010b.

EPBD. *Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (EPBD) - 2002/91/EU*, 2010.

ER, B. AND R. SCHIFFER. Manual de Conforto Térmico. In.: Studio Nobel, 1999.

FANGER, P. O. *Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering*. Edtion ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 244 p.

FANGER, P. O. indoor air of high quality: challenge and opportunities. In *Proceedings of Healthy buildings*. Singapore, 2003, vol. 1, p. 1-10.

FIGUEIREDO, C. Ventilação natural de edifícios de escritória na cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades do ponto de vista de conforto térmico. Universidade de São Paulo, 2007.

FLOURENTZOU, F., J. VAN DER MAAS AND C. A. ROULET Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients. *Energy and Buildings*, 1998, p. 283-292.

FROTA, A. AND B. SHIFFER. Manual Conforto Térmico. In.: São Paulo Nobel.

GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. Edtion ed. London: Applied Science Pub., 1976.

GROSSO, M. Wind pressure distribution around buildings: a parametrical model. *Energy and Buildings*, 1992, p. 101-131.

HANSEN, S. J. *Managing indoor air quality*. Edtion ed. Lilburn, GA Englewood Cliffs, NJ: Fairmont Press ; Distributed by Prentice-Hall, 1991.

KNOLL, B., J. C. PHAFF AND G. W.F. Pressure Coefficient Simulation Program. *Air Infiltration Review*. 1996, vol. 17.

LIDDAMENT, M. W., AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY . ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS AND COMMUNITY SYSTEMS PROGRAMME *Air infiltration calculation techniques : an application guide*. Edtion ed. Bracknell: Air Infiltration and Ventilation Centre, 1986.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

MAGNINO, B. Vento, Ventania, *Ventilação Natural, Ecoarquitetura: As lições de Hassan Fathy*. Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel -PR, 2006.

MENDELL, M. Nonspecific symptoms in office workers - a review and summary of the epidemiologic literature *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate*, 1994, vol. 3, p. 227, 1994

MENZIES, D. AND J. BOURBEAU *Building-related illnesses*. *New England Journal of Medicine*, 1997, p. 1524-1531.

OLESEN, B. International standards for the indoor environment. *Indoor Air*, AUG 2004 2004, p. 18-26.

OLESEN, B. *Productivity and Indoor Air Quality*. Denmark: International Centre for Indoor Environment and Energy Technical University, 2006.

SEPPANEN, O. AND W. J. FISK 2005. Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health. In *Proceedings of the Proceedings of 9 th International conference on Indoor Air Quality and Climate*, Beijing, 2005.

SEQUEIRA, A. *Ventilação Natural: Estudo de um caso de ventilação natural*. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 2010.

SHARAG-ELDIN, A. A parametric model for predicting wind-induced pressures on low-rise vertical surfaces in shielded environments. *Solar Energy*, 2007, p. 52-61.

SILVANI, M. *Subsidios para o projecto da ventilação em pavilhões industriais*. Faculdade de Engenharia e Arquitectura, Universidade de Passo Fundo, 2005.

SANTAMOURIS, M., *Advances in Passive Cooling*, Earthscan, 2007.

SWAMI, M. V. AND S. CHANDRA. Correlation for Pressure Distribution on Buildings and Calculation of Natural-ventilation air Flow. In., p. 243-266.

TRINDADE, S. C. *Simulação Computacional como Ferramenta de Auxílio ao Projecto: Aplicação em Edifícios Naturalmente Ventilados no Clima de Natal*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

TUOMISTO. *Jornal Indoor Air_Quality Classifications in_Finland*. In. Vilnius, 2009.

WARGOCKI, P., L. LAGERCRANTZ, T. WITTERSEH, J. SUNDELL, et al. Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor Air*, 2002, p. 74-80.

WARGOCKI, P. AND D. WYON The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children ,2007a, p. 193-220.

WARGOCKI, P. AND D. WYON The effects of outdoor air supply rate and supply air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children 2007b, p. 165-191.

WARGOCKI, P., D. WYON, Y. BAIK, G. CLAUSEN, et al. Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate*, 1999, 165-179.

WARGOCKI, P., D. WYON, J. SUNDELL, G. CLAUSEN, et al. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate*, 2000, p. 222-236.

WARREN, P. R. AND L. M. PARKINS 1985. Single-sided ventilation through open windows. In *Proceedings of the Proceedings, Thermal performance of the exterior envelopes of buildings*, 1985, 209-228.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. *Indoor air pollutants : exposure and health effects, report on a WHO meeting, Nördlingen, 8-11 June 1982*. Edtion ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1983. 42 p.

Lista de sites consultados

AUTODESK ECOTECT ANALYSIS software homepage 2011
(<http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> - consultado em 07/01/2012)

DGEG. Balanço Energético 2010. (<http://www.dgeg.pt/> - consultado em 21/12/2011)

EERE. Building Technologies Program Home Page. (<http://www.eere.energy.gov/buildings> - consultado em 14/01/2012)


GoogleMaps homepage (<http://www.googlemaps.com/> - consultado em 15/02/2012 e 18/02/2012)

SKETCHUP software homepage 2010 (<http://sketchup.google.com/> - consultado em 03/01/2012)

ANEXOS

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

A I. INQUÉRITO

	Universidade do Minho - MIEC	Questionário Avaliação qualidade do ar interior Data: __/__/__
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------------------------------------

1 – Identificação do local

Edifício: _____

Departamento: _____

2 – Caracterização Individual

Idade: _____ Sexo: F M

Fumador: Sim Não

Posto de trabalho: _____

Anos na função: _____

Horário de trabalho: _____ às _____

3 – Que perceção tem do seu local de trabalho relativamente:

Temperatura ambiente

Muito Quente Quente Adequada Frio Muito Frio

Humidade

Boa Razoável Má

4 – O local de trabalho apresenta algum dos seguintes problemas?

Falta de ar fresco Poeira no ar

Odor a mofo Bolor visível

Outros odores perceptíveis Outros Quais: _____

5 – Apresenta alguns dos seguintes sintomas depois de algumas horas no seu posto de trabalho?

Dores de cabeça Tosse

Náuseas Secura das mucosas

Cansaço Vertigens

Alergias Dificuldade de concentração

Irritação dos olhos Stress Outro

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

6 – Esses sintomas desaparecem ao fim de 1-2 horas após sair do trabalho? Sim Não

Se sim, já procurou atendimento médico para os seus sintomas? Sim Não

7 – Apresenta alguma doença alérgica ou asmática que possam estar na origem destes sintomas? Sim Não

Se sim, quais?

8 – Algum desses sintomas reduziu a sua capacidade de trabalho ou promoveu a sua abstinência ao trabalho? Sim Não

Se sim, quais:

9 – Quantas horas passa por dia neste edifício? _____

10 – Quantas horas passa por dia no seu local de trabalho? _____

11 – Quantas horas passa por dia frente ao computador? _____

12 – No local onde se encontra existe o hábito de abrir ou fechar janelas para melhorar as condições de conforto do ambiente interior?

Sim Não

Se sim, em que período (s) do dia? _____ (ex.: início/fim da manhã ou início/fim da tarde).

Muito obrigado pela colaboração.

A II. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Neste anexo são apresentadas as características dos equipamentos utilizados para realização das medições in situ que visaram caracterizar a qualidade do ar interior em edifícios de serviço. No âmbito destas medições foram realizadas medições da concentração de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Partículas (PM₁₀), Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Formaldeído (CHOH).

Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Para medir os componentes orgânicos voláteis foi utilizado o Sensor Photovac (Figura II.1), este equipamento mede os componentes orgânicos voláteis em partes por bilião (ppb), partes por milhão (ppm) e em miligramas por metro cúbico (mg/m₃).



Figura II.1 – Photovac modelo 2020ppbPRO

Este sensor mede a concentração de todos os químicos fotoionizáveis presentes no ambiente interior (componentes orgânicos voláteis totais – COV totais), atualizando os valores ao segundo. A entrada de ar é efetuada através de um tubo, que contém um filtro, que permite a análise de uma amostra de ar seco e estável.

Na Tabela II.1 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de COV, Photovac, modelo 2020ppbPRO.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela II.1 – Especificações dos componentes do sensor Photovac modelo 2020ppbPRO

Tamanho:	228,6 mm de comprimento x 76,2 mm de profundidade x 107,9 mm largura no mostrador até 66,6 mm
Peso	0.86 kg
Sensor	Detentor de fotoionização com lâmpada de 10,6 eV
Memória	200 horas com intervalos de medição de 1 minuto
Materiais	Aço inox, Teflon, Viton®, polipropileno, nitrilo-clorobutadieno, borracha, níquel
Filtro de entrada	Teflon, polipropileno substituível
Fluxo de entrada	Mais de 300 ml/min
Temperatura de funcionamento	0 a 50°C
Temperatura de funcionamento I/S	0 a 40°C
Humidade relativa de funcionamento	0 a 95% (sem condensação)
Humidade relativa de funcionamento, utilizando um pré-filtro	0 a 100% (sem condensação)
Altitude máxima de funcionamento	3000 m
Temperatura de armazenamento	- 10 a 65°C
Humidade relativa de armazenamento	0 a 100% (sem condensação)
Altitude máxima de armazenamento	4570 m
Concentração de funcionamento	10 ppb a 40 ppm, isobutileno
Sensibilidade	+/-10% ou +/-2 ppm, o que for maior
Precisão	1% de calibração (calibrado com 10 ppm isobutileno)
Tempo de resposta	Menos de 3 segundos a 90%
LDL	10 ppm isobutileno

Formaldeído

A medição das concentrações de formaldeído foi feita através do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300 (Figura II.2).

Durante o período de medições é apresentada a concentração em tempo real, de formaldeído no ar, em parte por milhão (ppm), sendo que este valor é atualizado a cada 10 segundos.

O período de medição pode ser definido entre 0 e 90 minutos.



Figura II.2 – Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Na Tabela II.2 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela II.2 – Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300

Gama nominal	0 - 30 ppm
Valor máximo	34 ppm
Tempo de resposta	< 60 segundos
Máximo valor base	0,05
Temperatura de funcionamento	0 a 40 °C
Gama de pressões	Atm +/- 10%
Gama de humidade relativa	15 a 90% (sem condensação)
Alarme	Audível, 80 dB

Na Tabela II.3 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela II.3 – Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300

Gás	Concentração de gás (ppm)	Resultado com o filtro ZDL-300 (ppm)
Acetona	2	2
Methylethyl Ketone	2	0
Diethyl Ketone	2	2
Acetaldeído	12	0
Ácido acético	0	0
Etileno	67	0
Metanol	125	0
Etanol	55	0
I-propanol	44	0
Monóxido de carbono	40	0

Ozono

As medições das concentrações dos níveis de ozono foram realizadas com o sensor Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 (Figura II.3).

Este equipamento permite determinar a concentração, em tempo real, de ozono, em parte por milhão (ppm). Este valor é atualizado a cada 10 segundos.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia



Figura II.3 – Sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200

Na Tabela II.4 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.

Tabela II.4 – Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200

Gama nominal:	0 - 2 ppm
Resolução:	0,01 ppm
Precisão:	+/- 0,02 ppm
Tempo de resposta, 90% pico:	< 150 segundos
Temperatura de funcionamento:	- 20 a 50°C
Gama de pressões:	Atm +/- 10%
Gama de humidade relativa:	15 a 90% (sem condensação)
Alarme:	Audível, 80 dB

Na Tabela II.5 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela II.5 – Sensibilidade do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200

Gás	Concentração atual (ppm)	Concentração Z-1200 (ppm)
Monóxido de carbono	300	0
Sulfito de hidrogénio	15	-2
Dióxido de enxofre	5	0
Óxido nítrico	35	0
Dióxido de nitrogénio	5	3,5
Cloro	1	0,5 – 1
Hidrogénio	100	0
Cianeto de hidrogénio	10	0
Cloreto de hidrogénio	5	0
Etileno	100	0

Partículas respiráveis– PM₁₀

A medição das partículas respiráveis foi feita com o sensor DUSTTRAK™ II, PM_{2,5}, PM₄ e PM₁₀ . Este equipamento (Figura II.4) utiliza filtros seletivos (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, ou respiráveis) que retêm as partículas com características específicas, recolhidas num prato de recolha metálico, da massa de ar que circula a 3,0 l/min, aspirado por uma bomba de vácuo.



Figura II.4 – Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531

Na Tabela II.6 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.

Tabela II.6 – Especificações dos componentes do sensor do de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531

Tipo de sensor:	90° light scattering
Tamanho das partículas:	0,1 a 10 µm
Resolução:	± 0,1% da medição ou 0,001 mg/m ³ , o que for superior
Estabilidade:	± 0,002 mg/m ³ por 24 horas a 10 segundos
Caudal de ar:	3,0 l/min, por defeito, pode ser ajustado entre 1,4 e 3,0 l/min
Eficiência da circulação do caudal:	± 5%
Coefficiente de temperatura:	+ 0,001 mg/m ³ por °C
Temperatura de funcionamento:	0 a 50°C
Temperatura de armazenamento:	- 20 a 60°C
Humidade de funcionamento:	0 a 95% (sem condensação)
Constante de tempo:	1 a 60 segundos
Armazenamento:	5 MB de memória interna (> 60000 dados)
Intervalo de registo:	1 s a 1 h
Dimensões:	13.5 x 21.6 x 22.4 cm
Peso:	1,6 kg, 2,0 kg com uma bateria e 2,5 kg com duas baterias
Comunicação:	8530/31 USB; 8532 USB
Corrente elétrica:	115–240 VAC (adaptador de corrente AC incluído)
Baterias:	6 h de funcionamento; 4 h de carregamento

Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO₂)

Para avaliar a concentração de monóxido e dióxido de carbono foi utilizado o aparelho multifuncional 435 da Testo (Figura II.).

O Testo 435 (0563 4352) em conjunto com a sonda IAQ (0632 1535) permite a avaliar a concentração de CO₂, humidade relativa, temperatura ambiente e pressão absoluta no ambiente interior. Relativamente à concentração de CO utilizou-se a sonda CO ambiente (0632 1235).

A capacidade de armazenamento de dados do Testo 435 é de 10000 leituras, inclui a data e hora de medição e permite o cálculo de média das medições por tempo, multipontos ou ambos.

Este equipamento utiliza como método de medição o método infravermelho não dispersivo, método definido pela nota técnica NT-SCE-02 como método de referência para medição de concentrações de monóxido de carbono (ADENE, 2009b).



Figura II.5 – Mostrador do sensor de CO e de CO₂ da Testo modelo 435

Na Tabela II.7 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de CO e CO₂, Testo 435 da sonda de IAQ e de CO.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

Tabela II.7 – Especificações dos componentes do sensor de CO e CO₂, Testo 435

Testo 435	
Duração da bateria:	200 h
Dimensões:	225 x 74 x 46 mm
Tipo de sensor:	Sensor de QAI (CO ₂ , Ta, Hr, P) (0632 1535)
Gama de medições:	0 a + 50 °C 0 a + 100 %Hr 0 a + 10000 ppm CO ₂ + 600 a + 1150 hPa
Precisão:	± 0.3 °C ± 2 % Hr (+ 2 a + 98 %Hr) ± (50 ppm CO ₂ ± 2% de mv) (0 a + 5000 ppm CO ₂) ± (100 ppm CO ₂ ± 3% de mv) (+ 5001 a + 10000 ppm CO ₂) ± 5 hPa
Resolução:	1 ppm CO ₂ 0,1 °C 0,1 %Hr 0,1 hPa
Temperatura de funcionamento:	- 20 a + 50 °C
Temperatura de armazenamento:	- 30 a + 70 °C
Velocidade de medição:	2/s
Tipo de sensor:	CO
Tipo de sensor:	Anemómetro de fio quente (0635 1025)
Gama de medição:	0 a + 20 m/s
Precisão:	± (0,03 m/s + 5% do vm)

A III. FICHEIROS TNO CP GENERATOR

Para calcular os coeficientes de pressão do vento no edifício em estudo utilizou-se a aplicação *online* designada por TNO Cp Generator. Para o cálculo dos coeficientes de pressão é necessário fornecer à aplicação um ficheiro de entrada onde conste a descrição do caso de estudo, nomeadamente as coordenadas e orientações do edifício e dos seus obstáculos, bem como as coordenadas dos coeficientes de pressão desejados. O ficheiro de entrada pode ser carregado via internet como um arquivo de texto. Depois de carregar o ficheiro de entrada na página da TNO é fornecido um ficheiro de saída com os coeficientes de pressão para as coordenadas referidas e para as direções do vento pretendidas.

Os ficheiros de entrada e de saída utilizados nesta dissertação encontram-se na Figura III.1 e na Figura III.2.

```
file=input}
title
-----
title: CMG
version: 1.0
made by: DIOGO
comment: vamos
-----
wind.Zo
-----
Direction: 0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300
Zo: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
-----
north arrow compass direction in plan
Direction: 75
-----
obstacles (position in m(=meter))
-----
Ground level: 0.
Roof height : 25.2000
Name : building
x,y : 0. 0.
Azimut : 180.
L,W,H,#,a,w: 49.000 20.000 7.4 1 17 20
Name: meteo
x,y: 1.0E6 -5.0
Azimut: 90.
L,W,H: 0.1 0.1 10.0
Name: obstacle 1
x,y: 6. 23.
Azimut: 0.00
L,W,H: 49.000 20.000 3.00
Name: obstacle 2
x,y: -26.0 14
Azimut: 90.00
L,W,H: 19.8000 20.00 3.00
Name: obstacle 3
x,y: 0.00 49.0
Azimut: 180.00
L,W,H: 49.0 20.00 3.00
Name: obstacle 4
x,y: -56.0 0
Azimut: 180.00
L,W,H: 49.0 10.00 3.00
-----
cp-positions
-----
unit: m
building side: facade 1
Pos. x,y : 24.5 3.7
building side: facade 4
Pos. x,y : 10.0 3.7
building side: facade 3
Pos. x,y : 24.5 3.7
building side: facade 2
Pos. x,y : 10.0 3.7
building side: roof
Pos. x,y : 24.5 10.0
```

Figura III.1 – Ficheiro de entrada do TNO Cp Generator.

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
cp1	-0.150	-0.151	-0.157	-0.153	-0.124	-0.086	-0.052	-0.019	0.017	0.053
cp2	-0.132	-0.134	-0.136	-0.136	-0.135	-0.134	-0.131	-0.129	-0.128	-0.129
cp3	-0.052	-0.086	-0.124	-0.153	-0.157	-0.151	-0.150	-0.148	-0.144	-0.138
cp4	0.243	0.248	0.250	0.251	0.250	0.248	0.243	0.236	0.225	0.209
cp5	-0.149	-0.152	-0.153	-0.153	-0.153	-0.152	-0.149	-0.149	-0.159	-0.174
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
cp1	0.088	0.121	0.151	0.177	0.200	0.218	0.233	0.243	0.251	0.256
cp2	-0.133	-0.140	-0.150	-0.164	-0.183	-0.205	-0.229	-0.252	-0.269	-0.282
cp3	-0.132	-0.126	-0.122	-0.118	-0.117	-0.118	-0.119	-0.122	-0.125	-0.127
cp4	0.187	0.160	0.126	0.087	0.043	-0.003	-0.051	-0.098	-0.142	-0.184
cp5	-0.191	-0.208	-0.222	-0.233	-0.242	-0.248	-0.253	-0.256	-0.258	-0.259
	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
cp1	0.259	0.260	0.259	0.256	0.251	0.243	0.233	0.218	0.200	0.177
cp2	-0.296	-0.299	-0.273	-0.237	-0.204	-0.169	-0.130	-0.089	-0.048	-0.009
cp3	-0.129	-0.130	-0.129	-0.127	-0.125	-0.122	-0.119	-0.118	-0.117	-0.118
cp4	-0.228	-0.260	-0.262	-0.251	-0.243	-0.231	-0.215	-0.197	-0.179	-0.161
cp5	-0.260	-0.260	-0.260	-0.259	-0.258	-0.256	-0.253	-0.248	-0.242	-0.233
	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
cp1	0.151	0.121	0.088	0.053	0.017	-0.019	-0.052	-0.086	-0.124	-0.153
cp2	0.028	0.060	0.088	0.112	0.130	0.144	0.153	0.159	0.162	0.163
cp3	-0.122	-0.126	-0.132	-0.138	-0.144	-0.148	-0.150	-0.151	-0.157	-0.153
cp4	-0.147	-0.135	-0.127	-0.122	-0.120	-0.120	-0.122	-0.123	-0.125	-0.125
cp5	-0.222	-0.208	-0.191	-0.174	-0.159	-0.149	-0.149	-0.152	-0.153	-0.153
	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
cp1	-0.157	-0.151	-0.150	-0.148	-0.144	-0.138	-0.132	-0.126	-0.122	-0.118
cp2	0.164	0.163	0.161	0.155	0.146	0.132	0.114	0.090	0.060	0.025
cp3	-0.124	-0.086	-0.052	-0.019	0.017	0.053	0.088	0.121	0.151	0.177
cp4	-0.125	-0.123	-0.122	-0.120	-0.120	-0.122	-0.127	-0.135	-0.147	-0.161
cp5	-0.153	-0.152	-0.149	-0.149	-0.159	-0.174	-0.191	-0.208	-0.222	-0.233
	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295
cp1	-0.117	-0.118	-0.119	-0.122	-0.125	-0.127	-0.129	-0.130	-0.129	-0.127
cp2	-0.014	-0.055	-0.098	-0.140	-0.179	-0.215	-0.253	-0.280	-0.275	-0.259
cp3	0.200	0.218	0.233	0.243	0.251	0.256	0.259	0.260	0.259	0.256
cp4	-0.179	-0.197	-0.215	-0.231	-0.243	-0.251	-0.262	-0.260	-0.228	-0.184
cp5	-0.242	-0.248	-0.253	-0.256	-0.258	-0.259	-0.260	-0.260	-0.260	-0.259
	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345
cp1	-0.125	-0.122	-0.119	-0.118	-0.117	-0.118	-0.122	-0.126	-0.132	-0.138
cp2	-0.247	-0.233	-0.219	-0.203	-0.186	-0.170	-0.156	-0.144	-0.137	-0.132
cp3	0.251	0.243	0.233	0.218	0.200	0.177	0.151	0.121	0.088	0.053
cp4	-0.142	-0.098	-0.051	-0.003	0.043	0.087	0.126	0.160	0.187	0.209
cp5	-0.258	-0.256	-0.253	-0.248	-0.242	-0.233	-0.222	-0.208	-0.191	-0.174
	350	355								
cp1	-0.144	-0.148								
cp2	-0.130	-0.131								

Figura III.2 – Ficheiro de saída do TNO Cp Generator

A IV. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES *IN SITU* DA QAI

Neste anexo, são apresentados os resultados das medições *in situ* da concentração de poluentes nos compartimentos dos edifícios avaliados (Edifício A e Edifício B), nomeadamente as partículas suspensas no ar (PM_{10}), Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O_3), formaldeído (CHOH). Para avaliar a qualidade do ar de cada compartimento são comparados os valores medidos com os valores de referência preconizados pelo RSECE.

Edifício A

Da Figura IV.1 à Figura IV.40 são apresentados as concentrações de poluentes (CO, O_3 , CHOH, PM_{10} , CO_2) nos compartimentos avaliados do Edifício A.

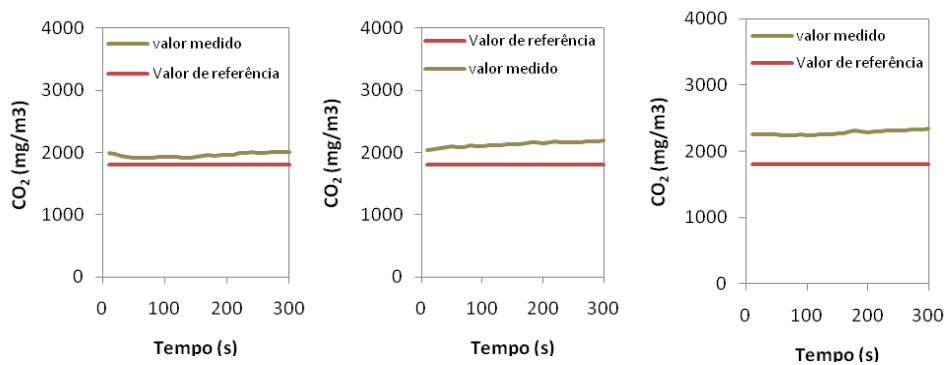


Figura IV.1 – Concentração de CO_2 no Comp.E_{0-w}

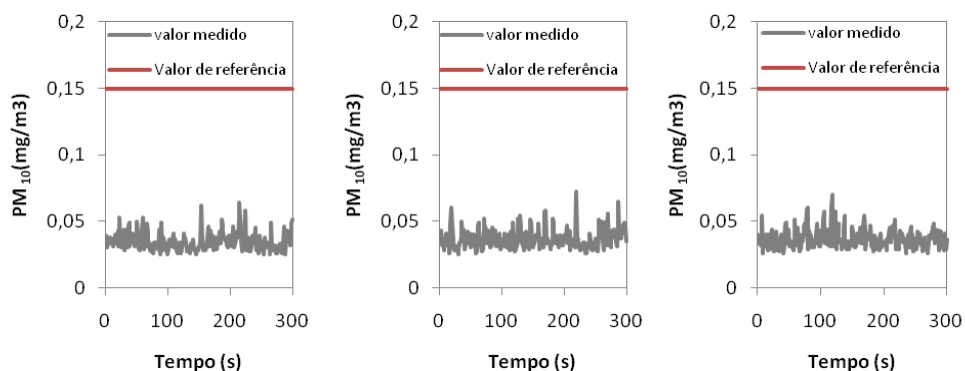


Figura IV.2 – Concentração de PM_{10} no Comp.E_{0-w}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

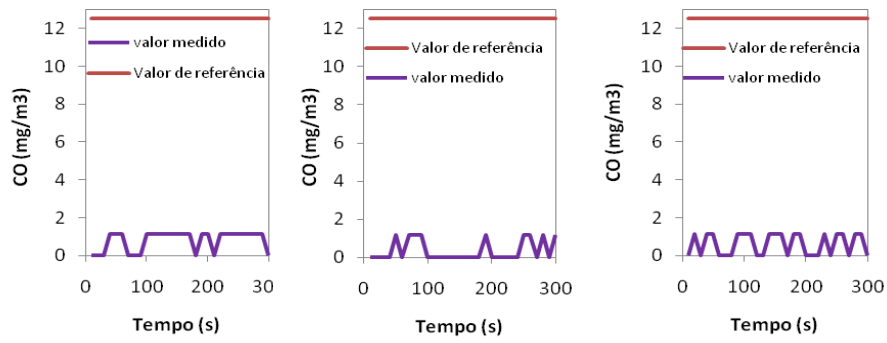


Figura IV.3 – Concentração de CO no Comp.E_{0-w}

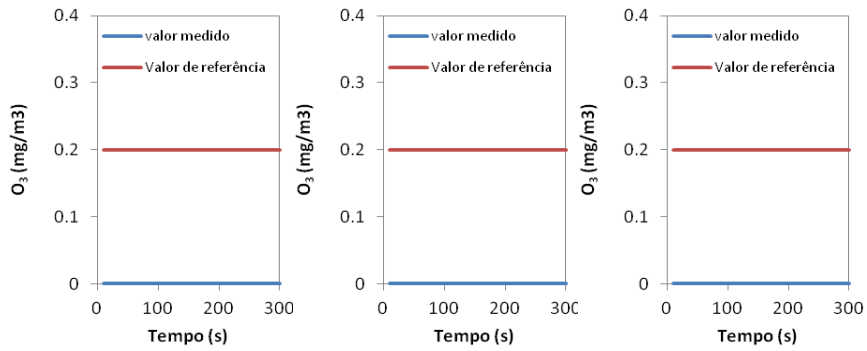


Figura IV.4 – Concentração de O₃ no Comp.E_{0-w}

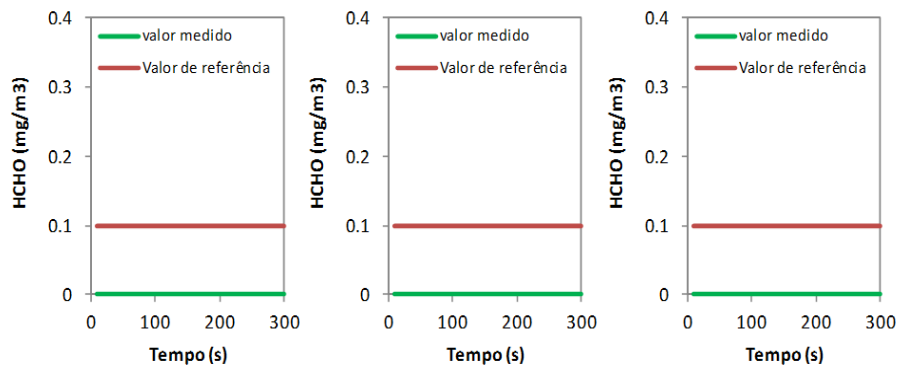


Figura IV.5 – Concentração de HCHO no Comp.E_{0-w}

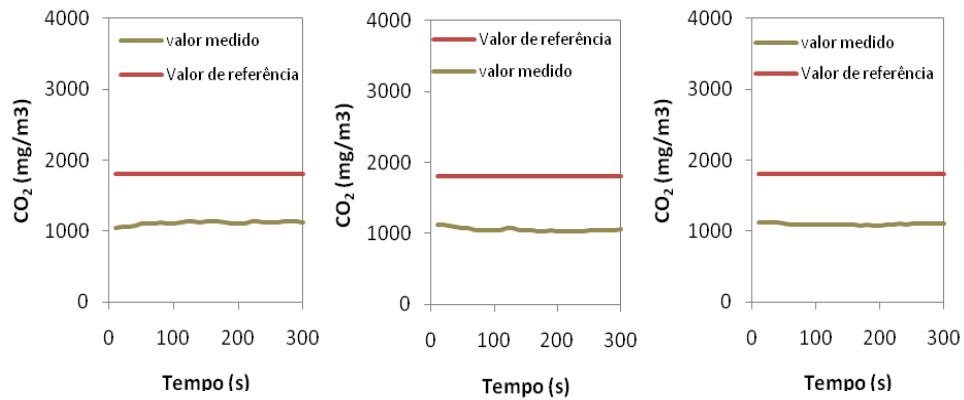


Figura IV.6 – Concentração de CO₂ no Comp.C₀

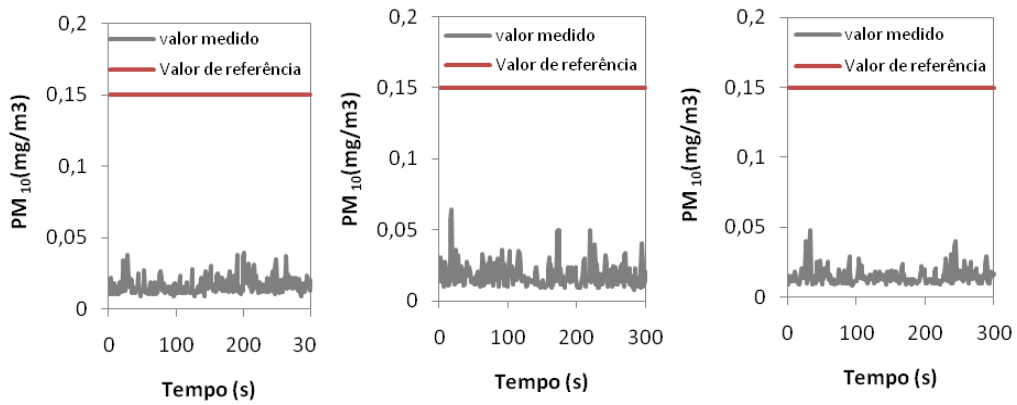


Figura IV.7 – Concentração de PM₁₀ no Comp.C₀

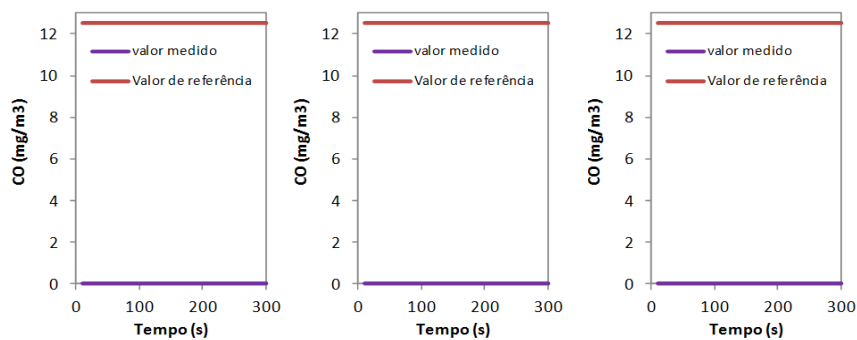


Figura IV.8 – Concentração de CO no Comp.C₀

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

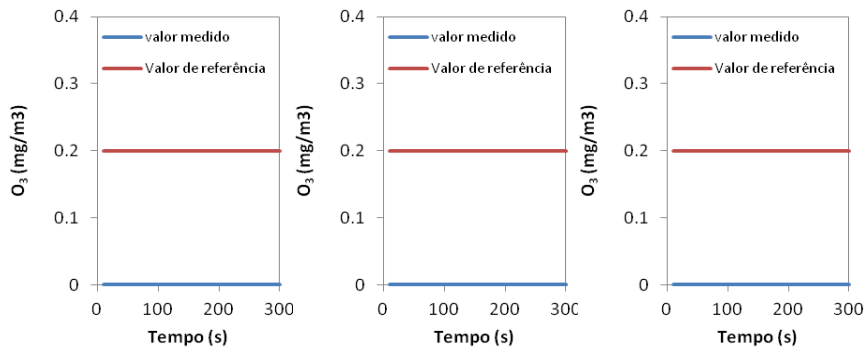


Figura IV.9 – Concentração de O_3 no Comp.C₀

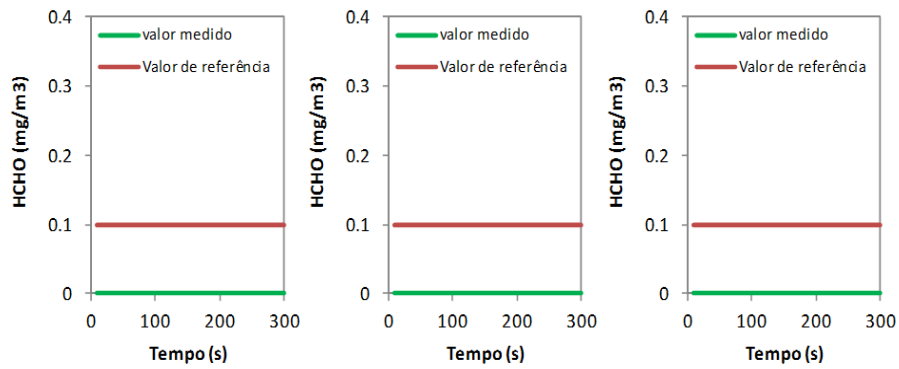


Figura IV.10 – Concentração de HCHO no Comp.C₀

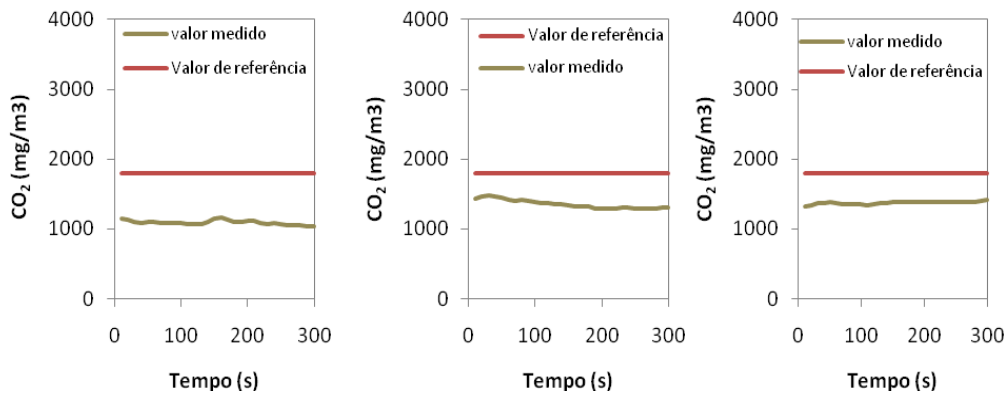


Figura IV.11 – Concentração de CO_2 na Comp.A_{0-SE}

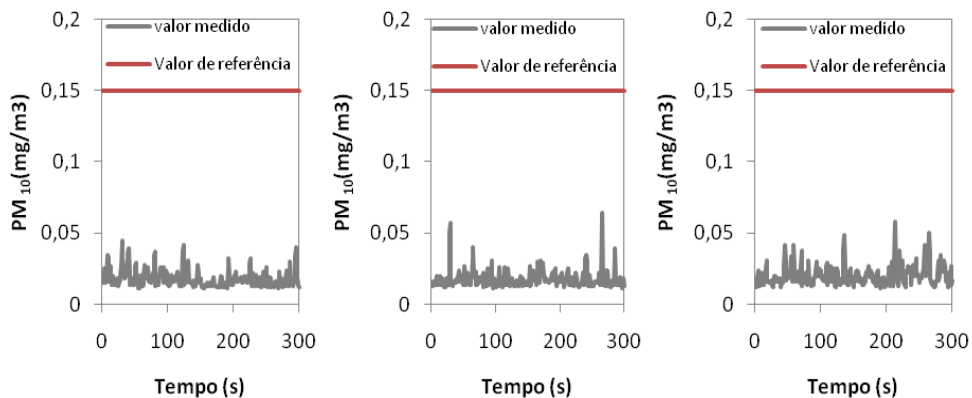


Figura IV.12 – Concentração de PM₁₀ na Comp.A_{0-SE}

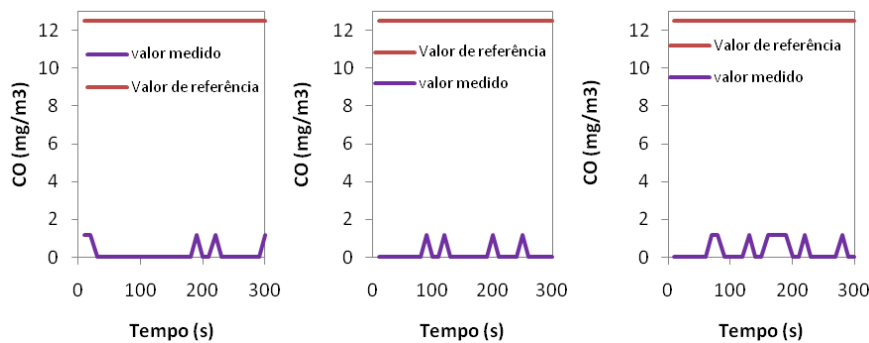


Figura IV.13 – Concentração de CO na Comp.A_{0-SE}

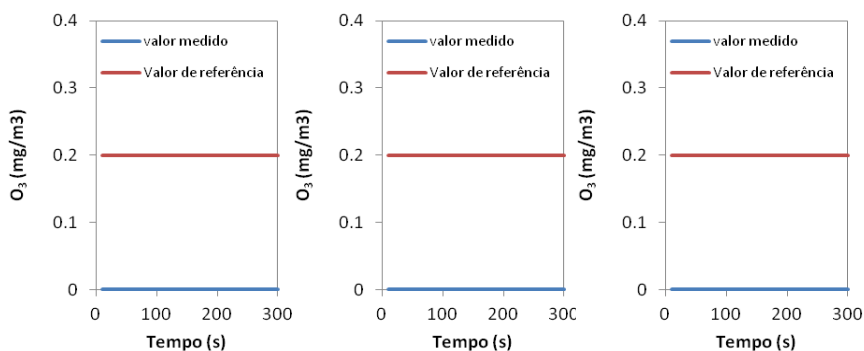


Figura IV.14 – Concentração de O₃ na Comp.A_{0-SE}

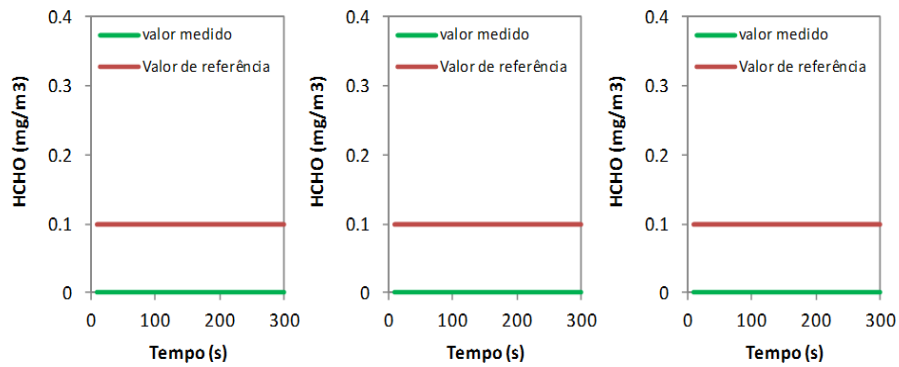


Figura IV.15 – Concentração de HCHO na Comp.A₀-SE

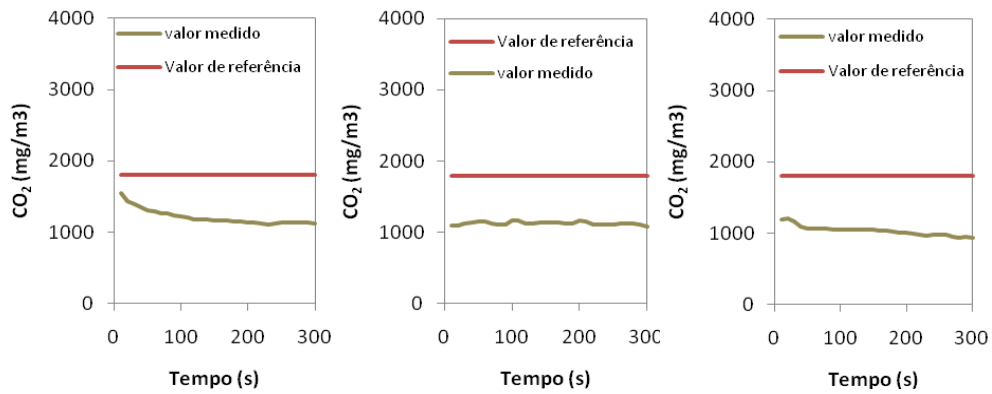


Figura IV.16 – Concentração de CO₂ na zona COMP.G₁-SE

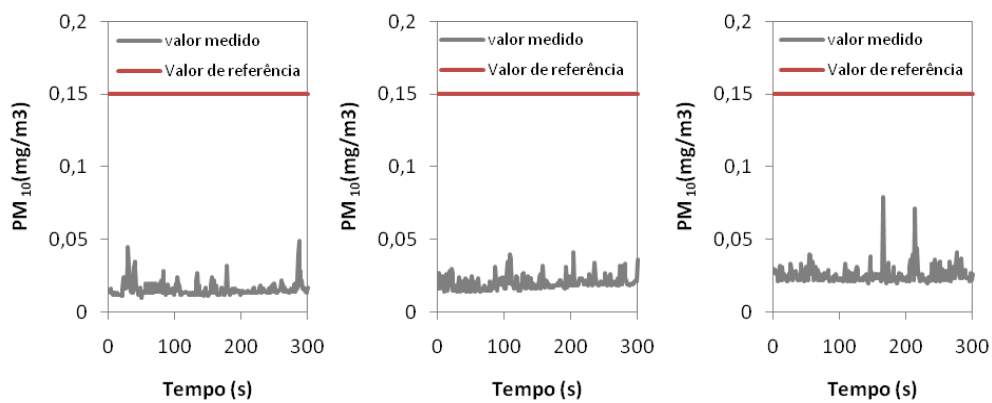


Figura IV.17 – Concentração de PM₁₀ na zona COMP.G₁-SE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

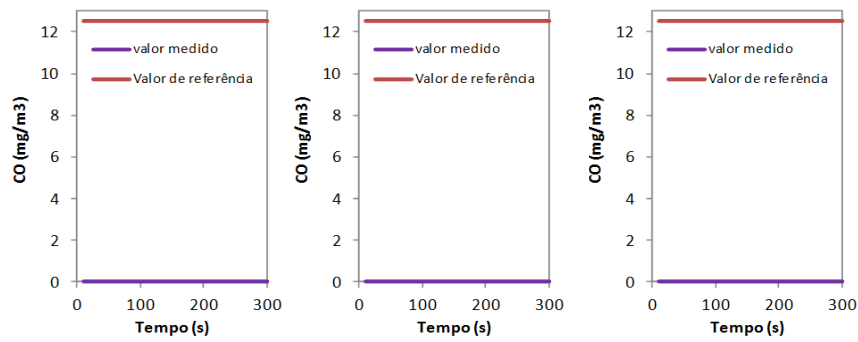


Figura IV.18 – Concentração de CO na zona COMP.G_{1-SE}

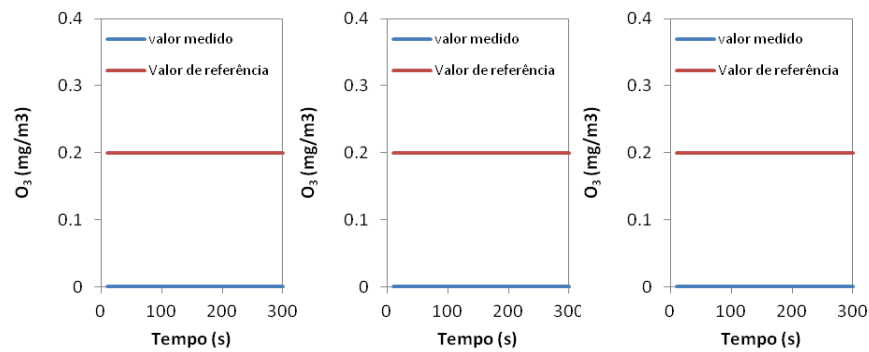


Figura IV.19 – Concentração de O₃ na zona COMP.G_{1-SE}

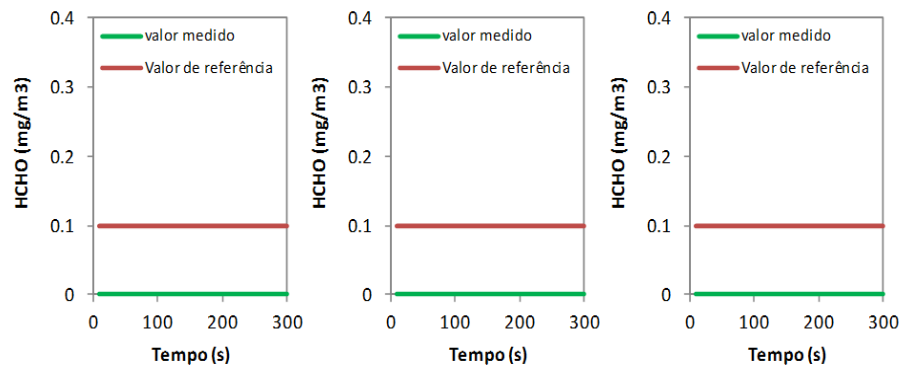


Figura IV.20 – Concentração de HCHO na zona COMP.G_{1-SE}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

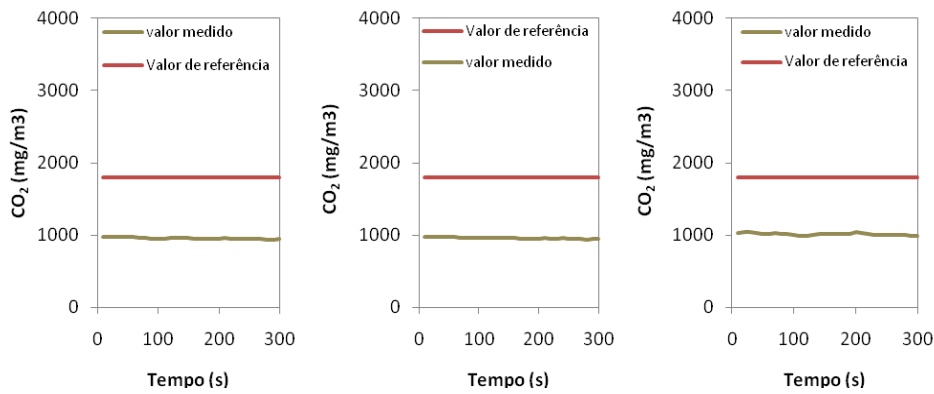


Figura IV.21 – Concentração de CO₂ na Comp.B₀-NE

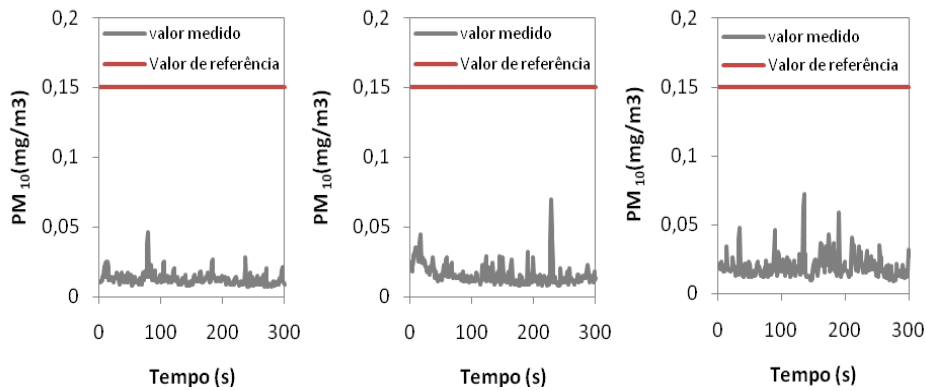


Figura IV.22 – Concentração de PM₁₀ na Comp.B₀-NE

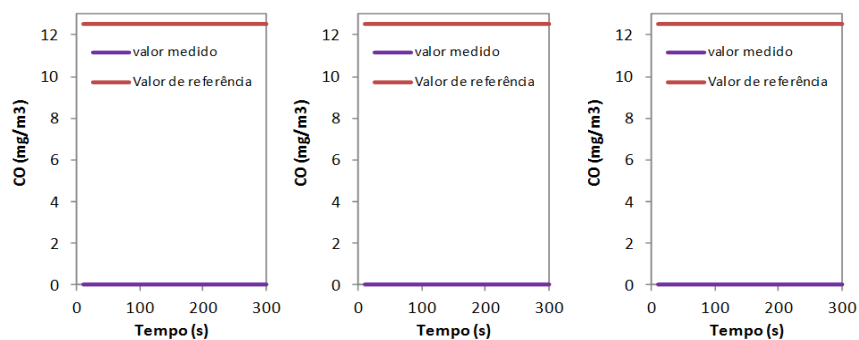


Figura IV.23 – Concentração de CO na Comp.B₀-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

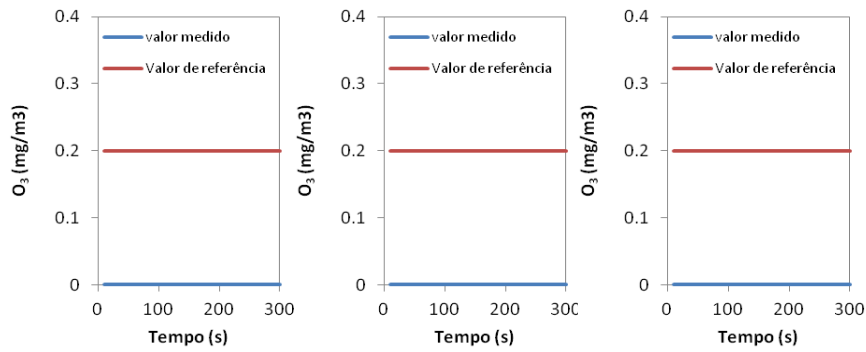


Figura IV.24 – Concentração de O₃ na Comp.B_{0-NE}

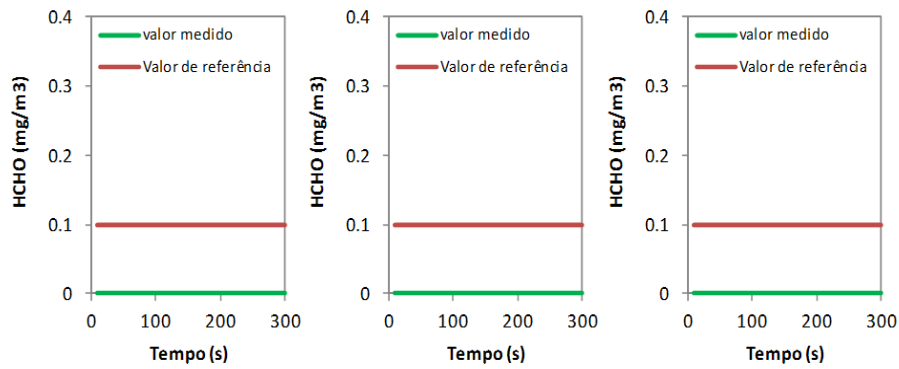


Figura IV.25 – Concentração de HCHO na Comp.B_{0-NE}

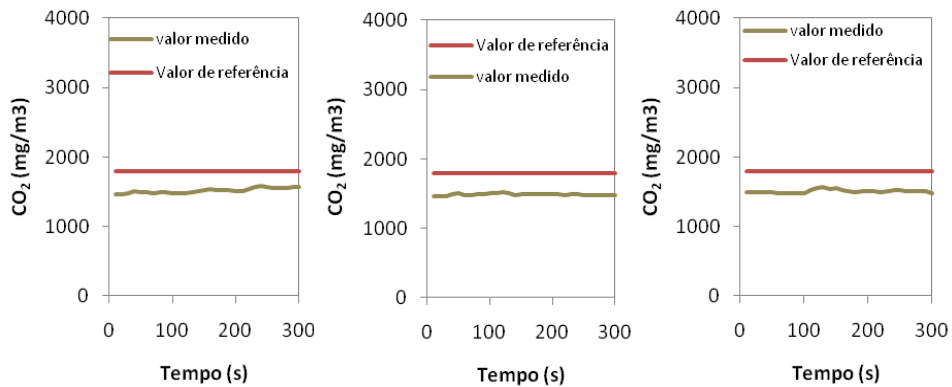


Figura IV.26 – Concentração de CO₂ no Comp.D₀

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

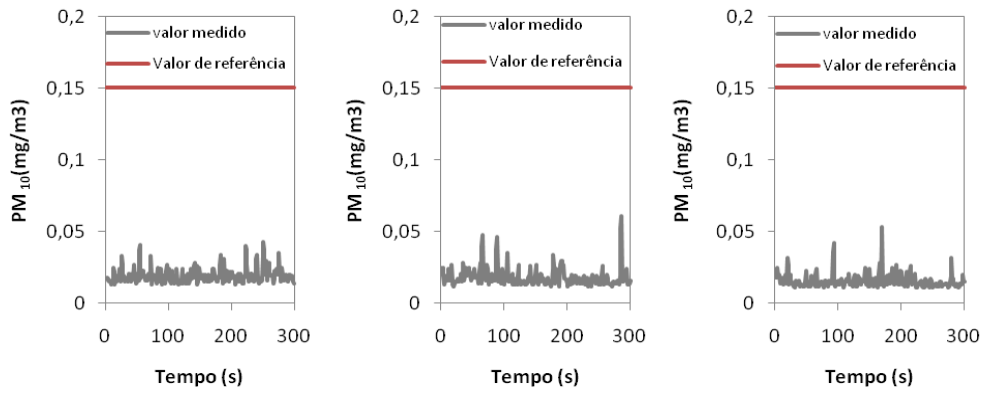


Figura IV.27 – Concentração de PM₁₀ no Comp.D₀

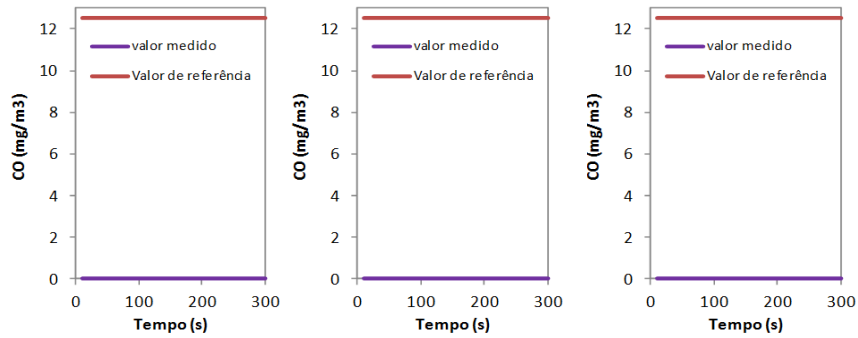


Figura IV.28 – Concentração de CO no Comp.D₀

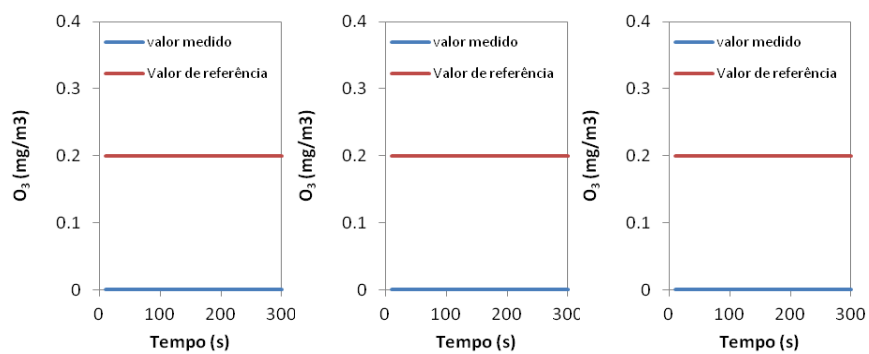


Figura IV.29 – Concentração de O₃ no Comp.D₀

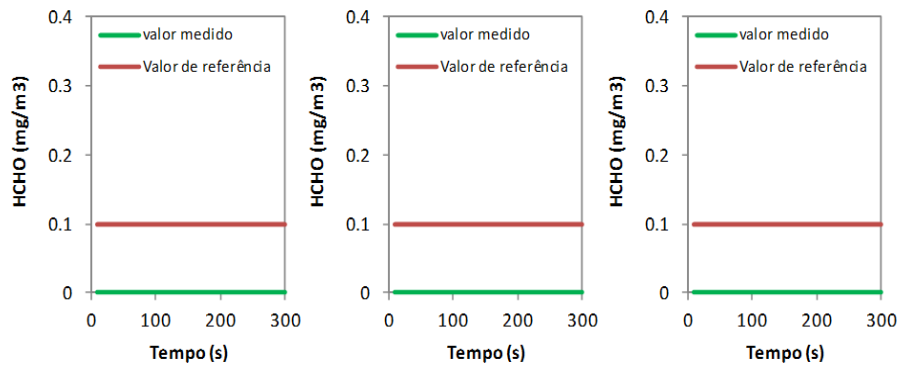


Figura IV.30 – Concentração de HCHO no Comp.D₀

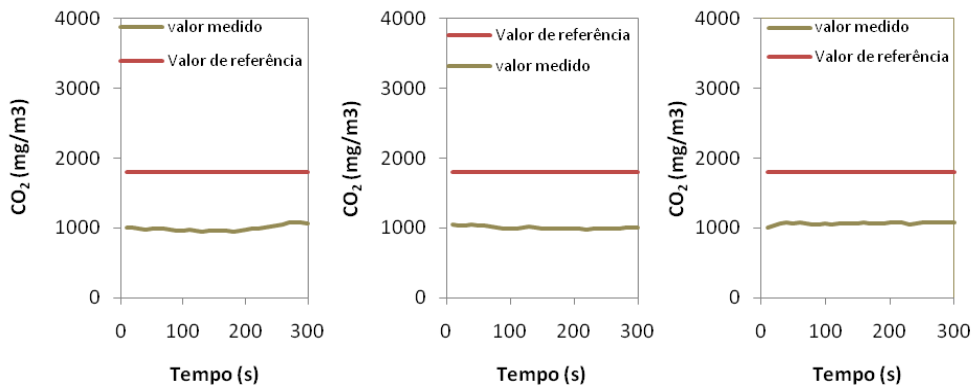


Figura IV.31 – Concentração de CO₂ no Comp.F_{1-NESE}

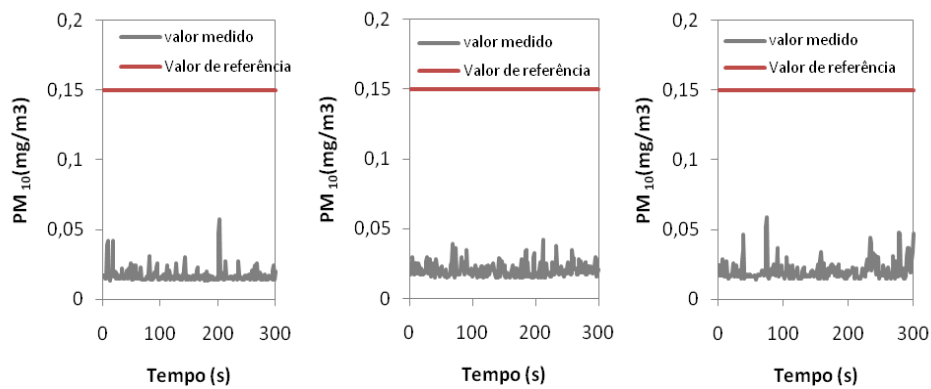


Figura IV.32 – Concentração de PM₁₀ no Comp.F_{1-NESE}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

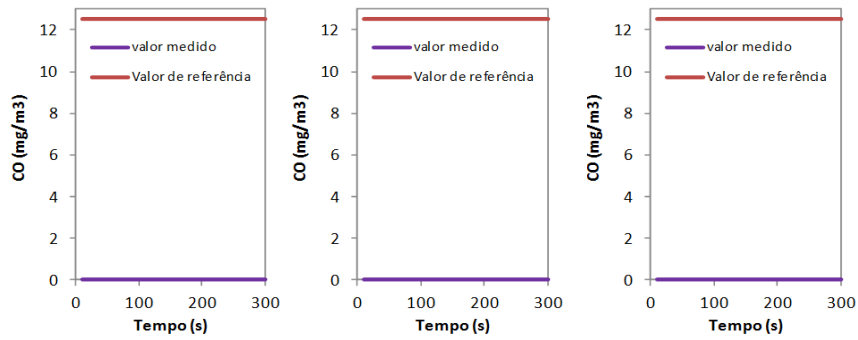


Figura IV.33 – Concentração de CO no Comp.F₁-NESE

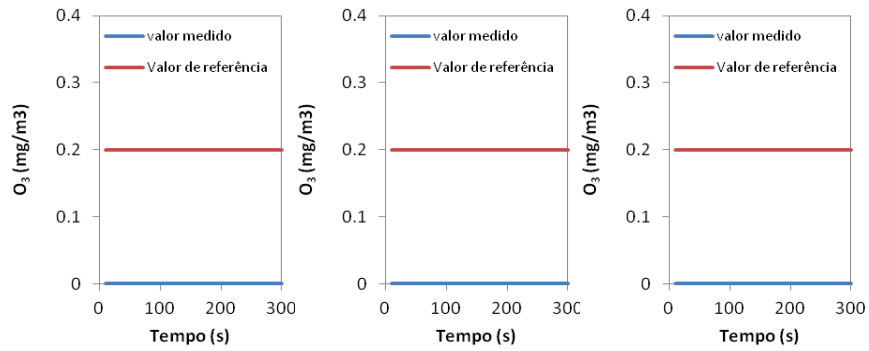


Figura IV.34 – Concentração de O₃ no Comp.F₁-NESE

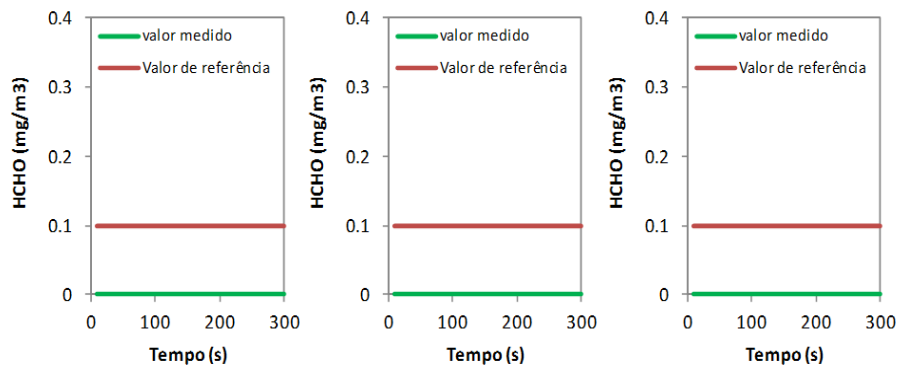


Figura IV.35 – Concentração de HCHO no Comp.F₁-NESE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

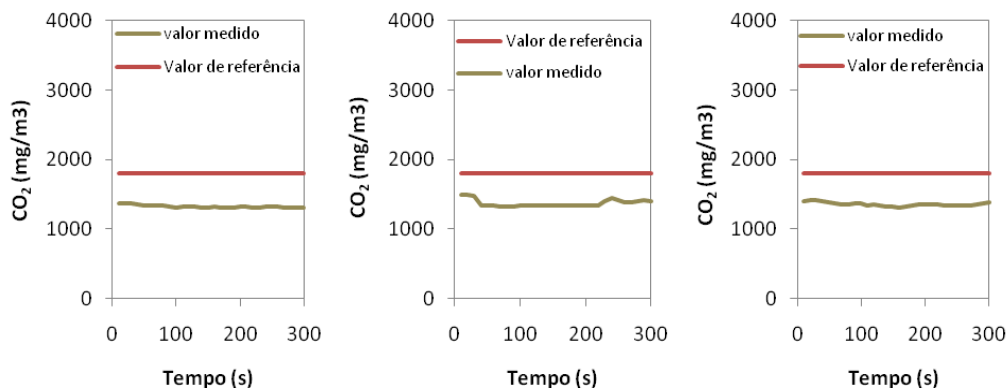


Figura IV.36 – Concentração de CO₂ no Comp.H₁-w

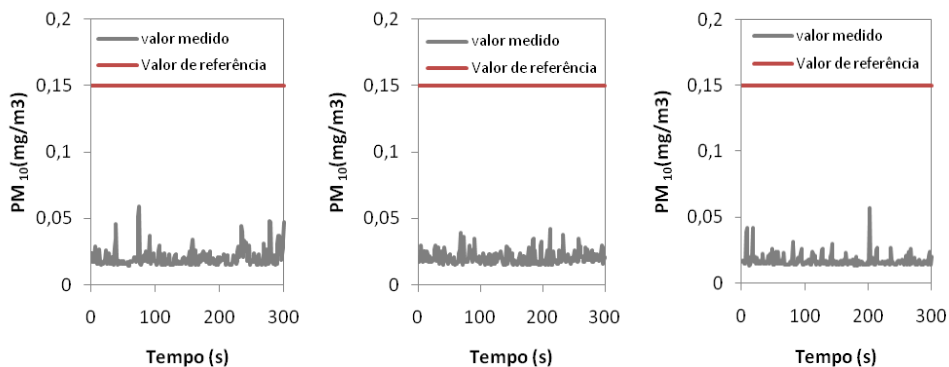


Figura IV.37 – Concentração de PM₁₀ no Comp.H₁-w

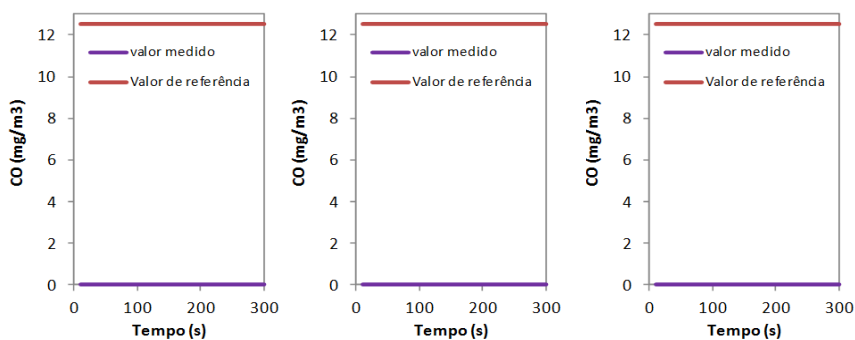


Figura IV.38 – Concentração de CO no Comp.H₁-w

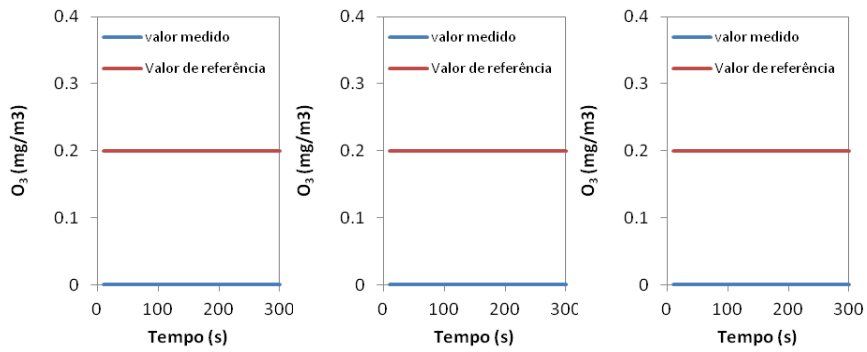


Figura IV.39 – Concentração de O_3 no Comp.H_{1-w}

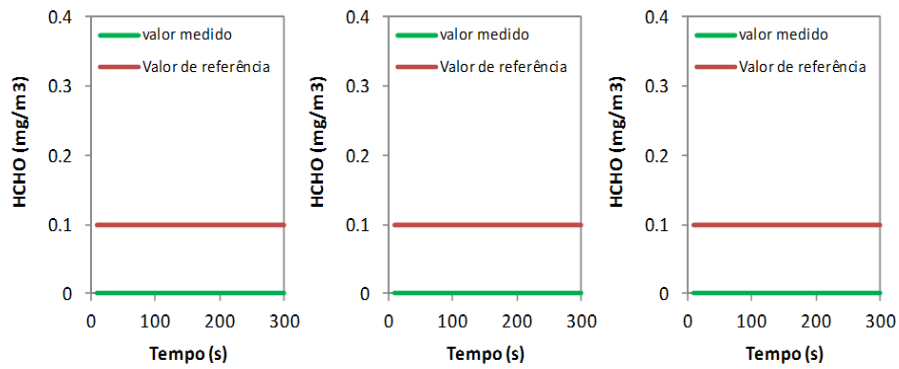


Figura IV.40 – Concentração de HCHO no Comp.H_{1-w}

Edifício B

Da Figura IV.1 à Figura IV.100 são apresentados as concentrações de poluentes (CO , O_3 , $CHOH$, PM_{10} , CO_2) nos compartimentos avaliados do Edifício B.

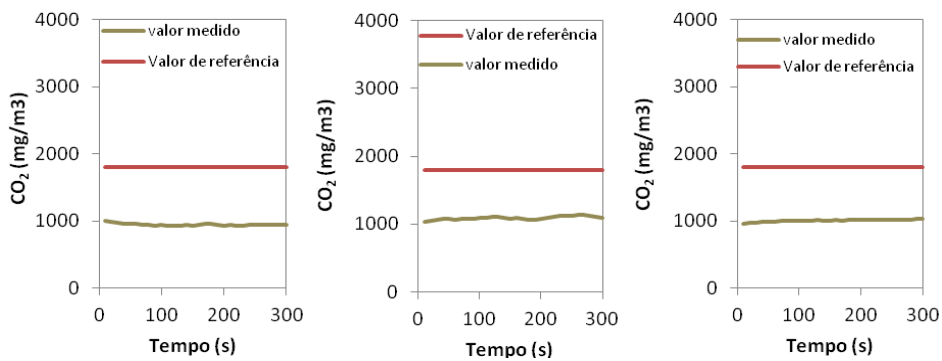


Figura IV.41 – Concentração de CO_2 no Comp.e_{1-sw}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

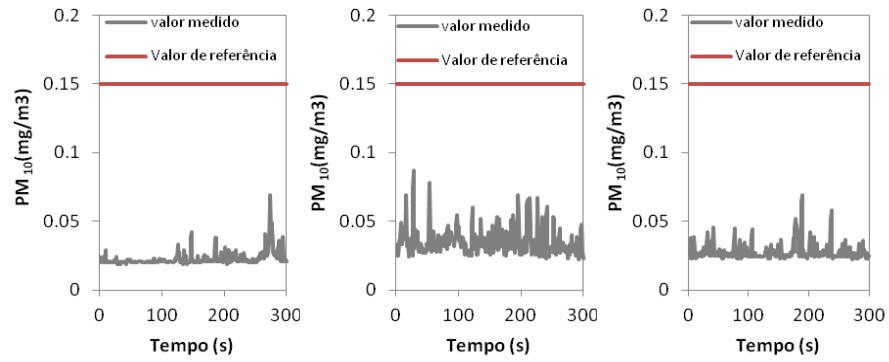


Figura IV.42 – Concentração de PM₁₀ no Comp.e₁-SW

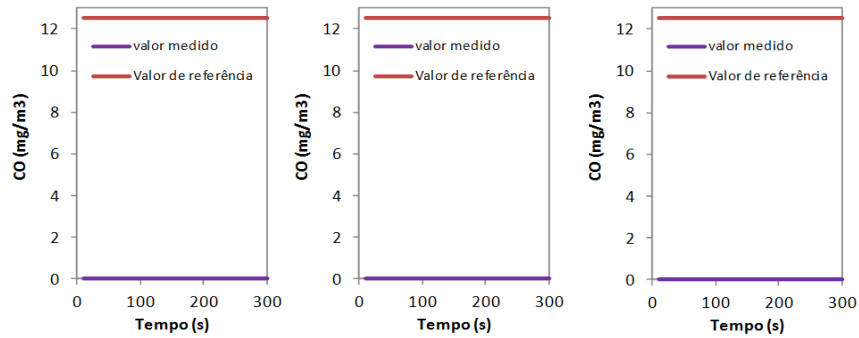


Figura IV.43 – Concentração de CO no Comp.e₁-SW

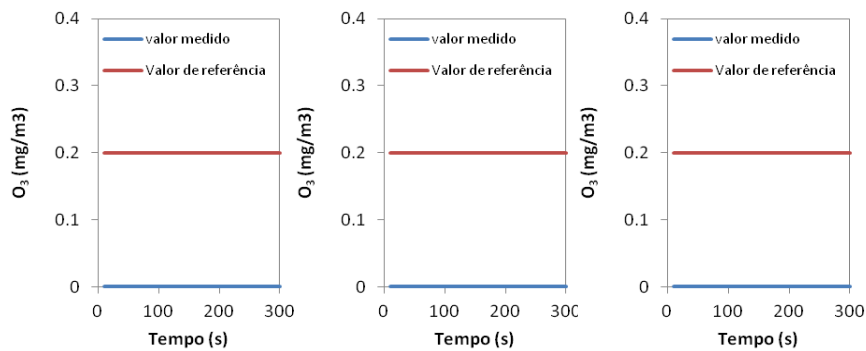


Figura IV.44 – Concentração de O₃ no Comp.e₁-SW

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

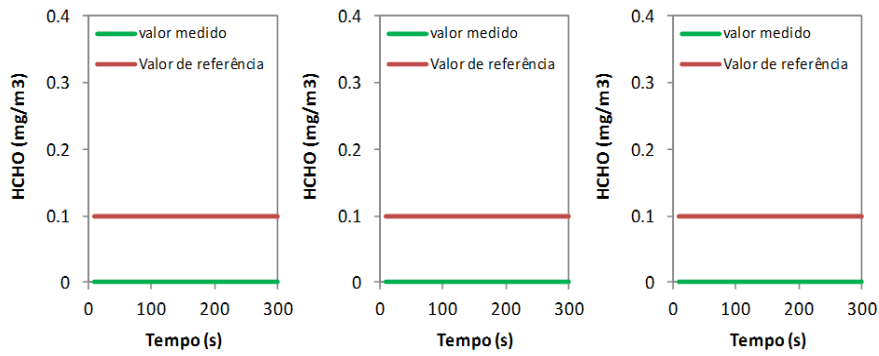


Figura IV.45 – Concentração de HCHO no Comp.e1-SW

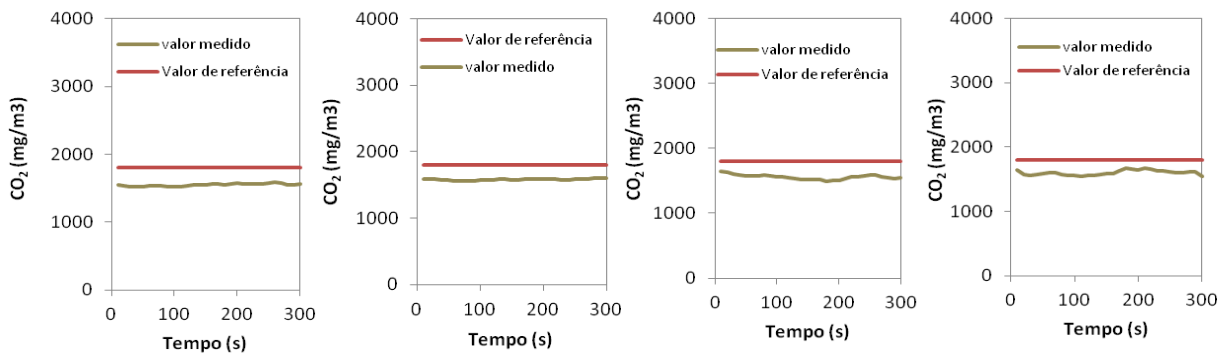


Figura IV.46 – Concentração de CO₂ no Comp.c0-NE

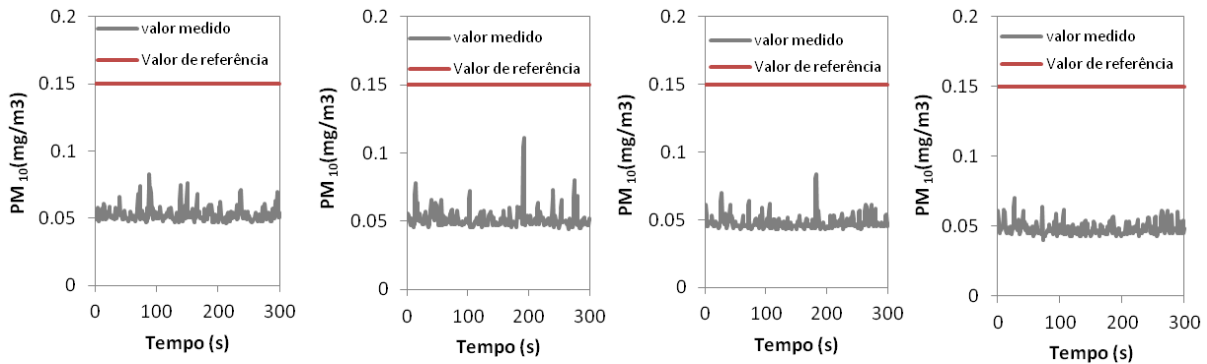


Figura IV.47 – Concentração de PM₁₀ no Comp.c0-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

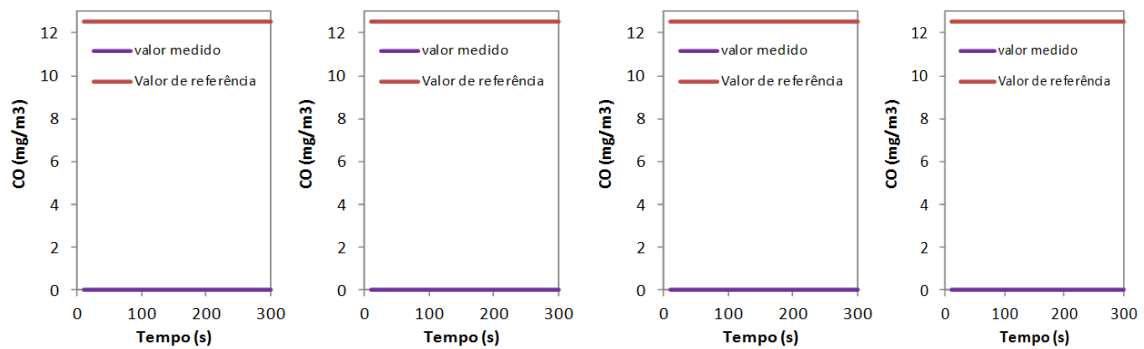


Figura IV.48 – Concentração de CO no Comp.c0-NE

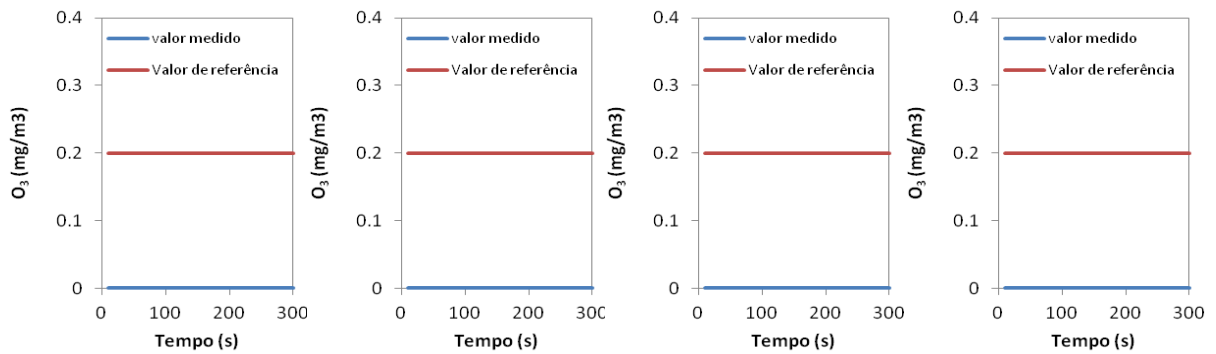


Figura IV.49 – Concentração de O₃ no Comp.c0-NE

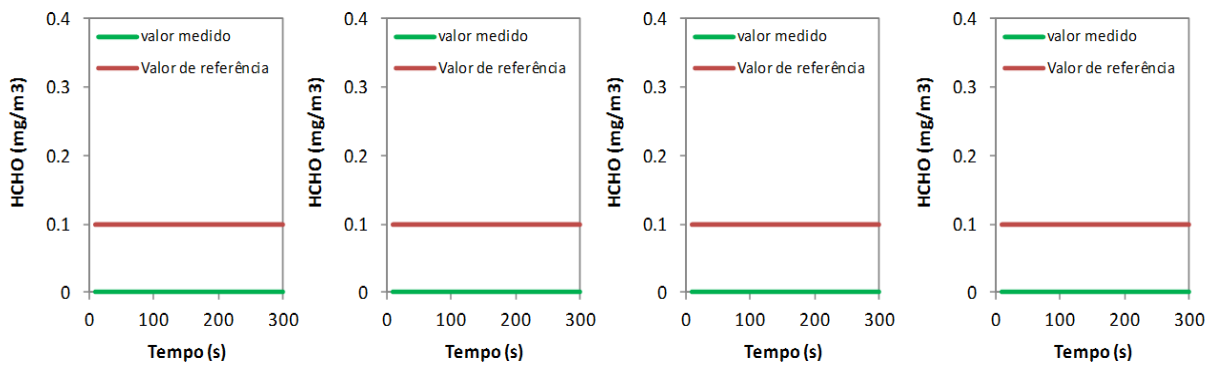


Figura IV.50 – Concentração de HCHO no Comp.c0-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

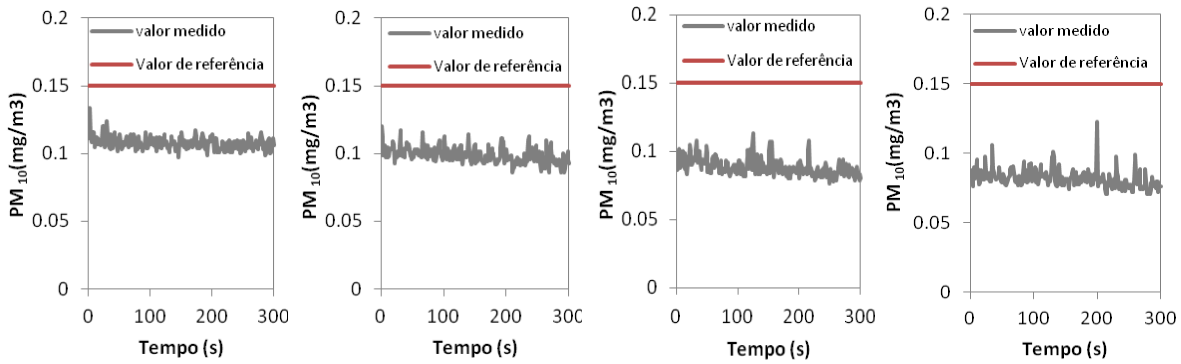


Figura IV.51 – Concentração de PM₁₀ no Comp.b_{0-NE}

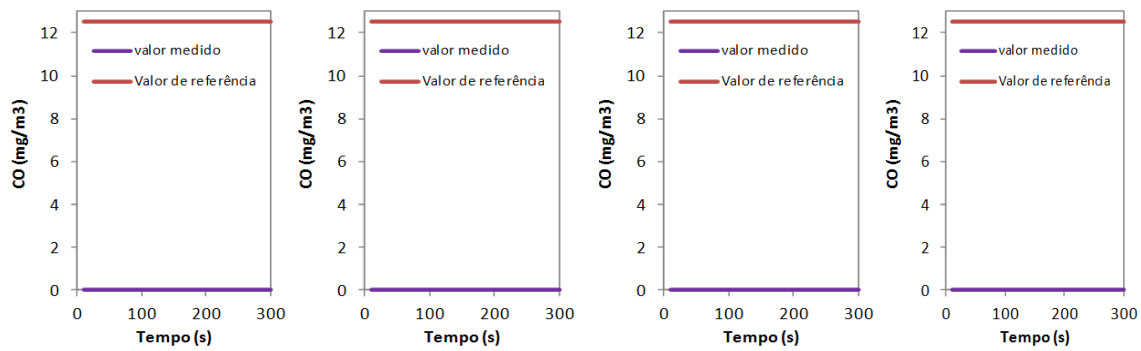


Figura IV.52 – Concentração de CO no Comp.b_{0-NE}

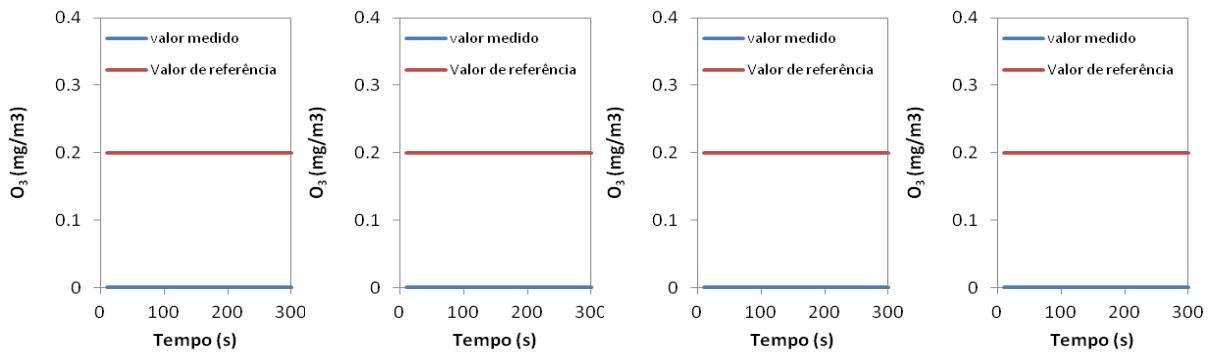


Figura IV.53 – Concentração de O₃ no Comp.b_{0-NE}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

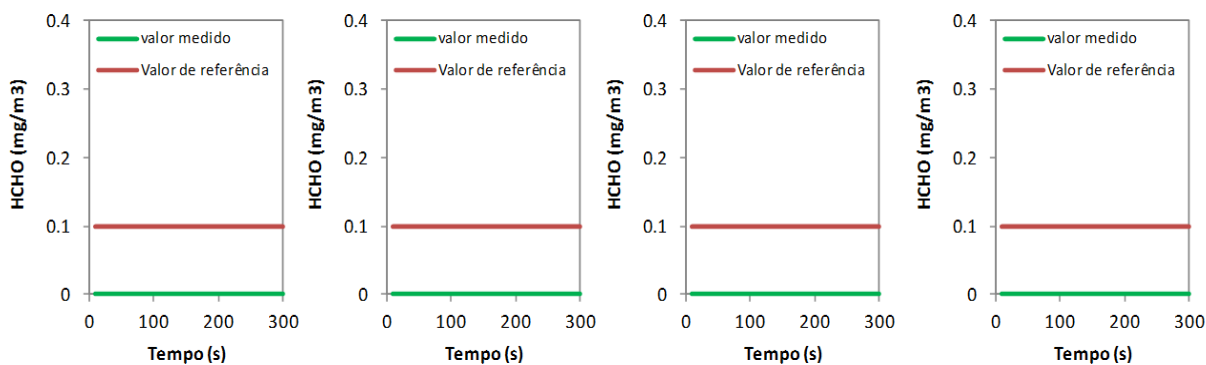


Figura IV.54 – Concentração de HCHO no Comp.b₀-NE

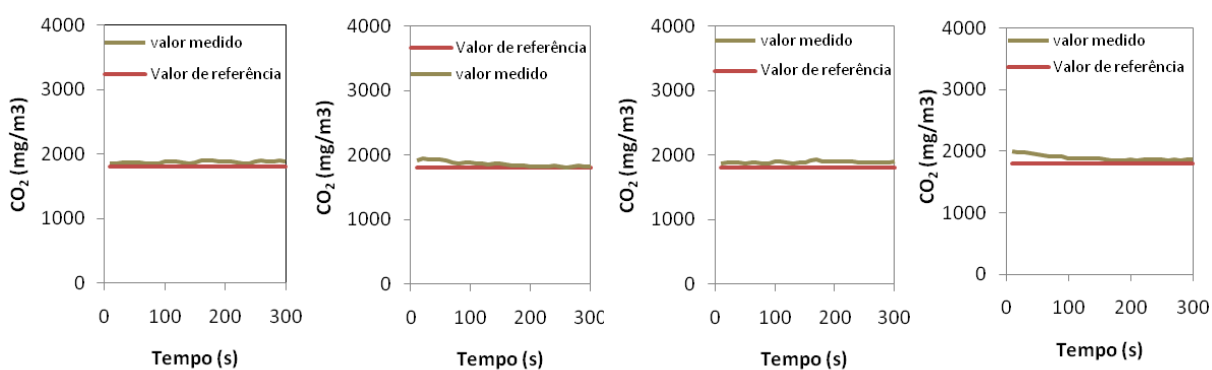


Figura IV.55 – Concentração de CO₂ no Comp.b₀-NE

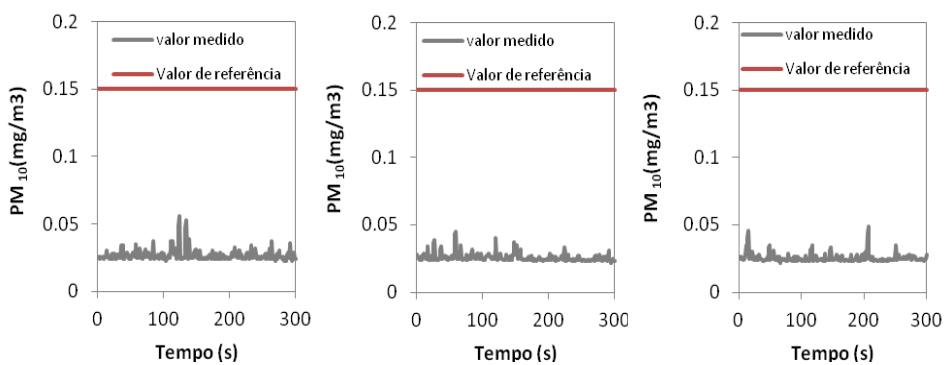


Figura IV.56 – Concentração de PM₁₀ na Comp.d₁-NW

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

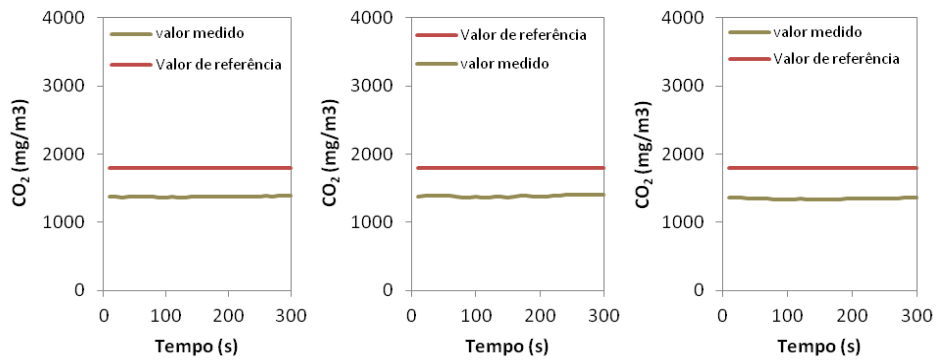


Figura IV.57 – Concentração de CO₂ na Comp.d₁-NW

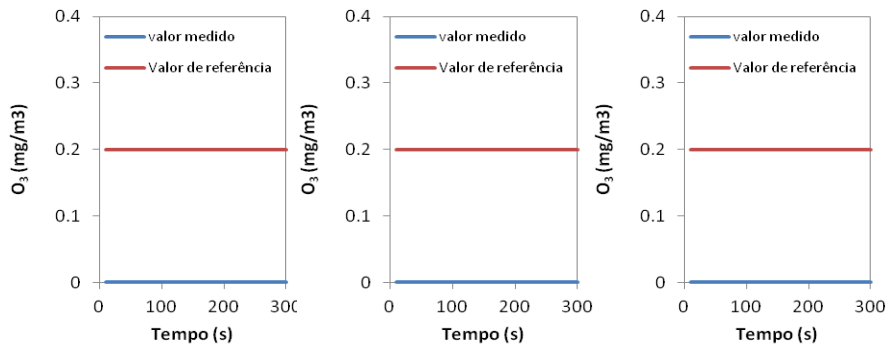


Figura IV.58 – Concentração de O₃ na Comp.d₁-NW

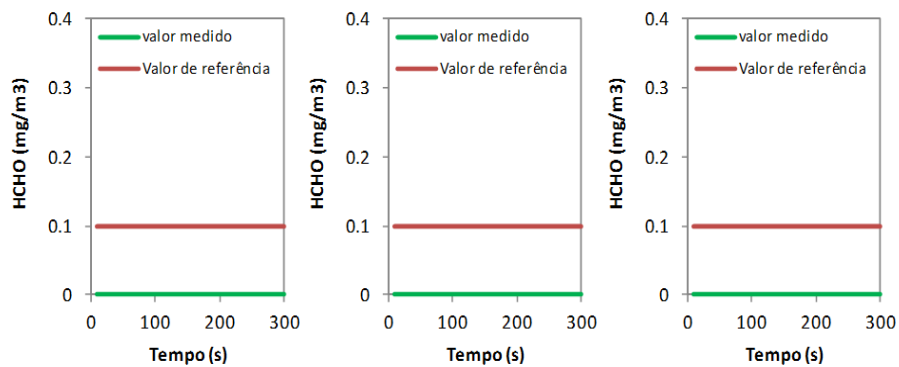


Figura IV.59 – Concentração de HCHO na Comp.d₁-NW

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

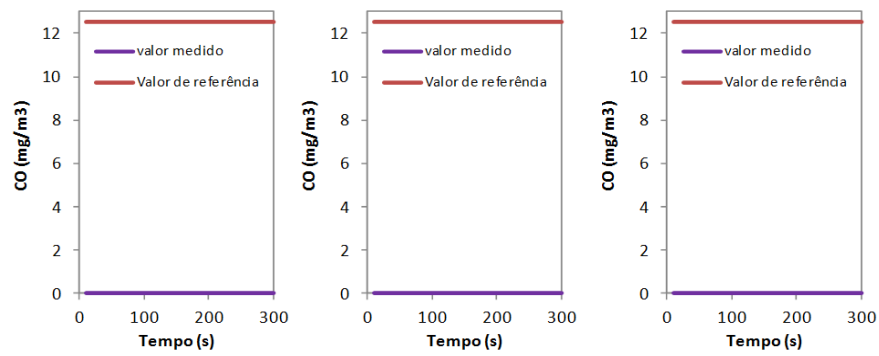


Figura IV.60 – Concentração de CO na Comp.d1-NW

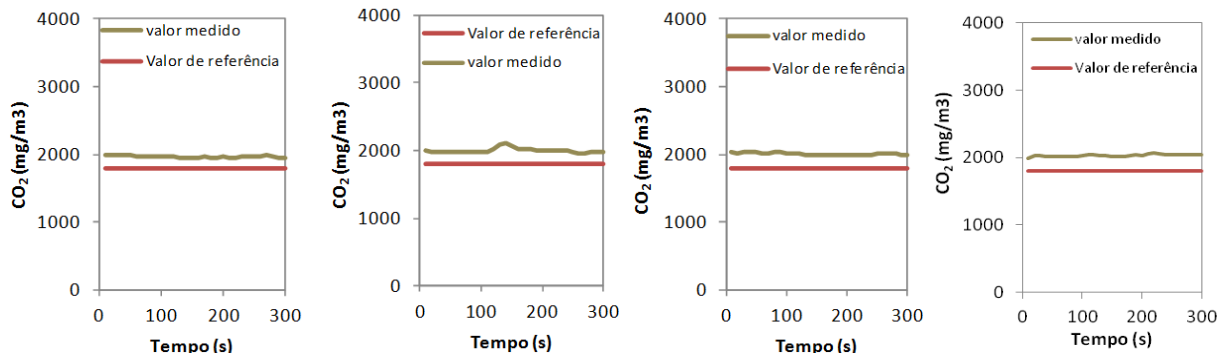


Figura IV.61 – Concentração de CO₂ na Comp.j2-sw

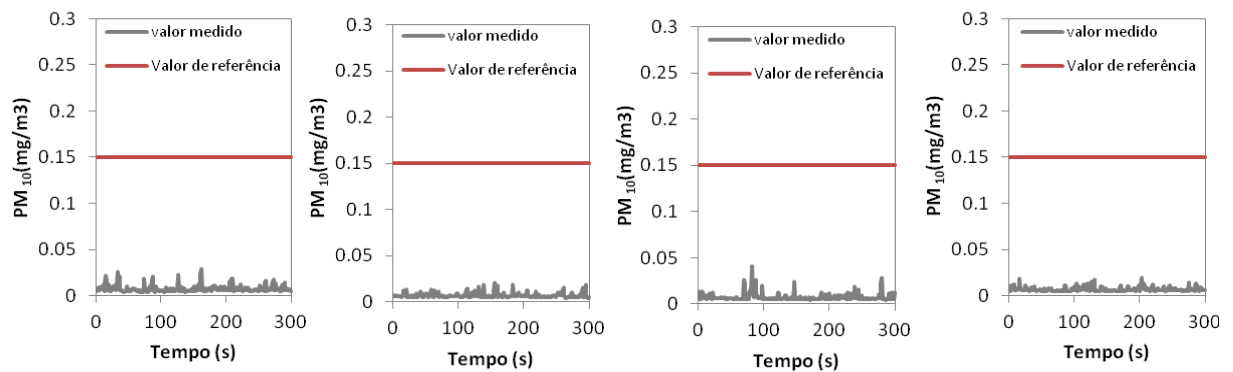


Figura IV.62 – Concentração de PM₁₀ na Comp.j2-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

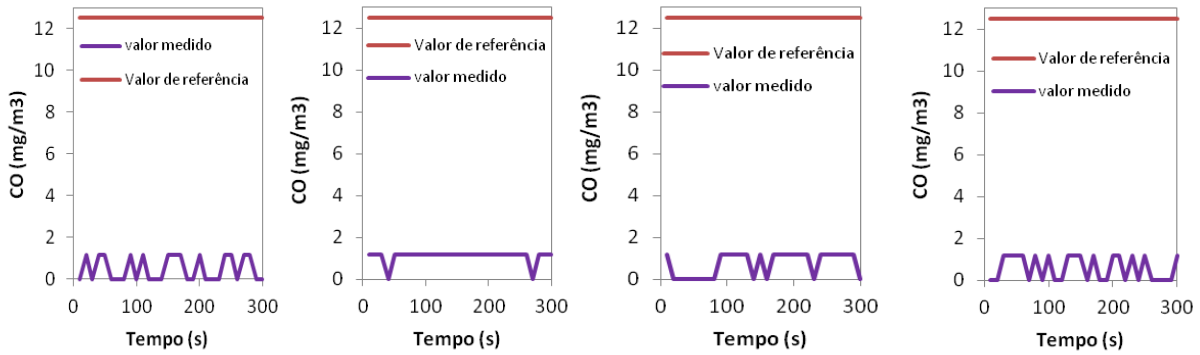


Figura IV.63 – Concentração de CO na Comp.j2-sw

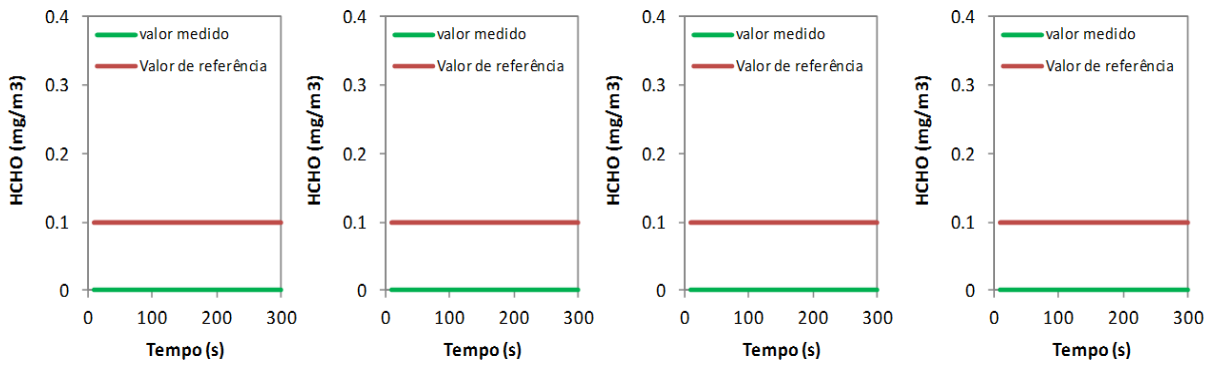


Figura IV.64 – Concentração de HCHO na Comp.j2-sw

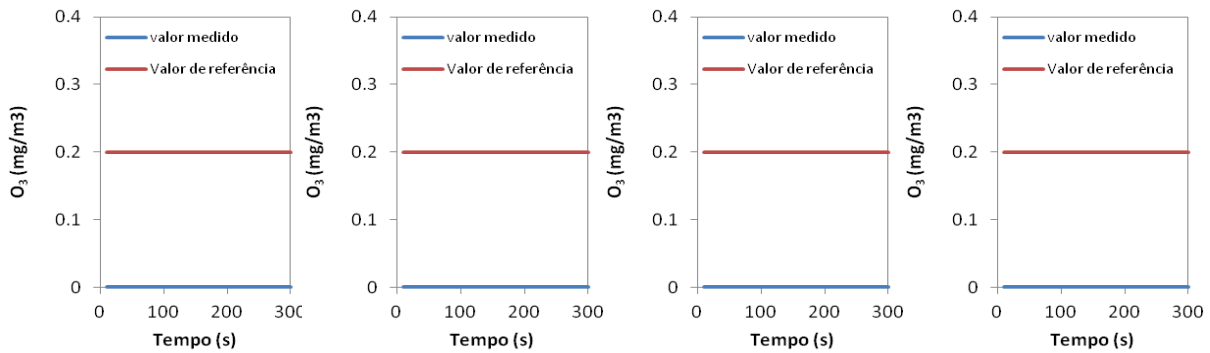


Figura IV.65 – Concentração de O₃ na Comp.j2-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

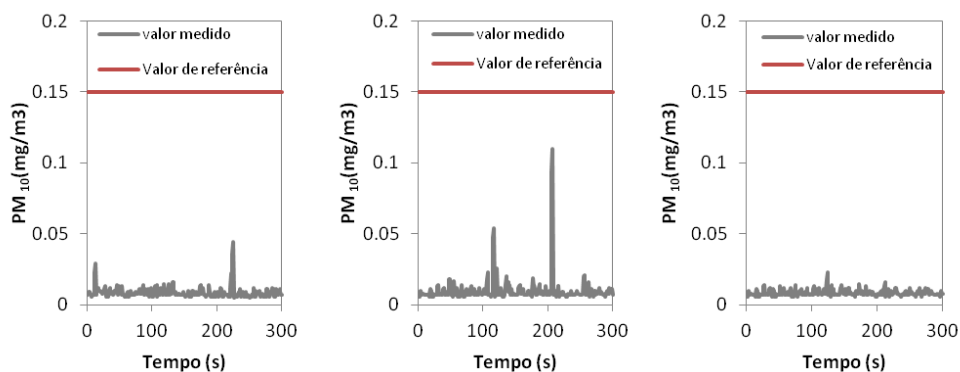


Figura IV.66 – Concentração de PM₁₀ na Comp.i₂-NE

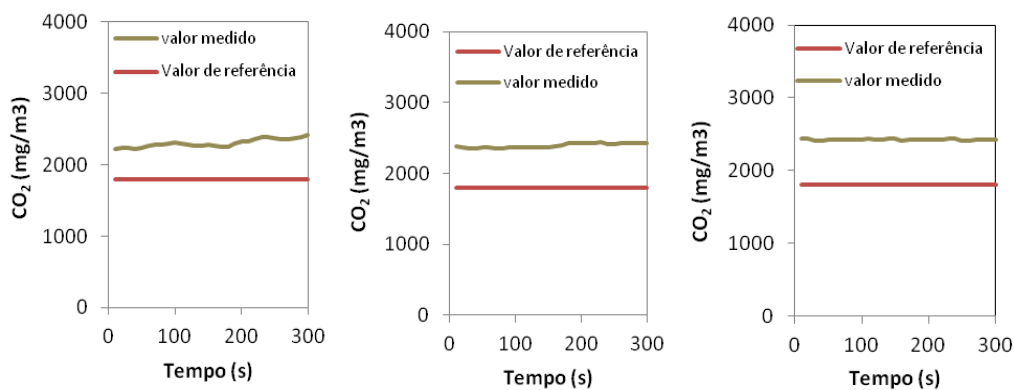


Figura IV.67 – Concentração de CO₂ na Comp.i₂-NE

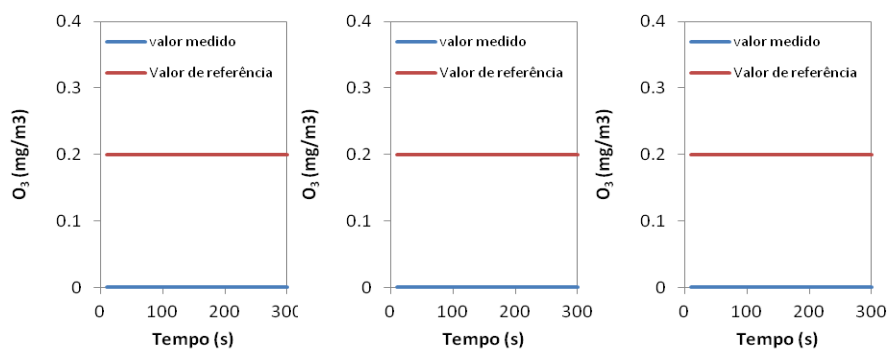


Figura IV.68 – Concentração de O₃ na Comp.i₂-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

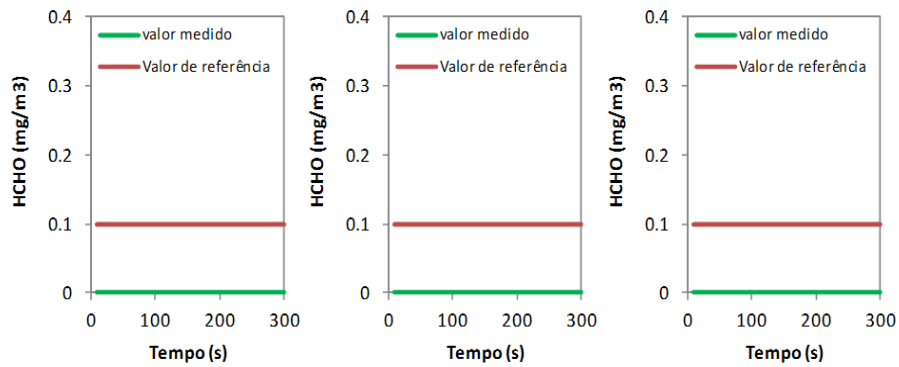


Figura IV.69 – Concentração de HCHO na Comp.i₂-NE

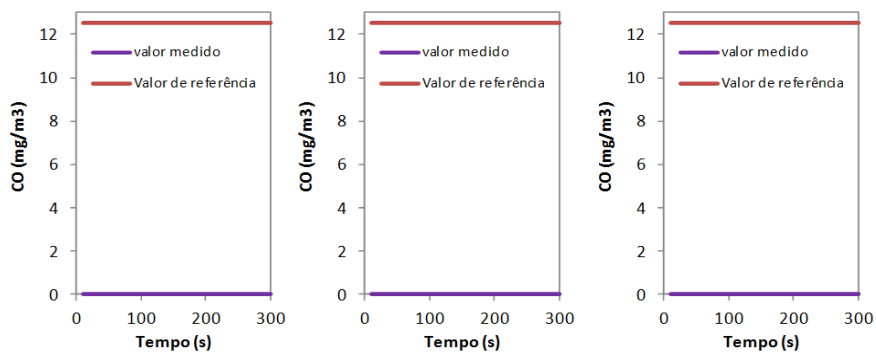


Figura IV.70 – Concentração de CO na Comp.i₂-NE

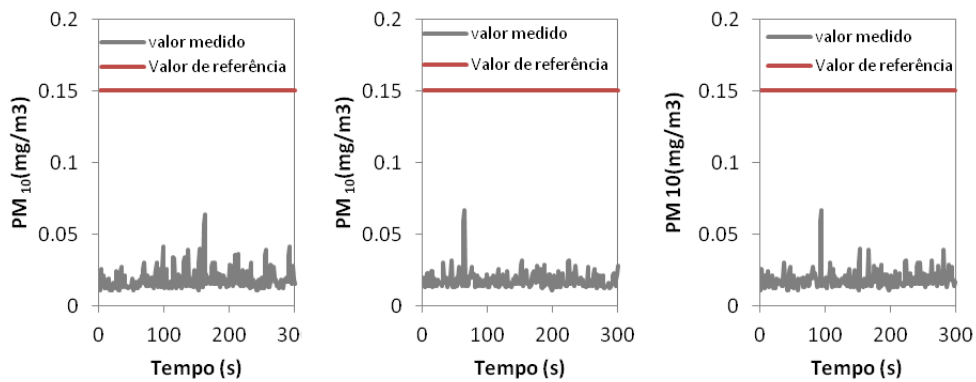


Figura IV.71 – Concentração de PM₁₀ na Comp.h₂-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

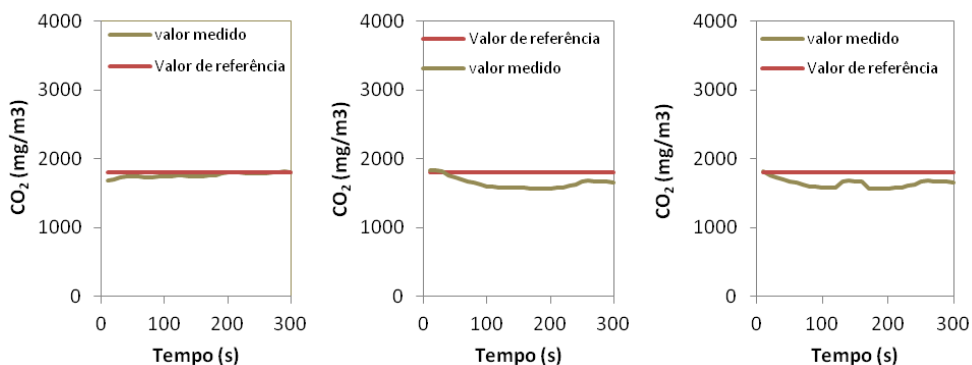


Figura IV.72 – Concentração de CO₂ na Comp.h₂-sw

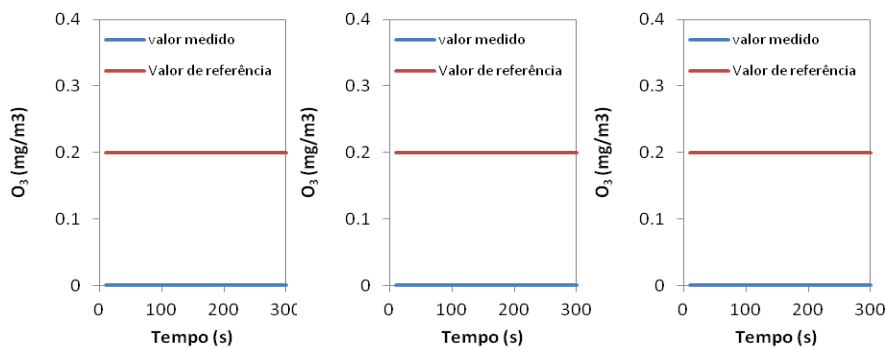


Figura IV.73 – Concentração de O₃ na Comp.h₂-sw

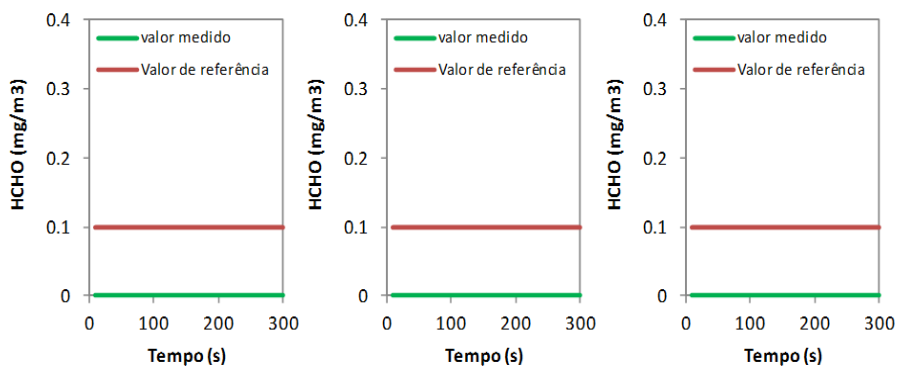


Figura IV.74 – Concentração de HCHO na Comp.h₂-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

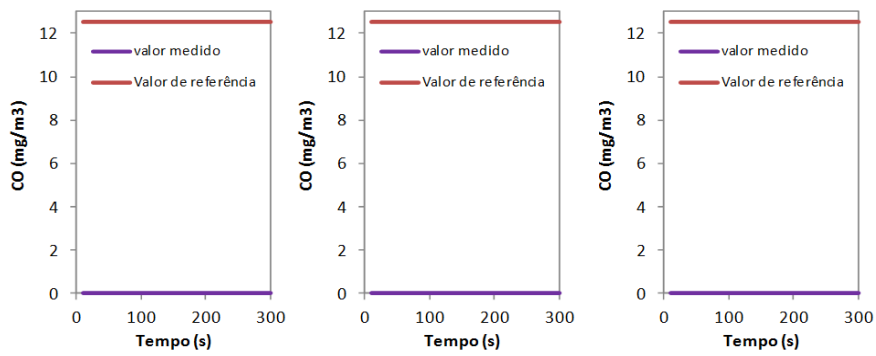


Figura IV.75 – Concentração de CO na Comp.h2-sw

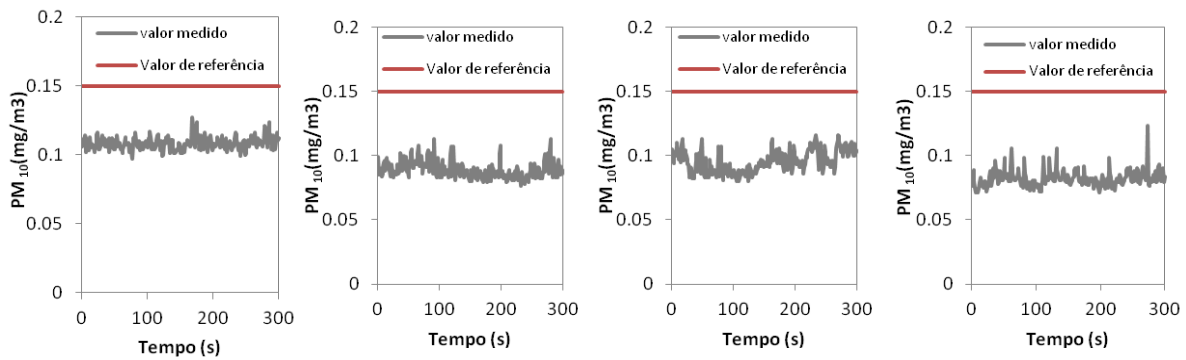


Figura IV.76 – Concentração de PM₁₀ na Comp.a0-sw

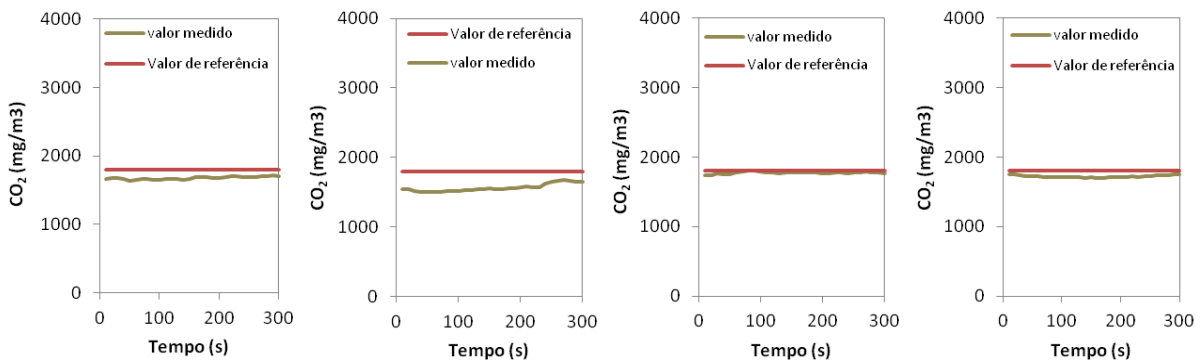


Figura IV.77 – Concentração de CO₂ na Comp.a0-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

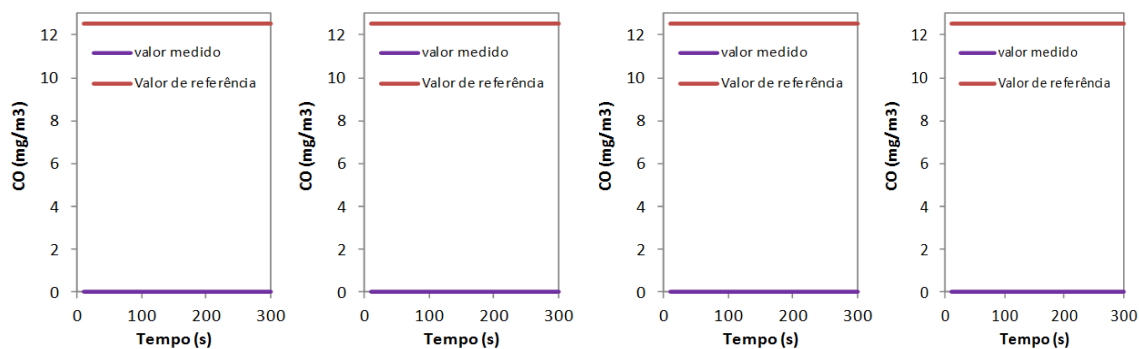


Figura IV.78 – Concentração de CO na Comp.a0-sw

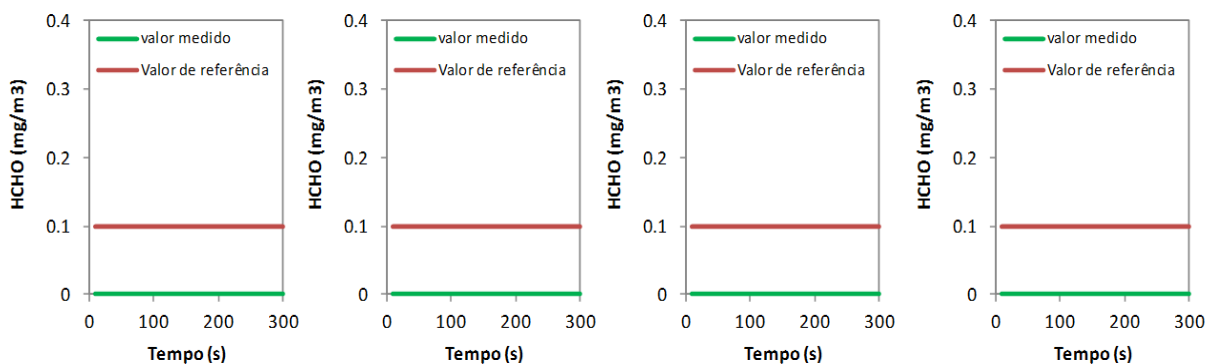


Figura IV.79 – Concentração de HCHO na Comp.a0-sw

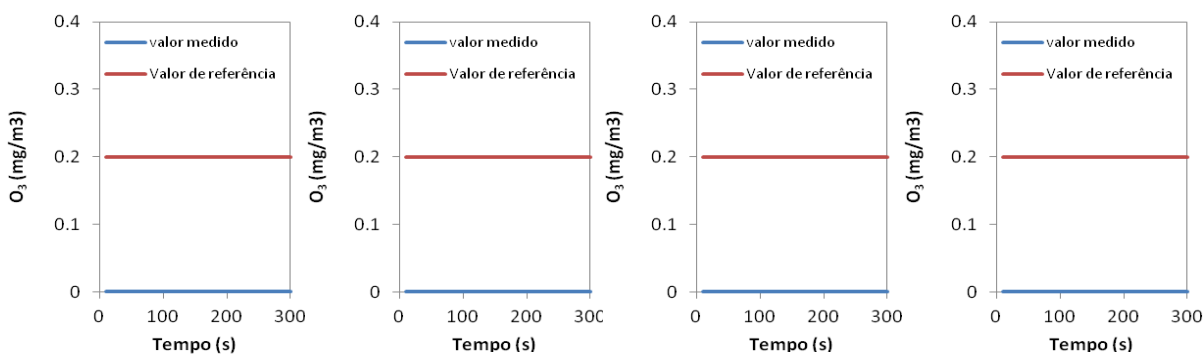


Figura IV.80 – Concentração de O₃ na Comp.a0-sw

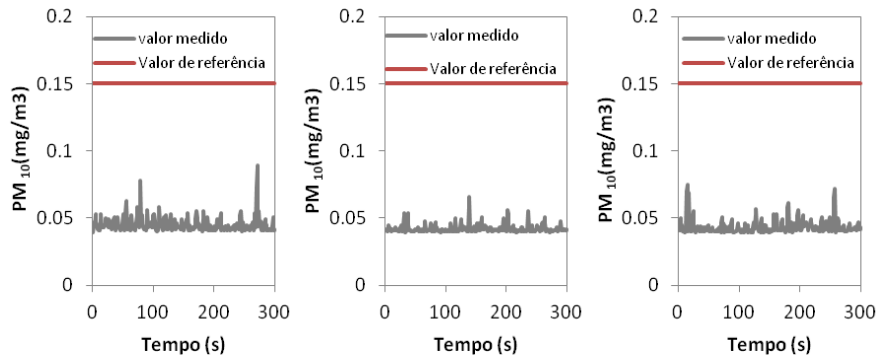


Figura IV.81 – Concentração de PM₁₀ na Comp.l₃-NE

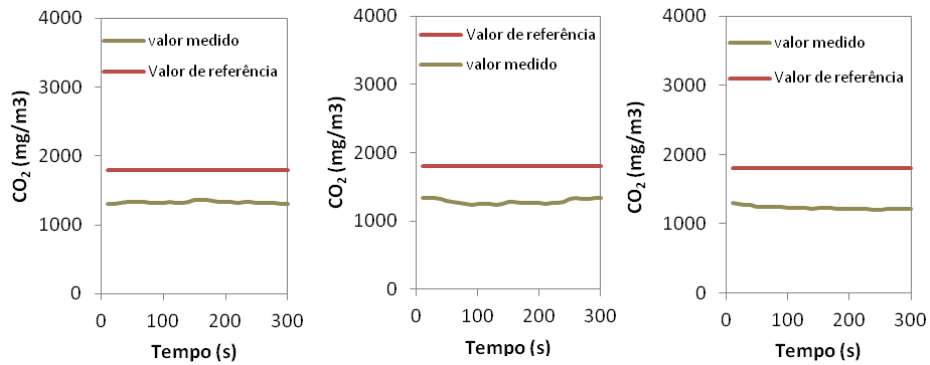


Figura IV.82 – Concentração de CO₂ na Comp.l₃-NE

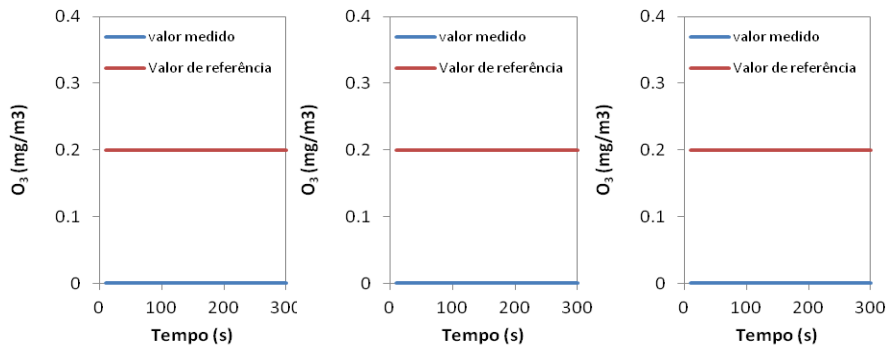


Figura IV.83 – Concentração de O₃ na Comp.l₃-NE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

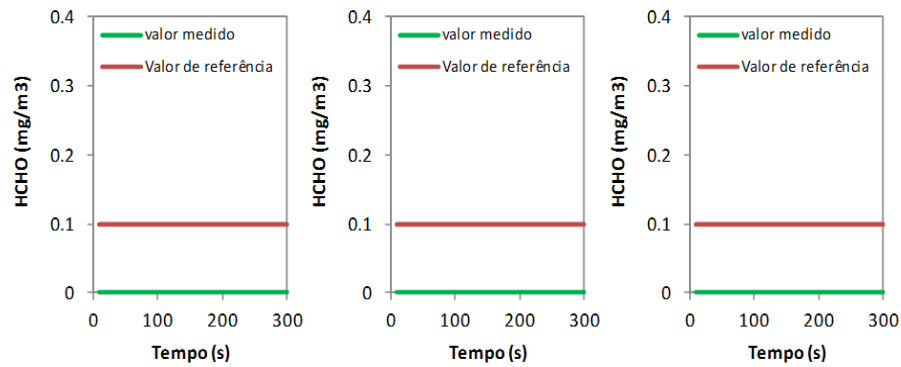


Figura IV.84 – Concentração de HCHO na Comp.l3-NE

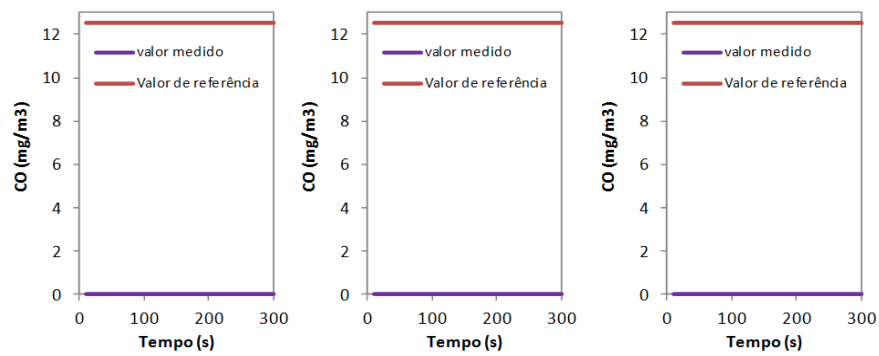


Figura IV.85 – Concentração de CO na Comp.l3-NE

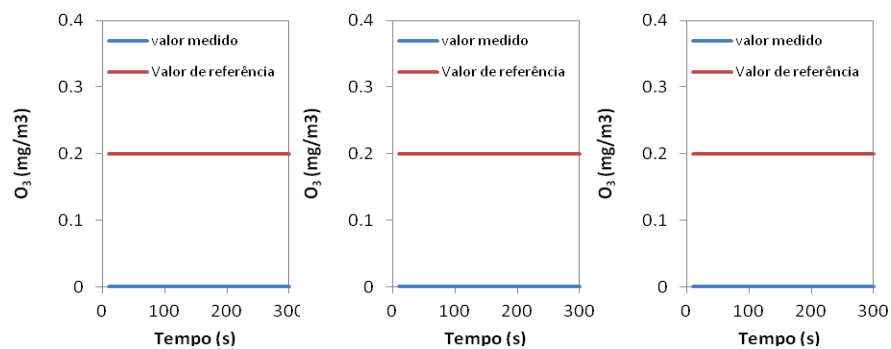


Figura IV.86 – Concentração de O₃ no Comp.k3-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

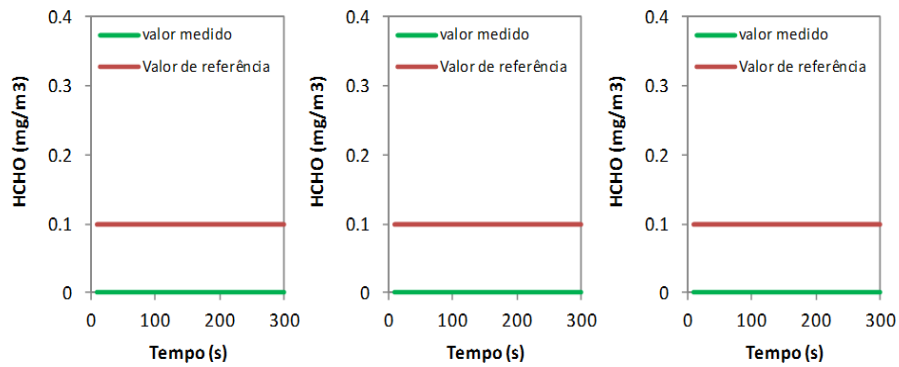


Figura IV.87 – Concentração de HCHO no Comp.k3-sw

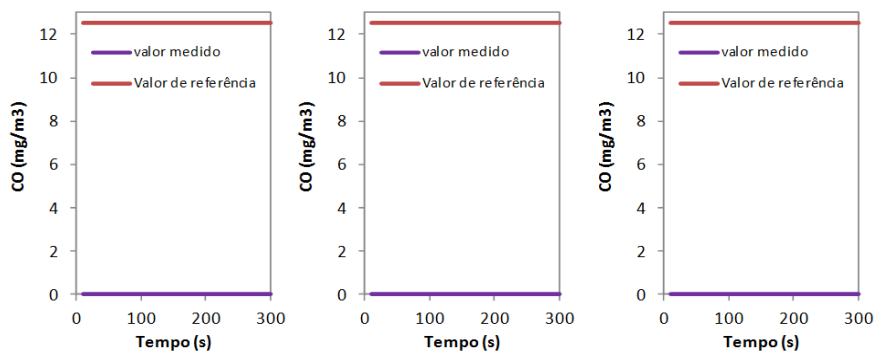


Figura IV.88 – Concentração de CO no Comp.k3-sw

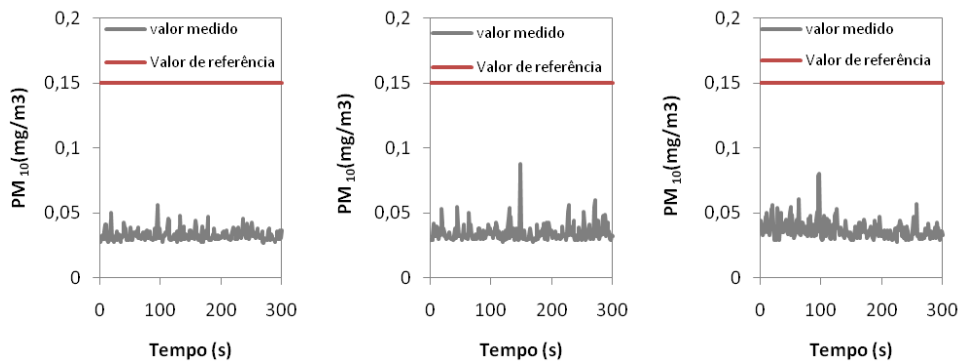


Figura IV.89 – Concentração de PM₁₀ no Comp.k3-sw

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

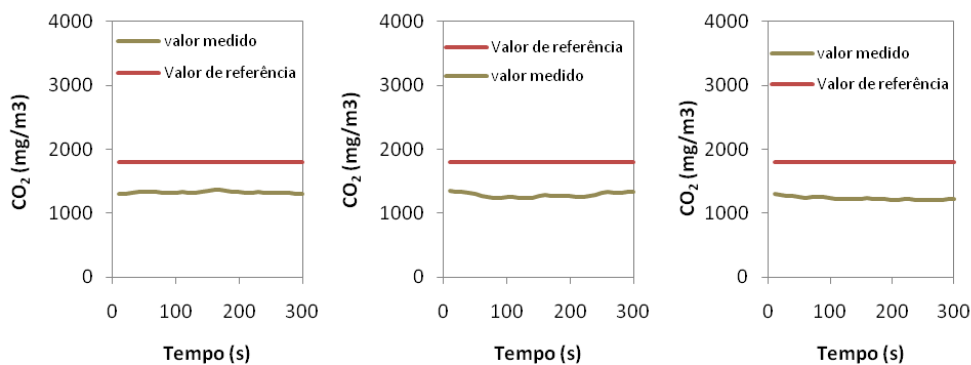


Figura IV.90 – Concentração de CO₂ no Comp.k₃-sw

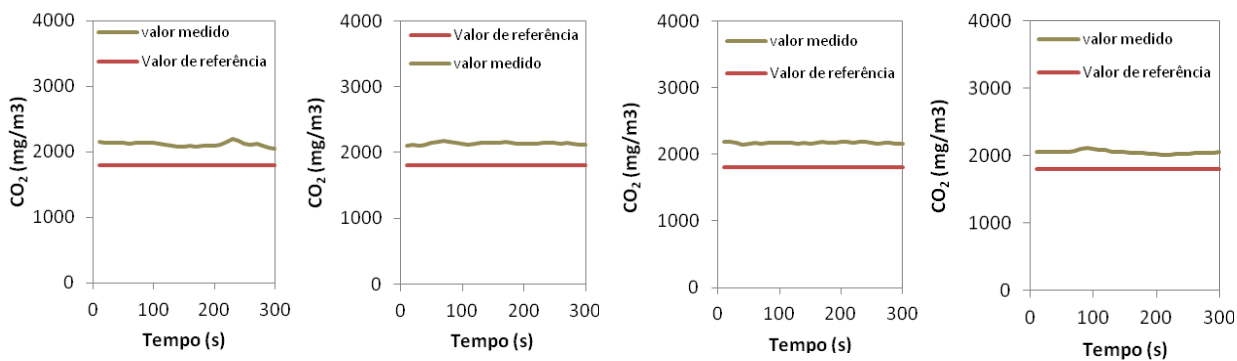


Figura IV.91 – Concentração de CO₂ na Comp.g₂-NWNE

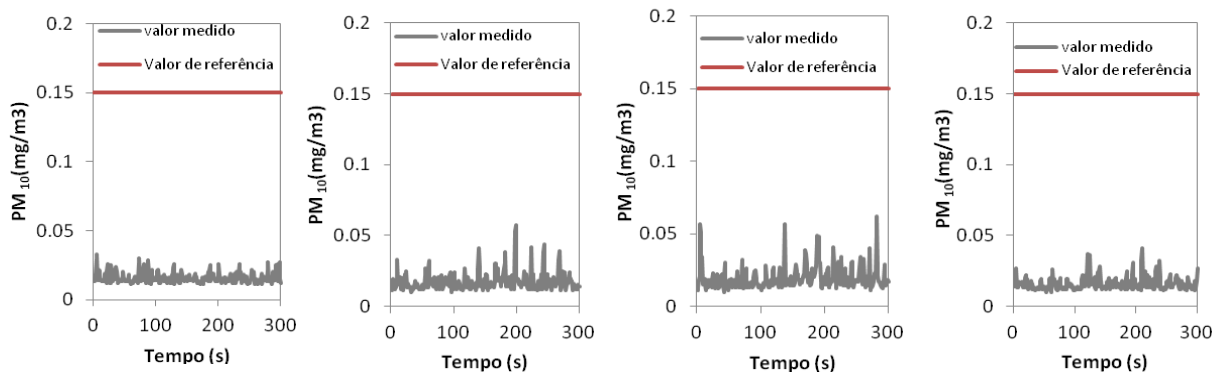


Figura IV.92 – Concentração PM₁₀ na Comp.g₂-NWNE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

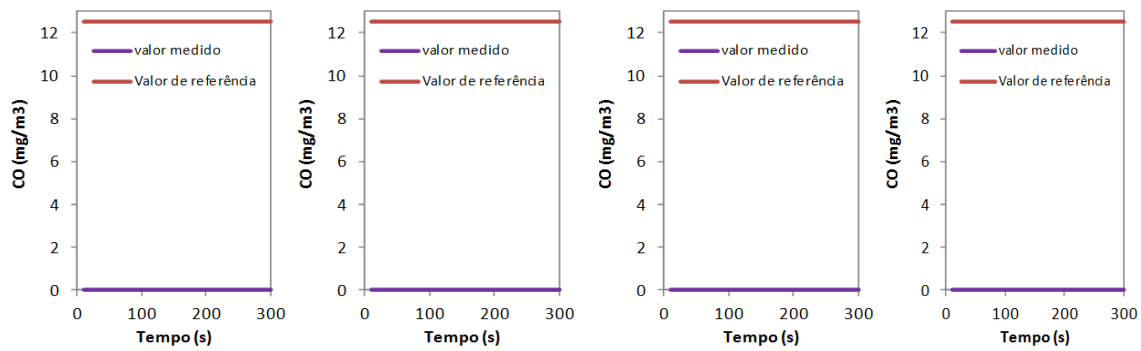


Figura IV.93 – Concentração CO na Comp.g2-NWNE

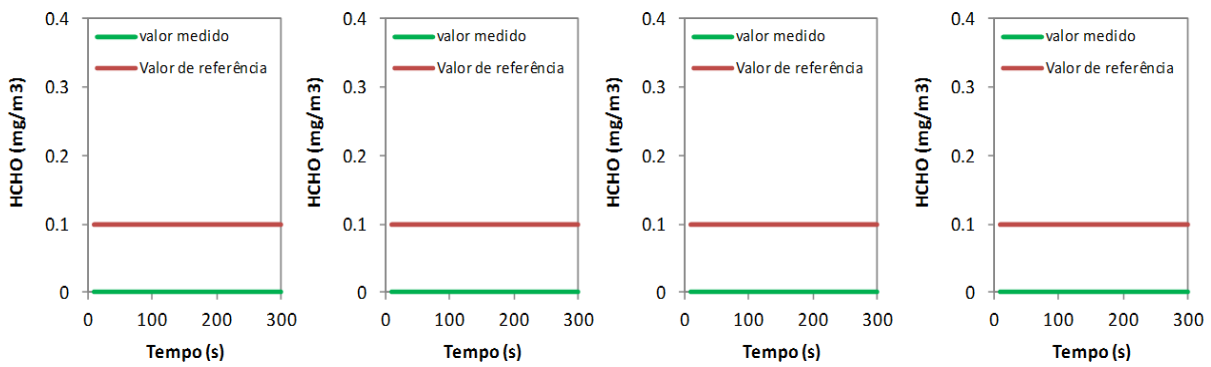


Figura IV.94 – Concentração HCHO na Comp.g2-NWNE

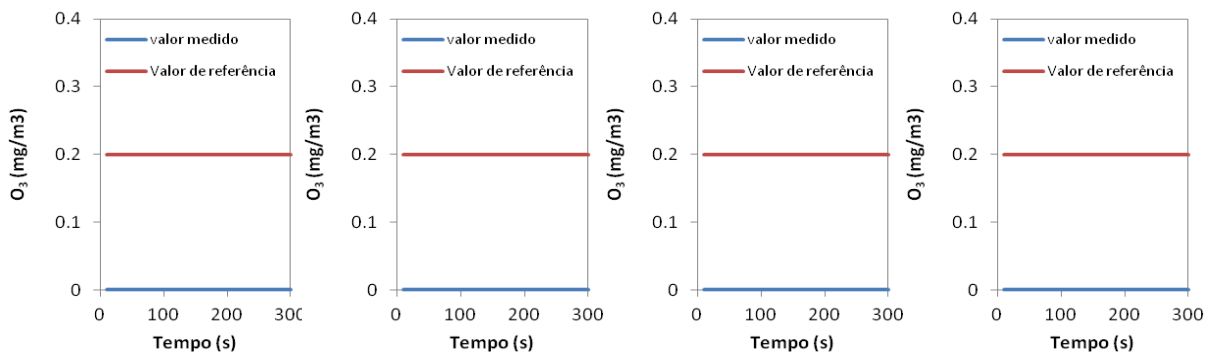


Figura IV.95 – Concentração O₃ na Comp.g2-NWNE

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

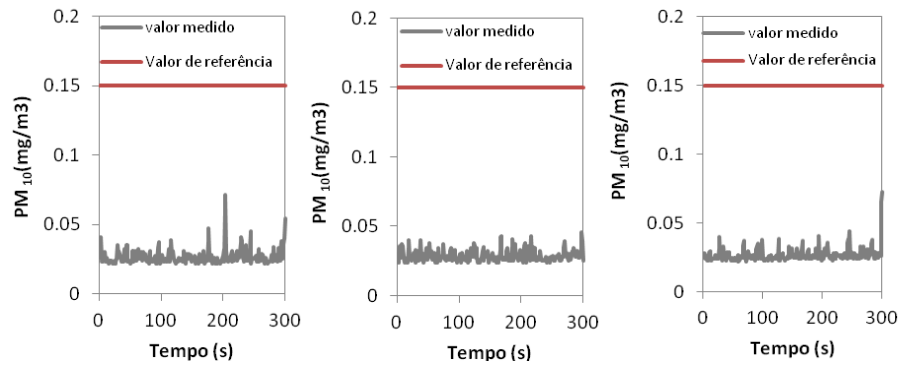


Figura IV.96 – Concentração de PM₁₀ no Comp.f_{1-NE}

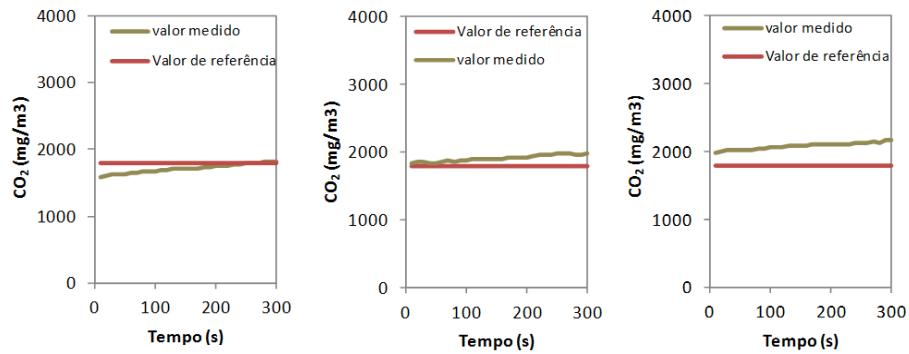


Figura IV.97 – Concentração de CO₂ no Comp.f_{1-NE}

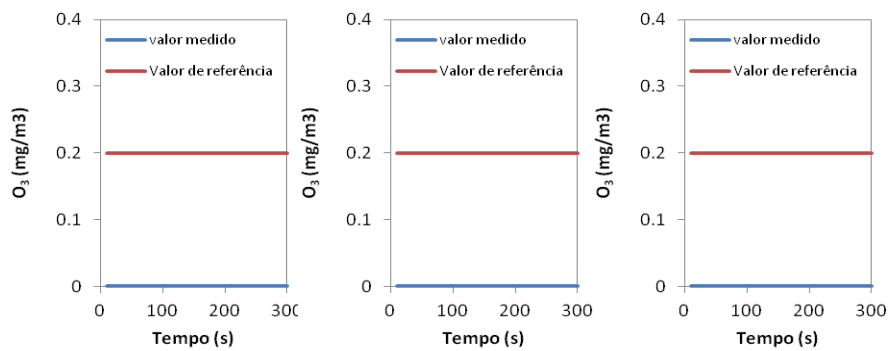


Figura IV.98 – Concentração de O₃ no Comp.f_{1-NE}

Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia

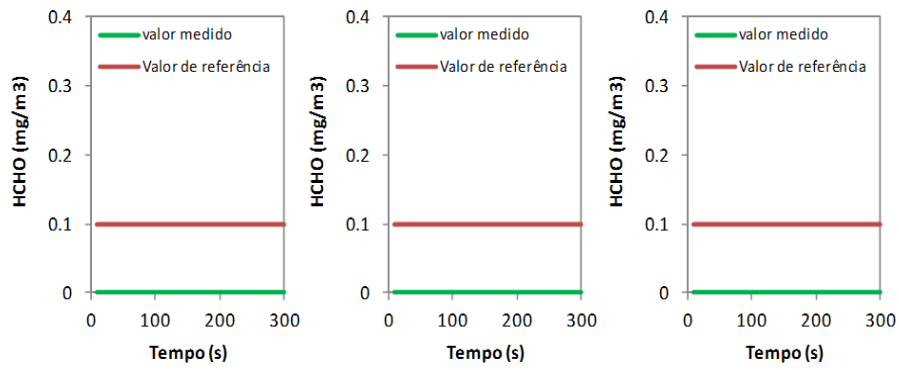


Figura IV.99 – Concentração de HCHO no Comp.f_{1-NE}

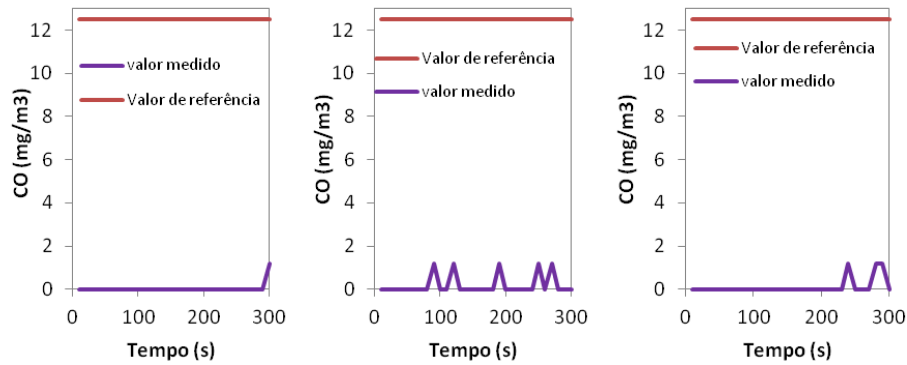


Figura IV.100 – Concentração de CO no Comp.f_{1-NE}