



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco José Carvalho Marques

Integração de painéis solares térmicos na
reabilitação de edifícios em Portugal para
AQS e aquecimento ambiente



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco José Carvalho Marques

Integração de painéis solares térmicos na
reabilitação de edifícios em Portugal para
AQS e aquecimento ambiente

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

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

AGRADECIMENTOS

Atendendo ao meu estatuto, trabalhador – estudante, a realização deste projeto só se tornou possível com muito trabalho, sacrifício e a contribuição de alguns elementos, aos quais não poderia deixar de fazer um sincero agradecimento:

Quero começar por agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva por me ter dado a oportunidade de realizar a minha tese sob sua orientação e pela disponibilidade e ajuda que sempre demonstrou ao longo desta caminhada, tanto no trabalho em si como nas revisões feitas ao relatório final.

À minha família, em especial à minha esposa e aos meus dois filhos, Luís e o Simão pelo apoio incondicional e encorajamento que me deram ao longo de todo este percurso.

A todos os meus amigos em especial ao Manuel Lopes, um manifesto de profundo reconhecimento, pois sem eles, todo este percurso seria bem mais difícil.

Ao Eng.º Gaspar Silva, meu superior hierárquico e amigo, que sempre me apoiou e proporcionou a articulação do meu trabalho com os estudos.

E por fim queria agradecer a todos que, direta ou indiretamente, participaram neste projeto e acreditaram em mim, o meu sincero obrigado.

RESUMO

A Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 (EPBD-recast), transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, define como metas para 2020 a redução dos consumos energéticos em 20%, aumento em 20% da utilização de energias renováveis e redução em 20% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990 e a obtenção de edifícios NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings* (edifícios com necessidades quase nulas de energia). Apesar de a Diretiva impor estas metas para os edifícios novos ou para grandes obras de reabilitação de edifícios existentes, é essencial para Portugal atingir esses objetivos, intervir no edificado existente. A instalação de painéis solares térmicos aquando da realização de obras de reabilitação dos edifícios de habitação é importante para a obtenção de edifícios NZEB.

No entanto, mais do que instalar é necessário integrar os painéis na envolvente do edifício (substituindo o/os componentes), minimizando o impacto estético, reduzindo os custos de implementação e valorizando os próprios edifícios.

Em resposta a essas necessidades, e com o objetivo de apontar medidas que visam contribuir para a obtenção de edifícios NZEB, neste trabalho procedeu-se à avaliação das necessidades energéticas, para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e para o aquecimento ambiente, através de simulação, utilizando o programa *DesignBuilder*. Foi proposta a integração de coletores solares, em três zonas distintas (cobertura, fachada e guarda da varanda) de um edifício unifamiliar na fase de definição do projeto de reabilitação e procedeu-se também à avaliação do período de retorno do investimento.

Com o trabalho desenvolvido para as opções apontadas foi possível identificar quais as que apresentam maior desempenho, verificar qual o tipo de coletor mais indicado para colmatar as necessidades energéticas e avaliar se o desempenho obtido e o custo de investimento feito compensam.

Para o caso de estudo analisado a integração de coletores solares térmicos permitiu reduzir as necessidades de energia não renovável em aproximadamente 45%, no entanto o período de retorno do investimento é superior a 15 anos.

Palavras-Chave: Integração, Coletores Solares Térmicos, AQS, Aquecimento Ambiente

ABSTRACT

The Directive No. 2010/31 / EU of the European Parliament and of the Council of May 19, 2010 (EPBD-recast), transposed into national law by Decree Law No. 118/2013, of August 20, imposed as targets for 2020 to reduce energy consumption by 20%, 20% increase in the use of renewable energy and 20% reduction in emissions of greenhouse gases compared to 1990 levels and achieving NZEB - Nearly Zero Energy Buildings (buildings with almost zero energy needs). Although the EPBD-recast defined these goals for new buildings or buildings subjected to major rehabilitation works, for Portugal achieve these goals it is essential to install solar thermal panels also in all the rehabilitation works of buildings.

However, more than installing is necessary to integrate the solar thermal panels in the building envelope (replacing the components), minimizing the aesthetic impact, reducing initial costs and improving the quality of buildings.

The work carried out had the objective of identifying procedures which will contribute to obtain NZEB buildings in the future. In the current work the evaluation of the energy needs for the preparation of hot water (DHW) and for space heating was performed through simulation using DesignBuilder software. It was proposed to integrate solar thermal panels into three distinct elements of the building envelope (roof, facade and balcony guard) of a residential building subjected to rehabilitation works. The evaluation to the payback period of the investment was also performed.

With this work was possible to identify which of the options outlined have higher performance, verify which type of collector suited best the energy needs of the building and if the cost of investment paid off.

For the case study analysed the non-renewable energy consumption was reduced in approximately 45%, but the payback time was of more than 15 years.

Keywords: integration, Solar Thermal Collectors, DHW (Domestic Hot Water), Heating Environment

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	OBJETIVOS	4
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	ANÁLISE DO PARQUE HABITACIONAL NACIONAL	7
2.1.1	Número de edifícios e época de construção	7
2.1.2	Número de edifícios em função do número de pisos	8
2.1.3	Estado de conservação dos edifícios	10
2.2	TIPOS DE COLETORES SOLARES	11
2.2.1	Coletores não concentradores ou estacionários	12
2.2.1.1	Coletores planos sem cobertura	12
2.2.1.2	Coletores planos com cobertura	13
2.2.1.3	Coletores parabólicos compostos (CPC)	16
2.2.1.4	Coletores de tubos de vácuo	17
2.2.1.5	Coletores de vácuo planos	18
2.2.2	Coletores concentradores	18
2.2.2.1	Canal cilindro/parabólico	19
2.2.2.2	Coletor de Fresnel	20
2.2.2.3	Disco Parabólico	21
2.2.2.4	Torre de Concentração	21
2.3	TIPOS DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS	22
2.3.1	Circulação em termossifão	23
2.3.2	Circulação forçada	24
2.4	POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO	26
2.4.1	Integração de Coletores Solares Térmicos na cobertura	27
2.4.1.1	Integração em coberturas planas	28
2.4.1.2	Integração em coberturas inclinadas	28
2.4.2	Integração de Coletores Solares Térmicos na fachada	29
2.4.2.1	Integração dos coletores como fachada ventilada	30

2.4.2.2	Integração direta na fachada.....	32
2.4.2.3	Integração em elementos arquitetónicos dos edifícios	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	35
3.1.1	Características geométricas	36
3.1.2	Características construtivas	37
3.2	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO UTILIZADO DESIGNBUILDER E ENERGYPLUS.....	39
3.2.1	Execução / Caracterização do modelo	40
3.2.1.1	Criação do ficheiro do modelo	40
3.2.1.2	Desenho do modelo	42
3.2.1.3	Identificação das zonas	44
3.2.1.4	Definição dos elementos construtivos	45
3.2.1.5	Definição dos vãos envidraçados	48
3.2.1.6	Definição do tipo de iluminação	50
3.2.1.7	Definição do sistema AVAC.....	50
3.2.2	Medidas de reabilitação do edifício	51
3.2.2.1	Reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores	51
3.2.2.2	Reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura.....	53
3.2.2.3	Melhoria das características dos vãos envidraçados.....	54
3.2.3	Definição / Modelação de sistema de AQS e Aquecimento ambiente	55
3.2.3.1	Circuito do sistema solar.....	56
3.2.3.2	Circuito da água quente	61
3.2.3.3	Circuito do aquecimento	63
3.2.3.4	Adaptação da modelação do sistema a AQS.....	64
3.2.4	Simulações dinâmicas.....	65
4	RESULTADOS.....	71
4.1	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....	71
4.2	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	82
4.2.1	Análise Termo-energética	82
4.2.2	Análise Económica.	85
5	CONCLUSÕES	97

5.1	CONCLUSÃO GERAL	97
5.2	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	PRINCIPAIS SITES CONSULTADOS	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da dissertação	5
Figura 2 – Número de edifícios e época de construção	8
Figura 3 – Número de edifícios por número de pisos	8
Figura 4 – Número de edifícios em função do número de pisos por época de construção	9
Figura 5 - Estado de conservação dos edifícios.....	10
Figura 6 – Edifícios com necessidade de reparações.....	11
Figura 7 - Coletor plano sem cobertura	12
Figura 8 – Esquema de coletor plano com cobertura	13
Figura 9 - Absorção de alumínio “ <i>Roll-Bond</i> ”	14
Figura 10 - Absorção com um sistema de tubos soldados numa chapa de metal	14
Figura 11 - Absorção de alumínio com tubos de cobre prensados	15
Figura 12 - Absorção com sistema de tubos prensados entre duas chapas	15
Figura 13 - Absorção de aço inoxidável no qual o líquido absorção passa através de toda a superfície	15
Figura 14 - Absorção de serpentina (superfície-total)	15
Figura 15 - Absorção de superfície-total	15
Figura 16 – Pormenor do coletor parabólico composto	16
Figura 17 – Pormenor de um coletor de tubos de vácuo	17
Figura 18 – Concentrador canal cilindro/parabólico	19
Figura 19 - Imagem do refletor linear Fresnel	20
Figura 20 – Imagem de um concentrador de disco parabólico	21
Figura 21 – Imagem de uma torre de concentração	22
Figura 22 – Representação esquemática dos dois tipos de sistemas solares térmicos	23
Figura 23 – Esboço de um sistema de circulação termossifão	24
Figura 24 - Esboço de um sistema de circulação forçada numa habitação unifamiliar	25
Figura 25 – Vários tipos de sistemas de circulação forçada em edifícios multifamiliares	26
Figura 26 – integração de coletor solar paralelamente com a cobertura	28
Figura 27 - Coletores integrado no revestimento da cobertura	29
Figura 28 - Coletores integrado no revestimento da fachada	31
Figura 29 - Integração direta na fachada - Centre d’ exploitation des Routes Nationales (CeRN), na Suíça	32

Figura 30 – Integração em grade de varanda - Sunny Woods, Zurich, Suíça,	33
Figura 31 - Vista do Alçado Principal do edifício	35
Figura 32 – Planta de localização	35
Figura 33 – Planta do Rés-do-chão	36
Figura 34 - Planta do Andar.....	37
Figura 35 – Planta de Cobertura	37
Figura 36 – Janela da criação do novo projeto	41
Figura 37 - Janela de atribuição das coordenadas de localização e orientação	41
Figura 38 – Vista pelo exterior da representação geométrica do modelo concluído	43
Figura 39 – Vista interior da representação geométrica do modelo concluído	43
Figura 40 – Separador de identificação das zonas	44
Figura 41 – Plantas do edifício em estudo com as zonas identificadas.....	45
Figura 42 – Separador de definição dos elementos construtivos.....	46
Figura 43 – Separador de definição das características das paredes exteriores.....	46
Figura 44 – Representação esquemática da constituição parede exterior, apresentada pelo <i>DesignBuilder</i>	47
Figura 45 – Separador indicativo das propriedades referentes às paredes exteriores	47
Figura 46 - Separador de definição dos vãos envidraçados.....	48
Figura 47 - Separador de definição das características do envidraçado	49
Figura 48 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado	49
Figura 49 - Separador de definição do tipo de iluminação	50
Figura 50 - Separador de definição das características do sistema de AVAC.....	51
Figura 51 - Representação esquemática da constituição parede exterior com o reforço do isolamento pelo exterior, apresentada pelo <i>DesignBuilder</i>	52
Figura 52 – Separador indicativo das propriedades referentes às paredes exteriores já com o reforço do isolamento pelo exterior	53
Figura 53 - Separador indicativo das propriedades referentes à laje de teto do andar já com o reforço do isolamento.....	54
Figura 54 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado escolhido.....	55
Figura 55 – Modelo de simulação de sistemas para aquecimento de espaços.....	56
Figura 56 - Circuito do sistema solar	57
Figura 57 - Definição do coletor solar.....	58

Figura 58 – Indicação a localização dos coletores.....	59
Figura 59 – Definição do depósito acumulador do circuito do sistema solar	61
Figura 60 - Circuito da água quente.....	61
Figura 61 - Definição da caldeira de apoio	62
Figura 62 - Circuito do aquecimento	63
Figura 63 - Definição do depósito acumulador do circuito de aquecimento	64
Figura 64 - Modelo definido para preparação de AQS e Aquecimento.....	65
Figura 65 - Separador de definição da simulação dinâmica.....	66
Figura 66 – Exemplo de apresentação dos resultados anuais apresentados em forma de gráfico	66
Figura 67 - Exemplo de apresentação dos resultados mensais apresentados em forma de gráfico	67
Figura 68 – Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de gráfico	67
Figura 69 - Exemplo de apresentação dos resultados horários apresentados em forma de gráfico	68
Figura 70 - Exemplo de apresentação dos resultados anuais apresentados em forma de tabela	68
Figura 71 - Exemplo de apresentação dos resultados mensais apresentados em forma de tabela	68
Figura 72 - Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de tabela	69
Figura 73 - Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de tabela	69
Figura 74 – Necessidades energéticas diárias do edifício antes e após a reabilitação	71
Figura 75 - Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na cobertura do edifício.....	73
Figura 76 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na cobertura do edifício.....	74
Figura 77 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na fachada do edifício.....	75
Figura 78 – Gráfico com a representação das necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na fachada do edifício	77
Figura 79 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na guarda da varanda	78

Figura 80 - Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na guarda da varanda	79
Figura 81 – Comparação das necessidades energéticas antes e depois do reforço do isolamento térmico	82
Figura 82 - Comparação das necessidades energéticas antes e depois do reforço do isolamento térmico implementado individualmente	82
Figura 83 – Comparação dos pesos das medidas de reabilitação na redução do consumo energético do edifício	83
Figura 84 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na cobertura	83
Figura 85 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na fachada	84
Figura 86 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na guarda da varanda	85
Figura 87 - Previsão da evolução do custo de energia	86
Figura 88 – Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	88
Figura 89 – Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	89
Figura 90 - Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	91
Figura 91 - Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	91
Figura 92 - Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	93
Figura 93 - Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	94
Figura 94 – Gráfico de comparação de dados de redução de consumos energéticos nas três opções da integração de coletores em estudo	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos elementos construtivos antes da reabilitação.....	39
Tabela 2 - Características dos elementos construtivos depois da reabilitação	55
Tabela 3 – Lista de coletores planos usados nas simulações em estudo.....	58
Tabela 4 - Lista de coletores de tubos de vácuo usados nas simulações em estudo.....	59
Tabela 5 - Número de coletores por área disponível	60
Tabela 6 – Características da caldeira selecionada.....	63
Tabela 7 – Necessidades energéticas mensais do edifício antes e após a reabilitação	72
Tabela 8 - Necessidades energéticas mensais do edifício com a introdução separada das medidas de reabilitação	73
Tabela 9 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na cobertura do edifício.....	74
Tabela 10 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na cobertura do edifício.....	75
Tabela 11 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na fachada do edifício.....	76
Tabela 12 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na fachada do edifício	77
Tabela 13 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na guarda da varanda.....	78
Tabela 14 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na guarda da varanda.....	79
Tabela 15 – Estimativa de custos, associados às medidas de reabilitação	80
Tabela 16 – Estimativa de custos dos coletores instalados em cada opção	80
Tabela 17 - Estimativa de custos dos coletores instalados em cada opção (continuação).....	81
Tabela 18 - Estimativa de custos para fornecimento de um termoacumulador e adaptação do sistema existente à energia solar.....	81
Tabela 19 – Análise económica da implementação das medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	86
Tabela 20 – Análise económica da integração de coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	87

Tabela 21 - Análise económica da integração de coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício	90
Tabela 22 - Análise económica da integração de coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico	92
Tabela 23 – Tabela de comparação de dados de redução de consumos energéticos nas três opções da integração de coletores em estudo	94

LISTA DE ABREVIATURAS

AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
CPC	Coletores parabólicos compostos
CSP	Coletores solares planos
EPS	Poliestireno expandido
FEPICOP	Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas
IEE	Indicador de eficiência energética
INE	Instituto Nacional de Estatística
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NZEB	Nearly Zero Energy Buildings (edifícios com necessidades quase nulas de energia)
PST	Painéis Solares Térmicos
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
SCE	Sistema Certificação Energética dos Edifícios
XPS	Poliestireno extrudido

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Devido a questões ambientais e económicas, há uma preocupação crescente no setor da construção em relação à sustentabilidade e eficiência energética dos edifícios, os quais, por um lado, apresentam um consumo de energia significativo e, por outro, condições ideais para exploração dos recursos naturais para geração de energia (MARUJO, et al., 2010).

A utilização de combustíveis fósseis é uma das maiores fontes de emissões de dióxido de carbono, contribuído para o efeito estufa e para o aquecimento global. Neste contexto, o uso de energias renováveis tornou-se mais relevante nos últimos anos. A escassez de fontes de combustíveis fósseis e o consumo crescente de eletricidade também figuram entre as razões que justificam a mudança de rota no paradigma energético.

Perante este paradigma, a Diretiva n.º 2002/91/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD, 2002), que estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios. Em Portugal esta diretiva foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), do Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). (SCE, 2006; RSECE, 2006; RCCTE, 2006;).

Este último, (RCCTE, 2006), veio reforçar os requisitos já impostos pelo Decreto-Lei 40/90, de 6 de Fevereiro (RCCTE 1990), estabelecendo novos requisitos de qualidade térmica para os novos edifícios de habitação e para pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

Este regulamento impôs limites aos consumos energéticos nas habitações para climatização e produção de águas quentes sanitárias, incentivando a utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacte em termos de consumo de energia primária. Deste

modo, atribuiu relevância à energia solar térmica, com a obrigatoriedade de instalação de coletores solares térmicos em todos os edifícios novos ou em grandes obras de reabilitação, e valorizou a utilização de outras fontes de energia renovável. Acentuou essa importância no cálculo das necessidades de energia primária utilizado para definir o desempenho energético dos edifícios (RCCTE, 2006).

A criação e operacionalização do referido sistema, a par dos esforços empregues na aplicação destes regulamentos, contribuíram também, nos últimos anos, para o destaque crescente dos temas relacionados com a eficiência energética e utilização de energia renovável nos edifícios, e para uma maior proximidade entre as políticas de eficiência energética, os cidadãos e os agentes de mercado (SCE, 2013).

A recente transposição para o direito nacional da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 (EPBD-recast), através do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto e respetivas portarias e despachos, gerou a oportunidade de melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma (EPBD-recast, 2010; SCE, 2013).

O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto assegura não só a transposição da EPBD-recast, mas também uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), atendendo, simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo, e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de carácter predominantemente técnico (REH, 2013).

Apesar da Diretiva n.º 2010/31/EU impor metas para as edificações novas, é congruente que se pondere nas recomendações referentes à reabilitação dos edifícios existentes. Sem intervir nos edifícios existentes não é possível atingir as metas 20-20-20.

No caso de Portugal, a crise económica dos últimos anos, afetou diretamente o mercado da construção. As estimativas apontam para uma queda global da produção do setor da Construção de 15% em 2013 (FEPICOP, 2014). Para além destes dados, é necessário também realçar a existência de 735 128 alojamentos vagos, o que representa cerca de 12,6 % do total de alojamentos em Portugal (INE, 2011). Assim, a reabilitação do parque edificado, 3,5 milhões

de edifícios (INE, 2011), determinam a forma mais eficaz de contribuir para a sua eficiência energética e para atingir as metas definidas na EPBD-recast. É precisamente ao nível da reabilitação que é possível conseguir maiores ganhos de eficiência energética, embora se deva ter presente que estes investimentos devem ser otimizados (MARUJO, et al., 2010).

Uma das soluções essenciais para se cumprir as metas da EPBD-recast para 2020 (redução dos consumos energéticos em 20%, aumento em 20% da utilização de energias renováveis e redução em 20% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990) e a obtenção de edifícios NZEB – Nearly Zero Energy Buildings (edifícios com necessidades quase nulas de energia), e também as metas propostas recentemente pela União Europeia (EU) para 2030 (aumento para 27% da utilização de energias renováveis e redução em 40% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990), é essencial a instalação de coletores solares térmicos na reabilitação dos edifícios (EPBD-recast, 2010; COMISSÃO EUROPEIA, 2014).

No entanto, as instalações em edifícios existentes, tendem a ser mais fragmentadas do que em edifícios novos, uma vez que se tem que respeitar a situação existente. Mais do que instalar é necessário integrar os painéis na envolvente do edifício (substituindo o/os componentes), minimizando o impacto estético e reduzindo os custos de implementação. Além destas questões é necessário considerar também as restrições regulamentares (resistência ao fogo, ao impacto, etc.) e as restrições associadas, por exemplo à implementação destes sistemas em edifícios existentes no interior de centros urbanos onde a acessibilidade solar pode ser reduzida.

Quando se fala de integração em arquitetura, esta muitas vezes limita-se à estética. Mas a forma e a cor não determinam por si só o quanto a “integração” de sistemas solares pode ser apropriada. No sentido de integrar é necessário que exista uma substituição de componentes dos edifícios pelos coletores, o que se traduz em redução de custos, pela não duplicação de materiais, e os coletores além de contribuírem para a produção de AQS e eventualmente serem usados para aquecimento e arrefecimento ambiente podem também melhorar o desempenho térmico do edifício. A tarefa de integração terá de ser projetada de acordo com a situação observada no local, que varia de edifício para edifício.

A integração é importante para aumentar o valor dos edifícios, reduzir os consumos energéticos, sendo também essencial para Portugal atingir as metas definidas na EPBD-recast. É necessário proceder à identificação do tipo e localizações mais adequadas dos coletores solares térmicos para o clima e soluções construtivas Portuguesas.

1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade da instalação/integração de coletores solares térmicos para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e para aquecimento ambiente, na reabilitação de edifícios de habitação.

Numa primeira fase foi analisado o parque habitacional nacional, relativamente ao número de edifícios, época de construção e estado de conservação.

Foi analisado o tipo de coletores solares térmicos existentes, e estudada a viabilidade da sua integração, em vários tipos de cenários, na envolvente do edifício em estudo.

Numa fase posterior, através de simulações, determinou-se os ganhos em termos energéticos, que contribuem para a redução das necessidades energéticas, e assim se pode comparar esses resultados com as várias soluções de integração em estudo. Esta simulação foi feita com recurso do programa *DesignBuilder* que faz a interligação com o *EnergyPlus*.

O estudo foi desenvolvido usando um edifício representativo do parque edificado a nível nacional de forma a se poder extrapolar os resultados obtidos.

Este trabalho tem alto valor científico e muita aplicabilidade prática já que a instalação de sistemas solares térmicos é obrigatória.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, estruturados individualmente por subcapítulos, formatando toda a informação de uma forma lógica e coerente (Figura 1).

O primeiro capítulo corresponde à “Introdução”, onde se apresentar o tema e a sua relevância, os objetivos e a presente estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, “Revisão Bibliográfica”, são abordados conteúdos que direta ou indiretamente, estão relacionados com a “Integração de Painéis Solares Térmicos”, tais como a análise do parque habitacional, os tipos de coletores, os tipos de sistemas solares e a possibilidade de integração destes sistemas.

No terceiro capítulo, “Metodologia”, estão descritos os dois elementos preponderantes neste trabalho. O primeiro elemento é a descrição do caso de estudo, onde é feita a caracterização geométrica e construtiva do edifício analisado, caso de estudo. O segundo elemento é o *software* de simulação, onde está descrita a conceção e caracterizado do modelo, onde são

apresentadas as medidas de reabilitação, onde é definido e modelado o sistema preparação de AQS e aquecimento e onde são definidas as simulações dinâmicas realizadas.

No quarto capítulo, “Resultados”, são apresentados os valores obtidos nas simulações e é feita a análise dos dados obtidos.

Por fim, o quinto capítulo é composto pelas “Conclusões” referentes a todo o trabalho efetuado no âmbito deste estudo, são também neste capítulo apresentados os trabalhos futuros.

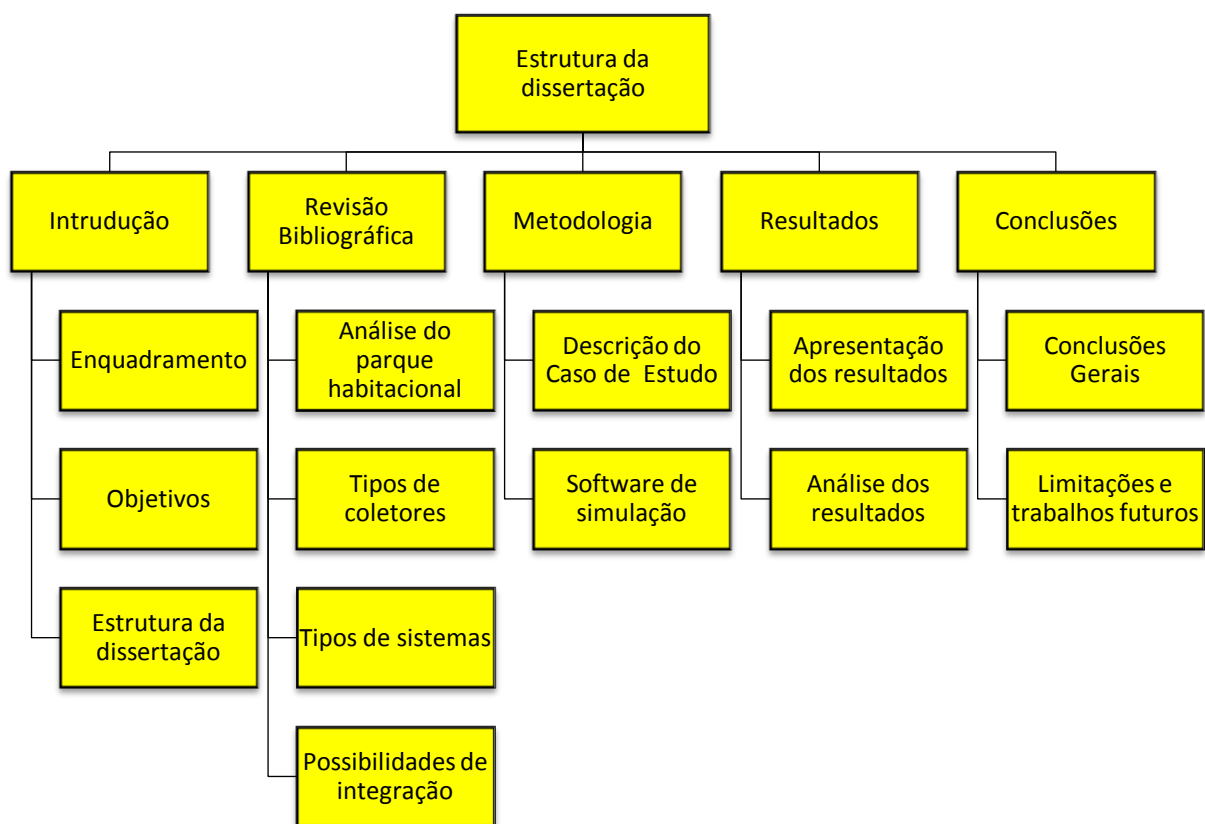


Figura 1 - Estrutura da dissertação

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em Portugal existem 3 544 389 edifícios, dos quais, 3 335 019 edifícios, aproximadamente 94% do total de edifícios, foram construídos antes da entrada em vigor RCCTE o que pode indicar que a maioria desses edifícios, não apresentam qualidade térmica adequada a assegurar as condições de conforto e apresentam consumos energéticos elevados. Também é de realçar que aproximadamente 29% do edifícios existentes, (i.e. 1 024 937 edifícios), necessitam de obras de reabilitação (RCCTE, 2006; INE, 2013).

Assim, a reabilitação do parque edificado, 3,5 milhões de edifícios (INE, 2011), determina a forma mais eficaz de contribuir para a sua eficiência energética e para atingir as metas definidas na EPBD-recast para 2020 (redução dos consumos energéticos em 20%, aumento em 20% da utilização de energias renováveis e redução em 20% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990) e a obtenção de edifícios NZEB – Nearly Zero Energy Buildings (edifícios com necessidades quase nulas de energia), e também as metas propostas recentemente pela UE para 2030 (aumento para 27% da utilização de energias renováveis e redução em 40% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990). É essencial aquando da reabilitação dos edifícios instalar / integrar coletores solares térmicos (EPBD-recast, 2010; COMISSÃO EUROPEIA, 2014).

2.1 Análise do parque habitacional nacional

A habitação é um elemento decisivo no desenvolvimento do tecido urbano, sendo de elevada importância para o ordenamento do território, para a qualidade de vida dos cidadãos e para a definição e implementação de políticas sociais (INE, 2013).

2.1.1 Número de edifícios e época de construção

De acordo com os dados estatísticos obtidos nos Censos 2011, em Portugal existem 3 544 389 edifícios, correspondendo a 5 878 756 alojamentos (INE, 2013).

Nas últimas quatro décadas houve um elevado crescimento do parque habitacional comparativamente com as décadas anteriores. Do total de edifícios existentes em 2011, os construídos a partir de 1971 constituíam 63,09% do parque habitacional (Figura 2). Apesar da distribuição dos edifícios ser aproximadamente uniforme nestas décadas é visível que a década

de 1971-1980 foi o período em que se verificou maior crescimento no número de edifícios e que a partir de 2001 houve um desaceleramento no crescimento do parque habitacional. Os edifícios com mais de 40 anos (i.e., construídos antes de 1971) representam os restantes 36,91%.

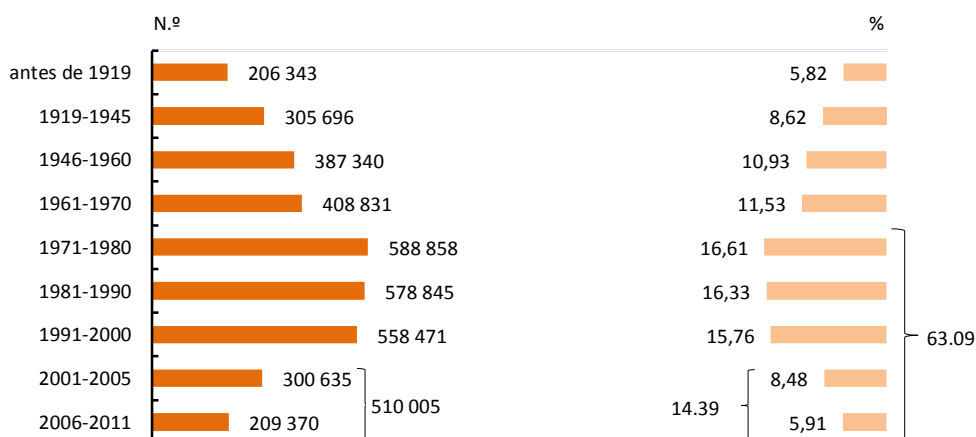


Figura 2 – Número de edifícios e época de construção

2.1.2 Número de edifícios em função do número de pisos

De acordo com dados apresentados na Figura 3 verifica-se que parque habitacional português, em 2011, era constituído na sua maioria por edifícios de baixa altura. Os edifícios com um ou dois pisos representavam 84,86% do total dos edifícios existentes. Os edifícios com mais de 4 pisos representavam menos de 6% do parque habitacional.

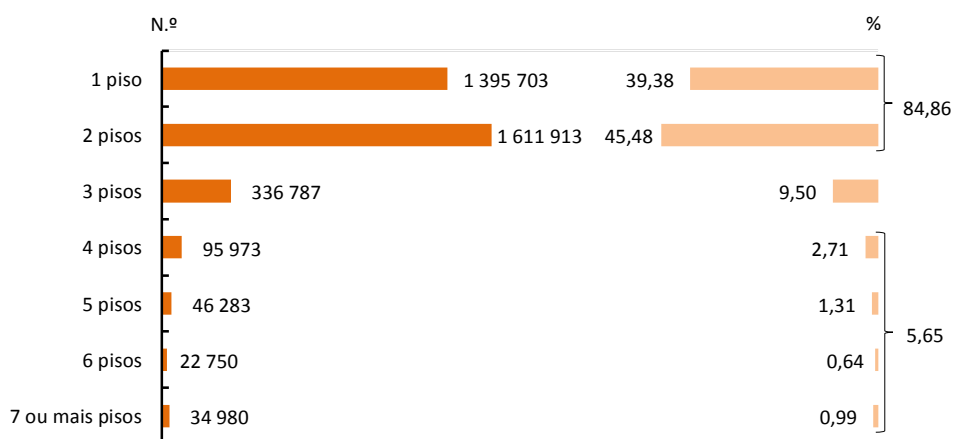


Figura 3 – Número de edifícios por número de pisos

Comparando o número de edifício por número de pisos com a época de construção (Figura 4), verifica-se que entre 2001 e 2011 quase todos os tipos de edifícios, tiveram quebras no número

de edifícios, comparativamente com as décadas anteriores. Os edifícios de 3 pisos são os únicos tipos que aumentaram sempre desde 1919 a 2011.

É de realçar que a quebra no número de edifícios de menor altura, edifícios de 1 piso e 2 pisos, se verificou mais cedo do que nos restantes tipos de edifícios. Os edifícios de 1 piso foram os primeiros a sofrer essa quebra, a partir de 1980, e os edifícios de 2 pisos a partir de 1990. Os restantes tipos de edifícios (i.e. edifícios de 4, 5, 6 e 7 ou mais pisos), essa diminuição só foi verificada a partir do ano de 2000.

Também se pode verificar, que a partir de meados da década de 70, os edifícios com 2 pisos são o tipo de edifícios mais construídos.

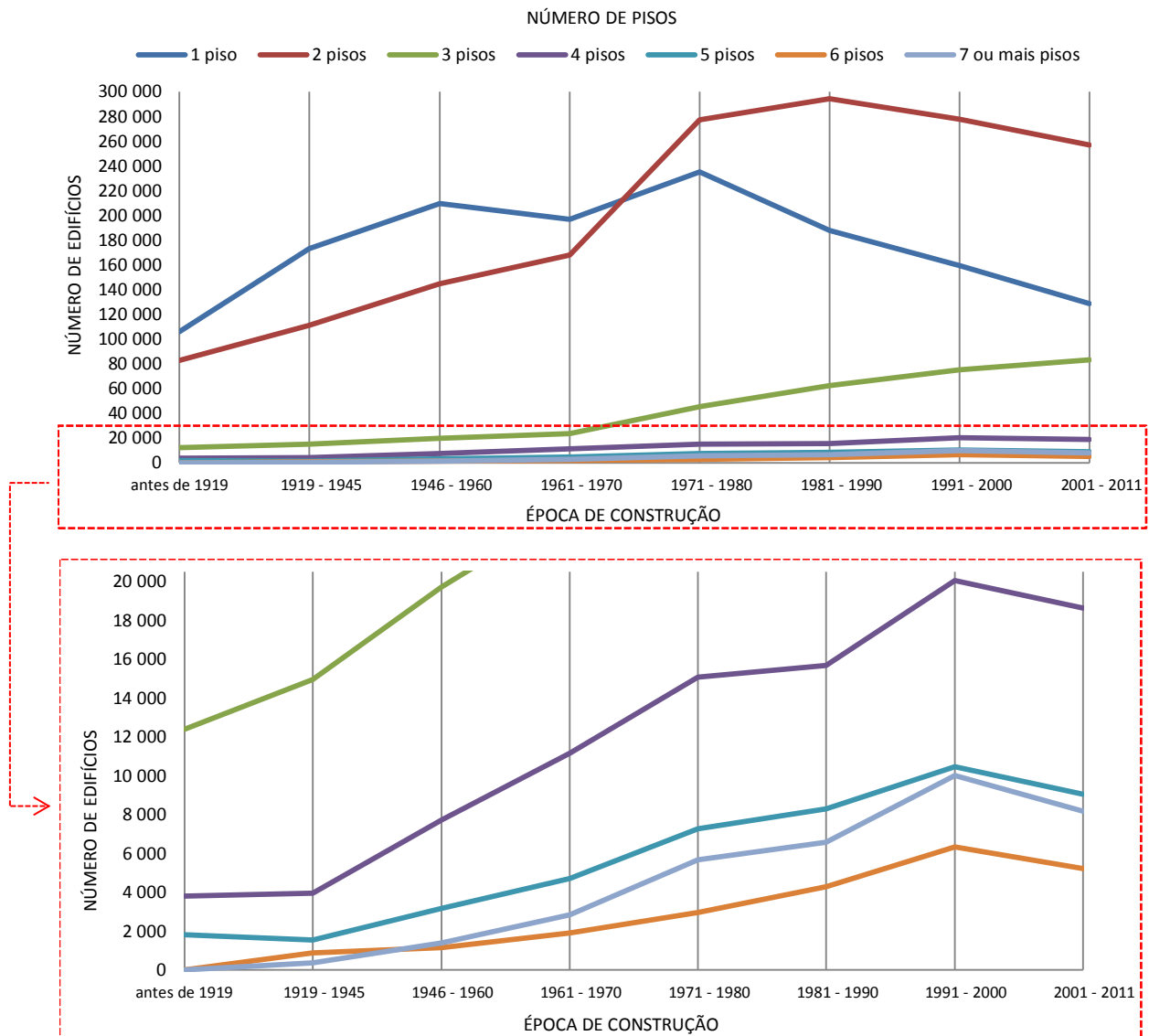


Figura 4 – Número de edifícios em função do número de pisos por época de construção

2.1.3 Estado de conservação dos edifícios

Na avaliação do estado de conservação dos edifícios foi considerado o estado de conservação da estrutura, do telhado, das paredes e das caixilharias exteriores. Nessa avaliação os edifícios foram separados em três grupos, de acordo com o seu estado de conservação. O primeiro grupo refere a edifícios sem necessidade de reparações, o segundo grupo, a edifícios com necessidade de reparações e o terceiro grupo, a edifícios muito degradados. O segundo grupo, dada a sua amplitude, foi dividido em três níveis de necessidades, pequenas, médias e grandes reparações (Figura 5).

Em 2011 os edifícios sem necessidade de reparações representavam cerca de 71% do total de edifícios existentes em Portugal (i.e. 2 519 452 edifícios de 3 544 389 edifícios existentes).

Os edifícios com necessidades de reparação representavam 27,24%, do total de edifícios existentes, sendo visível nesse conjunto que o número de edifícios com necessidade de reparações diminui à medida que aumenta o grau de reparações necessárias. Apesar da percentagem de edifícios com necessidade de reparações ser superior a ¼ do número de edifícios existentes em Portugal (i.e. 965 782 edifícios de 3 544 389 edifícios existentes) é de realçar que 64,64% desses edifícios necessitavam de pequenas reparações e 10,06% desses edifícios necessitavam de grandes reparações (Figura 6).

Os edifícios muito degradados representavam cerca de 2 % do número total de edifícios existentes.

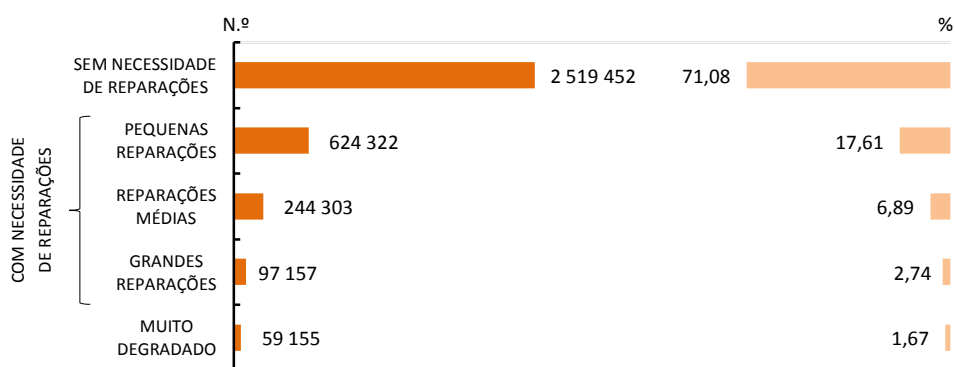


Figura 5 - Estado de conservação dos edifícios

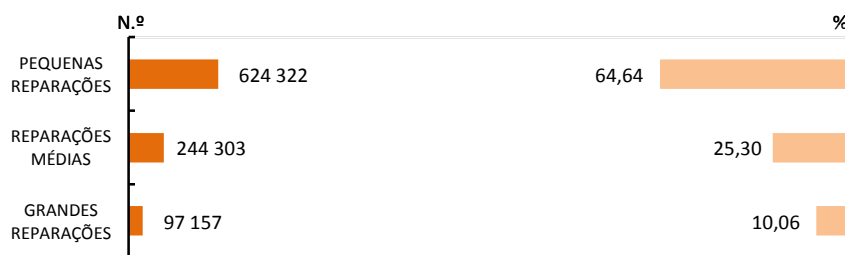


Figura 6 – Edifícios com necessidade de reparações

2.2 Tipos de Coletores Solares

O Coletor Solar tem a função de transformar a energia da radiação solar, que nele incide, em energia térmica. O coletor capta a radiação solar, converte-a em calor e transfere esse calor para um fluido (ar, água ou óleo, em geral) (KALOGIROU, 2009).

Os sistemas solares térmicos para produção de águas quentes sanitárias (AQS) são a aplicação mais comum no aproveitamento da energia solar. A popularidade dos sistemas solares térmicos reside sobretudo na sua relativa simplicidade e no facto de estes sistemas serem possíveis instalar ou mesmo integrar na maioria dos casos.

No geral um sistema solar térmico é constituído por um coletor ou campo de coletores, um sistema de transferência de energia e um depósito de armazenamento.

O coletor é o componente principal e de maior peso sob o ponto de vista económico na instalação de um sistema solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS), para aquecimento de espaços interiores, para processos industriais ou em combinação com um processo de arrefecimento acionado termicamente para refrigeração.

Na escolha do tipo de coletor é necessário conhecer as características dos elementos que o constituem de forma a fazer uma avaliação cuidada da qualidade do equipamento e assim fazer uma escolha mais equilibrada da instalação a realizar, que dependerá sempre da localização e orientação do edifício em estudo, da finalidade da instalação e do orçamento disponível para a fazer.

Existem basicamente dois tipos de coletores solares:

- Coletores não concentradores ou estacionários;
- Coletores concentradores.

2.2.1 Coletores não concentradores ou estacionários

Os coletores não concentradores ou estacionários, na sua maioria planos, mantêm a sua posição e a área de absorção de radiação solar independentemente da direção do sol (i.e. são coletores que estão fixos, logo não acompanham a posição do sol) (KALOGIROU, 2004).

Nesta classe de coletores existem os seguintes equipamentos:

- Coletores planos sem cobertura;
- Coletores planos com cobertura;
- Coletores parabólicos compostos (CPC);
- Coletores de tubos de vácuo;
- Coletores de vácuo planos.

2.2.1.1 Coletores planos sem cobertura

Este tipo de coletores, são os mais utilizados e adequados para o aquecimento de piscinas que não exigem temperaturas muito elevadas (24°C a 28°C) (GREENPRO, 2004).

Estes coletores são geralmente compostos por tubos de plástico de polímero negro (Propileno, Policarbonato ou Polivinil), colocados em forma de esteira e unidos por dois tubos de maior diâmetro nas partes inferior e superior (Figura 7). Geralmente, não possuem revestimento seletivo, nem isolamento térmico, o que origina uma menor eficiência, dadas as elevadas perdas de calor.

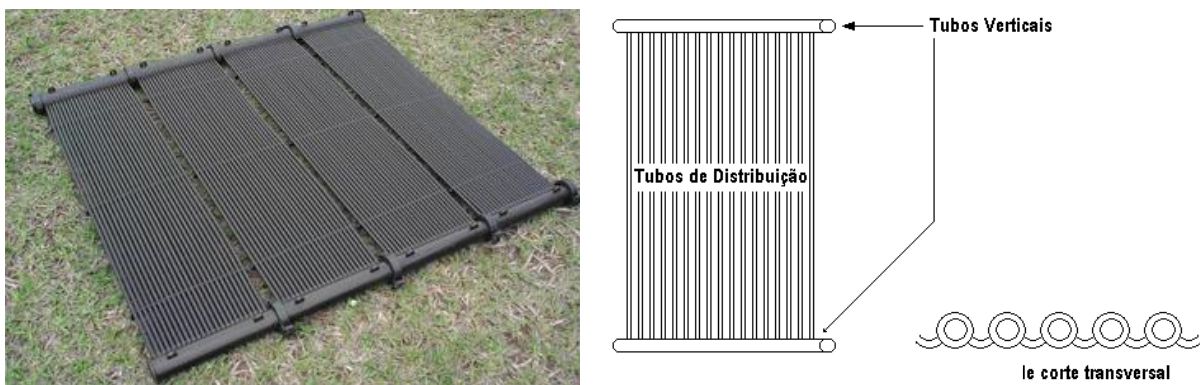


Figura 7 - Coletor plano sem cobertura (GREEN, 2014; SOLAR, 2014)

Dada a simplicidade da sua constituição, estes coletores são mais baratos e de fácil integração no revestimento, mas contudo, devido ao seu baixo desempenho, conduz à necessidade de

instalar uma superfície de coletores com uma área superior comparativamente a outros tipos de coletores (GREENPRO, 2004).

2.2.1.2 Coletores planos com cobertura

Os coletores planos com cobertura atingem temperaturas da ordem dos 30°C a 80°C. Normalmente são usados para a produção de águas quentes sanitárias.

São constituídos por uma placa absorvedora, incorporada numa “caixa”, revestida na parte inferior e dos lados com isolamento térmico e, na parte superior possui uma cobertura, normalmente transparente, que assegura o efeito de estufa, que diminui as perdas por convecção e garante a estanquidade à água e ao ar (Figura 8).

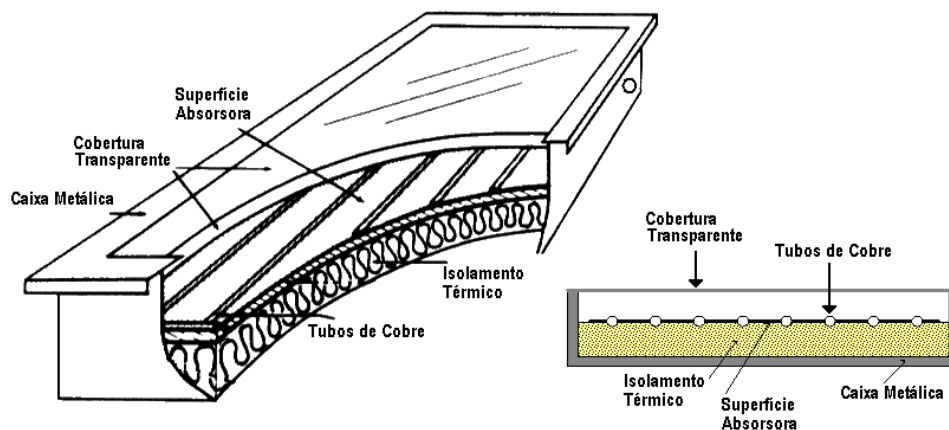


Figura 8 – Esquema de coletor plano com cobertura (SOLAR, 2014)

Um coletor solar térmico deve ser otimizado para ter a maior capacidade de absorção e a menor emissividade térmica possível. A placa absorvedora é o elemento principal de um coletor plano. Esta placa consiste numa chapa de metal com boas características de absorção de calor, normalmente cobre, com um revestimento preto-baço ou com revestimento seletivo, podendo ser disposta em vários modelos, dependendo da solução adotada nos tubos de transferência de calor (GREENPRO, 2004).

Existem diversos modelos de placas absorvedoras:

- Placa absorvedora “*Roll Bond*” (Figura 9): modelo com boas propriedades térmicas e com separação de materiais, permitindo assim a reciclagem simplificada. Contudo está sujeito à corrosão do alumínio em contacto com o tubo de cobre (GREENPRO, 2004);

- Placa absorvedora com faixa absorvedora com tubo de cobre soldado (Figura 10): modelo barato e com tamanho flexível, embora tenha como desvantagem o facto de ter muitos pontos de soldadura (GREENPRO, 2004);
- Placa absorvedora de alumínio com sistema de tubo prensado entre duas folhas de metal (Figura 11): este sistema tem como vantagem a separação dos materiais, permitindo assim uma reciclagem simplificada. Contudo está sujeito a corrosão do alumínio em contacto com o tubo de cobre (GREENPRO, 2004);
- Placa absorvedora de cobre com sistema de tubo prensado entre duas folhas de metal (Figura 12): sistema que tem como vantagem a separação dos materiais, permitindo assim uma reciclagem simplificada. Tem como inconveniente o custo elevado de produção, por causa das ligações (GREENPRO, 2004);
- Placa absorvedora de escoamento total em aço inoxidável (Figura 13): permite uma boa transferência de calor para o fluido, embora tenha um peso elevado, e uma grande inércia térmica (GREENPRO, 2004);
- Placa absorvedora em serpentina (Figura 14): tem como vantagem o facto de ter apenas dois pontos soldados no sistema de tubos, embora esteja sujeito a perdas de pressão elevadas (GREENPRO, 2004);
- Placa absorvedora de superfície total (Figura 15): tem baixas perdas de pressão. Em contrapartida tem muitos pontos de soldadura no sistema de tubos e tem um preço elevado (GREENPRO, 2004).



Figura 9 - Absorvedor de alumínio “*Roll-Bond*” (GREENPRO, 2004)



Figura 10 - Absorvedor com um sistema de tubos soldados numa chapa de metal (GREENPRO, 2004)



Figura 11 - Absorvedor de alumínio com tubos de cobre prensados (GREENPRO, 2004)



Figura 12 - Absorvedor com sistema de tubos prensados entre duas chapas (GREENPRO, 2004)

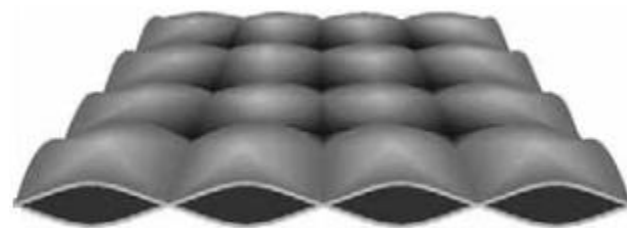


Figura 13 - Absorvedor de aço inoxidável no qual o líquido absorvedor passa através de toda a superfície (GREENPRO, 2004)

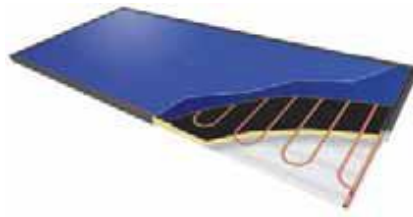


Figura 14 - Absorvedor de serpentina (superfície-total) (GREENPRO, 2004)



Figura 15 - Absorvedor de superfície-total (GREENPRO, 2004)

Dentro dos coletores solares planos com cobertura existem vários tipos, designadamente:

- Coletores Solares com cobertura transparente (Figura 8);
- Coletores Solares de revestimento seletivo;

- Coletores Solares de recobrimento de absorção preto.

Os coletores solares com cobertura transparente comparativamente com outros coletores, são mais económicos, oferecem múltiplas opções de integração, possuem uma boa relação preço/desempenho e permitem uma montagem simples. Contudo, são menos eficientes do que os coletores de vácuo e os parabólicos compostos, não podem ser utilizados para gerar altas temperaturas e exigem mais espaço de instalação do que os coletores de tubos de vácuo (GREENPRO, 2004).

2.2.1.3 Coletores parabólicos compostos (CPC)

Os coletores parabólicos compostos (Figura 16), consistem em sistemas de concentração solar para a obtenção de temperaturas mais elevadas. São sistemas com um rendimento elevado uma vez que têm perdas térmicas baixas, mas com características de simplicidade que os tornam equivalentes, quer em termos de montagem, quer de utilização, aos coletores planos. Podem atingir temperaturas da ordem dos 60°C a 240°C (GREENPRO, 2004).

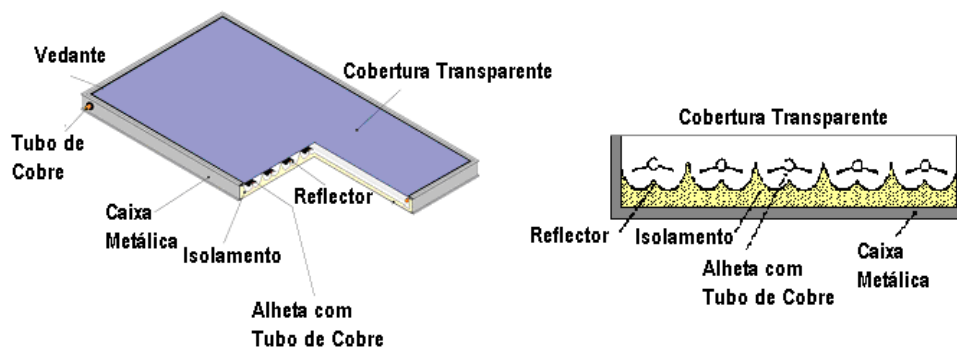


Figura 16 – Pormenor do coletor parabólico composto (SOLAR, 2014)

A redução das perdas térmicas nestes coletores é conseguida através de uma redução da área de absorção, em comparação com a área de captação da radiação solar. Nestes coletores, a radiação solar é concentrada na placa absorvora, alheta em forma de acento circunflexo, constituindo um sistema duplo de absorção: a parte superior do absorvador permite absorver a radiação de forma semelhante aos coletores planos, enquanto que, o sistema de reflexão de forma parabólica permite a absorção da radiação na parte inferior (GREENPRO, 2004).

2.2.1.4 Coletores de tubos de vácuo

Estes coletores geralmente são utilizados em aplicações que exigem temperaturas mais elevadas, ou em regiões com baixo nível de radiação solar. Podem atingir temperaturas da ordem dos 50°C a 200°C.

O coletor de tubo de vácuo (Figura 17) consiste num conjunto de tubos, dispostos paralelamente, ligados entre si pelo topo através de um distribuidor ou caixa coletora, no qual se localizam o isolamento e as linhas de alimentação e retorno (GREENPRO, 2004).

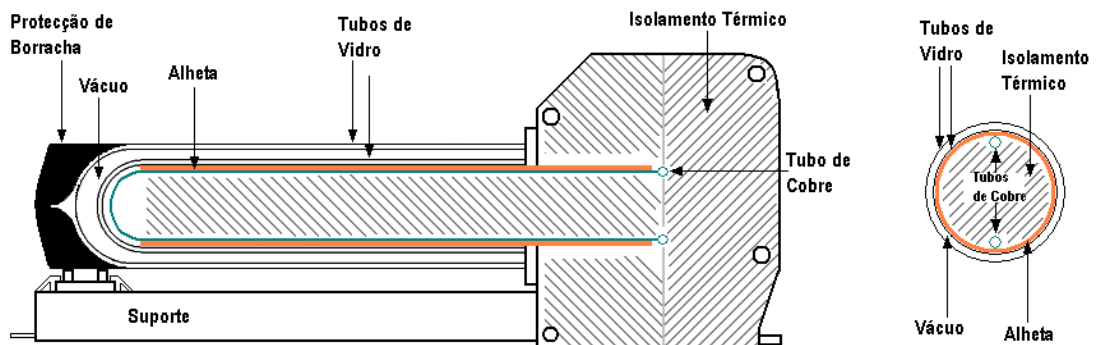


Figura 17 – Pormenor de um coletor de tubos de vácuo (SOLAR, 2014)

Normalmente os tubos são em vidro transparente, munidos no seu interior de dois tubos metálicos que funcionam como absorsores (GREENPRO, 2004).

Nestes coletores existem dois tipos de tecnologias relevantes: os tubos de vácuo com fluxo direto e os tubos de vácuo com separação de fluidos.

Nos coletores de tubos de vácuo de fluxo direto o fluido de transferência de calor é conduzido através de um sistema de tubo-entre-tubo (tubos coaxiais) para a base do absorvedor de onde flui para a caixa coletora, aumentando a temperatura do fluido, ou flui através de um tubo em forma de U. Estes coletores podem ser orientados a sul mas podem ser também montados horizontalmente num telhado plano.

Nos coletores de tubos de vácuo com separação de fluidos, o funcionamento consiste em introduzir dentro de cada tubo de vácuo, um revestimento seletivo de metal com propriedades de condutor-térmico, ligado a um tubo de aquecimento. O tubo de aquecimento é preenchido com álcool ou com água em vácuo, que evapora ao atingir temperaturas superiores a 25°C. O vapor que é criado sobe para a parte superior do tubo, transferindo calor por condensação para o fluido de transferência de calor. Quando o fluido condensado arrefece, volta a descer para ser

aquecido novamente. Para se obter um bom desempenho deste sistema, os tubos devem ser instalados com uma inclinação mínima de 25° (RORIZ, et al., 2010).

2.2.1.5 Coletores de vácuo planos

A sua construção é idêntica ao coletor plano *standard*, tendo como principal diferença a substituição do tradicional isolamento térmico por um sistema de vácuo, reduzindo desta forma as perdas térmicas por convecção. Adicionalmente, este coletor é preenchido com um gás nobre, *cripton* a 50 Mbar, de modo a reduzir perdas térmicas por condução e para suportar as forças causadas pela diferença de pressão entre a pressão exterior e interior.

A pressão de vácuo aplicada neste sistema é significativamente menor, comparada com a pressão dos tubos de vácuo (GREENPRO, 2004).

2.2.2 Coletores concentradores

Os coletores concentradores têm normalmente uma superfície côncava que permite refletir e concentrar a radiação solar numa área de receção menor, aumentando dessa forma o fluxo de radiação (KALOGIROU, 2004).

Estes coletores facilmente atingem temperaturas superiores a 200°C. Normalmente em edifícios são instalados para aquecimento de espaços. São executados de forma a minimizar as perdas térmicas do recetor, o que só é possível através da redução da superfície de captação do coletor. Os sistemas assim concebidos chamam-se concentradores. O termo “concentração” traduz a relação entre a área de captação e a área de receção. Contudo, quanto maior é a concentração menor é o ângulo com a normal aos coletores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados. Assim, o coletor tem de se manter sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno, o que conduz à necessidade de introduzir um mecanismo de controlo que permita que o coletor siga a trajetória do sol, o que torna o processo dispendioso e complicado, para além de só permitir a captação da radiação direta (RENOVÁVEIS, 2014).

A maior limitação deste tipo de coletores, é a necessidade de céu limpo, já que utiliza apenas a parcela direta da radiação solar.

2.2.2.1 Canal cilindro/parabólico

Os sistemas de canal cilindro/parabólico (Figura 18) utilizam espelhos refletores com formato parabólico, para concentrar a radiação solar na linha de foco que funciona como recetor. Esta linha de foco é composta por um tubo metálico preto, coberto por um tubo de vidro para evitar perdas de calor. Este sistema pode atingir temperaturas da ordem dos 60°C a 400°C (KALOGIROU, 2009).



Figura 18 – Concentrador canal cilindro/parabólico (DIEGO, 2012)

Quando os espelhos refletores estão apontados para o sol, os raios diretos do sol são refletidos/concentrados no recetor, o que origina o aquecimento do fluido de transferência de calor que circula no seu interior. Este fluido transporta essa energia térmica até ao permutador onde é feita a transferência da energia pela água de alimentação proveniente do circuito da central (KALOGIROU, 2009).

Estes sistemas, são normalmente projetados para serem instalados com o seu eixo segundo uma orientação Norte-Sul e efetuam o seguimento do Sol num só eixo, segundo a direção Este-Oeste, mas também podem ser instalados com o seu eixo segundo uma orientação Este-Oeste e efetuam o seguimento do Sol num só eixo, segundo a direção Norte-Sul (KALOGIROU, 2009).

Na direção Este-Oeste, tem a vantagens de se mover pouco ao longo de todo o dia, tendo os maiores ganhos ao meio-dia e em contrapartida, têm os menores ganhos no início e fim do dia, devido aos maiores ângulos de incidência dos raios solares sobre a superfície coletora.

Na direção Norte-Sul tem os menores ganhos durante o meio-dia, devido aos maiores ângulos de incidência dos raios solares sobre a superfície coletora e, em contrapartida, têm os maiores ganhos no início do dia e no fim da tarde.

Durante o ano os coletores direcionados no sentido Norte-Sul absorvem mais energia que os coletores direcionados para Este-Oeste. Em relação à captação de energia calorífica, os coletores direcionados no sentido Norte-Sul captam mais calor no verão e menos no inverno e os coletores direcionados para Este-Oeste têm uma captação de energia mais uniforme ao longo do ano.

A escolha da orientação deste tipo de coletores dependerá sempre da hora e da estação do ano que necessite de mais energia (KALOGIROU, 2009).

2.2.2.2 Coletor de Fresnel

Os coletores de Fresnel podem ser de dois tipos: o coletor de Fresnel de lentes ou refletor linear de Fresnel. O primeiro consiste de um material plástico transparente de modo a concentrar os raios num recetor, enquanto o segundo é formado por uma série de tiras planas lineares de espelho (KALOGIROU, 2009).

O refletor linear de Fresnel (Figura 19) consiste na disposição de vários espelhos planos ou ligeiramente curvados, que tendo por base o princípio das lentes de Fresnel recriam virtualmente o perfil de uma parábola. Este sistema pode atingir temperaturas da ordem dos 60°C a 250°C (KALOGIROU, 2009).



Figura 19 - Imagem do refletor linear Fresnel (SOLAR, 2014)

O absorvedor tubular localiza-se na mediatriz do campo de espelhos planos e acima destes. A separação física entre o recetor (espelhos) e absorvedor, não exige um sistema de controlo muito complexo, tornando assim a reflexão mais simples e precisa.

Os modelos de Fresnel não são ainda uma tecnologia muito usual (KALOGIROU, 2009).

2.2.2.3 Disco Parabólico

O disco parabólico (Figura 20) é um concentrador de foco pontual. O disco em forma de parábola segue o sol em dois eixos, e assim é capaz de apontar diretamente para o sol desde o nascer até ao pôr-do-sol. Por deter uma concentração pontual e um sistema de rastreamento em dois eixos, o disco parabólico possui as maiores taxas de concentração e por essa razão é o coletor mais eficiente, atingindo temperaturas mais altas (de 100°C a 1500°C), atrás apenas da torre de concentração (KALOGIROU, 2009).



Figura 20 – Imagem de um concentrador de disco parabólico (DIEGO, 2012)

Os raios solares incidentes sobre o disco são concentrados no ponto central da parábola, onde aquecem o fluido circulante. Essa energia calorífica pode ser transportada por tubagem para um sistema central, ou ser transformada diretamente em eletricidade através de um gerador integrado no recetor. Esta última opção é a mais comum e mais interessante porque tecnicamente tem menos perdas térmicas, logo existem ganhos económicos, do que conduzir o calor de cada disco até um sistema de geração central (KALOGIROU, 2009).

2.2.2.4 Torre de Concentração

Um campo de coletores de helióstatos (Figura 21) é composto por vários espelhos planos ou levemente côncavos, capazes de direcionar o sol em dois eixos, refletindo os raios do sol na direção de um recetor central, instalado no alto de uma torre. Esta tecnologia é conhecida como torre de concentração e pode atingir temperaturas da ordem dos 150°C a 2000°C (KALOGIROU, 2009).



Figura 21 – Imagem de uma torre de concentração (DIEGO, 2012)

A energia calorífica absorvida no recetor é transferida para um fluido de transferência de calor que circula no interior do recetor, pode ser armazenada e/ou imediatamente utilizada. (KALOGIROU, 2009).

A torre de concentração tem a vantagem de concentrar a energia num único recetor, minimizando assim o transporte de energia térmica e evitando perdas de energia, assim como o concentrador em disco, por concentrar os raios solares num único recetor central e por rastrear o sol em dois eixos, possui altas taxas de concentração (KALOGIROU, 2009).

2.3 Tipos de Sistemas Solares Térmicos

Os sistemas solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias (AQS), consistem em converter a energia que incide no painel solar em calor, este calor é transferido pelo fluido de transferência de calor (normalmente água ou uma mistura de água com anticongelante), que passa do coletor para o depósito ou aplicação.

Os sistemas solares térmicos podem ser classificados como diretos ou indiretos. Nos sistemas diretos, a água potável é aquecida diretamente no coletor e segue para o depósito de armazenamento, sendo esta água consumida pelo utilizador (Figura 22.a).

Nos sistemas indiretos, a água potável é aquecida indiretamente por um fluido de transferência de calor. Este fluido depois de aquecido no coletor, vai transferir o calor para a água potável através de um permutador de calor que está no interior do depósito de armazenamento. Neste tipo de instalações, o fluido de transferência de calor e a água de consumo não se misturam (Figura 22.b) (RORIZ, 2009).

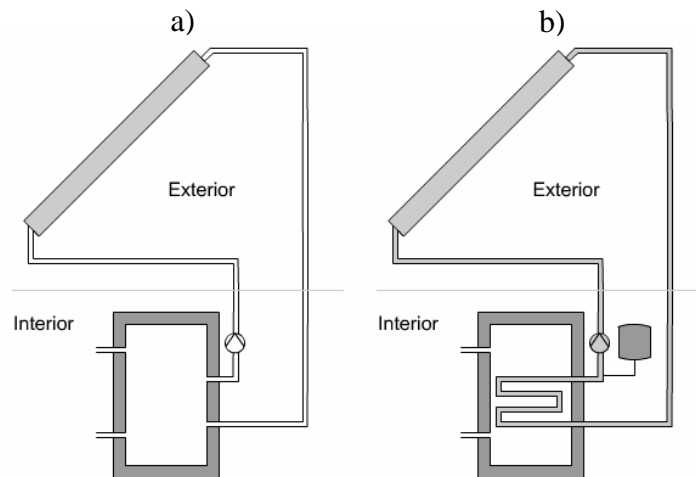


Figura 22 – Representação esquemática dos dois tipos de sistemas solares térmicos (RORIZ, 2009)

Os sistemas solares térmicos para AQS, a temperaturas inferiores a 100°C, dividem-se em dois tipos:

- Circulação natural ou termossifão;
- Circulação forçada.

2.3.1 Circulação em termossifão

Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios.

A radiação solar que incide sobre o painel solar térmico (PST), é transferida para o fluido que está no circuito dos absorvedores em forma de calor, o que o torna menos denso e o obriga a deslocar do coletor para o depósito. O fluido ao chegar ao depósito, permuta a energia calorífica que detém com água do depósito. O fluido ao arrefecer desce novamente para os coletores. Devido a este circuito, o depósito deve ficar sempre acima dos coletores solares (LNEG, 2014).

Como têm o depósito e coletor juntos e o depósito tem de estar obrigatoriamente acima dos coletores, estes sistemas são sistemas relativamente altos, o que poderá apresentar alguns problemas em termos estéticos e é de difícil integração.

O investimento é mais baixo e a instalação mais simples. Funciona de forma autónoma, sem recurso a bomba auxiliar para fazer a circulação do fluido.

Acumulador

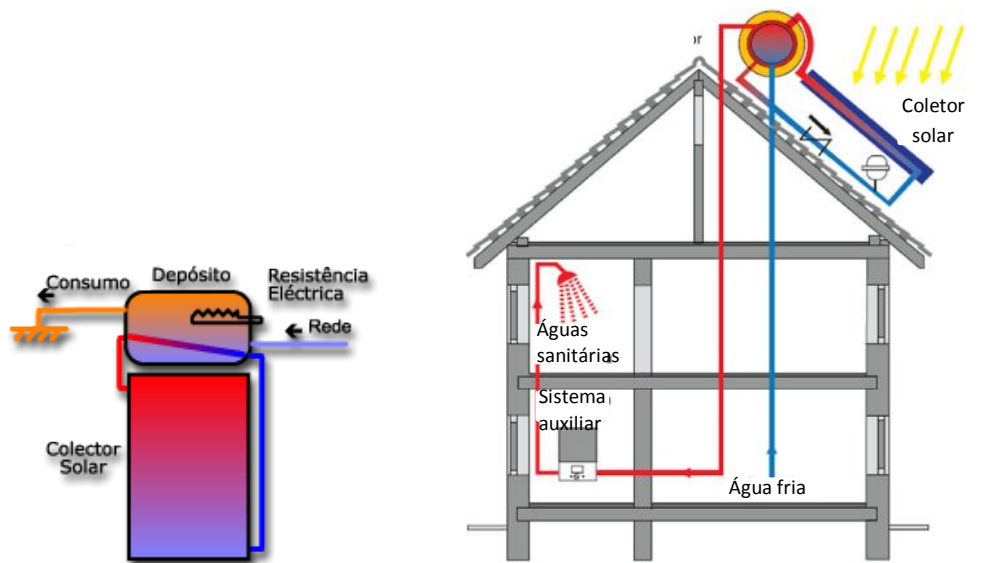


Figura 23 – Esboço de um sistema de circulação termossifão (LNEG, 2014)

2.3.2 Circulação forçada

Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, bomba eletrocirculadora, controlador diferencial, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios (Figura 24).

A radiação solar incide sobre a cobertura de vidro que compõe a parte superior do coletor solar, penetrando no interior do painel solar. O calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem, em circuito fechado, com o auxílio da bomba eletrocirculadora transfere esse calor através da serpentina do depósito para a água de consumo. A circulação do fluido é gerida pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação, que é regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura entre o coletor e o depósito seja de 5°C (LNEG, 2014).

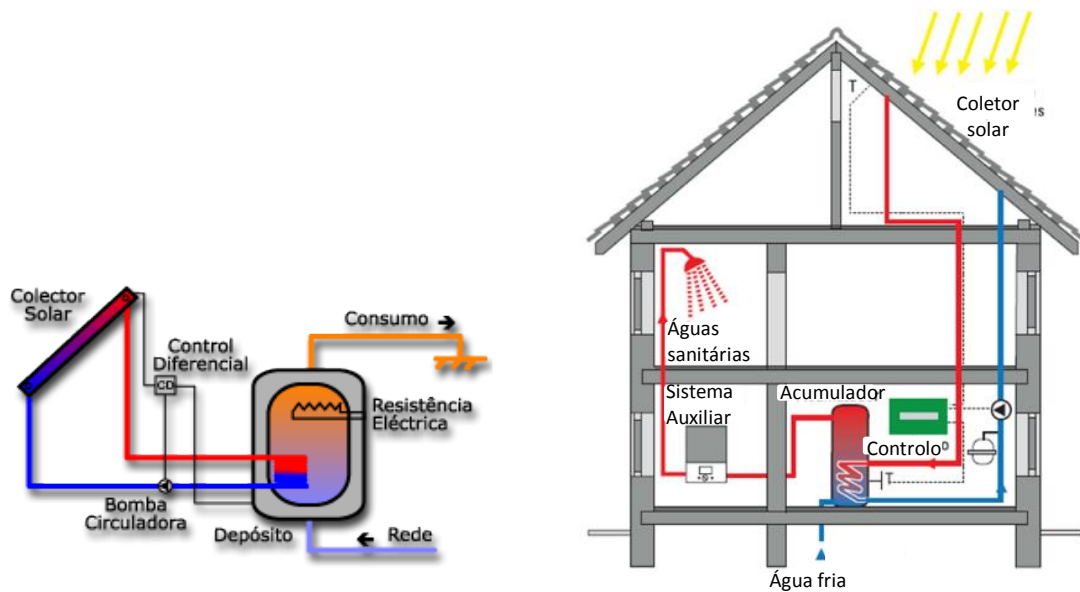


Figura 24 - Esboço de um sistema de circulação forçada numa habitação unifamiliar (LNEG, 2014)

O sistema de circulação forçada tem um rendimento superior, dado que a gestão da energia é mais eficaz por ser regulada através de um controlador diferencial, mas tem necessidade de energia eléctrica, o que implica custos mais elevados.

Estes sistemas têm uma maior flexibilidade em relação aos sistemas termossifão, flexibilidade que permite ter um depósito localizado noutra local que não o telhado, ou ter mecanismos mais eficazes para evitar sobreaquecimento ou congelamento.

A implementação de sistemas de grande dimensão é mais fácil em sistemas de circulação forçada, comparativamente aos sistemas solares de termossifão.

Por serem mais complexos, os sistemas de circulação forçada são em geral mais caros e necessitam de ser bem dimensionados para operar de forma eficiente. Têm alguns fatores limitantes, tais como o espaço necessário para o depósito de armazenamento e outros equipamentos, que se deverão localizar no interior.

Este sistema é o mais utilizado nos edifícios multifamiliar podendo a sua integração ser feita nas seguintes formas (DGGE, 2004):

- Sistema totalmente centralizado – os coletores, o depósito de água quente e o sistema de apoio são comuns a todas as frações (Figura 25 – sistema A);

- Sistema solar centralizado com apoios individuais - os coletores e o depósito de água quente são comuns a todas as frações e os sistemas de apoio são individuais (i.e. um equipamento de apoio por fração) (Figura 25 – sistema B);
- Sistema de coletores centralizados - os coletores são comuns a todas as frações e os depósitos de água quente são individuais para cada fração (Figura 25 – sistema C);
- Sistema totalmente individual - os coletores, os depósitos de água quente e os sistemas de apoio são individuais para cada fração (Figura 25 – sistema D).

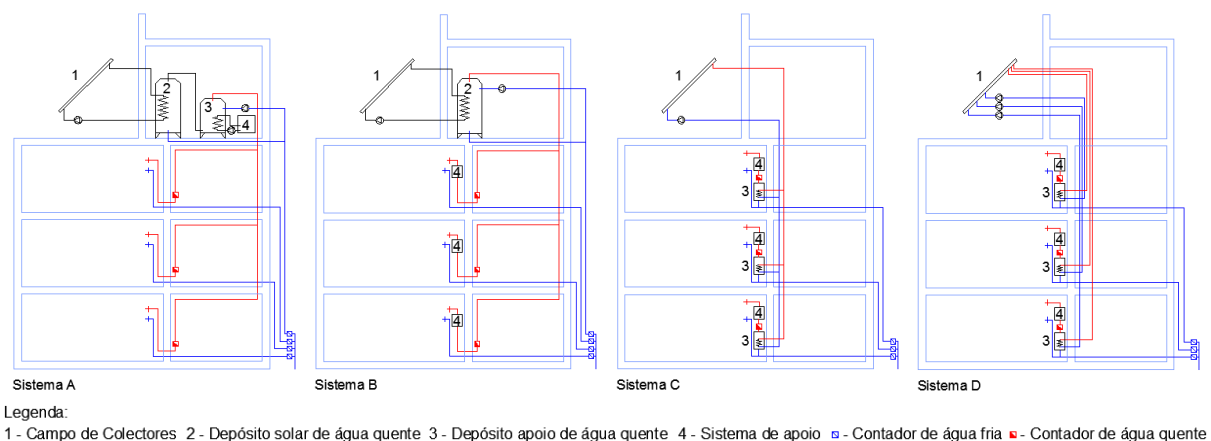


Figura 25 – Vários tipos de sistemas de circulação forçada em edifícios multifamiliares (DGGE, 2004)

No que se refere à integração em edifícios, qualquer um destes sistemas é uma boa solução, dado que possibilita uma melhor adaptação arquitetónica entre o coletor e o edifício.

2.4 Possibilidades de integração

Uma vez que os coletores solares existentes são normalmente fabricados como simples equipamentos técnicos, eles vão ter de se adaptar para se integrarem arquitetonicamente nos edifícios (PROBST e ROECKER, 2011). Com o uso mais frequente deste tipo de coletores, quer seja para o aquecimento das águas sanitárias ou para aquecimento ambiente, a sua integração nos edifícios torna-os ainda mais importantes.

A integração desses sistemas no edifício significa que eles não devem apenas atender às limitações técnicas, tecnologia solar térmica específica, mas também torná-los num elemento arquitetónico, concebido para ser integrado no edifício. Deve existir alguma flexibilidade nas características dos coletores que possam contribuir para a aparência do edifício, tais como o

material que o compõe, a textura da superfície, a cor do elemento de absorção, a forma e tamanho dos módulos e o tipo de juntas entre elementos (PROBST, et al., 2007).

O outro aspeto, igualmente importante na integração dos coletores é que eles devem-se tornar-se elementos de construção multifuncionais, como por exemplo revestimento de fachadas, coberturas, etc.. Com isto, a utilização de materiais de revestimento convencionais será reduzida, o que contribuirá para diminuição de custos.

No geral, a integração deve resultar na aceitação do público, no desempenho térmico, estética e custo-benefício (ARCHIBALD, 1999).

2.4.1 Integração de Coletores Solares Térmicos na cobertura

A cobertura, é o elemento mais alto de um edifício, e está, em geral, menos sujeito a sombreamento, o que beneficia a produção de energia para aquecimento de água ou para aquecimento de espaços, mas um dos objetivos da integração dos coletores solares térmicos nos telhados é melhorar a visão arquitetónica global do edifício, sem afetar a função normal do telhado, que para além da integração de coletores solares térmicos tem a função de proteger o edifício dos agentes climatéricos e isolar o edifício de variações de temperatura.

Os telhados dão identidade ao edifício. Um telhado visível concebe uma impressão do edifício que cobre. A forma, o tipo de revestimento, a cor, a textura da superfície e a qualidade dos materiais utilizados para revestir o telhado, tudo isso cria uma impressão sobre aqueles que veem o edifício (ARCHIBALD, 1999). Assim, todas as características dos telhados devem ser mantidas ou até mesmo melhoradas com o processo de integração dos coletores.

É certo que o telhado de um edifício não é tão visível como as fachadas, mas o seu significado como expressão arquitetónica é tão importante quanto a do resto do edifício. Como resultado, a integração de coletores solares, especialmente no caso de telhado inclinados, irá afetar o aspeto visual do edifício. Em concordância com a arquitetura e para evitar sombras, os coletores solares não devem competir com outros elementos de construção na superfície do telhado, como águas-furtadas, claraboias, chaminés e exaustores.

2.4.1.1 Integração em coberturas planas

A instalação dos coletores solares térmicos em coberturas planas é feita de duas formas: o coletor é instalado em ângulo diferente da cobertura, ou paralelamente com a cobertura.

Normalmente, os coletores solares térmicos são instalados em ângulos diferentes dos da cobertura plana, a fim de obter máximo rendimento a partir da energia solar disponível. É certo que esta solução, dado se tratar de uma cobertura ser plana, dificilmente se pode considerar de integração, só se houver elementos arquitetónicos na cobertura que possam integrar os coletores nessa posição. Esta integração pode ser um desafio para muitos arquitetos, dado que, o coletor depois de instalado fica visível, o que pode prejudicar a estética do edifício.

Na situação em que o coletor é instalado paralelamente à cobertura (Figura 26) facilmente se pode considerar integração desde que, na integração exista uma substituição de componentes dos edifícios pelos coletores, o que se traduz em redução de custos, pela não duplicação de materiais.



Figura 26 – integração de coletor solar paralelamente com a cobertura (SUNAITEC, 2014)

2.4.1.2 Integração em coberturas inclinadas

A instalação dos coletores solares térmicos em coberturas inclinadas é feita normalmente com o mesmo grau de inclinação das coberturas, desde que a orientação e a inclinação da cobertura seja favorável. Essa instalação pode ser efetuada de duas formas: com integração do coletor no revestimento da cobertura, ou sem integração do coletor no revestimento da cobertura.

Na situação em que o coletor não é integrado no revestimento da cobertura, o revestimento da cobertura no local onde se instalar o coletor mantém-se e o coletor é montado sobre esse revestimento, com a utilização de acessórios de fixação próprios para esse efeito, que nas

situações em que os coletores não são instalados com a mesma inclinação que a da cobertura, a instalação do coletor é feita sobre uma estrutura auxiliar que vai proporcionar a inclinação e a orientação pretendida. Nestas soluções não se pode considerar integração de coletores, dado que não há substituição de componentes dos edifícios pelos coletores nem os mesmos contribuem para melhorar o desempenho térmico do edifício.

Mas na situação em que o coletor é integrado no revestimento da cobertura (Figura 27), o revestimento da cobertura no local onde é instalado o coletor é substituído por um painel de alumínio, que tem a função de proteger e impermeabilizar esse espaço e sobre ele são instalados os coletores solares térmicos com o mesmo sistema de fixação utilizado para qualquer montagem em telhado inclinado. O resultado é uma integração perfeita e harmoniosa (SCHÜCO, 2014).

Um bom exemplo nacional deste tipo de solução é a cobertura do edifício sede da CGD, em Lisboa (Figura 27) onde estão foram instalados 158 coletores solares (121 ativos e 37 de remate) em 1 600 m² da cobertura do edifício que permite a produção de energia que é utilizada para aquecer água para sistemas de climatização e instalações sanitárias. No total, verifica-se uma poupança de mais de 1 milhão de kWh de eletricidade por ano (aproximadamente 5% do consumo global) (CGD, 2014).



Figura 27 - Coletores integrado no revestimento da cobertura (CGD, 2014)

2.4.2 Integração de Coletores Solares Térmicos na fachada

A integração dos coletores solares nas fachadas é uma solução cada vez mais usual. Para além de a integração dos coletores poder melhorar a aparência geral do edifício, este tipo de instalação proporciona bons resultados no aproveitamento da energia solar durante todo o ano, principalmente em coletores combinados. Outra das razões, para este tipo de integração deve--

se ao facto de que muitas vezes não haver espaço suficiente na cobertura para instalar o número necessário de coletores solares e/ou a orientação não é adequada. Esta situação acontece principalmente em edifícios multifamiliares com um elevado número frações ou andares (NEW4OLD, 2009).

Os coletores solares integrados nas fachadas tem que cumprir várias funções: funcionam como produtores de energia para aquecimento de água ou para aquecimento de espaços, melhoram o isolamento térmico do edifício, protegem a fachada dos agentes climatéricos e são ao mesmo tempo um elemento estrutural da fachada. Além disso, contribuem para reduzir perdas de calor porque os coletores apesar dos baixos níveis de luz solar no inverno, produzem sempre energia colorífica, reduzindo, assim, a diferença de temperatura entre o interior e a parte externa do edifício. Esta utilização polivalente dos coletores na construção pode resultar numa considerável redução de custos tendo em consideração os benefícios que se obtém (NEW4OLD, 2009).

A integração de coletores solares nas fachadas pode ser feita ocupando a totalidade da fachada, ou parte desta, sempre com o objetivo de contribuir positivamente para a estética e funcionalidade do edifício e para o aproveitamento energético.

Essa integração pode ser feita de três modos diferentes:

- Integração dos coletores como fachada ventilada: O coletor é instalado na frente de uma fachada com uma abertura de ventilação;
- Integração direta na fachada: O coletor é montado diretamente na fachada sem separação térmica entre coletor e a envolvente do edifício;
- Integração em elementos arquitetónicos dos edifícios: O coletor é integrado no edifício com guarda de varandas, palas, elemento arquitetónico, etc..

2.4.2.1 Integração dos coletores como fachada ventilada

A Fachada Ventilada pode ser definida como um sistema de proteção e revestimento exterior de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando, assim, uma câmara-de-ar em movimento.

O adjetivo “ventilada” deriva, exatamente, desta câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé (o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior). Deste modo, com a ventilação da parede, evitam-se as

humidades e condensações características das fachadas tradicionais e, conseqüentemente, conseguem um maior conforto térmico.

Este tipo de integração não contribui somente para a produção de energia, mas também contribui para o aquecimento e arrefecimento do edifício.

Um bom exemplo nacional deste tipo de solução é o Centro Operacional da Brisa em Carcavelos, que tem sistemas solares térmicos, integrados na fachada ventilada (Figura 28) (GRAÇA, 2014).



Figura 28 - Coletores integrado no revestimento da fachada (GRAÇA, 2014)

A estrutura de suporte deve ser em perfis de alumínio verticais, permitir a absorção de tensões por deformações devidas a choques térmicos e dilatações, incidência de ventos, etc.. Podem-se destacar dois tipos de sistemas de fixação:

- Sistemas de encaixe visível;
- Sistemas de encaixe invisível.

A principal diferença entre estes dois sistemas está nos grampos onde são fixados coletores. No primeiro caso estes grampos vêm acoplados à estrutura de suporte e as peças encaixam-se ficando os grampos visíveis. Estes grampos devem ser protegidos contra a corrosão e para evitar as vibrações devidas ao vento é aconselhável a utilização de juntas de *neoprene*. Este sistema é mais prático, flexível e económico.

Nos sistemas de encaixe invisível os grampos já vêm fixos aos coletores, de preferência enroscados, para garantir maior estabilidade, e na obra são aplicadas à estrutura de suporte.

Esta solução permite ainda uma manutenção simples e eficaz pois os elementos estão independentes uns dos outros, sendo facilmente substituíveis.

Assim sendo o coletor solar numa fachada deste tipo, ocupa o lugar do revestimento da fachada.

2.4.2.2 Integração direta na fachada

Um coletor diretamente integrado na fachada atua como barreira sólida, cujo isolamento térmico que o constitui é um componente tanto do edifício, como do coletor. Não há separação térmica entre os dois. Esta solução proporciona melhorias no isolamento térmico do edifício e na proteção contra condições atmosféricas. Também se constitui num elemento estrutural para a fachada, podendo substituir a fachada convencional o que proporciona uma redução de custos (STADLER, 2001).

Quando os coletores solares são aplicados na fachada, para além das funções para os quais foram produzidos (captar energia solar), eles devem cumprir as mesmas funções estruturais do restante revestimento existente.

Um exemplo desta solução é o alçado Sul do Centre d' exploitation des Routes Nationales (CeRN), na Suíça. O alçado Sul tem integrado coletores solares de metal não vidrado, cobrindo 40% do alçado. A posição vertical dos coletores oferece um bom desempenho entre os ganhos solares e integração arquitetónica. Neste edifício, por questões arquitetónicas foram usados elementos fictícios, com a mesma cor preta e textura, nas zonas não expostas, (NIV-O, 2007) (Figura 29).



Figura 29 - Integração direta na fachada - Centre d' exploitation des Routes Nationales (CeRN), na Suíça (NIV-O, 2007)

2.4.2.3 Integração em elementos arquitetónicos dos edifícios

A integração de coletores solares térmicos também pode ser feita em substituição de elementos de construção como palas de sombreamento, guarda-corpos, elementos de pérgulas, entre outros. Estes elementos são, geralmente bem orientados, relativamente à exposição solar, fator que incentiva a integração dos coletores solares térmicos. Assim a integração nesses elementos permite que, para além do uso para o qual estes elementos foram definidos, estes podem funcionar como coletores solares térmicos.

Um exemplo desta solução é o edifício de habitação multifamiliar Sunny Woods, em Zurich, Suíça (Figura 30), onde coletores tubos de vácuo foram incorporados no edifício como grade de varanda convencional.



Figura 30 – Integração em grade de varanda - Sunny Woods, Zurich, Suíça, (SHC, 2014)

Esta solução demonstra que os coletores podem ter muitas mais potencialidade do que aquelas que os próprios sistemas foram criados.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos desta dissertação e considerando as características do parque habitacional português, a escolha do tipo de edifício a estudar foi feita de modo que o estudo a desenvolver fosse o mais abrangente possível. Para esse efeito foi selecionado um edifício composto por dois pisos, que ao nível nacional é o mais representativo, correspondendo a aproximadamente 45,48% do total de edifícios existentes (i.e. 1 611 913 edifícios) (Figura 3).

3.1 Descrição do caso de estudo

O edifício em estudo (Figura 31), é um edifício unifamiliar construído no ano de 2005, com uma tipologia tipo T3, geminado, composto por 2 pisos (rés-do-chão e andar), localizado em Brito, concelho de Guimarães (Figura 32).

Este edifício está implantado num lote de terreno com 437.50 m² de área, enquadrado num pequeno loteamento composto por oito lotes, e tem uma orientação Sudeste/Noroeste, correspondente ao Alçado Principal e Alçado Posterior, respetivamente.



Figura 31 - Vista do Alçado Principal do edifício

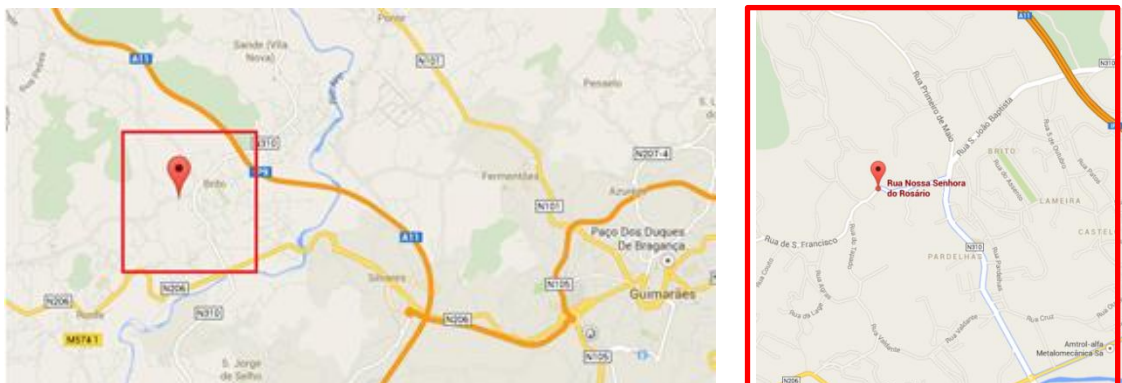


Figura 32 – Planta de localização (MAPS, 2014)

3.1.1 Características geométricas

Ao nível de compartimentos a distribuição interior do edifício, está feita do seguinte modo: ao nível do rés-do-Chão existe um vestíbulo, uma sala comum, as escadas de acesso ao andar superior, uma cozinha e uma instalação sanitária. O vestíbulo, as escadas e a sala são espaços espacialmente unidos (i.e. não há parede divisória entre esses compartimentos). A garagem e/ou estacionamento automóvel, localiza-se na parte exterior, também ao nível do rés-do-chão, no alçado lateral direito, num alpendre aberto.

Também ao nível do rés-do-chão, existe uma varanda, que se desenvolve no alçado orientado a Sudeste (alçado Principal) e se prolonga para o alçado voltado para Nordeste (alçado lateral direito) (Figura 33).

Ao nível do andar existem três quartos, sendo um deles uma suíte, duas instalações sanitárias e a escadas de comunicação com o rés-do-chão. Também neste piso, existe uma varanda, orientada para Sudeste e com ligação ao quarto suíte (Figura 34).

A cobertura do edifício, da garagem e da varanda da sala, é inclinada, revestida a telha de barro vermelho (Figura 35).

Todos os compartimentos interiores têm iluminação e ventilação natural, proporcionada por vãos envidraçados (i.e. janelas e portas).

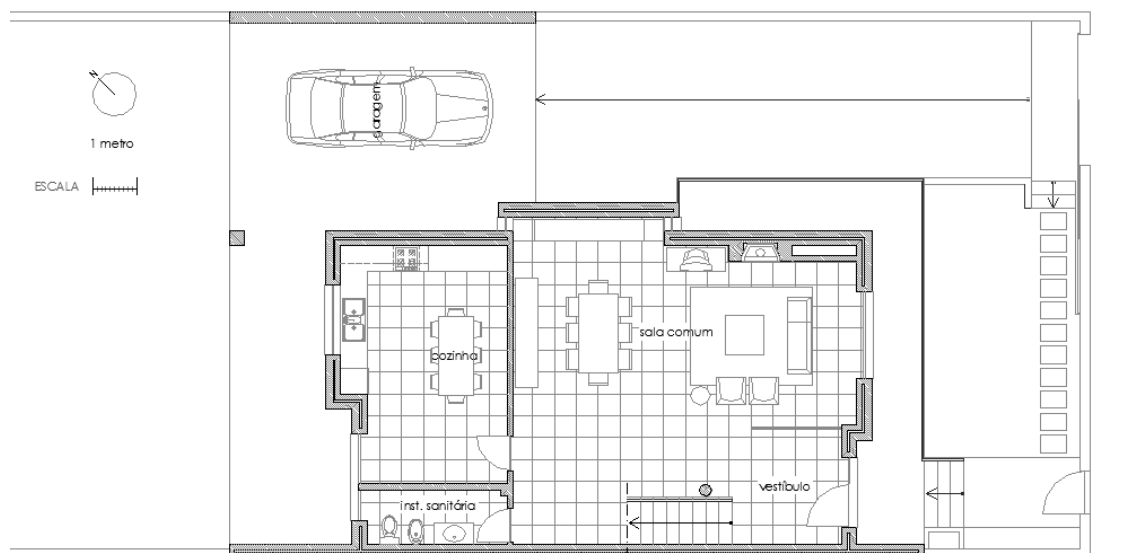


Figura 33 – Planta do Rés-do-chão



Figura 34 - Planta do Andar

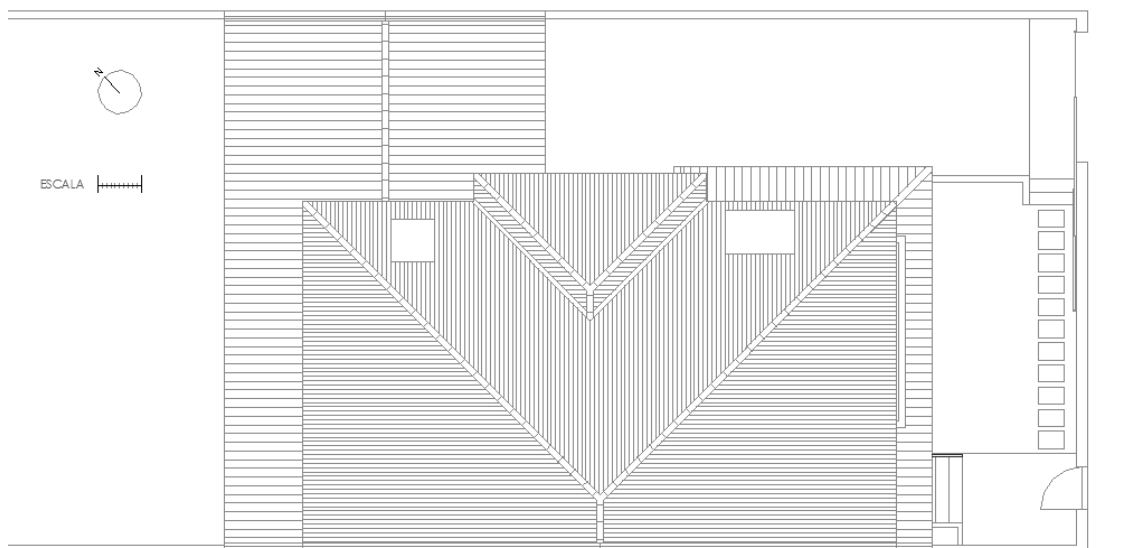


Figura 35 – Planta de Cobertura

3.1.2 Características construtivas

O edifício em estudo é constituído estruturalmente por uma estrutura reticulada, composta por uma malha de pilares e vigas em betão armado e lajes aligeiradas com elementos pré-fabricados.

As paredes exteriores, são paredes duplas, compostas por dois panos em alvenaria de tijolo cerâmico furado, um pano exterior de 0.15 m de espessura, e pano interior com 0.11 m de

espessura. Entre os dois panos existe uma caixa-de-ar com 0.055 m, preenchida com placas de isolamento térmico do tipo poliestireno extrudido (XPS), com 0.03 m de espessura. O revestimento pelo exterior é composto por um reboco e um areado com acabamento pintado e pelo interior é estucado e pintado, exceto as paredes das instalações sanitárias e cozinha que são rebocadas e revestidas a material cerâmico.

As paredes interiores divisórias são constituídas por um pano simples de tijolo cerâmico furado de 0.11 m, revestidas por ambas as faces a estuque e acabamento pintado, exceto as paredes das instalações sanitárias e cozinha que são rebocadas e revestidas a material cerâmico.

O piso do rés-do-chão é um pavimento térreo, constituído por uma camada de rachão com 0.30 m de espessura, uma camada de betão, ligeiramente armado, com 0.15 m de espessura, isolamento térmico do tipo poliestireno extrudido (XPS) com 0.10 m de espessura, uma camada de massame com 0.04 m de espessura e acabamento final a material cerâmico.

O piso do andar é composto por uma laje aligeirada com aproximadamente 0.20 m de espessura, isolamento térmico do tipo poliestireno extrudido (XPS) com 0.06 m de espessura, uma camada de massame com 0.05 m de espessura e acabamento final a régua de madeira colada com 0.015m, exceto nas casas de banho em que o acabamento final é em material cerâmico.

A laje de esteira da cobertura ou teto do andar tem a mesma estrutura do que a laje de piso só que não tem isolamento térmico nem acabamento final pela parte superior.

A cobertura do edifício é uma cobertura inclinada, constituída por paredes resistentes e lajes aligeiradas com elementos pré-fabricados em poliestireno expandido (EPS), revestida a telha cerâmica.

Os vãos envidraçados são compostos por uma caixilharia de alumínio, série de correr com vidro duplo (6+13+6 mm).

Na Tabela 1, são apresentadas as características de todos os elementos construtivos antes da reabilitação.

Tabela 1 – Características dos elementos construtivos antes da reabilitação

Solução construtiva	Área (m ²)	U (W/m ² .C)
Paredes exteriores	155,00	0,602
Paredes interiores	115,00	1,952
Piso térreo	90,00	0,261
Laje de piso do andar	90,00	0,370
Laje de esteira da cobertura	90,00	1,493
Cobertura	95,00	0,178
Vãos envidraçados	23,00	2,670

3.2 Software de simulação utilizado *DesignBuilder* e *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é uma ferramenta de simulação de energia para a avaliação do desempenho energético de edifícios, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), que permite simular os sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar o consumo de energia. Tem capacidade de simulação de cargas térmicas e consumos numa base horária e sub-horária e por multi-zona. O *EnergyPlus*, é acreditado nos termos da norma *ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Program* (WORKS, 2014).

Apesar das suas elevadas capacidades de cálculo para simulação nos cenários referidos, o *EnergyPlus* não é um programa com uma interface amigável, dificultando o processo de *input* e *output* de dados. Sendo o *EnergyPlus* um programa *open source*, que permite o desenvolvimento independente de ferramentas de apoio ao utilizador, nesse seguimento surgiu o software *DesignBuilder*, em correção desses entraves (WORKS, 2014).

O *DesignBuilder* é a primeira interface detalhada para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. A interface do *DesignBuilder* permite ao utilizador modelar um edifício através da criação de “blocos” que são desenhados num espaço 3D, de forma a criar um modelo com características geométricas iguais ao edifício real em estudo, permitindo depois proceder à simulação térmica dinâmica desse modelo com o *EnergyPlus* que está incorporado na estrutura do *DesignBuilder* (WORKS, 2014).

O *DesignBuilder* também possui uma base de dados vasta ao nível de materiais de construção, sistemas AVAC, etc., e também permite a interligação com o módulo Português de indicadores de eficiência energética (IEE), com o conversor de ficheiros climáticos.

Os resultados obtidos na simulação no *DesignBuilder*, dados do comportamento físico do edifício, podem ser visualizados sem a necessidade de recorrer a módulos externos de tratamento de dados, tais como Excel (WORKS, 2014).

3.2.1 Execução / Caracterização do modelo

Como no *DesignBuilder* é permitido importar elementos desenhados de outros programas informáticos de desenho, para facilitar a modelação do elemento a construir, assim sendo, a construção do modelo em estudo, propriamente dito, foi feito com base nos elementos arquitetónicos do edifício, já disponíveis em formato de *AutoCad*, seguindo uma hierarquia e interligação com todos os elementos construídos, fazendo com que os parâmetros inseridos em hierarquias superiores sejam adotados nas hierarquias inferiores, poupando assim tempo de programação e evitando erros.

Deste modo a construção do modelo do edifício em estudo seguiu os passos indicados nos pontos seguintes até se obter o modelo definitivo.

3.2.1.1 Criação do ficheiro do modelo

O primeiro passo após a abertura do *software DesignBuilder*, foi proceder à criação de um novo projeto, onde é introduzido o título do projeto, a localização e o tipo de análise pretendida. Na definição da localização, como o *DesignBuilder* não dispunha de ficheiro climático para a zona onde o edifício em estudo se localiza (Guimarães), selecionou-se o ficheiro climático do Porto (Pedras Rubras), dado ser o local mais próximo do edifício em estudo (Figura 36).

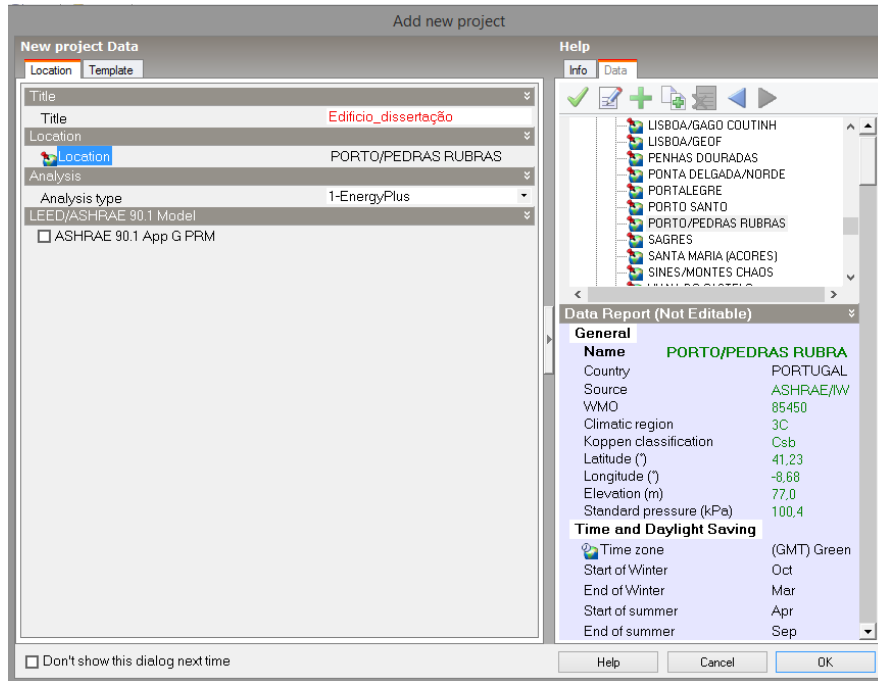


Figura 36 – Janela da criação do novo projeto

Na janela seguinte, são introduzidas as coordenadas geográficas do local onde se situa o edifício em estudo, latitude, longitude e altura média em relação ao nível do mar e também é introduzida a orientação do edifício (Figura 37).

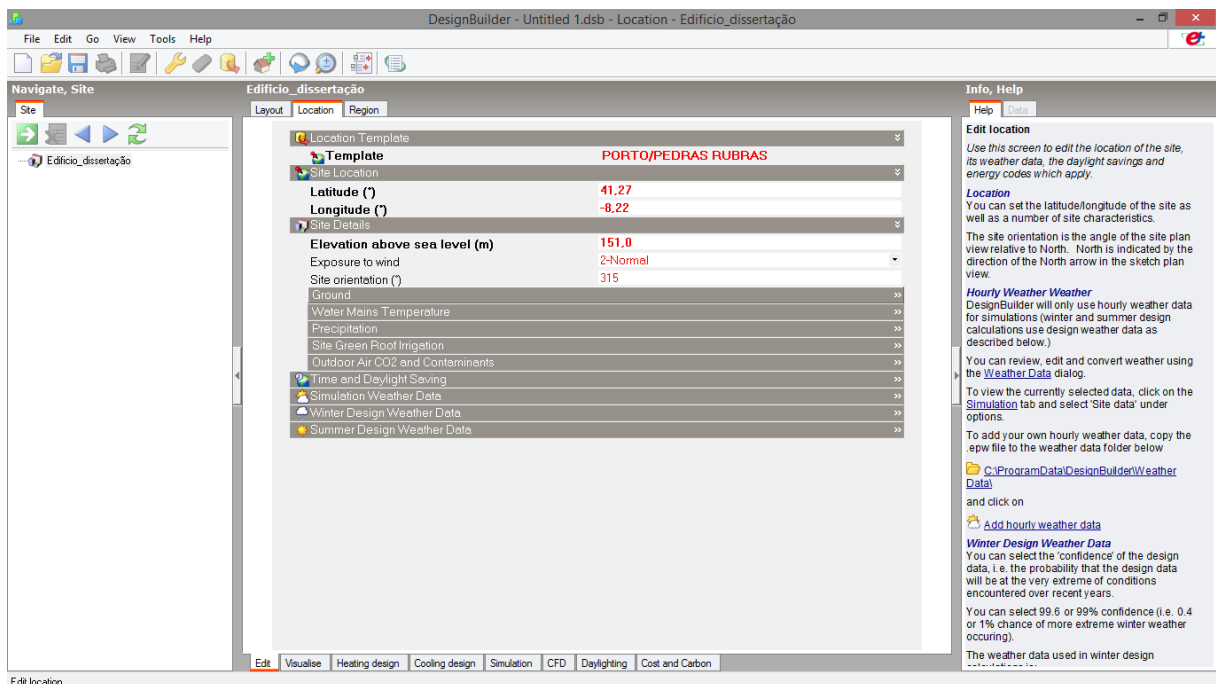


Figura 37 - Janela de atribuição das coordenadas de localização e orientação

3.2.1.2 Desenho do modelo

Após a definição das características de localização e orientação procedeu-se no separador *Layout*, à conceção do edifício modelo. Nesta fase, foi importado para o *DesignBuilder*, as plantas do edifício em estudo do *AutoCad*, no formato DWG, o que permitiu e facilitou o trabalho de conceção do modelo.

Os primeiros elementos a desenhar foram os espaços habitacionais, com *Building block*, seguindo-se uma logica natural de construção, piso a piso, começando-se por desenhar o rés-do-chão, seguindo-se o andar e só depois a cobertura. A construção de divisórias interiores, para definição dos compartimentos foi feita logo após a construção de cada “bloco” de piso.

Depois foram desenhados todos os elementos arquitetónicos existentes no edifício, que proporcionam sombra e reflexão noutros elementos construtivos, com *Component block*. Também com este tipo de blocos foi feito um enquadramento arquitetónico geral dos limites do lote onde está inserido o edifício em estudo.

A Figura 38, apresenta a representação geométrica do modelo em estudo já concluído, visto pelo exterior, onde é possível identificar os vários elementos *Block* utilizados na construção do modelo.

Os elementos a cinzento-escuro, foram criados com *Building block*, e representam os elementos construtivos do edifício que representam as paredes exteriores, pavimentos e cobertura. Nestes mesmos elementos existem elementos a cinzento-claro, que representam os elementos envidraçados (janelas e portas).

Os elementos a roxo, são *Component block - Standard*, e representam os elementos de construção complementares que proporcionam sombra e reflexão noutros elementos.

Já o elemento a vermelho, são *Component block – Adiabatic*, e representa o elemento de construção que proporciona as características de um edifício contíguo.

Em relação aos elementos a verde, foram criados com *Component block - Ground*, e representam o solo em volta do edifício.

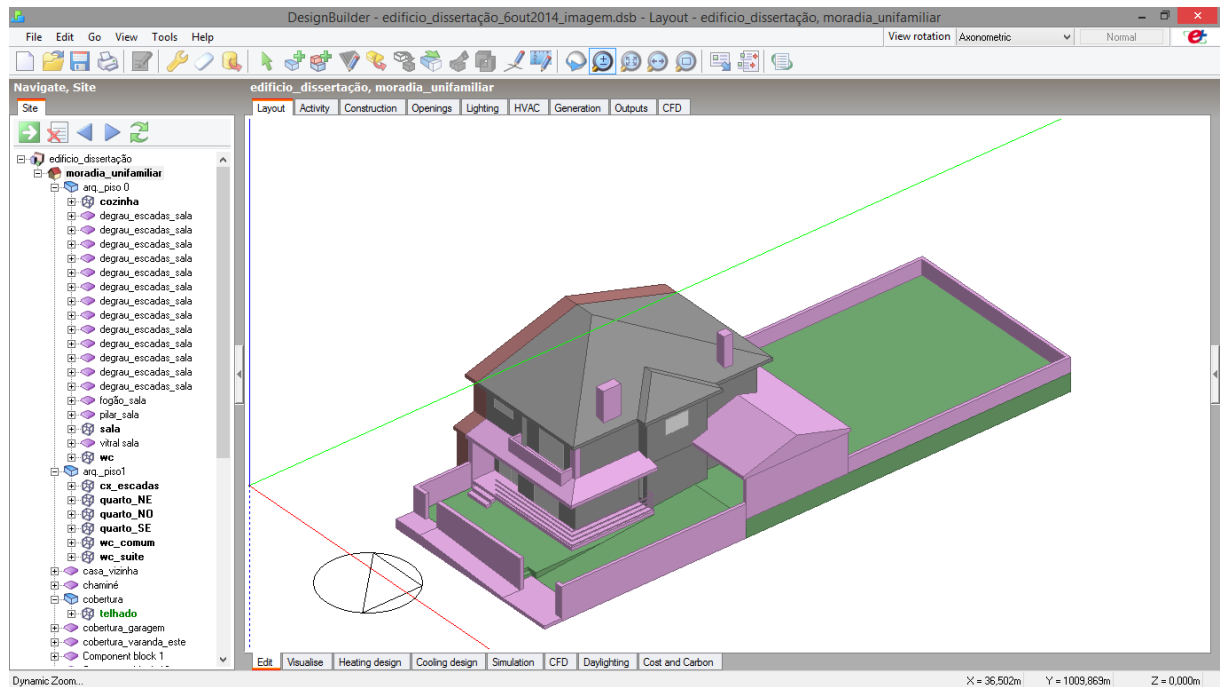


Figura 38 – Vista pelo exterior da representação geométrica do modelo concluído

A Figura 39 apresenta a representação geométrica do modelo em estudo já concluído, pelo interior, onde estão apresentados o rés-do-chão (Figura 39.a) e o andar (Figura 39.b).

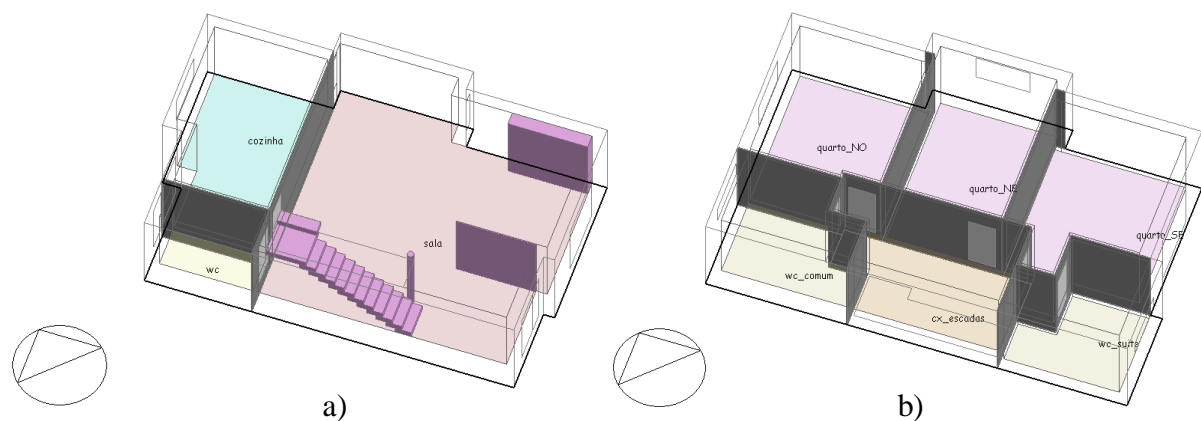


Figura 39 – Vista interior da representação geométrica do modelo concluído

Já com o modelo geometricamente definido, as fases seguintes consistem na caracterização do modelo.

3.2.1.3 Identificação das zonas

A identificação das zonas em função da atividade, têm uma grande relevância do ponto de vista da simulação, dado que, serão associados dados relevantes às divisões interiores do edifício, tais como, a ocupação (pessoas/m²), equipamentos que funcionam nesses espaços, período de utilização desses espaços, entre outros, dados estes que vão ter influência nos ganhos térmicos internos, o que vai alterar os requisitos desses compartimentos.

A identificação dessas zonas, no *DesignBuilder* é realizada no separador *Activity*, onde é possível definir todos requisitos pretendidos, zona a zona. O *DesignBuilder* também dispõe nesse separador, uma lista de espaços pré-definidos com as características a associar a cada zona.

A Figura 40, apresenta o separador *Activity*, com o exemplo da identificação da atividade de um dos quartos do modelo em estudo e na Figura 41, são apresentadas as plantas do edifício em estudo com as zonas identificadas, planta do rés-do-chão, Figura 41.a, e a planta do andar, Figura 41.b

As características atribuídas a cada espaço foram as pré-definidas disponíveis na lista *Activity templates / Residential spaces*.

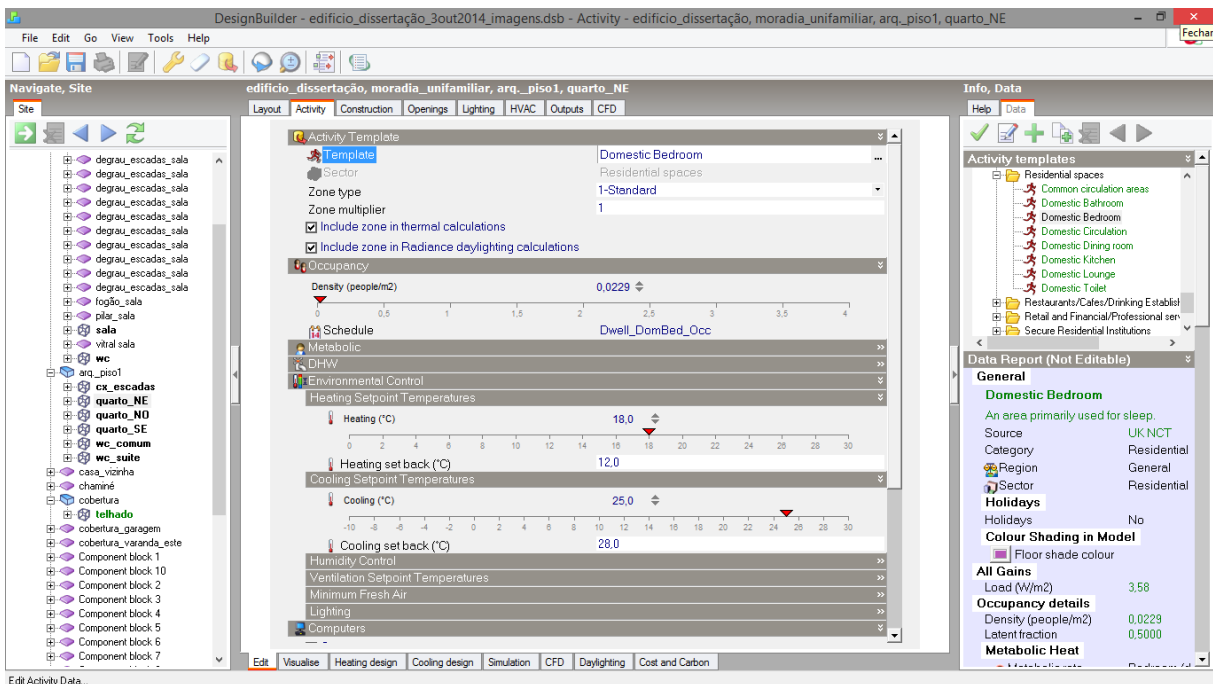


Figura 40 – Separador de identificação das zonas

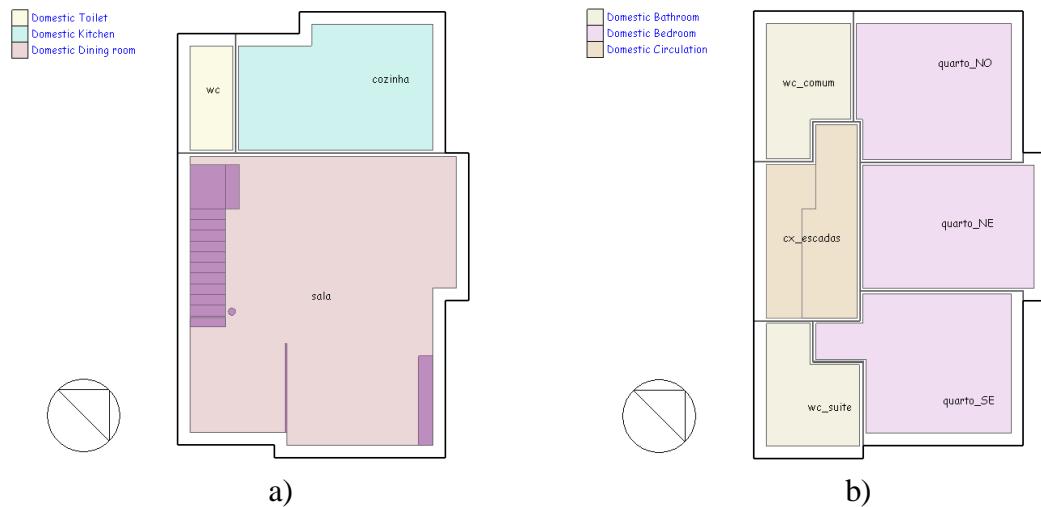


Figura 41 – Plantas do edifício em estudo com as zonas identificadas

A temperatura interior considerada, foi de 18°C, durante todo o dia (i.e. 24 horas).

3.2.1.4 Definição dos elementos construtivos

A definição dos elementos construtivos consiste na atribuição das características dos elementos construtivos, (paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, coberturas, entre outros elementos), relativamente à sua constituição.

A definição destas características dos elementos construtivos define o desempenho energético da envolvente opaca e, influencia as necessidades de aquecimento e arrefecimento e as condições de conforto térmico dos ocupantes.

Para definição desses elementos, no *DesignBuilder* usa-se o separador *Construction*, onde é possível, solução a solução, definir a sua constituição de acordo com as soluções construtivas pretendida. Para facilitar essa definição, o *DesignBuilder* dispõe de uma lista de materiais com as suas características pré-definidas, separados por classes. O *DesignBuilder* também dispõe de um conjunto de soluções construtivas, também com as suas características pré-definidas.

A Figura 42 apresenta o separador onde estão definidos os elementos construtivos. No caso em estudo, todos os elementos construtivos foram definidos de raiz, utilizando os materiais disponíveis na lista *Constructions Data / Materials*.

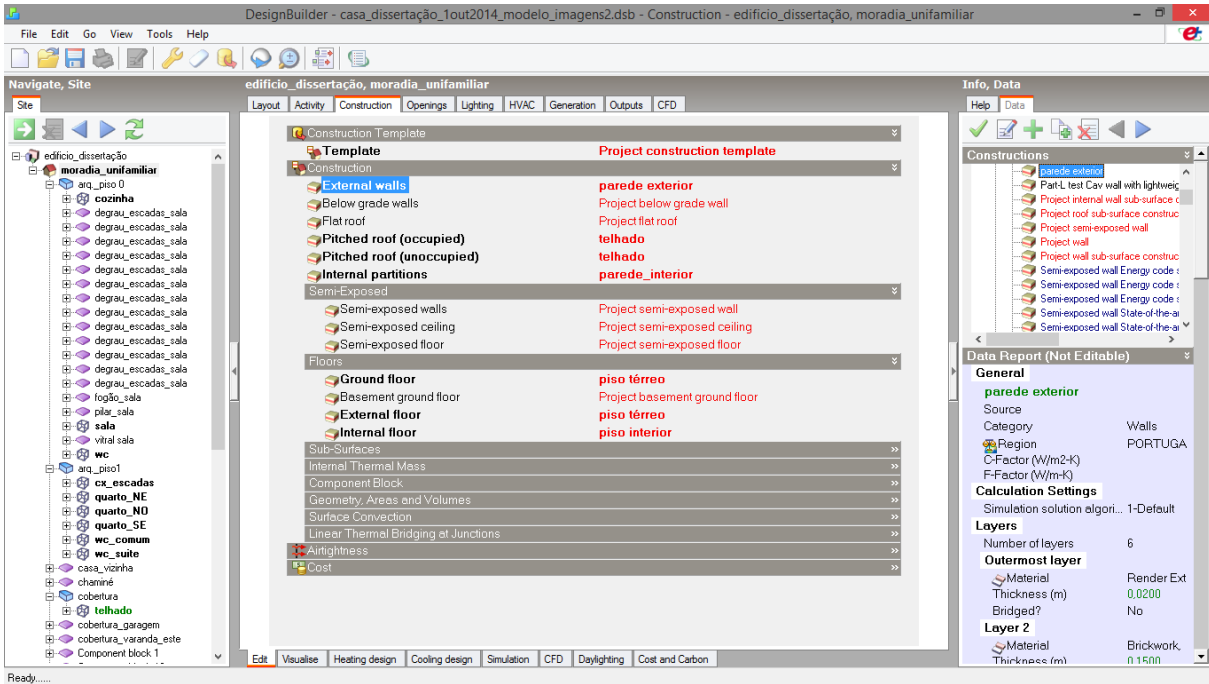


Figura 42 – Separador de definição dos elementos construtivos

Na definição de um elemento construtivo, o *software* permite na definição das características do elemento, visualizar a constituição da própria solução, pelo número de elementos que a constitui, pelos materiais constituintes e pelas espessuras desses materiais. Na Figura 43 é apresentado o exemplo da definição das paredes exteriores.

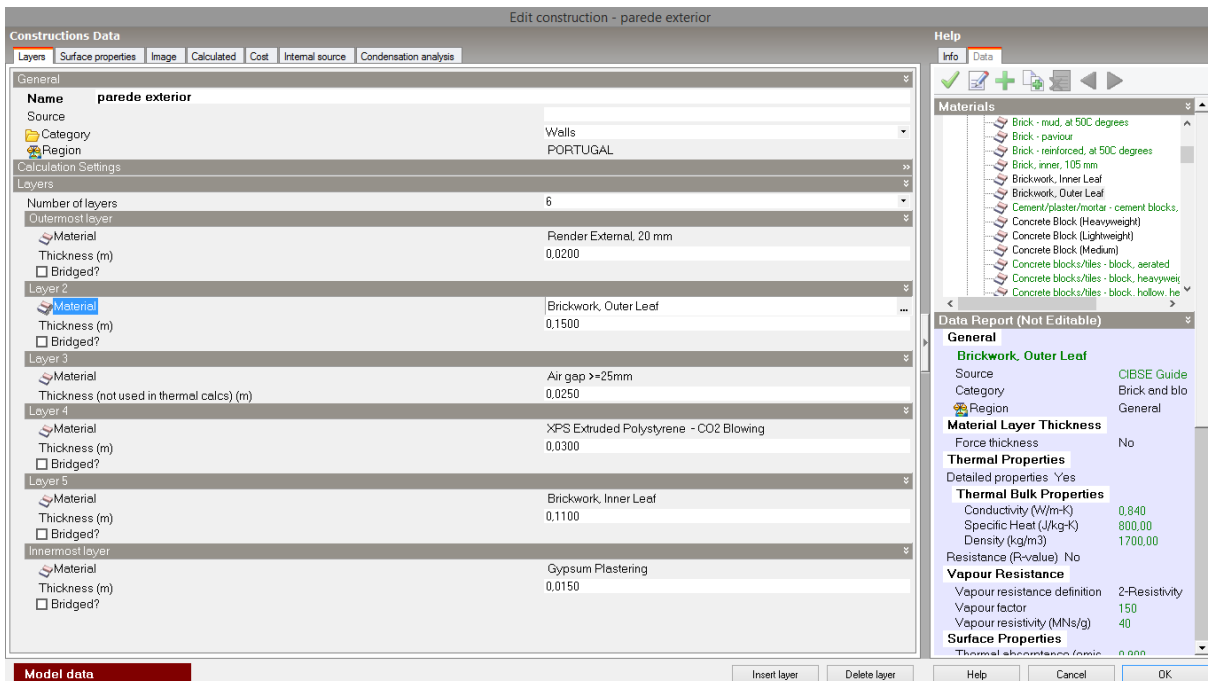


Figura 43 – Separador de definição das características das paredes exteriores

Após a definição do elemento é possível visualizar a imagem em corte, do elemento construtivo, que no exemplo da Figura 44 é a parede exterior,

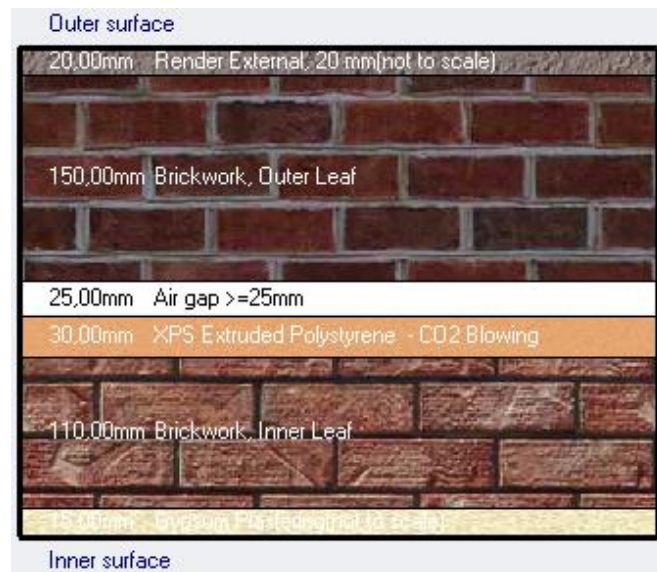


Figura 44 – Representação esquemática da constituição parede exterior, apresentada pelo *DesignBuilder*

Também nesta janela, há um separador que apresenta as propriedades do conjunto de materiais utilizados na constituição do elemento construtivo, onde são apresentados valores referentes à densidade, à resistência térmica, ao coeficiente de transmissão térmica entre outros dados. O exemplo da Figura 45 refere-se também à solução das paredes exteriores.

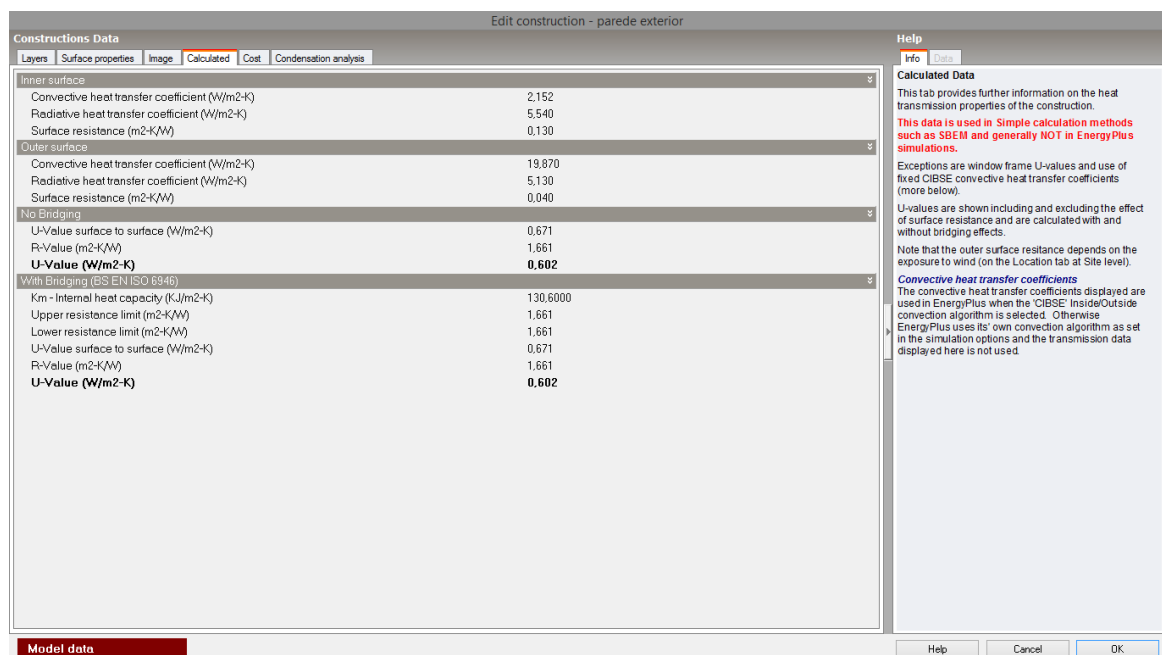


Figura 45 – Separador indicativo das propriedades referentes às paredes exteriores

3.2.1.5 Definição dos vãos envidraçados

A definição das características dos vãos envidraçados influencia, do mesmo modo que os restantes elementos construtivos, as necessidades de aquecimento e arrefecimento e as condições de conforto térmico dos ocupantes.

A definição destes elementos, é efetuada no separador *Openings*, onde é possível definir as características de todas as janelas, em conjunto, ou separadamente janela a janela. Para facilitar essa definição, o *DesignBuilder* dispõe de uma lista, com diversos tipos de vidros. O *DesignBuilder* também dispõe no mesmo separador, um conjunto de soluções de envidraçados, também com as características pré-definidas (Figura 46).

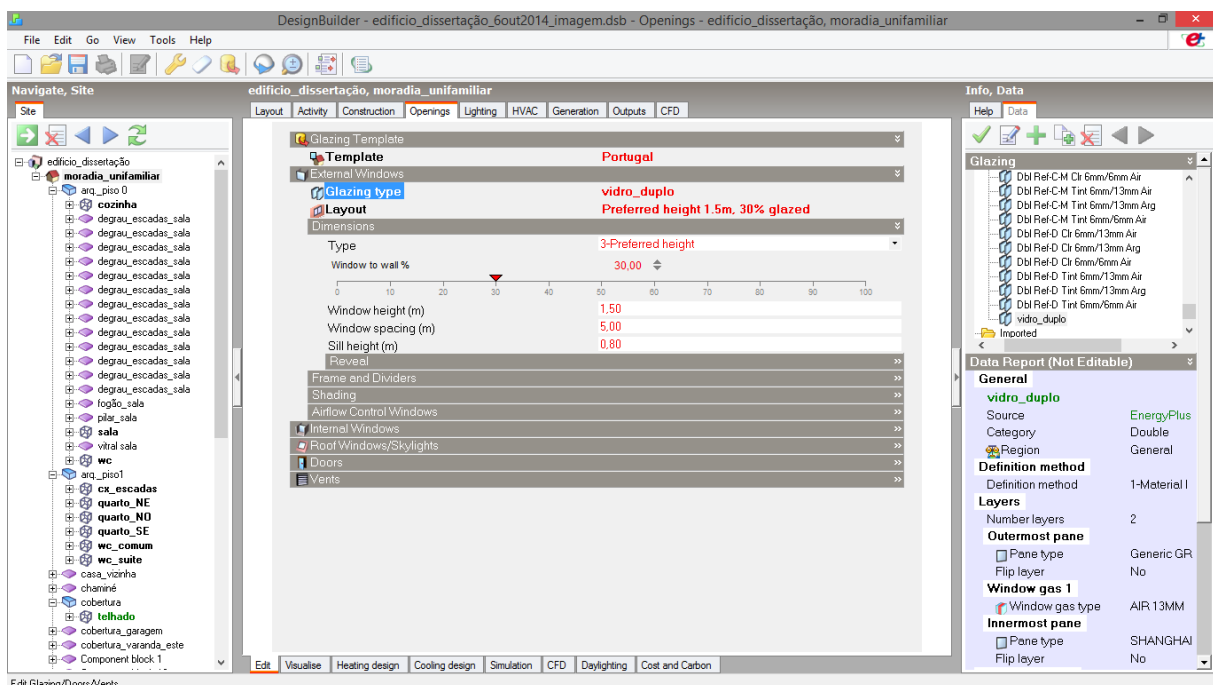


Figura 46 - Separador de definição dos vãos envidraçados

No caso em estudo foi definida uma solução única para todos os vãos envidraçados, composta por uma janela com vidro duplo, enquadrada com o edifício em estudo, utilizando os materiais disponíveis na lista *Glazing Data / Panes* (Figura 47). Na definição das características dos envidraçados, é possível visualizar a sua constituição, número de vidros, espessuras dos vidros e caixa-de-ar entre vidros e o tipo de vidros utilizado.

Não foi definido nenhum sistema móvel de proteção solar dos envidraçados.

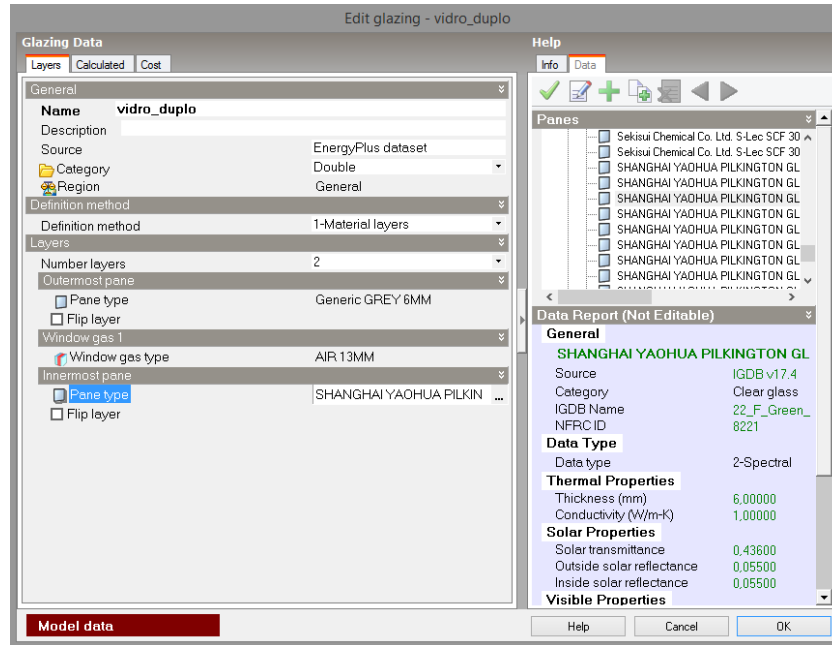


Figura 47 - Separador de definição das características do envidraçado

Neste separador é também possível visualizar o coeficiente de transmissão térmica, entre outros dados, da solução constituída (Figura 48).

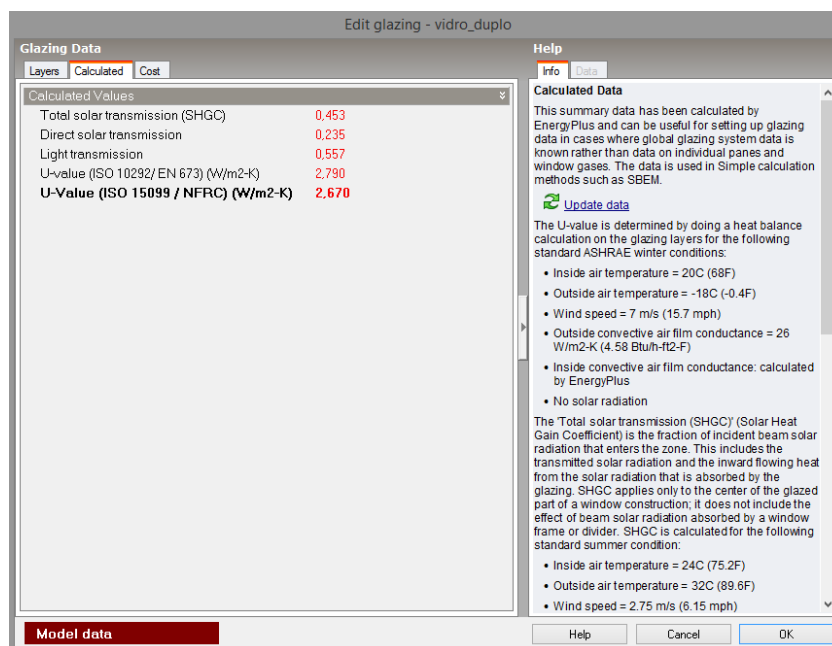


Figura 48 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado

3.2.1.6 Definição do tipo de iluminação

Relativamente à definição do tipo de iluminação usada no edifício em estudo, esta é realizada no separador *Lighting*, onde é possível, definir as características de todos os sistemas de iluminação existe (Figura 49).

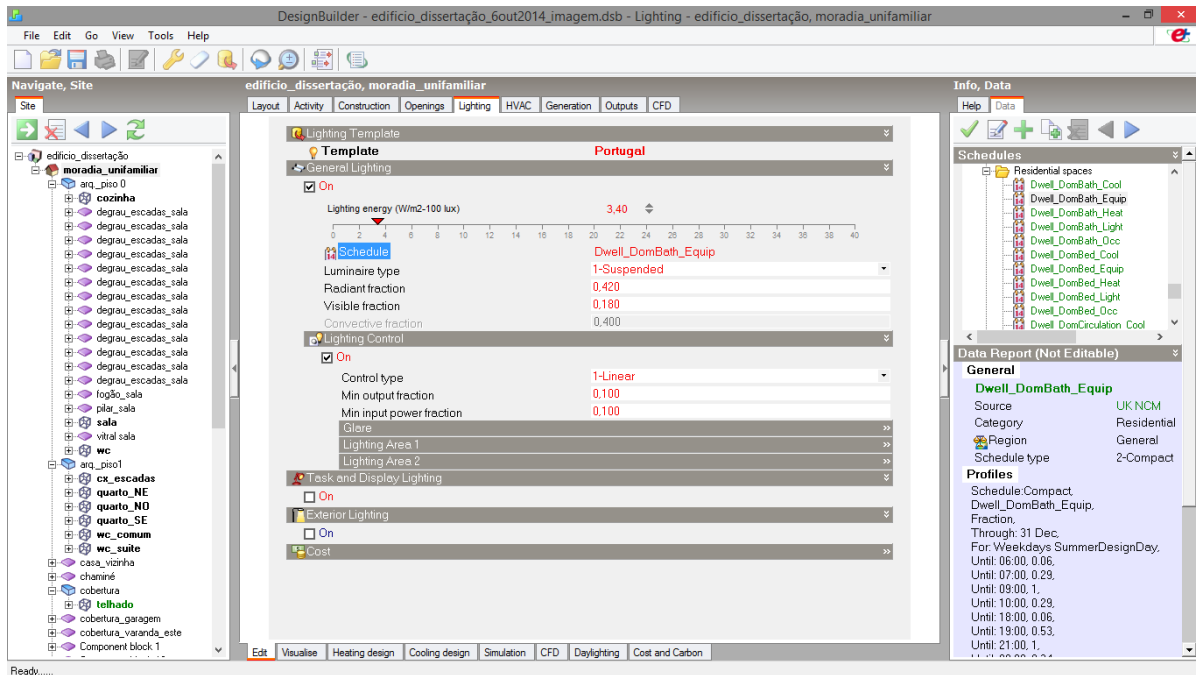


Figura 49 - Separador de definição do tipo de iluminação

No caso em estudo foi considerada as predefinições normais para Portugal, determinadas pelo *software*, para edifícios deste tipo.

3.2.1.7 Definição do sistema AVAC

Para a definição do sistema é feita no separador *AVAC*, onde é possível definir zona a zona, todos requisitos relativos aos principais parâmetros de mecanismos de ventilação, aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS, ventilação natural, entre outros fatores zona a zona (Figura 50).

Para facilitar esta definição, o *DesignBuilder* dispõe, de uma lista de tipos e características de sistemas onde é possível selecionar e/ou alterar parâmetros de utilização, de acordo com as necessidades do caso em estudo.

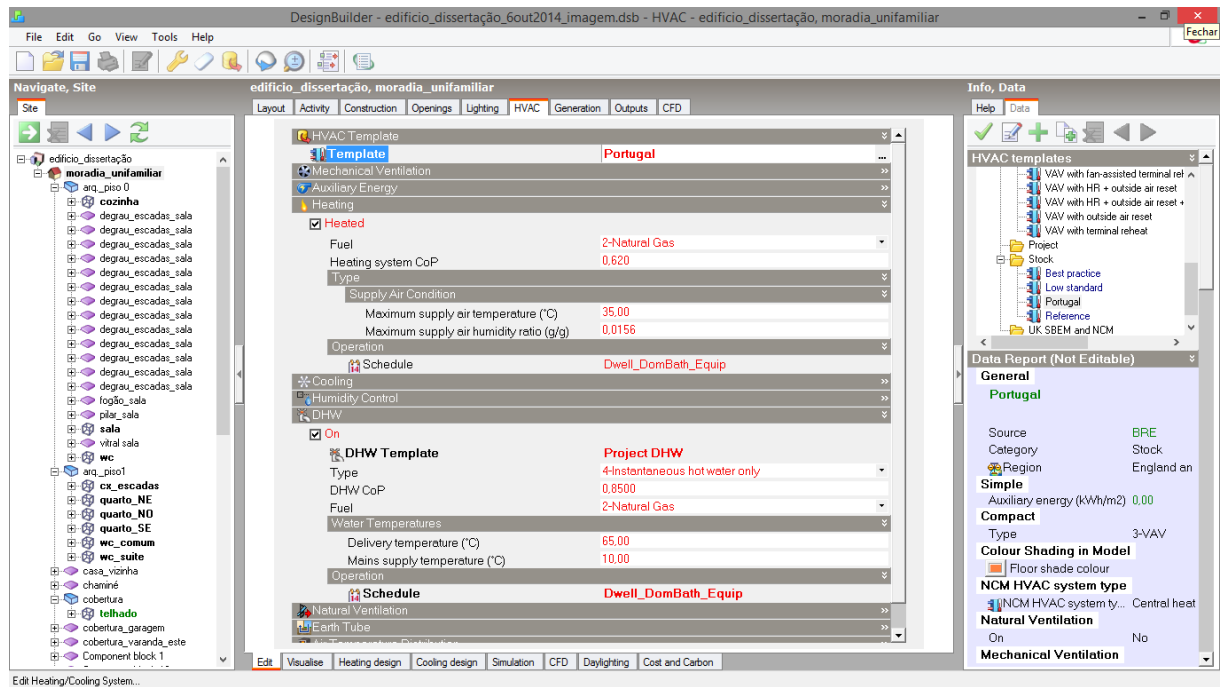


Figura 50 - Separador de definição das características do sistema de AVAC.

No caso em estudo foi considerada que as necessidades de AQS e aquecimento ambiente são colmatadas por uma caldeira a gás natural. As restantes predefinições foram consideradas as normais para Portugal, determinadas pelo *software*, para edifícios deste tipo.

3.2.2 Medidas de reabilitação do edifício

Apesar do edifício em estudo ser recente, o mesmo têm algumas deficiências ao nível de construção/isolamento que agravam as necessidades energéticas do próprio edifício. Afim de melhorar e corrigir essas deficiências propõem-se as seguintes medidas de reabilitações:

- Reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores;
- Reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura;
- Melhoria das características dos vãos envidraçados.

3.2.2.1 Reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores

O reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores, foi uma das medidas de reabilitação definidas, uma vez que a solução construtiva existente, não corrige as pontes térmicas nas zonas dos pilares e vigas, sendo também necessário reforçar o isolamento em zona corrente uma vez que a espessura de isolamento existente na caixa-de-ar, 3 cm de XPS, é insuficiente.

Assim sendo a solução escolhida para corrigir estas falhas foi o reforço do isolamento térmico pelo exterior, com a aplicação de um sistema *ETICS*, com 0.05 m de espessura de isolamento térmico, poliestireno expandido (EPS), com acabamento argamassado com rede em fibra no seu interior. Esta é uma solução de fácil aplicação e que vai permitir tratar pontes térmicas, melhorando as condições de conforto térmico dos ocupantes, mantendo a inércia térmica, reduzir as necessidades energéticas e tratar eventuais deficiências da fachada.

Para proceder a esta alteração no *DesignBuilder* usa-se o separador *Construction*, na solução construtiva das paredes exteriores do edifício em estudo, aplicaram-se as alterações apontadas, conforme representação esquemática, em corte, do elemento construtivo, apresentada pelo *DesignBuilder* (Figura 51).

Com esta alteração, todas as propriedades da parede exterior, densidades, resistência térmica, coeficiente de transmissão térmica, entre outros dados, sofreram alteração (Figura 52).



Figura 51 - Representação esquemática da constituição parede exterior com o reforço do isolamento pelo exterior, apresentada pelo *DesignBuilder*

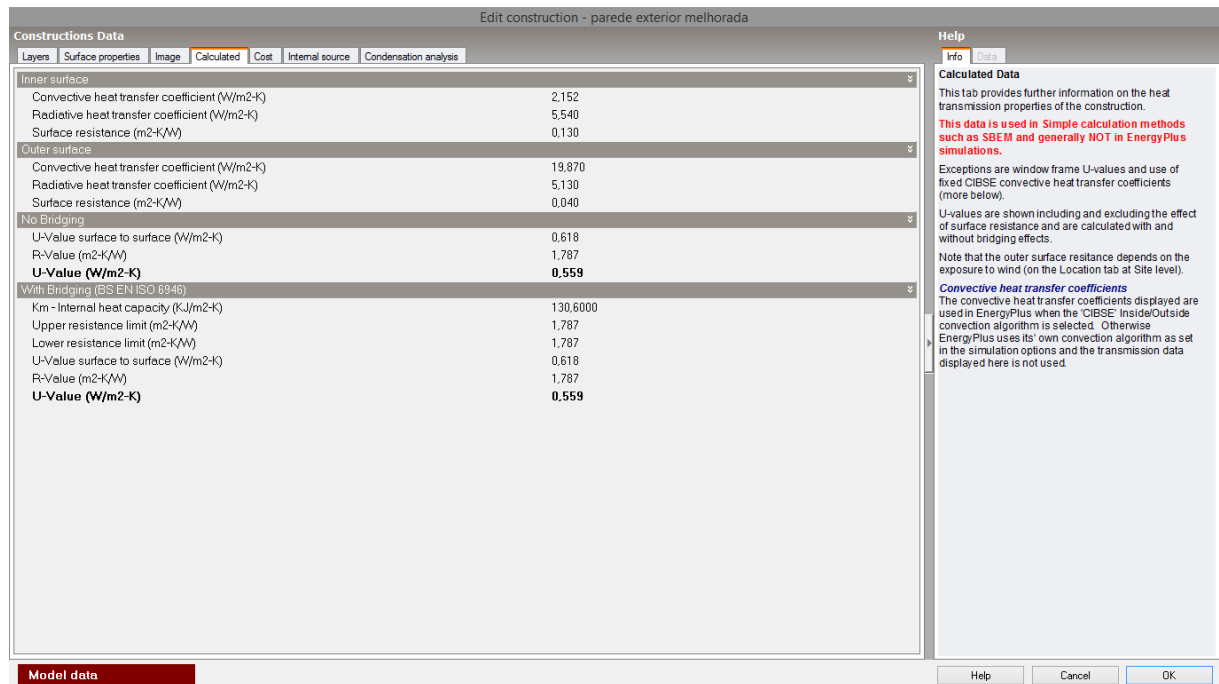


Figura 52 – Separador indicativo das propriedades referentes às paredes exteriores já com o reforço do isolamento pelo exterior

3.2.2.2 Reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura

O reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura, foi uma das medidas de reabilitação definidas, uma vez que solução construtiva da laje de esteira da cobertura não tem isolamento térmico e o isolamento térmico da laje de cobertura julgamo-lo insuficiente.

Assim sendo a solução escolhida para corrigir estas falhas foi o reforço do isolamento térmico sobre a laje de esteira da cobertura com 0.04 m de isolamento térmico, poliestireno extrudido (XPS). Esta é uma solução de fácil aplicação, dado que o espaço amplo da cobertura não é utilizado, e vai permitir obter melhores resultados ao nível do desempenho energético e de conforto térmico dos ocupantes.

Para proceder a esta alteração no *DesignBuilder* usa-se o separador *Construction*, na solução construtiva do teto do andar, aplicaram-se as alterações apontadas, alterando desse modo as propriedades desse elemento, relativamente à densidade, resistência térmica, coeficiente de transmissão térmica entre outros fatores (Figura 53).

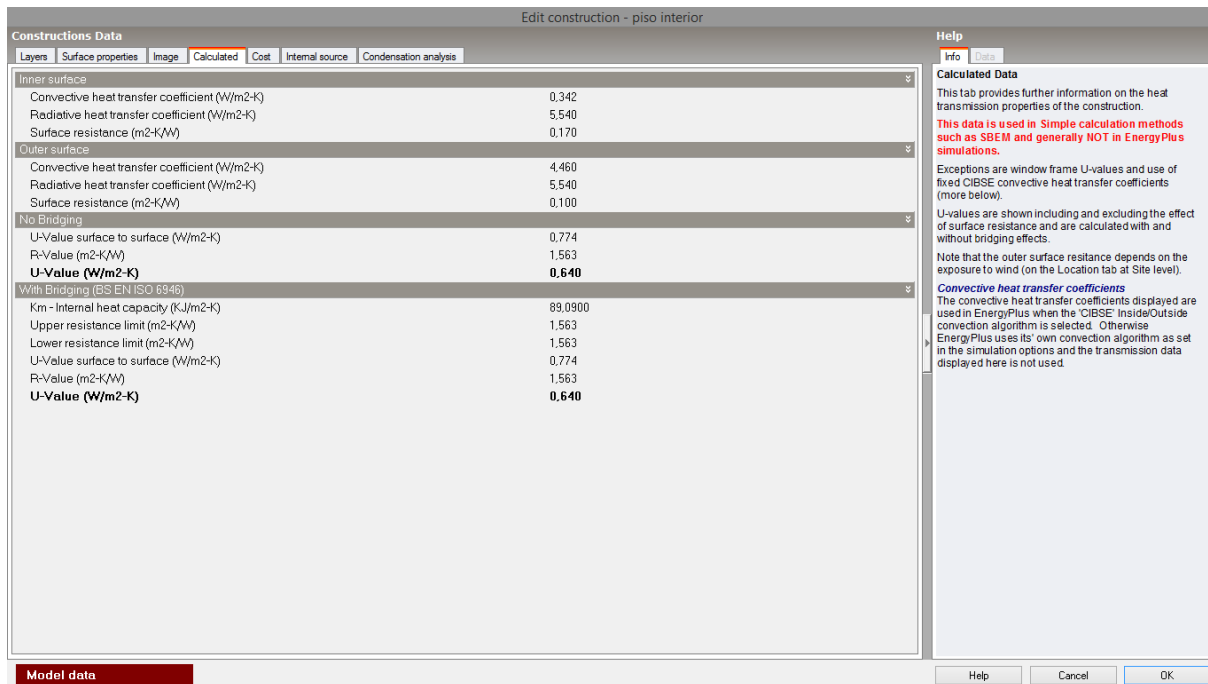


Figura 53 - Separador indicativo das propriedades referentes à laje de teto do andar já com o reforço do isolamento

3.2.2.3 Melhoria das características dos vãos envidraçados

A melhoria das características dos vãos envidraçados, foi uma das medidas de reabilitação definidas uma vez que os vãos envidraçados existentes não têm corte térmico e têm coeficientes de transmissão térmica muito elevados, o que vai afetar as necessidades de aquecimento e arrefecimento, penalizando as condições de conforto térmico dos ocupantes.

Assim sendo a solução escolhida para corrigir estas falhas foi a alteração dos vãos envidraçados existentes por uma solução de uma caixilharia com corte térmico e com coeficientes de transmissão térmica baixos. É uma solução de fácil aplicação, e vai permitir melhorar as condições de conforto térmico dos ocupantes e reduzir a necessidades de energia.

Para proceder a esta alteração no *DesignBuilder* usa-se o separador *Openings*, onde foi alterada a solução anterior por uma solução de janela já pré-definida no *software*.

Na Figura 54, são apresentadas propriedades referentes ao novo tipo de envidraçado.

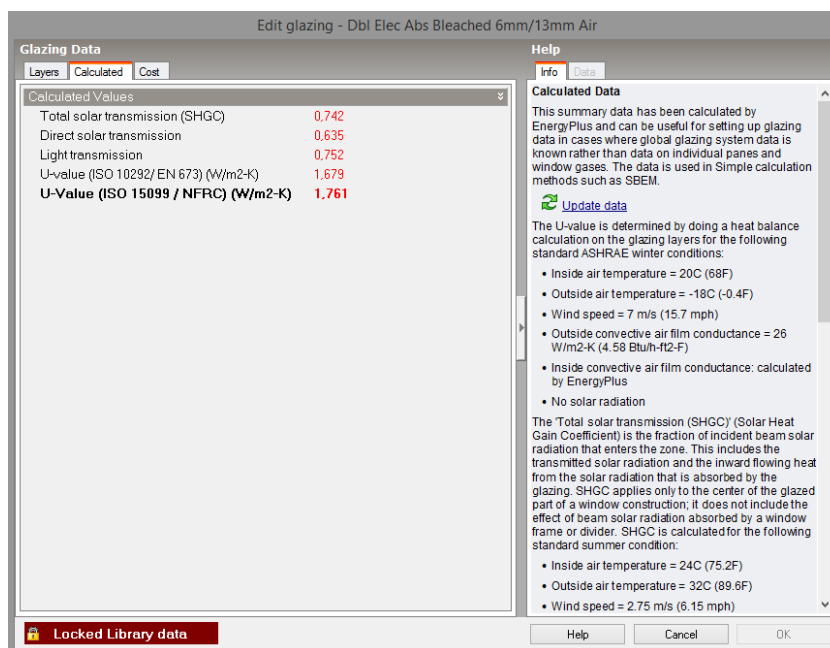


Figura 54 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado escolhido

Na Tabela 2, são apresentadas as características de todos os elementos construtivos depois da reabilitação.

Tabela 2 - Características dos elementos construtivos depois da reabilitação

Solução construtiva	Área (m ²)	U (W/m ² .C)
Paredes exteriores	155,00	0,559
Paredes interiores	115,00	1,952
Piso térreo	90,00	0,261
Laje de piso do andar	90,00	0,370
Laje de esteira da cobertura	90,00	0,640
Cobertura	95,00	0,178
Vãos envidraçados	23,00	1,761

3.2.3 Definição / Modelação de sistema de AQS e Aquecimento ambiente

Para a definição / modelação do sistema de preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento ambiente o *DesignBuilder* dispõe de um conjunto de soluções para várias

situações, mas nenhum desses modelos estava de acordo com as necessidades do estudo a desenvolver. O *DesignBuilder* dispõe de sistemas solares só para preparação de AQS ou só para aquecimento ambiente, o que obrigou a adaptar do sistema às necessidades.

Primeiro foi selecionado o modelo de sistema solar que contemplava somente o aquecimento ambiente através de piso radiante, conforme Figura 55.

Este sistema, é composto por três principais circuitos:

- Circuito do sistema solar (zona a vermelho);
- Circuito da água quente (zona a azul);
- Circuito do aquecimento (zona a verde).

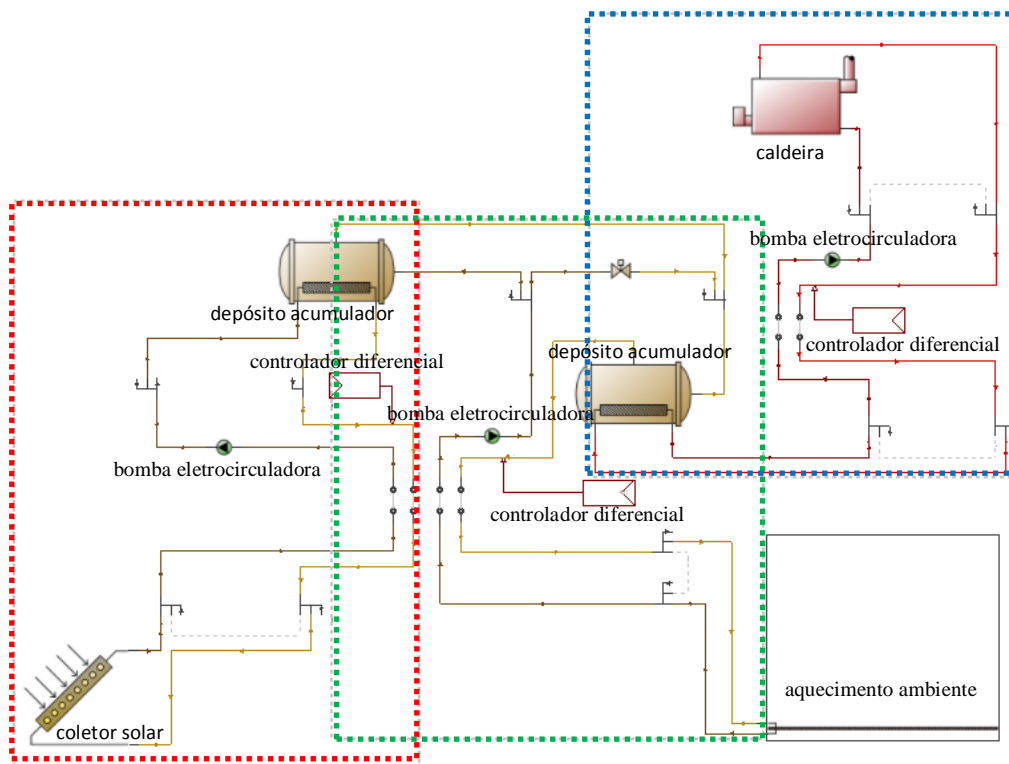


Figura 55 – Modelo de simulação de sistemas para aquecimento de espaços

3.2.3.1 Circuito do sistema solar

A constituição do circuito de sistema solar apresentado, representa um Sistema Solar Térmico de circulação forçada. Na Figura 56, é visível a zona coletor solar, depósito acumulador, bomba eletrocirculadora, controlador diferencial e outros acessórios.

A radiação solar que incide sobre a cobertura em vidro que compõe a parte superior do coletor solar, penetrando no interior do painel solar, o calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem, em circuito fechado, com o auxílio da bomba eletrocirculadora e por sua vez transfere esse calor através da serpentina do depósito para a água de consumo. A circulação do fluido é gerida pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação, que é regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura entre o coletor e o depósito seja de 5°C.

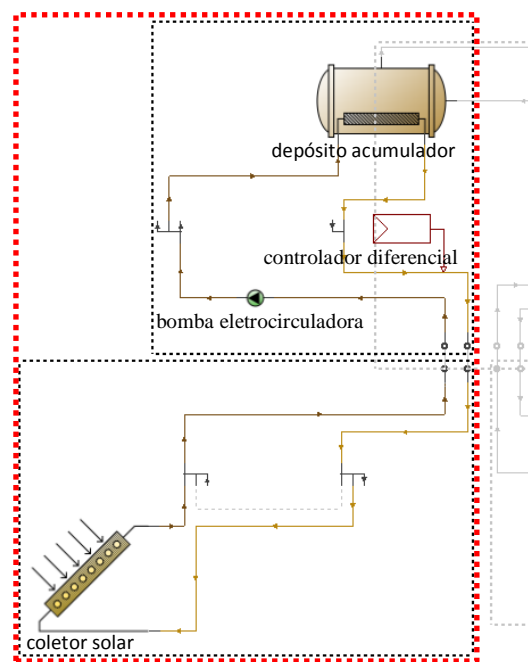


Figura 56 - Circuito do sistema solar

O *DesignBuilder* dispõe de separadores próprios para a definição dos diversos equipamentos que compõe o sistema solar.

Na definição do coletor solar, o *software* permite-nos escolher o tipo de coletor solar a instalar, a sua localização e as suas características (Figura 57).

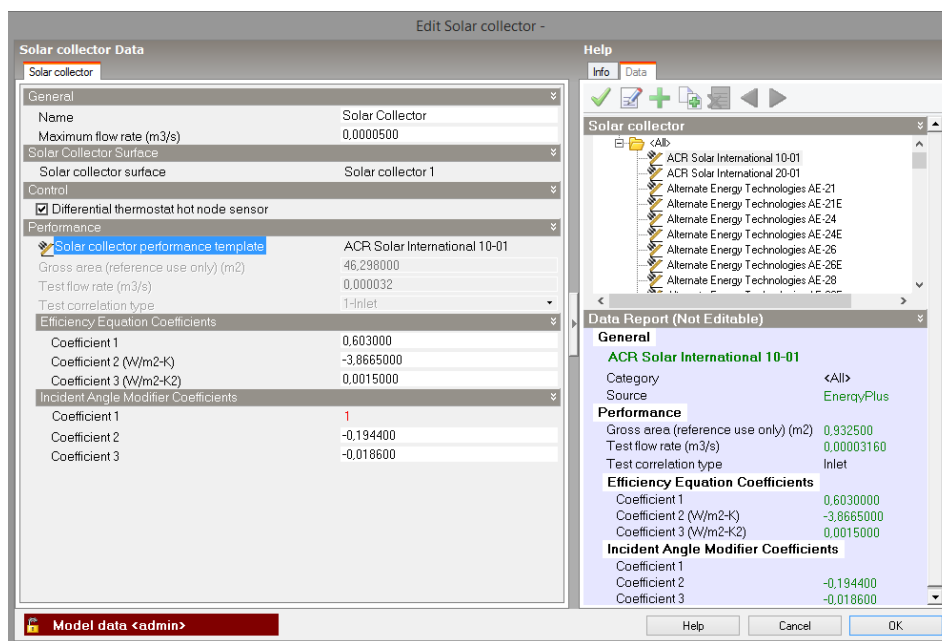


Figura 57 - Definição do coletor solar

O *DesignBuilder* dispõe de uma lista de coletores solares, coletores planos sem cobertura, coletores planos com cobertura e coletores de tubos de vácuo, já com as suas características pré-definidas.

Para o trabalho desenvolvido foram selecionados coletores solares planos com cobertura (Tabela 3), e coletores de tubos de vácuo (Tabela 4), disponíveis na biblioteca do *DesignBuilder* e que se adaptavam geométrica e tecnicamente às necessidades do edifício.

Tabela 3 – Lista de coletores planos usados nas simulações em estudo

Código atribuído	Identificação do coletor	dimensão (mm)			área (m ²)	peso (kg)	Rendimento otico (%)	Coef. perdas térmicas	
		Comp.	Larg.	Alt.				a1 (W/m ² -K)	a2 (W/m ² -K)
CP 001	ACR Solar International 10-01 www.solarroofs.com	1834	508	76	0,93	8,63	60,3%	-3,86650	0,00150
CP 002	Alternate Energy Techonologies AE-21 www.aetsolar.com	2164	894	79	1,93	34,00	69,1%	-3,39600	-0,01968
CP 003	Enerworks Inc COL-4x8-NL-SG1-SH10US www.enerworks.com	1176	2446	84	2,88	50,00	76,2%	-3,27870	-0,01288
CP 004	Solar Energy Inc SE-21 www.solarenergy.com	2134	914	74	1,95	41,00	69,0%	-3,74280	-0,01250
CP 005	Solene SLCO-30 www.solene-usa.com	1890	1204	102	2,28	35,00	77,9%	-4,28470	-0,00483

Tabela 4 - Lista de coletores de tubos de vácuo usados nas simulações em estudo

Código atribuído	Identificação do coletor	dimensão (mm)			área (m ²)	peso (kg)	Rendimento otico (%)	Coef. perdas térmicas	
		Comp.	Larg.	Alt.				a1 (W/m ² -K)	a2 (W/m ² -K)
CTV 001	Apricus Solar Co Ltd AP-10 www.apricus-solar.com	1979	795	155	1,57	35,00	41,6%	-0,96460	-0,00225
CTV 002	Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd SEIDO 1-8 www.sundasolar.com	2126	960	175	2,04	47,00	52,6%	-1,32530	-0,00422
CTV 003	BTF Ltd SP-20 www.btfsolar.com	1979	1659	168	3,28	55,00	34,2%	-0,85390	-0,00501
CTV 004	Thermo Technologies/Thermomax TMA-600-20 www.solarthermal.com	2032	1499	160	3,05	61,00	52,5%	-0,88600	-0,00738
CTV 005	Viessmaa Manufacturing Company US Inc Type SP3 2m2 www.viessmann-us.com	1994	1417	122	2,83	58,00	50,8%	-0,91560	-0,00300

Na definição da localização dos coletores no edifício, foram consideradas três opções, conforme está representado na Figura 58.

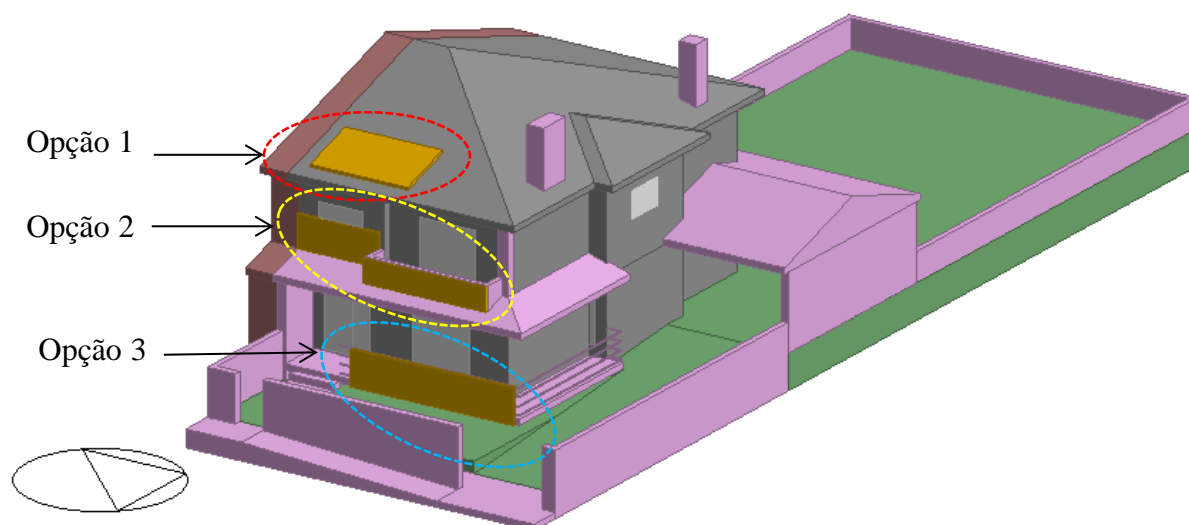


Figura 58 – Indicação a localização dos coletores

A opção 1, zona limitada a vermelho, refere-se à colocação de coletores na parte cobertura do edifício orientada a sudeste. Esta solução aponta que os coletores estão instalados com a mesma inclinação da cobertura (aproximadamente 17°).

A opção 2, zona assinalada a amarelo, refere-se à colocação de coletores na vertical, no alçado principal, também orientado a sudeste, ao nível do andar.

A opção 3, zona limitada a azul, diz respeito à colocação de coletores na vertical no alçado principal, ao nível do rés-do-chão, em substituição da guarda da varanda.

A Tabela 5 apresenta o número de coletores possíveis de instalar nas áreas disponíveis nas três opções apontadas. Os valores a zero correspondem as situações em que não é possível instalar os coletores em todas as opções apontadas (i.e. ou o comprimento ou a largura é superior ao espaço disponível para o integrar).

Tabela 5 - Número de coletores por área disponível

Código do coletor	Quantidades de coletores possíveis instalar		
	Opção 1 +/- 7,00 m ²	Opção 2 +/- 7,00 m ²	Opção 3 +/- 7,00 m ²
CP 001	8	8	8
CP 002	4	4	4
CP 003	3	0	3
CP 004	4	4	4
CP 005	4	0	4
CTV 001	5	5	5
CTV 002	4	4	4
CTV 003	3	0	0
CTV 004	3	0	0
CTV 005	3	0	0

Na definição do depósito acumulador, o *DesignBuilder* permite escolher o tipo de depósito, a sua capacidade e demais características (Figura 59).

Para definir o tipo de depósito, o *DesignBuilder* dispõe de uma lista de tipos de depósitos acumuladores, já com as suas características pré-definidas.

No âmbito deste trabalho foi considerado um depósito acumulador disponível na lista de depósitos do *DesignBuilder*, com uma capacidade de 300 litros.

Na definição dos restantes elementos que compõe o sistema, foram considerados os elementos atribuídos automaticamente pelo *DesignBuilder*.

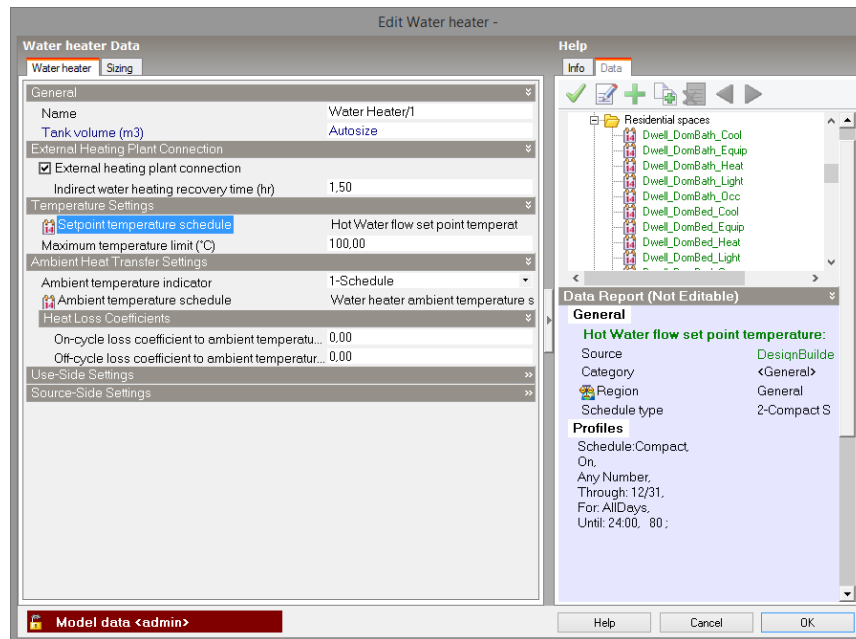


Figura 59 – Definição do depósito acumulador do circuito do sistema solar

3.2.3.2 Circuito da água quente

O circuito de água quente, apresentado na Figura 60, é composto por uma caldeira a gás natural, um circuito de água quente, uma bomba eletrocirculadora, um controlador diferencial entre outros acessórios.

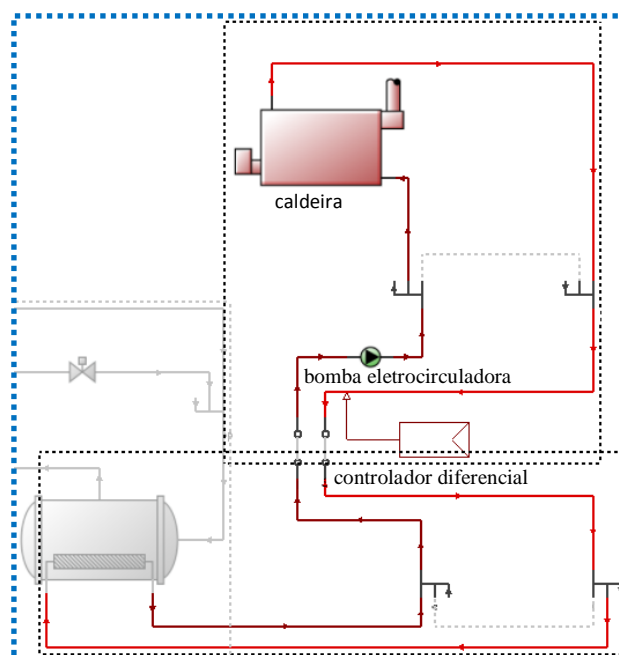


Figura 60 - Circuito da água quente

O objetivo da caldeira a gás é acrescentar a diferença de temperatura entre a temperatura da água proveniente do depósito do circuito solar e a temperatura desejada pelo utilizador. Assim, este sistema só vai funcionar quando o sistema solar não conseguir ganhos solares suficientes para colmatar as necessidades de AQS e de aquecimento ambientes solicitadas.

O circuito de água quente tem o objetivo de fazer a ligação entre a caldeira e o depósito acumulador do circuito do aquecimento.

Em relação à bomba eletrocirculadora, controlador diferencial e os restantes acessórios têm o objetivo de controlar e ativar todo o sistema.

Para a definição dos diversos equipamentos que compõe este sistema o *DesignBuilder* também dispõe de separadores próprios.

Na definição da caldeira de apoio, o *DesignBuilder* permite escolher o tipo de cadeira a instalar/usar e as suas características (Figura 61). Para facilitar essa escolha o *DesignBuilder* dispõe de uma lista de tipos caldeiras, já com as suas características pré-definidas.

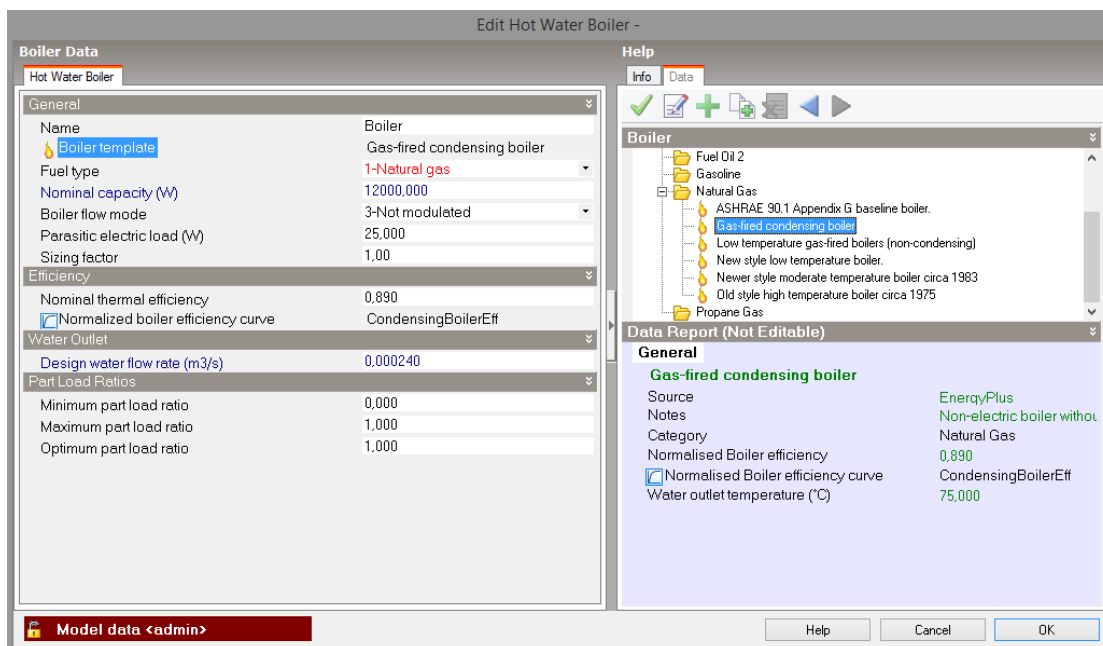


Figura 61 - Definição da caldeira de apoio

No âmbito deste trabalho, a caldeira considerada foi, uma das caldeiras disponível na lista do *DesignBuilder*, cujas características estão apontadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características da caldeira selecionada

Identificação da caldeira	Capacidade nominal (W)	carga elétrica (W)	fator de dimensionamento	Eficiência térmica nominal	Caudal de água em projeto (m ³ /s)
Boiler - Gas-fired condensing boiler	12000	25	1	0,89	0,00024

Para a definição dos restantes elementos que compõe o sistema foram considerados os elementos atribuídos automaticamente pelo *DesignBuilder*.

3.2.3.3 Circuito do aquecimento

O circuito de aquecimento é composto por um depósito acumulador, bomba eletrocirculadora, controlador diferencial, entre outros acessórios. Este sistema consiste no transporte da água à temperatura desejada para os vários compartimentos da habitação (grupos de zonas) (Figura 62).

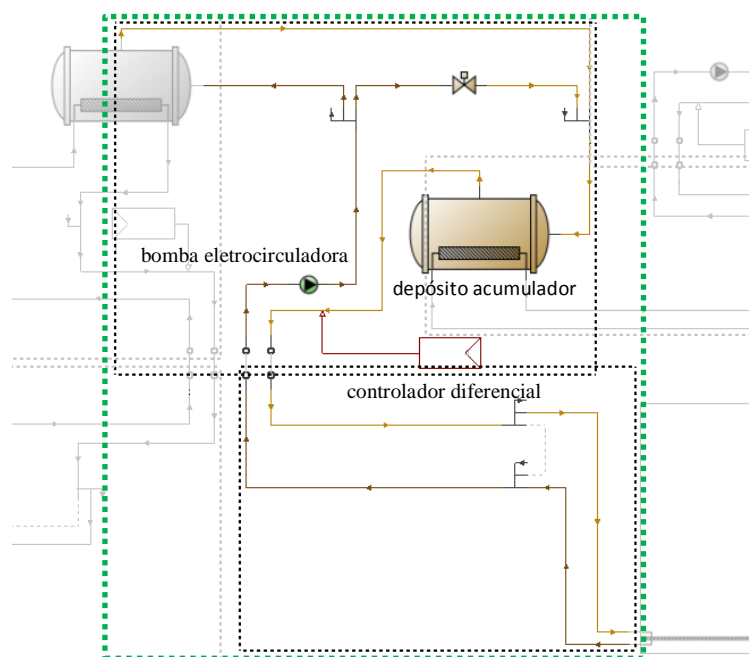


Figura 62 - Circuito do aquecimento

O *DesignBuilder* dispõe de separadores próprios para a definição dos diversos equipamentos que compõe este sistema.

Na definição do depósito acumulador, o *DesignBuilder* permite escolher o tipo de depósito, a sua capacidade e demais características (Figura 63).

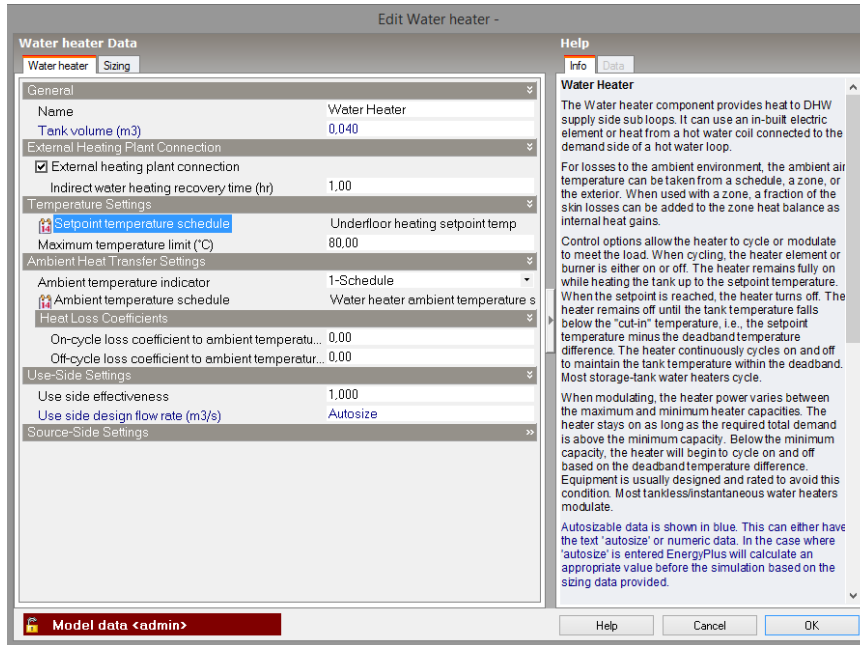


Figura 63 - Definição do depósito acumulador do circuito de aquecimento

Para definir o tipo de depósito, o *DesignBuilder* dispõe de uma lista de tipos de depósitos acumuladores, já com as suas características pré-definidas.

No âmbito deste trabalho foi considerado um depósito acumulador disponível na lista de depósitos do *DesignBuilder*, com uma capacidade de 300 litros.

3.2.3.4 Adaptação da modelação do sistema a AQS

Conforme foi referido anteriormente, o modelo de sistema solar escolhido foi o modelo que contemplava somente o aquecimento ambiente através de piso radiante, (ver Figura 55).

Com base nesse sistema a única adaptação que foi realizada foi acrescentar ao circuito que alimenta o piso radiante para aquecimento ambiente a componente AQS (DHW loop), onde se podem seleccionar as zonas que necessitam de AQS e definir as devidas características deste sistema.

Na Figura 64 é apresentada a versão final da Definição / Modelação de sistema de AQS e Aquecimento Ambiente.

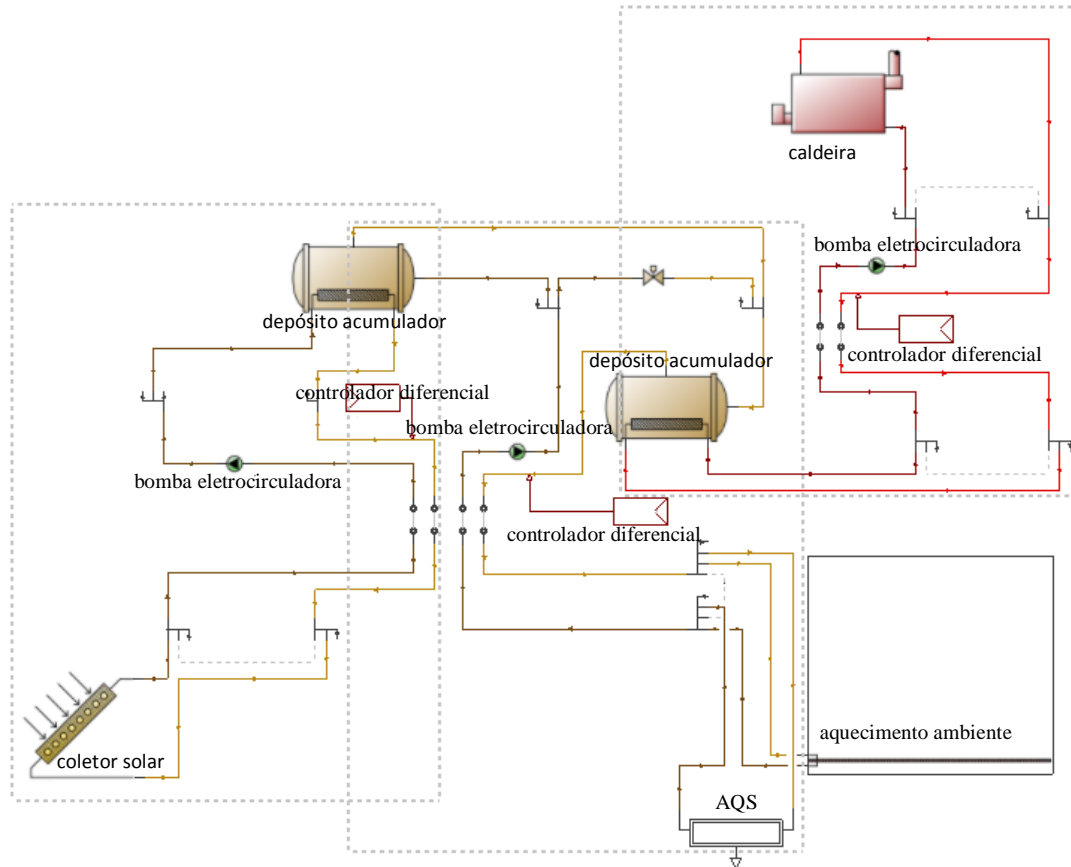


Figura 64 - Modelo definido para preparação de AQS e Aquecimento

3.2.4 Simulações dinâmicas

Após a definição do modelo do edifício em estudo, o desempenho energético foi determinado através de simulações dinâmicas, que são definidas no separador *Simulation*, onde é definido o período de simulação e o tipo de resultados pretendidos (Figura 65).

No presente estudo foi considerado como período de simulação, um ano, e que os resultados obtidos fossem anuais, diários e horários.

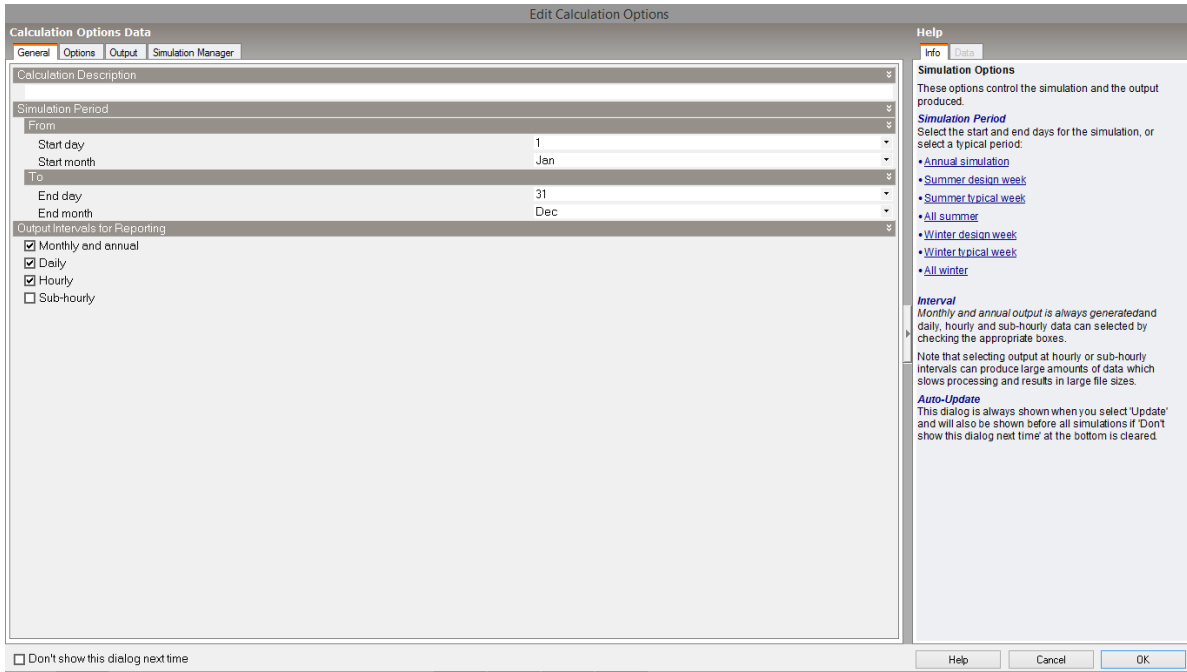


Figura 65 - Separador de definição da simulação dinâmica.

No final de cada simulação o *DesignBuilder* apresenta uma análise detalhada do desempenho do edifício, de acordo com o que foi previamente selecionado, através de gráficos (Figura 67, Figura 68 e Figura 69), tabelas (Figura 70, Figura 71, Figura 72 e Figura 73), ou através de um relatório final com os dados obtidos, o que permite uma análise mais detalhada do desempenho do edifício.

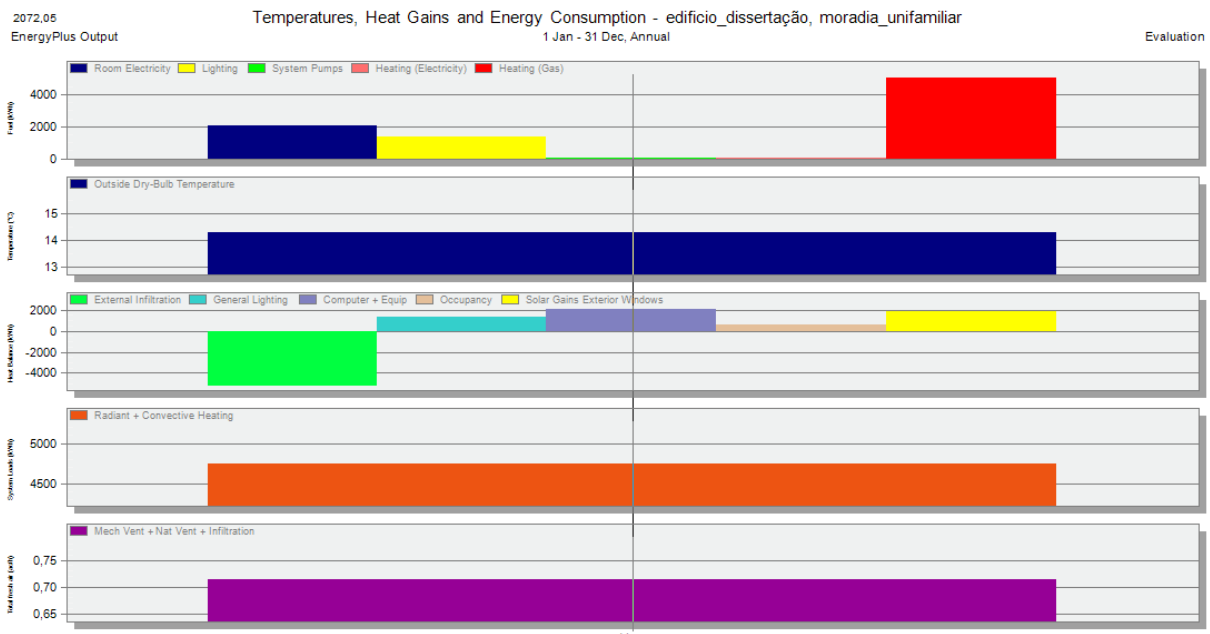


Figura 66 – Exemplo de apresentação dos resultados anuais apresentados em forma de gráfico

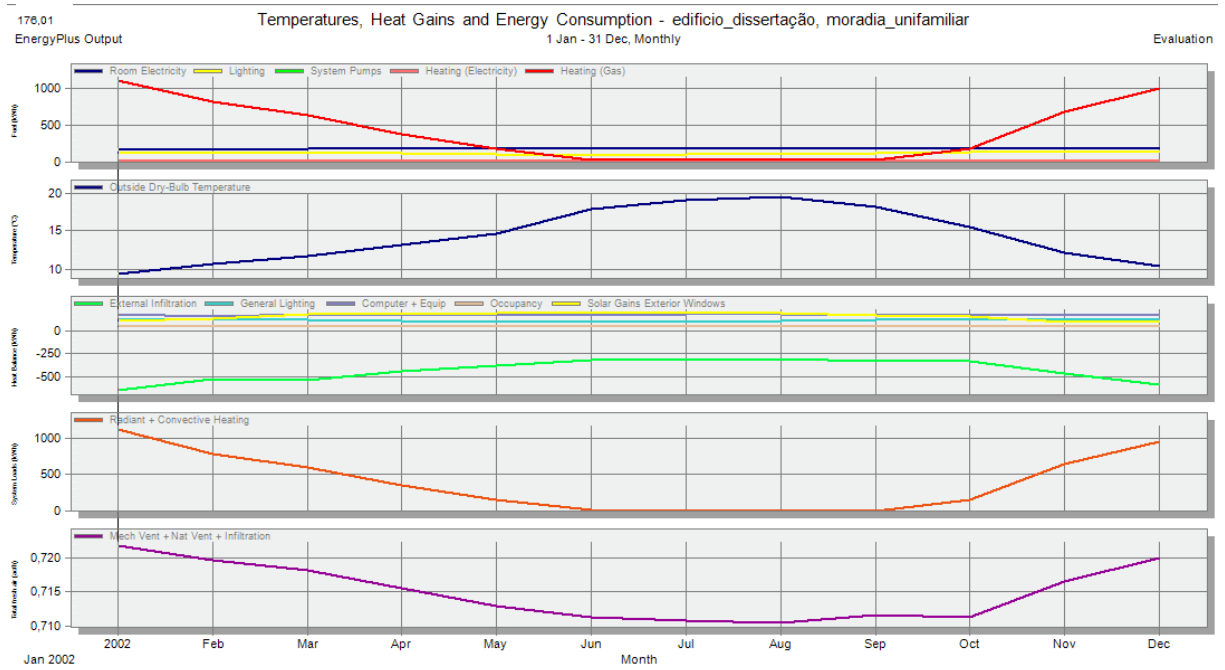


Figura 67 - Exemplo de apresentação dos resultados mensais apresentados em forma de gráfico

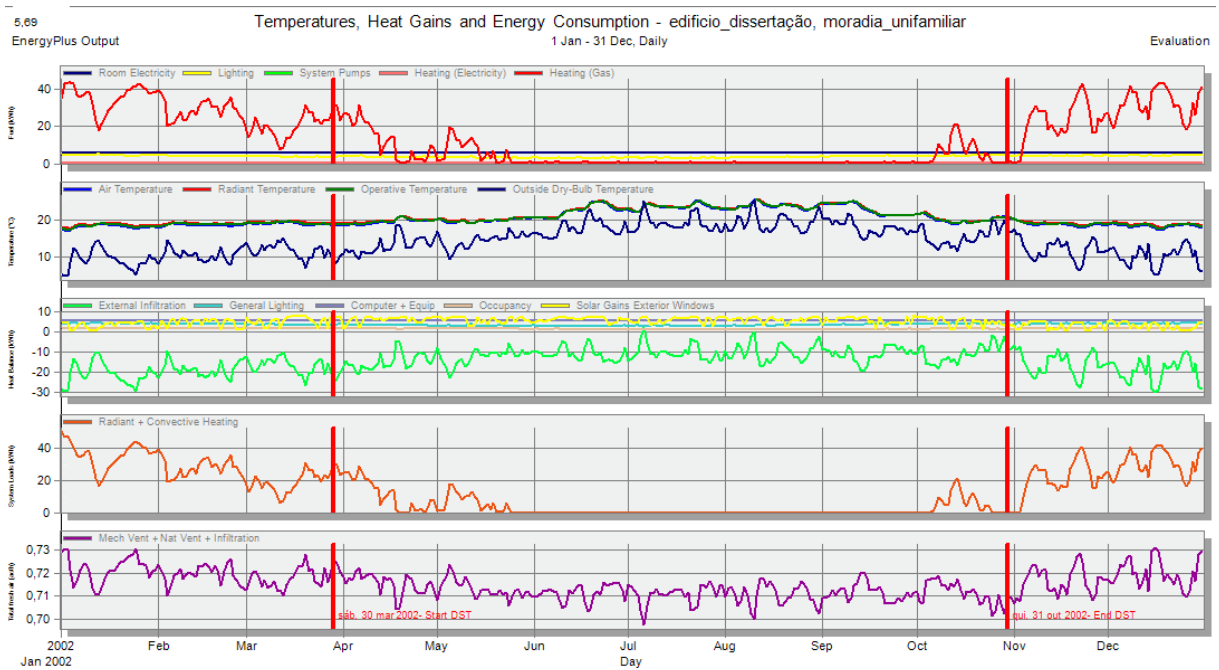


Figura 68 – Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de gráfico

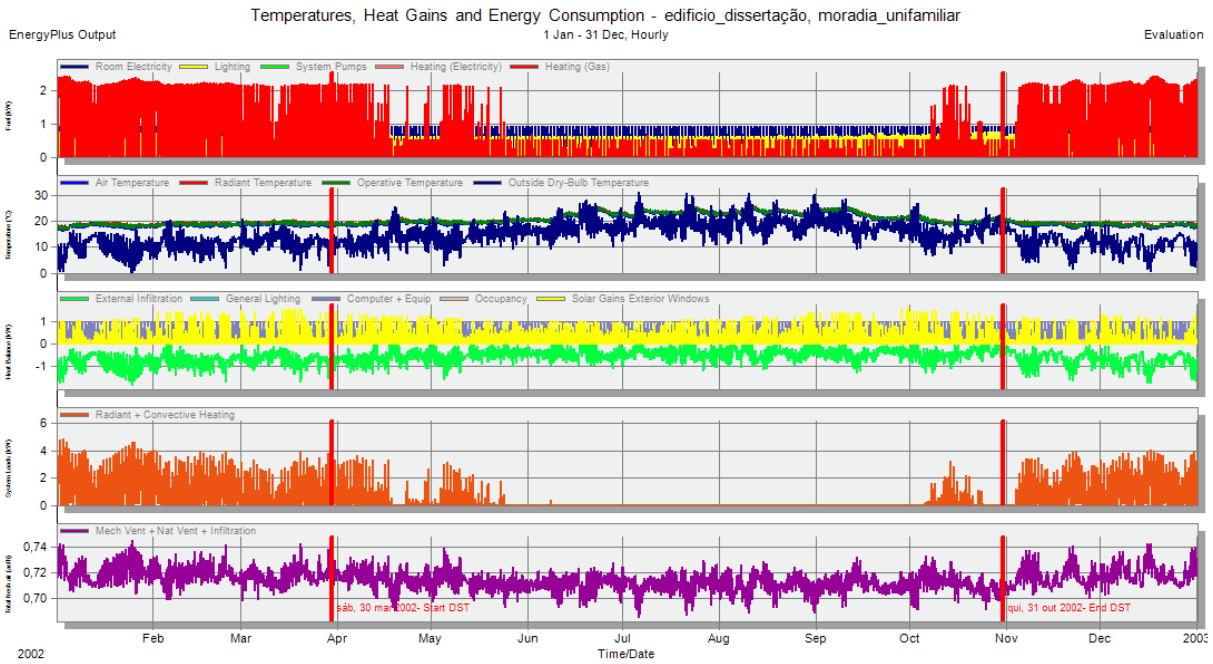


Figura 69 - Exemplo de apresentação dos resultados horários apresentados em forma de gráfico

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - edifício_dissertação, moradia_unifamiliar
1 Jan - 31 Dec, Annual

	Year
Room Electricity (kWh)	2072,05
Lighting (kWh)	1378,70
System Pumps (kWh)	5,30
Heating (Electricity) (kWh)	10,23
Heating (Gas) (kWh)	5035,94
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	14,32
External Infiltration (kWh)	-5226,66
General Lighting (kWh)	1378,70
Computer + Equip (kWh)	2072,05
Occupancy (kWh)	553,37
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	1893,46
Radiant + Convective Heating (kWh)	4752,52
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,71

Figura 70 - Exemplo de apresentação dos resultados anuais apresentados em forma de tabela

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - edifício_dissertação, moradia_unifamiliar
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Room Electricity (kWh)	176,01	158,95	175,94	170,32	176,01	170,26	176,01	175,98	170,29	176,01	170,29	175,98
Lighting (kWh)	137,37	115,27	116,11	108,26	98,83	90,18	98,02	105,87	116,59	130,27	125,67	136,26
System Pumps (kWh)	1,47	0,76	0,53	0,31	0,16	0,07	0,05	0,05	0,03	0,13	0,63	1,11
Heating (Electricity) (kWh)	2,25	1,65	1,29	0,76	0,37	0,04	0,04	0,04	0,04	0,35	1,38	2,02
Heating (Gas) (kWh)	1107,43	811,56	633,40	373,46	179,71	21,81	19,81	19,29	19,49	173,55	679,59	996,86
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	9,36	10,66	11,62	13,16	14,55	17,82	18,99	19,38	18,01	15,53	12,15	10,32
External Infiltration (kWh)	-653,50	-526,76	-538,45	-445,22	-382,29	-323,96	-319,61	-307,62	-328,16	-331,09	-473,96	-596,04
General Lighting (kWh)	137,37	115,27	116,11	108,26	98,83	90,18	98,02	105,87	116,59	130,27	125,67	136,26
Computer + Equip (kWh)	176,01	158,95	175,94	170,32	176,01	170,26	176,01	175,98	170,29	176,01	170,29	175,98
Occupancy (kWh)	50,35	45,27	49,90	47,49	48,64	42,05	41,05	40,70	41,41	48,05	48,23	50,24
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	105,39	133,34	180,96	186,60	188,75	191,41	188,12	194,33	174,50	156,91	95,53	97,62
Radiant + Convective Heating (kWh)	1126,41	784,61	600,99	346,11	153,56	0,58	0,00	0,00	0,00	149,14	639,70	951,42
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72

Figura 71 - Exemplo de apresentação dos resultados mensais apresentados em forma de tabela

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - edificio_dissertação, moradia_unifamiliar

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Daily Evaluation

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Room Electricity (kWh)	5,65	5,69	5,69	5,65	5,69	5,69	5,69	5,65	5,69
Lighting (kWh)	4,28	4,19	3,59	3,86	3,10	2,86	3,44	4,53	4,29
System Pumps (kWh)	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Heating (Electricity) (kWh)	0,08	0,04	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Heating (Gas) (kWh)	37,66	20,44	21,81	14,05	0,84	0,77	0,77	0,79	4,69
Air Temperature (°C)	18,29	18,83	18,95	18,96	22,72	23,19	24,34	21,11	19,69
Radiant Temperature (°C)	18,76	19,26	19,39	19,21	22,95	23,43	24,26	21,10	19,80
Operative Temperature (°C)	18,53	19,05	19,17	19,09	22,83	23,31	24,30	21,10	19,75
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	9,77	11,84	11,08	13,88	17,55	17,98	21,86	18,39	15,71
External Infiltration (kWh)	-20,15	-16,42	-18,59	-11,85	-11,95	-12,03	-5,67	-6,18	-9,28
General Lighting (kWh)	4,28	4,19	3,59	3,86	3,10	2,86	3,44	4,53	4,29
Computer + Equip (kWh)	5,65	5,69	5,69	5,65	5,69	5,69	5,69	5,65	5,69
Occupancy (kWh)	1,72	1,57	1,57	1,69	1,35	1,33	1,25	1,57	1,54
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	5,71	1,80	7,36	3,04	6,05	7,12	6,82	2,77	3,94
Radiant + Convective Heating (kWh)	36,72	18,51	20,98	13,12	0,00	0,00	0,00	0,00	3,88
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Figura 72 - Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de tabela

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - edificio_dissertação, moradia_unifamiliar

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Hourly Evaluation

Time/Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Room Electricity (kW)	0,07	0,85	0,07	0,07	0,51	0,07	0,07	0,94	0,08
Lighting (kW)	0,00	0,67	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,31	0,03
System Pumps (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Heating (Electricity) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Heating (Gas) (kW)	1,66	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Air Temperature (°C)	17,79	19,44	19,87	19,62	23,01	22,79	23,60	21,51	21,46
Radiant Temperature (°C)	18,46	19,28	20,13	19,54	23,02	23,24	24,00	21,06	21,16
Operative Temperature (°C)	18,12	19,36	20,00	19,58	23,01	23,01	23,80	21,28	21,31
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	9,23	12,00	14,06	19,00	16,04	18,13	19,58	16,81	22,00
External Infiltration (kW)	-0,84	-0,72	-0,56	-0,06	-0,67	-0,45	-0,38	-0,45	0,05
General Lighting (kW)	0,00	0,67	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,31	0,03
Computer + Equip (kW)	0,07	0,85	0,07	0,07	0,51	0,07	0,07	0,94	0,08
Occupancy (kW)	0,09	0,21	0,00	0,00	0,09	0,08	0,08	0,17	0,01
Solar Gains Exterior Windows (kW)	0,00	0,02	1,04	0,40	0,05	0,00	0,00	0,26	0,62
Radiant + Convective Heating (kW)	1,32	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,72	0,72	0,71	0,70	0,72	0,71	0,71	0,71	0,70

Figura 73 - Exemplo de apresentação dos resultados diários apresentados em forma de tabela

4 RESULTADOS

Os elementos apresentados no presente capítulo, são os valores resultantes das simulações feitas ao caso em estudo, utilizando o *DesignBuilder* e as estimativas de custos consequentes da reabilitação do edifício e da implementação dos sistemas solares.

4.1 Apresentação de resultados

Relativamente aos resultados das diversas simulações energéticas, estas foram feitas para um período de um ano, de forma a ser possível avaliar as necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício. As necessidades energéticas correspondem ao sistema equipado com uma caldeira a gás natural.

Todos os valores apresentados referem-se à área total útil, 145,08 m², do edifício em estudo.

A Figura 74 e a Tabela 7 apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, tendo como base o estado atual do edifício (edifício antes da reabilitação) e após a reabilitação (edifício reabilitado), antes de serem integrados os coletores solares.

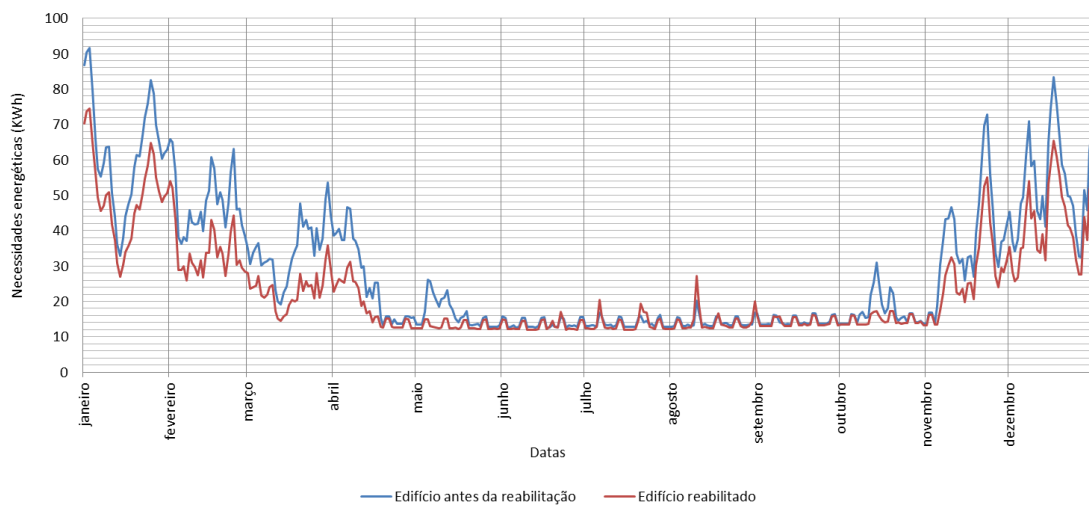


Figura 74 – Necessidades energéticas diárias do edifício antes e após a reabilitação

Tabela 7 – Necessidades energéticas mensais do edifício antes e após a reabilitação

Meses	Necessidades energéticas (KWh)		
	Edifício antes da reabilitação	Edifício reabilitado	
Janeiro	1931,97	1538,48	
Fevereiro	1339,38	959,36	
Março	1072,67	715,63	
Abril	763,32	551,71	
Maiο	511,86	405,27	
Junho	411,46	396,34	
Julho	429,01	422,40	
Agosto	440,29	440,08	
Setembro	434,32	423,12	
Outubro	534,85	454,77	
Novembro	1108,75	828,15	
Dezembro	1640,55	1299,44	
Total	KWh.ano	10618,44	8434,74
	KWh/m ² .ano	73,19	58,14

Perante os dados apresentados na Figura 74 e na Tabela 7, para além de se verificar que as medidas de reabilitação contribuíram substancialmente para a redução das necessidades energéticas também se verifica que esse contributo é mais acentuado na época do ano mais fria (no fim do Outono, no Inverno e no início da Primavera). As medidas de reabilitação contribuíram para uma redução em 20,6% das necessidades energéticas.

Na Tabela 8 é apresentada as necessidades energéticas mensais para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, tendo como base a introdução individual das medidas de reforço do isolamento do edifício em estudo, antes de serem integrados os coletores solares.

Perante os dados apresentados na Tabela 8 verifica-se que, a melhoria das características dos vãos envidraçados é a medida de reabilitação que mais contribui para a redução das necessidades energéticas (reduz 17,1% das necessidades energéticas), seguindo-se da medida de reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores (reduz 3,6% das necessidades energéticas), e por último, a medida de reforço do isolamento térmico na laje de esteira do telhado.

Tabela 8 - Necessidades energéticas mensais do edifício com a introdução separada das medidas de reabilitação

Meses	Necessidades energéticas (KWh)			
	Paredes Exteriores	Teto do Andar	Janelas	
Janeiro	1851,89	1930,18	1624,23	
Fevereiro	1275,31	1338,50	1023,05	
Março	1022,78	1072,59	760,42	
Abril	737,43	763,57	575,51	
Maió	499,28	512,39	408,52	
Junho	411,32	411,44	396,27	
Julho	428,94	428,99	421,37	
Agosto	439,85	440,24	439,62	
Setembro	434,35	434,32	422,95	
Outubro	518,58	534,79	462,58	
Novembro	1053,24	1107,70	884,34	
Dezembro	1564,93	1639,10	1379,56	
Total	KWh.ano	10237,91	10613,80	8798,42
	KWh/m ² .ano	70,57	73,16	60,65

A Figura 75 e a Tabela 9 apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, com a integração de coletores planos com cobertura, na cobertura do edifício (opção 1).

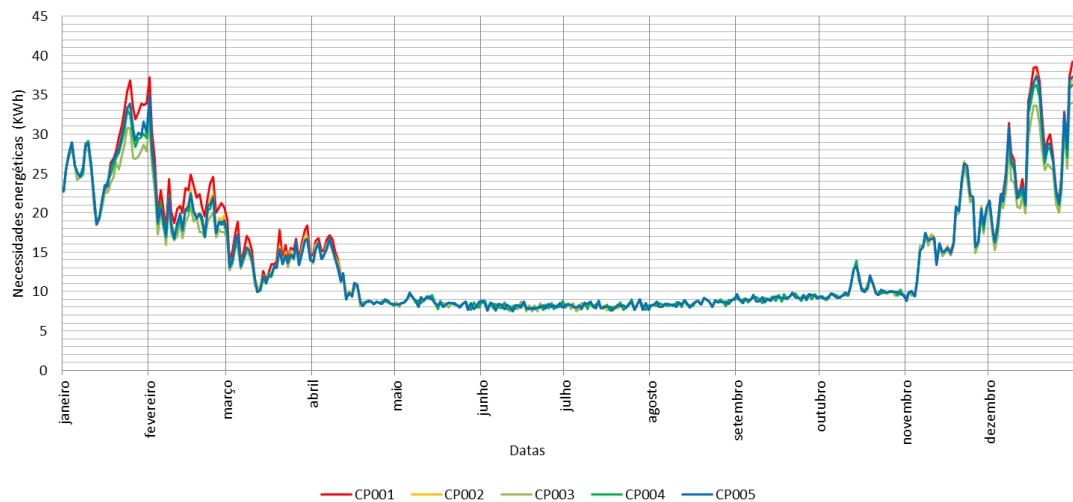


Figura 75 - Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na cobertura do edifício

Tabela 9 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na cobertura do edifício

meses	Necessidades energéticas (KWh)					
	CP001	CP002	CP003	CP004	CP005	
Janeiro	863,43	833,96	792,44	824,63	836,19	
Fevereiro	632,20	577,86	538,34	567,69	575,50	
Março	462,02	437,18	424,93	432,88	433,97	
Abril	344,47	335,50	333,47	334,13	334,19	
Mai	266,17	266,08	265,94	265,82	266,08	
Junho	243,51	243,47	243,88	244,04	243,46	
Julho	253,68	253,71	253,15	253,19	253,64	
Agosto	264,39	264,44	264,37	264,47	264,34	
Setembro	275,08	275,21	275,05	275,23	275,03	
Outubro	314,17	313,93	314,09	314,02	314,05	
Novembro	504,79	509,19	496,84	507,37	507,47	
Dezembro	859,53	836,84	773,34	821,91	840,16	
Total	KWh.ano	5283,46	5147,37	4975,83	5105,37	5144,07
	KWh/m ² .ano	36,42	35,48	34,30	35,19	35,46

Perante os dados apresentados na Figura 75 e na Tabela 9 verifica-se que o coletor CP003 é o coletor plano que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 41,01% das necessidades energéticas).

A Figura 76 e a Tabela 10 apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e Aquecimento Ambiente do edifício, com a integração de coletores tubos de vácuo na cobertura do edifício (opção 1).

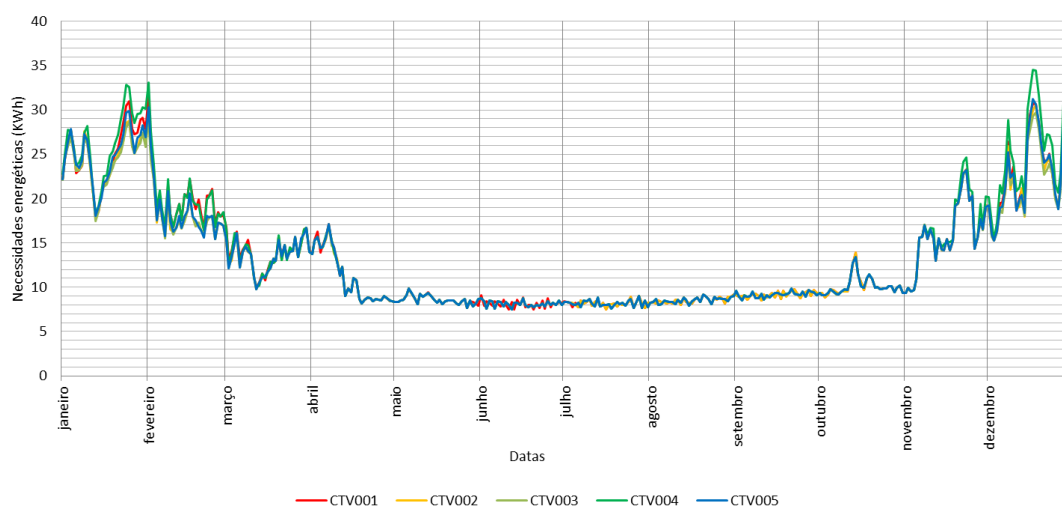


Figura 76 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na cobertura do edifício

Tabela 10 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na cobertura do edifício

meses	Necessidades energéticas (KWh)					
	CTV001	CTV002	CTV003	CTV004	CTV005	
Janeiro	778,10	757,32	750,71	811,97	769,77	
Fevereiro	556,16	512,01	511,26	560,32	518,17	
Março	428,28	420,40	420,46	426,08	420,47	
Abril	334,84	333,74	333,93	334,10	334,30	
Maiο	265,82	266,09	266,09	266,12	266,08	
Junho	243,70	243,46	243,47	243,49	243,47	
Julho	253,68	253,71	253,64	253,67	253,64	
Agosto	264,52	264,44	264,35	264,36	264,36	
Setembro	275,29	275,23	275,05	275,06	275,06	
Outubro	314,39	314,20	314,09	314,14	314,10	
Novembro	476,60	476,13	475,42	489,92	476,06	
Dezembro	723,23	713,02	699,19	790,73	720,72	
Total	KWh.ano	4914,61	4829,75	4807,64	5029,94	4856,20
	KWh/m ² .ano	33,88	33,29	33,14	34,67	33,47

Perante os dados apresentados na Figura 76 e na Tabela 10 verifica-se que o coletor CTV0003 é o coletor plano que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 43,00% das necessidades energéticas).

A Figura 77 e a Tabela 11, apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, com a integração de coletores planos com cobertura na fachada do edifício (opção 2).

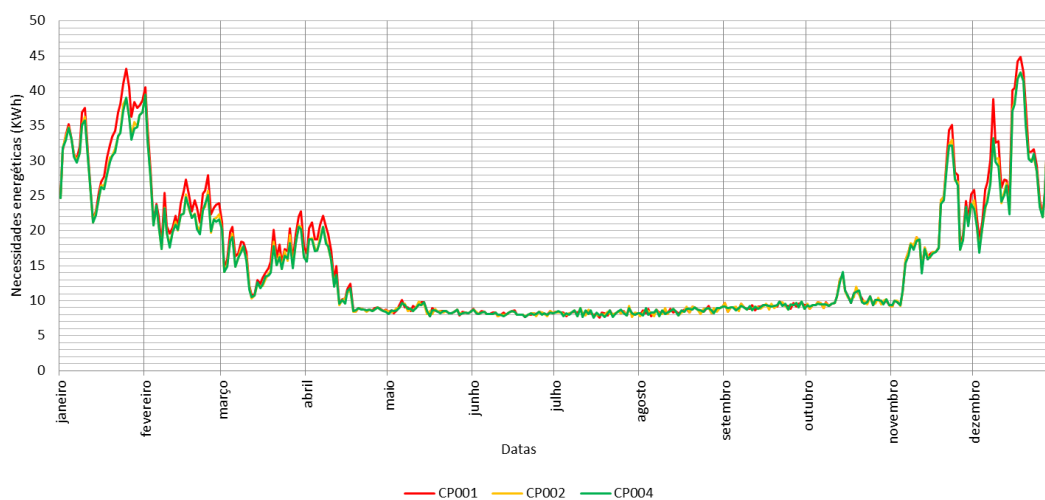


Figura 77 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na fachada do edifício

Tabela 11 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na fachada do edifício

meses	Necessidades energéticas (KWh)			
	CP001	CP002	CP004	
Janeiro	1027,13	977,36	971,06	
Fevereiro	683,87	641,03	636,81	
Março	518,13	488,08	483,10	
Abril	391,66	370,96	369,01	
Maiο	269,91	268,27	267,19	
Junho	245,82	244,93	244,52	
Julho	255,53	255,20	254,64	
Agosto	265,41	264,74	264,90	
Setembro	275,64	275,33	275,03	
Outubro	314,97	314,99	314,85	
Novembro	585,35	574,15	568,10	
Dezembro	972,82	920,15	913,32	
Total	KWh.ano	5806,23	5595,20	5562,55
	KWh/m ² .ano	40,02	38,57	38,34

Os coletores CP003 e CP005 não apresentam qualquer resultado porque a dimensão dos coletores é superior ao espaço disponível para a sua colocação na zona da fachada.

Perante os dados apresentados na Figura 77 e na Tabela 11 verifica-se que o coletor CP004 é o coletor plano que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 34,05% das necessidades energéticas).

A Figura 78 e a Tabela 12 apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, com a integração de coletores tubos de vácuo na fachada do edifício (opção 2).

Os coletores CTV003, CTV004 e CTV005 não apresentam qualquer resultado porque a dimensão dos coletores é superior ao espaço disponível para a sua colocação na zona da fachada.

Perante os dados apresentados na Figura 78 e na Tabela 12 verifica-se que o coletor CTV002 é o coletor que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 35,72% das necessidades energéticas).

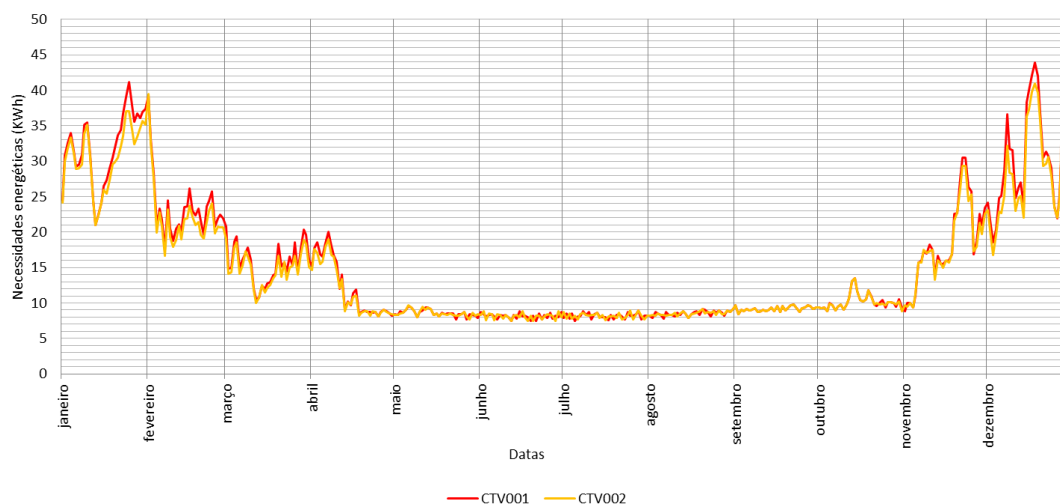


Figura 78 – Gráfico com a representação das necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na fachada do edifício

Tabela 12 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na fachada do edifício

meses	Necessidades de Gás Natural (KWh)	
	CTV001	CTV002
Janeiro	987,06	943,17
Fevereiro	653,44	619,72
Março	483,97	460,48
Abril	364,17	353,44
Mai	265,87	266,01
Junho	244,18	243,46
Julho	253,82	254,02
Agosto	264,55	264,50
Setembro	275,32	275,27
Outubro	314,71	314,09
Novembro	549,30	536,58
Dezembro	943,35	891,13
Total	KWh.ano	5599,74
	KWh/m ² .ano	38,60

A Figura 79 e a Tabela 13 apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e aquecimento ambiente do edifício, com a integração de coletores planos com cobertura na guarda da varanda (opção 3).

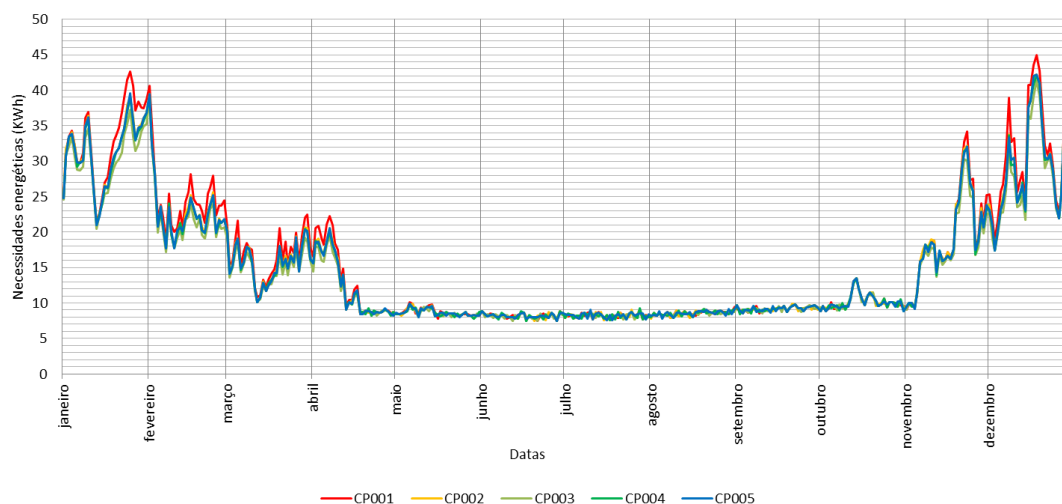


Figura 79 – Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores planos na guarda da varanda

Tabela 13 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores planos na guarda da varanda

meses	Necessidades energéticas (KWh)					
	CP001	CP002	CP003	CP004	CP005	
Janeiro	1021,50	972,86	934,47	964,57	969,87	
Fevereiro	689,86	642,01	618,91	637,05	639,41	
Março	519,33	489,32	466,95	484,11	485,70	
Abril	391,43	370,63	357,27	367,54	368,48	
Maiο	270,19	268,55	266,27	267,48	267,96	
Junho	246,84	245,76	244,05	245,46	245,72	
Julho	255,87	255,13	254,44	254,41	255,46	
Agosto	265,75	264,89	264,57	265,06	265,29	
Setembro	275,76	275,80	275,79	275,59	275,88	
Outubro	315,14	314,99	314,74	314,58	314,63	
Novembro	577,02	570,23	543,73	562,81	564,44	
Dezembro	976,28	922,83	887,30	917,11	920,92	
Total	KWh.ano	5804,97	5593,01	5428,49	5555,77	5573,77
	KWh/m ² .ano	40,01	38,55	37,42	38,29	38,42

Perante os dados apresentados na Figura 79 e na Tabela 13 verifica-se que o coletor CP003 é o coletor plano que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 35,64% das necessidades energéticas).

A Figura 80 e a Tabela 14, apresentam as necessidades energéticas, diárias e mensais respetivamente, para a preparação de AQS e Aquecimento Ambiente do edifício, com a integração de coletores tubos de vácuo na guarda da varanda (opção 3).

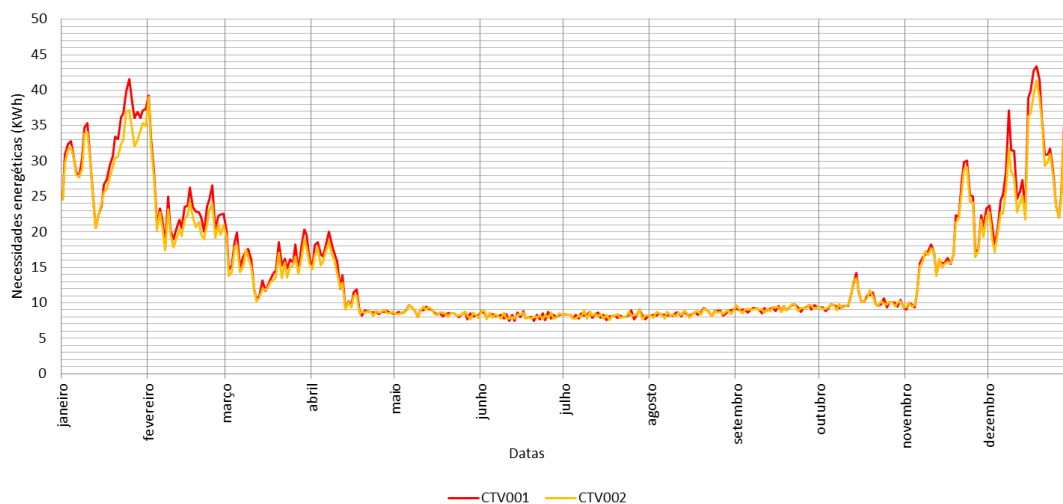


Figura 80 - Necessidades energéticas diárias com a integração de coletores de tubos de vácuo na guarda da varanda

Tabela 14 - Necessidades energéticas mensais, com a integração de coletores de tubos de vácuo na guarda da varanda

meses	Necessidades energéticas (KWh)	
	CTV001	CTV002
Janeiro	985,66	934,67
Fevereiro	659,39	620,30
Março	487,12	459,82
Abril	365,45	351,04
Maior	266,17	265,87
Junho	244,13	244,26
Julho	254,18	254,19
Agosto	264,92	264,55
Setembro	275,59	275,84
Outubro	314,99	314,66
Novembro	543,79	531,15
Dezembro	943,58	889,97
Total	5604,97	5406,31
	KWh/m².ano	37,26

Os coletores CTV003, CTV004 e CTV005 não apresentam qualquer resultado porque a dimensão dos coletores é superior ao espaço disponível para a sua colocação.

Perante os dados apresentados na Figura 80 e na Tabela 14 verifica-se que o coletor CTV002 é o coletor que proporciona maior redução das necessidades energéticas (redução de 35,90% das necessidades energéticas).

Relativamente à previsão das estimativas de custos, os preços apresentados, são valores estimados tendo como base o valor médio de mercado, a nível nacional.

Na Tabela 15 é apresentada a estimativa de custos do reforço do isolamento térmico e da melhoria das características dos vãos envidraçados, onde estão discriminadas as quantidades, custos unitários e o custo total, das três medidas de reabilitação. Os preços unitários incluem o custo do material, mão-de-obra e o custo de manutenção destas medidas durante 30 anos

Tabela 15 – Estimativa de custos, associados às medidas de reabilitação

Medidas de reabilitação do edifício	Unidade	Quantidades	Custos (€)	
			Unitário	Subtotal
Reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores	m ²	155,00	35,00	5 425,00
Reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura	m ²	95,00	12,00	1 140,00
Melhoria das características dos vãos envidraçados	m ²	23,00	200,00	4 600,00
			Total	11 165,00 €

Perante os dados apresentados na Tabela 15 verifica-se que o custo da medida de reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores é o que tem maior peso no custo total, 48,59%, em comparação com as restantes medidas de reabilitação.

Nas Tabela 16 e Tabela 17 está apresentada a estimativa de custos, do conjunto de coletores instalados por tipo e por opção. No custo unitário da cada coletor solar está incluído o custo de instalação dos respetivos coletores e o custo de manutenção durante 30 anos.

Tabela 16 – Estimativa de custos dos coletores instalados em cada opção

Código do coletor	Custo unitário (€)	Custos dos coletores a instalar por opção (€)		
		Opção 1 +/- 7,00 m ²	Opção 2 +/- 7,00 m ²	Opção 3 +/- 7,00 m ²
CP 001	670,00	5 360,00	5 360,00	5 360,00
CP 002	712,00	2 848,00	2 848,00	2 848,00
CP 003	845,00	2 535,00	0,00	2 535,00
CP 004	778,00	3 112,00	3 112,00	3 112,00
CP 005	737,00	2 948,00	0,00	2 948,00

Tabela 17 - Estimativa de custos dos coletores instalados em cada opção (continuação)

Código do coletor	Custo unitário (€)	Custos dos coletores a instalar por opção (€)		
		Opção 1 +/- 7,00 m ²	Opção 2 +/- 7,00 m ²	Opção 3 +/- 7,00 m ²
CTV 001	737,00	3 685,00	3 685,00	3 685,00
CTV 002	887,00	3 548,00	3 548,00	3 548,00
CTV 003	828,00	2 484,00	0,00	0,00
CTV 004	787,00	2 361,00	0,00	0,00
CTV 005	845,00	2 535,00	0,00	0,00

Os valores a zero, que aparecem na tabela, correspondem ao facto de haver coletores que não são possíveis instalar em todas as opções apontadas (i.e. ou o comprimento ou a largura é superior ao espaço disponível para o integrar).

Perante os dados apresentados na Tabela 16 e Tabela 17 verifica-se que o coletor CP001 é o que tem menor custo unitário comparativamente com os restantes coletores, mas em contrapartida, como se trata de um coletor com dimensões pequenas, necessita de mais elementos para preencher a área de 7 m², logo acarreta os maiores custos de instalação.

A Tabela 18 apresenta a estimativa de custos para fornecimento de um termoacumulador e adaptação instalação existente à energia solar.

Tabela 18 - Estimativa de custos para fornecimento de um termoacumulador e adaptação do sistema existente à energia solar

Descrição	Unidade	Quantidades	Custos (€)	
			Unitário	Subtotal
Termoacumulador 300 L	un	1,00	1 350,00	1 350,00
Adaptação do sistema existente à energia solar, incluindo acessórios a demais trabalhos necessários	un	1,00	750,00	750,00
Total			2 100,00	€

Nesta estimativa considerou-se que a caldeira e o termoacumulador existentes, foram aproveitados na nova instalação. Logo só foi considerado a aquisição de um termoacumulador e adaptação dos sistemas existentes à energia solar.

4.2 Análise de resultados

Mais do que propor medidas de reabilitação ou integração de coletores solares é necessário saber se o proposto surte efeito e se o custo de investimento tem retorno. Perante esses aspetos a análise dos resultados apresentados incide sobre a:

- Análise termo-energética;
- Análise económica.

4.2.1 Análise Termo-energética

Na análise feita aos resultados obtidos, Figura 81, relativamente das necessidades energéticas para preparação de AQS e para aquecimento ambiente, verifica-se que, o conjunto de medidas de reabilitação do edifício propostas, produziram efeito, dado que originam uma redução no consumo energético na ordem dos 20,6%, comparativamente com os resultados obtidos no edifício antes da reabilitação.

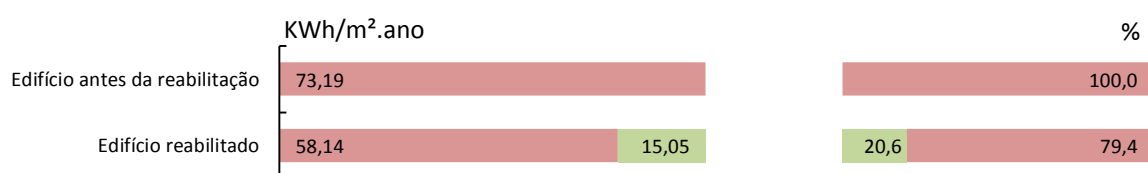


Figura 81 – Comparação das necessidades energéticas antes e depois do reforço do isolamento térmico

Mas se as medidas de reforço do isolamento térmico forem implementadas individualmente, verifica-se que a melhoria das características dos vãos envidraçados é a medida de reabilitação que mais contribuiu para a redução dos consumos energéticos, seguindo-se do reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores. O reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura ou teto do andar, tem um impacto reduzido na redução dos consumos energéticos do edifício (Figura 82).

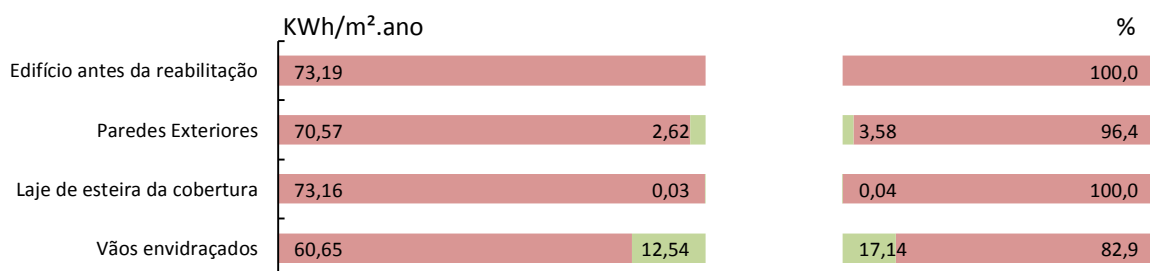


Figura 82 - Comparação das necessidades energéticas antes e depois do reforço do isolamento térmico implementado individualmente

Na Figura 83 verifica-se ainda que a medida de alteração dos vãos envidraçados contribui em 82,5% no total da redução das necessidades energéticas resultantes da comparação entre o edifício reabilitado e o edifício não reabilitado e o reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores, só contribuiu em 17,3 %. O contributo do reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura é pouco significativo.



Figura 83 – Comparação dos pesos das medidas de reabilitação na redução do consumo energético do edifício

A Figura 84 apresenta as necessidades energéticas do edifício após o reforço do isolamento térmico e a integração dos coletores propostos na cobertura do edifício em estudo (Opção 1). Pode-se verificar que a integração de +/- 7,00 m² de coletores solares na cobertura do edifício, conduz a uma redução no consumo energéticos, superior a 37 %, podendo chegar aos 43 %, em comparação com as necessidades antes da integração dos coletores solares, já com as medidas de reabilitação implementadas.

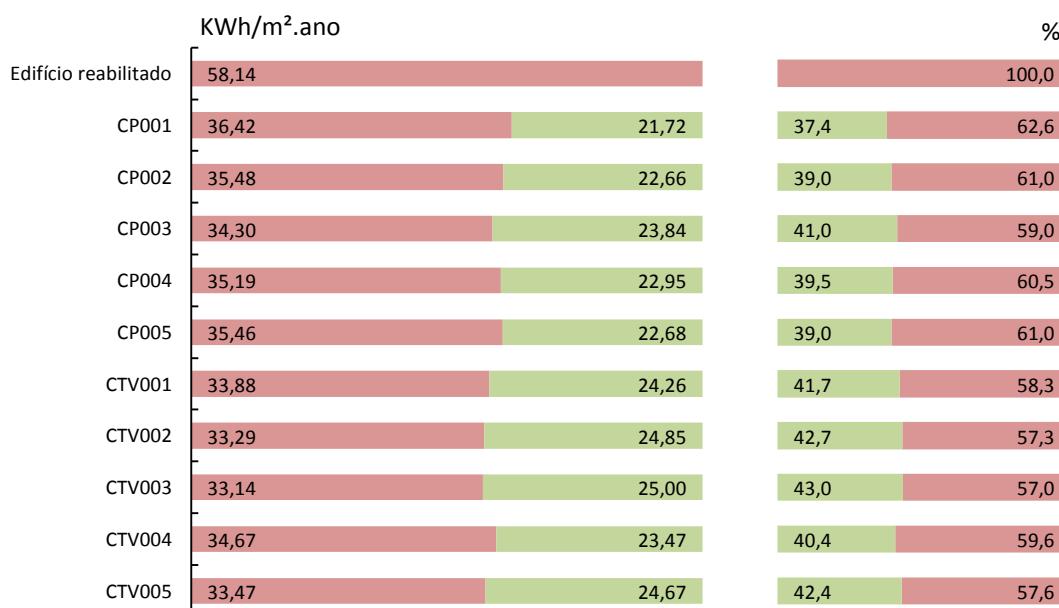


Figura 84 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na cobertura

Também se pode verifica que os coletores de tubos de vácuos, apresentam ligeiramente melhores resultados do que os coletores planos com cobertura. Na gama dos coletores planos com cobertura, o coletor CP003 é o que tem melhor desempenho e o coletor CP001 é o que tem o pior desempenho. Já na gama de coletores de tubos de vácuo, o coletor CTV003 é o que tem melhor desempenho e o coletor CTV004 é o que tem o pior desempenho.

A Figura 85 apresenta as necessidades energéticas após a integração dos coletores propostos na fachada do edifício em estudo (Opção 2). Pode-se verificar que a integração de +/- 7,00 m² de coletores solares na fachada do edifício conduz a uma redução no consumo energéticos, superior a 31 %, podendo chegar próximo dos 36 %, em comparação com as necessidades antes da integração dos coletores solares.

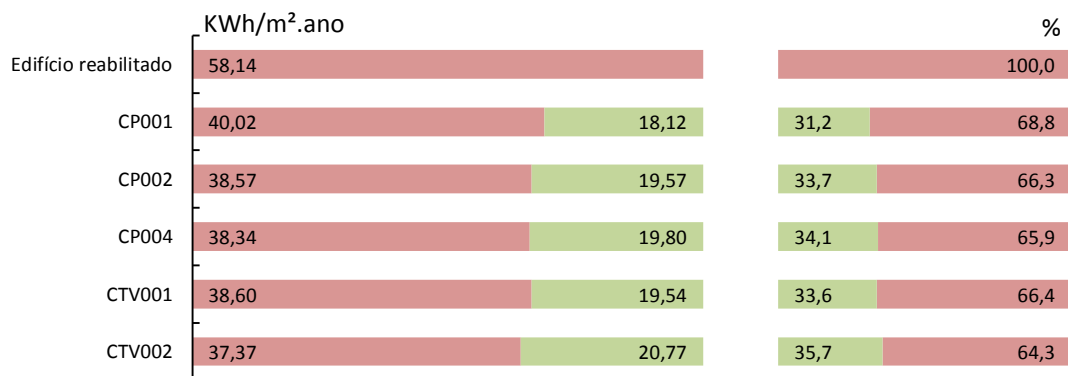


Figura 85 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na fachada

Verifica-se que o rendimento dos vários tipos de coletores estudados seja coletores planos ou coletores de tubos de vácuo, é muito semelhante.

O coletor de tubos de vácuo CTV002 é o coletor térmico que apresenta melhor desempenho, proporciona uma redução nas necessidades energéticas de 35,7%, em comparação com as necessidades antes da integração dos coletores solares e o coletor plano CP001 apresenta o pior desempenho.

Os coletores CP003, CP005, CTV003, CTV004 e CTV005 apresentam dimensões superiores ao espaço destinado para a sua colocação na zona da fachada, não sendo por isso considerados.

A Figura 86 apresenta as necessidades energéticas após a integração dos coletores propostos na guarda da varanda (Opção 3). Podemos verificar que a integração de +/- 7,00 m² de coletores solares na guarda da varanda produz uma redução no consumo energéticos, superior a 31 %, podendo chegar próximo dos 36 %, em comparação com as necessidades antes da integração dos coletores solares.

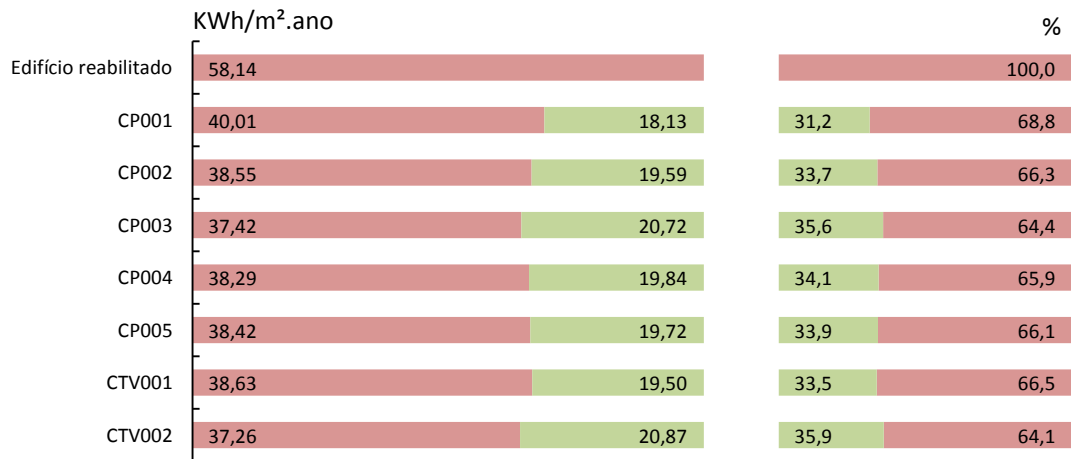


Figura 86 - Comparação das necessidades energéticas após a instalação de coletores na guarda da varanda

Verifica-se que o rendimento dos vários tipos de coletores estudados seja coletores planos ou coletores de tubos de vácuo, é muito semelhante.

O coletor de tubos de vácuo CTV002 é o coletor térmico que apresenta melhor desempenho, proporciona uma redução nas necessidades energéticas de 35,9%, em comparação com as necessidades antes da integração dos coletores solares e o coletor plano CP001 apresenta o pior desempenho.

Os coletores CTV003, CTV004 e CTV005 apresentam dimensões superiores ao espaço destinado para a sua colocação na zona da guarda da varanda, não sendo por isso considerados.

4.2.2 Análise Económica.

A análise Económica do caso em estudo incidiu sobre os custos de reabilitação do edifício e sobre os custos de integração dos coletores solares no edifício, tendo como objetivo principal, determinar o período de retorno do investimento e avaliar qual era a melhor solução a adotar.

Uma vez que o custo médio atual da eletricidade é de 0.13€/KWh + IVA e do gás natural é de 0.10€/KWh + taxas + IVA, considerou-se para este estudo o custo de energia no ano de 2014 de 0,15 €/kWh. A evolução do preço da energia é estimada admitindo um crescimento médio anual de 3%, conforme Figura 87.

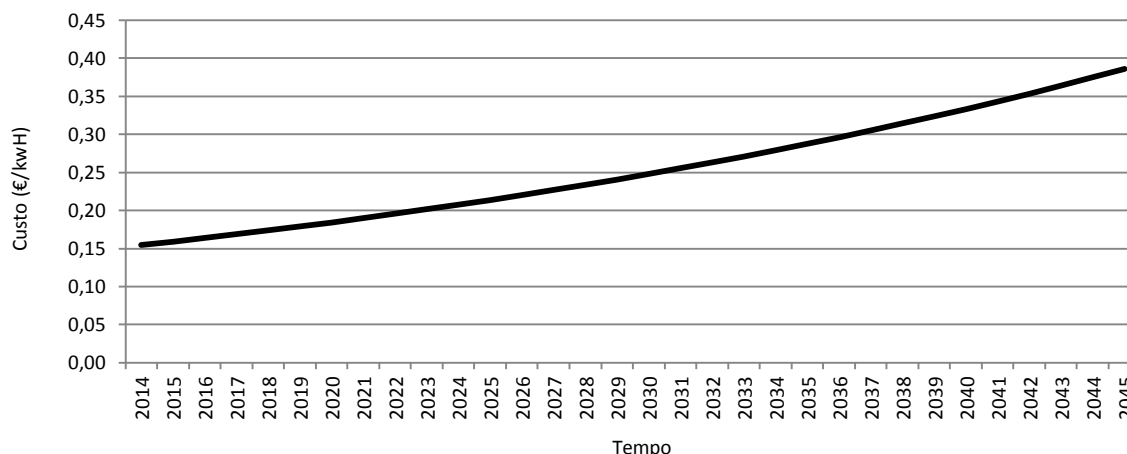


Figura 87 - Previsão da evolução do custo de energia

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 19, a implementação das medidas de reforço do isolamento térmico no edifício, originou uma redução das necessidades energéticas para preparação de AQS e aquecimento ambiente, em 15,05 KWh/m².ano que corresponde a 20,06% do total das necessidades energética do edifício antes da reabilitação. Este valor multiplicado pelo custo da energia, proporciona uma redução nas despesas de aproximadamente 500,27 €/ano. Ao deduzindo esse valor no custo de investimento para implementar as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício, verifica-se que o período de retorno é de aproximadamente 23 anos.

Tabela 19 – Análise económica da implementação das medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Necessidades energéticas (KWh/m ² .ano)		Redução consumos energéticos (KWh/m ² .ano)	Total de poupança (€/ano)	Custo de investimento (€)	Período de retorno (anos)
Edifício antes da reabilitação	Edifício reabilitado				
73,19	58,14	15,05	500,27	11 165,00	23

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 20 verifica-se que a integração dos coletores solares na cobertura (Opção 1) em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício reduz as necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente entre 50% a 55% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício. Estes valores conduzem a uma poupança anual de entre 1 013,65€ a 1 104,05 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 15 a 19 anos.

Verifica-se também que os coletores de tubos de vácuo, no geral apresentam melhores resultados na redução das necessidades energéticas, como também no período de retorno do investimento, comparativamente como os coletores planos com cobertura.

Tabela 20 – Análise económica da integração de coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Necessidades de Gás Natural (KWh/ano)		Redução consumos energéticos (KWh/ano)	Total de poupança (€/ano)	Custo de investimento (€)			Período de retorno (anos)
Edifício antes da reabilitação				Reforço do isolamento	Integração dos coletores	Termoacumulador 300 L + adaptação do sistema	
	73,19						
CP001	36,42	36,77	1013,65	11 165,00	5 360,00	2 100,00	19
CP002	35,48	37,71	1039,50	11 165,00	2 848,00	2 100,00	16
CP003	34,30	38,89	1072,10	11 165,00	2 535,00	2 100,00	15
CP004	35,19	38,00	1047,48	11 165,00	3 112,00	2 100,00	16
CP005	35,46	37,73	1040,13	11 165,00	2 948,00	2 100,00	16
CTV001	33,88	39,32	1083,73	11 165,00	3 685,00	2 100,00	16
CTV002	33,29	39,90	1099,85	11 165,00	3 548,00	2 100,00	16
CTV003	33,14	40,05	1104,05	11 165,00	2 484,00	2 100,00	15
CTV004	34,67	38,52	1061,81	11 165,00	2 361,00	2 100,00	15
CTV005	33,47	39,72	1094,83	11 165,00	2 535,00	2 100,00	15

O coletor CTV003 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que proporciona maior redução nos consumos energéticos bem como o menor período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 40,05 KWh/m².ano que corresponde a 54,72% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma poupança anual de 1 104,55 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 15 anos.

O coletor CTV002 apresenta valores de rendimento semelhantes aos do coletor CTV003, mas o período de retorno é mais dilatado, devido ao facto do custo dos coletores ser superior.

Em situação oposta, o coletor CP001 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que apresenta menores reduções nos consumos energéticos bem como ao maior período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 36,77 KWh/m².ano que corresponde a 50,24% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma

poupança anual de 1 013,65 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 19 anos, o que é elevado.

O gráfico apresentado na Figura 88 mostra a redução anual das necessidades energéticas e custos que essa redução implica na aquisição de energia, consoante o tipo de coletor utilizado na cobertura.

Da análise da Figura 88 verifica-se que a redução dos custos de aquisição de energia, em comparação entre o melhor e o pior coletor plano, varia em 58,45 €/ano e o melhor e o pior coletor de tubos de vácuo, varia em 42,24 €/ano. Em comparação entre o melhor e o pior coletor estudado, a redução dos custos, varia em 90,40 €/ano.



Figura 88 – Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

O gráfico apresentado na Figura 89, mostra o custo de investimento para a implementação do sistema solar na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e o período de retorno desse investimento, com base na redução das necessidades energéticas.

Ao custo do investimento não foi deduzido custo do revestimento da cobertura na zona dos coletores, porque esse revestimento já existia no edifício, logo o investimento já tinha sido feito aquando a construção do edifício.

Da análise da Figura 89 verifica-se que, para as mesmas medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e para a mesma área de coletores a integrar na cobertura, +/- 7 m², há uma

variedade de custos de investimento, o que tem influência direta no seu período de retorno. A diferença entre o custo de investimento mais caro (CP001 + reforço do isolamento) e o mais barato (CTV004 + reforço do isolamento) é de 2.999,00€, o que corresponde a 16,10% do valor mais caro. Essa comparação transposta para o maior período de retorno de investimento (CP001 + reforço do isolamento) e o menor (CTV003+ reforço do isolamento) regista-se uma diferença de 4 anos, o que corresponde a 21,1% do período de retorno de investimento maior.

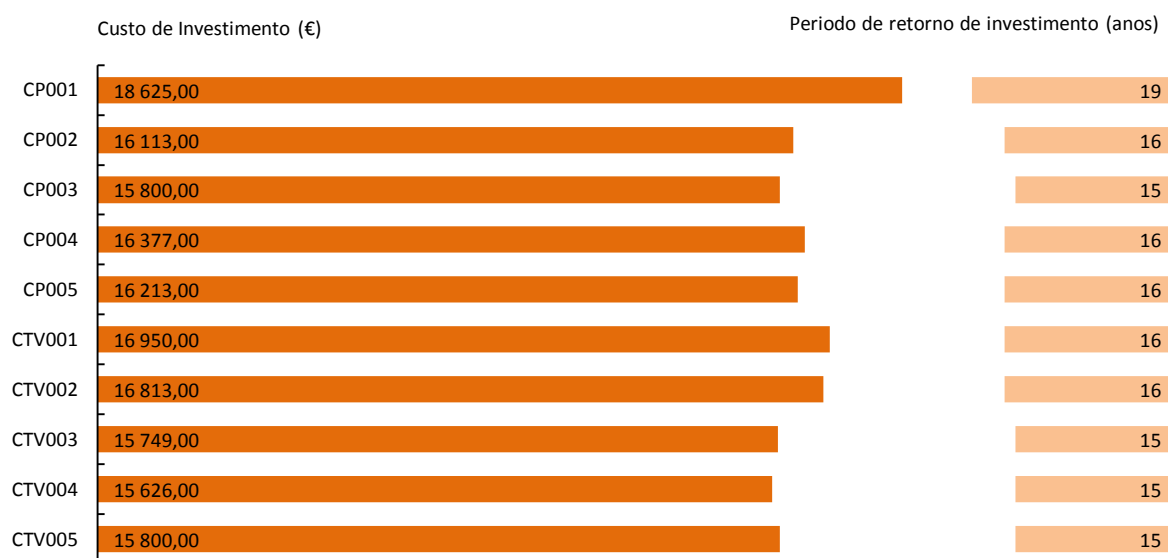


Figura 89 – Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na cobertura em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 21 verifica-se que a integração dos coletores solares na fachada (Opção 2), em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício reduz as necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente entre 45% a 49% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício. Estes valores conduzem a uma poupança anual de entre 914,32€ a 987,35 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 17 a 21 anos.

Verifica-se também que o rendimento dos vários tipos de coletores estudados seja coletores planos ou coletores de tubos de vácuo, é muito semelhante.

Os coletores CP003, CP005, CTV003, CTV004 e CTV005 apresentam dimensões superiores ao espaço destinado para a sua colocação na zona da fachada, não sendo por isso considerados.

Tabela 21 - Análise económica da integração de coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Necessidades de Gás Natural (KWh/ano)		Custo de investimento (€)					
Edifício antes da reabilitação	73,19	Redução consumos energéticos (KWh/ano)	Total de poupança (€/ano)	Reforço do isolamento	Integração dos coletores	Termoacumulador 300 L + adaptação do sistema	Período de retorno (anos)
CP001	40,02	33,17	914,32	11 165,00	5 360,00	2 100,00	21
CP002	38,57	34,62	954,41	11 165,00	2 848,00	2 100,00	17
CP004	38,34	34,85	960,62	11 165,00	3 112,00	2 100,00	18
CTV001	38,60	34,59	953,55	11 165,00	3 685,00	2 100,00	18
CTV002	37,37	35,82	987,35	11 165,00	3 548,00	2 100,00	18

O coletor CTV002 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que proporciona maior redução nos consumos energéticos bem como o menor período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 35,82 KWh/m².ano que corresponde a 48,94% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma poupança anual de 987,35 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 18 anos.

Em situação oposta, o coletor CP001 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que apresenta menores reduções nos consumos energéticos bem como ao maior período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 33,17 KWh/m².ano que corresponde a 45,32% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma poupança anual de 914,32 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 21 anos.

O gráfico apresentado na Figura 90 mostra a redução anual das necessidades energéticas e custos que essa redução implica na aquisição de energia, consoante o tipo de coletor utilizado na fachada.

Da análise da Figura 90 verifica-se que a redução dos custos de aquisição de energia, em comparação entre o melhor e o pior coletor plano, varia em 46,30 €/ano e o melhor e o pior coletor de tubos de vácuo, varia em 33,80 €/ano. Em comparação entre o melhor e o pior coletor estudado, a redução dos custos, varia em 73,03€/ano.

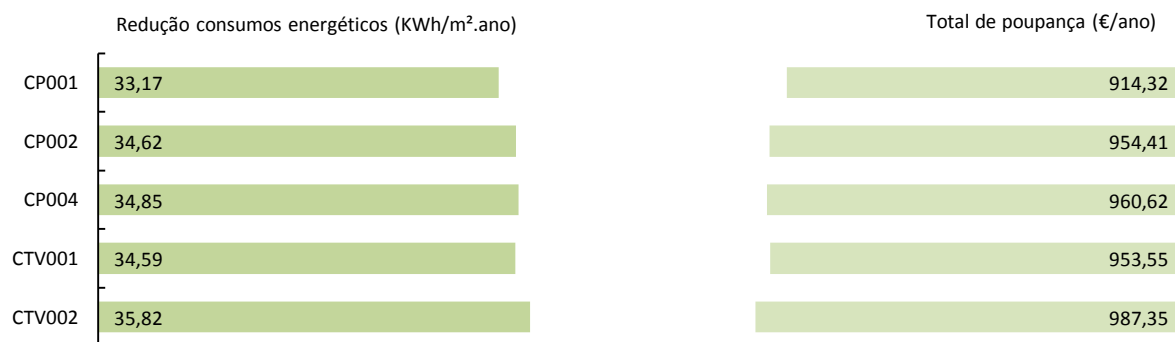


Figura 90 - Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

O gráfico apresentado na Figura 91, mostra o custo de investimento para a implementação do sistema solar na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e o período de retorno desse investimento, com base na redução das necessidades energéticas.

Da análise da Figura 91 verifica-se que, para as mesmas medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e para a mesma área de coletores a integrar na fachada, +/- 7 m², há uma variedade de custos de investimento, o que tem influência direta no seu período de retorno. A diferença entre o custo de investimento mais caro (CP001 + reforço do isolamento) e o mais barato (CP002 + reforço do isolamento) é de 2.512,00€, o que corresponde a 13,49% do valor mais caro. Essa mesma comparação transposta para período de retorno de investimento, regista-se uma diferença de 4 anos entre o sistema com o custo de investimento mais caro e o mais barato, o que corresponde a 19,0% do período de retorno mais longo.



Figura 91 - Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na fachada em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 22 verifica-se que a integração dos coletores solares na guarda da varanda (Opção 3), em conjunto com as medidas de reforço do

isolamento térmico no edifício reduz as necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente entre 45% a 49% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício. Estes valores conduzem a uma poupança anual de entre 914,56€ a 990,31 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 17 a 21 anos.

Verifica-se também que o rendimento dos vários tipos de coletores estudados seja coletores planos ou coletores de tubos de vácuo, é muito semelhante.

Tabela 22 - Análise económica da integração de coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Necessidades de Gás Natural (KWh/ano)		Redução consumos energéticos (KWh/ano)	Total de poupança (€/ano)	Custo de investimento (€)			Período de retorno (anos)
Edifício antes da reabilitação				Reforço do isolamento	Integração dos coletores	Termoacumulador 300 L + adaptação do sistema	
CP001	40,01	33,18	914,56	11 165,00	5 360,00	2 100,00	21
CP002	38,55	34,64	954,83	11 165,00	2 848,00	2 100,00	17
CP003	37,42	35,77	986,09	11 165,00	2 535,00	2 100,00	17
CP004	38,29	34,90	961,91	11 165,00	3 112,00	2 100,00	18
CP005	38,42	34,77	958,49	11 165,00	2 948,00	2 100,00	17
CTV001	38,63	34,56	952,56	11 165,00	3 685,00	2 100,00	18
CTV002	37,26	35,93	990,31	11 165,00	3 548,00	2 100,00	17

Os coletores CTV003, CTV004 e CTV005 apresentam dimensões superiores ao espaço destinado para a sua colocação na zona da guarda da varanda, não sendo por isso considerados.

O coletor CTV002 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que proporciona maior redução nos consumos energéticos bem como o menor período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 35,93 KWh/m².ano que corresponde a 49,09% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma poupança anual de 990,31 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 17 anos.

Em situação oposta, o coletor CP001 em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício é o que apresenta menores reduções nos consumos energéticos bem como ao maior período de retorno de investimento. Reduz os consumos energéticos em 33,18 KWh/m².ano que corresponde a 45,33% do total das necessidades energética do edifício para preparação de AQS e aquecimento ambiente antes da reabilitação, o que conduz a uma

poupança anual de 914,56 € e a um período de retorno do investimento de aproximadamente 21 anos.

O gráfico apresentado na Figura 92 mostra a redução anual das necessidades energéticas e custos que essa redução implica na aquisição de energia, consoante o tipo de coletor utilizado na guarda da varanda.



Figura 92 - Redução dos consumos energéticos e ganhos anuais com a integração coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Da análise da Figura 92 verifica-se que a redução dos custos de aquisição de energia, em comparação entre o melhor e o pior coletor plano, varia em 71,53 €/ano e o melhor e o pior coletor de tubos de vácuo, varia em 37,75 €/ano. Em comparação entre o melhor e o pior coletor estudado, a redução dos custos, varia em 75,75 €/ano.

O gráfico apresentado na Figura 93, mostra o custo de investimento para a implementação do sistema solar na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e o período de retorno desse investimento, com base na redução das necessidades energéticas.

Da análise da Figura 93 verifica-se que, para as mesmas medidas de reforço do isolamento térmico no edifício e para a mesma área de coletores a integrar na guarda da varanda, +/- 7 m² há uma variedade de custos de investimento, o que tem influência direta no seu período de retorno. A diferença entre o custo de investimento mais caro (CP001 + reforço do isolamento) e o mais barato (CP003 + reforço do isolamento) é de 2.825,00€, o que corresponde a 15,17% do valor mais caro. Essa mesma comparação transposta para período de retorno de investimento, regista-se uma diferença de 4 anos entre o sistema com o custo de investimento mais caro e o mais barato, o que corresponde a 19,0% do período de retorno mais longo.

No custo de investimento não foi incluído qualquer valor para proteção aos coletores porque foi considerado não haver essa necessidade.

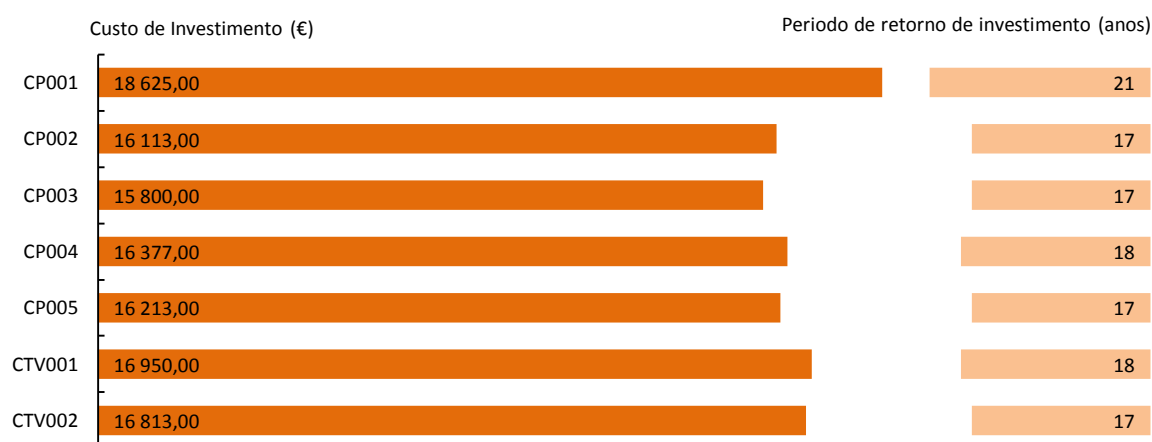


Figura 93 - Custo de investimento e período de retorno com integração coletores na guarda da varanda em conjunto com as medidas de reforço do isolamento térmico no edifício

Da análise da Tabela 23 e da Figura 94 verifica-se que a integração dos coletores solares na cobertura (opção 1) é a opção que conduz a melhores resultados na redução das necessidades energéticas. Também se pode verificar que a cobertura do edifício em estudo não apresentou qualquer obstáculo na instalação dos coletores selecionados para o estudo.

Tabela 23 – Tabela de comparação de dados de redução de consumos energéticos nas três opções da integração de coletores em estudo

Coletores	Redução consumos energéticos (KWh/m ² .ano)			Total de poupança (€/ano)		
	Cobertura	Fachada	Guarda da varanda	Cobertura	Fachada	Guarda da varanda
CP001	36,77	33,17	33,18	1013,65	914,32	914,56
CP002	37,71	34,62	34,64	1039,50	954,41	914,56
CP003	38,89	-	35,77	1072,10	-	914,56
CP004	38,00	34,85	34,90	1047,48	960,62	914,56
CP005	37,73	-	34,77	1040,13	-	914,56
CTV001	39,32	34,59	34,56	1083,73	953,55	914,56
CTV002	39,90	35,82	35,93	1099,85	987,35	914,56
CTV003	40,05	-	-	1104,05	-	-
CTV004	38,52	-	-	1061,81	-	-
CTV005	39,72	-	-	1094,83	-	-

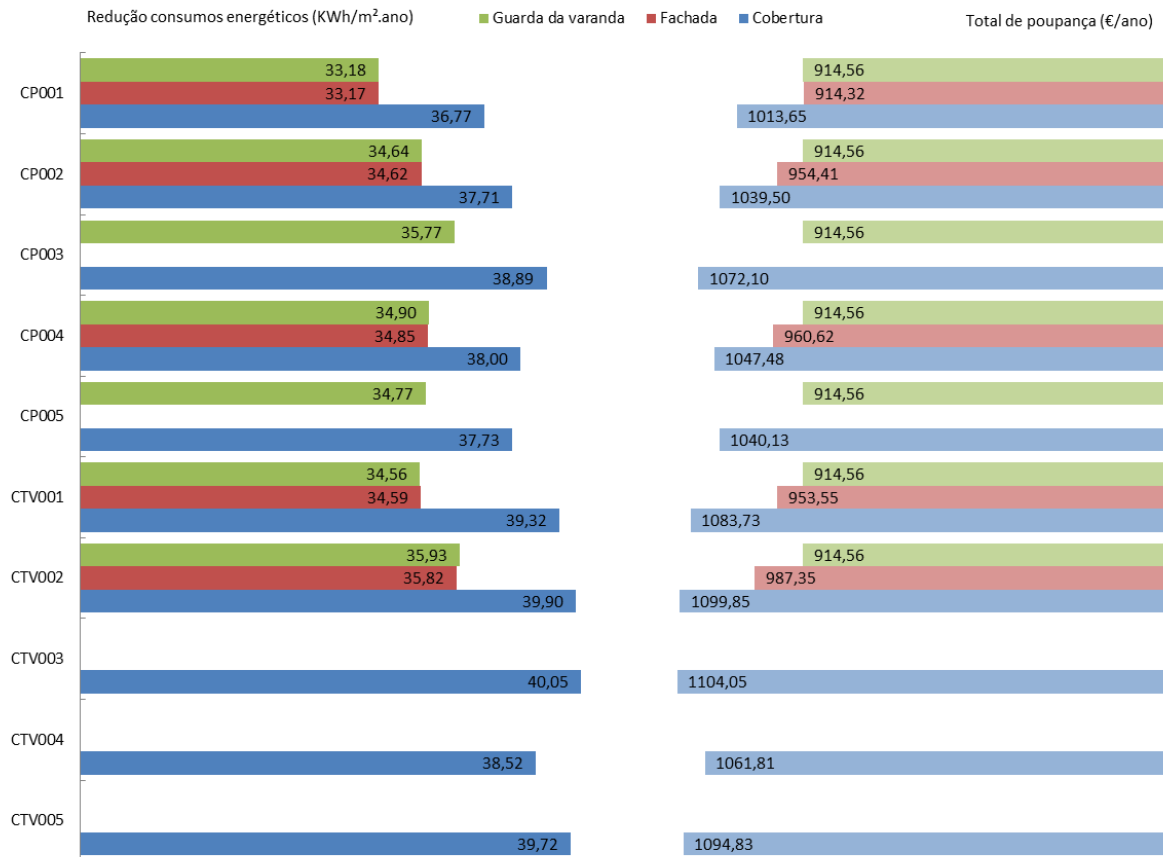


Figura 94 – Gráfico de comparação de dados de redução de consumos energéticos nas três opções da integração de coletores em estudo

Verifica-se que os coletores de tubos de vácuo, no geral, apresentam melhores resultados, comparativamente como os coletores planos com cobertura.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo sintetiza os resultados do estudo desenvolvido, encontrando-se dividido em duas partes. A primeira parte corresponde à conclusão geral que tem por finalidade apresentar resumidamente o trabalho desenvolvido e as conclusões desse trabalho, respondendo aos objetivos propostos. A segunda parte apresenta as dificuldades sentidas ao longo deste trabalho que poderão ser ultrapassadas em trabalhos futuros.

5.1 Conclusão geral

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade da instalação/integração de coletores solares térmicos para reduzir as necessidades energéticas para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e para aquecimento ambiente, na reabilitação de edifícios de habitação.

Para atingir esse objetivo e considerando as características do parque habitacional português, a escolha do tipo de edifício a estudar foi feita de modo que o estudo a desenvolver fosse o mais abrangente possível. Para esse efeito foi selecionado um edifício composto por dois pisos, que ao nível nacional é o mais representativo, correspondendo a aproximadamente 45,48% do total de edifícios existentes.

Com base nesse edifício foi feito um modelo em formato 3D, no *DesignBulde* com as características geométricas iguais ao edifício real em estudo, permitindo depois proceder à sua simulação térmica dinâmica desse modelo com o *EnergyPlus* que está incorporado na estrutura do *DesignBuilder*. O *DesignBuilder* é a primeira interface detalhada para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*.

Durante a criação desse modelo foram verificadas algumas deficiências ao nível de construção/isolamento que conduziam ao agravamento das necessidades energéticas do próprio edifício. A fim de melhorar e/ou corrigir essas deficiências consideramos que fosse feito um reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores, com a aplicação de um sistema *ETICS* com isolamento térmico, poliestireno expandido (EPS), com 0.05 m de espessura, a fim de corrigir as pontes térmicas existentes junto das vigas e pilares e reforçar o isolamento térmico existente; reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura, com 0.04 m de isolamento térmico, poliestireno extrudido (XPS) permitindo obter melhores resultados ao nível do desempenho energético e de conforto térmico dos ocupantes; melhoria das características

dos vãos envidraçados, com a substituição da caixilharia existente por uma caixilharia com corte térmico e com coeficientes de transmissão térmica baixa, permitindo também obter melhores resultados ao nível do desempenho energético e de conforto térmico dos ocupantes.

Após a criação do modelo foram avaliados possíveis locais para integrar os coletores solares, de forma a tirar o maior aproveitamento possível deste tipo de equipamento. Nessa avaliação tivemos que ter em conta a orientação, o espaço disponível e as condições existentes nesse espaço. Perante estes fatores, limitamos o edifício a três zonas diferentes (cobertura, fachada e guarda da varanda). Após essa determinação foram escolhidos 5 coletores planos com cobertura e 5 coletores de tubos de vácuo, da biblioteca disponível no *DesignBuilder*.

Depois de ter o modelo definido procedeu-se à simulação energética do mesmo no *DesignBuilder*.

A primeira simulação consistiu em avaliar as necessidades energéticas do edifício, antes de implementar as medidas de reforço de isolamento. Foi obtido uma necessidade energética no valor de 73,19 KWh/m².ano. Este valor multiplicado pela área útil do edifício, 145.08 m² resulta numa necessidade energética anual de 10618,44 KWh/ano

A seguinte simulação consistiu em avaliar as necessidades energéticas do edifício, depois de implementar todas as medidas de reforço de isolamento. Desta simulação conclui-se que a implementação das medidas de reforço de isolamento, conduziam a uma redução nas necessidades energéticas de 20,6%, comparativamente com os valores obtidos da primeira simulação. Conclui-se também que o período de retorno do investimento é de aproximadamente 23 anos, o que se considera elevado.

A fim de avaliar qual das medidas de reforço de isolamento tinha mais impacto na redução das necessidades energéticas, procedeu-se à simulação do modelo em estudo com a implementação individual (i.e. uma a uma) das medidas de reforço de isolamento. Após a realização das três simulações conclui-se que a melhoria das características dos vãos envidraçados foi a medida de reabilitação que mais contribui para a redução das necessidades energéticas (reduz 17,14% das necessidades energéticas), seguindo-se da medida de reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores (reduz 3,58% das necessidades energéticas), e por último, a medida de reforço do isolamento térmico na laje de esteira do telhado (reduz 0,04% das necessidades energéticas).

Nas simulações feitas ao edifício já com a integração de coletores solares na cobertura do edifício em conjunto das medidas de reforço de isolamentos, conclui-se que estas medidas conduzem a uma redução das necessidades energéticas para a preparação de AQS e

aquecimento ambiente entre 50% a 55% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício.

Nas simulações feitas ao edifício já com a integração de coletores solares na fachada do edifício em conjunto das medidas de reforço de isolamentos, conclui-se que estas medidas conduzem a uma redução das necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente entre 45% a 49% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício.

Nas simulações feitas ao edifício já com a integração de coletores solares na guarda da varanda do edifício em conjunto das medidas de reforço de isolamentos, conclui-se que estas medidas conduzem a uma redução das necessidades energéticas para a preparação de AQS e aquecimento ambiente entre 45% a 49% em comparação com os valores obtidos antes da reabilitação do edifício.

A zona da cobertura em comparação com as restantes zonas apontadas, é o melhor local para se integrar os coletores solares. É certo que é necessário que essa integração seja feita respeitando sempre a inclinação da cobertura, caso contrário os coletores podem produzir sombra uns aos outros o que limitava o número de coletores a instalar. Nesta local foi possível integrar qualquer tipo de coletor, garantido sempre, bons rendimentos energéticos, independentemente do tipo de coletor instalado.

A fachada é uma boa solução, só que os elementos arquitetónicos existentes tais como, janelas, portas e reentrâncias do edifício, limitam em muito a opção de integração de coletores neste local, o que originou a impossibilidade de integrar metade dos coletores escolhidos, dada a sua dimensão. Perante os resultados obtidos dos coletores testados, verifica-se que os mesmos são positivos, tanto ponto de vista energético como do ponto de vista económico.

Em relação à opção da colocação de coletores solares na guarda da varanda, também julgamos que é uma boa solução mas dada a facilidade de acesso que permite, obriga a ter alguns cuidados prévios de forma a proteger o equipamento e proteger os utilizadores. Perante os resultados apresentados verifica-se que os mesmos, são também positivos, tanto ponto de vista energético como do ponto de vista económico se não incluirmos as estruturas de proteção.

Relativamente ao tipo de coletores a integrar concluímos que em geral os coletores de tubos de vácuo apresentam melhores resultados, mas devemos ter em conta que a sua integração como elemento construtivo não é facilmente conseguida, em comparação com os coletores planos com cobertura.

Em relação ao período de retorno do investimento da integração de coletores solares em conjunto das medidas de reforço de isolamentos verificou-se que todos os períodos de retorno obtidos são iguais ou superiores a 15 anos. Pode-se considerar que estes períodos são elevados, considerando que o prazo de vida útil dos equipamentos e o período de vida de uma obra de reabilitação. Podemos também considerar que estes resultados não são os melhores devido aos elevados custos dos equipamentos (coletores, acumuladores e sistemas de apoio).

A integração dos coletores solares térmicos tem potencialidades, do ponto de vista energético e económico. Conduz a reduções das necessidades energéticas como também valoriza os edifícios.

Os desafios que dificultam a integração destes sistemas são: a grande variedade de coletores existentes (tipos e dimensões); custos dos equipamentos; a falta de técnicos com capacidade de avaliar e escolher os equipamentos apropriados para cada situação; geometria dos edifícios onde se pretende integrar os equipamentos; etc..

5.2 Limitações e trabalhos futuros

No desenvolvimento da presente dissertação surgiram algumas limitações que no âmbito deste trabalho não foram possíveis realizar, mas que possivelmente originarão novos desafios de investigação e de aperfeiçoamento em trabalhos futuros.

Uma das muitas limitações que surgiram foi, como puder analisar a otimizar de vários tipos de coletores relativamente à sua posição.

Outra das limitações obtidas é quantos coletores são necessários para colmatar a necessidade de energéticas para preparação de AQS e aquecimento e se é possível colmatar sem recorrer a outros sistemas de apoio.

Para trabalhos futuros eram importante avaliar outros tipos de edifícios, como por exemplo edifícios multifamiliares, avaliar outros possíveis locais de integração, avaliar outros tipos de sistemas de apoio e avaliar outras unidades terminais de aquecimento ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHIBALD, John. (1999): "Building Integrated Solar Thermal Roofing Systems History, Current Status, And Future Promise" disponível em: <http://americansolar.com/resources/papers/solar99.pdf>. 1999. (acedido em 30 de janeiro de 2014)

CGD. (2014): disponível em: <https://www.cgd.pt/Institucional/Caixa-Carbono-Zero/Projectos/Pages/Central-Solar.aspx>. s.d. (acedido em 1 de fevereiro de 2014).

COMISSÃO EUROPEIA (2014): "Um quadro político para o clima e a energia no período de 2020 a 2030." *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões*. Bruxelas, 22 de Janeiro de 2014.

DGGE, AQS e PRIME (2004): "Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico". Lisboa

DIEGO C MALAGUETA (2012): "Geração Heliotérmica : Princípios e Tecnologias"

EPBD. (2002): "Energy Performance of Buildings Directive." *Directiva 2002/91/UE*.

EPBD-recast. (2010): "Energy Performance of Buildings Directive (recast)." *Directiva n.º 2010/31/UE*.

FEPICOP. (2014) "Conjuntura da Construção n.º 74." Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas.

Graça, Carrilho (2014): disponível em: http://jlcg.pt/additional_work/brisa. s.d. (acedido em 22 de fevereiro de 2014)

GREEN. (2014): "Grupo de Estudos em Energia" disponível em: http://www.pucminas.br/green/index_padrao.php?pagina=3480&PHPSESSID=0d4154e8e5e01c39db779d9b38750faf. s.d. (acedido em 23 de fevereiro de 2014).

GREENPRO. (2004): "Energia Solar Térmica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação." janeiro de 2004.

INE. (2011): "Instituto Nacional de Estatística." Censos 2011. Lisboa - Portugal.

INE. (2013): "Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011." Lisboa - Portugal.

KALOGIROU, Soteris. A. (2004): "Solar thermal collectors and applications" EUA:Academic Press, Elsevier, 2004.

KALOGIROU, Soteris. A. (2009): "Solar Energy Engineering: Processes and Systems" EUA: Academic Press, Elsevier, 2009.

LNEG. (2014): "Laboratório Nacional de Energia e Geologia." disponível em: www.lneg.pt. s.d. (acedido em 15 de janeiro de 2014).

MAPS. GOOGLE. (2014): disponível em: <https://www.google.pt/maps/place/Rua+Nossa+Senhora+do+Ros%C3%A1rio,+4805+Brito/@41.4619957,-8.343489,13z/data=!4m2!3m1!1s0xd24f09e7b231db5:0x81f5acf9926da750?hl=pt-PT>. s.d. (acedido em 1 de outubro de 2014).

MARUJO Raquel, SIMÕES Teresa e ESTANQUEIRO Ana (2010): "Integração de sistemas de energia renovável a instalações residenciais"

MENDES, João Farinha; SALGUEIRO Andreia; CARDOSO, João P. ; COELHO, Ricardo Encarnação (2012): "A integração de energias renováveis em edifícios"

NEW4OLD, Project. (2009): "5 Integration of solar thermal collectors." *In Technical guidelines for building designers*

NIV-O. (2007): "Centre d' exploitation des Routes Nationales (CeRN)" disponível em: <http://www.nivo.ch/cern.html>. 2006. (acedido em 13 de fevereiro de 2014).

PROBST, Maria Cristina Murani, e Christian ROECKER. (2011): "Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems". *EPFL Press - distributed by Routledge*

PROBST, Munari, V. KOSORIĆ, A. SCHUELER, E. CHAMBRIER, e C ROECKER. (2007): "Facade Integration of Solar Thermal Collectors: Present and Future". Lausanne, Suíça

RCCTE. (1990): "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)." *Decreto-Lei n.º 40/90*. Lisboa, 6 de Fevereiro de 1990.

RCCTE. (2006): "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)." *Decreto-Lei n.º 80/2006*. Lisboa, 4 de Abril de 2006.

REH. (2013): "Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)." *Decreto-Lei n.º 118/2013*. Lisboa, 20 de Agosto de 2013.

RENOVÁVEIS P. ENERGIAS. (2014): disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26. s.d. (acedido em 28 de janeiro de 2014).

RORIZ, Luis (2009): "Solar Térmico : Uso de paineis solares térmicos." disponível em: http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf. s.d. (acedido em 24 de setembro de 2014)

RORIZ, Luis F, CALHAU Kathrin, Fernando LOURENÇO, e João ROSENDO (2010): "Energia Solar em Edifícios"

RSECE. (2006): "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE)." Decreto-Lei n.º 79/2006. Lisboa, 4 de Abril de 2006.

SCE. (2006): "Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)." Decreto-Lei n.º 78/2006. Lisboa, 4 de Abril de 2006

SCE. (2013): "Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)." disponível em: <http://www.adene.pt/sce/legislacao-0>. (acedido em 20 de fevereiro de 2014)

SCHÜCO. (2014): disponível em: https://www.schueco.com/web/pt/architekten/solarstrom_und_waerme/products/montagesysteme_solar/kompakt-line. (acedido em 1 de fevereiro de 2014).

SHC. (2014): disponível em: <http://projects.iea-shc.org/task39/projects/projects.aspx>. s.d. (acedido em 1 de fevereiro de 2014).

SOLAR A. QUENTE. (2014): disponível em: <http://www.aguaquentesolar.com/faq/questao.asp?id=5>. s.d. (acedido em 28 de janeiro de 2014).

SOLAR, INDUSTRIAL. (2014): disponível em: <http://www.industrial-solar.de/CMS/> s.d. (acedido em 24 de setembro de 2014).

STADLER, Irene. (2001) "Façada Integrated Solar Thermal Collectors." disponível em: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien19.pdf>. s.d. (acedido em 8 de fevereiro de 2014).

SUNAITEC (2014): disponível em: <http://www.sunaitec.pt>. (acedido em 24 de setembro de 2014)

WORKS. NATURAL. (2014): disponível em: <http://natural-works.com>. s.d. (acedido em 1 de outubro de 2014).

PRINCIPAIS SITES CONSULTADOS

AEE - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE	(http://www.aee.at)
AGUA QUENTE SOLAR	(http://www.aguaquentesolar.com)
DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia	(http://www.dgeg.pt)
GREEN - Grupo de Estudos em Energia	(http://www.pucminas.br/green/destaques.php)
INDUSTRIAL SOLAR	(http://www.industrial-solar.de)
INE - Instituto Nacional de Estatística	(http://www.ine.pt)
LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia	(http://www.lneg.pt)
NW - natural-works	(http://natural-works.com)
PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS	(http://www.energiasrenovaveis.com)
SHC - Solar Heating and Cooling Programme	(http://projects.iea-shc.org/task39/projects/default.aspx)
SOLAR KEYMARK	(http://www.solarkeymark.org)
SUNAITEC	(http://www.sunaitec.pt)