

Guia de aplicação para a requalificação energética de edifícios patrimoniais e históricos



Proyecto:

RENERTH (www.renerpath.eu)

Requalificação Energética de Edifícios Patrimoniais e Históricos

O consorcio é composto por:

CARTIF:	Fundación CARTIF (España)
CTCV:	Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (Portugal)
RECET:	Associação dos Centros Tecnológicos de Portugal (Portugal)
EREN:	Ente Regional de la Energía de Castilla y León (España)
FCR:	Fundación Ciudad Rodrigo 2006 (España)



Este manual foi elaborado no âmbito do projecto 0475_RENERPATH_3_E, co-financiado por fundos europeus através do Programa Operativo de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal 2007-2013 (POCTEP) (www.poctep.eu)

Edita: Junta de Castilla y León
Consejería de Economía y Empleo
Ente Regional de Energía de Castilla y León

Diseño: Imprenta Sorles. LEÓN
www.sorlesimprentaonline.es

Déposito Legal: LE-1289-2012

ÍNDICE

1. Introdução	7
2. Metodologia	8
2.1. Caracterização do edifício patrimonial	9
2.1.1. Caracterização de envolventes mediante técnicas não intrusivas	9
2.1.2. Caracterização das necessidades energéticas actuais do edifício	9
2.1.3. Caracterização das instalações energéticas	9
2.1.4. Criação do modelo energético do edifício e simulação dinâmica.....	10
2.2. Identificação de medidas de eficiência energética aplicáveis	10
2.3. Simulação dinâmica e quantificação de acções de melhoria identificadas.....	11
3. Técnicas não intrusivas na caracterização da envolvente dos edifícios.....	12
4. Soluções energéticas aplicáveis a edifícios patrimoniais	18
4.1. Envolvente. Novos conceitos de fachadas	18
4.1.1. cBloco – Tijolos cerâmicos de alvenaria	18
4.1.2. Solar Tiles – Sistemas solares fotovoltaicos em coberturas e revestimentos cerâmicos	19
4.2. Climatização.....	21
4.2.1. Sistemas de distribuição de energia	22
4.2.2. Sistemas de produção de energia.....	26
4.2.3. Soluções portáteis de aquecimento-arrefecimento	30
4.3. Iluminação	32
4.3.1. Classificação dos sistemas de iluminação	32
4.3.2. Componentes dos sistemas de iluminação.....	34
5. Simulação dinâmica energética de edifícios.....	37
6. Aplicação da metodologia. Casos de estudo	39
6.1.1. Edifícios de culto	39
6.1.2. Edifícios patrimoniais de uso civil	45
6.2. Critérios de iluminação.....	48
7. Bibliografia.....	52

1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste manual é estabelecer um procedimento que auxilie na reabilitação de edifícios patrimoniais, visando o aumento da eficiência energética através da apresentação de medidas típicas URE. Assim, pretende-se que os proprietários e gestores destes edifícios sejam orientados para a escolha correcta dos dados mais adequados para cada caso em função das suas características.

Como casos de estudo seleccionaram-se a catedral em Ciudad Rodrigo (Espanha) e ao Paço Episcopal de Pinhel (Portugal). Nestes, procedeu-se à caracterização da envolvente, e recolheram-se dados que serviram de base, estudou-se um leque de medidas passíveis de serem implementadas para o aumento do conforto térmico conduzindo a uma poupança energética e financeira.

Paralelamente à caracterização destes edifícios realizou-se, com recurso à simulação dinâmica, a caracterização térmica de modo a quantificar quais as necessidades energéticas de cada um para atingir o conforto térmico.

O manual apresenta inicialmente a metodologia para a reabilitação, segundo a técnica RENERPATH. Seguidamente, apresentam-se as técnicas para caracterização dos edifícios, segundo esta metodologia, e as medidas de melhoria do conforto térmico. Finalmente abordam-se os dois casos de estudo onde foi aplicada esta metodologia.

O procedimento foi desenvolvido no âmbito do projecto RENERPATH “Metodología De Reabilitación Energética De Edificios Patrimoniais” (www.renerpath.eu) enquadrado no programa POCTEP (Programa Operacional de Cooperação Fronteira Espanha - Portugal).

2. METODOLOGIA

A metodologia de reabilitação de edifícios patrimoniais RENERPATH, pretende facilitar o trabalho de reabilitação energética, estabelecendo um novo método de trabalho. Para detectar e quantificar as medidas de eficiência energética mais adequadas a aplicar em cada edifício, considerando todas as variáveis particulares e aplicando técnicas de medição não intrusivas para a caracterização e ferramentas de simulação para avaliação do seu impacto.

Dada a dificuldade de intervenção nos edifícios patrimoniais, deve-se reunir toda a informação disponível que não obrigue a uma intervenção garantindo o sucesso da sua aplicação, minimizando os efeitos sobre o próprio edifício.

As etapas estabelecidas pela metodologia, no estudo de cada edifício, são as seguintes:

- Caracterização energética do edifício patrimonial considerado.
- Identificação das medidas de redução do consumo energético.
- Simulação dinâmica e quantificação do efeito da aplicação de medidas de eficiência energética sobre o desempenho do edifício.

Após a realização da última etapa, os gestores e proprietários dos edifícios, terão à sua disposição informação suficiente para avaliar o impacto energético das medidas previamente identificadas, e determinar a viabilidade técnico-económica da sua implementação.

2.1. Caracterização do edifício patrimonial

Esta etapa pretende caracterizar o comportamento energético do edifício, mediante a aplicação de técnicas e procedimentos que não afectem o seu estado actual.

2.1.1. *Caracterização de envolventes mediante técnicas não intrusivas*

Um dos maiores inconvenientes que enfrentados na maioria dos casos, aquando da planificação de intervenções em edifícios patrimoniais, é a falta de informação oficial quer a nível construtivo, instalações, materiais empregues, características térmicas, etc. Por isso, para ultrapassar estas dificuldades, surge uma técnica inovadora que combina de técnicas de digitalização 3D, medição infravermelha (reflectividade e emissividade) e medição da condutibilidade térmica, permitindo obter um modelo digital da envolvente com as principais propriedades térmicas identificadas. A construção de um modelo devidamente caracterizado é o principal *input* nas simulações dinâmicas, permitindo identificar e avaliar potenciais medidas de melhoria.

2.1.2. *Caracterização das necessidades energéticas actuais do edifício*

Para satisfazer as necessidade de conforto interior, tanto térmicas como de iluminação, é necessário consumir uma determinada quantidade de energia, que geralmente é electricidade e/ou combustíveis fósseis. A partir da realização de uma auditoria ao edifício será possível definir os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, que conjuntamente com a análise das facturas energéticas permite determinar as curvas de consumo de energia e modelar as necessidades energéticas do edifício.

A definição dos períodos de funcionamento dos sistemas do edifício permite obter uma modelação energética que se reflectirá na factura energética, geralmente mensal ou bimestral, associada às fontes de abastecimento: electricidade, combustíveis, etc.

2.1.3. *Caracterização das instalações energéticas*

Para além da caracterização da envolvente, é importante e necessário a identificação dos diferentes sistemas energéticos disponíveis em cada edifício: equipamentos de climatização, equipamentos de iluminação, grandes consumidores de energia, etc...

Torna-se necessário combinar as informações provenientes dos modelos genéricos de funcionamento dos equipamentos juntamente com os dados fornecidos pelos fabricantes, sem esquecer a informação prestada pelos gestores de cada edifício.

A análise às instalações deve reflectir o peso que cada sistema tem sobre o consumo total. Por exemplo, nos edifícios de culto, a iluminação e climatização são os sistemas com maior impacto no consumo energético. No entanto, em edifícios patrimoniais de uso civil com escritórios, cozinhas, lavandarias, restaurantes, etc..., podem existir outras cargas nomeadamente a nível de equipamentos.

2.1.4. Criação do modelo energético do edifício e simulação dinâmica

A partir da informação recolhida pode-se estabelecer o modelo energético completo do edifício, que será carregado num programa de simulação dinâmica acreditado (*TRNSYS, EnergyPlus, ...*), permitindo obter a evolução ao longo do tempo, em qualquer situação, do comportamento previsível do edifício.

A afinação do modelo realiza-se com a informação pontual disponível, garantindo desta forma os resultados finais do mesmo. Desta forma, é disponibilizado um banco de ensaios virtuais sobre o qual se pode aplicar várias intervenções, sem afectar o edifício, permitindo avaliar os resultados de uma possível intervenção real com elevado grau de fiabilidade.

2.2. Identificação de medidas de eficiência energética aplicáveis

A caracterização energética de um edifício permite identificar os pontos críticos de consumo e perdas de energia, assim como possíveis acções de melhoria. A escolha das acções mais apropriadas requer a realização de uma análise das actuais soluções comerciais existentes no mercado, identificando casos de sucesso na implementação das mesmas em edifícios. Portanto, é útil dispor de uma base de dados com os diferentes sistemas, requisitos de instalação e grau de aplicabilidade em termos das suas características de uso, assim como novas técnicas de gestão, controlo e de monitorização destes sistemas. Neste guia é apresentado, numa secção posterior, uma classificação desenvolvida em torno dos principais sistemas de climatização e iluminação actuais.

2.3. Simulação dinâmica e quantificação de acções de melhoria identificadas

Tomando como ponto de partida o modelo obtido nas etapas de caracterização energética do edifício e as instalações actuais, deve-se proceder à integração no mesmo das novas acções propostas. Esta integração será alcançada nalguns casos através de ajustes de parâmetros de operação dos sistemas actuais e noutros casos através da substituição por sistemas novos mais eficientes. A simulação do novo modelo permite obter informação sobre o comportamento do edifício para a nova situação e impacto das medidas no consumo energético.

Cada acção de melhoria tem associado um investimento inicial, a realizar no momento da instalação, e um custo de exploração devido à sua operação e manutenção ao longo do tempo. Partindo destes valores, obtém-se de forma complementar a poupança energética, o retorno económico e o *payback* associado à implementação de cada medida.

Em geral, a metodologia de reabilitação energética de edifícios patrimoniais RENERPATH, permite identificar as melhorias energéticas aplicáveis num edifício patrimonial e o seu grau de viabilidade antes da sua execução, e sem a necessidade de uma intervenção directa no edifício em estudo, com as vantagens que isso implica nos edifícios patrimoniais.

3. TÉCNICAS NÃO INTRUSIVAS NA CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS

Para a realização de uma simulação dinâmica é necessário, numa primeira fase, proceder à modelação do edifício 3D. Por serem edifícios seculares a inexistência de plantas, cortes e alçados fazem com que a construção do modelo tridimensional seja uma aproximação da realidade.

A excessiva esquematização e simplificação dos modelos 3D dos edifícios faz com que por vezes, na fase de simulação, os resultados obtidos sejam diferentes do que o observado na realidade. Este facto leva a que seja colocado em causa o estudo de medidas susceptíveis de implementação, predominantemente em edifícios culturais, dada a complexidade da envolvente e mistura de soluções construtivas numa mesma envolvente.

Torna-se assim necessário construir um modelo 3D o mais próximo da realidade possível. Para tal, existem diferentes técnicas que permitem documentar graficamente o estado do edifício, cruzando pormenores da reabilitação arquitectónica com detalhes de reabilitação:

- *Modelação em SketchUp*: permite desenhar em detalhe os edifícios. Tem a opção da georreferenciação do edifício através do GoogleMaps de modo a que se possa construir este por cima do mapa (Figura 1). O edifício pode ser exportado para o software de simulação dinâmica com recurso a plugins específicos do SketchUp.

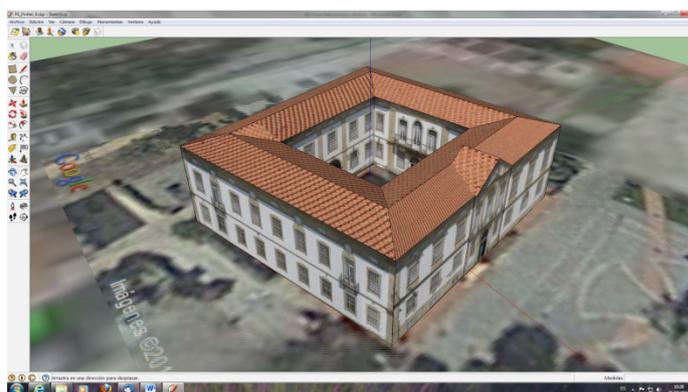


Figura 1: Modelação e georreferenciação do Paço Episcopal de Pinhel em SketchUp

- *Modelação por digitalização laser*: ao digitalizar o edifício com os equipamentos apresentados na figura 2 consegue-se obter um conjunto de pontos: coordenadas geométricas (X, Y, Z), de cor (R, G, B) índice de reflectividade (L). Este conjunto de pontos será triangulado, o que faz com que as superfícies apresentem uma exactidão milimétrica, trabalhadas directamente em CAD principalmente através do formato OBJ cuja malha em questão pode ser exportada.



Figura 2: Dados recolhidos por um scanner laser (LEICA HDS3000): conjunto de pontos, malha e índice de reflectividade

- *Modelação por fotografias*: as recentes técnicas de fotoscanner 3D permitem obter um modelo de complexidade semelhante à digitalização laser, mas neste caso com uma exactidão centimétrica. O trabalho de campo e tratamento de dados é reduzido em um quinto. Os modelos obtidos também podem ser exportados para CAD através do formato OBJ com uma textura fotorrealista e qualidade superior à recolhida por um scanner (Figura 3).

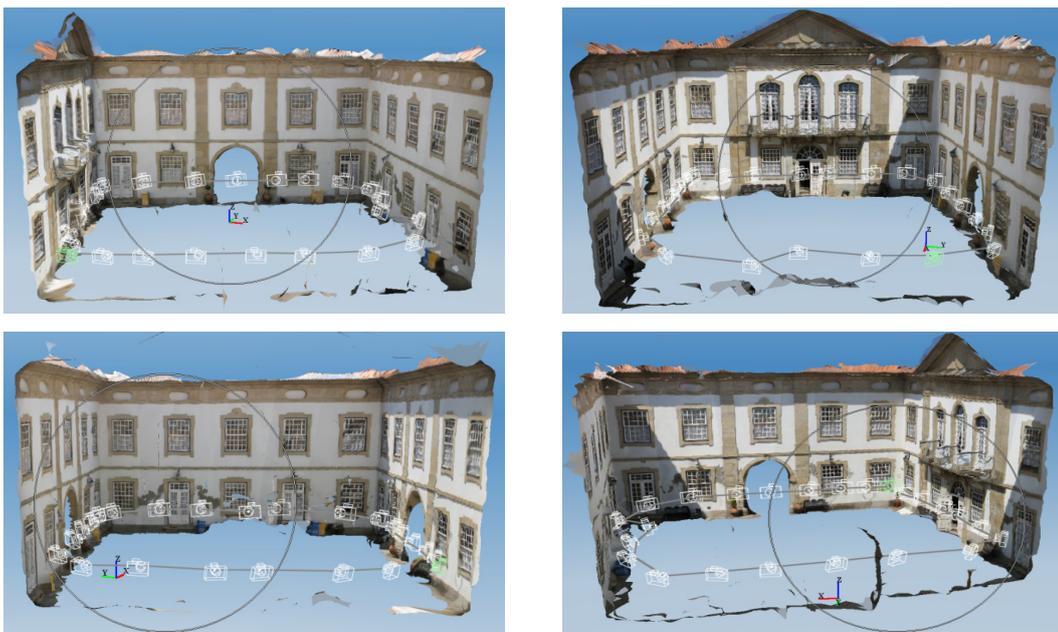


Figura 3: Fotomodelação 3D da envolvente interior do Paço Episcopal de Pinhel

Após construção do modelo do edifício, o passo seguinte é caracterizá-lo com as suas soluções construtivas de modo a que se possa proceder à simulação dinâmica em busca de possíveis melhorias para o mesmo. Para isso, neste manual propõe-se a utilização de três técnicas em conjunto: medição do índice de reflectividade, termografia e termofluxometria.

- *Medição do índice de reflectividade:* este índice obtém-se recorrendo a um scanner laser. Esta metodologia não é intrusiva, permite abarcar grandes áreas por unidade de tempo e não interage com os materiais, o que torna óptima a sua aplicação em edifícios de importância histórico-artística. Deste modo, os profissionais do sector da conservação dispõem de informação objectiva e global que permite tomar decisões sobre a aplicação de medidas.

Além disso, com esta técnica consegue-se detectar a presença de humidades, mesmo quando não são perceptíveis¹. Tal é obtido através do tratamento e análise do índice de reflectividade, ou seja, a fracção de radiação laser incidente que é reflectida pela superfície do monumento (Figura 4).

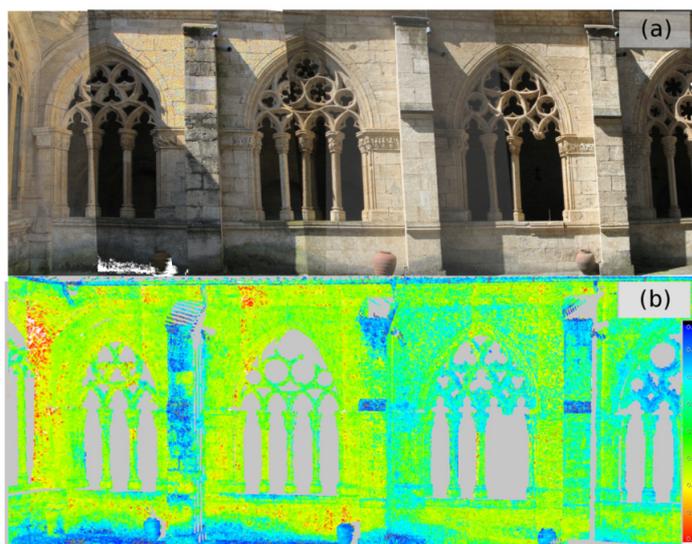


Figura 4: Claustró da Catedral de Ciudad Rodrigo: Detecção de humidades utilizando o índice de reflectividade apresentado por um scanner laser

- *Termografia.* Uma técnica que se baseia em medir a radiação Infra-vermelha emitida por uma superfície. A radiação depende de vários parâmetros entre os quais temperatura e emissividade da superfície em estudo. Mediante a análise de várias imagens termográficas, podem obter-se os vários parâmetros associados à superfície em estudo (neste caso a envolvente), caracterizando-a termicamente. Os resultados são muito intuitivos dado que são apresentadas imagens com

1 A inspeção visual é o meio convencional de detecção de humidades.

gradação de cor. Além disso, esta técnica pode ser combinada com os modelos digitalizados 3D para termografias 3D (Figura 5), o que permite determinar fácil e intuitivamente os pontos onde ocorrem as maiores perdas ou ganhos de calor, as áreas não isoladas ou com isolamento deficiente, pontes térmicas, ataques de fungos, etc.

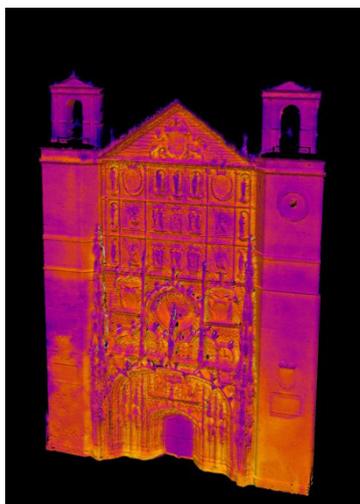


Figura 5: Modelo 3D termográfico da fachada da igreja de San Pablo de Valladolid (Cortesia CARTIF)

- **Termofluxometria.** Consiste num sistema de medição in-situ para analisar a resistência térmica e o coeficiente de transmissão térmica. Este método pode ser utilizado em medições de acordo com a norma ISO9869, ASTM C1155 e normas C1046. A determinação da resistência térmica (R), baseia-se na estimativa simultânea do fluxo de calor médio Φ (utilizando para tal um sensor de fluxo de calor, HFM) e da diferença de temperatura, ΔT entre os dois fluxímetros. A condutibilidade térmica é medida tendo por base a Lei de Fourier ($R = \Delta T / \Phi$), utilizando um fluxímetro de calor e dois termopares de contacto.

Os sensores devem montar-se de acordo com o objectivo da medição (ver Figura 6). Para determinar a condutividade térmica da envolvente, instala-se um fluxímetro (HFM) numa localização o mais representativa de todo o elemento, evitando os locais situados na proximidade de pontes térmicas planas e lineares. O sensor de temperatura (termopar) interior deve ser instalado nas proximidades do sensor HFM e o sensor temperatura exterior deve colocar-se na superfície exterior oposta o mais alinhado possível. Os sensores não devem estar sob a influência de aquecimento directo ou nas imediações de equipamentos de climatização. A superfície externa deve ser protegida da chuva, neve e luz solar directa.

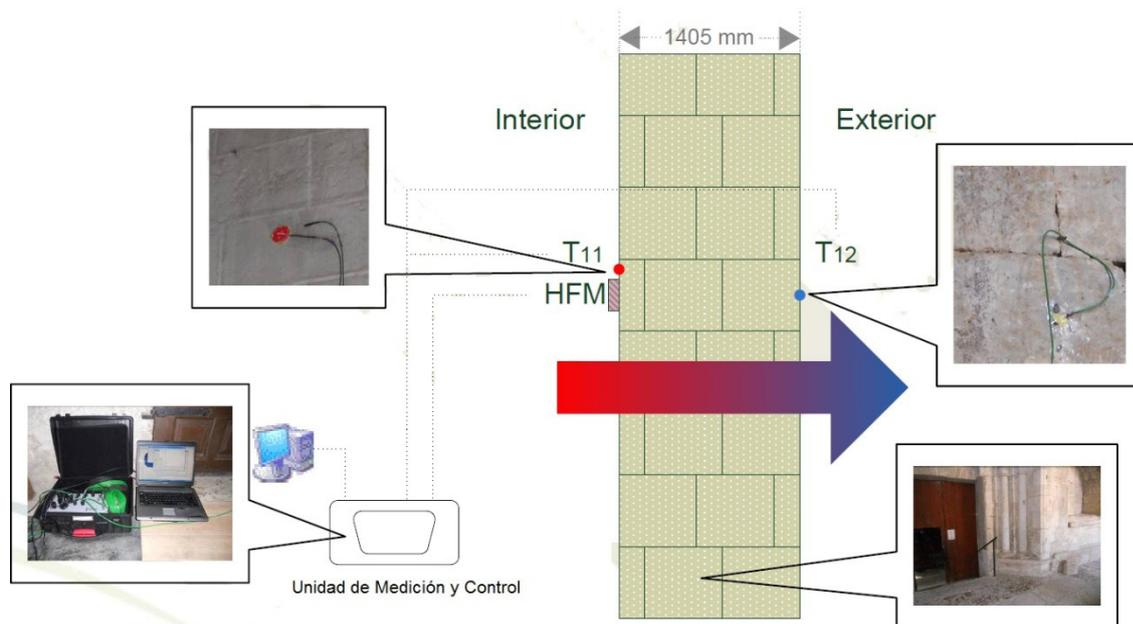


Figura 6: Esquema de instalação de componentes

As temperaturas da superfície medem-se a través de termopares e o fluxo de calor medido pelo HFM. Aplicando a lei de Fourier, apresentada anteriormente conclui-se que o calor medido é proporcional ao elemento de resistência térmica.



Figura 7: Fluxímetro de calor (HFM – Heat Flowmeter)

Na Figura 7 mostra-se uma imagem do fluxímetro de calor, com o qual se determina o fluxo térmico que atravessa a envolvente.



Figura 8: Exemplo da secção de um fluxímetro de calor

No que diz respeito à fixação temporária dos fluxímetros de calor, esta efectua-se com recurso a fita adesiva. O fluxímetro de calor deve estar em contacto directo com a superfície do elemento em estudo sendo possível o recurso a uma película fina de pasta térmica para este fim.

O anel de protecção montado ao redor do fluxímetro de calor, feito de um material similar às propriedades do fluxímetro, facilita a sua instalação.

4. SOLUÇÕES ENERGÉTICAS APLICÁVEIS A EDIFÍCIOS PATRIMONIAIS

São várias as opções disponíveis para a reabilitação energética de edifícios, sendo grande parte delas aplicáveis a edifícios patrimoniais de forma directa ou mediante de algumas modificações. Esta última está focada no modo de utilização e gestão, de acordo com os métodos ou técnicas de instalação, devido ao carácter restritivo que apresentam este tipo de edifícios patrimoniais.

De forma resumida, apresentam-se as principais soluções energéticas disponíveis no mercado e a sua classificação consoante a sua aplicabilidade e utilização no edifício. A diferenciação entre si será ao nível da envolvente do edifício, realçando os principais sistemas de consumo energético, como a climatização e a iluminação do edifício.

Pretende-se que os utilizadores, proprietários ou gerentes deste tipo de edifícios conheçam as opções tecnológicas actuais disponíveis, estabelecendo as condições de aplicabilidade destas sobre os edifícios.

4.1. Envolvente. Novos conceitos de fachadas

4.1.1. *cBloco – Tijolos cerâmicos de alvenaria*

O cBloco foi desenvolvido pelo CTCV com o objectivo de desenvolver elementos cerâmicos de elevado desempenho térmico, mecânico e acústico, para aplicação em paredes de alvenaria da envolvente e de compartimentação de edifícios. A principal razão para o seu desenvolvimento está relacionada directamente com as características térmicas das paredes.

A determinação do coeficiente de transmissão térmica, respeitando a pormenorização especificada para o sistema (geometria e constituição das unidades, juntas e reboco), permitiu obter um valor inferior a $0,60\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Pretende-se que estes novos elementos cerâmicos façam parte de sistemas integrados de construção, contendo elementos correntes e singulares, com um desempenho que permita satisfazer as exigências actuais, constantes dos regulamentos e normas técnicas existentes, térmicas, mecânicas e acústicas. Além disso, estes sistemas de alvenaria poderão ser confinados ou levemente armados, permitindo a sua utilização estrutural na construção de edifícios (ver Figura 9).

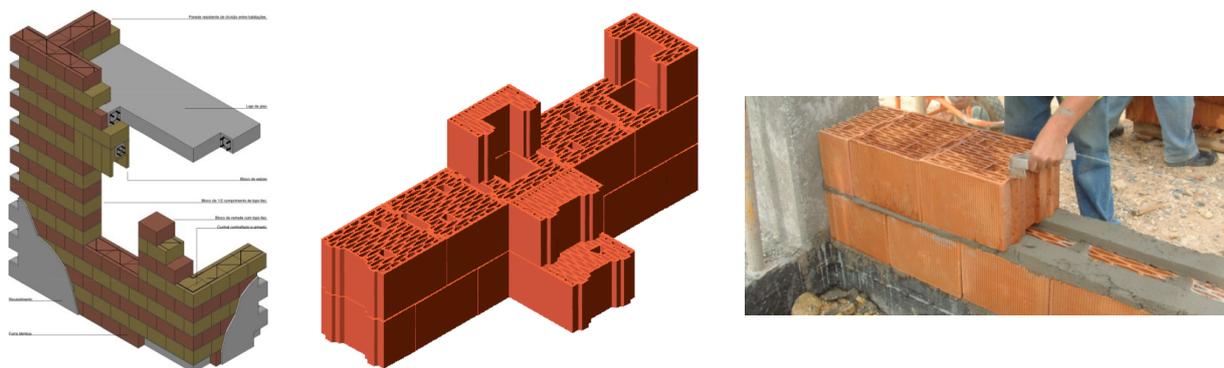


Figura 9: cBloco – Tijolos cerâmicos de alvenaria

4.1.2. Solar Tiles – Sistemas solares fotovoltaicos em coberturas e revestimentos cerâmicos

O Solar Tiles, apresentado na Figura 10, consiste num sistema baseado em produtos cerâmicos fotovoltaicos para revestimentos de edifícios (telhas e revestimentos exteriores de fachada), que incorporam filmes finos fotovoltaicos através de deposição.

Este novo material foi produzido para aproveitar o potencial de energia solar disponível em países com Portugal e Espanha, sendo um produto inovador por integrar a produção de energia eléctrica em produtos que constituem parte da envolvente dos edifícios. Este tipo de produto torna-se assim multifuncional, a nível arquitectónico, revestimento e produção de energia eléctrica, aumento assim o seu valor enquanto produto.

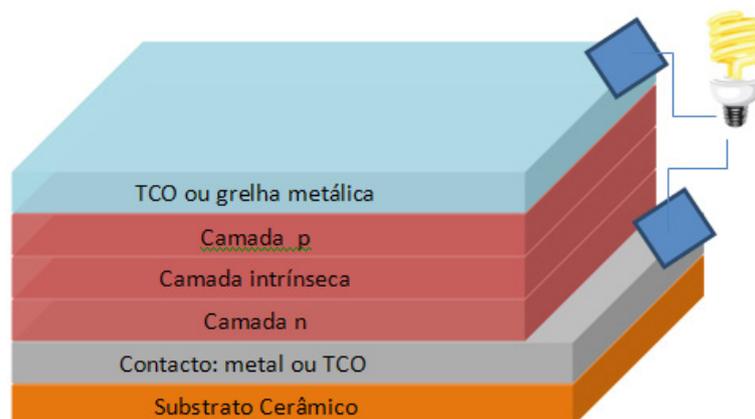


Figura 10: Esquema de funcionamento da solução Solar Tiles

Este tipo de soluções, consideradas também para a reabilitação de edifícios permitem:

- Incorporar em fachadas e revestimentos, produtos multifuncionais de maior valor acrescentado.
- Conservar as características arquitectónicas dos edifícios históricos, integrando a tecnologia fotovoltaica.
- Apresentar novas soluções construtivas de acordo com uma construção sustentável.
- Tornar os edifícios históricos existentes mais eficientes.

A solução construtiva de fachadas e revestimentos de edifícios baseados em materiais cerâmicos fotovoltaicos, permite uma maior integração arquitectónica dos sistemas fotovoltaicos nos edifícios, seguindo os princípios de *ecodesign*, permitindo conjugar funcionalidades de revestimento, estéticas e de produção de energia.



Figura 11: SolarTiles, exemplos de telhas fotovoltaicas

4.2. Climatização

Os edifícios patrimoniais necessitam de unidades de climatização para obter os níveis de conforto adequados, sendo necessário aquecer e/ou arrefecer os espaços utilizados de acordo com as suas necessidades de utilização. A climatização em edifícios patrimoniais pode ser feita com recurso a sistemas centralizados adaptados ou individuais desenvolvidos à medida tendo em conta as restrições que estes apresentam. Pode também projectar-se e desenvolver sistemas que suprimam as necessidades térmicas necessárias de um modo particular a áreas próximas dos ocupantes. Por fim, podem utilizar-se também sistemas portáteis, com custos mais baixos de instalação e de fácil instalação.

Ao projectar a implementação de um sistema climatização para edifícios históricos, são considerados os seguintes aspectos:

- *Restrições Patrimoniais:* os efeitos provocados pelas temperaturas dos edifícios sobre as peças que estes albergam, não se encontram totalmente clarificados. No entanto, um aumento da temperatura reduz a vida útil das obras de arte, desta forma, é necessário estabelecer condições de climatização que preservem as exigências impostas pelo organismo encarregado de zelar pela conservação do património.
- *Utilização:* dependendo da utilização do edifício, pode optar-se por sistemas com alta inércia sempre que o tempo de utilização seja longo ou sistemas de menor inércia mas com uma resposta rápida quando estes são utilizados de forma pontual.
- *Estética:* integração dos elementos de climatização minimizando o impacto visual. Dadas as características arquitectónicas e patrimoniais deste tipo de edifícios, a integração com o ambiente é um aspecto muito importante.
- *Tempo de execução do projecto:* otimizar os tempos de execução das obras de montagem dos equipamentos necessários. Dependendo do caso, pode optar-se por sistemas portáteis para utilização ocasional, de modo a facilitar a instalação com um menor custo de infra-estrutura, sendo uma característica desejável sempre que aplicável.
- *Baixo investimento:* disponibilidade de um sistema de climatização ao mais baixo custo.
- *Baixos custos de exploração:* reduzir, sempre que possível, o consumo de gás, electricidade e os custos de manutenção. Grande parte destes edifícios não dispõe de um orçamento significativo

proveniente da sua exploração, pelo que, os custos associados à sua manutenção e utilização são deveras importantes para um bom equilíbrio ao nível financeiro.

De seguida, apresentam-se as opções disponíveis no mercado.

4.2.1. *Sistemas de distribuição de energia*

De uma forma geral, os sistemas podem-se classificar em função dos fluidos de distribuição.

- *Sistemas tudo ar*: Este tipo de sistemas utiliza o ar para compensar as cargas térmicas no espaço climatizado. As unidades de tratamento de ar (UTA) apoiam no controlo de temperatura e na humidade desejada, permitindo desta forma uma maior qualidade de ar interior assim como a recuperação térmica dos fluxos, uma vez que estas unidades permitem recircular uma percentagem de ar.



Figura 12: UTA (Fonte Wikipedia)

Sempre que o ar exterior se apresente com características que se adequem às necessidades de climatização, utiliza-se refrigeração livre, designado por “free cooling”. Este tipo de equipamento necessita de algum espaço, sejam as unidades de tratamento de ar ou as condutas de distribuição, pelo que geralmente é necessário colocar todo o equipamento fora das áreas ocupadas, sendo para este caso em concreto, um grande constrangimento.

- *Sistemas tudo-água*: Como o próprio nome indica, é o fluido utilizado para climatizar o espaço. Os equipamentos utilizados nas unidades terminais com este sistema podem ser radiadores, piso radiante e/ou ventiloconvectores.



Figura 13: Radiadores no Colegiata de San Isidoro (León)

Na figura 13 pode observar-se uma solução adaptada a um edifício de culto, um dos tipos de edifícios patrimoniais mais restritivos em termos de aplicabilidade. A imagem apresentada corresponde à Colegiada de San Isidoro de León, onde foi adoptado um sistema de produção e distribuição de águas quentes, tendo sido utilizados os bancos para colocar esta solução de climatização.

A figura 14 mostra um resumo dos diferentes sistemas “tudo-água” disponíveis para a climatização dos espaços.

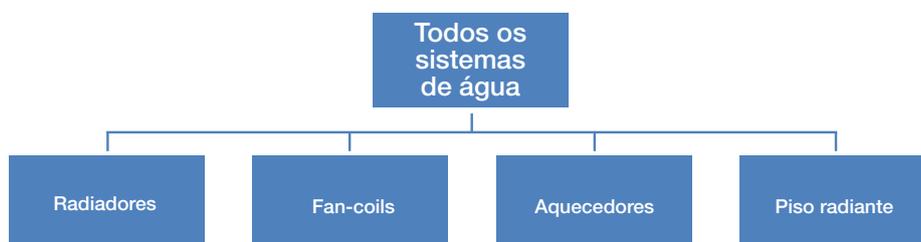


Figura 14: Sistemas de climatização tudo-água

- *Sistemas ar-água*: Trata-se de sistemas onde é utilizado ar e água para climatizar os espaços necessários. Dentro das opções disponíveis destaca-se o aquecimento por indução e os ventiloconvectores que utilizam ar exterior.

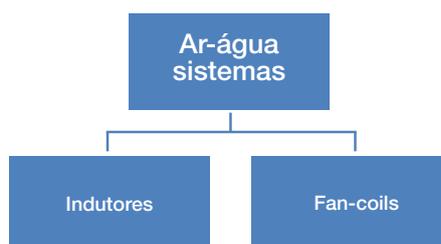


Figura 15: Sistema ar-água

- *Sistemas de refrigeração*: trata-se de sistemas, associados a bombas de calor, onde o fluido tem como função arrefecer o espaço. Este tipo de equipamentos tem uma crescente aceitação no mercado, sobretudo para edifícios de serviços. São sistemas baseados em volume de refrigeração variável com recuperação (VRV), possuindo rendimentos elevados em situações de necessidade de climatização.
- *Sistemas por infravermelho*: são equipamentos cujo mecanismo é a troca de radiação de calor emitida por corpo em alta temperatura. A fonte primária de energia poderá ser um combustível e/ou electricidade.

São vários os sistemas e/ou soluções associadas a cada um dos tipos de sistemas de climatização descritos. De seguida, e a título de exemplo, apresentam-se algumas características específicas aplicadas de forma particular em edifícios de culto:

- *Aquecimento com recurso a emissores de infravermelhos*: É um sistema de acção rápida aplicável nos casos em que exista um elevado volume de ar a climatizar e os receptores do calor se encontrem numa posição fixa e delimitada. Esta solução será adequada nos casos em que exista uma curta utilização, com o inconveniente de apresentar um grande consumo.

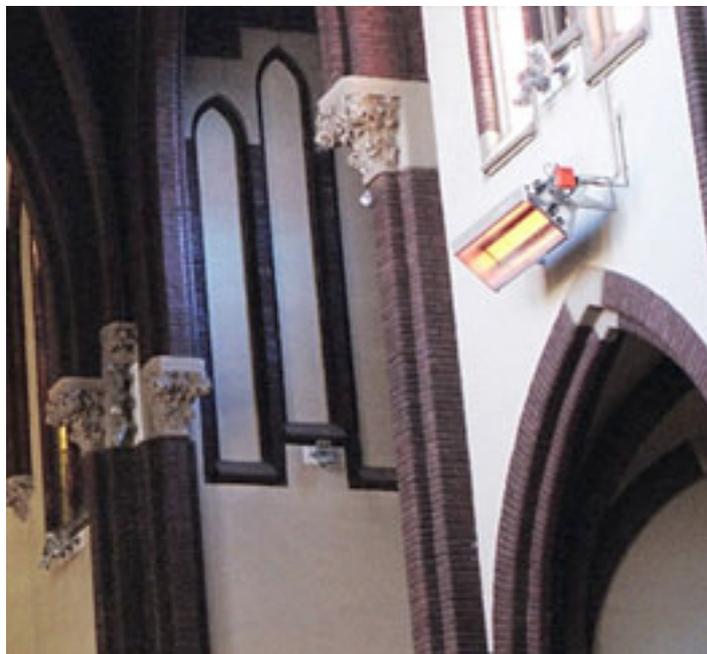


Figura 16: Aquecimento com recurso a emissores de infravermelhos (www.gestigas.com)

- *Piso radiante*: Comparando com o sistema de aquecimento anterior, este é um sistema com uma elevada inércia, pelo que, é um sistema recomendável em casos em que os edifícios tenham uma elevada utilização. Sendo um sistema de transmissão de calor por radiação, a fracção convectiva é reduzida, fazendo com que seja uma potencial solução adequada para edifícios com grande pé-direito.



Figura 17: Montagem de piso radiante

- *Bancos aquecidos*: Consiste em elevar a acção de transferência de calor em zonas próximas dos utilizadores, com diferentes configurações para esta solução: radiadores de água ou escalfetas eléctricas colocadas nos bancos na parte inferior e nos apoios de pés.



Figura 18: Ntra. Señora de la Asunción (Laguna de Duero)

- *Tapetes térmicos*: Solução provisória de aquecimento localizado e de reduzida mão-de-obra na sua instalação.

É bastante comum num edifício existirem diferentes necessidades de climatização por espaço, desta forma, um dos aspectos deveras importante é o correcto zoneamento a considerar no projecto de climatização no edifício. Define-se como “zona” cada um dos espaços com diferentes cargas térmicas (climatização, ocupação, iluminação,...). Uma escolha incorrecta das diferentes “zonas” traduz-se numa redução de eficiência nos sistemas de climatização.

Relacionado com este conceito de zoneamento, e dependendo de como se utiliza a energia em cada uma das áreas, as instalações de climatização poderão se classificar em:

- *Sistema individual*, utiliza um equipamento onde produção e distribuição são efectuadas numa única unidade. Este equipamento apenas climatiza uma única área, permitindo a regulação de temperatura de forma directa.
- *Sistema centralizado*, permite a separação física entre a produção, distribuição e unidades terminais, sendo desta forma necessário um controlo sobre as necessidades de climatização em todos os espaços. Com a implementação de um sistema centralizado consegue-se maiores sinergias, contudo a utilização de sistemas centralizados de grande dimensão a uma baixa carga juntamente com as perdas associadas na distribuição puderam aumentar o consumo.

4.2.2. *Sistemas de produção de energia*

A produção de energia, seja para aquecimento ou arrefecimento, pode efectuar-se através de diferentes sistemas. Embora a produção de calor possa ser realizada por resistências eléctricas, não é aconselhável de todo, a menos que seja temporariamente, devido ao seu elevado custo de funcionamento em comparação com sistemas baseados em caldeiras, bombas de calor ou energias renováveis. Os sistemas de produção actualmente disponíveis são:

- *Caldeiras*: equipamento que transfere a energia produzida através de um processo de combustão para um fluido (água, vapor, óleo) o qual após aquecido irá ser distribuído pelas unidades terminais. No geral, as caldeiras de aquecimento utilizam os seguintes combustíveis:
 - Gás natural.
 - Gasóleo.
 - Biomassa.
 - Gás de petróleo liquefeito (GPL)
 - Fuelóleo.



Figura 19: Caldeira de biomassa (Colegiata de San Isidoro en León)

De salientar as caldeiras de biomassa, uma vez que estas utilizam uma fonte de energia renovável, armazenado em locais anexos. Existe uma tendência para que o combustível sólido seja sob a forma de pellets, facilitando assim a uniformização dos sistemas de transporte e alimentação, embora também possa ser utilizado gravetos ou briquetes. Neste tipo de caldeiras é importante observar o seu sistema de alimentação, para que não haja falhas de energia.

- *Bombas de calor:* podem ser aerotérmicas como geotérmicas em função da forma como realizam a troca de energia exterior, seja com o ar ou com o solo. Comparando com os sistemas baseados em aquecimento por resistências, esta solução apresenta rendimentos entre 2 e 4 vezes superiores para a produção de calor. Por outro lado, a reversibilidade do ciclo frigorífico permite também proporcionar aquecimento e/ou arrefecimento. A opção geotérmica, embora tenha um maior custo de investimento, apresenta múltiplas vantagens em climas com altas temperaturas e possui um menor impacto visual. Na figura 20 apresenta-se uma bomba de calor geotérmica.



Figura 20: Bomba de calor geotérmica

- *Resfriadores evaporativos:* Este sistema aproveita a redução de temperatura que se produz no ar ao evaporar água no seu interior. É um sistema capaz de arrefecer o ar sobretudo em climas com baixas humidades relativas. Ao evaporar a água, o ar perde energia e reduz a temperatura para um valor próximo do bolbo húmido ou da saturação adiabática, que corresponde à temperatura mais baixa que se pode alcançar mediante da evaporação da água. Em climas do interior de Espanha e Portugal, pelo seu baixo nível de humidade relativa na estação do verão este sistema apresenta um bom rendimento.

- *Chillers de absorção*: os sistemas de refrigeração por absorção, permitem a obtenção de frio a partir de uma fonte térmica quente, substituindo o compressor eléctrico do chiller convencional por um compressor térmico, a sua aplicabilidade pode ser eficiente quando associada aos seguintes tipos de instalações:
 - Onde exista calor residual ou locais, que em determinados períodos, não tenha suficiente fornecimento.
 - As instalações solares térmicas durante o verão.
 - Sistemas de cogeração com baixas necessidades térmicas.



Figura 21: Máquina de absorção

Por forma de resumo, apresenta-se a seguinte Figura 22.



Figura 22: Figura resumo com os sistemas de geração

Uma alternativa ou complemento a estes sistemas geradores são o uso de sistemas renováveis, entre os quais se incluem as caldeiras a biomassa. De forma geral, apresentam uma baixa densidade energética a qual obriga em geral a dispor de elevadas superfícies de instalação no caso de energia solar térmica ou fotovoltaica, ou de grandes volumes de armazenamento de combustíveis no caso de biomassa. Esta particularidade limita a sua aplicabilidade e transforma-a num desafio para os projectistas que se vêem obrigados na busca de novas formas de integração de elementos de geração de energia renovável.

Apesar de não ter como principal objectivo a realização de um estudo exaustivo dos sistemas disponíveis, apresentaram-se algumas soluções integrantes a título de exemplo. Para este efeito, diferenciam-se três tecnologias renováveis: colectores solares, os quais são dirigidos para a produção de água quente para uma temperatura inferior a 80 °C, para a produção de AQS (águas quentes sanitárias) ou para refrigeração solar por máquinas de absorção; módulos fotovoltaicos, para a produção de electricidade, normalmente conectados à rede e caldeiras de biomassa. Por fim, a energia eólica não foi considerada nesta análise, por apresentar grandes restrições e ser muito difícil a sua integração nos edifícios.



Figura 23: Colectores com estrutura em policarbonato
(www.roth-spain.com)



Figura 25: Colectores solar de pizarra
(www.thermoslate.com)



Figura 24: Castelo Grosskmehlen
(Dresden, Alemanha)
(www.energie-solaire.com)

- *Colectores solares para a produção de água quente.* Devemos diferenciar, por um lado, os colectores cujo princípio de funcionamento por efeito de estufa e os baseados em absorção-acumulação. Os primeiros dispõem de uma tampa de vidro ou de materiais plásticos, um absorvente e um espaço de ar entre ambos. No que diz respeito ao invólucro circundante, normalmente de metal, mais recentemente começaram a aparecer no mercado colectores à base de policarbonato (Figura 23) que facilita a sua arquitectura de integração.

Os colectores baseados em absorção-acumulação, pelo que se destaca os colectores metálicos como os aplicados no Castelo de Grosskmehlen, localizado na Alemanha (Figura 24), por outro lado os colectores de material cerâmico, os quais apresentam elevadas vantagens pela sua integração arquitectónica e funcional com este tipo de edifícios. Na figura 25 apresenta-se um colector desenvolvido pela Thermoslate.

- *Módulos fotovoltaicos.* Permitem a produção de energia eléctrica de forma directa sendo, a sua integração arquitectónica relativamente simples e abundante, sobretudo em edifícios convencionais. Existem disponíveis soluções com diferentes níveis de opacidade e cor.



Figura 26: Exemplos de integração (Cortesía CARTIF)

4.2.3. Soluções portáteis de aquecimento-arrefecimento

Uma opção a considerar em climatização de edifícios patrimoniais, é a utilização de sistemas portáteis. Este tipo de sistemas apresenta um conjunto de vantagens e de inconvenientes, dos quais se destaca:

- Não necessitam de grandes infra-estruturas para a sua instalação.
- Fáceis de instalar e colocar em funcionamento.
- O seu impacto visual é limitado no tempo.

Entre os inconvenientes encontram-se:

- Menor rendimento que os equipamentos fixos.
- Equipamentos de baixa potência e com exigências consideráveis, sendo necessário instalar várias unidades em paralelo.
- A regulação e gestão são efectuadas de forma autónoma.

Em qualquer caso, são uma opção a considerar por parte dos gestores de edifícios. Na figura 27 apresenta-se um esquema síntese simplificado com os diferentes sistemas de distribuição e geração disponíveis.

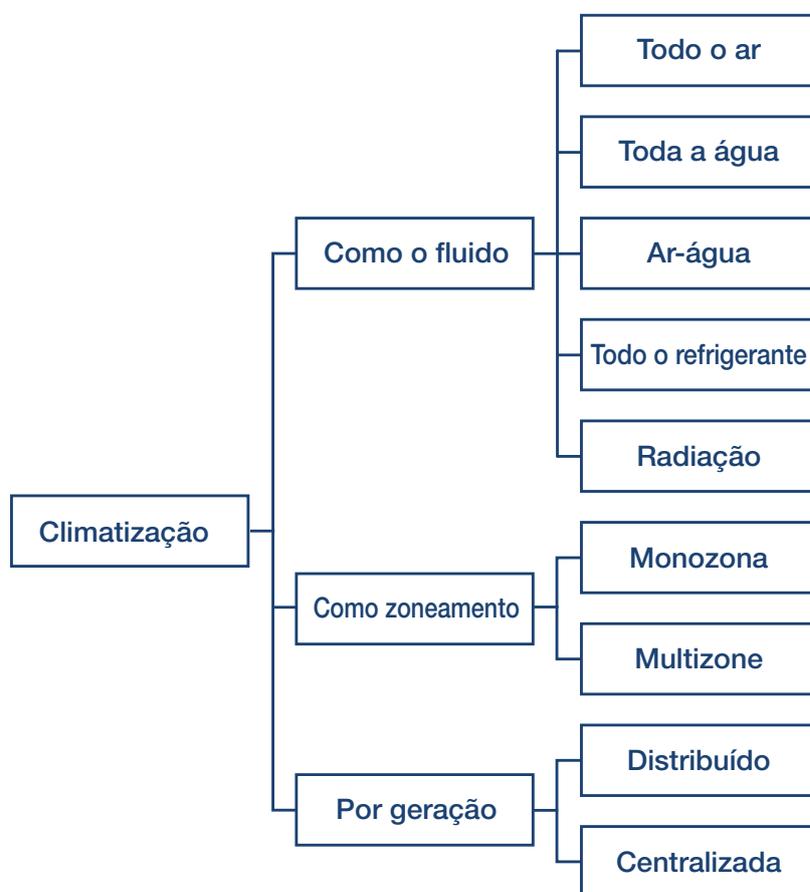


Figura 27: Sistemas de climatização

4.3. Iluminação

Os gestores de edifícios patrimoniais deparam-se com diferentes possibilidades para garantir de forma eficiente a iluminação, mantendo as características particulares que cada edifício apresenta, nomeadamente a iluminação ambiental e artística.

4.3.1. Classificação dos sistemas de iluminação

A iluminação deste tipo de edifícios, é em geral caracterizada por uma iluminação básica, o que permite obter um nível uniforme de luminosidade, complementada com outras mais específicas com o objectivo de destacar aspectos particulares.

O conceito e as técnicas associadas a cada um destes tipos de iluminação são:

- *Iluminação geral ou ambiente*: Proporciona uma iluminação uniforme sobre toda a área iluminada, sendo possível aplicar diferentes técnicas.
 - *Directa*: Iluminação uniforme em relação ao plano de trabalho horizontal, em geral, no chão. É o sistema com maior rendimento luminoso, mas com um maior risco de encandeamento e elevada produção de sombras.
 - *Difusa*: esta técnica aproveita a vantagem das paredes ou de outras superfícies funcionarem como um reflector secundário ou luminárias de parede difusa, sendo encaminhada para um trabalho horizontal. O risco de encandeamento é baixo, não susceptível à criação de sombras, de modo que a arquitectura permaneça visível.
 - *Indirecta*: Aproveita-se o tecto como reflector para que a luz chegue de maneira indirecta tanto ao plano horizontal como às paredes. É o mais se assemelha à luz natural, sendo uma solução bastante dispendiosa, uma vez que as perdas por absorção são muito elevadas. O aumento da iluminação nas zonas periféricas do espaço aparenta que este seja maior.

- *Iluminação localizada*: Trata-se de um tipo de luz adicional que aumenta a intensidade luminosa em alguns locais com maior exigência de luz.
 - *Iluminação de contorno*: É um sistema de iluminação que pretende criar um contorno definido de forma uniforme sobre as paredes como um “banho” através das quais a luz desliza.
 - *Acentuação*: Consiste em focar a luz sobre um objecto ou elemento arquitectónico que se pretende destacar.
 - *Protecção*: Permite conseguir efeitos e formas, fixas ou móveis, mediante a projecção sobre paredes, tectos ou solo.
- *Iluminação funcional*: É um tipo de luz com menor preocupação estética, possuindo um papel funcional de comodidade e segurança adaptando-se às actividades desenvolvidas no edifício (salas, WC, zonas de passagem...).
- *Iluminação cinética*: permite criar iluminação em movimento.

A iluminação instalada no exterior dos edifícios é orientada para destacar o seu carácter artístico e arquitectónico ajuda a criar uma imagem nocturna com maior impacto. A iluminação arquitectónica através de projectores não requer grandes níveis de luz, permitindo modelar os aspectos arquitectónicos com cores e salientando as suas nuances. Para esta aplicação são apropriadas fontes de luz de alta qualidade assim como o uso de cores. Na Tabela 1, indicam-se os tipos de lâmpadas habitualmente utilizadas para iluminação arquitectónica segundo a sua tecnologia.

	De sódio de alta pressão	De metal cerâmica haleto	Haleto metal Halide
Iluminação Arquitectural	Fachadas	Fachadas	Fachada Pontes e estátuas

Tabela 1: Tipos de lâmpadas para iluminação arquitectónica (Fonte Philips)

4.3.2. Componentes dos sistemas de iluminação

A iluminação é normalmente um dos itens mais importantes no consumo de energia. Embora, em geral, a potência contratada possa ser baixa comparada com outros serviços, o tempo de utilização é bastante elevado, pelo que, a selecção de sistemas mais eficientes, ou a utilização de sistemas que permitam a redução da potência e o número de horas de uso são medidas, que geralmente, têm um payback rápido.

De forma geral, um sistema de iluminação é constituído por:

- *Fontes de luz ou lâmpadas:*

A lâmpada pode considerar-se como um ponto inicial no processo de geração de luz. É um elemento que transforma a electricidade em radiação luminosa. O rendimento deste processo depende muito da tecnologia utilizada. Existem sistemas incandescentes baseados em fios de tungsténio até modernas lâmpadas LED, estas com rendimentos superiores.



Figura 28: Diferentes tipos de lâmpadas (Fonte Wikipedia)

Na **Figura 29** apresenta-se um esquema geral que resume as tecnologias de lâmpadas disponíveis.

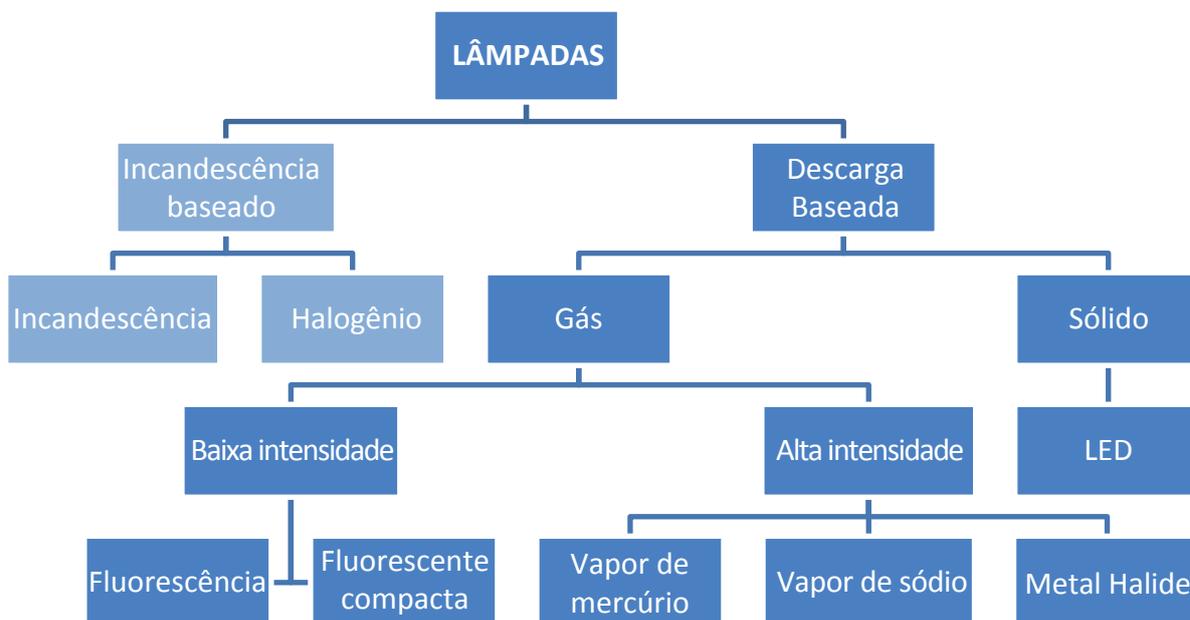


Figura 29: Diagrama com os diferentes tipos de lâmpadas

- **Luminárias:** Definem-se como um conjunto de dispositivos de apoio e de fixação de protecção da luz emitida pela lâmpada. Esta luz, antes de chegar às diferentes superfícies, deve ser filtrada, concentrada, repartida ou transformada.

Para a sua classificação são definidos os parâmetros de distribuição luminosos caracterizados pela distribuição fotométrica e rendimento (relação existente entre o fluxo luminoso que emite a luminária e o que recebe a procedente da lâmpada).



Figura 30: Luminária (Cortesia GWISS)

- **Equipamentos Auxiliares:** São essenciais para o funcionamento do sistema influenciando bastante a sua qualidade, consumo energético, economia e durabilidade. Entre eles encontram-se reactâncias, balastos, condensadores, etc.
- **Sistemas de regulação e controlo:** Os sistemas de regulação e controlo de iluminação são essencialmente uma parte fundamental na melhoria energética dos sistemas de iluminação. Entre as diferentes possibilidades de regulação destacam-se as seguintes:
 - ➔ Regulação e/ou controle da necessidade do utilizador através do interruptor manual, botão ou pelo controle remoto.

- Controlo horário e por datas que pode ser implementado de forma centralizada ou distribuído sobre os elementos de iluminação de forma a desligar o sistema mediante um relógio.
- Controlo de iluminação com sensor de presença, em que este é activado sempre que exista movimento na área abrangida. Deve ser estabelecido um tempo mínimo de ligação, para que quando um ocupante permaneça imóvel, este não se desligue evitando ciclos de ligar/desligar, os quais são contraproducentes, tanto para a durabilidade das lâmpadas.
- Controlar a activação do sistema consoante a luminosidade exterior. Baseada na medição da luminosidade exterior, através de uma fotocélula define-se o nível a partir do qual se activem as luminárias.
- Regulação de iluminação artificial segundo a entrada de luz natural, a qual utiliza uma fotocélula para medir a quantidade de luz total que se encontra no local. Esta medição utiliza-se no sistema de controlo, que coordena a regulação do fluxo de lâmpadas da área controlada para que se possa manter um nível de iluminação constante e adequado. Este tipo de sistemas requer lâmpadas com regulação.

Em função do tipo de lâmpada, as opções de regulação admissíveis são as que se apresentam na seguinte tabela:

Tecnologia da lâmpada	Gama [%]	Regulador
Lâmpadas incandescentes	1-100	Dimmer
Incandescente Halogéneo lâmpadas de tungstênio		
Baixa-tensão	1-100	Dimmer Trafos eletrônicos
Mains	1-100	Dimmer
Lâmpadas fluorescentes		
Tubular		Lasto eletrônico
Compacto		Lasto eletrônico
Lâmpadas de descarga de alta intensidade	35-100	Lasto eletrônico

Tabela 2: Regulação de lâmpadas

5. SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Um dos pilares fundamentais da metodologia RENERPATH é a utilização da simulação dinâmica de edifícios e a caracterização do seu comportamento energético. O desenvolvimento de meios informáticos com maior velocidade de cálculo e capacidade de processamento de informação propiciou o aparecimento e implementação de algoritmos de cálculo cuja aplicação manual era impensável há alguns anos.

A termodinâmica e a transmissão de calor estabelecem a forma como os fluxos de calor interactivam com a matéria, fornecendo uma série de equações que permitem avaliar o efeito que podem ter sobre um edifício a radiação solar, a temperatura exterior, o vento, etc., bem como o calor emitido por equipamentos e pessoas.

A simulação dinâmica apresenta vantagens na abordagem aos métodos de cálculo baseados em balanços específicos com valores médios:

- Permite caracterizar a interacção entre variáveis, à semelhança do que acontece na realidade, de modo a que em instalações entre as quais exista uma ligação se obtenham resultados mais precisos.
- Pode determinar os limites máximos e mínimos das necessidades energéticas, tendo em vista o dimensionamento adequado dos equipamentos. Permite estimar as necessidades energéticas dos equipamentos, fazendo com que exista um correcto dimensionamento, evitando assim o sobredimensionamento ou o subdimensionamento.
- Tem em conta a inércia dos sistemas em que exista um atraso entre a causa e o efeito. Por exemplo, em paredes de grande espessura como é o caso dos edifícios patrimoniais, existe um atraso entre o momento em que a radiação incide sobre uma das paredes aquecendo-a e o tempo que se demora a transmitir esse calor à zona interior. Normalmente o calor cedido pela parede ao interior ocorre durante parte do período nocturno.

Para poder realizar a simulação de um edifício, é necessário um conjunto de dados, os quais permitem a definição do caso de estudo:

- *Localização do edifício:* Este dado é fundamental para escolher os dados climáticos que são as restrições primárias a que qualquer edifício. Existem diferentes bases de dados disponíveis, todas elas contendo informação de análise estatística ao longo do tempo, com dados provenientes de diversos pontos onde estão instaladas estações meteorológicas sendo esses dados extrapolados

a outros locais. Algumas bases de dados utilizadas são: EnergyPlus, TMY, TRY, AMEDas, etc. A estrutura destes ficheiros contém apenas informação sobre a cidade ou zona à qual o ficheiro se refere, permitindo assim estarem disponíveis dados em geral com frequência horária (8760 dados), nomeadamente radiação, temperaturas, humidade, pressão atmosférica, velocidade do vento, etc.

- *Características do edifício:* A tipologia do edifício, ou seja, as dimensões de cada um dos espaços. É também necessária informação sobre a composição dos revestimentos, isto é, paredes, chão e tecto, obtidos a partir da descrição da sequência de materiais que os compõem, com as suas correspondentes espessuras ou a partir de descrições globais. As cargas internas estão geralmente associadas ao número de ocupantes do edifício, equipamentos e iluminação, devendo conhecer-se qual o horário de cada um deles. No caso de edifícios patrimoniais, conforme referido anteriormente, os horários podem ser distintos, de acordo com o fim a que se destine o edifício. Também é necessário saber se existem elementos nas proximidades que possam alterar o microclima ou criar sombreamentos parciais ou totais.
- *Características das instalações:* as instalações podem caracterizar-se de diferentes formas, em função da complexidade do modelo utilizado. Em alguns casos basta indicar alguns parâmetros característicos, enquanto noutros, é necessária a introdução de um perfil de funcionamento que registre o desempenho em diferentes condições utilização. Assim através da simulação por interpolação permite calcular o desempenho que esta terá em qualquer momento.

Existem diferentes ferramentas de simulação dinâmica que fazem uso em maior ou menor medida dos dados anteriores. Algumas das mais conhecidas são: EnergyPlus, DOE, TRNSYS ou, em Espanha, as desenvolvidas para a certificação de edifícios de construção nova (LIDER e CALENER), as quais utilizam o motor de cálculo de DOE.

6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA. CASOS DE ESTUDO

Como resultado da aplicação da metodologia RENERPATH em dois edifícios tipo, obtiveram-se critérios de actuação que permitem extrapolar de forma generalizada os resultados obtidos. Os edifícios considerados foram:

- Um edifício de culto no qual se pretende reduzir as necessidades de aquecimento durante o inverno, permitindo criar condições de conforto térmico (temperatura) para se poder desfrutar das celebrações, no qual foi tomado como referência a Catedral de Ciudad Rodrigo.
- Um edifício patrimonial de uso público, caracterizado por um horário e condições de operação mais exigentes no que se refere à temperatura e ao consumo energético, tomando-se como referência neste caso o Palácio Episcopal de Pinhel.

Associadas a cada um destes edifícios, foram identificadas um conjunto de variáveis com as quais se estabelecerão as acções mais adequadas em cada caso, classificando e orientando os utilizadores do Guia para a solução mais conveniente. Claramente, não se trata de oferecer um dimensionamento das instalações, o qual deve ser realizado por um técnico especializado, mas antes de dispor de estimativas sobre as poupanças que se obterão mediante a adopção das diferentes soluções.

Dadas as diferentes particularidades de exigências em ambos os tipos de edifícios considerados, foram estabelecidas diferentes variáveis para cada um dos casos mencionados.

6.1.1. Edifícios de culto

A simulação foi realizada sobre um edifício rectangular, a fim de facilitar o seu estudo. Foi medido o comprimento total da nave central da Catedral de Ciudad Rodrigo, 60 m e uma largura de 40 m, estabelecendo-se um desenho inicial no qual os restantes parâmetros dimensionais foram testados. Para a classificação e análise dos edifícios de culto, estabeleceram-se as seguintes variáveis de estudo:

- *Sistema de climatização (2 casos):*

Foram consideradas duas opções.

- Por um lado sistemas baseados em ar condicionado, os quais aquecem uma massa de ar que em última análise deve ser dirigida ou confinada. De destacar a tendência da estratificação do ar, que será mais importante quanto maior for a altura do edifício.

→ Por outro lado, foi considerado um sistema de piso radiante, o qual permite o acondicionamento de apenas uma parte do edifício, utilizando diferentes soluções, conforme referido anteriormente. Este sistema de aquecimento tem uma menor componente de transmissão por convecção e como tal apresenta um melhor rendimento em edifícios altos.

- *Altura (4 casos):*

Com a planta definida anteriormente, foram estudadas 4 alturas (5 m, 10 m, 15 m e 20 m.). Assim pode calcular-se o efeito da estratificação e o volume de ar, com base no sistema de climatização utilizado.



Figura 31: Alturas consideradas

- *Climatologia (3 casos):*

As variáveis climáticas que estabelecem o Código Técnico da Edificação para classificar as diferentes zonas têm por base os conceitos de rigor climático no verão e no inverno, mediante um código formado por uma letra seguida de um número, se possa ter uma referência para as condições de cargas devido ao clima a que vão estar sujeitos os diferentes edifícios, tanto no verão como no inverno.

Tendo em conta a localização dos edifícios abrangido pelo projecto, definiram-se as zonas climáticas D1, D2 e E1², para que se possa verificar o efeito que o clima pode ter, mantendo o resto das condições inalteradas.

- *Volume condicionado (3 casos):*

Trata-se de analisar o efeito de acondicionar apenas parte do edifício ou a sua totalidade, de modo a que quando se efectue uma climatização completa, para além de se considerar o custo do investimento, exista uma estimativa do custo de manutenção do sistema através da energia consumida. Para tal, decidiu estabelecer-se 3 zonas no edifício, de 20 x 20 m, para que as necessidades de climatização sejam de 1, 2 ou 3 zonas, estando nos três casos a zona central, habitualmente ocupada pelos paroquianos sempre climatizada, sendo a que corresponde habitualmente à zona ocupada pelos paroquianos.

² O Código Técnico da Edificação, no documento HE1, estabelece diferentes zonas climáticas tendo por base a sua severidade climática no inverno (letras de A a E) e severidade climática no verão (número de 1 a 4). Estes parâmetros calculam-se tendo em conta tanto a temperatura com base nos graus dia e a radiação, comparando com um valor de referência.

- *Horário (2 casos):*

As opções de horários possíveis são muito elevadas, pelo que se decidiu estabelecer dois horários limite. Um, semelhante ao que pode ter um edifício de culto, caracterizado por 1 ou 2 sessões de missa diárias. Por outro lado existem edifícios com uma elevada taxa de visitas e que portanto dispõem de um horário contínuo. Em concreto, os valores adoptados foram:

- O horário tipo culto que apresenta um uso de segunda a sábado durante uma hora que vai das 12:00 às 13:00, e aos domingos duas sessões: uma das 10:00 às 11:00 e outra das 13:00 às 14:00.
- O horário contínuo vai desde as 10:00 até às 20:00.

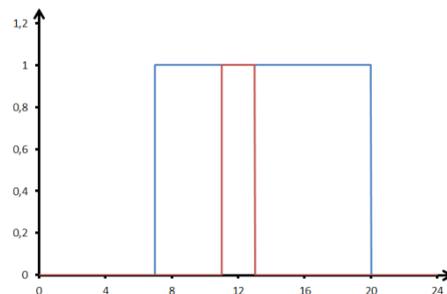


Figura 32: Horários

Todas estas variáveis conduzem a um total de 144 possíveis casos de estudo, para as quais foi avaliada a energia requerida pelo edifício. Foram agrupados os resultados em função das variáveis obtidas, para os quais se indicam a máxima diferença percentual por variável, avaliando-se assim a resposta do sistema em função da variação das restantes, pelo que se estará a avaliar a “sensibilidade” do sistema.

- *Influência da altura.* A diferença percentual nas necessidades de energia entre sistemas idênticos com diferentes alturas, deve ser distinguida entre os dois possíveis horários. Com o horário de culto, e portanto com um uso pouco intensivo, a climatização através de ar condicionado é em general insensível às variações de altura, não obstante o efeito de estratificação do ar. A menor diferença percentual é de 1,17 %, acondicionando 1/3 da superfície total por ar condicionado, enquanto a maior diferença de energia necessária para alterar a altura ocorre também para uma superfície acondicionada de 1/3 mas com piso radiante, com um valor de 4,76 %. Como se pode verificar, com horários curtos, a influência da altura é praticamente insignificante.

No entanto, com horário contínuo, o comportamento é alterado radicalmente, uma vez que a situação menos sensível à altura atinge um valor de 1,51% acondicionando todo o edifício através de piso radiante, contudo a maior diferença é apresentada na climatização de toda a superfície do edifício com ar condicionado que pode ter variações de até 25,79 %. A energia a despendar para aquecer um edifício de 5 m de altura e outro de 20 m, com ar condicionado, pode ser 25% superior se se tiver um horário contínuo, já que os volumes de ar num caso e noutro são sensivelmente maiores.

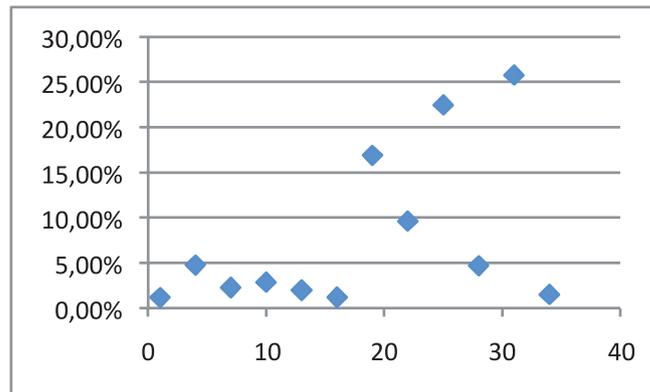


Figura 33: Influência da altura

Em resumo, para edifícios em que se pretende climatizar uma zona com horário reduzido, o aquecimento por ar condicionado será mais sensível às variações de altura, enquanto que nos casos em que se climatize a totalidade do edifício e se faça um uso intensivo no tempo, o sistema que menores diferenças apresenta com a altura é o piso radiante.

- *Influência do clima.* A diferença percentual de necessidades de energia entre sistemas idênticos em diferentes zonas climáticas (D1, D2 e E1), oscila entre os 5,54% e os 9,56%. De destacar que as diferenças nas necessidades de energia devido ao clima são maiores para os casos de horário contínuo nos quais o número de horas de uso é maior e de grandes volumes a climatizar, que tornam o edifício mais sensível à temperatura e radiação exteriores, enquanto as menores diferenças acontecem em situações com horários de culto e nos quais se acondiciona 1/3 do edifício.

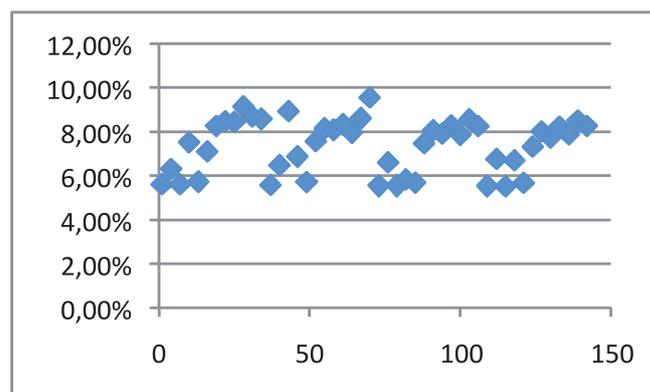


Figura 34: Influência do clima

Portanto pode afirmar-se que a influência do clima sobre as necessidades energéticas de edifícios idênticos, submetidos às mesmas cargas e sistema de climatização, poderá produzir quando muito diferenças de 10%, numa base climática anual.

- Influência do horário.** A diferença percentual nas necessidades de energia, entre sistemas idênticos submetidos a diferentes horários, apresenta dois casos extremos independentemente da altura, do volume acondicionado, etc., como se pode verificar na Figura 35. Por um lado, encontram-se os sistemas ar condicionado nos quais a diferença entre um horário contínuo e um horário de culto apresenta diferenças percentuais de até 84,89%, o que demonstra que o sistema é muito sensível à variável horário. Contudo, em sistemas de piso radiante, para diferentes alturas, a diferença é apenas de 11,67 %, de modo que estes casos são mais insensíveis ao horário.

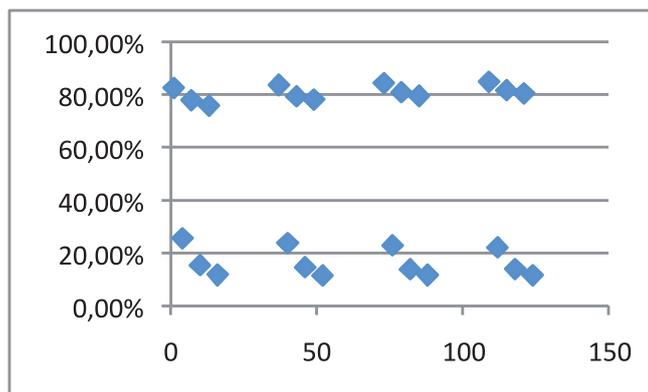


Figura 35: Influência do horário

Isto é explicado pela grande quantidade de calor que toda a tubagem associada sistema de piso radiante possui antes de iniciar o processo de libertação de calor para o interior.

- Influência do volume climatizado.** No que respeita à diferença entre climatizar todo o edifício ou só uma parte, as variações nas necessidades energéticas situam-se entre os 49 % e os 65 %. O caso em que há uma menor diferença corresponde a um edifício de 5 m de altura e horário contínuo, acondicionado com piso radiante. Contudo, o que apresenta uma maior diferença é um edifício de 20 m de altura, horário de culto, acondicionado com um sistema de ar. Na hora de tomar a decisão de climatizar de forma parcial ou completa, deve ter-se em conta que num caso teremos consumos numa ordem duas vezes superior ao outro.

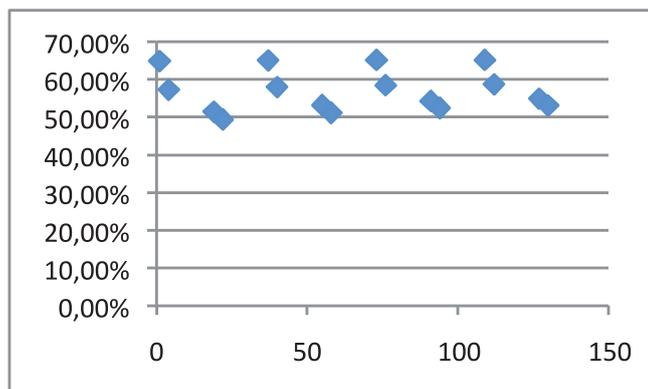


Figura 36: Influência do volume acondicionado

- Influência do sistema de climatização.* Relativamente às diferenças entre os dois tipos de sistemas de climatização analisados, o comportamento do ar apresenta um consumo entre 64% e 70% menor do que o de piso radiante com horários de culto e a melhoria é praticamente independente da altura, sendo maiores as diferenças quanto menor é a zona acondicionada. Contudo, para os casos de horário contínuo, o piso radiante é o sistema que apresenta um melhor comportamento, oscilando a melhoria entre 20% para 5 m de altura e 38% para 20 metros. De destacar que a menor diferença entre ambos ocorre no caso do horário contínuo, acondicionando 1/3 da superfície, oscilando este valor entre 17 % para 5 metros de altura e 36 % para 20 m.

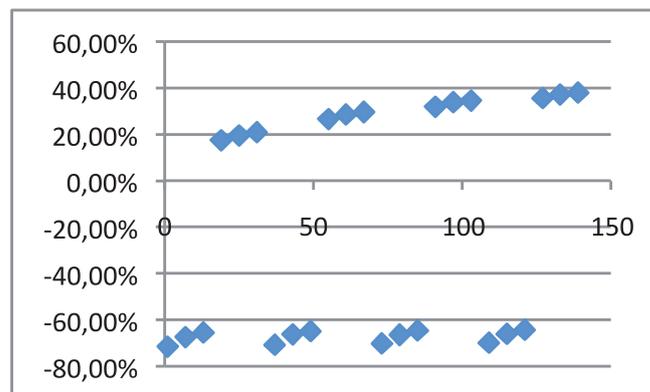


Figura 37: Influência do sistema de climatização

Finalmente e para dar uma ideia da dispersão dos dados, apresenta-se de seguida um gráfico com a energia consumida por ano e por metro quadrado para os diferentes casos analisados.

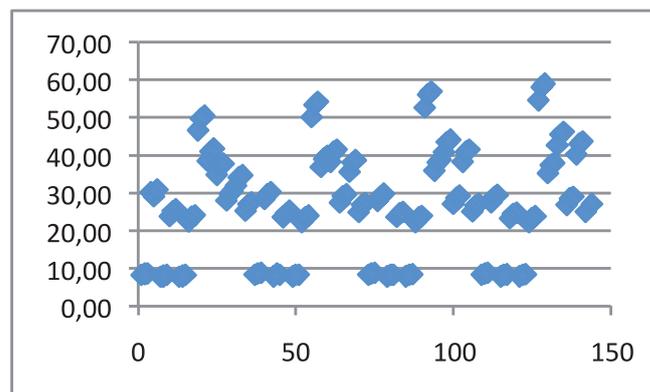


Figura 38: Necessidades anuais por metro quadrado [kWh/m²]

Como se pode observar na Figura 38 as necessidades energéticas variam desde valores de 10 kWh/m² correspondente a casos de horários de culto climatizando a zona dos bancos com mediante ar, até valores de 60kWh/m² no caso da climatização de edifícios de uso contínuo, elevadas alturas e pequenas zonas climatizadas mediante ar.

6.1.2. Edifícios patrimoniais de uso civil

Para simulação e obtenção de indicadores de referência para este tipo de edifícios, utilizou-se o Paço Episcopal de Pinhel, um edifício usado actualmente para diversos fins (oficina, residência para estudantes, serviço público). Dada as diferenças de utilização dos edifícios de culto, foram estabelecidas outros parâmetros de estudo:

- *Espessura das paredes exteriores.* As características e espessura da envolvente condicionam o comportamento térmico do interior do edifício. Neste caso avalia-se a variação da espessura das paredes e o seu efeito sobre as necessidades energéticas requeridas para o conforto térmico interior do edifício. Quanto maior for a espessura, logicamente maior será a quantidade de energia armazenada nas paredes.
- *Isolamento.* A envolvente dos edifícios patrimoniais, apresentam geralmente elevadas espessuras e uma grande capacidade de armazenamento de energia, que é cedida ao interior. Este comportamento dinâmico melhora-se com a colocação de um material isolante. Trata-se de estabelecer o efeito da variação da sua espessura e o seu efeito real sobre o acondicionamento térmico do edifício.
- *Infiltrações.* Definem-se como a entrada não controlada de ar proveniente do exterior. A troca de energia de um edifício com o exterior, dá-se através de todos os elementos da envolvente. É na envolvente que se encontram os envidraçados e portas, que podem representar até um terço das perdas globais de energia. Dada a importância do efeito das infiltrações pode-se justificar que seja realizado um investimento para mitigar este efeito.
- *Zonas de Acondicionamento.* Dada a distribuição interna dos diferentes espaços e suas utilizações, submetidos a horários específicos, e níveis de ocupação variáveis, analisa-se o efeito da climatização sobre o consumo energético. Considerou-se:
 - Climatização do edifício.
 - Climatização por piso.
 - Climatização de duas salas/quartos individuais ou colectivos.
- *Sistema de climatização.* Consideraram-se duas opções de climatização: um sistema convencional baseado em radiadores como o disponível actualmente no edifício, e a avaliação de um sistema de piso radiante com uma maior inércia térmica.

Na avaliação de todos estes parâmetros supõe-se um número elevado de simulações. Com a análise e classificação dos resultados notou-se que:

- *Influência da espessura nas paredes exteriores.* Os edifícios patrimoniais apresentam espessuras de paredes consideráveis em relação às construções modernas. A análise realizada determina que, tomando como referencia uma espessura mínima de 40 cm, à medida que aumenta a espessura da parede, diminuem as necessidades de climatização, chegando a poupanças de 20 %, mas também se detecta, que a partir de certos valores esta melhoria já não é tão substancial

Espesura da parede [cm]	Aquecimento convencional	Piso Radiante
40	0,00	0,00
60	9,99	11,76
70	13,60	13,42
80	16,59	16,49
90	19,12	19,02

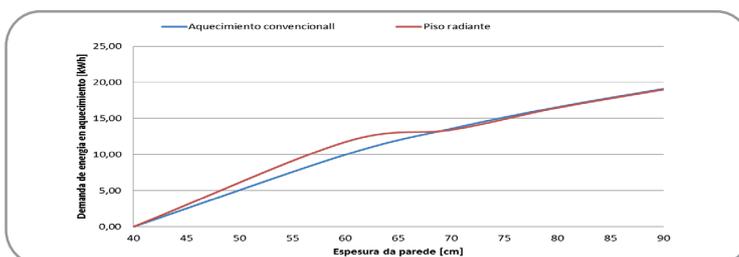


Figura 39: Influência da espessura da para nas necessidades de aquecimento

A diferença no uso entre um tipo de sistema de climatização e outro não é apreciável neste caso.

- *Influência do isolamento.* Para além da espessura do isolamento o estudo também considerou outras características como a espessura da parede e o tipo de sistema de aquecimento. Combinando todas estas variáveis, obtêm-se os valores mostrados analiticamente e graficamente nas Figura 40 e Figura 41, onde se apresenta a percentagem de economia de energia, tomando como referência paredes de 40cm sem isolamento:

→ Aquecimento com piso radiante

Espesura do solamento [cm]	Espesura da parede [cm]			
	40	60	70	80
0	0,00	11,76	13,42	16,49
2	27,73	29,81	30,73	31,08
4	34,91	35,84	36,29	36,19
6	38,19	38,74	38,96	39,25
8	40,08	40,44	40,64	40,30
10	41,29	41,60	41,72	41,88
12	42,09	42,67	42,80	42,65

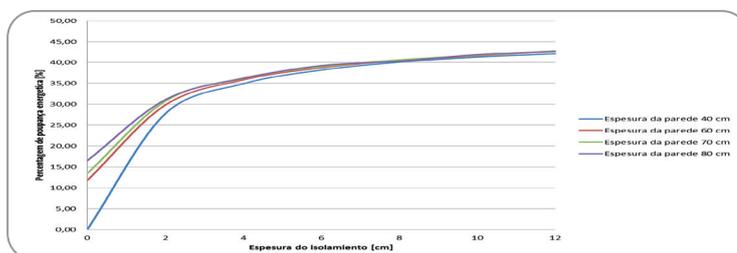


Figura 40: Percentagem de poupança energética utilizando piso radiante

→ Aquecimento convencional

Espesura do solamento [cm]	Espesura da parede [cm]			
	40	60	70	80
0	0,00	9,99	13,60	16,59
2	26,74	28,85	30,00	30,62
4	33,69	34,65	35,09	35,52
6	36,89	37,46	37,95	38,00
8	38,72	39,12	39,43	39,51
10	39,91	40,33	40,37	40,52
12	40,75	40,99	41,12	41,24

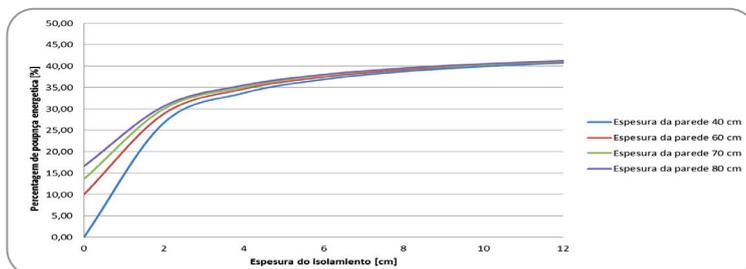


Figura 41: Percentagem de poupança energética utilizando aquecimento convencional

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

- A introdução de isolamento na envolvente faz diminuir consideravelmente o consumo para climatizar o edifício, conseguindo poupanças de até 40 %.
 - É mais importante o efeito do isolamento que o efeito da espesura da parede.
 - Existe uma saturação do efeito de melhoria que o isolamento produz e a partir de 8 cm esta melhoria torna-se irrelevante perante o aumento da espesura.
- *Efeito das infiltrações.* Na análise desta variável destaca-se o forte efeito que tem sobre o consumo energético. Tomou-se como referencia um sistema fechado sem infiltrações.

Infiltrações [1/h]	Aquecimento convencional	Piso Radiante
0	0,00	0,00
0,2	19,00	18,03
0,5	47,79	44,42
0,75	71,98	64,65
1	96,34	85,20
1,5	145,59	122,92
2	195,51	158,02

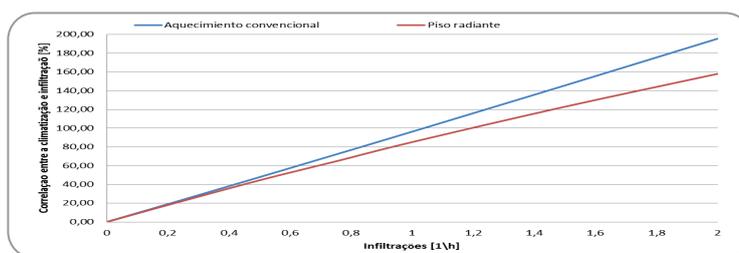


Figura 42: Correlação entre a climatização e infiltração

Como se pode verificar na Figura 42, obtêm-se uma correlação directa entre o consumo energético em climatização e perdas por infiltrações, sendo esta relação mais acentuada nos sistemas de aquecimento convencionais que no caso do piso radiante, o qual implica que qualquer melhoria para as evitar (melhoria de estanquidade de portas e envidraçados, fecho de tampas caixas de ar, controlo da ventilação, ...) é muito beneficiado energeticamente.

- *Influência da climatização por zonas.* Para valorizar este aspecto analisou-se o consumo energético da climatização de uma determinada zona localizada no primeiro piso, considerando a climatização de zonas anexas. Surgiram 4 casos de estudo. O caso base é a necessidade da zona de estudo, enquanto todo o edifício é aquecido. A partir dele avaliou-se o aumento da necessidade na zona de estudo, quando se condiciona todo o piso, quando se faz uma zona anexa e quando se condiciona unicamente a zona de estudo. Os resultados são apresentados na Figura 43.

Zonas climáticas	Energia Área de Estudo Demanda	
	Piso radiante	Calefacción convencional
O prédio inteiro	0,00	0,00
1.º Andar	11,28	18,24
Área de estudo + anexo área	15,72	24,39
Área de estudo	22,38	31,09

Figura 43: Influência da climatização de zonas anexas

A partir dos resultados obtidos comprovou-se que a energia consumida para climatizar a zona considerada, aumenta de forma considerável em função de se dispor de zonas anexas climatizadas, chegando esta diferença conduzir a um aumento de 30 % do consumo no caso de ser a única zona climatizada do edifício. A diferença de climatizar com ar, em relação ao uso de piso radiante mostra aumentos de consumo de energia para o mesmo objectivo de na ordem de 8-9 %.

6.2. Critérios de iluminação

As acções em iluminação em edifícios patrimoniais estão condicionadas em muitos casos, a aspectos puramente energéticos. Assim, no momento de considerar as acções a abordar e a sua valorização, é necessário considerar os seguintes aspectos e variáveis:

- *Requerimentos estéticos.* Considera-se como uma das condições mais condicionantes, no sentido de que, por vezes, prevalecer na concepção da luminária e do mesmo tamanho ou de desempenho da lâmpada em frente ao critério de energético.

Considera-se como uma das variáveis mais condicionantes, o projecto da luminária e o tamanho da mesma ou o desempenho da lâmpada em relação critério de energético.

Na Tabela 3 apresenta-se uma valorização dos requisitos da fonte de luz para aplicações da iluminação arquitectónica. As variáveis cromáticas são as que apresentam um maior peso, enquanto que a vida útil e a eficácia da lâmpada são aspectos menos importantes.

Eficácia da lâmpada	★ ★
Fluxo luminoso	★ ★ ★
Temperatura de Cor	★ ★ ★ ★
Reprodução de color	★ ★ ★ ★
Vida	★

Tabela 3: Requisitos da fonte de luz para iluminação arquitectónica (Fonte Philips)

- Utilização do edifício.** A actividade a que está destinado o edifício, condiciona os requerimentos de iluminação necessários para garantir a correcta realização das actividades, assim, como as características e tipos de luminárias e lâmpadas a instalar. É importante ter em conta que dadas as características especiais de muitos edifícios patrimoniais, os requerimentos de iluminação têm certos graus de liberdade em respeito à norma vigente. Além disso, deve incluir a possível necessidade de iluminação exterior.
- Horário de actividade.** Esta variável, associada de forma directa à anterior, tem uma grande importância no momento de escolher o sistema de iluminação mais adequado. Principalmente diferenciam-se dois tipos de utilização. Por um lado encontram-se edifícios com utilizações pontuais reduzidas a uma ou várias horas a o dia, sendo um caso tipo de edifícios de culto. Por outro lado, têm-se horários do tipo contínuo, associados a edifícios de utilização civil ou edifícios de culto com horários contínuos de visitas.
- Opções de regulação e gestão.** As diferentes possibilidades de regulação e controlo estão condicionadas pelo conjunto luminária e lâmpada disponível ou aplicável sob as variáveis anteriores e possibilidades de acção no edifício.

De forma geral os valores de referencia adoptados por estas variáveis apresentam valores similares em todos os edifícios patrimoniais, tal como se apresenta na Tabela 4, salvo ligeiras diferenças associadas à sua utilização, pelo que as medidas aplicáveis nos edifícios tomados como referencia, são representativos para o seguinte conjunto:

	Edifícios de culto	Edifícios civis
Exigências estéticas	alto	variável
Fração de tempo todos os dias	variável	variável
Regulação opções	limitado	limitado

Tabela 4: Requerimentos nos edifícios patrimoniais

Considerando estas especificações, para melhor a eficiência nos sistemas de iluminação, implementam-se directamente as seguintes acções:

- Instalação no interior dos edifícios de lâmpadas de baixo consumo, em conjunto com luminárias de alta eficiência e balastros electrónicos. A correcta selecção destes sistemas em função do tipo de utilização consoante as necessidades de iluminação, alcançam importantes economias energéticas permitindo também fornecer um serviço mais eficiente.
- Instalação de lâmpadas de exterior com um menor consumo possível que cumpra os requerimentos estéticos mínimos de iluminação do edifício. Um estudo adequado de iluminação exterior proporciona uns resultados apreciáveis e uma garantia de economia energética importante com a sua utilização.
- Implementação de sistemas de gestão de iluminação, os quais em conjunto com as medidas anteriores garantem uma adequada utilização dos sistemas de iluminação. Os métodos de gestão mais adequados para edifícios patrimoniais são:
 - Sensor de presença, em zonas comuns de passagem, que permitam a redução do tempo de utilização.
 - Controlo por horário, restringindo a iluminação em determinadas zonas e eliminar a utilização em momentos que não sejam necessários, eliminando desta forma consumos desnecessários.
 - Controlo por luminosidade, adequando a iluminação para zonas exteriores em função da intensidade da mesma.

A quantificação da economia energética que estas medidas implicam, depende directamente dos valores que o edifício de aplicação proporcione às variáveis que se foram consideradas e analisadas inicialmente, embora existam estudos que garantam, tal como se apresenta na Figura 44, que se pode conseguir economias de 75% sobre o consumo inicial.

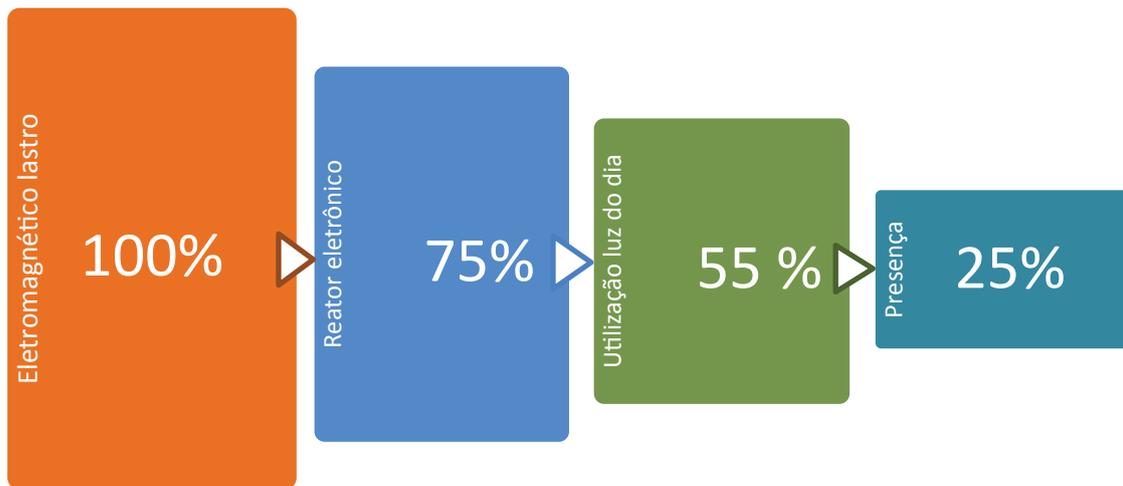


Figura 44: Economia energético em iluminação (Fonte Philips)

As economias não só efeito na redução dos consumos de energia eléctrica, mas também ajuda a reduzir as emissões de CO2 para a atmosfera. Com os equipamentos electrónicos também se obtêm uma importante economia em climatização, porque o calor gerado pelos equipamentos é menor.

7. BIBLIOGRAFIA

Buckley, S.J. (2010): "Laser Scanning for the Environmental Sciences". *The Photogrammetric Record*, 25 (129), p. 84–85. DOI: 10.1111/j.1477-9730.2009.00562_1.x

Farjas, M.; García Lázaro, F.J. (2008): "Modelización tridimensional y sistemas láser aplicados al Patrimonio Histórico". Ediciones Ergástula (Serie: Biblioteca básica), Madrid. ISBN: 978-84-936732-0-8

White, P.D.; Jones, R.R. (2008): "A cost-efficient solution to true color terrestrial laser scanning". *Geosphere*, 4 (3), p. 564-575. DOI: 10.1130/GES00155.1

English Heritage (2007): "3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture". <http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-for-heritage/>

Lagüela, S.; Martínez, J.; Armesto, J.; Arias, P. (2011): "Energy efficiency studies through 3D laser scanning and thermographic technologies". *Energy and Buildings*, 43 (6), p. 1216-1221. DOI:10.1016/j.enbuild.2010.12.031

Bryan, P.; Blake, B.; Bedford, J. (Ed. Andrews, D.) (2009): "Metric Survey Specifications for Cultural Heritage". Published by English Heritage. <http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/>

Lerma, J. L.; Navarro, S.; Cabrelles, M.; Seguí, A.E.; Haddad, N. and Akasheh, T. (2011). "Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation". En: Chau-Chang Wang, (Ed.): *Laser Scanning, Theory and Applications*, p. 414-430. Ed. Intech.

Zalama, E.; Gómez-García-Bermejo, J.; Llamas, J.; Medina, R. (2011): "An effective texture mapping approach for 3D models obtained from laser scanner data to building documentation". *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26 (5), p. 381–392.

Manual técnico sobre ahorro y eficiencia energética en climatización de naves industriales. Junta de Castilla y León, Consejería de Economía y Empleo Ente Regional de Energía de Castilla y León, 2010.

Instalaciones de iluminación en edificios en el marco del Código Técnico de la Edificación, Instituto de la Construcción de Castilla y León – www.iccl.es, EnerAgen Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía, 2007

Guía Técnica de Iluminación Eficiente Sector Residencial y Terciario, Comunidad de Madrid, www.fenercom.com, 2006

Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmica en edificios., Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2008.

Paul Baker, Historic Scotland Technical Paper 10: U-values and traditional buildings *In situ* measurements and their comparisons to calculated values, www.historic-scotland.gov.uk/technicalpapers, 2011

TRNSYS: *A transient Simulation Program*. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison WI, <http://www.trnsys.com>, 1990.

RENOVARE: Guía de buenas prácticas de medidas de uso racional de la energía (URE) y energías renovables (ER), http://www.inform.pt/renovare/homepage_es.htm, programa INTERREG III A, Comisión Europea, 2007

