



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Influência da estratégia de ventilação no consumo energético dos edifícios de serviços com utilização intermitente e elevadas cargas térmicas internas**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Valter Alexandre Ferreira Vidigueira**

**Orientador**

**Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Coimbra, Janeiro, 2013**

"A diferença entre um homem de sucesso e um orientado para o fracasso,  
é que um está a aprender a errar, enquanto o outro procura aprender com  
os seus próprios erros."

Confúcio

Aos meus pais e aos meus irmãos,  
por todo o apoio e confiança que demonstram.

## Agradecimentos

Se este é o fim de uma etapa, representa também o início de uma outra. O trabalho que aqui se apresenta, é o culminar de uma formação académica que só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Manifesto aqui o meu sincero agradecimento:

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo ao qual quero aqui deixar uma palavra de gratidão e admiração pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos, pelo interesse e disponibilidade demonstradas ao longo da realização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, irmão e irmã, pela confiança e apoio que sempre depositaram em mim. À minha namorada por tudo o que representa, e aos meus amigos, a todos sem exceção, por tudo o que simbolizam neste percurso e na minha vida.

Não posso deixar de agradecer ao Eng. Renato Hauer, ao Eng. Octávio Cardoso, ao Prof. Francisco Lamas por terem contribuído de várias formas para a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da minha formação académica.

A todos, Obrigado!

## Resumo

Uma parte significativa dos custos associados ao funcionamento de um edifício de serviços deve-se aos gastos de energia com o AVAC. Assim sendo, a necessidade da sua redução torna-se importante no sentido da poupança de energia e claro está, na poupança monetária.

No presente trabalho efetua-se uma análise de consumos energéticos referentes à climatização (aquecimento e arrefecimento) e à ventilação de um edifício de serviços com ocupação intermitente e elevadas cargas térmicas. O edifício estudado foi um supermercado com uma área bruta de pavimento de 1143 m<sup>2</sup>, classificado com uma inércia fraca segundo a regulamentação nacional.

O objetivo passou por avaliar a influência de cada estratégia no consumo energético, preservando as condições de ocupação do edifício, para identificar estratégias mais eficazes na redução dos consumos de energia.

O estudo foi efetuado com o auxílio de ferramentas computacionais de simulação dinâmica de edifícios, utilizando o programa *EnergyPlus* associado à interface gráfica *DesignBuilder*.

Para a execução deste estudo foram considerados sistemas de ventilação mecânicos, naturais e híbridos. Foi ainda estudada a influência da existência ou não de estratégias “economizadoras” como o arrefecimento noturno e a recuperação de calor contido no ar de rejeição.

A análise de resultados foi feita com base nas necessidades e nos consumos anuais de energia para a ventilação e para a climatização, nas suas componentes para aquecimento e para arrefecimento.

**Palavras-chave:** Ventilação, Arrefecimento noturno, Edifícios de serviços, Simulação dinâmica, Consumos energéticos, Climatização.

## Abstract

A significant portion of the costs associated with the operation of a service building is due to the energy consumptions from HVAC. Thus, the need of reduction becomes important to saving energy and of course, for monetary savings.

This paper, makes an analysis of energy consumption related to HVAC (heating and cooling) and ventilation of a building services with intermittent occupancy and high thermal loads.

The building model was a supermarket with a gross floor area of 1143 m<sup>2</sup>, with an inertia rated poor according to national regulations.

The aim is evaluate the influence of each strategy on energy consumption, maintaining the conditions of occupancy of the building in order to identify the most effective strategies for reducing energy consumption.

The study was done with the aid of computational tools for dynamic simulation of buildings using the software DesignBuilder.

To implement this study were considered mechanical ventilation systems, natural and hybrids. "Saving" strategies were studied such as: free-cooling, and heat recovery.

Analysis of results was based on the requirements and annual energy consumption for ventilation and air-conditioning, in its components for heating and cooling.

**Keywords** Ventilation, free cooling, Service Buildings, Dynamics Simulation, Energy consumption, HVAC.

## Índice

Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Simbologia e Siglas .....	viii
Simbologia.....	viii
Siglas .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Revisão bibliográfica .....	2
1.3. Objetivos.....	5
2. Material e métodos .....	6
2.1. Ferramenta de cálculo – programa <i>EnergyPlus</i> .....	7
2.2. Parametização do edifício, dos seus sistemas energéticos e do funcionamento....	8
2.2.1. Localização e enquadramento climático.....	8
2.2.2. Descrição do edifício e zonamento.....	8
2.2.3. Soluções construtivas .....	11
2.2.4. Requisitos mínimos de ar novo .....	14
2.2.5. Sistemas energéticos.....	17
2.2.6. Padrões de funcionamento e de utilização.....	18
2.3. Parametização da renovação do ar Interior do edifício .....	20
2.3.1. Coeficientes de pressão nas fachadas .....	20
2.3.2. Estratégias de ventilação a analisar e sua parametrização.....	21
3. Resultados e discussão .....	27
3.1. Renovação de ar apenas por ventilação natural .....	29
3.2. Renovação do ar por ventilação mecânica.....	33
3.2.1. Sem sistemas de <i>freecooling</i> e de recuperação de calor.....	33
3.2.2. Apenas com sistemas de recuperação de calor.....	33
3.2.3. Apenas com sistemas de <i>freecooling</i> .....	34
3.2.4. Com sistemas de <i>freecooling</i> e de recuperação de calor .....	34
3.3. Renovação do ar por ventilação híbrida .....	35
3.4. Comparação entre as várias estratégias de ventilação .....	36
3.4.1. Necessidades de energia para climatização .....	36
3.4.2. Consumos energéticos do edifício.....	41
4. Conclusões.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXO A .....	53
ANEXO B .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Imagem do supermercado em perspectiva.....	9
Figura 2.2. Zonamento. ....	10
Figura 2.3. Esquema da eficiência de ventilação.....	15
Figura 2.4. Esquema de princípio.....	17
Figura 2.5. Ação do vento sobre as fachadas. ....	21
Figura 2.6. Sistemas de ventilação. ....	22
Figura 2.7. Esquema ventilação natural.....	24
Figura 2.8. Esquema ventilação híbrida. ....	26
Figura 3.1. Renovação do ar interior ao longo do ano nas Instalações sanitárias_3.1. ....	29
Figura 3.2. Temperaturas ao longo do ano nas Instalações sanitárias_3.1.....	30
Figura 3.3. Influência dos fatores climáticos nas Instalações sanitárias_3.1. ....	31
Figura 3.4. Necessidades totais anuais para as funções de climatização e ventilação do edifício.....	37
Figura 3.5. Consumos anuais totais do edifício.....	41
Figura 3.6. Necessidades de climatização. ....	43
Figura 3.7. Consumos globais anuais do edifício.....	44
Figura A.1. Perfil de ocupação da zona 1.....	53
Figura A.2. Perfil de ocupação da zona 2.....	53
Figura A.3. Perfil de ocupação da zona 3.....	53
Figura A.4. Perfil de ocupação da zona 4.....	54
Figura A.5. Perfil de ocupação da zona 5.....	54
Figura B.1. Distribuição de temperaturas ao longo do ano na cafetaria.....	55
Figura B.2. Renovação do ar interior ao longo do ano na cafetaria_3.1. ....	55
Figura B.3. Distribuição de temperaturas ao longo do ano_3.1. ....	56
Figura B.4. Renovação do ar interior ao longo do ano no escritório_3.1.....	56
Figura B.5. Distribuição de temperaturas ao longo do ano nas lojas_3.1. ....	56
Figura B.6. Renovação do ar interior ao longo do ano nas lojas_3.1.....	57
Figura B.7. Distribuição de temperaturas ao longo do ano no supermercado_3.1.....	57
Figura B.8. Renovação do ar interior ao longo do ano no supermercado_3.1. ....	57

Figura B.9. Necessidades específicas anuais de climatização_I.S. ....	58
Figura B.10. Necessidades específicas anuais de climatização_Cafeteria. ....	58
Figura B.11. Necessidades específicas anuais de climatização_Escritório. ....	58
Figura B.12. Necessidades específicas anuais de climatização_Lojas.....	59
Figura B.13. Necessidades específicas anuais de climatização_Supermercado.....	59
Figura B.14. Consumos específicos anuais de iluminação e equipamentos de cada zona. .	59

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Caracterização das zonas. ....	10
Tabela 2.2. Soluções construtivas (especificada do exterior para o interior do espaço). ....	11
Tabela 2.3. Limites máximos de coeficiente de transmissão térmica (RCCTE-Decreto-Lei 80/2006).....	12
Tabela 2.4. Classe de Inércia Térmica (RCCTE-Decreto-Lei 80/2006). ....	12
Tabela 2.5. Cálculo da inércia térmica. ....	13
Tabela 2.6. Parâmetros de ventilação para o caso de ventilação mecânica. ....	16
Tabela 2.7. Densidades máximas de ocupação, iluminação e equipamentos.....	19
Tabela 3.1. Estatística da ventilação Natural.....	30
Tabela 3.2. Necessidades anuais dos sistemas AVAC_3.1 .....	32
Tabela 3.3. Necessidades anuais dos sistemas AVAC_3.2.1 .....	33
Tabela 3.4. Necessidades anuais dos sistemas AVAC_3.2.2 .....	34
Tabela 3.5. Necessidades anuais dos sistemas AVAC_3.2.3.....	34
Tabela 3.6. Necessidades anuais dos sistemas AVAC_3.3 .....	35
Tabela 3.7. Necessidades totais anuais para as funções de climatização e ventilação do edifício. Para o cálculo das variações é tomado como referência o caso da ventilação mecânica simples. ....	37
Tabela 3.8. Consumos de AQS.....	43
Tabela 3.9. Consumos anuais do edifício .....	44
Tabela A.1. Ventiladores.....	54

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$A(p)$  – Área (de pavimento) [ $m^2$ ]

$COP$  – Eficiência nominal de uma máquina frigorífica / bomba de calor em modo de aquecimento

$CP$  - Coeficiente de pressão

$C_p$  – calor específico da água [ $J/kg \cdot ^\circ C$ ]

$GD$  – Graus - dia

$I_t$  - Índice de inércia [ $kg/m^2$ ]

$m$  - Massa [ $Kg$ ]

$M_{si}$  – Massa superficial útil [ $kg/m^2$ ]

$n_d$  – número de dias em que existe consumo de AQS [ $n_d = 365$  dias/ano]

$r$ – Coeficiente do revestimento

$R_j$  - Resistência térmica da camada  $j$  [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$RPH$  - Renovações por hora

$R_{si}$  e  $R_{se}$  – Resistência térmica superficiais interior e exterior, respetivamente [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$S_i$ – Área da superfície interior do elemento [ $m^2$ ]

$T_i$  - Temperatura inicial [ $^\circ C$ ]

$T_f$  - Temperatura final [ $^\circ C$ ]

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica superficial [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

$\varepsilon$  – Eficiência do sistema

## **Siglas**

ADENE – Agência para a Energia

AQS - Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Conicionado

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DOE - Department of Energy (United States)

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive

FCTUC - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GES - Grandes Edifícios de Serviços

IS - Instalações Sanitárias

RCCTE – Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios

RSECE – Regulamento dos sistemas energéticos e de climatização dos edifícios

QAI - Qualidade do ar interior

UTA - Unidade de Tratamento de Ar

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo energético em Portugal e no mundo tem vindo a aumentar pelo que a energia é um dos grandes motivos de discussão da atualidade. A grande dependência dela conduz a uma necessidade acrescida de a utilizar de forma racional e eficiente. Apesar de existir uma preocupação global crescente com a poupança energética, os edifícios continuam a ser grandes consumidores de energia.

Devido a esta problemática têm vindo a ser tomadas medidas para “travar” o crescente consumo energético. Neste sentido, a União europeia surgiu com uma nova diretiva EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) a qual impõe que até finais de 2020 todos os edifícios novos construídos sejam edifícios praticamente sem necessidades de energia. Para tal, será necessário existir nos edifícios sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis, equipamentos com elevados rendimentos, soluções construtivas de alta qualidade e sistemas de climatização e ventilação eficientes.

De forma a assegurar o cumprimento das diretivas europeias e promover a eficiência energética e a QAI (qualidade do ar interior) surgiram os regulamentos SCE (DL n.º 78/2006), RSECE (DL n.º 79/2006) e RCCTE (DL n.º 80/2006). Em linhas gerais, o SCE assegura a certificação energética de todos os edifícios com base nas normas técnicas do RCCTE, mais vocacionado para o parque residencial, ou no RSECE, mais vocacionado para o parque de serviços.

### 1.1. Enquadramento

Nas últimas décadas, a relação das sociedades com os edifícios tem vindo a sofrer alterações. Estima-se que durante 90 % do tempo as pessoas se encontrem em espaços fechados. A crescente permanência dentro de edifícios alterou a forma de como os utilizamos, e as condições da sua utilização. Torna-se, assim, imperativo que nesses espaços o ar se encontre livre de poluentes e, ainda, que as temperaturas interiores garantam o conforto térmico dos ocupantes. Estas alterações traduziram-se numa elevação dos padrões de qualidade e na procura de melhores condições de conforto baseadas, na

maior parte das vezes, em estratégias de controlo do ambiente interior recorrendo a sistemas de climatização. A implementação de sistemas e equipamentos leva a maiores consumos energéticos pelo que, ultimamente tem havido um aumento crescente de preocupação relativamente à eficiência energética e à redução de consumos.

Segundo a DGEG [DGEG, 2010], os sectores de serviços e dos transportes foram, nos últimos anos, os que mais contribuíram para o aumento do consumo de energia.

A ventilação é dos principais fatores responsáveis no consumo energético de um edifício, pois uma grande renovação do ar interior tem como consequência elevados gastos na climatização. Por outro lado, a ventilação também não pode ser mínima pois, ela traduz a combinação de processos destinados a fornecer ar novo e a extrair ar viciado de um espaço ocupado de forma a retirar os elementos poluidores. Esta procura contínua de redução de consumos levou também a uma necessidade de aperfeiçoar os sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) na tentativa de os tornar mais eficientes e adequados para as várias solicitações requeridas.

Os atuais regulamentos nacionais impõem a verificação da conformidade regulamentar dos edifícios logo na fase de projeto. Sendo a avaliação do comportamento térmico dos edifícios um processo complexo, esta tarefa pode ser facilitada pela utilização de *software* de simulação dinâmica. A utilização destes métodos de previsão e avaliação de desempenho dos edifícios traz numerosas vantagens, quer a nível económico, quer na pesquisa de estratégias de redução de consumos.

Este trabalho trata de um tipo particular de edifícios, os de serviço com elevada carga térmica, proveniente de grandes densidades de equipamentos e iluminação, e com ocupação intermitente

## **1.2. Revisão bibliográfica**

A renovação do ar interior de um edifício por ar exterior dá-se como resultado da diferença de pressão entre o interior e o exterior provocando escoamentos em todos os pontos da envolvente do edifício em que existem aberturas ou frinchas que permitam a passagem do ar. No caso da renovação do ar resultar da existência de aberturas (fixas ou móveis) voluntariamente criadas na envolvente, o processo designa-se por ventilação (Natural, Mecânica ou Híbrida), [Pinto, et al,(2007)].

Um ocupante de um edifício aprecia o ambiente interior principalmente pela sua qualidade do ar e pelas condições térmicas. Para obter níveis mínimos aceitáveis de qualidade um espaço deve ser arejado, como tal, existem taxas mínimas de ar novo para que não ocorram concentrações elevadas de compostos químicos ou substâncias indesejáveis. A eficácia de um sistema de ventilação é determinada principalmente pela remoção de contaminantes produzidos internamente e pelo padrão de fornecimento de ar de qualidade aceitável. O conforto térmico é função das efetivas condições térmicas do ambiente em redor, do vestuário, do nível de atividade e da condição física do ocupante. Independentemente destes fatores, transmite o estado geral do termorregulador humano, o qual gere o controlo dos mecanismos de aquecimento ou arrefecimento do corpo.

Diogo Gameiro [Gameiro, D., (2011)] relacionou o uso de estratégias de ventilação com o conforto médio dos ocupantes. Mostra que as estratégias de ventilação influenciam diretamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento bem como, na satisfação dos ocupantes em relação ao conforto térmico.

A ventilação tem um papel importante na manutenção de uma boa qualidade do ar interior. Se as taxas de ventilação forem reduzidas, o consumo energético é menor, e simultaneamente, piora a qualidade do ar interior. Isto pressupõe que a temática dos requisitos para a QAI e eficiência energética muitas das vezes gere conflito entre as duas.

Seppänen [Seppänen, O. (2007)] verificou que em várias estratégias de ventilação com o mesmo nível de consumo de energia se consegue melhorar a QAI, ou para o mesmo nível desta o consumo de energia é reduzido. Refere que reduzir o consumo energético pode passar por aumentar a eficiência de ventilação, não pela alteração da disposição das tomadas de ar mas sim, por regular o sistema conforme as necessidades reais.

O processo de ventilar um espaço, para além dos objetivos referidos, pode passar pela remoção de carga térmica existente num edifício. Sendo a inércia térmica de um edifício definida como a capacidade de armazenar calor, este parâmetro influencia diretamente a climatização e ventilação do mesmo.

No estudo de David Mateus [Mateus, D., (2011)] este analisa a influência da inércia térmica no consumo de energia por parte dos edifícios de serviços e de que forma poderá potenciar ou desaconselhar estratégias de ventilação. Conclui que os benefícios da inércia térmica e de sistemas de poupança de energia estão relacionados com o tipo de uso (carga térmica) e com a sua ocupação.

A ventilação natural tem um grande potencial na redução de custos iniciais e operacionais se as taxas de ventilação se mantiverem constantes com o requisito de qualidade do ar interior aceitável, [Lina, (2004)].

A utilização de ventilação natural é condicionada pela tipologia do espaço. Em instalações de cuidados de saúde e laboratórios não são usuais. É neste campo, que a ventilação mecânica se revela essencial, quando é necessário alcançar gradientes de pressão desejados e controlar fluxos de ar. Zhao conclui que a modelação da arquitetura numa fase de projeto pode efetivamente dar condições à utilização de estratégias de ventilação natural e híbridas em vários tipos de edifícios não residenciais. Não pode ser generalizada a arquitetura de um edifício "ótimo" para ventilar naturalmente, para cada um, deve-se haver um processo para determinar abordagens de ventilação para alcançar conforto térmico, chegar a uma boa QAI e economizar energia, [Zhao, Y., (2007)].

Com o intuito de explorar o desempenho detalhado de sistemas de ventilação natural, foi configurado um modelo, com grelhas autorreguláveis, de modo a operar em modo de arrefecimento noturno entre 1 de Junho e 31 de Agosto. Foi considerado um edifício de escritórios com elevada taxa de ganhos solares e internos numa zona de clima moderado (Los Angeles). Consequentemente, foi verificado um menor grau de sobreaquecimento nas horas críticas, [Axley, et al, (2002)].

### **1.3. Objetivos**

Com este trabalho pretende-se identificar as estratégias de ventilação mais eficazes na redução dos consumos de energia necessários para assegurar boas condições de conforto térmico e de QAI em edifícios de serviços localizados em regiões de clima moderado.

O edifício analisado possui cargas térmicas internas elevadas e utilização intermitente (supermercado).

Será analisada a influência de parâmetros identificados como relevantes: sistemas de ventilação, recuperação de calor do ar de rejeição, arrefecimento gratuito (*freecooling*), etc. Simular-se-ão sistemas com ventilação natural, mecânica e híbridos, aos quais poderão ser adicionadas ou não estratégias economizadoras.

Os sistemas propostos tirarão proveito das principais características de cada tipo de ventilação e, utilizando diversas estratégias de controlo devem assegurar níveis mínimos de renovação do ar inteiro e um ambiente interior confortável.

Analisadas as várias hipóteses, devem ser tiradas conclusões gerais sobre que medidas podem ser tomadas e as estratégias para reduzir o consumo energético num edifício com estas características sem comprometer as condições de conforto e saúde dos ocupantes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A simulação dinâmica, para além de importante na análise do comportamento dos edifícios, é obrigatória no âmbito do RSECE. É uma ferramenta essencial na elaboração de projetos AVAC pois permite, logo na fase de projeto, uma avaliação dos consumos de energia que um edifício terá no futuro, bem como a de outros parâmetros que influenciam os sistemas de climatização e as condições de conforto.

Para conseguir obter uma boa simulação, e consequentemente resultados próximos do real, é necessário conhecer previamente e detalhadamente alguns parâmetros do edifício em estudo, tais como: localização, orientação, ocupação, soluções construtivas, sistemas de ventilação e climatização, entre outros.

Uma simulação dinâmica permite melhorar as soluções a implementar e justificar as opções tomadas com o intuito de otimizar o investimento inicial e os custos de exploração.

Devido à problemática sobre o consumo energético, vários países têm dado relevo a esta temática da simulação, como tal, organismos internacionais de normalização têm produzido várias normas sobre o assunto, como por exemplo a ISO 13790/2006. A nível nacional, a entrada em vigor da legislação que rege o SCE e nos restantes países europeus a entrada das respetivas normas de certificação energética vieram exigir o cálculo dos consumos de energia nos edifícios residenciais e de serviços. Tais medidas, aliadas à preocupação com a otimização energética de edifícios têm levado à utilização crescente de ferramentas de simulação dinâmica e deste modo vieram incentivar o desenvolvimento desta área. Este tipo de ferramenta permite prever temperaturas interiores (ar e superfícies), cargas térmicas, consumos de energia, níveis de iluminação, caudais de ventilação natural, etc.

## 2.1. Ferramenta de cálculo – programa *EnergyPlus*

No caso de Portugal, o RSECE (DL n.º 79/2006) exige que as simulações dinâmicas detalhadas dos edifícios realizadas no âmbito do SCE sejam efetuadas com recurso a programas devidamente acreditados pela Norma ASHRAE 140-2004. De entre os programas que cumprem os requisitos destaca-se *EnergyPlus*, desenvolvido pelo DOE (*United States - Department of Energy*) em colaboração com diversos investigadores de vários países. O *EnergyPlus* é um motor de simulação que pode ser utilizado com diferentes interfaces e ferramentas de introdução de dados e de análise de resultados.

Neste estudo, o *interface* utilizado é designado por *DesignBuilder*. É o primeiro interface gráfico para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*, o que permite uma rápida e fácil introdução de dados e oferece um conjunto de ferramentas que facilitam a modelação de edifícios em 3D. Tem bibliotecas pré-definidas que permitem rapidamente definir materiais e construções, atividades, sistemas de iluminação e AVAC, bem como, um conjunto de dados climatéricos e de localização ASHRAE a nível mundial. Os parâmetros de saída do programa (*outputs*) são imensos. Entre eles destacam-se os dados de simulação, o consumo energético para as várias funções (iluminação, climatização, ventilação, equipamentos), temperaturas exterior e interior, humidade relativa, ventilação, cargas térmicas, etc. As simulações podem ser efetuadas em períodos anuais, mensais, diários e horários. Os cálculos podem ser efetuados assumindo qualquer incremento de tempo, desde que igual ou superior a 30 minutos.

## **2.2. Parametrização do edifício, dos seus sistemas energéticos e do funcionamento**

Para poder efetuar a simulação do comportamento energético de um edifício é necessário efetuar primeiro a parametrização do mesmo face ao programa a utilizar. Com esta fornece-se ao *software* a informação necessária para definir o edifício e os seus sistemas energéticos. Entre os parâmetros a fornecer destacam-se a localização do edifício e o (correspondente ficheiro climático), a arquitetura e implantação do mesmo, os seus sistemas de ventilação, climatização e iluminação, os equipamentos instalados, etc.

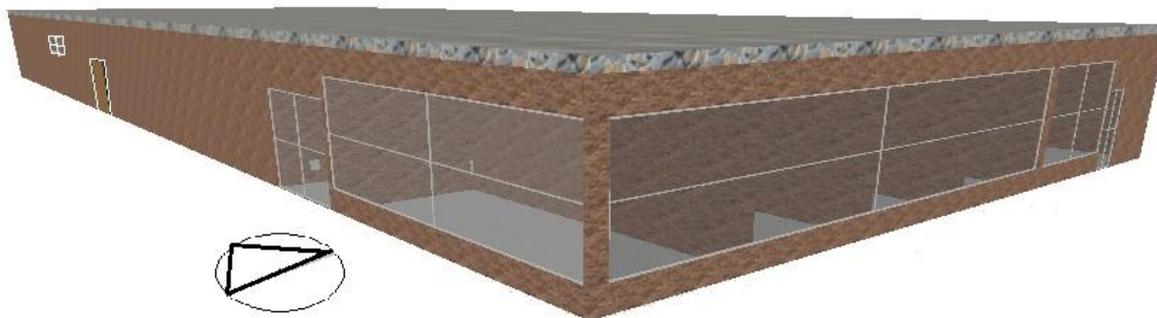
### **2.2.1. Localização e enquadramento climático**

O edifício em estudo localiza-se na periferia da cidade de Coimbra, situada na região centro de Portugal, a uma distância ao mar à volta de quarenta quilómetros e a cerca de cem metros de altura.

Quanto ao clima, comparando com a diversidade em território nacional, Coimbra é uma cidade de clima moderado, caracterizada por um número de graus-dias (GD) de 1460°C.dias (na base de 20°C) e uma duração da estação de aquecimento de 6 meses, está classificada no âmbito do RCCTE [RCCTE, (2006)] como uma zona climática de Inverno e Verão, I1 e V2 respetivamente. Os ventos são predominantes de Noroeste

### **2.2.2. Descrição do edifício e zonamento**

Selecionou-se como representativo dos edifícios com elevada carga térmica interna e com utilização intermitente (supermercado). Conforme se encontra representado na Figura 2.1, desenvolve-se num único piso, tem uma forma paralelepípedica, e o seu comprimento estende-se segundo a direção Norte-Sul. A fachada principal encontra-se orientada a Sul.

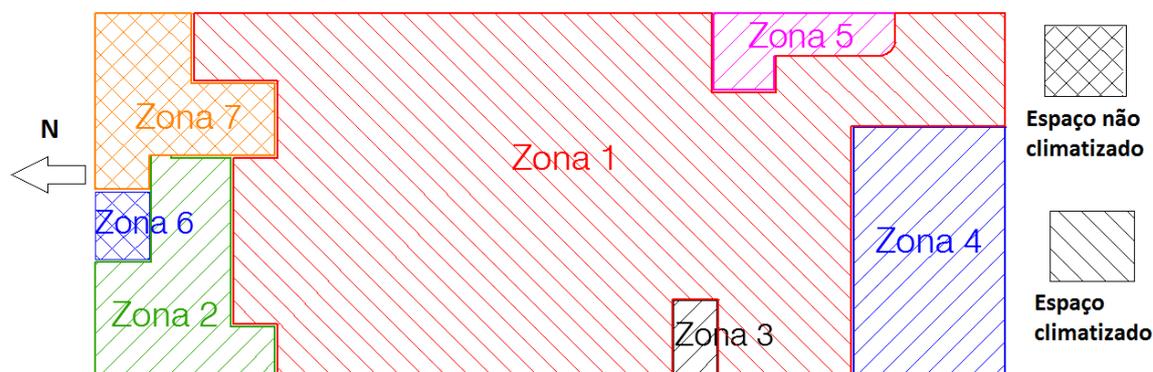


**Figura 2.1.** Imagem do supermercado em perspectiva.

Segundo o RSECE [RSECE, (2006)] o edifício é enquadrado como grande edifício de serviços (GES), pois possui uma área útil superior a 1 000 m<sup>2</sup>. Apresenta uma área bruta de pavimento de 1 143 m<sup>2</sup>, 1 060 m<sup>2</sup> climatizados e 82 m<sup>2</sup> não climatizados e tem um pé-direito médio de 3,6 m. É composto pela zona de exposição de produtos do supermercado, por quatro lojas, uma cafetaria, um escritório, uma zona de apoio ao supermercado (onde existem instalações sanitárias gerais e vestiários), uma zona de armazém e uma zona técnica do tipo casa das máquinas.

Numa simulação considera-se apenas um modelo simplificado de uma situação real, no entanto há que ser criterioso e objetivo. É, normalmente, inviável modelar um edifício em todos os seus detalhes, pois isso acarretaria uma introdução de dados extensa, um tempo de cálculo muito elevado e, como resultado, a extensa gama de resultados obtida dificultaria a sua adequada análise. Para além disso, existe na maioria dos edifícios, espaços com características térmicas e energéticas semelhantes (utilização, horário, ...) pelo que, o seu estudo desagregado pode não trazer vantagem para a simulação, quer para a sua análise. Numa simulação dinâmica é recomendado o agrupamento numa única zona dos espaços com características semelhantes (em termos de utilização, exposição solar, iluminação, ...) e para os quais se prevê um comportamento térmico idêntico. Este processo é conhecido como zonamento e permite “representar” os espaços interiores do edifício através de um número limitado de “zonas”. O zonamento deve ser efetuado com muito cuidado pois a fiabilidade dos resultados obtidos com a simulação é fortemente dependente de um adequado zonamento.

Conforme se encontra representado na Figura 2.2, o edifício foi compartimentado em 7 zonas (armazém, lojas, zona técnica, supermercado, apoio, café e escritório).



**Figura 2.2.** Zonamento.

As zonas 6 e 7, zona técnica e armazém respetivamente, estão designadas como espaços não climatizados mas, entenda-se, estes espaços são considerados para efeitos de simulação pois, estão em contacto com outros climatizados e portanto têm influência no comportamento térmico dos espaços adjacentes.

De seguida é apresentada a Tabela 2.1 com as áreas de pavimento e de fachada das várias zonas em que supostamente se dividiu o edifício.

**Tabela 2.1.** Caracterização das zonas.

Zona	Espaço	Área de pavimento/ Área de cobertura	Paredes exteriores				Parede em contacto com espaço não climatizado	Envidraçados							
			Ap [m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]		A [m <sup>2</sup> ]							
1	Supermercado	785	E	111,3	S	20,1	W	80,1	45,27	S	10,95	E	10,05	W	15,17
2	Apoio	98	N	19,8	W	31,62	-	-	41,37	N	4,4	-	-	-	-
3	Escritório	12	W	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Lojas	132	S	44,1	W	26,4	-	-	-	S	35,55	W	22,175	-	-
5	Cafetaria	34	E	29,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Zona técnica	13	N	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Armazém	69	E	16,65	N	24,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 2.2.3. Soluções construtivas

No projeto a que se teve acesso este edifício apresentava uma inércia térmica fraca, o que é uma característica comum neste género de edifícios. Assim, para que os resultados deste estudo simbolizem os de uma situação real, definiram-se as soluções construtivas apresentadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2.** Soluções construtivas (especificada do exterior para o interior do espaço).

Tipo de Envolvente	Espessura	Descrição	U
	[cm]	(do exterior para o interior)	[W/m <sup>2</sup> .°C]
Pilar exterior	38	(2 cm) reboco tradicional; (22 cm) betão armado; (1 cm) caixa-de-ar não ventilada; (4 cm) isolamento XPS; (7 cm) tijolo furado; (2 cm) argamassa de cal e areia	0,64
Vigas exteriores	38	(2 cm) argamassa de reboco tradicional; (20 cm) betão armado; (3 cm) caixa-de-ar não ventilada; (4 cm) isolamento XPS; (2 cm) argamassa de cal e areia	U <sub>ascendente</sub> =0,75 U <sub>descendente</sub> =0,71
Parede exterior	10,5	(8 cm) painel sandwich; (1 cm) caixa-de-ar; (1,5 cm) gesso cartonado;	0,24
Parede interior	15	(2 cm) reboco; (11 cm) tijolo; (2 cm) reboco;	1,78
Parede interior	24	(1,5 cm) reboco; (15 cm) tijolo; (6 cm) isolamento em Poliuretano; (1,5 cm) gesso cartonado;	0,47
Pavimento	29	(20 cm) betão armado; (4 cm) XPS; (4 cm) betonilha; (1 cm) madeira	U <sub>ascendente</sub> =0,67 U <sub>descendente</sub> =0,61
Cobertura exterior	28	(0,1 cm) chapa sandwich; (20 cm) espaço de ar não ventilado; (6 cm) lã de rocha; (2 cm) gesso cartonado;	U <sub>ascendente</sub> =0,52 U <sub>descendente</sub> =0,5
Envidraçados	-	caixilharia em alumínio com corte térmico; vidro duplo incolor e sem proteções (vidros exterior e interior (6 mm); lâmina de ar (13 mm))	2,785

O coeficiente de transmissão térmica (U, em W/m<sup>2</sup>.°C) calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (2.1)$$

em que:

$R_j$  - Resistência térmica da camada  $j$  [m<sup>2</sup>.°C/W];

$R_{si}$  e  $R_{se}$  – Resistência térmica superficiais interior e exterior, respetivamente [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

Tratando se de camadas de materiais homogéneos, a resistência térmica, é calculada como sendo o quociente entre a espessura da camada e o valor de cálculo da condutibilidade térmica do material que a constitui.

Como se pode verificar na Tabela 2.2, nenhum elemento opaco da envolvente ultrapassa os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica impostos pelo RCCTE [RCCTE, (2006)]. Também para as zonas de ponte térmica plana (pilares, vigas...) o valor de  $U$  deve ser menor que o dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente. Para a zona climática de Inverno em questão (I1), o RCCTE impõe os limites máximos para  $U$  indicados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3.** Limites máximos de coeficiente de transmissão térmica (RCCTE-Decreto-Lei 80/2006).

Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos [U, W/m <sup>2</sup> .°C]		
Elemento da envolvente		Zona Climática I1
Elementos exteriores em zona corrente	Zonas opacas verticais	1,8
	Zonas opacas horizontais	1,25
Elementos interiores em zona corrente	Zonas opacas verticais	2
	Zonas opacas horizontais	1,65

A inércia térmica pode ser definida como a capacidade de um elemento armazenar calor. Como tal é um fator preponderante no desempenho energético de um edifício. Para uma melhor análise dos resultados, calculou-se a inercia efetiva do edifício. Para a definição da classe de inércia utilizaram-se os limites sugeridos pelo RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), em que a inércia térmica de um edifício é definida como Forte, Média ou Fraca em função do índice de inércia ( $It$ ) do mesmo, conforme se encontra especificado na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4.** Classe de Inércia Térmica (RCCTE-Decreto-Lei 80/2006).

Classe de Inércia	Fraca	Média	Forte
$It$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$It < 150$	$150 \leq It \leq 400$	$It > 400$

Este índice traduz a razão entre a massa com capacidade de armazenar calor, das soluções construtivas associadas aos espaços úteis e a área de pavimento desses mesmos espaços.

$$I_t = \frac{\sum(M_{si} \cdot R_i \cdot S_i)}{Ap} \quad (2.2)$$

em que, segundo o estipulado no RCCTE:

$M_{si}$  - massa superficial útil do elemento [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ];

$S_i$  - área da superfície interior do elemento [ $\text{m}^2$ ];

$r$  – coeficiente de resistência térmica do revestimento superficial interior;

$Ap$  – área útil de pavimento [ $\text{m}^2$ ];

Apresenta-se na Tabela 2.5 o cálculo da massa térmica útil do edifício segundo os pressupostos definidos no RCCTE.

**Tabela 2.5. Cálculo da inércia térmica.**

Elemento	Tipo	$M_{si}$ [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]	$S_i$ [ $\text{m}^2$ ]	$r$	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Paredes exteriores	El 1 $m_{pi} \leq 150$ $\text{kg}/\text{m}^2$	14	369	1	5166
Pilares exteriores		98	34	1	3332
Vigas exteriores		32	110	1	3520
Cobertura exterior		14	1143	1	16002
Paredes interiores		14	33	1	462
Pavimento em contacto com o terreno	El 2 $m_{pi} \leq 150$ $\text{kg}/\text{m}^2$	76	1143	1	86868
Parede de compartimentação (15 cm)	El 3 $m_{pi} \leq 150$ $\text{kg}/\text{m}^2$	168	221	1	37128
Parede de compartimentação (24 cm)		170	72	1	12240
				<b>TOTAL</b>	<b>164718</b>

A partir da massa térmica útil obtida na Tabela 2.5 (164 718 kg) e da área útil de pavimento (1 143  $\text{m}^2$ ) resulta um índice de inercia térmica  $I_t = 144,1 \text{ kg}/\text{m}^2$ , o que confirma que se está presente de um edifício com inércia térmica fraca.

#### **2.2.4. Requisitos mínimos de ar novo**

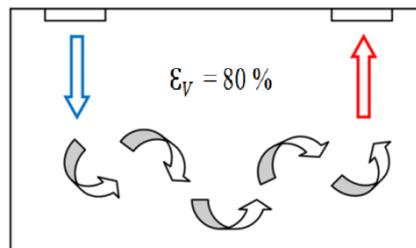
A qualidade do ar interior (QAI) deve ser assegurada com a finalidade de evitar que poluentes perigosos atinjam concentrações que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes, mantendo, simultaneamente, um ambiente agradável, [Viegas, J., (2000)].

Existe uma grande variedade de métodos propostos para estipular as taxas mínimas de renovação de ar a impor em cada espaço para assegurar uma boa QAI, os quais se encontram especificados quer em livros sobre esta temática quer em normas quer em regulamentos. Os edifícios de serviços a construir em Portugal têm de cumprir os requisitos impostos pelo RSECE, o qual impõe caudais mínimos de renovação de ar conforme o tipo de uso de cada espaço, da sua ocupação por pessoas e da sua área de pavimento. Este regulamento estabelece ainda que os edifícios sejam dotados de meios naturais, mecânicos ou híbridos que garantam pelo menos as taxas de renovação do ar interior por si impostas. Para especificar os caudais de ar novo a assegurar em espaços com tipologias de uso não prevista no RSECE pode recorrer-se às normas Portuguesas (p. ex. às NP 1037: [NP 1037-1, (2002)], [NP 1037-2, (2002)], [NP 1037-3, (2002)] e [NP 1037-4, (2002)] e às normas internacionais (p. ex. à EN 13779 [EN 13779, (2007)] e à ASHRAE 62 [ASHRAE 62 (1989)]).

Nos espaços com requisitos de ar novo impostos pelo RSECE e consoante o seu tipo de uso, o caudal mínimo de ar novo é imposto em função da densidade de ocupação, da área de pavimento ou de ambos, prevalecendo sempre o maior valor. Ainda assim, o caudal a assegurar em cada espaço depende de outros fatores pois, para calcular o caudal de ar a insuflar num espaço é necessário ter em conta não só o valor mínimo imposto pelo Regulamento, mas também a eficiência de ventilação e a fração de ar novo (na UTA), ou seja, a razão entre o ar proveniente do exterior (novo) e o ar insuflado (novo + recirculado).

A eficiência de ventilação é definida como a percentagem de ar insuflado que efetivamente contribui para a renovação do ar e para a remoção dos poluentes. Esta depende fortemente do sistema de distribuição de ar, das cargas térmicas a remover, da temperatura de insuflação, etc. O sistema mais comum é o de “mistura”, o qual garante uma distribuição relativamente uniforme de velocidade do ar, temperatura, humidade e qualidade do ar [ASHRAE, (2005)]. Neste sistema o ar novo é insuflado por aberturas

colocadas no teto com alguma velocidade de modo a criar por vezes jatos que originam um escoamento circulatório, contribuindo para uma diluição dos poluentes do ar e mantendo uniforme a temperatura e concentrações. Na prossecução deste trabalho considera-se que a ventilação mecânica é do tipo da representada na Figura 2.3, estando as unidades de insuflação separadas das de extração por uma distância suficiente para garantir uma eficiência de ventilação de 80% e que o ar insuflado é vem todo do exterior (100 % de ar novo).



**Figura 2.3.** Esquema da eficiência de ventilação.

Tendo em conta os fatores dos quais depende o caudal a assegurar em cada espaço, o caudal de insuflação calcula-se da seguinte forma:

$$Q_{insuf} = \frac{Q_{AN}}{\epsilon_v \cdot \phi_{AN}} \quad (2.3)$$

em que:

$Q_{AN}$  – Caudal mínimo de ar novo;

$\epsilon_v$  – Eficiência de ventilação;

$\phi_{AN}$  - Fração de ar novo;

Assim, encontram-se na Tabela 2.6 os valores dos caudais mínimos de ar novo a insuflar em cada uma das zonas em que supostamente se dividiu o edifício.

**Tabela 2.6.** Parâmetros de ventilação para o caso de ventilação mecânica.

Zona	Área	Ocupação	Requisitos regulamentares de ar novo			Caudal mínimo de ar novo	$\epsilon_v$	$\phi_{AN}$	Caudal efetivo insuflação	
			[m <sup>3</sup> /(h.ocupante)]	[m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]	[RPH]				[m <sup>3</sup> /h]	[RPH]
Supermercado	785	0,2	30	5		4708	80	100	5885	2,5
Apoio	98	0,08			4	1415	80	100	1769	6,0
Escritório	12	0,11	35	5		59	80	100	74	2,0
Lojas	132	0,2	30	5		791	80	100	989	2,5
Cafetaria	34	0,2	35	5		237	80	100	296	2,9

É de realçar que a renovação do ar interior é definida com caudais mínimos de ar novo a assegurar. Embora proporcionando uma melhor QAI e eventualmente diminuindo as necessidades de arrefecimento no verão, não é conveniente taxas de renovação elevadas, pois durante o inverno:

- acarreta maior desconforto térmico nos espaços não aquecidos;
- pode aumentar os consumos de energia pelos sistemas de aquecimento;

No caso de renovação do ar interior por ventilação natural pura, embora sejam requeridas as taxas de renovação do ar segundo o RSECE, o caudal necessário em cada espaço não deve ser entendido como um caudal a assegurar em permanência, mas sim, como um elemento de dimensionamento, uma vez que não há controlo sobre as ações que promovem a ventilação.

Por sua vez, segundo Raimundo [Raimundo, A.M., (2009)], os edifícios de serviços com a renovação do ar a ser assegurada recorrendo a ventilação natural ou híbrida devem verificar as seguintes condições:

- demonstrar com recurso a software adequado que pelo menos em média são assegurados os caudais de ar novo impostos pelo RSECE;
- existência de aberturas para a admissão de ar (de preferência autocontroladas no caso de ventilação natural) colocado na envolvente dos espaços limpos;
- extração efetuada pelos espaços sujos (de serviços, húmidos, de arrumos, IS...);
- existência de passagens adequadas de ar dos espaços limpos para os sujos (através de grelhas, portas elevadas...)

### 2.2.5. Sistemas energéticos

Neste estudo, são analisados vários tipos de ventilação e as suas diferentes estratégias de implementação, portanto os sistemas de AVAC usados em ventilação natural não são os mesmos usados em ventilação mecânica. Apenas o sistema de produção de frio e de calor é comum a todas as situações analisadas.

O subsistema de produção de calor e de frio é baseado num Chiller-Bomba de calor e encontra-se esquematizado na Figura 2.4. Para efeitos deste trabalho assumem-se os valores dos *COP* (*Coefficients of Performance*) indicados pelo RCCTE como característicos deste tipo de equipamentos, resultando uma eficiência nominal ( $COP_{aq}$ ) igual a 4 para a função de aquecimento e um ( $COP_{arr}$ ) de 3 para arrefecimento.

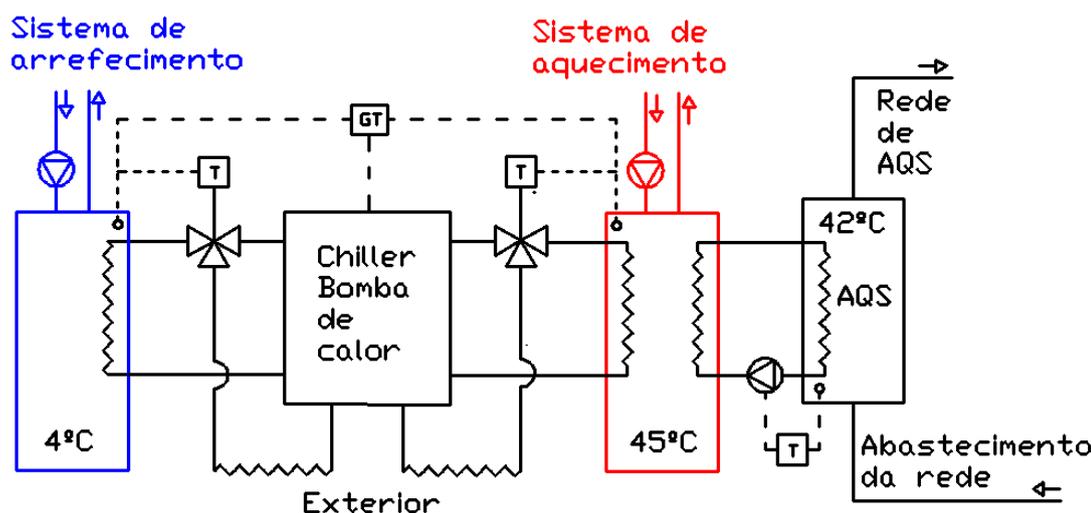


Figura 2.4. Esquema de princípio.

O Chiller-Bomba de calor é complementado por dois depósitos de água, uma para servir de armazenamento de frio (água a 4 °C) e outro para acumular calor (água a 45 °C). De cada um destes depósitos, segue uma rede de tubagens hidráulicas para distribuição de calor pelo edifício, o que no total representa um subsistema de distribuição a “quatro tubos”. Os depósitos de frio e quente servem para possibilitar ao *Chiller* as trocas de calor necessárias para o seu funcionamento, já que quando a temperatura da água num depósito atinge o valor desejado, um termostato nele instalado ativa uma válvula que desvia o fluido vindo do *Chiller* para o exterior para possibilitar as tais trocas de calor. Quando a temperatura da água nos dois depósitos é a desejada, um outro termostato desativa o *Chiller* para que este não continue a funcionar e fique simplesmente a fazer trocas com o

exterior, desnecessárias. Deste modo consegue-se um funcionamento eficiente do sistema de climatização, nomeadamente tendo em conta que existem períodos do ano em que o edifício necessita simultaneamente de aquecimento e de arrefecimento.

Entre o depósito de AQS e o depósito do sistema de aquecimento existe um circuito fechado provido de uma bomba que faz circular um fluido, o qual permite a troca de calor entre estes dois reservatórios. Esta troca de calor tem o intuito de pré-aquecer a água para fins sanitários. Nos espaços com renovação de ar por ventilação natural, o subsistema de distribuição a quatro tubos alimenta diretamente vários ventiloconvectores, os quais corrigem a carga térmica aquecendo ou arrefecendo o ar do espaço que eles próprios recirculam. Estes estão equipados com válvulas automáticas que fecham o circuito no caso de não haver necessidade de alimentar o ventiloconvector por se ter atingido as condições pretendidas nessa divisão.

Nos espaços com renovação de ar por ventilação mecânica, o subsistema de distribuição a quatro tubos alimenta as baterias de uma UTA, fornecendo ou retirando ao ar vindo do exterior a energia térmica necessária para o colocar à temperatura desejada.

### **2.2.6. Padrões de funcionamento e de utilização**

Os regimes de utilização de cada um dos espaços do edifício são modelados recorrendo aos correspondentes padrões de utilização. Estes são formados pelas densidades máximas e pelos perfis de funcionamento. As densidades representam o valor máximo. Os perfis indicam a percentagem do valor máximo a considerar em cada hora [RSECE, (2006)]. Para que haja rigor na simulação não se deve generalizar. Ou seja, é necessário especificar para cada zona os padrões de ocupação, de iluminação, de utilização de equipamentos, de ventilação e de funcionamento dos sistemas de climatização. Não obstante, é necessário especificar também para cada zona os valores máximos e mínimos, a garantir pelos sistemas de climatização, da temperatura do ar interior (*set-points* da temperatura) e da humidade relativa do mesmo.

Para estabelecer os padrões de funcionamento a considerar em cada zona do edifício teve-se em consideração os “padrões nominais” estabelecidos pelo RSECE para a tipologia Supermercados, os valores indicados por Nuno Silva [Silva, N., (2011)] para as densidades de iluminação e os pressupostos seguintes:

- O edifício está aberto ao público entre as 10h e as 22h, sendo os trabalhos de limpeza e de recolocação de produtos nas prateleiras efetuados preferencialmente entre as 6h e as 10h;

- O edifício funciona 365 dias por ano sem interrupções;

-A ocupação máxima corresponde ao número máximo de pessoas previsto no projeto de arquitetura para essa zona;

-A climatização está ativa todos os dias entre as 6h e as 24h e existe apenas nas zonas 1 (espaço de venda do supermercado), 2 (apoio ao supermercado), 3 (escritório), 4 (lojas) e 5 (cafetaria), excluem-se as zonas 6 (casa das máquinas) e 7 (armazém);

-Não foram impostos *set-points* para a humidade relativa do ar interior, pois o sistema de climatização preconizado não permite controlar este parâmetro;

-Para as zonas climatizadas impôs-se uma temperatura do ar interior mínima de 20°C e máxima de 25°C, não sendo imposto qualquer *set-point* de temperatura para as zonas não climatizadas (zona técnica e armazém).

Apresenta-se na Tabela 2.7 as densidades máximas (de ocupação, de iluminação e de equipamentos instalados) consideradas para as zonas em que supostamente se dividiu o edifício. De notar que os equipamentos instalados não incluem os de climatização nem os de ventilação, os quais têm uma parametrização individual e independente.

**Tabela 2.7.** Densidades máximas de ocupação, iluminação e equipamentos.

Espaço	Zona	Horário [h]	[m <sup>2</sup> ]Área de pavimento	Ocupação	Iluminação		Equipamento	
				[pess./m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]
Supermercado	1	(6-24)	785	0,2	20	15,7	12	9,4
Apoio	2	(6-24)	98	0,08	8	0,8	5	0,5
Escritório	3	(6-22)	12	0,11	8	0,1	15	0,2
Lojas	4	(8-24)	132	0,2	25	3,3	8	1,1
Cafetaria	5	(6-24)	34	0,2	15	0,5	120	4,1
Zona técnica	6	(6-24)	13	-	3	0,0	-	-
Armazém	7	(6-24)	69	-	13	0,9	5	0,3

Encontram-se no Anexo A os perfis de funcionamento de cada zona, considerando que o edifício está aberto 365 dias por ano.

## 2.3. Parametrização da renovação do ar Interior do edifício

### 2.3.1. Coeficientes de pressão nas fachadas

O vento dá origem a um escoamento de ar à volta de um edifício gerando nas suas fachadas pressões estáticas superiores e inferiores à pressão atmosférica. Ao incidir nas fachadas de um edifício exerce pressões diferentes consoante a orientação da mesma em relação à direção de incidência do vento. Já nas coberturas, as pressões e depressões dependem da inclinação das águas.

A ação do vento sobre as fachadas, em conjunto com o “efeito chaminé” (impulsão térmica promovida pelo gradiente térmico entre o interior e o exterior do edifício), cria diferenças de pressão entre o exterior e o interior do edifício dando origem a entradas de ar novo no mesmo (infiltrações). Deste modo, a estanquicidade de um edifício é um fator importante pois, para se darem estas trocas de ar é necessária a existência de aberturas nas fachadas (grelhas, chaminés, caixilharia, abertura de portas e janelas...).

Quando existe equilíbrio de pressões entre o interior e o exterior do edifício, o campo de pressões pelo efeito do vento e o chamado efeito de chaminé têm um impacto significativo na taxa de renovação de ar do edifício. Pelo contrário, nos casos de ventilação mecânica o seu valor é menos relevante e nalguns casos desprezável.

O *DesignBuilder* permite definir o coeficiente de pressão ( $C_p$ ) para cada fachada do edifício através um perfil de pressão dependente do ângulo ( $\theta$ ) formado entre a normal à fachada e a direção de incidência do vento. Para tal, considerando a geometria do edifício, o seu tipo de exposição ao vento, entre outros fatores e calcularam-se os coeficientes de pressão. De igual modo que Raimundo e Cardoso [Raimundo, A., Cardoso, O., (2011)], neste trabalho assumiu-se que os coeficientes de pressão podiam ser convenientemente representados pelas expressões propostas por Swami e Chandra [M. V. Swami, S. Chandra, (1988)]. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 2.5 a evolução do coeficiente de pressão com a direção do vento para o caso particular do rumo do vento coincidir com um quadrante geodésico. A variação do coeficiente  $C_p$  com o do rumo do vento está relacionada com o facto de o edifício não ser quadrado e haver obstruções provocadas pela topografia do terreno.

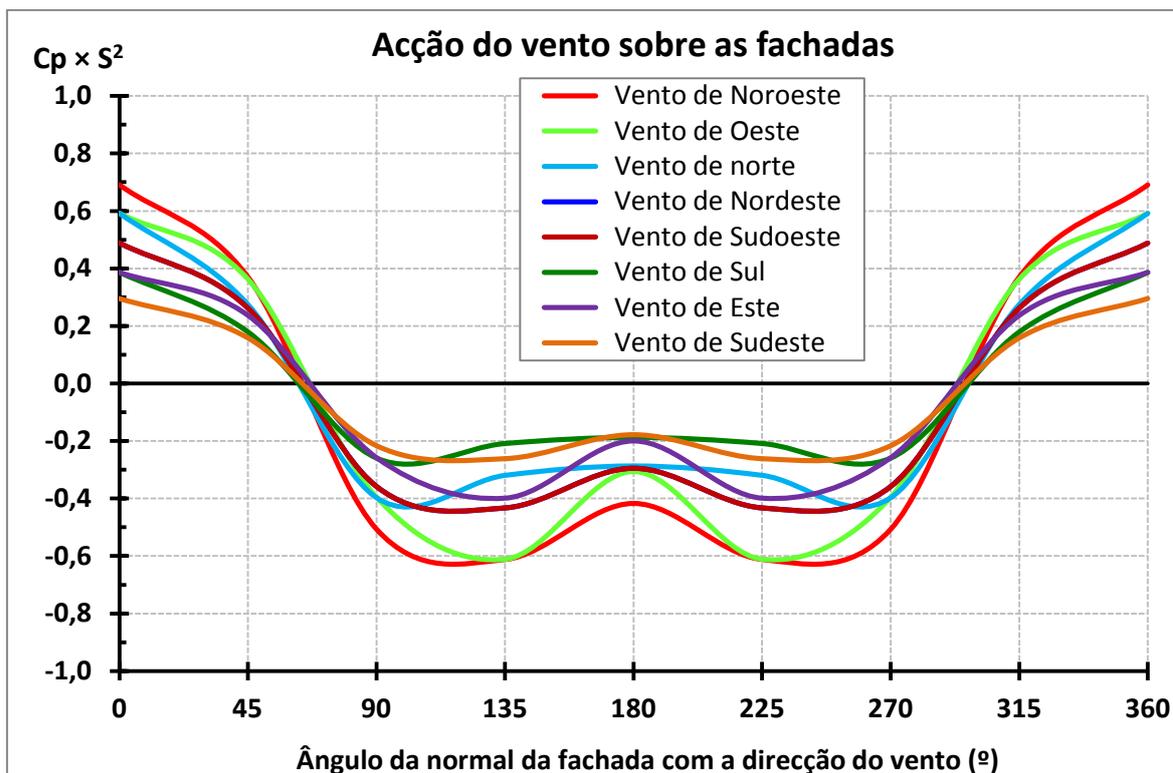


Figura 2.5. Acção do vento sobre as fachadas.

Das possíveis direcções do vento que a Figura 2.5 apresenta, nem todas estão ilustradas. Isto explica-se por poder haver coincidência de linhas. Neste caso a linha da orientação Nordeste coincide com a de Sudoeste.

Considerou-se um valor de infiltrações de 0,2 Ren/h tendo como base o trabalho de Ponte [Ponte, B., (2009)] onde estuda as tomadas de ar de um edifício por infiltração.

### 2.3.2. Estratégias de ventilação a analisar e sua parametrização

Apresenta-se na Figura 2.6 um esquema descritivo das estratégias de ventilação a analisar neste trabalho. Conforme se pode observar são analisadas 7 situações diferentes, a saber:

- Ventilação natural;
- Ventilação mecânica;
- Ventilação mecânica com *freecooling*;
- Ventilação mecânica com recuperação do calor do ar de rejeição;

- Ventilação mecânica com freecooling e com recuperação do calor do ar de rejeição;
- Ventilação híbrida;

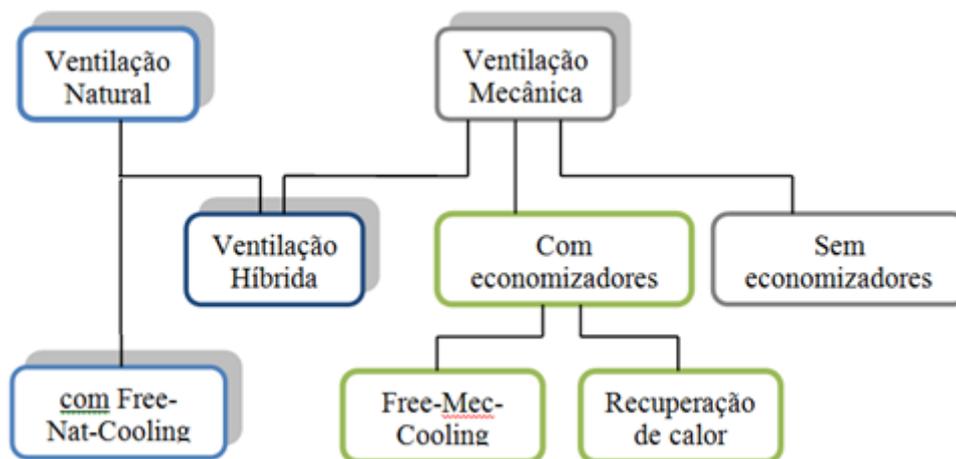


Figura 2.6. Sistemas de ventilação.

No caso da ventilação natural não se consideram as hipótese de *free-mec-cooling* nem de recuperação do calor do ar de rejeição pois, não são exequíveis. Estas estratégias requerem meios mecânicos para serem executadas.

Com ventilação mecânica a gama de estratégias praticáveis é mais vasta. Conjugam-se quatro hipóteses de sistemas. Primeiro a ventilação mecânica simples, depois com a implementação de estratégias economizadoras: a de recuperação de calor do ar de rejeição, a de ventilação mecânica noturna e a conjugação destas duas.

No caso da ventilação híbrida juntam-se as valências da ventilação natural e da mecânica. Não se considera a hipótese de haver recuperação do calor do ar de rejeição porque a sua implementação não é tecnicamente viável. A hipótese de haver *freecooling* não é considerada porque o programa não permite fazer a sua simulação.

A ventilação, se for deficientemente concebida ou implementada, pode ser causadora de desconforto, devido, por exemplo, às correntes de ar. Por outro lado, a sua correta conceção e implementação pode contribuir para a remoção da carga térmica no interior dos edifícios, participando na melhoria das condições de conforto térmico, Amaral [Amaral, M., (2008)].

### **2.3.2.1. Ventilação natural**

Para este caso em estudo foram adotadas algumas estratégias, tais como:

- existem grelhas posicionadas na envolvente do edifício para proporcionar a admissão e exaustão de ar;
- as grelhas são fixas, portanto permanecem sempre abertas (o programa não permite aberturas autorreguláveis);
- ventilação em fachada única: admissão e exaustão de ar através de grelhas, colocadas numa única fachada. Aqui, umas são colocadas a trinta centímetros do chão e outras a trinta centímetros do teto, de modo a promover as trocas de ar do espaço;
- ventilação cruzada: aberturas colocadas em fachadas opostas, para beneficiar das pressões relativas das fachadas em relação ao edifício;
- aberturas situadas na envolvente superior, com a intenção de facilitar a exaustão de ar favorecida pelo gradiente térmico entre as temperaturas do ar interior e exterior (efeito chaminé);
- grelhas na envolvente interior que separa as zonas, se não houver restrições quanto à qualidade do ar interior nos espaços adjacentes;
- não são considerados quaisquer ventiladores mecânicos;
- a correção térmica do ar é feita pelos ventiloconvetores no interior dos espaços, os quais são alimentados por circuitos de água quente e ou refrigerada provenientes do Chiller-Bomba de calor como ilustra a Figura 2.4;

As estratégias adotadas podem ser diferentes para cada espaço ou mesmo surgir associadas entre si. Na Figura 2.7 são apresentados esquemas exemplo da troca de ar do edifício (ao centro encontra-se o esquema da planta e do lado direito encontram-se esquemas de espaços em corte representativos da disposição de grelhas e da consequente troca de ar).

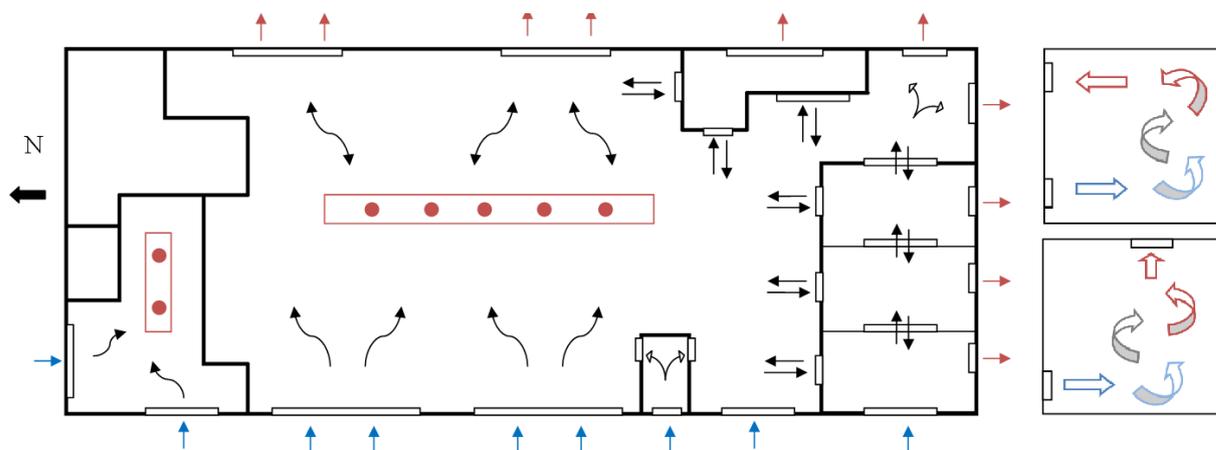


Figura 2.7. Esquema ventilação natural.

### 2.3.2.2. Ventilação mecânica

Nos sistemas de ventilação mecânica as trocas de ar entre o exterior e interior de um edifício devem-se essencialmente ao trabalho de ventiladores. Estes, acoplados a redes de condutas aerólicas, extraem e insuflam ar em cada espaço.

Ambas as redes de condutas (insuflação e extração) estão ligadas a uma unidade de tratamento de ar (UTA) onde se encontram os ventiladores. Sobre esta unidade pode-se referir:

- tem uma capacidade de cerca de 9000 m<sup>3</sup>/h;
- o ar novo que fornece já se encontra nas condições interiores pretendidas pois, possui baterias de aquecimento e arrefecimento. Estas fornecem ou retiram a energia necessária ao ar exterior para o colocar nas condições interiores antes de o insuflar nos espaços;
- o circuito que alimenta as baterias da UTA é o mesmo que alimenta os ventiloconvectores;
- o ar extraído é também removido pela UTA sendo a rejeição a 100 %;

A remoção da carga térmica no interior das diferentes divisões é feita através do circuito de água (quente ou refrigerada, consoante as necessidades interiores) que alimenta vários ventiloconvectores.

O ar insuflado é feito através de difusores e a extração do ar efetuado pela UTA é feita por grelhas.

### **2.3.2.3. Recuperação do calor do ar de rejeição**

Esta recuperação é proporcionada por um equipamento que permite a troca de calor entre os dois escoamentos (insuflação e extração) no interior da UTA. Para definir as suas características teve-se como base os equipamentos disponíveis no mercado. Assim, definiu-se que:

- equipamento considerado é de fluxos cruzados com uma eficiência de 70%;
- todo o ar extraído passa no recuperador de calor exceto, o ar vindo das instalações sanitárias;
- a recuperação do calor do ar de rejeição está ativa nos meses de Novembro a Fevereiro, nos restantes meses assume-se que é feito um *by-pass* ao recuperador;

### **2.3.2.4. Ventilação mecânica noturna (*freecooling*)**

Para definir esta estratégia consideraram-se os seguintes aspetos:

- a ventilação noturna está ativa nos meses de Maio a Setembro;
- o seu funcionamento está compreendido nas horas em que não há ocupação no edifício;
- a ventilação noturna só ocorre quando a diferença de temperaturas entre o exterior e o interior for de pelo menos 4 °C.

### **2.3.2.5. Ventilação híbrida**

Este sistema tem espaços ventilados mecanicamente e outros com ventilação natural. Consideraram-se as estratégias adotadas na ventilação natural, diferindo em alguns aspetos.

As zonas 2 e 5 (instalações sanitárias e cafetaria) consideram-se ventiladas mecanicamente. A primeira por ter um elevado requisito de renovação do ar interior, o qual pode ficar comprometido em ventilação é natural. A segunda por ter elevada carga térmica pois isso é um fator que pode proporcionar uma exagerada taxa de renovação do ar por ventilação natural.

Uma vez que o programa não permite fazer só extração ou insuflação num espaço, selecionaram-se ventiladores para simbolizar este efeito. Encontra-se no anexo A uma tabela com as características de cada um.

Na zona 2 o ventilador apenas extrai para que esta fique sujeita a uma subpressão, garantindo que o ar deste espaço não passasse para outros, contaminando-os.

Enquanto na zona 5 o ventilador insufla ar no espaço para exercer um controlo da renovação do ar interior neste espaço. A Figura 2.8 ilustra um esquema exemplo da troca de ar do edifício.

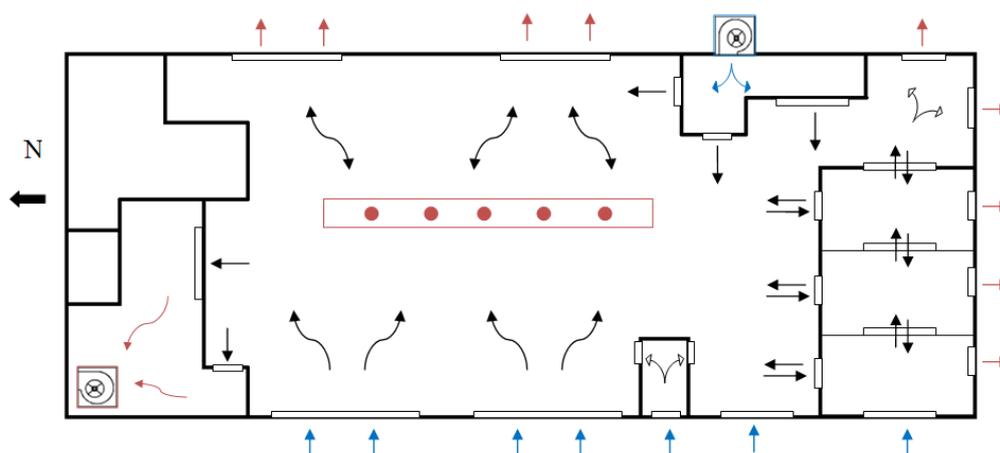


Figura 2.8. Esquema ventilação híbrida.

Aqui são consideradas grelhas em toda a envolvente interior para aumentar a permeabilidade de ar entre espaços, visto que a hierarquia de pressões entre os espaços não permite que estes se contaminem.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados previstos pelas simulações para o comportamento energético do edifício em apreço, um supermercado. Trata-se de um edifício de serviços com utilização intermitente e elevadas cargas térmicas internas, localizado num clima moderado (Coimbra). O edifício tem inércia térmica fraca, que é a mais recomendada para este tipo de edifícios, e possui as características térmicas necessárias para ser considerado como regulamentar no âmbito da legislação nacional. São considerados apenas sistemas de AVAC com capacidade suficiente para manter boas condições de conforto térmico e de QAI (qualidade do ar interior).

A verificação do conforto térmico (temperatura do ar interior) e da qualidade do ar interior (renovações por hora) será feita para as várias zonas uma vez que há grande variedade de tipologias de uso, entre elas, instalações sanitárias, escritório, cafetaria, lojas e supermercado.

A análise de resultados assenta essencialmente na relação entre o consumo de energia e a estratégia de renovação de ar implementada. É, ainda, analisada a influência de outros parâmetros identificados como relevantes: a recuperação de calor do ar de rejeição e o arrefecimento gratuito (*freecooling*). A comparação, em termos energéticos, entre as várias estratégias de ventilação é baseada nas necessidades de energia para aquecimento, para arrefecimento e para ventilação. Deste modo, a avaliação não é influenciada pela eficiência dos equipamentos que venham a ser utilizados para desempenhar as funções anteriores. Obviamente que também é efetuada uma análise comparativa em termos de consumos e de custos, mas dar-se-lhe-á menos relevância. Nessa fase ter-se-á em conta também os consumos devido à iluminação, aos equipamentos do edifício e ao consumo de AQS, embora a título ilustrativo pois eles não sofrem alteração com a mudança de sistema de ventilação.

Genericamente, este capítulo encontra-se dividido em duas partes distintas:

- A primeira parte é formada por 3 secções, cada uma dedicada a uma estratégia de ventilação diferente. A secção 3.1 é dedicada à alternativa de renovação do ar interior por ventilação natural, a secção 3.2 no caso de se optar por ventilação mecânica e a secção 3.3 se a escolha cair na ventilação híbrida. Para cada caso apresenta-se e analisa-se

primeiro as evoluções da qualidade do ar interior e da temperatura do ar interior de cada espaço. Posteriormente passa-se para a necessidades de energia para as diferentes funções (climatização, ventilação/bombagem, iluminação e equipamentos);

- A segunda parte deste capítulo é constituída apenas pela secção 3.4, dedicada a uma análise comparativa, em termos energéticos, entre as várias estratégias de ventilação consideradas. Para o efeito comparam-se as necessidades de energia para aquecimento, para arrefecimento e para ventilação. Posteriormente assumem-se determinados equipamentos para desempenhar as funções anteriores, sendo assim viável comparar também os correspondentes consumos e respetivos custos. Nesta última fase incluem-se também os consumos e os custos devidos às funções de iluminação, equipamentos e preparação de AQS.

### 3.1. Renovação de ar apenas por ventilação natural

Na renovação de ar apenas por ventilação natural a ventilação dos espaços apenas é devida à interação dos fatores climáticos com o edifício, não intervêm quaisquer mecanismos de regulação de caudal. Neste sistema, as únicas máquinas de fluxo consideradas são as de bombagem dos sistemas de distribuição de calor. Assim, o ar exterior é admitido e extraído por grelhas fixas posicionadas na envolvente de cada espaço. Conforme descrito no capítulo anterior, a correção térmica da temperatura do ar interior é efetuada com recurso a ventiloconvectores que aquecem ou arrefecem o ar do próprio espaço que recirculam.

Seguidamente serão apresentadas e analisadas as variáveis representativas das condições de conforto térmico e de qualidade de ar interior para as instalações sanitárias. Para as restantes zonas, as correspondentes distribuições encontram-se no anexo B. A análise dos requisitos mínimos para este espaço é relevante pois as instalações sanitárias, pela sua natureza, requerem um elevado número de renovações do ar interior, o que, neste caso, dificulta a garantia de uma boa QAI.

Na Figura 3.1 apresenta-se a variação das renovações do ar interior ao longo do ano nas instalações sanitárias. É apresentado o valor de ventilação requerido nesta zona, e um intervalo de ventilação 40% superior e inferior ao valor recomendado. Este intervalo, sugerido por Raimundo e Cardoso [Raimundo, A., Cardoso, O., (2011)], representa a gama de caudais em que a renovação do ar por ventilação natural pode ser considerada como adequada.

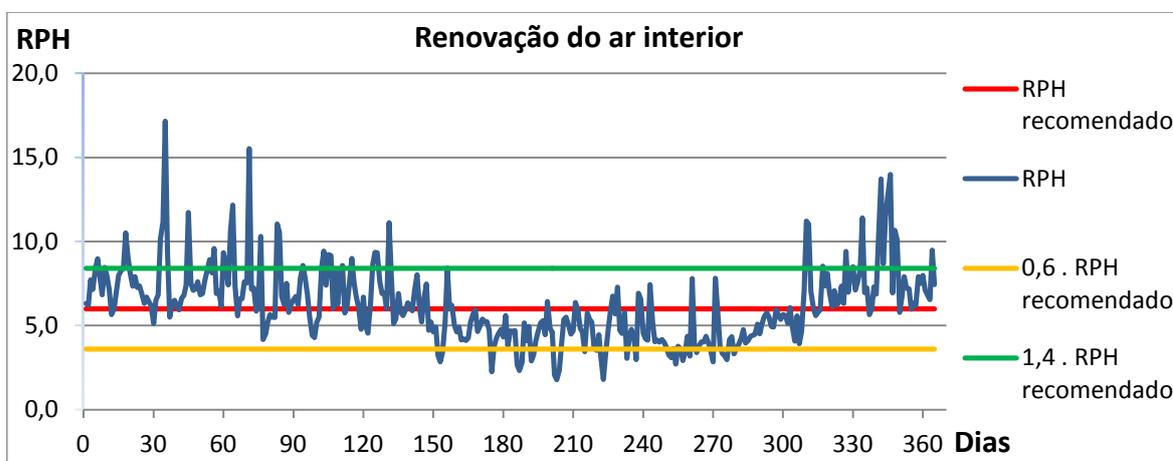


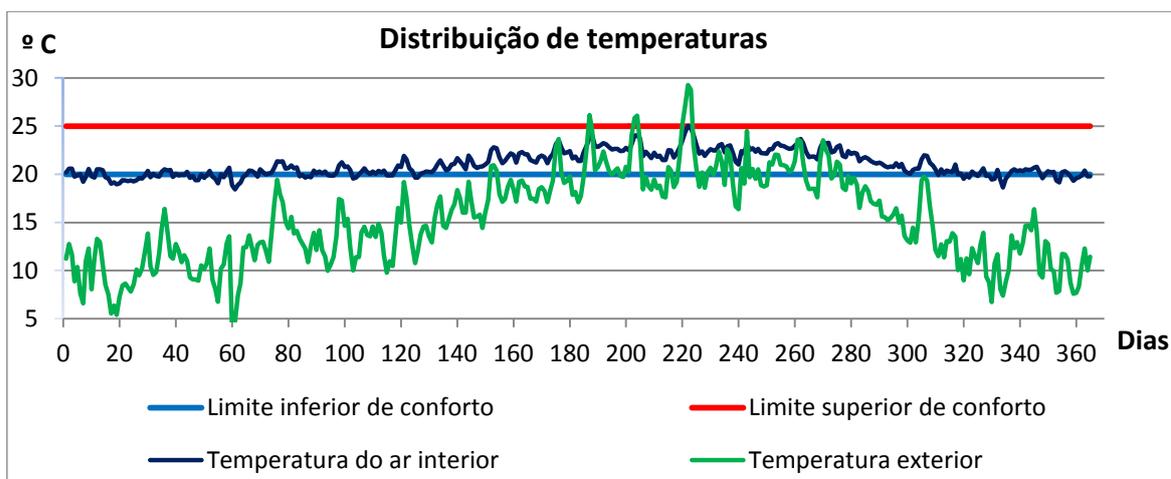
Figura 3.1. Renovação do ar interior ao longo do ano nas Instalações sanitárias\_3.1.

Segundo a NP 1037-2 [NP 1037-2, (2002)], os requisitos mínimos de QAI devem ser garantidos, em média numa base anual. Embora se consiga, é de notar a sua variação de amplitude ao longo do ano, o que pode acarretar desconforto quando a ventilação é excessiva e deficiente QAI quando é insuficiente.

Na Tabela 3.1 são apresentados dados estatísticos da renovação do ar interior por ventilação natural nas várias zonas. Na Figura 3.2 encontra-se a distribuição da temperatura do ar interior ao longo do ano para as I.S.

**Tabela 3.1.** Estatística da ventilação Natural.

[RPH]	I. Sanitárias	Cafetaria	Escritório	Lojas	Supermercado
RPH recomendadas	6,0	2,9	2,0	2,5	2,5
Média anual	6,19	3,38	2,23	2,91	3,29
Desvio Padrão	2,2	0,8	1,5	1,2	1,09



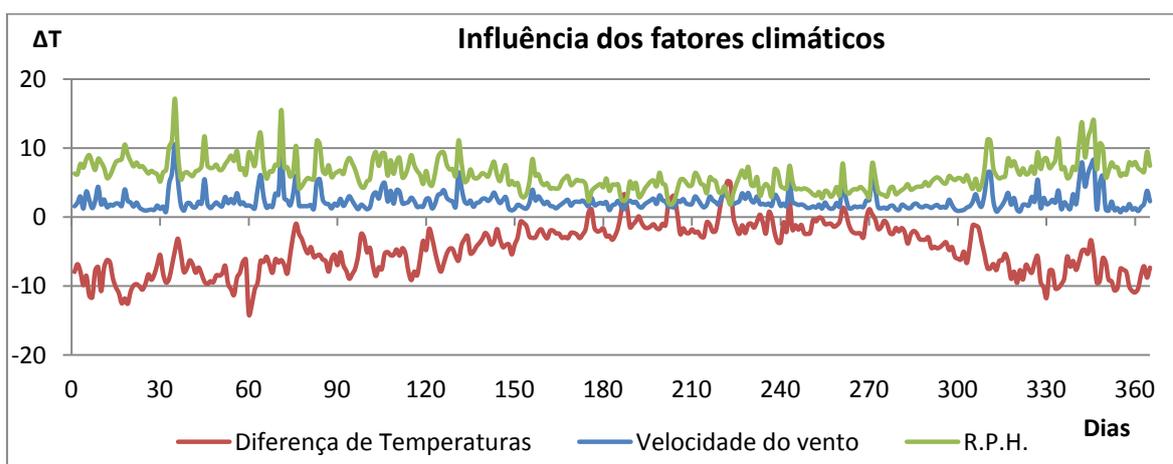
**Figura 3.2.** Temperaturas ao longo do ano nas Instalações sanitárias\_3.1.

A temperatura do ar interior permanece globalmente dentro dos limites assumidos como de conforto térmico (entre os 20 e os 25°C). No entanto, sobretudo nas estações frias, podem ocorrer temperaturas abaixo do limite mínimo de conforto. Este facto pode estar relacionado com a conjugação das condições climáticas exteriores com o funcionamento dos equipamentos de climatização, mas também pode ser apenas uma consequência de deficiências do processo de simulação. Provavelmente é o resultado da combinação destas três causas.

Todos os equipamentos levam um tempo de resposta dos próprios em relação a aquecer ou arrefecer. Isto relaciona-se diretamente com a inércia dos elementos a climatizar. Ou seja, mesmo que um equipamento não tivesse limitação de potência, este levaria sempre um determinado período de tempo a conseguir climatizar o espaço.

O facto de a simulação ser hora à hora implica que esta só responda na hora seguinte, este fato relaciona-se com o próprio processo de simulação. Na realidade, este fenómeno não vai ocorrer pois este tempo de resposta é muito reduzido, por vezes de segundos pelo que o sistema de aquecimento não vai deixar a temperatura baixar dos 20°C.

Com o intuito de analisar a relação entre a renovação do ar interior e os factores climáticos, apresenta-se na Figura 3.3 a evolução anual da taxa de ventilação, da velocidade do vento e da diferença entre a temperatura exterior e a do ar interior ( $\Delta T = T_{ext} - T_{int}$ ) para o caso das instalações sanitárias.



**Figura 3.3.** Influência dos fatores climáticos nas Instalações sanitárias\_3.1.

A análise da relação entre a renovação do ar interior e a diferença de temperaturas permite, no geral, dizer que nos meses frios os espaços têm uma maior renovação do ar interior comparativamente aos meses quentes. Este fato vem de acordo com o referido efeito de chaminé que promove a ventilação natural, ou seja, pelo gradiente de temperaturas entre o exterior e o interior, o qual é significativamente maior durante os meses frios. Este facto é também relatado por Raimundo e Cardoso, [Raimundo, A., Cardoso, O., (2011)]. De realçar que para o mesmo valor em módulo da diferença de

temperaturas, os caudais são maiores quando a diferença é negativa do que quando é positiva.

Da mesma forma que o gradiente de temperaturas condiciona as trocas de ar de um espaço, também a velocidade do vento é um fator condicionante neste aspeto. Na Figura 3.3 pode verificar-se que este fator climático apresenta maiores valores na estação fria, o que justifica o aumento das renovações do ar interior nesta estação. Ora isto vai de encontro com o concluído em [Raimundo, A., Cardoso, O., (2011)] que refere que quanto maior a velocidade do vento maior o número de renovações do ar devido a fenómenos naturais e que, para velocidades do vento elevadas obtêm-se taxas de renovação de ar excessivas, as quais dão origem a desconforto térmico e a grandes consumos de energia. Esta relação reflete os valores máximos de renovação de ar atingidos, sobretudo na estação fria, que, como se pode verificar coincidem com as fases onde se regista maior velocidade do vento.

A Tabela 3.2 apresenta as necessidades anuais de energia, para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de bombagem, de cada uma das zonas do edifício e para o edifício como um todo. Não são apresentados valores de Ventilação/Bombagem para as zonas por apenas ser possível fazer um *output* destes valores ao nível do edifício uma vez considerados sistemas centralizados. Das necessidades totais de energia para as funções anteriores, 39% são devidas ao aquecimento, 56% ao arrefecimento e apenas 5% às bombas (uma vez que neste caso não são considerados ventiladores). De notar que para além das necessidades de energia para a climatização, apresentadas na Tabela 3.2, o edifício tem também consumos relacionados com outras funções (iluminação, equipamentos, AQS, etc.), os quais serão apresentados e discutidos mais á frente.

**Tabela 3.2.** Necessidades anuais dos sistemas AVAC\_3.1

[kWh/ano]	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação/ Bombagem	Totais
I. Sanitárias	45.460	2.735	-	48.195
Cafetaria	18	40.101	-	40.119
Escritório	148	4.687	-	4.835
Lojas	11.771	31.815	-	43.586
Supermercado	59.734	86.856	-	146.590
<b>Total</b>	<b>117.132</b>	<b>166.194</b>	<b>15.406</b>	<b>298.731</b>

### 3.2. Renovação do ar por ventilação mecânica

O sistema de ventilação mecânica preconizado assenta em UTAs que insuflam o ar em cada espaço dentro da gama de temperatura de conforto, havendo ventilo-convetores em cada um que permitem fazer correções na temperatura do ar, se necessário.

Neste caso são impostos caudais e estes regulados pelos ventiladores, portanto não será necessário apresentar as renovações do ar no interior dos espaços.

#### 3.2.1. Sem sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor

Na Tabela 3.3 apresentam-se as necessidades anuais de energia, para aquecimento, para arrefecimento e para ventilação/bombagem, para cada espaço e para o edifício. Neste caso, ventilação mecânica sem sistemas de recuperação de calor, apenas 4% das necessidades totais de energia para climatização são devidas ao aquecimento, 79% são devidas ao arrefecimento e 17% são devidas á ventilação e bombagem.

**Tabela 3.3.** Necessidades anuais dos sistemas AVAC\_3.2.1

[kWh/ano]	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação/ Bombagem	Totais
I. Sanitárias	10.668	5.247	-	15.915
Cafetaria	0	34.348	-	34.348
Escritório	43	1.809	-	1.852
Lojas	160	53.281	-	53.441
Supermercado	2.750	174.497	-	177.247
<b>Total</b>	<b>13.621</b>	<b>269.182</b>	<b>56.717</b>	<b>339.520</b>

#### 3.2.2. Apenas com sistemas de recuperação de calor

No caso de renovação do ar interior por ventilação mecânica em que existe apenas sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição, considera-se que este equipamento de recuperação de calor funciona apenas nos meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro e tem uma eficiência de 70%. Conforme se pode constatar na Tabela 3.4, com a implementação do sistema de recuperação calor as necessidades de energia para aquecimento representam só 2% das necessidades totais de energia para climatização, o arrefecimento representa 79% e a ventilação/bombagem 19%.

**Tabela 3.4.** Necessidades anuais dos sistemas AVAC\_3.2.2

[kWh/ano]	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação/ Bombagem	Totais
I. Sanitárias	5.739	5.247	-	10.986
Cafetaria	0	34.348	-	34.348
Escritório	23	1.809	-	1.832
Lojas	86	53.281	-	53.367
Supermercado	1.480	174.497	-	175.977
<b>Total</b>	<b>7.328</b>	<b>269.182</b>	<b>64.334</b>	<b>340.844</b>

### 3.2.3. Apenas com sistemas de *freecooling*

No caso de renovação do ar interior por ventilação mecânica em que existe apenas arrefecimento gratuito (*freecooling*), considera-se que esta estratégia de arrefecimento noturno está ativa apenas nos meses de Maio a Setembro inclusive. Conforme se pode constatar na Tabela 3.5, com este sistema 6% das necessidades totais de energia para climatização são devidos ao aquecimento, 67% ao arrefecimento e 27% à ventilação.

**Tabela 3.5.** Necessidades anuais dos sistemas AVAC\_3.2.3.

[kWh/ano]	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação/ Bombagem	Totais
I. Sanitárias	10.668	4.503	-	15.171
Cafetaria	0	19.331	-	19.331
Escritório	43	1.202	-	1.245
Lojas	160	31.747	-	31.907
Supermercado	2.750	119.209	-	121.959
<b>Total</b>	<b>13.621</b>	<b>175.992</b>	<b>66.306</b>	<b>255.918</b>

### 3.2.4. Com sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor

O efeito da junção das duas estratégias de poupança energética (o *freecooling* e a recuperação do calor do ar de rejeição) não apresenta diferença face à soma de cada uma delas atuando individualmente. Devido a cada estratégia ocorrer em períodos do ano distintos, estas são independentes. Este facto foi verificado por simulação, tendo-se obtido um valor da diminuição das necessidades globais de energia sensivelmente idêntico ao que resulta da soma das poupanças conseguidas com cada um.

### 3.3. Renovação do ar por ventilação híbrida

No caso de renovação do ar interior por ventilação híbrida considera-se que com esta estratégia de ventilação a renovação do ar interior das várias zonas é devida a ventilação natural ou a ventilação mecânica. Nas zonas ventiladas por ventilação natural, a estratégia de ventilação é igual à utilizada no sistema natural, já nas zonas não ventiladas naturalmente (instalações sanitárias e cafetaria) foram aplicados ventiladores para extrair ou insuflar conforme o caso. O ventilador das instalações sanitárias efetua apenas extração pelo que a admissão de ar neste espaço é feita por grelhas situadas na envolvente interior que a separa do supermercado, como referido anteriormente. Esta estratégia pressupõe que o ar admitido nas IS é ar de transferência, ou seja, vindo do supermercado. Conforme se pode constatar na Tabela 3.6, das necessidades totais de energia para as funções relacionadas com a climatização e a ventilação, 29% são devidas ao aquecimento, 63% ao arrefecimento e 8% devido à ventilação e bombagem.

**Tabela 3.6.** Necessidades anuais dos sistemas AVAC\_3.3

[kWh/ano]	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação/ Bombagem	Totais
I.Sanitárias	0	0	3.942	3.942
Cafetaria	0	34.348	480	34.828
Escritório	148	4.687	-	4.835
Lojas	11.771	31.815	-	43.586
Supermercado	59.734	86.856	-	146.590
<b>Total</b>	<b>71.653</b>	<b>157.706</b>	<b>19.828</b>	<b>249.187</b>

De notar que com o sistema de preconizado para efectuar a ventilação híbrida do edifício não é possível fazer recuperação de calor, pois isso implicaria ter ao mesmo tempo mecanismos de extração e insuflação de ar. Quanto ao *freecooling* seria possível ventilar o edifício nos períodos noturnos, pondo os ventiladores a extrair o que traria arrefecimento. No entanto, por limitações do programa utilizado, não é possível simular esta situação específica.

### **3.4. Comparação entre as várias estratégias de ventilação**

Numa primeira fase analisam-se as necessidades dos vários sistemas de AVAC onde se incluem as necessidades de aquecimento, as de arrefecimento (energia útil) e as necessidades agregadas da ventilação e da bombagem.

Posteriormente analisam-se os consumos energéticos (energia final) do edifício numa base anual. Aqui, não são apenas apresentados os consumos referentes aos sistemas de AVAC mas, também os consumos por parte da iluminação e pelos equipamentos contidos no edifício.

#### **3.4.1. Necessidade de energia para climatização**

Nesta secção apresentam-se e discutem-se as necessidades de energia para as funções de aquecimento, de arrefecimento e com a ventilação do edifício. Os valores apresentados representam a energia útil necessária para climatizar e ventilar o edifício, independentemente dos equipamentos utilizados. Para analisar os vários tipos de ventilação será considerada como base a ventilação mecânica simples.

Na Figura 3.4 e na Tabela 3.7 apresentam-se, para as várias estratégias de ventilação preconizadas, as necessidades de energia do edifício para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação. Como era expectável tendo em conta as elevadas cargas térmicas geradas internamente, independentemente do sistema de ventilação as maiores necessidade de energia são as de arrefecimento do edifício. As variações indicadas na Tabela 3.7 foram calculadas tomando como referência as necessidades energéticas para o caso da ventilação mecânica simples, ou seja ventilação mecânica sem existirem sistemas quer de freecooling quer de recuperação do ar de rejeição. Tomam-se como referência a ventilação mecânica simples por ser esta a estratégia de renovação do ar interior mais utilizada neste tipo de edifícios.

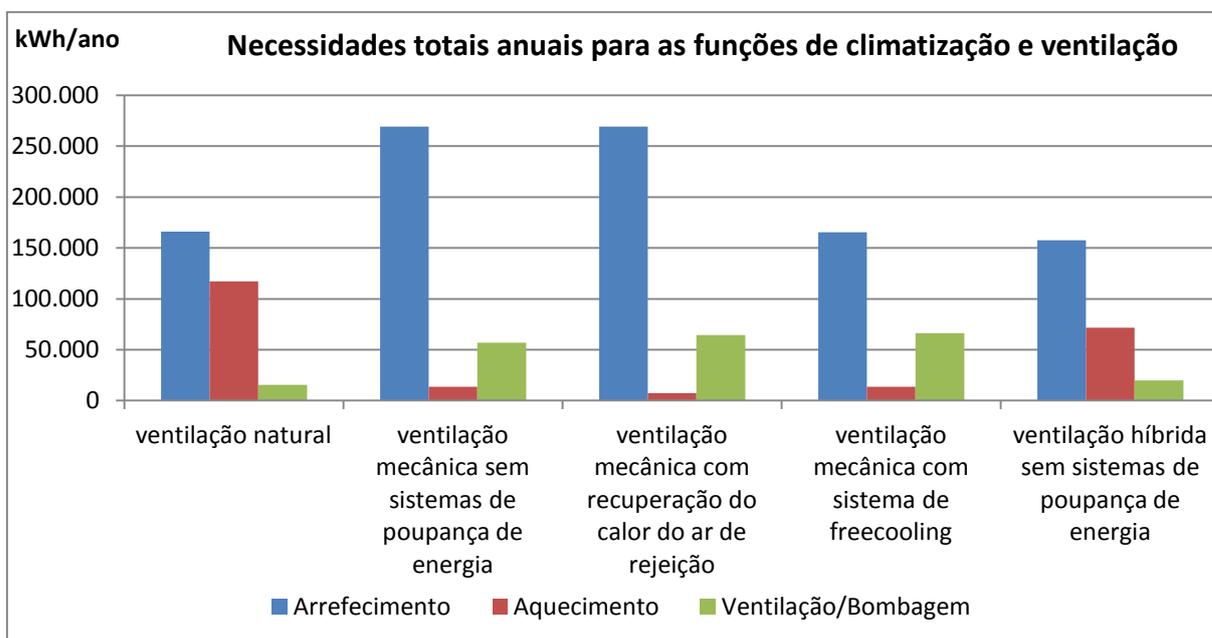


Figura 3.4. Necessidades totais anuais para as funções de climatização e ventilação do edifício.

Tabela 3.7. Necessidades totais anuais para as funções de climatização e ventilação do edifício. Para o cálculo das variações é tomado como referência o caso da ventilação mecânica simples.

[kWh/ano]	Ventilação natural	Ventilação mecânica			Ventilação híbrida
		Simples	Recup. calor	Freecooling	
Aquecimento	117.132	13.621	7.328	13.621	71.653
Variação	760 %	-	-46 %	0 %	426 %
Arrefecimento	166.194	269.182	269.182	165.468	157.706
Variação	-38 %	-	0 %	-39 %	-41 %
Ventilação/Bombagem	15.406	56.717	64.334	66.306	19.828
Variação	-73 %	-	13 %	17 %	-65 %
<b>TOTAL</b>	<b>298.731</b>	<b>339.520</b>	<b>340.844</b>	<b>245.395</b>	<b>249.187</b>
<b>Variação</b>	<b>-12.0 %</b>	<b>-</b>	<b>0.4 %</b>	<b>-27.7 %</b>	<b>-26.6 %</b>
Aquecimento	39 %	4 %	2 %	6 %	29 %
Arrefecimento	56 %	79 %	79 %	67 %	63 %
Ventilação/Bombagem	5 %	17 %	19 %	27 %	8 %

Para a estratégia de renovação do ar interior tomada como referência para efeitos de análise energética, a ventilação mecânica simples, as necessidades anuais de aquecimento (13.621 kWh) são relativamente baixas, representando apenas 4 % das necessidades de energia para as funções relacionadas com a climatização e a ventilação. Por sua vez as necessidades de arrefecimento são elevadas (269.182 kWh), representando

79 % do valor global em apreço. As necessidades de energia para ventilação (56.717 kWh) são também consideráveis, representando 17 % do global.

Em relação ao caso de referência, da renovação do ar interior do edifício com recurso apenas à ventilação natural resulta um valor para as necessidades de arrefecimento 38 % inferior. Isto está provavelmente relacionado com o facto de a ventilação natural ocorrer em contínuo, o que vai permitir um acentuado arrefecimento do edifício (*free-nat-cooling*) durante todo o ano. Quanto às necessidades de aquecimento, estas são substancialmente maiores, representando um aumento de 760 % em relação ao caso de ventilação mecânica simples. Isto é provavelmente fruto do *free-nat-cooling* e das irregularidades de funcionamento que este sistema apresenta e, conseqüentemente, do maior número de renovações do ar interior nos períodos de aquecimento. Em termos globais, com a ventilação natural consegue-se uma necessidade total de energia 12 % mais baixa do que com a ventilação mecânica simples, mas não se conseguem garantir as mesmas condições de conforto e de qualidade do ar interior.

No caso da ventilação natural verifica-se uma relativa influência da carga térmica interior das zonas. Zonas com maior carga térmica por unidade de área revelam que é mais fácil de as ventilar e, apresentam menor variação dos níveis de ventilação. Esta relação pode ser justificada pelo facto de a carga térmica contribuir para o efeito chaminé, ou seja, a zona é “forçada” a ventilar devido à diferença de temperatura, mesmo quando os fatores climáticos não são os mais favoráveis para o efeito. É ainda importante lembrar que na simulação da situação de ventilação natural consideraram-se grelhas fixas, ou seja, estas estão permanentemente abertas, podendo ventilar durante a noite o que traduz um arrefecimento gratuito (*free-nat-cooling*).

Com a estratégia de ventilação híbrida as necessidades de globais de energia para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação são menores do que quando a renovação do ar é assegurada por ventilação natural. Este facto deve-se sobretudo à regularização de caudais promovida pelos ventiladores. Em relação ao caso de referência, ventilação mecânica simples, recorrendo a uma estratégia de ventilação híbrida as necessidades de energia para aquecimento aumentam substancialmente (+426 %), as de arrefecimento diminuem em 41 % e as de ventilação diminuem em 65 %. Em termos de necessidades globais de energia para as funções de climatização e de ventilação, com a

ventilação híbrida consegue-se uma redução de 26.6 % em relação à situação de ventilação mecânica simples.

Da implementação de uma estratégia de ventilação mecânica equipada com sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição com uma eficiência de 70 %, resulta um decréscimo das necessidades de aquecimento de 16.621 kWh/ano para 7.328 kWh/ano, o que representa uma poupança de 46 % em relação ao caso de ventilação mecânica simples. Parece uma grande diminuição mas não é, pois, em termos globais, as necessidades de aquecimento do edifício são muito baixas. As necessidades de arrefecimento permanecem inalteradas, pois não existe recuperação de calor do ar de rejeição quando o edifício está a ser arrefecido. Por sua vez as necessidades de energia para ventilação e bombagem aumentam em 13 %, visto que a implementação dos sistemas de recuperação de calor acarreta uma sobrecarga dos ventiladores e conseqüentemente, um aumento significativo das necessidades de energia. Equipar os sistemas de ventilação mecânica com equipamentos de recuperação de calor do ar de rejeição é prejudicial visto aumentar em 0.4 % as necessidades globais de energia para climatização e ventilação.

Ao contrário da situação anterior, equipar os sistemas de ventilação mecânica com a possibilidade de realizar arrefecimento gratuito (*freecooling*) leva a uma poupança energética significativa. Em relação à ventilação mecânica simples, as necessidades de energia para aquecimento mantêm-se inalteradas e iguais a 13.621 kWh/ano. As necessidades de energia para ventilação e bombagem aumentam 17 %, passando de 56.717 para 66.306 kWh/ano. Por sua vez, as necessidades de energia para arrefecimento diminuem em 39 %, passando de 269.182 para 165.468 kWh/ano, o que representam um decréscimo muito substancial. Este facto leva a uma diminuição em 27.7 % da necessidade de energia para as funções de climatização e ventilação, as quais passam de 339.520 para 245.395 kWh/ano, o que representa um decréscimo muito substancial.

Em termos de necessidades globais de energia (útil) para as funções de climatização e para ventilação pode ser estabelecida a seguinte ordem (do melhor para o pior): 1º) Ventilação mecânica com freecooling, 2º) Ventilação híbrida, 3º) Ventilação natural, 4º) Ventilação mecânica simples, 5º) Ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição. Como veremos mais à frente, devido á eficiência dos equipamentos

que asseguram estas funções, quando estas necessidades forem convertidas em consumos, a posição relativa de algumas estratégias de ventilação altera-se.

Este edifício com elevada carga térmica, tem uma inércia térmica fraca, o que traduz uma menor capacidade de armazenar calor. Embora fraca, apresenta uma inércia térmica não desprezável ( $I_t = 144,1 \text{ kg/m}^2$ ), o que justifica a diminuição das necessidades de arrefecimento com o recurso ao *freecooling*, tal como constatado em [Mateus, D., (2011)]. O documento [Raimundo, A., (2008)] apresenta mais gamas e segundo este o edifício já não estaria compreendido na gama mais baixa.

Uma questão que se coloca é, em vez de recorrer ao *freecooling* apenas nos meses de verão porque não permitir que o *freecooling* funcione durante todo o ano. Para responder a esta questão realizou-se uma simulação em que esta alternativa foi assumida. Verificou-se que, em relação ao caso de *freecooling* apenas no verão, as necessidades de aquecimento aumentam em 34,8 % e as de ventilação em 19 %, enquanto as de arrefecimento diminuem em apenas 2,6 %. No global esta estratégia leva ao aumento das necessidades de energia para climatização e ventilação. Ou seja, *freecooling* sim, mas só no verão.

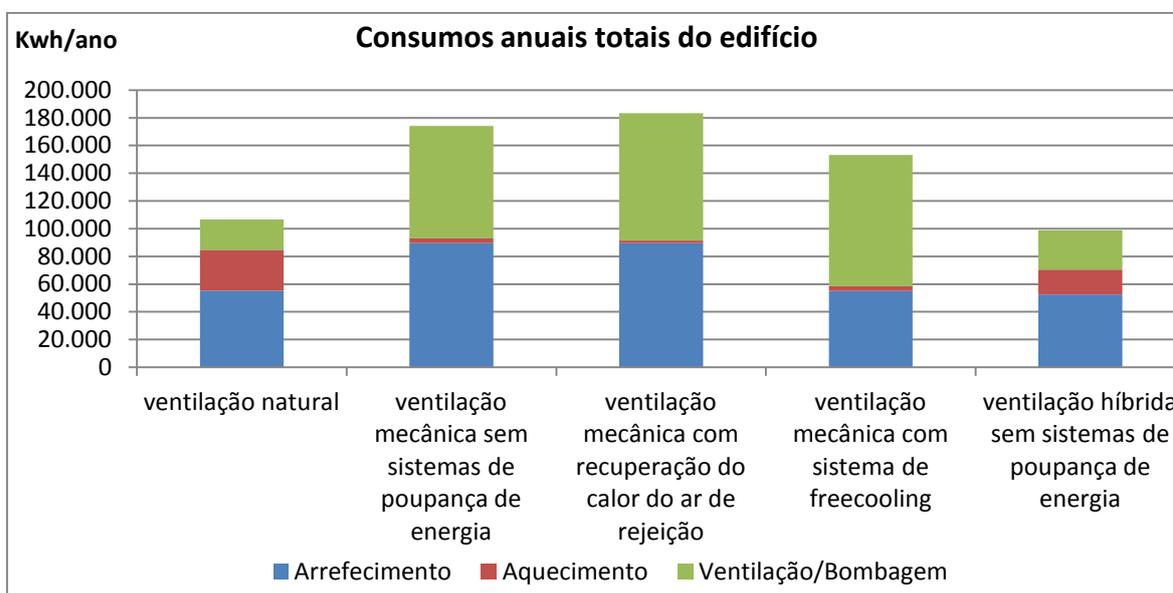
As necessidades de energia para aquecimento para este edifício no geral são baixas, não ultrapassam 6 % das necessidades totais de energia para climatização e ventilação, excetuo quando se recorre a ventilação é natural. Verifica-se que divisões com maiores ganhos por unidade de área têm menos necessidades de aquecimento.

O arrefecimento representa a maior fatia das necessidades totais de energia para climatização e ventilação, em média 56 % são necessidades de arrefecimento. Em relação ao caso de ventilação mecânica simples, existe uma diminuição significativa destas necessidades quando recorre a ventilação natural e com ventilação mecânica com *freecooling*. As zonas com mais ganhos térmicos apresentam maiores necessidades de arrefecimento.

Quanto às necessidades de ventilação e bombagem pode referir-se que tem um impacto considerado nas necessidades totais de energia para climatização e ventilação e seria errado não as considerar nesta análise. Na ventilação natural, estas necessidades são bastante baixas representam apenas 5 %, aumentando o seu significado nos sistemas de ventilação mecânicos e com a implementação de estratégias economizadoras.

### 3.4.2. Consumos energéticos do edifício

Para o cálculo dos consumos energéticos dos sistemas de produção de calor e frio considerou-se um COP constante ao longo do ano, de 4 para aquecimento e 3 para arrefecimento. Quanto às máquinas de fluxo considerou-se uma eficiência de 70%. Apresentam-se na Figura 3.5 os consumos de energia destes equipamentos necessários para superar as necessidades de energia para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação e bombagem.



**Figura 3.5.** Consumos anuais totais do edifício.

Pela análise da Figura 3.5 verifica-se que para as eficiências dos equipamentos consideradas, a ventilação e a bombagem assumem um papel relevante face ao consumo energético total anual dos sistemas. Isto deve-se sobretudo à diferença das eficiências dos sistemas de climatização comparativamente à das máquinas de fluxo. Contudo, a figura acima traduz efetivamente a fração que cada parâmetro assume no consumo energético anual. De notar que no caso de ventilação natural os consumos de energia para ventilação e bombagem dizem respeito apenas à bombagem de água quente e fria do sistema de aquecimento e arrefecimento. Quando a renovação do ar interior é garantido com recurso a sistemas mecânicos, o consumo agregado dos ventiladores e bombas é bastante relevante, representando uma elevada fração do consumo total.

Independentemente da estratégia de ventilação considerada, o arrefecimento é sempre responsável por grande parte do consumo total refletindo a influência da carga térmica nesta tipologia de uso de edifícios.

Embora um edifício de serviços deste tipo não tenha grande consumo de AQS, necessita sempre de alguma quantidade de água quente. Com base em [RSECE, (2006)] estimou-se um consumo diário de duzentos litros de água a 60°C. A potência gasta na produção de AQS é calculada da seguinte forma:

$$Q = m \cdot n_d \cdot C_p \cdot \Delta T / \varepsilon. \quad (3.1)$$

em que:

$m$  – massa de água quente consumida [kg/dia];

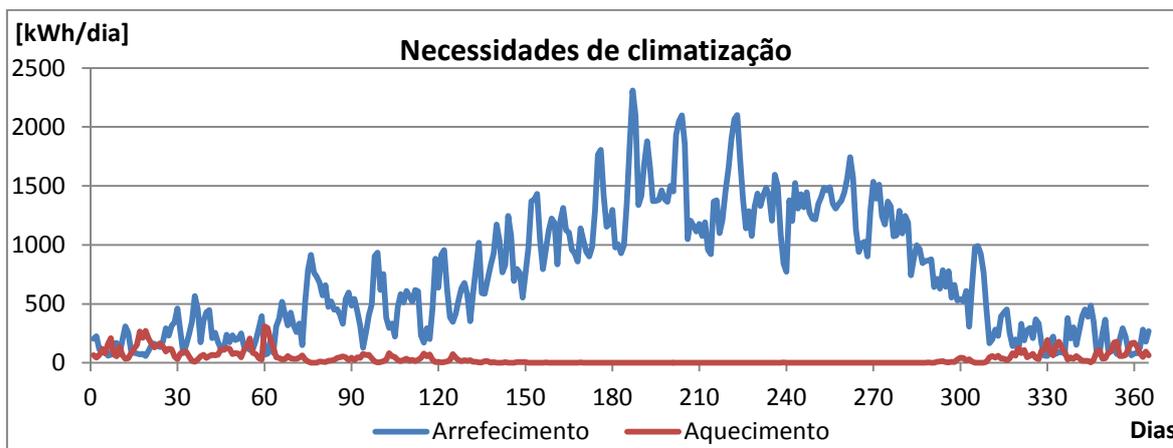
$n_d$  – número de dias em que existe consumo de AQS [ $n_d = 365$  dias/ano]

$C_p$  – calor específico da água [J/kg\*°C];

$\Delta T$  - diferença entre a temperatura de abastecimento e a temperatura de consumo (final) da água [°C];

$\varepsilon$  – eficiência do sistema de preparação de AQS (águas quentes sanitárias).

Como podemos verificar na Figura 3.6, o edifício necessita praticamente de arrefecimento durante todo o ano. Assim, e analisando o funcionamento do sistema de produção de calor na Figura 2.4, verifica-se que quando há necessidade de produzir frio obtemos calor em excesso. Este calor pode ser transferido para um depósito de AQS através de um circuito fechado, fazendo um pré-aquecimento desta água até 42°C, aproximadamente. Ora, isto simboliza também uma poupança que se pode retirar do sistema AVAC.



**Figura 3.6.** Necessidades de climatização.

Admitindo que a água é abastecida a 15°C e que até 42°C o seu aquecimento é gratuito sempre que é necessário arrefecimento, calcula-se na Tabela 3.8 o consumo de AQS. O aquecimento das AQS de 15°C até 42°C considera-se gratuito, pois é garantido recorrendo ao calor de rejeição do Chiller-Bomba de calor sem necessidade de consumo adicional de energia. De 42°C para 60°C é necessário um equipamento de apoio. Por exemplo, um Termoacumulador elétrico com uma eficiência de 0,80 [RCCTE, (2006)]. É considerada uma tarifa de energia de 14 cêntimos por cada kWh (0,14€/kWh) de eletricidade (energia final).

**Tabela 3.8.** Consumos de AQS.

m [Kg]	Cp [j/(Kg.°C)]	T.i. [°C]	T.f. [°C]	Q [kWh/ano]	[€]
200	4178	15	42	2.859	400
		42	60	1.906	267

Deste modo, por ano são poupados 400 € mas, são sempre necessários, no mínimo, 267 € no aquecimento de águas sanitárias.

Na Figura 3.7 e na Tabela 3.9 são apresentados os consumos totais do edifício, onde se incluem os dos sistemas AVAC, da iluminação, dos equipamentos do edifício e os de AQS. Obviamente, os consumos da iluminação e dos equipamentos são independentes da estratégia de ventilação implementada e portanto os seus valores são constantes, no entanto, influenciam o comportamento energético do edifício. Ainda sobre o consumo de AQS a poupança vista anteriormente apenas pode ser considerada para os sistemas de

ventilação mecânicos, pois com ventilação natural não é necessário arrefecer todo o ano pelo que será considerado só metade do ano.

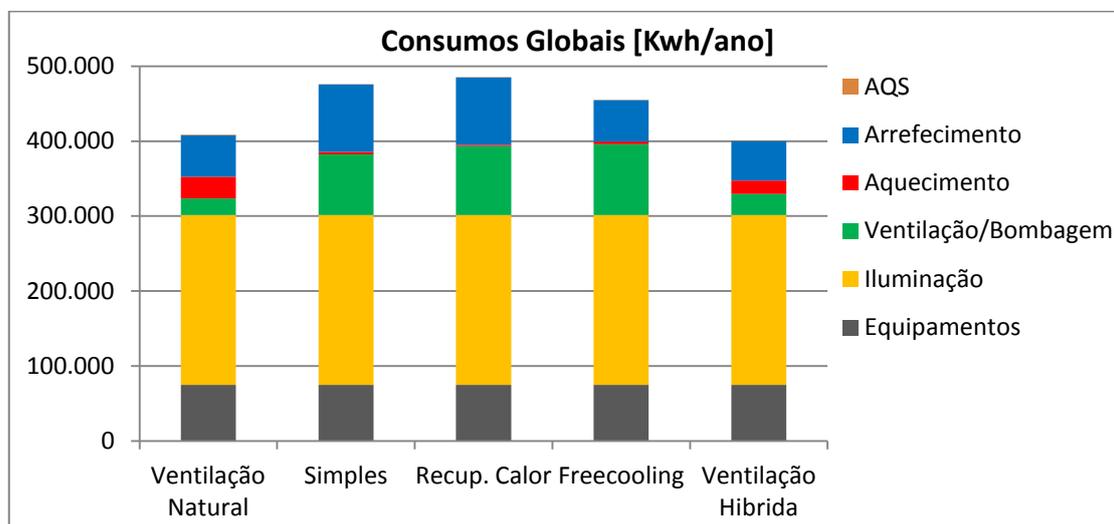


Figura 3.7. Consumos globais anuais do edifício.

Tabela 3.9. Consumos anuais do edifício

[kwh/ano]	Ventilação Natural	Ventilação Mecânica			Ventilação Híbrida
		Simples	Recup. Calor	Freecooling	
<b>AQS</b>	3 335	1 906	1 906	1 906	1 906
Custo [€]	466	267	267	267	267
<b>Iluminação</b>	326 646	326 646	326 646	326 646	326 646
Custo [€]	45 730	45 730	45 730	45 730	45 730
<b>Equipamentos</b>	74 821	74 821	74 821	74 821	74 821
Custo [€]	10 475	10 475	10 475	10 475	10 475
<b>Aquecimento</b>	29 283	3 405	1 832	3 405	17 913
Custo [€]	4 100	477	256	477	2 508
<b>Arrefecimento</b>	55 398	89 727	89 727	55 156	52 569
Custo [€]	7.756	12.562	12.562	7.722	7.360
<b>Ventilação/B.</b>	22 009	81 024	91 906	94 722	28 325
Custo [€]	3 081	11 343	12 867	13 261	3 966
<b>TOTAL</b>	511 492	577 529	586 838	556 656	502 180
<b>Custo [€]</b>	71 608	80 854	82 157	77 932	70 305
<b>Poupança [€]</b>	9 246	-	-1 303	2 922	10 549

Analisando os valores constantes na Tabela 3.9 e representados graficamente na Figura 3.7, a ventilação e a climatização representam, em média, mais de 30% do consumo energético do edifício. O arrefecimento e a ventilação representam a maioria da

energia gasta no sistema AVAC. O aquecimento, como era previsível, tem um impacto muito pouco significativo. É importante realçar que a iluminação representa a maior fatia do consumo energético do edifício (cerca de metade).

Por ser o mais comum nesta tipologia de edifícios, assume-se como referência o caso de ventilação mecânica simples. Utilizando esta estratégia de ventilação e assumido apenas equipamentos elétricos, são consumidos no edifício 577 529 kWh/ano de energia elétrica, representando um consumo anual de cerca de 80 854 €.

Verifica-se que equipar os sistemas de ventilação mecânica com equipamentos que permitam a recuperação do calor do ar de rejeição não trás vantagens. Antes pelo contrário, aumenta o consumo total de energia pelo edifício para 586 838 kWh/ano, com um custo associado de mais 1 303 €/ano do que no caso de ventilação mecânica simples.

Já a implementação de sistemas de arrefecimento noturno (*freecooling*) revela-se eficaz na redução do consumo energético anual do edifício. Apresenta uma poupança que ronda os 3 000 €/ano, mais precisamente 2 922 €/ano.

A ventilação natural, com um consumo global de energia de 511 492 kWh/ano, correspondendo a um gasto de 71 608 €/ano, apresenta uma poupança em relação à situação de ventilação mecânica simples de 9 246 €/ano. Isto parece contraditório em relação ao que foi dito aquando da comparação das necessidades de energia (energia útil), mas não é. Embora com a ventilação natural sejam maiores as necessidades de energia para a climatização, as de ventilação e bombagem são substancialmente menores. Ora, a eficiência das máquinas de fluxo é de apenas 0,7, enquanto a de aquecimento é 4 e a de arrefecimento 3. E isto faz diferença.

Pelas razões anteriores e ainda por apresentar menores necessidades de energia para climatização do que a ventilação natural, a ventilação híbrida é a que apresenta o melhor comportamento energético. Com a renovação de ar por ventilação híbrida o edifício consome 502 180 kWh/ano de energia elétrica, a qual tem um custo aproximado de 70 305 €/ano, representando uma poupança de 10 549 €/ano em relação á situação de ventilação mecânica simples.

Em termos de consumo global de energia pelo edifício e dos correspondentes gastos, as estratégias de renovação de ar do edifício podem ser classificadas pela seguinte ordem (da melhor para a pior): 1º) Ventilação híbrida; 2º) Ventilação natural, 3º) Ventilação mecânica com freecooling, 4º) Ventilação mecânica simples, 5º) Ventilação

mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição. Ou seja, a melhor estratégia para a renovação do ar interior dos edifícios com elevadas cargas térmicas internas e utilização intermitente é a ventilação híbrida.

## 4. CONCLUSÕES

Pretendeu-se, com este trabalho, relacionar as estratégias de renovação do ar interior dos edifícios de serviços com utilização intermitente e elevadas cargas térmicas internas e o consequente consumo de energia para realizar as funções de climatização e de ventilação. Selecionou-se como representativo desta tipologia de uso um supermercado. Assumiu-se que o edifício está localizado numa zona com clima moderado (a periferia da zona urbana de Coimbra), que tem inércia térmica fraca (que é a mais recomendada para este tipo de edifícios) e que possui as características térmicas necessárias para ser considerado como regulamentar no âmbito da legislação nacional.

Assumiu-se como alternativas para a renovação do ar interior a ventilação puramente mecânica, a ventilação natural e a ventilação híbrida. No caso da renovação do ar ser assegurada exclusivamente por sistemas mecânicos, foi analisada ainda a influência de duas estratégias potencialmente economizadoras de energia: a recuperação de calor do ar de rejeição e o arrefecimento gratuito (*freecooling*).

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos com recurso a um *software* de simulação dinâmica do comportamento energético de edifícios, o programa *EnergyPlus* com a interface gráfica *DesignBuilder*.

Em termos de necessidades de energia para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação constatou-se:

- No geral, o edifício apresenta necessidades de arrefecimento mais elevadas do que as de aquecimento, o que traduz o elevado nível de carga térmica desta tipologia;
- Quando o edifício é ventilado por sistemas puramente mecânicos não equipados com sistemas economizadores, as necessidades de energia para climatização e ventilação são maiores comparativamente aos sistemas de ventilação natural ou híbrida. Por outro lado, é com ventilação mecânica que conseguem garantir as melhores condições de conforto térmico e QAI;
- Equipar os sistemas de ventilação mecânica com equipamentos de recuperação de calor do ar de rejeição diminui efetivamente as necessidades de aquecimento, por outro lado, as de ventilação e bombagem aumentam consideravelmente. Como as necessidades de aquecimento são baixas, o que se poupa nelas não compensa o

---

aumento provocado nas necessidades de ventilação, pelo que a implementação desta estratégia não traz qualquer vantagem;

- Face à ventilação mecânica, a ventilação natural requer menores necessidades de energia para as funções de climatização e ventilação. No entanto, como neste caso as taxas de renovação de ar são diretamente dependentes das condições atmosféricas leva a grandes variações do caudal de ar renovado, chegando a afastar-se substancialmente do valor recomendado, pondo em causa a QAI e o conforto térmico;

- Com a estratégia de ventilação híbrida as necessidades de energia para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação são menores do que quando a renovação do ar é assegurada por ventilação natural. Este facto deve-se sobretudo à regularização de caudais promovida pelos ventiladores. Nesta situação as condições de conforto térmico e QAI melhoram em relação à ventilação natural;

- Equipar os sistemas de ventilação mecânica com estratégias de ventilação noturna (*freecooling*) leva a uma diminuição das necessidades de arrefecimento e a um aumento das de ventilação e bombagem. Com esta estratégia de ventilação as necessidades totais para as funções de climatização e ventilação são substancialmente menores do que com as outras alternativas, colocando este sistema no que requer menores necessidades para estas funções.

Quando analisados em termos de consumos globais de energia para o edifício as estratégias de renovação do ar baseadas em sistemas exclusivamente mecânicos são mais exigentes, resultado das grandes necessidades de ventilação que exigem e também pela grande diferença entre as eficiências dos ventiladores e as do Chiller/Bomba de calor. Dentro dos sistemas de ventilação mecânica o que apresenta maior consumo energético é a ventilação mecânica com recuperação do calor do ar de rejeição, seguida da ventilação mecânica sem dispositivos economizadores e depois a ventilação mecânica com *freecooling*.

A estratégia de ventilação natural apresenta menores consumos do que as de ventilação puramente mecânica. Por sua vez a ventilação híbrida é a que requer o menor consumo energético pois conjuga o melhor da ventilação mecânica com o da natural. Esta garante a transferência de ar em espaços com o auxílio de ventiladores o que globalmente estabiliza os caudais. Assim consegue garantir uma melhor QAI em relação à ventilação

natural, mas sem os exagerados consumos em termos de ventilação da ventilação mecânica.

Face a conseguir assegurar níveis razoáveis de QAI e de conforto térmico com o mais baixo consumo de energia, entre as estratégias de ventilação avaliadas, conclui-se que a melhor estratégia para a renovação do ar interior dos edifícios de serviços com elevadas cargas térmicas internas e utilização intermitente é a ventilação híbrida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, M., (2008), Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação.
- ASHRAE (2005). ASHRAE Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, retirado de Rui Almeida, 2008, A Ventilação e o RSECE nas Escolas: Estudo de Impacto Energético e Estratégias de Mitigação, Dissertação para a obtenção do grau de mestre da faculdade de Engenharia do Porto
- ASHRAE 62 (1989), Ventilation for acceptable indoor air quality
- Axley, J. W., Emmerich, S. J., Walton, G. N., (2002), (ASHRAE-Members) Modeling the Performance of a Naturally Ventilated Commercial Building with a Multizone Coupled Thermal/Airflow Simulation Tool.
- DesignBuilder (2009) software, "DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation", DB v2.3.
- DGEG, 2010, Guia de Eficiência energética 2010
- EN 13779, (2007), Ventilation for non-residential buildings
- Gameiro, D., (2011), Influência da metodologia de determinação dos caudais de ar novo nos custos de investimento e exploração do sistema de AVAC de um edifício escolar, VI Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da Ordem dos Engenheiros.
- Lina, (2005), Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China, ELSEVIER, Building and Environment 40 (2005) 738–746.
- Mateus, D., (2011), Análise da influência da inércia térmica no desempenho energético dos edifícios de serviços, Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente, DEM, FCTUC.
- NP 1037-1, (2002), Norma Portuguesa 1037, Parte:1, Edifícios de habitação. Ventilação natural
- NP 1037-2, (2002), Norma Portuguesa 1037 (2002) Parte:2, Edifícios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples.
- NP 1037-3, (2002), Norma Portuguesa 1037 (2002) Parte:3, Volume dos locais. Posicionamento dos aparelhos a gás.

- 
- NP 1037-4, (2002), Norma Portuguesa 1037 (2002) Parte:4, Instalação e ventilação de cozinhas profissionais.
- Pinto, M. , Silva, F., Freitas, V.,(2007) Engenharia e Vida, N.38 Setembro 2007 (Sustentabilidade) Modelos preditivos para ventilação natural..
- Ponte, B., (2009), Estudo do desempenho dos sistemas de ventilação híbrida na renovação de ar interior de lares de terceira idade, Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente, DEM, FCTUC
- Raimundo, A., (2008), Cálculo do comportamento térmico de edifícios através do modelo dinâmico horário monozona 5R1C, II Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica Universidade de Aveiro, 8-9 de Maio de 2008
- Raimundo, A., Cardoso, O., (2011), APLICAÇÃO DA VENTILAÇÃO HÍBRIDA NA RENOVAÇÃO DO AR DE EDIFÍCIOS NÃO RESIDENCIAIS COM OCUPAÇÃO PERMANENTE, CIBEM 10 – X Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, Porto, Portugal, 4 a 7 de Setembro de 2011
- Raimundo, A.M., (2009), Módulo técnico de RSECE – Energia dos cursos de formação SCE do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, Coimbra.
- RCCTE, (2006) (Decreto-Lei nº 80/2006), Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República nº 67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.
- RSECE, (2006), (Decreto-Lei nº 79/2006), Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Diário da República nº 67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.
- Seppänen, O. (2007) Ventilation strategies for good indoor air quality and energy efficiency, International Journal of Ventilation ISSN 1473-3315 Volume 6 No 4.
- Silva, N., (2011), Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes, Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente, DEM, FCTUC
- Swami, M. V., Chandra, S., (1988), “Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow”, ASHRAE Transactions, 94: 243–266, 1988, retirado de António Raimundo e Octávio Cardoso, 2011.
- Viegas, J., (2000), Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, LNEC, Lisboa.
- Zhao, Y., (2007), A DECISION-SUPPORT FRAMEWORK FOR DESIGN OF

NATURAL VENTILATION IN NON-RESIDENTIAL BUILDINGS,  
Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and  
State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of  
Doctor of Philosophy In Architecture Design Research.

## ANEXO A

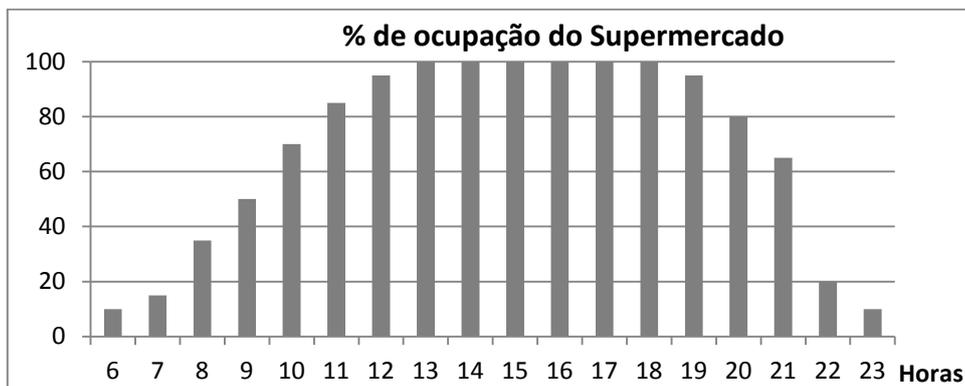


Figura A.1. Perfil de ocupação da zona 1

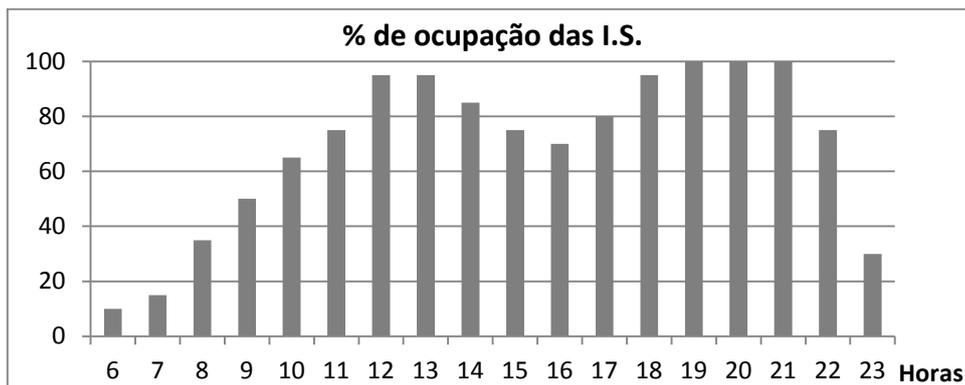


Figura A.2. Perfil de ocupação da zona 2

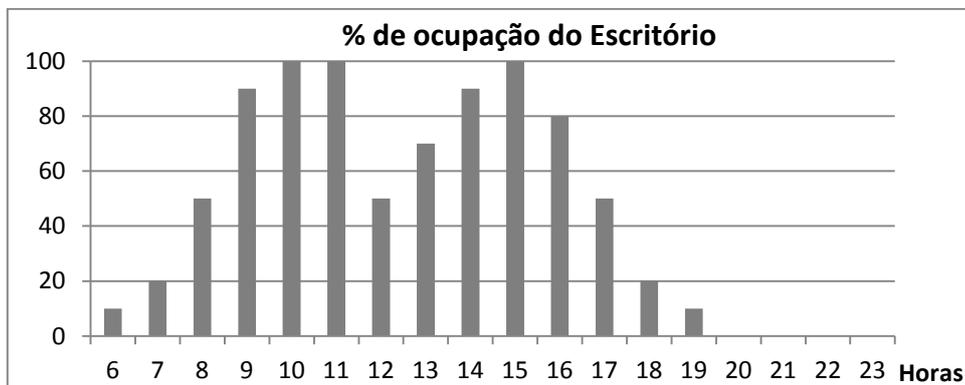


Figura A.3. Perfil de ocupação da zona 3

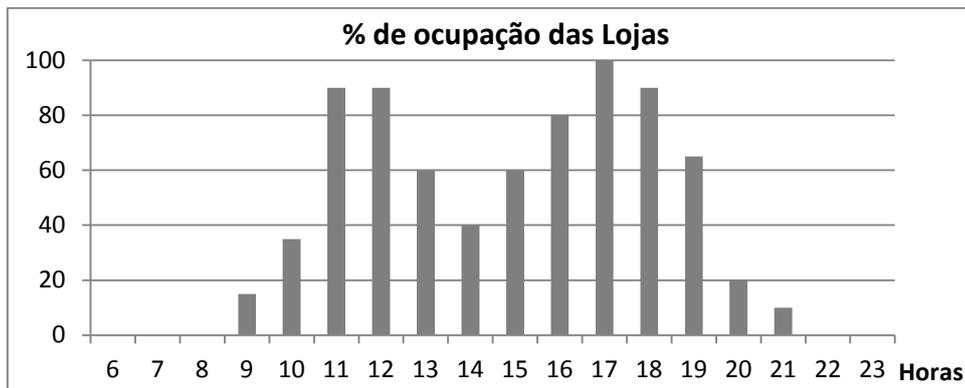


Figura A.4. Perfil de ocupação da zona 4

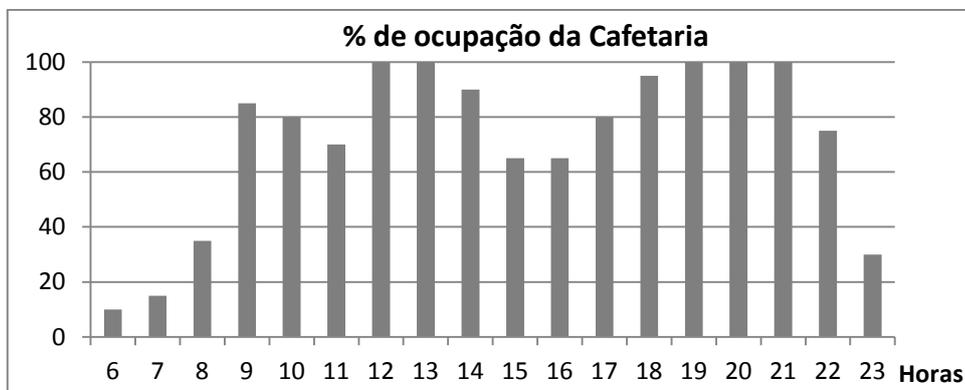


Figura A.5. Perfil de ocupação da zona 5

Tabela A.1. Ventiladores.

Zona	Função	Caudal	Tempo de operação	Potência instalada	Consumo anual
		[m <sup>3</sup> /h]	[h/ano]	[Kw]	[Kwh/ano]
Apoio	Extração	1769	6570	0,6	3942
Cafeteria	Insuflação	269	6570	0,073	480
<b>TOTAL</b>					<b>4422</b>

## ANEXO B

Apresento aqui os gráficos relativos à distribuição das temperaturas e à renovação do ar interior dos vários espaços e para cada simulação.

Renovação do ar interior apenas por ventilação natural:

CAFETARIA

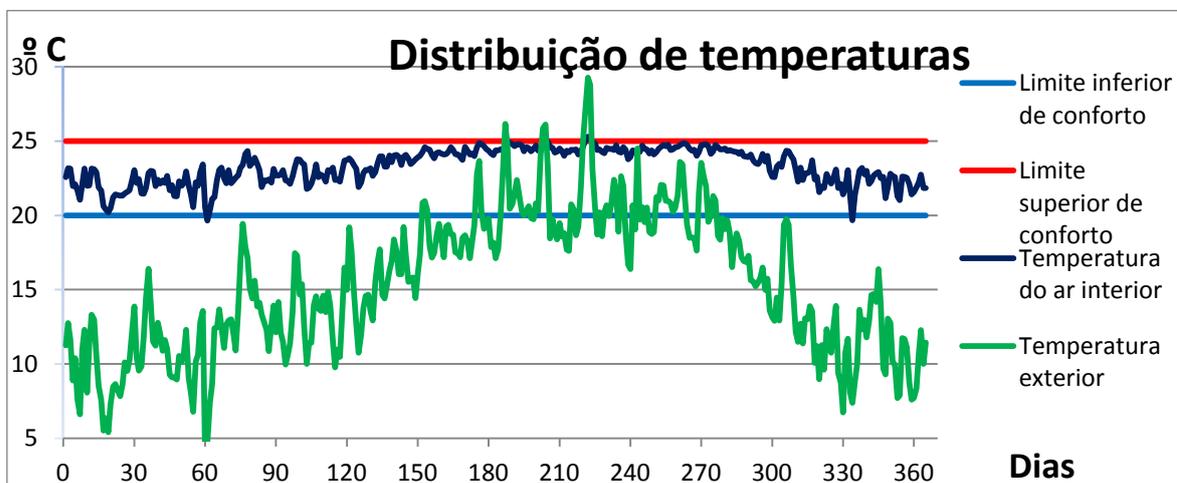


Figura B.1. Distribuição de temperaturas ao longo do ano na cafeteria.

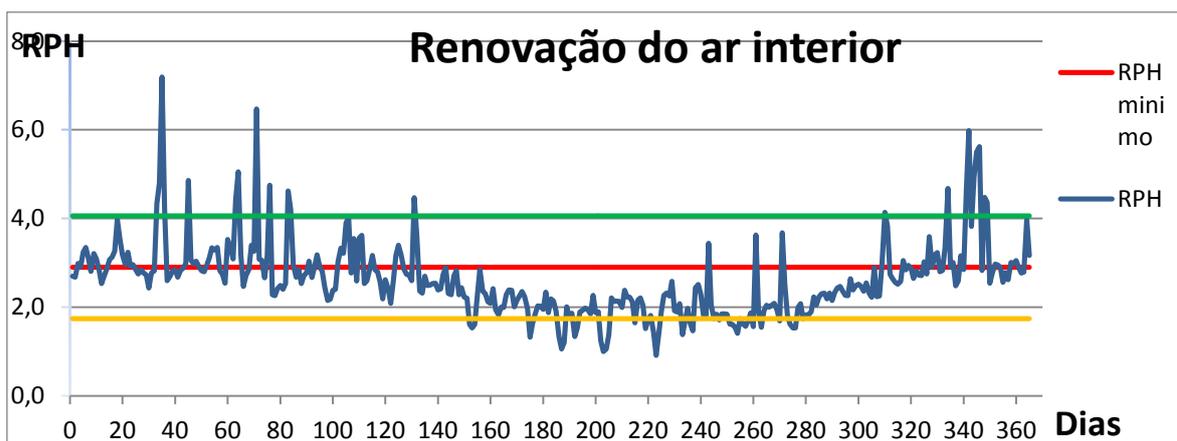


Figura B.2. Renovação do ar interior ao longo do ano na cafeteria\_3.1.

ESCRITÓRIO

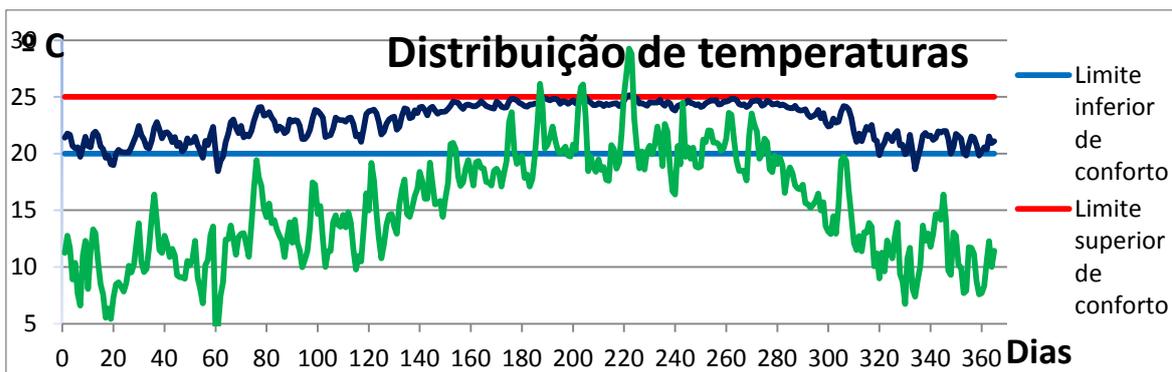


Figura B.3. Distribuição de temperaturas ao longo do ano\_3.1.

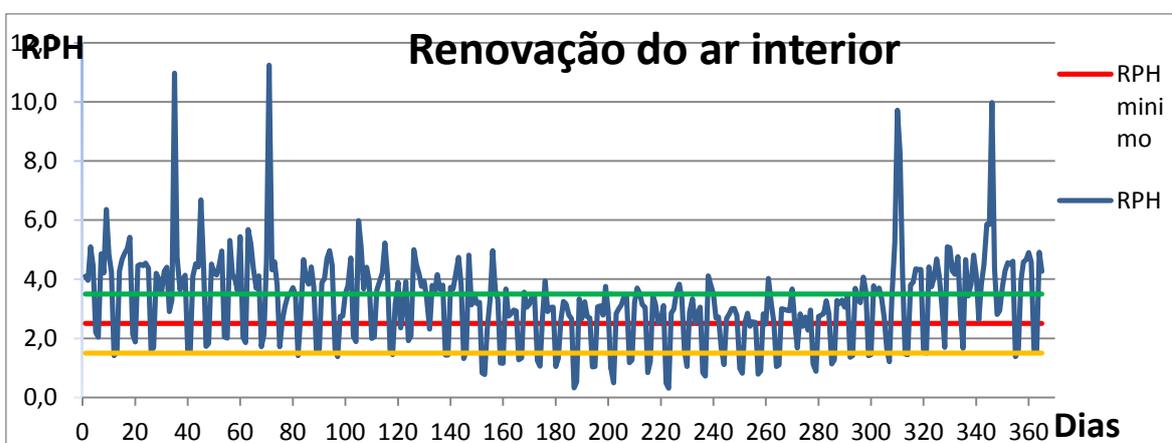


Figura B.4. Renovação do ar interior ao longo do ano no escritório\_3.1.

LOJAS

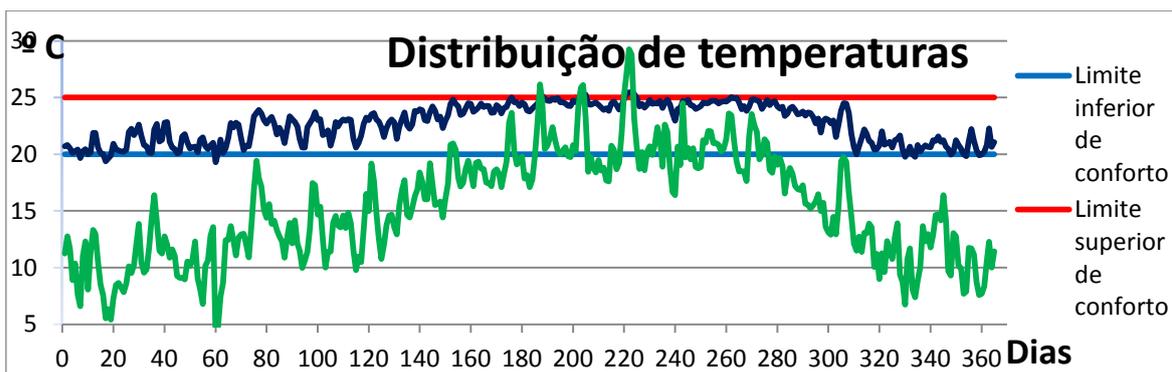


Figura B.5. Distribuição de temperaturas ao longo do ano nas lojas\_3.1.

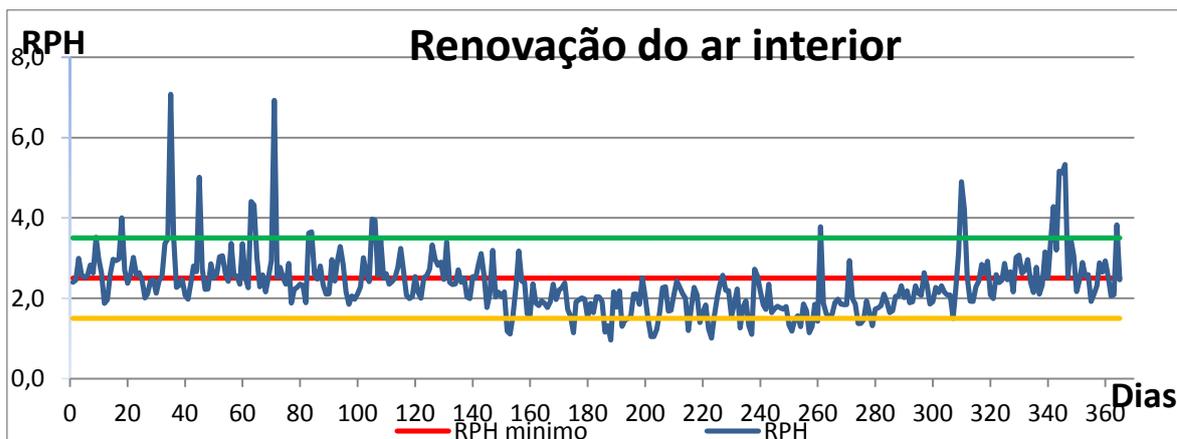


Figura B.6. Renovação do ar interior ao longo do ano nas lojas\_3.1.

### SUPERMERCADO

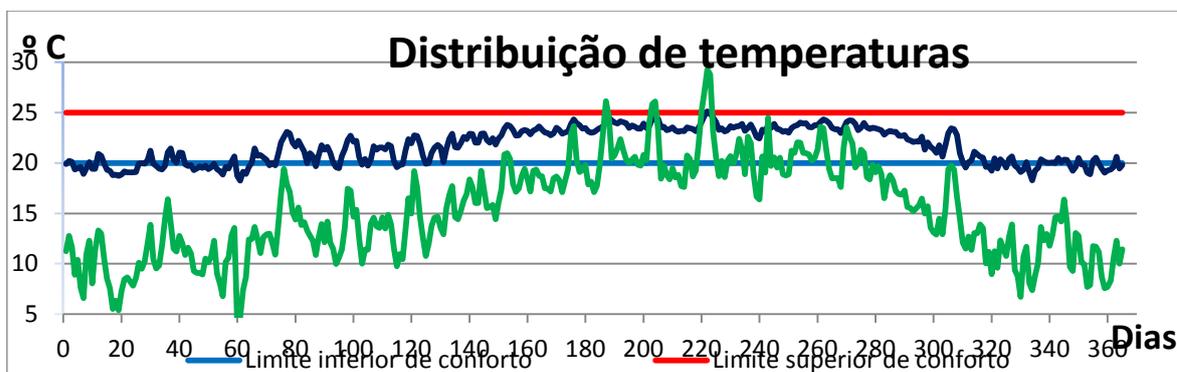


Figura B.7. Distribuição de temperaturas ao longo do ano no supermercado\_3.1.

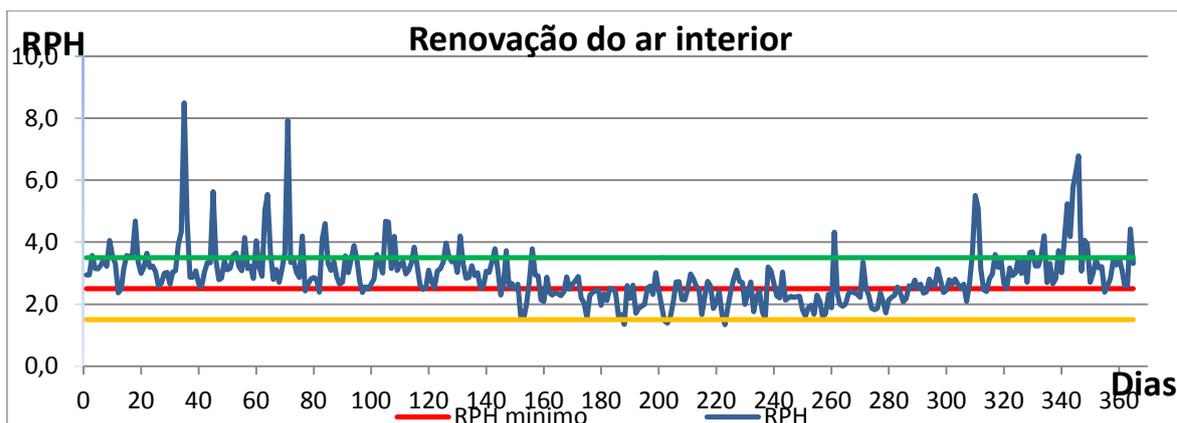


Figura B.8. Renovação do ar interior ao longo do ano no supermercado\_3.1.

Apresentam-se as necessidades e os consumos específicos para cada zona e para os vários sistemas AVAC.

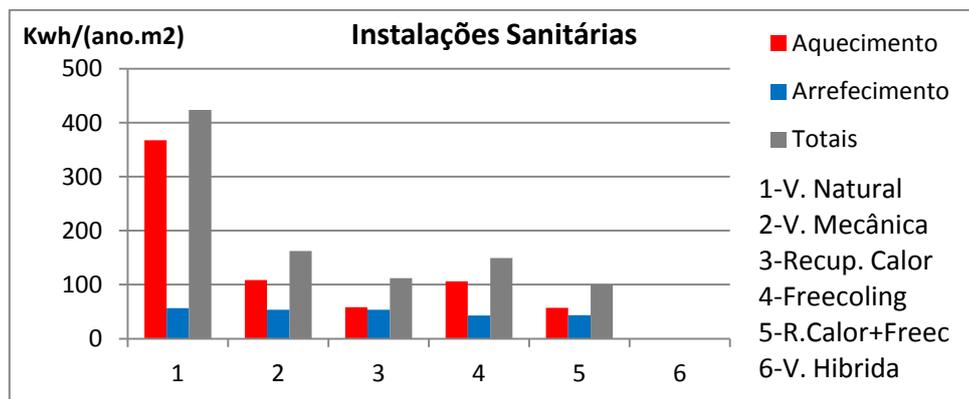


Figura B.9. Necessidades específicas anuais de climatização\_I.S.

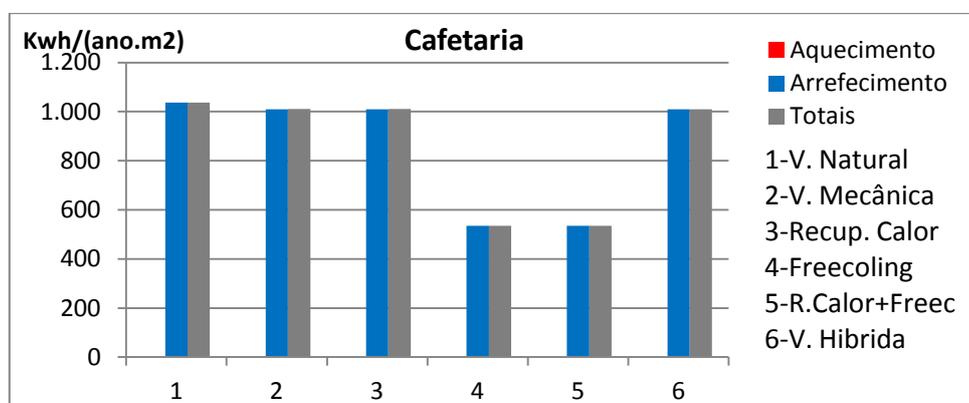


Figura B.10. Necessidades específicas anuais de climatização\_Cafeteria.

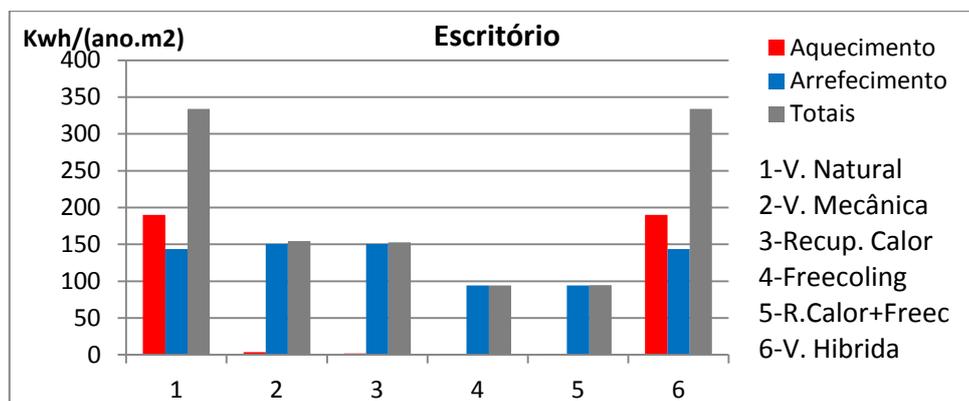


Figura B.11. Necessidades específicas anuais de climatização\_Escritório.

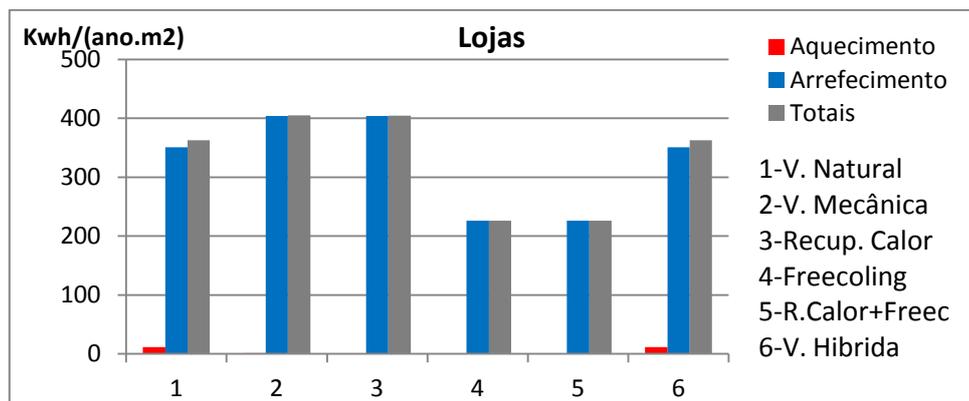


Figura B.12. Necessidades específicas anuais de climatização\_Lojas.

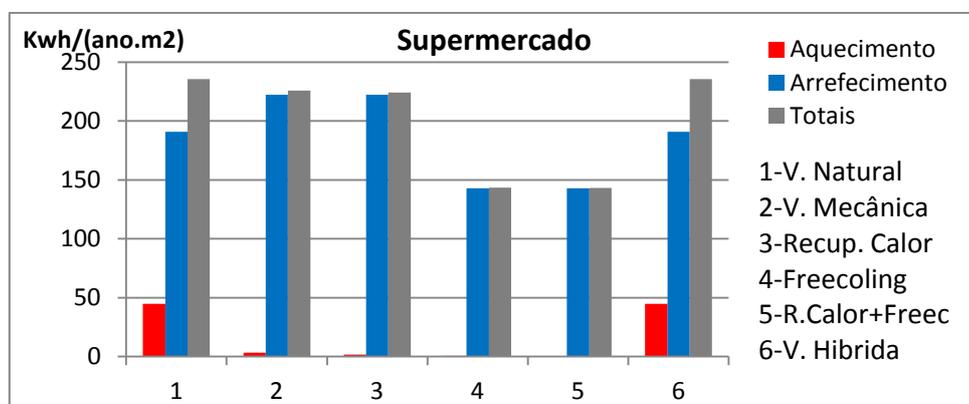


Figura B.13. Necessidades específicas anuais de climatização\_Supermercado.

A tabela seguinte é uma tabela resumo das necessidades dos vários sistemas.

A figura seguinte representa os consumos específicos das diferentes zonas em iluminação e nos equipamentos no interior de cada uma.

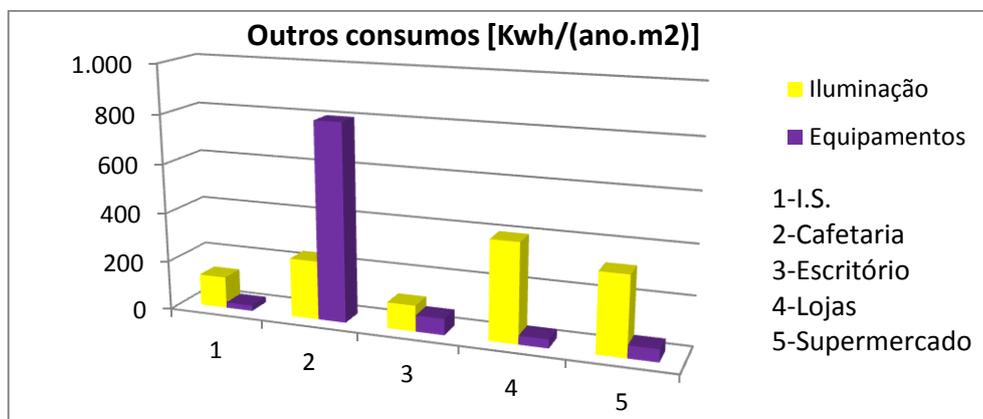


Figura B.14. Consumos específicos anuais de iluminação e equipamentos de cada zona.

Influência da estratégia de ventilação no consumo energético dos edifícios de serviços com utilização intermitente e elevadas cargas térmicas internas **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

---