



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Auditoria ao Desempenho de uma Instalação de
Bomba de Calor Geotérmica para Aquecimento
Ambiente***

Hélder Manuel Gomes Saraiva

Leiria, Novembro de 2013



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Auditoria ao Desempenho de uma Instalação de
Bomba de Calor Geotérmica para Aquecimento
Ambiente***

Hélder Manuel Gomes Saraiva

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor João António Esteves Ramos e co-orientação do Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão, professores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Leiria, *Novembro* de 2013

À Minha Família

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Desejo expressar o meu agradecimento ao Doutor João António Esteves Ramos pelo apoio académico e pessoal prestado na orientação deste trabalho e também pela disponibilidade, motivação e paciência que teve durante este ano.

Ao Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão pela disponibilidade, apoio e incentivo no decurso desta dissertação.

À minha família: pais, tios, primos, sogros e cunhados, pela compreensão, apoio e motivação dados ao longo deste período da minha vida.

Um agradecimento muito especial à minha esposa, pelo seu apoio incondicional, pela sua paciência, por todos os sacrifícios que realizou durante este período, pela ajuda a atingir este meu objetivo pessoal.

Por fim, desejo ainda expressar o meu agradecimento a todos os meus amigos e a todas as outras pessoas, que de forma mais ou menos direta, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

A utilização das energias renováveis, a redução dos consumos energéticos devido a uma utilização mais racional e a consequente alteração climática, é um assunto debatido desde há muito tempo. Os edifícios são os responsáveis por grande parte do consumo energético final dos países da União Europeia, e estando Portugal empenhado numa diminuição do consumo energético, é essencial implementar sistemas mais eficazes e capazes de funcionar a partir das energias renováveis. É preciso alcançar os objetivos da Diretiva Europeia sobre a eficiência energética dos edifícios. Existem diversas estratégias e políticas que tentam reduzir a utilização dos combustíveis fósseis, e procuram-se cada vez mais outras fontes energéticas para uma menor dependência económica das mesmas.

O principal objetivo desta dissertação consiste em avaliar o desempenho de uma bomba de calor geotérmica, instalada no Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria. Esta fonte de energia alternativa foi implementada com o objetivo de arrefecer e aquecer o interior do edifício. As bombas de calor geotérmicas conseguem reduzir o consumo de energia, garantindo um funcionamento mais fiável e eficiente inclusive nos dias mais frios de inverno e os mais quentes de verão. De modo a conhecer-se detalhadamente a potência e a energia consumida pela instalação da bomba de calor geotérmica e pelos seus componentes principais, realizou-se uma auditoria à instalação. A bomba de calor geotérmica é do tipo terra-água, de circuito fechado, com captação horizontal. Pretende-se, assim, analisar os dados obtidos e abordar a viabilidade da instalação, bem como a viabilidade económica.

Palavras-chave: Energias renováveis, bomba de calor, geotermia, climatização, auditoria de energia, desempenho energético e edifícios

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The use of renewable energy sources, the reduction of energy use due to rationalization as well as the consequent climatic change are subjects which have been discussed for a long time. Buildings have a considerable responsibility regarding final energy consumption within the countries of the European Union. Since Portugal is committed to a reduction in energy consumption, it is essential to implement more efficient systems, capable of operating from renewable energy sources. It is necessary to reach the goals of the European directive regarding energy efficiency of buildings. There are several strategies and policies which try to reduce the use of fossil fuels and encourage the use of other energy sources to diminish economic dependence on the fossil fuels.

The main objective of this dissertation is to evaluate the performance of a geothermal heat pump installed in one of the buildings of Instituto Politécnico de Leiria. This source of alternative energy was installed in order to cool and heat the interior of the building. Geothermal heat pumps are able to reduce energy consumption, ensuring therefore a more reliable and efficient operation, even on colder days in winter and hotter days in summer. In order to learn in detail the energy which has been consumed due to the installation of the geothermal heat pump and its main components, an audit has been carried out. The heat pump in question is complemented by a ground-water type geothermal installation, with a closed circuit and horizontal catchment. The goal is analyzing the obtained data and address the feasibility of the installation as well as the economic viability of this alternative energy source.

Key words: Renewable energy, heat pump, geothermal, climate control, energy audit, energy performance and building.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

Figura 1 - Procura global de energia no ano de 1997. [1]	2
Figura 2 - Previsão da procura de energia para o ano de 2020. [1].....	2
Figura 3 - Aplicações geotérmicas, distribuídas por percentagem de capacidade térmica instalada. [4].....	8
Figura 4 - Aplicações geotérmicas, distribuídas por percentagem de uso de energia. [4].....	8
Figura 5 - Bombas de calor instaladas em países europeus. [5].....	9
Figura 6 - Número de unidades instaladas de bombas de calor geotérmicas na Suécia. [5]	10
Figura 7 - Energia consumida pela bomba de calor. [7].....	13
Figura 8 - Esquema de funcionamento de uma bomba de calor. [8].....	14
Figura 9 - Bomba de calor aerotérmica do tipo ar-ar. [1]	16
Figura 10 - Bomba de calor aerotérmica do tipo ar-água. [9]	17
Figura 11 - Bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, captação horizontal. [9].....	18
Figura 12 - Bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, captação vertical. [9]	19
Figura 13 - Bomba de calor geotérmica do tipo água-água. [9]	19
Figura 14 - Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, edifício E.	22
Figura 15 - Vista geral da bomba de calor geotérmica, no edifício E.	22
Figura 16 - A) Depósito de água; B) bomba de calor; C,D) bombas circuladoras.	23
Figura 17 - Analisador de energia. [12].....	24
Figura 18 - Ciclo de aquecimento. [13]	25
Figura 19 - Ciclo de arrefecimento. [13]	26
Figura 20 - Analisador dentro do quadro geral.	27
Figura 21 - Analisadores dentro da bomba de calor.....	27
Figura 22 - Exemplo de dados obtidos pelos analisadores.....	28
Figura 23 - Gráfico geral da energia consumida pelos componentes.	30
Figura 24 - Gráfico geral da energia consumida pela instalação.	31

Figura 25 - Diagrama de carga geral.	32
Figura 26 - Gráfico hora a hora do dia 03-12-2012.	33
Figura 27 - Diagrama de carga hora a hora do dia 03-12-2012.	34
Figura 28 - Gráfico hora a hora do dia 09-12-2012.	35
Figura 29 - Diagrama de carga hora a hora do dia 09-12-2012.	35
Figura 30 - Gráfico do dia 30-11-2012, 10.1°C.	36
Figura 31 - Gráfico do dia 07-12-2012, 15.9°C.	37
Figura 32 - Custos diários da energia consumida pela instalação.	39

Lista de Siglas

BSRIA	Building Services Research and Information Association
COP	Coefficient of Performance
EUA	Estados Unidos da América
GSHP	Ground Source Heat Pump
UE	União Europeia

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
LISTA DE SIGLAS	XI
ÍNDICE	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 A PROBLEMÁTICA DA ENERGIA	1
1.2 CONSUMO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	3
1.3 REDUÇÃO DE EMISSÕES E CUSTOS DE ENERGIA	4
1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO	5
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. ESTADO DE ARTE	7
2.1 AÇÕES DESENVOLVIDAS COM BOMBAS DE CALOR	8
3. TECNOLOGIA DA BOMBA DE CALOR	13
3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR.....	13
3.2 COP DE UMA BOMBA DE CALOR.....	15
3.3 TIPOS DE BOMBA DE CALOR	16
3.3.1 <i>Bomba de calor aerotérmica</i>	16
3.3.2 <i>Bomba de calor geotérmica</i>	17
4. CASO DE ESTUDO	21
4.1 ÂMBITO DA AUDITORIA	21
4.2 CARATERIZAÇÃO GERAL.....	22
4.2.1 <i>Caraterização do campus 2</i>	22
4.2.2 <i>Caraterização da bomba de calor</i>	23
4.2.3 <i>Equipamentos de medida</i>	24

4.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA EM ESTUDO	24
4.4	METODOLOGIA DA AUDITORIA.....	27
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	29
5.1	ANÁLISE GERAL	29
5.2	ANÁLISES DE ALGUNS DIAS DA SEMANA.....	32
	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. Introdução

A sociedade atual tem uma necessidade cada vez mais alta de consumo energético para poder manter o seu nível de vida e conforto do seu dia a dia. Atualmente, o desafio é baseado na procura do desenvolvimento sustentável, onde o principal objetivo é manter o nível de atividade, de transformação e de progresso, mas ajustando as necessidades dos recursos existentes e, muito mais importante, evitando desperdício energético.

1.1 *A problemática da energia*

Atualmente, os países mais avançados do mundo são os que mais energia consomem, mas também tornam o seu consumo mais eficiente. É possível identificar uma relação entre o consumo de energia e o grau de contaminação. Contudo, países como o Canadá, Finlândia, Suécia, França e Suíça apresentam um menor grau de contaminação, enquanto possuem elevados níveis de consumo de energia. Pelo contrário, Austrália, Noruega, Arábia Saudita, e Estónia, entre outros, têm emissões excessivas, em comparação com o seu nível de consumo de energia. O crescimento económico, os processos de industrialização dos países em desenvolvimento e aumento da procura de energia desses, vai aumentar a procura global de energia em cerca de 57% nos próximos anos, com uma diminuição da participação dos países desenvolvidos. [1]

As tendências previsíveis para os próximos anos em matéria de energia são as seguintes:

- A oferta de energia primária aumentará em mais de 50% nos próximos 20 anos. A procura de energia seguirá, sendo atendida com base em recursos fósseis e espera-se que o petróleo e o gás natural apresentem taxas de crescimento de 1.9% e 2.7% anuais respetivamente;
- O transporte será o setor líder em crescimento para a procura final de energia e o consumo de eletricidade tenderá a um maior crescimento nos países desenvolvidos, aumentando o total mundial de 17% a 20%;
- Nos próximos 20 anos, os Estado Unidos da América (EUA), aumentarão o consumo de petróleo em 33%, o gás natural em 50% e a procura de energia em cerca de 45%;

- O desenvolvimento tecnológico fará aumentar a procura de energia em cerca de 30%. [1]

Na Figura 1 e 2 apresentam-se os gráficos das percentagens sobre a procura total dos diferentes tipos de energia no mundo, no ano de 1997 e previsões para o ano de 2020. É de destacar que a energia renovável está a crescer rapidamente, mas as suas percentagens de contribuição a nível global não são muito significativas.

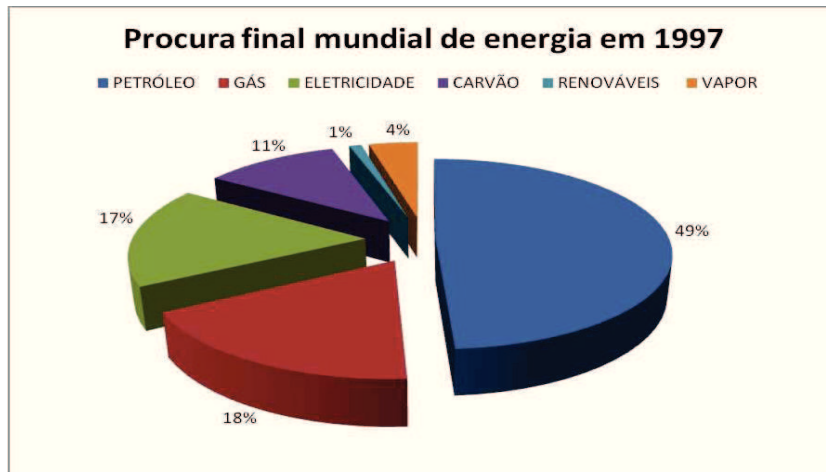


Figura 1 - Procura global de energia no ano de 1997. [1]

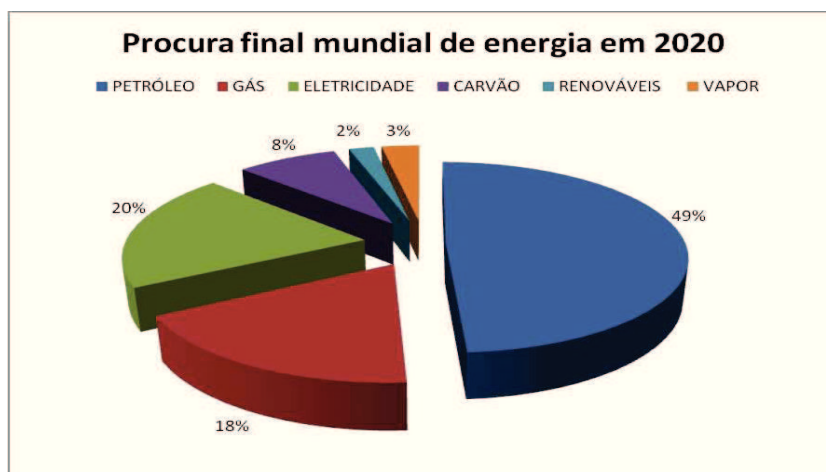


Figura 2 - Previsão da procura de energia para o ano de 2020. [1]

O crescimento económico e o aumento da procura de energia provocaram um aumento nas emissões. Espera-se cerca de 80% de aumento das emissões nos próximos 20 anos causado pelos países em desenvolvimento. [1]

1.2 Consumo energético dos edifícios

A maioria dos países preocupados com a utilização racional de energia, já iniciou as suas ações no setor da indústria, pois representa a maior percentagem do consumo total de energia. O setor industrial tem a vantagem de ser concentrado em poucas unidades empresariais em que o processo de inovação tecnológico e de substituição de equipas formam parte da atividade cotidiana. Outros setores, como transportes, edifícios e casas são porém a enorme complexidade do consumo de energia, pois ocorrem em inúmeros centros espalhados em que é muito difícil o acesso por meio de normas legais. Nesses setores, as possibilidades de ação são baseados no fornecimento de informações aos consumidores para que eles possam tomar uma atitude responsável para a poupança de energia.

O setor dos edifícios representa 40% do consumo de energia total da União Europeia (UE). A redução do consumo de energia neste domínio é, portanto, uma prioridade no âmbito dos objetivos em matéria de eficiência energética. [2]

Foi aprovado o diploma que revê a legislação nacional sobre eficiência energética dos edifícios, incluindo num único diploma a legislação que se encontrava dispersa, e transpondo uma diretiva comunitária relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este diploma dá sequência às políticas de promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios, inserindo-se igualmente no plano mais vasto dos compromissos assumidos pela UE, tendo em vista alcançar os objetivos de redução do consumo de energia e da emissão de gases com efeito de estufa. Ainda teve como consequência a legislação nacional do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios resulta da transposição da Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho da UE, de 16/12/2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta foi recentemente atualizada pela Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio, onde se propõem linhas de conduta para os Estados-Membros no que diz respeito ao desempenho energético dos edifícios, nomeadamente a

adoção a nível nacional ou regional, de uma metodologia de cálculo para o desempenho energético dos edifícios que considere determinados aspetos, nomeadamente: [2]

- As características térmicas do edifício (capacidade térmica, isolamento, etc.);
- Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente;
- Instalações de ar condicionado;
- Instalação fixa de iluminação;
- Condições climáticas interiores.

1.3 *Redução de emissões e custos de energia*

A consolidação do mercado de aquecimento deu-se no ano de 2009, contudo já se tinha iniciado no mercado do ano anterior. O ano de 2008 teve uma queda nas vendas dos equipamentos de aquecimento convencionais em cerca de 15%, enquanto as bombas de calor e as caldeiras de condensação começaram a ganhar expressão em toda a Europa. Em 2009 a tendência foi para aumentar, também devido ao enquadramento de um novo quadro legislativo, em toda a Europa, que incentiva o uso de soluções eficientes. [3]

Os equipamentos de aquecimento e ar condicionado estão a passar por aperfeiçoamentos tecnológicos enormes, uma forma de responder a um novo desafio. As metas de redução de emissões de gases com efeito de estufa e a dependência das importações de petróleo e gás, levaram Bruxelas a definir um conjunto de novas regras, que resultam necessariamente numa mudança radical dos mercados e tecnologias no âmbito dos edifícios. Com uma primeira diretiva sobre os edifícios em 2002, Bruxelas aponta para a eficiência energética como forma de atingir parte dos seus objetivos. Os edifícios são responsáveis por cerca de 50% do consumo de toda a energia final. Por outro lado, o investimento das renováveis são a única forma que Bruxelas tem, para chegar a 2020 e obter poupanças de 600 a 900 milhões de toneladas/ano de emissões e reduzir entre 200 a 300 toneladas/ano no consumo de combustíveis fósseis. Desde logo, o investimento na ordem dos 18 mil milhões de euros ano nas energias renováveis não chega só por si. Falta definir e incentivar o desenvolvimento de melhores tipos de tecnologia renovável. É neste âmbito que é criada em 2009 a nova diretiva para as Renováveis. [3]

Segundo um estudo recente de Building Services Research and Information Association (BSRIA), todas estas movimentações políticas tiveram um impacto direto no mercado do aquecimento, nomeadamente nas soluções e equipamentos. A tónica da eficiência energética, a obrigatoriedade das renováveis, os incentivos fiscais e a definição das tecnologias consideradas renováveis provocaram grandes mudanças no mercado que começaram a ser mais visíveis em 2008. O crescimento de tecnologias alternativas de aquecimento, tais como a energia solar térmica, bombas de calor, sistemas de ventilação com recuperação de calor, bem como os futuros sistemas de cogeração a gás marcaram decisivamente uma rutura com o mercado tradicional e uma nova tendência para os próximos anos em toda a Europa.

1.4 *Objetivos do trabalho*

Tendo em conta que a tecnologia de conceção das bombas de calor geotérmicas permitem reduzir o consumo de energia, garantindo um funcionamento mais fiável e eficiente, o principal objetivo desta dissertação é realizar uma auditoria energética à bomba de calor geotérmica que se encontra instalada no Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, de modo a conhecer-se detalhadamente o consumo de energia em particular para a produção de aquecimento ambiente. A bomba de calor geotérmica em análise é do tipo terra-água, de circuito fechado, com captação horizontal. Um outro objetivo é, por meio da auditoria energética, apresentar a desagregação dos consumos energéticos dos vários componentes da bomba de calor, para uma melhor caracterização da instalação.

Num âmbito geral, a auditoria também servirá para revelar os custos totais associados a todo o sistema de climatização assim como, para a implementação de medidas de eficiência energética, que permitam alcançar reduções nos consumos energéticos e na respetiva fatura energética.

1.5 Estrutura da dissertação

O relatório está dividido em 5, capítulos sendo que o primeiro é o presente e termina com a apresentação das referências bibliográficas.

No capítulo 2 apresenta-se a que nível se encontra a Europa e Portugal, entre outros países, no que diz respeito à implementação de sistemas de bomba de calor geotérmica.

No capítulo 3 é abordada a tecnologia da bomba de calor convencional e seu princípio de funcionamento, é feita uma breve análise sobre o Coeficiente of Performance (COP), apresentam-se tipos de bombas de calor geotérmicas, os seus princípios de funcionamento e também as suas vantagens e desvantagens.

O capítulo 4 dá lugar ao caso de estudo, onde inicialmente surgirá uma breve introdução, seguida pelo âmbito da auditoria energética e uma caracterização geral do local de estudo e da bomba de calor. É feita a descrição do princípio de funcionamento da bomba de calor geotérmica em estudo e apresenta-se a metodologia para a execução da auditoria energética.

No capítulo 5 é analisada a distribuição dos consumos energéticos e dos principais constituintes da bomba de calor geotérmica; são apresentados gráficos e diagramas de carga para análise dos dados obtidos no terreno e são feitas comparações entre vários fatores. Como exemplo, o consumo total de energia da instalação em todos os dias que esteve sujeita à auditoria; os consumos de energia obtidos hora a hora durante um dia completo; o consumo de energia no dia mais quente e também no dia mais frio da auditoria; a observação dos consumos de energia dos dias de menor atividade da escola, nomeadamente o sábado e o domingo, finalizando-se com análises e comparações de dados, com vista ao incremento de eficiência energética.

2. Estado de arte

As bombas de calor geotérmicas, Ground Source Heat Pump (GSHP) são uma das aplicações com mais rápido crescimento no que diz respeito às energias renováveis no mundo. A sua principal vantagem é usar as temperaturas constantes do solo ou das águas subterrâneas/superficiais para a produção de aquecimento ou arrefecimento. Os cinco países com maior capacidade instalada são: EUA, China, Suécia, Noruega e Alemanha, representando 60% da capacidade mundial, e os cinco países com o maior uso anual de energia são: China, EUA, Suécia, Turquia e Japão, respondendo por 55% do uso mundial. A atual capacidade de energia instalada em todo o mundo é estimada em quase 50.583 MWt e o uso de energia é cerca de 438.071TJ/ano, no que diz respeito às bombas de calor geotérmicas, 35.236MWt e 214.782TJ/ano, respetivamente. [4] A Tabela 1 apresenta um resumo por país com maior destaque, da capacidade térmica instalada, o uso anual de energia e o fator de capacidade, em aplicações geotérmicas.

Tabela 1 - Países com maior destaque em aplicações geotérmicas. [4]

Country	Capacity, MWt	Annual Use, TJ/yr	Annual Use, GWh/yr	Capacity Factor
United States	12,611.46	56,551.8	15,710.1	0.14
China	8,898	7,5348.3	20,931.8	0.27
Sweden	4,460	45,301	12,584.6	0.32
Norway	3,300	25,200	7,000.6	0.24
Germany	2,485.4	12,764.5	3,546.0	0.16
Turkey	2,084	36,885.9	10,246.9	0.56
Japan	2,099.53	15,697.94	7,138.9	0.39

O fator de capacidade representa a proporção entre a produção efetiva de energia num dado período de tempo e capacidade total máxima em igual período. A categoria com maior peso na percentagem de capacidade térmica instalada e uso anual de energia geotérmica é a categoria das bombas de calor geotérmicas, no entanto, isso está a provocar uma descida no fator de capacidade, pois o consumo de energia é menor que a capacidade instalada, como se pode verificar nos gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4.

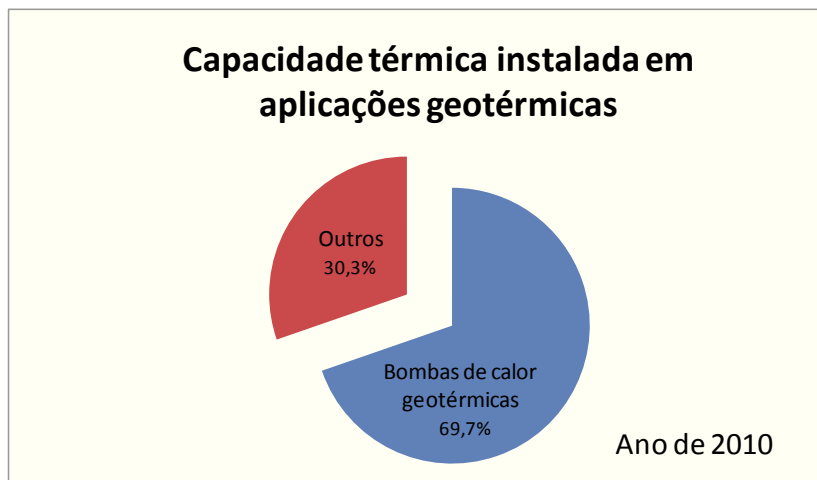


Figura 3 - Aplicações geotérmicas, distribuídas por percentagem de capacidade térmica instalada. [4]

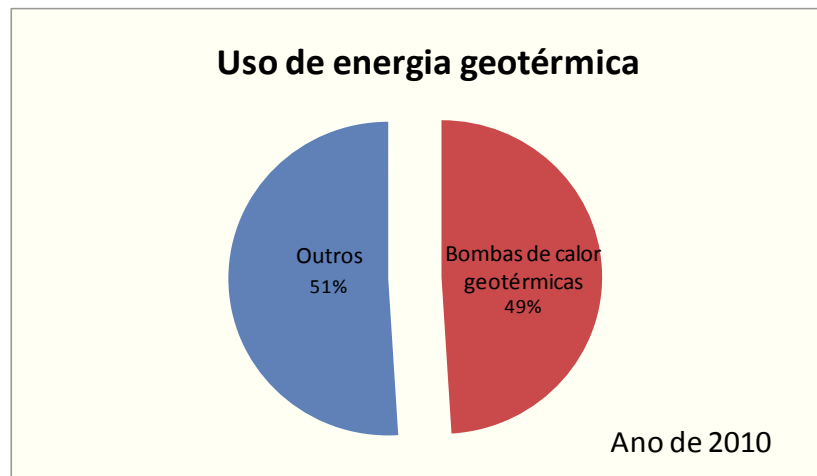


Figura 4 - Aplicações geotérmicas, distribuídas por percentagem de uso de energia. [4]

Conclui-se que a energia térmica tem vindo a crescer cada vez mais, especialmente na categoria das bombas de calor geotérmicas, já o fator de capacidade tem vindo a decrescer, pois a capacidade térmica instalada não é totalmente usada.

2.1 Ações desenvolvidas com bombas de calor

- Panorama nos Estados Unidos

A maioria das aplicações de uso direto mantiveram-se bastante constante ao longo dos

últimos cinco anos, no entanto, as bombas de calor geotérmicas têm aumentado significativamente ao longo dos últimos 15 anos, com uma estimativa de 100.000 a 120.000 unidades. As estimativas atuais são de que existem pelo menos um milhão de unidades instaladas. Cerca de 70% das unidades são instaladas em residências e os restantes 30% em edifícios públicos e comerciais, sendo que 90% das unidades são em circuito fechado e as restantes em circuito aberto. A maior instalação atualmente em construção é para a Ball State University, Indiana. [4]

- Panorama na Europa

As bombas de calor geotérmicas estão em rápido crescimento por vários países europeus e o resultado é a rápida entrada destes sistemas nos mercados. O número de empresas comerciais a trabalhar ativamente nesta área é cada vez maior. Mais de 20 anos de pesquisa e desenvolvimento, com foco em GSHP na Europa resultaram num conceito bem estabelecido de sustentabilidade para esta tecnologia, assim como a boa conceção e critérios de instalação. A GSHP típica com permutadores de solo verticais exigem atualmente para cada kWh de aquecimento ou arrefecimento a saída de 0,22-0,35kWh de eletricidade. É um pouco difícil encontrar valores reais da quantidade de bombas de calor na Europa, e em particular bombas de calor geotérmicas. A Figura 5 apresenta alguns dados relativos aos números de unidades instaladas em países europeus. [5]

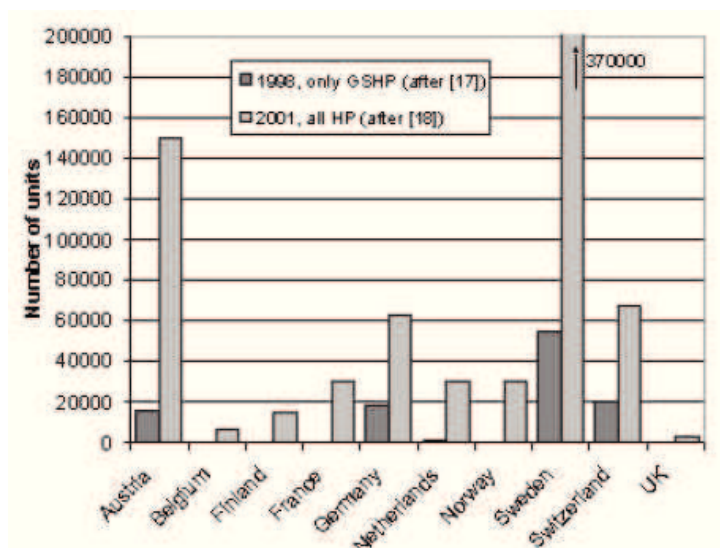


Figura 5 - Bombas de calor instaladas em países europeus. [5]

Como se pode verificar, apenas a Suécia tem um número elevado de unidades instaladas de bombas de calor geotérmicas na Europa. Pode concluir-se, que a introdução de sistemas GSHP nos mercados, ainda é modesta em toda a Europa, com exceção da Suécia.

- Panorama na Suécia

As bombas de calor geotérmicas ganharam popularidade na Suécia no início da década de 1980, e em 1985, cerca de 50 mil unidades tinham sido instaladas. Em 1995, a sensibilização do público e aceitação da geotermia começou a crescer devido ao forte apoio e subsídios do estado Sueco. Em 2001 e 2002, cerca de 27.000 bombas de calor geotérmicas foram instaladas, como se pode verificar na Figura 6. Atualmente tem cerca de 230 mil instalações com cerca de 25.000 unidades instaladas anualmente. [4] As bombas de calor são hoje o mais popular tipo de dispositivo para aquecimento para pequenos edifícios residenciais na Suécia, onde a bomba de calor substitui queimadores de gásóleo por causa de os preços atuais do petróleo, queimadores elétricos por causa das tarifas de energia elétrica e fogões a lenha por conveniência. Além do setor residencial, há também algumas instalações de grande escala para o aquecimento urbano, estima-se que cerca de 80% de todas as instalações são verticais. No setor residencial a profundidade média de instalações verticais é de 125 m e horizontais de 350 m. [5]

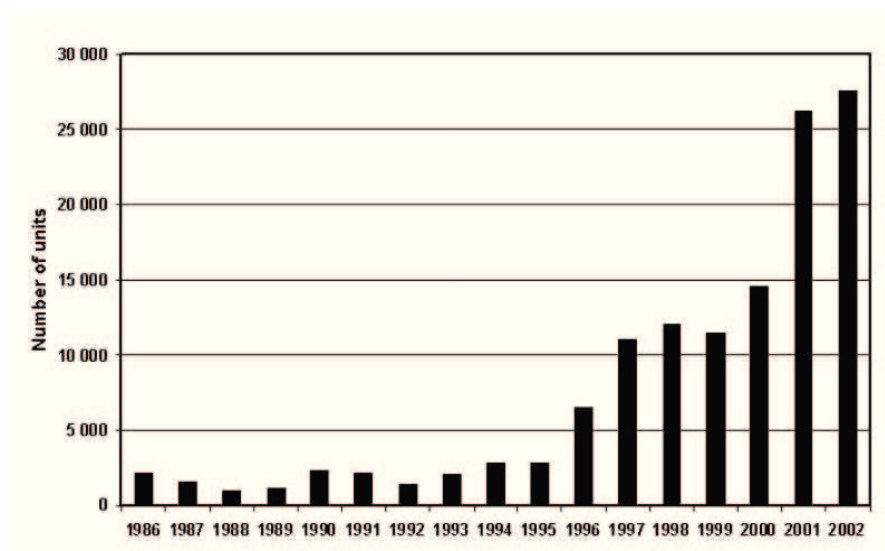


Figura 6 - Número de unidades instaladas de bombas de calor geotérmicas na Suécia. [5]

- Panorama em Portugal

No aproveitamento das chamadas “altas entalpias”, mais concretamente regiões geologicamente ativas, onde se conseguem atingir temperaturas até 300°C, a energia geotérmica é já bem conhecida por algumas realizações que permitem a produção de energia elétrica. Exemplo típico em Portugal é o que se passa no Arquipélago dos Açores, na ilha de S. Miguel, onde há já várias anos se encontra a funcionar uma central geotérmica. Em Portugal Continental, o panorama é já um pouco diferente, encontrando-se no domínio das “baixas entalpias”, ou seja, zonas geotermicamente estáveis que podem ser utilizadas para aquecimento ambiente de edifícios e nos setores agrícolas e industriais. As temperaturas da água referentes a baixa entalpia podem chegar até aos 80°C.

Na área continental de Portugal existe um apreciável potencial geotérmico, evidenciado pelo elevado número de ocorrências com temperaturas superiores a 20°C, utilizadas com finalidades termais desde tempos antigos. Nos últimos anos tem-se vindo a observar um interesse crescente na realização de estudos e projetos, que têm como objetivo o aproveitamento da energia geotérmica, nomeadamente o aquecimento dos próprios estabelecimentos termais, de unidades hoteleiras, de piscinas e de estufas agrícolas.

Poderá dizer-se, de uma forma resumida, que os projetos ligados ao aproveitamento geotérmico em Portugal, zona Continental ainda são diminutos. No entanto, registando-se já casos concretos de aplicação, como o exemplo dos Serviços Sociais das Forças Armadas (Oeiras), onde aproveitamento geotérmico é feito a partir de um furo de 475 metros. O caudal de água produzido é de 6l/s, à temperatura de 30°C, sendo o calor destinado à produção de água quente sanitária, água potável fria e climatização apoiada com bombas de calor. [6]

Algumas dezenas de instalações de bombas de calor geotérmicas estão em funcionamento em todo o país, mas, infelizmente, este tipo de aplicação ainda não cresceu muito em Portugal. Os dados sobre os vários aproveitamentos geotérmicos em Portugal são: 1,5MWt e 12,9TJ/ano para aquecimento urbano, 1,0MWt e 13,8TJ/ano para aquecimento de estufa, e 25,3 MWt e 358,6 TJ/ano para piscinas. Não foram feitas estimativas para as bombas de calor geotérmicas existentes, embora, estima-se que existam 24 instalações de 12kW cada,

com um COP de 3,5 e 1,5 mil horas de funcionamento por ano, que corresponde a uma potência de 0,3MWt e 1,1TJ/ano. Isso dá um total para o país de 28,1MWt de capacidade térmica instalada e 386,4TJ/ano de energia anual usada. [4]

3. Tecnologia da bomba de calor

Uma bomba de calor é uma máquina termodinâmica, que consiste essencialmente num circuito de refrigeração clássico (compressor, evaporador, condensador e um sistema de expansão), que tira proveito da energia do calor libertado pelo condensador (ar quente ou água quente que deixa o condensador) e não absorvida no evaporador (fonte fria) ar ambiente, água de um poço ou subsolo.

3.1 Princípio de funcionamento da bomba de calor

As bombas de calor usam a energia que se encontra armazenada no solo, na água ou no ar. Estas extraem o calor do meio ambiente convertendo-o em energia útil para o aquecimento. Cerca de $\frac{3}{4}$ do calor necessário no aquecimento é obtido através do ambiente, sendo apenas necessário $\frac{1}{4}$ desse calor na forma de energia elétrica para fazer a bomba de calor a funcionar, Figura 7.

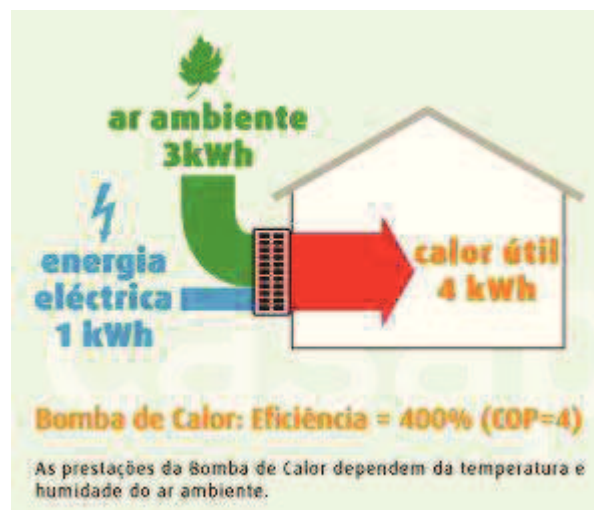


Figura 7 - Energia consumida pela bomba de calor. [7]

Através do evaporador é retirada a energia do ar ambiente em forma de calor, a qual é absorvida pelo fluido frigorífico, que passa de estado líquido para o estado gasoso. O mesmo é aspirado no estado gasoso pelo compressor, onde é comprimido e depois conduzido para o condensador. No condensador a energia é libertada para o meio que está

a ser aquecido, fazendo passar o vapor do fluido frigorífico para o estado líquido. O calor total libertado pelo condensador é igual ao calor absorvido pelo evaporador. Na saída do condensador o fluido frigorífico passa por um sistema de expansão, que não é mais que um orifício calibrado ou um tubo capilar onde se produz a expansão, convertendo-se a vapor húmido. O vapor húmido volta ao evaporador, onde para evaporar a sua fração líquida absorve uma quantidade de calor do ar ambiente. A Figura 8 apresenta o esquema de princípio de funcionamento de uma bomba de calor.

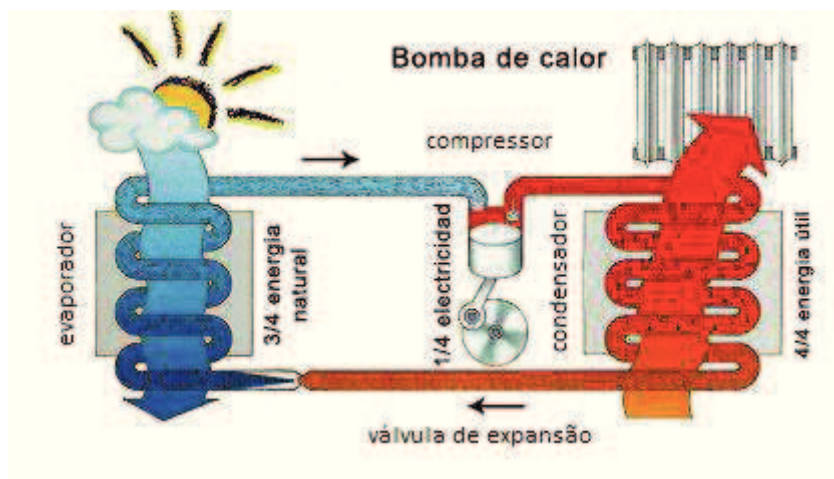


Figura 8 - Esquema de funcionamento de uma bomba de calor. [8]

No interior da bomba de calor reside uma quantidade de energia consumida para fazer trabalhar o compressor, é em geral pequena em comparação com a quantidade de energia despendida pelo condensador, e conseqüentemente recebida pelo meio que interessa aquecer.

Como exemplo, para um regime típico de funcionamento de uma bomba de calor e para um determinado modelo de compressor pode dar-se os seguintes valores:

- Evaporação 0°C;
- Condensação 50°C;
- Potência frigorífica 18.000fg/h equivalente a 21 kW;
- Potência absorvida 8kW;
- Potência calorífica 24.880 Kcal/h equivalente a 29 kW. [1]

Obtém-se a relação entre a potência de aquecimento, fornecida ao meio que se pretende aquecer e a potência consumida pelo compressor, para este exemplo essa relação é superior

a 3. Quando esta relação é comparada com a correspondente de aquecimento elétrico (efeito Joule), observa-se que para um consumo igual de energia, uma bomba de calor proporciona três a quatro vezes mais calor útil que o aquecimento elétrico convencional, daí o grande interesse da bomba de calor.

3.2 COP de uma bomba de calor

O coeficiente de performance ou COP é a relação entre a energia térmica restituída/energia elétrica consumida. Um COP de 3 indica que uma bomba de calor que consome 1kWh de eletricidade produz 3kWh de aquecimento:

$$\text{COP} = \text{Energia produzida em kWh} / \text{Energia consumida em kWh}$$

O COP de uma bomba de calor não é constante, dependendo da temperatura que tiver o ambiente exterior, e a temperatura interior do local a aquecer. Uma bomba de calor do tipo ar-ar pode ter um COP de aquecimento de 3, com uma temperatura exterior adequada existe uma gestão eficaz de energia consumida pelo compressor, mas o COP de aquecimento pode diminuir para valores de 1.5 com temperaturas exteriores muito baixas (por exemplo, -18°C). Quando a energia térmica fornecida por uma bomba de calor não é suficiente para responder às necessidades de calor num edifício, normalmente o sistema de apoio é uma resistência elétrica que tem como missão fornecer a quantidade adicional de calor necessária para terminar o aquecimento no local. Este sistema de apoio deve usar-se o menos possível dado que o aquecimento elétrico encarece muito o processo de aquecimento. [1]

3.3 Tipos de bomba de calor

Existem dois tipos de bomba de calor, aerotérmicas e geotérmicas. A escolha da tipologia do equipamento deve depender da fonte de calor escolhida (ar, terra ou água). As bombas de calor podem ser instaladas de quatro formas diferentes, consoante a opção de fonte de calor selecionada:

- Bomba de calor aerotérmica (ar-ar) ou (ar-água);
- Bomba de calor geotérmica de circuito fechado, com captação vertical (terra-água);
- Bomba de calor geotérmica de circuito fechado, com captação horizontal (terra-água);
- Bomba de calor geotérmica de circuito aberto com captação em águas subterrâneas (água-água).

3.3.1 Bomba de calor aerotérmica

As bombas de calor aerotérmicas têm como fonte de calor o ar e podem dividir-se em duas categorias de acordo com as suas características, bombas de calor de temperaturas normais (até 55 °C) e as bombas de calor de alta temperatura (65 °C). [9]

As bombas de calor aerotérmicas são usadas na climatização das habitações ou edifícios de serviços, na produção de água quente sanitária ou ainda no aquecimento de piscinas. Na estação fria do ano retira a energia do ar e transfere-a para o espaço a climatizar (ar-ar), ou para a água a aquecer (ar-água), como se apresenta nas Figuras 9 e 10 respetivamente.

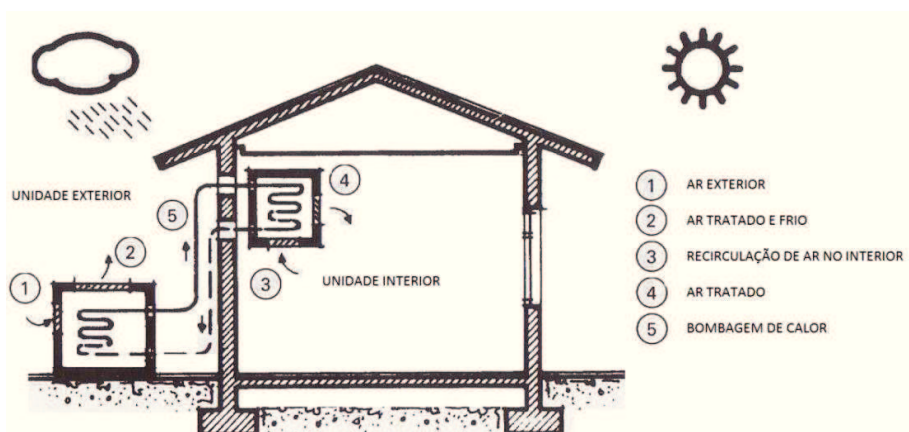


Figura 9 - Bomba de calor aerotérmica do tipo ar-ar. [1]

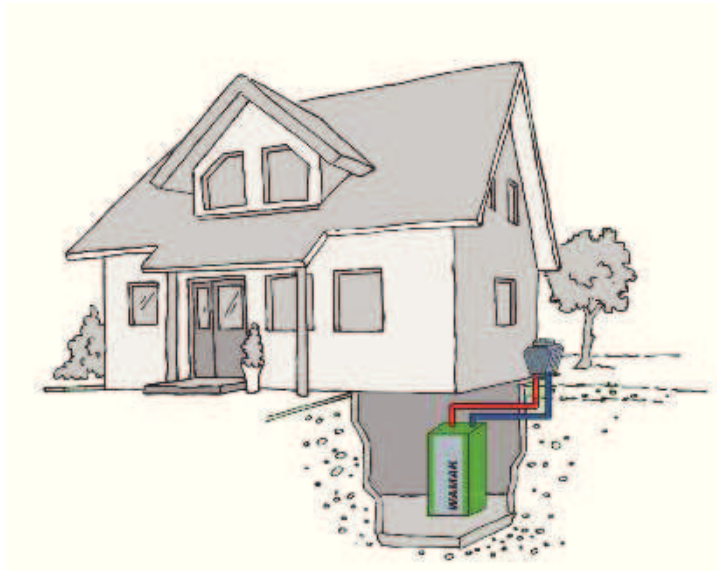


Figura 10 - Bomba de calor aerotérmica do tipo ar-água. [9]

Dependendo dos requisitos específicos do projeto e sobretudo do espaço, as bombas de calor aerotérmicas apresentam diferentes configurações entre as unidades exteriores e interiores. Em regra, as bombas de calor aerotérmicas são mais fáceis de instalar e normalmente requerem menos espaço, apresentando menores custos globais de instalação.

Portugal tem condições climáticas excecionais para o aproveitamento energético ligado à aerotérmica. Mesmo de inverno, um sistema com bomba de calor aerotérmica de alta eficiência, consegue energia suficiente para aquecer uma moradia a uma temperatura de conforto de 21°C, qualquer que seja o seu tamanho e ainda aquecer as águas sanitárias. As bombas de calor aerotérmicas são mais usadas do que as bombas de calor geotérmicas, dado que o investimento inicial é mais baixo. A desvantagem relativamente às bombas de calor geotérmicas reside no COP mais baixo, isto é, consomem mais energia elétrica para obter a mesma potência térmica, em qualquer estação do ano. [10]

3.3.2 Bomba de calor geotérmica

As bombas de calor geotérmicas são equipamentos reversíveis que aproveitam energia térmica armazenada a poucos metros da superfície do solo ou de águas subterrâneas, permitindo a sua utilização para climatização dos edifícios e aquecimento de águas quentes

sanitárias. No caso do solo, para os períodos frios, o calor armazenado é captado a partir de um sistema de tubos subterrâneos e nos períodos quentes o processo é invertido, sendo o calor transferido e dissipado no solo. Quanto maior a temperatura ambiente, menor é o COP. A bomba de calor geotérmica rejeita o calor no solo onde a temperatura é muito mais baixa e constante ao longo do ano e por isso tem a vantagem de maximizar o seu COP.

Uma instalação com bomba de calor geotérmica é constituída por três componentes principais, são eles a bomba de calor, o sistema de circulação no interior do edifício e uma ligação à terra. Estes três componentes principais, juntamente com as diferentes configurações de ligação ao solo constituem uma instalação típica GSHP.

As bombas de calor geotérmicas podem funcionar a partir de dois tipos de fonte de calor, nomeadamente a terra e a água. O tipo de instalação pode ser efetuado de três formas distintas, de acordo com a fonte selecionada:

Bomba de calor geotérmica do tipo terra-água:

- Horizontal (plataforma horizontal soterrada a baixa profundidade com tubos de captação em circuito fechado), Figura 11;
- Vertical (perfuração do subsolo com inserção vertical das sondas geotérmicas em circuito fechado), Figura 12;

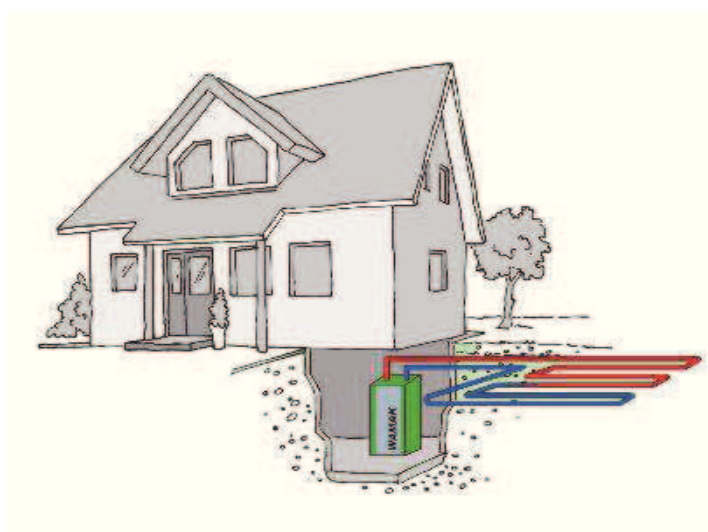


Figura 11 - Bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, captação horizontal. [9]

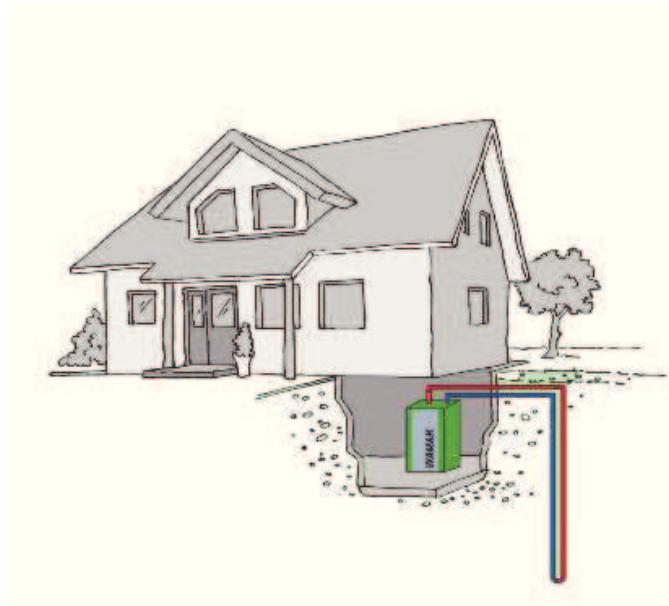


Figura 12 - Bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, captação vertical. [9]

Bomba de calor geotérmica do tipo água-água:

- Lençol freático (aproveitamento das águas subterrâneas em circuito aberto), Figura 13.

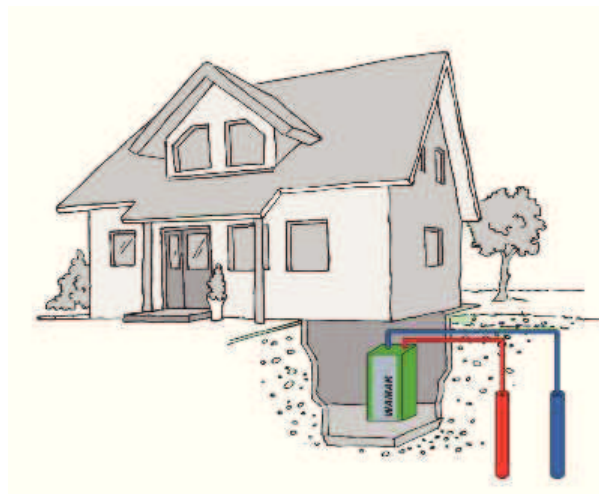


Figura 13 - Bomba de calor geotérmica do tipo água-água. [9]

Nas bombas de calor do tipo terra-água, um circuito fechado de tubos, colocados na horizontal (1 a 2m de profundidade) ou na vertical (50 a 100m de profundidade), é introduzido no solo e um circuito de água com uma mistura de anticongelante é circulado através dos mesmos, em que captam calor do solo no inverno e rejeitam o calor para o solo no verão. O sistema de circuito aberto usa águas subterrâneas diretamente no permutador de calor da bomba de calor. [5]

As bombas de calor geotérmicas atingem melhores performances COP, têm ciclos de vida mais longos e, graças à estabilidade do seu modo de funcionamento e da sua fonte de calor requerem menores necessidades de manutenção. Apesar de exigirem um maior investimento inicial, permitem uma maior aproximação aos objetivos de consumo energético tendencialmente zero que as atuais diretivas apontam. [9]

4. Caso de estudo

O caso de estudo que é agora apresentado inicia-se a partir de uma auditoria energética realizada a uma bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, situada no Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria. O objetivo desta auditoria é apresentar a desagregação dos consumos energéticos dos componentes mais importantes da bomba de calor, nomeadamente o compressor e as bombas circuladoras de água. Numa visão geral a auditoria também servirá para revelar os custos totais associados a todo o sistema de climatização, numa ótica de apoio à implementação de medidas de eficiência energética, que permitam alcançar reduções nos consumos energéticos e respetiva fatura energética.

4.1 *Âmbito da Auditoria*

De forma a caracterizar o desempenho energético da bomba de calor situada no “edifício E” do Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, foi realizada uma auditoria energética, em dezembro de 2012, de modo a obter conhecimentos adequados sobre os consumos de energia dos diferentes componentes ou processos, com detalhe suficiente para permitir a identificação de medidas conducentes à redução dos consumos energéticos da instalação.

Para além da necessidade de controlo dos encargos com a energia consumida através da bomba de calor, a sociedade atual espera que, cada vez mais, o setor dos edifícios apresente maiores eficiências energéticas com um cada vez menor impacte ao nível ambiental. Desta forma, a presente auditoria energética servirá de suporte à implementação de medidas de utilização racional de energia, para apoio à gestão energética.

4.2 *Caraterização geral*

4.2.1 **Caraterização do campus 2**

O Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria localiza-se no Morro do Lena, Alto Vieiro em Leiria, Figura 14. A bomba de calor em análise está inserida no edifício pedagógico E, Figura 15.



Figura 14 - Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, edifício E.



Figura 15 - Vista geral da bomba de calor geotérmica, no edifício E.

4.2.2 Caracterização da bomba de calor

A bomba de calor em questão é da marca Lämpöässä e do modelo V. [11] É uma bomba de calor geotérmica do tipo terra-água, com um depósito de inércia na sua instalação para uma melhor eficiência nas trocas de calor com o solo, Figura 16.

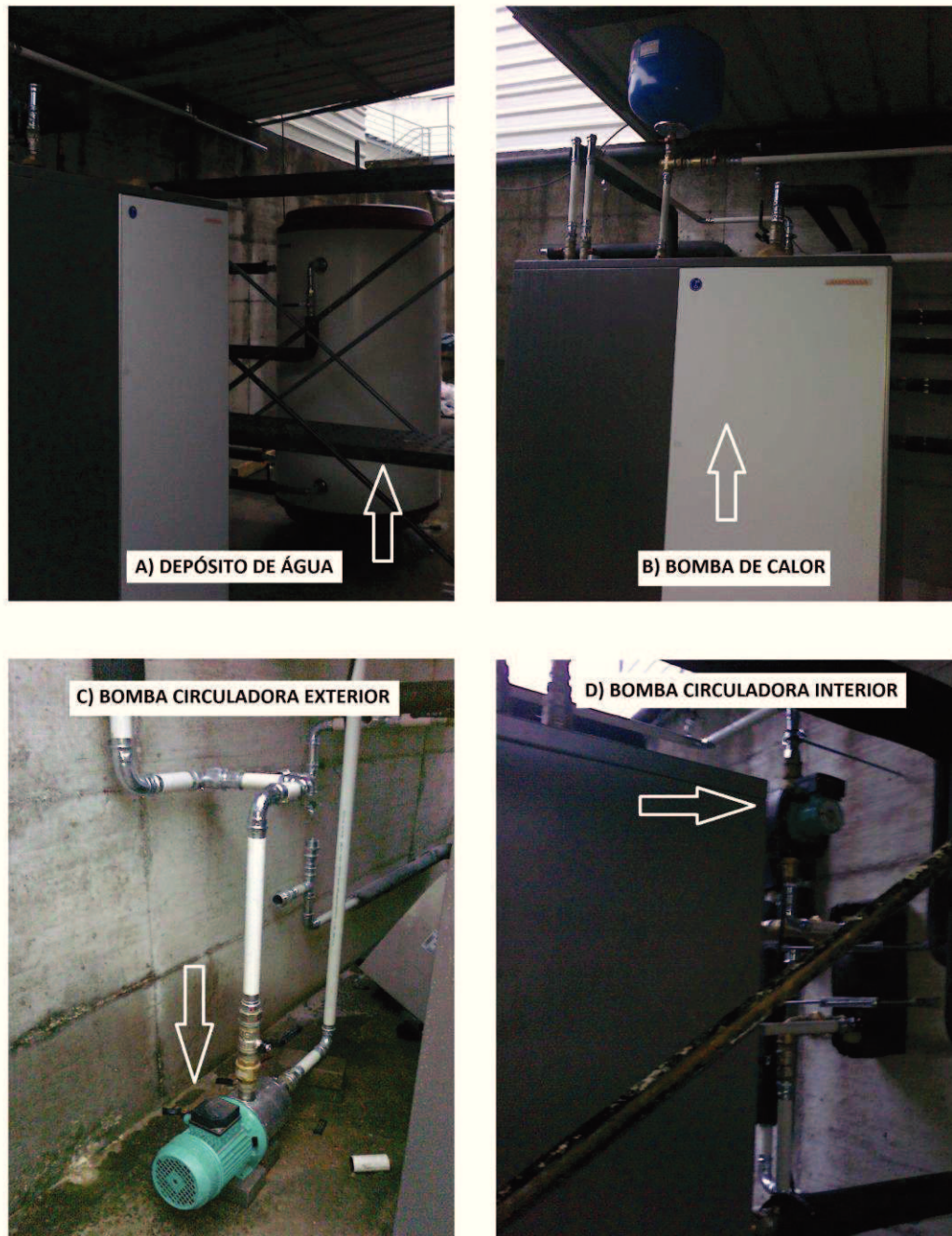


Figura 16 - A) Depósito de água; B) bomba de calor; C,D) bombas circuladoras.

4.2.3 Equipamentos de medida

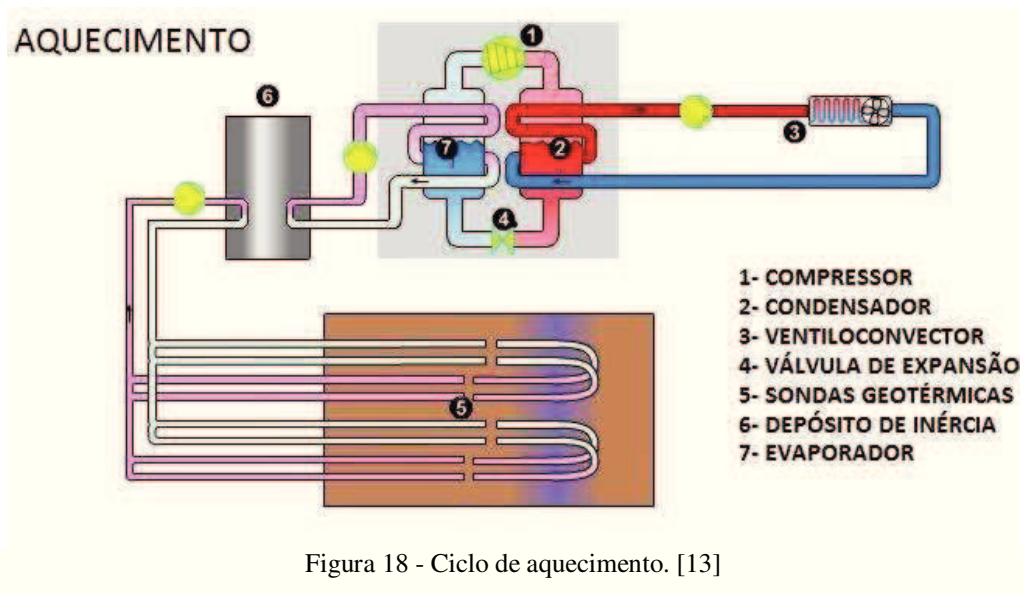
Toda a monitorização de grandezas elétricas foi obtida com recurso a analisadores de qualidade da energia elétrica da marca Chauvin Arnoux, semelhante ao apresentado na Figura 17, tratando-se de equipamentos muito completos quanto à gama de grandezas que permitem monitorizar, nomeadamente, todas as grandezas que se pretendiam registar neste estudo.



Figura 17 - Analisador de energia. [12]

4.3 *Princípio de funcionamento da bomba de calor geotérmica em estudo*

De uma maneira geral e simples, representa-se na Figura 18 o princípio de funcionamento da instalação em estudo, nomeadamente a bomba de calor geotérmica. A auditoria foi realizada no período de inverno, logo a bomba de calor estava programada para realizar trabalho de aquecimento e não arrefecimento.



Numa breve descrição, iniciando-se no ponto 1, o compressor faz com que o fluido refrigerante, que circula em ciclo fechado, atinja pressão e temperatura elevada. Em seguida passa para o ponto 2, o condensador (permutador de calor), onde o fluido refrigerante arrefece e liquefaz-se, enquanto isso os ventiloincubadores no ponto 3 ao serem percorridos pela água de aquecimento, enviam através do seu ventilador, ar quente para o meio ambiente. O ventiloincubador possui várias velocidades de funcionamento. O fluido refrigerante ao passar pelo ponto 4, expande-se (queda de pressão) e arrefece, tudo isto devido a uma válvula de expansão. No ponto 5 e 6 apresentam-se os principais constituintes do sistema geotérmico, nomeadamente o solo, as sondas geotérmicas e o depósito de inércia. As sondas geotérmicas permitem aproveitar o calor constante que existe nas camadas do subsolo, permutando com a água do depósito. Por sua vez o depósito de inércia mantém a temperatura o mais constante possível para um resultado de eficiência muito melhor. Este faz duas permutações, uma com a terra e outra com o evaporador. O último ponto deste ciclo é o ponto 7, que é o evaporador (permutador de calor) onde a energia térmica transferida para o depósito que é por sua vez captada pelas sondas geotérmicas, é transferida para o fluido refrigerante. Este aquece e evapora-se.

O ciclo de arrefecimento é resumidamente o inverso do ciclo de aquecimento, como se pode verificar na Figura 19. Começando pelo compressor no ponto 1, faz com que o fluido refrigerante que circula em circuito fechado, atinja pressão e temperatura elevada. Em

segundo lugar, no ponto 2, por intermédio do condensador (permutador de calor) o calor perdido, não recuperado, é transferido para o depósito de inércia e por sua vez para o solo. O fluido refrigerante arrefece e liquefaz-se. Nos pontos 3 e 4 aparecem os principais constituintes do sistema geotérmico, nomeadamente o solo, as sondas geotérmicas e o depósito de inércia. As sondas geotérmicas permitem aproveitar a temperatura constante que existe nas camadas do subsolo, permutando com a água do depósito. Por sua vez, o depósito de inércia mantém a temperatura o mais constante possível para um resultado de eficiência muito melhor. Este faz duas permutações, uma com a terra e outra com o condensador. A válvula de expansão, situada no ponto 5 do esquema, expande-se (queda de pressão) e arrefece. O ponto 6, no evaporador (permutador de calor), o fluido refrigerante frio retira o calor da água fazendo com que se evapore. No final do ciclo, ponto 7, a água fria ao circular pelo ventiloconvetor envia para o ar ambiente, através do seu ventilador, uma frescura agradável e retira o calor existente. A temperatura de ida tem que ser regulada para não haver condensação. O ventilador possui várias velocidades de funcionamento.

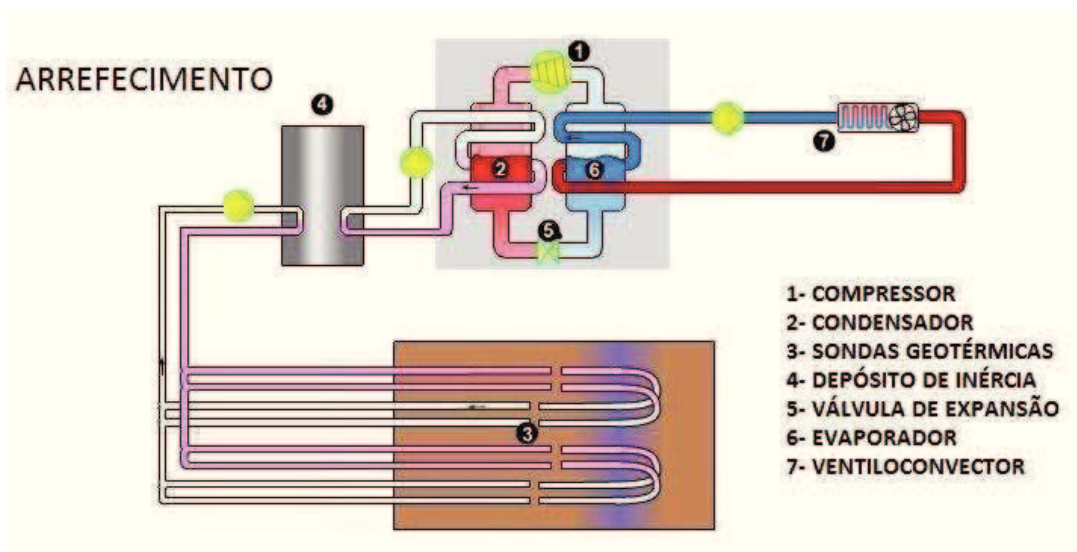


Figura 19 - Ciclo de arrefecimento. [13]

4.4 *Metodologia da auditoria*

Para a realização desta auditoria energética à bomba de calor geotérmica em primeiro lugar obtiveram-se registos dos consumos. Estes foram recolhidos por três analisadores colocados em diferentes pontos da instalação da bomba de calor geotérmica, Figura 20 e 21.

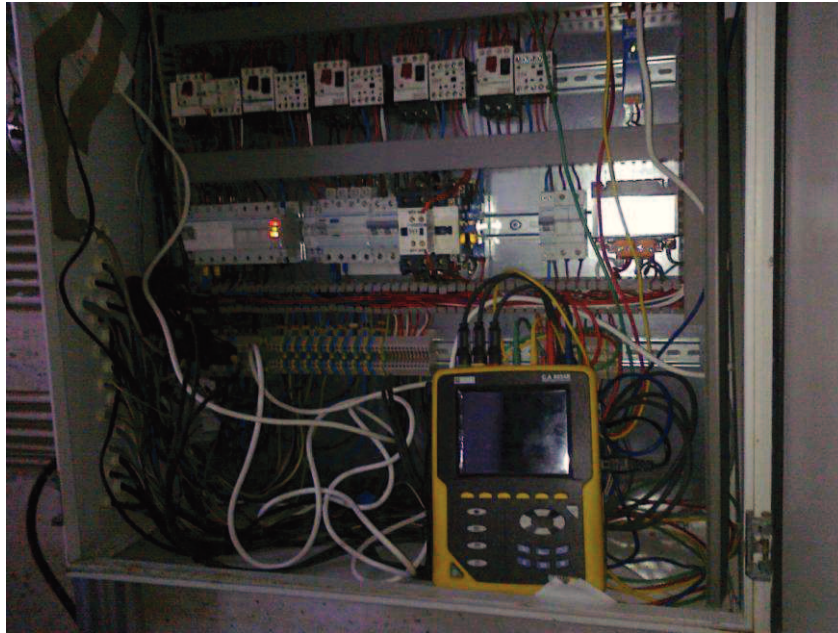


Figura 20 - Analisador dentro do quadro geral.

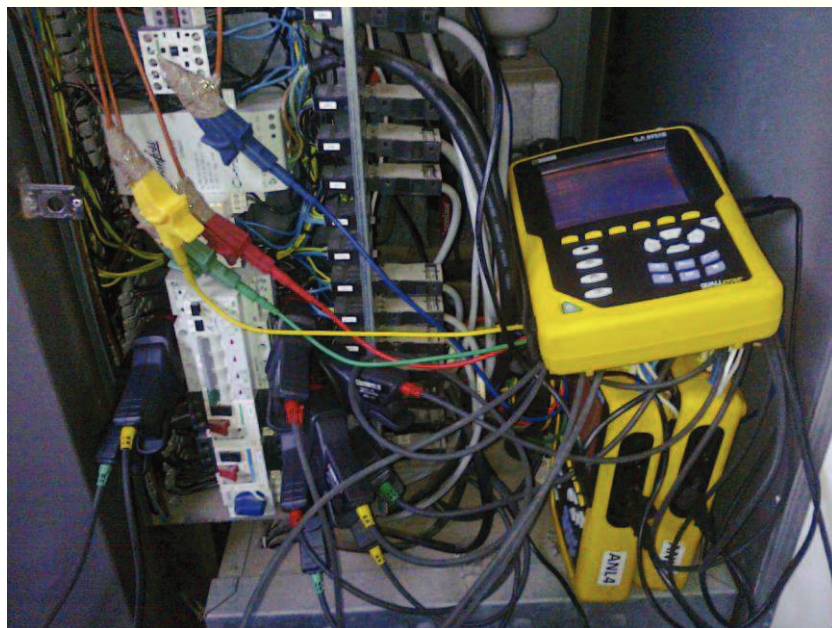


Figura 21 - Analisadores dentro da bomba de calor.

Os pontos escolhidos para colocar estes analisadores foram o quadro geral; a alimentação do compressor da bomba de calor; três resistências elétricas de auxílio à bomba de calor e por último na bomba circuladora exterior, que faz a circulação de água entre o depósito de inércia e o solo e vice-versa.

Os registos dos analisadores deram início no dia 30-11-2012 pelas 11:00h e terminaram por volta das 10:00 do dia 14-12-2012. Os analisadores realizaram uma leitura de potência de 5 em 5 minutos nos quatro locais escolhidos, durante todo o período de análise acima referido, inclusive de noite.

No final do período de leitura os analisadores são recolhidos e descarregados os dados armazenados para ficheiro, com um aspeto similar ao da Figura22.

Trend	BO	Date Started				30-11-2012	Time Started				11:50:00	Date Ended			14-12-2012
Date	Time	W Line1	W Line2	W Line3	W Sum of Phases	W-hours Line1	W-hours Line2	W-hours Line3	W-hours Sum of Phases	Arms Line2	Arms Line3	Arms Neutral			
		W	W	W	W	Wh	Wh	Wh	Wh	A	A	A			
30-11-2012	11:50:00	193,474075	191,035324	196,247467	580,756866	16,12284	15,91961	16,353956	48,396406	1,2	1,2	0,1			
30-11-2012	11:55:00	188,601135	187,279282	197,087845	572,968262	31,839601	31,526217	32,777943	96,143761	1,3	1,2	0,1			
30-11-2012	12:00:00	187,221985	186,230255	196,344589	569,796829	47,441433	47,045405	49,139992	143,62683	1,2	1,2	0,1			
30-11-2012	12:05:00	189,253586	187,692444	195,57045	572,516479	63,212565	62,686442	65,437529	191,336536	1,2	1,2	0,1			
30-11-2012	12:10:00	193,479691	191,586243	194,915573	579,981506	79,335873	78,651962	81,680494	239,668329	1,3	1,2	0			
30-11-2012	12:15:00	194,093002	191,632706	195,063019	580,788727	95,51029	94,621354	97,935745	288,067389	1,3	1,2	0			
30-11-2012	12:20:00	194,400787	191,939957	194,944351	581,285095	111,710355	110,616351	114,181108	336,507814	1,3	1,2	0,1			
30-11-2012	12:25:00	195,059708	191,204391	196,360626	582,624725	127,965331	126,55005	130,544493	385,059874	1,3	1,2	0,1			
30-11-2012	12:30:00	196,369919	190,959229	196,317505	583,646652	144,329491	142,463319	146,904285	433,697095	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	12:35:00	197,098862	190,431931	196,624603	584,155396	160,754396	158,332647	163,289669	482,376712	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	12:40:00	197,145782	190,518707	197,141251	584,80574	177,183211	174,209206	179,718107	531,110523	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	12:45:00	197,453156	191,116043	196,014954	584,584152	193,637641	190,135543	196,052686	579,825869	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	12:50:00	196,482559	192,286972	196,687378	585,456909	210,011187	206,159457	212,443301	628,613945	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	12:55:00	196,578049	192,34024	196,854874	585,773163	226,392691	222,18781	228,847874	677,428375	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	13:00:00	197,261246	191,474518	197,633926	586,36969	242,831128	238,14402	245,317368	726,292516	1,3	1,3	0,1			
30-11-2012	13:05:00	195,783951	192,066422	196,737793	584,588165	259,146458	254,149555	261,712184	775,008197	1,3	1,3	0,1			

Figura 22 - Exemplo de dados obtidos pelos analisadores.

5. Apresentação dos resultados obtidos

Para quantificar os consumos de energia elétrica dos principais constituintes da bomba de calor geotérmica, foi efetuada uma medição dos consumos de energia e potência, permitindo a recolha e análise dos seus respetivos diagramas de carga. Para além das monitorizações individuais, foi feita a monitorização do consumo global da instalação, necessário para análise do seu perfil global de consumo.

5.1 *Análise geral*

Em primeiro lugar apresentam-se três gráficos onde se analisam os consumos ocorridos durante os dias da semana em que a bomba de calor esteve submetida a medições. Os gráficos mencionam o total de energia consumida em quilowatt-hora (kWh), e também, o total de potência consumida em watt (W), respetivamente, do quadro geral, do compressor, da bomba circuladora que faz ligação entre o depósito de inércia e o solo (bomba circuladora exterior), das resistências, dos controladores da máquina e por fim da bomba circuladora, que permite a circulação de água para o interior do edifício (bomba circuladora interior).

A obtenção de dados para os controladores da máquina e para a bomba circuladora interior, resultaram da subtração entre os valores obtidos do quadro geral e a somatória dos valores obtidos do compressor, da bomba circuladora exterior e também das resistências. Quer isto dizer que a energia consumida pela totalidade da instalação é obtida no quadro geral e gerada pelo compressor, bomba circuladora exterior, resistências, controladores da máquina e pela bomba circuladora interior.

O estudo realizado à instalação decorreu entre 30-11-2012 a 14-12-2012, mas as medições recolhidas no dia 30 e dia 14, nomeadamente início e fim, não têm 24 horas de funcionamento, pelo qual não consta no gráfico abaixo representado.

Para uma apreciação geral e desagregada dos consumos energéticos de todos os componentes constituintes da bomba de calor geotérmica criou-se o gráfico seguinte, Figura 23.

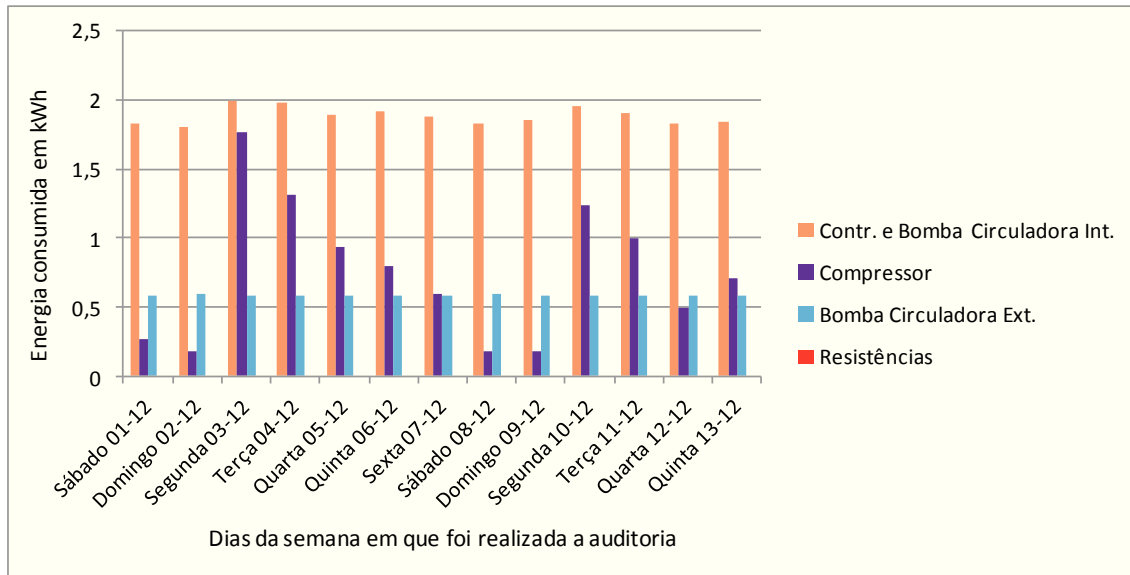


Figura 23 - Gráfico geral da energia consumida pelos componentes.

Analisando o gráfico acima representado na figura, deparamos de imediato com algumas tendências nos valores obtidos. Uma dessas tendências é a da bomba circuladora exterior, onde se nota um consumo constante. Esta tem o objetivo de fazer circular a água entre o depósito de inércia e o solo, para realizar a troca de calor. Os valores obtidos pelos controladores da máquina e a bomba circuladora interior, também são sensivelmente constantes e curiosamente os valores mais altos de todo o sistema. No que diz respeito à bomba circuladora interior o seu objetivo é fazer circular a água entre a bomba de calor e todos os ventiloconvectores espalhados pelo edifício.

Durante a auditoria as resistências nunca revelaram qualquer participação no funcionamento da bomba de calor, sendo que por isso os seus valores são nulos. As mesmas servem de auxílio à bomba de calor quando esta não atinge uma temperatura ideal de permuta com o depósito de inércia.

No compressor os valores não são constantes e nem poderiam ser, visto que o compressor é acionado tantas vezes quanto as necessidades térmicas no interior do edifício o exigem. É

claramente visível o decréscimo da utilização do compressor entre segunda-feira e a sexta-feira. No sábado e no domingo as necessidades ainda são menores, pois o edifício não se encontra em pleno funcionamento.

A temperatura exterior varia de dia para dia sem que se possa contrariar isso e é nas temperaturas extremas de frio e de calor que um bom isolamento do edifício evita maiores gastos de energia. No gráfico da Figura 24, apresentam-se os valores totais de consumo de energia, obtidos a partir do quadro geral e também as temperaturas máximas atingidas nesses dias.

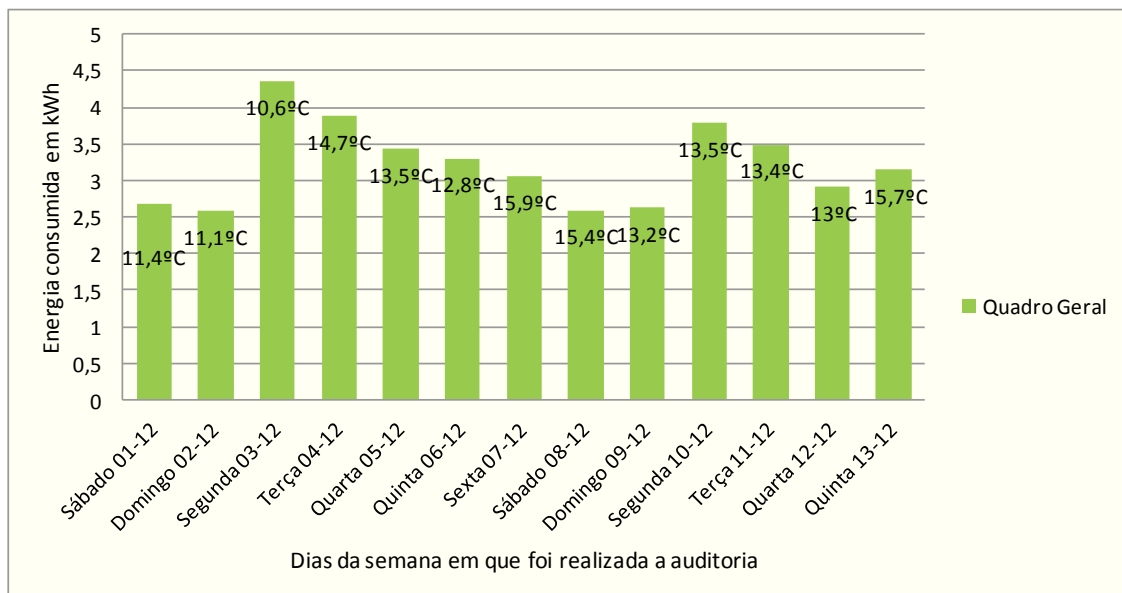


Figura 24 - Gráfico geral da energia consumida pela instalação.

Observando os dias 03-12 e 10-12, vemos que um deles apresenta um maior consumo de energia do que o outro. O porquê disso acontecer não é de fácil exatidão, mas poderá ser devido aos quase três graus de diferença térmica exterior entre os dois dias. É claro que isto não passa de uma suposição, pois o consumo de energia dentro do edifício pode variar dependendo de outros fatores como o número de pessoas no interior do edifício e as necessidades térmicas das mesmas face à temperatura desse dia, entre outros. Outra explicação para o grande consumo destes dias, é o fato de os dias anteriores serem o sábado e domingo, pois o edifício não está tão climatizado como num dia de semana e por sua vez faz com que na segunda-feira a bomba de calor tenha de trabalhar mais que outro

dia qualquer, independentemente da temperatura exterior.

Em seguida apresenta-se um diagrama de carga de todos os constituintes da instalação, Figura 25.

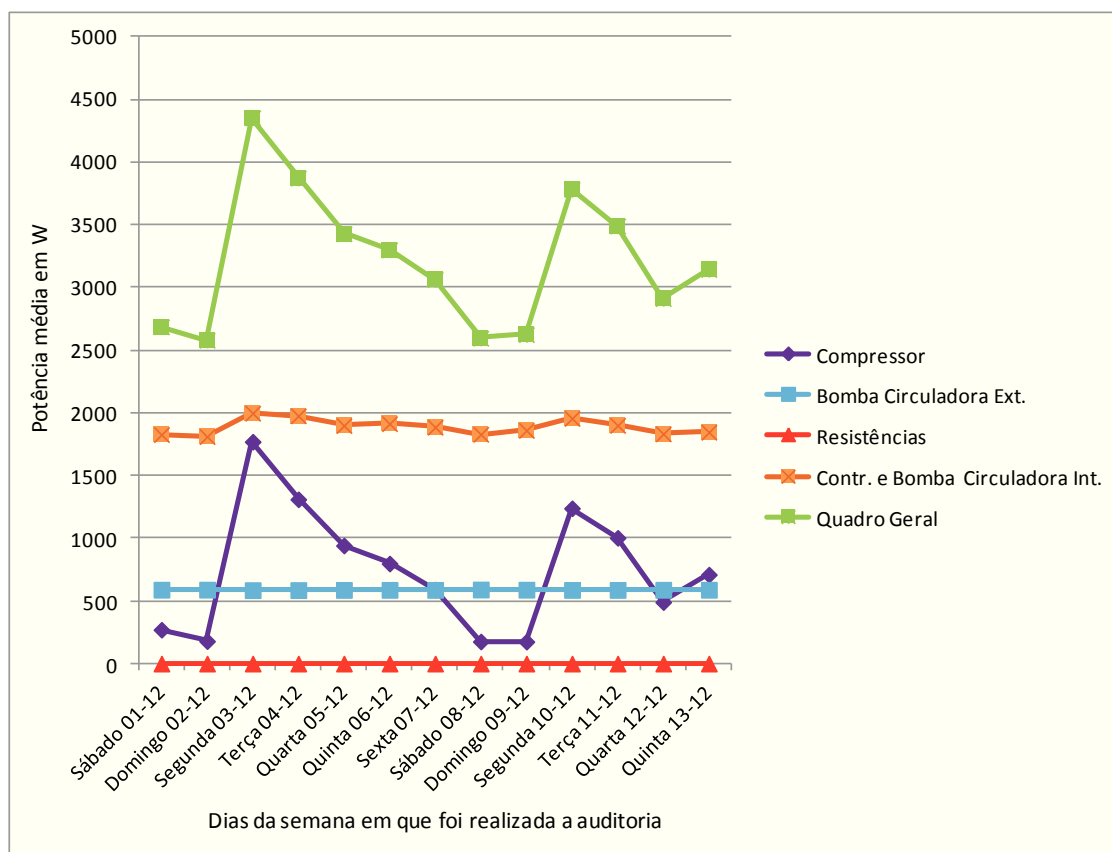


Figura 25 - Diagrama de carga geral.

O dia 03-12, segunda-feira, foi o dia de mais gasto energético de todo o estudo, atingindo os 4.35 kWh de energia consumida pela instalação, também foi um dos dias mais frios, atingindo a temperatura de 10.6°C.

5.2 Análises de alguns dias da semana

Numa próxima análise ser-se-á verificado hora a hora tudo o que se passou nesta segunda-feira, dia 03-12-2013. Este dia foi escolhido por ter sido o mais frio.

O gráfico da Figura 26 representa toda a energia gasta nos principais componentes da instalação da bomba de calor geotérmica de hora a hora num período de 24 horas. Existem dois termómetros na instalação, um no circuito de ida e outro no circuito de retorno de água. Sempre que o termómetro do circuito de vinda atinja uma determinada temperatura definida pelo utilizador, a bomba de calor liga e produz água quente até que o termómetro do circuito de ida atinja uma determinada temperatura definida também pelo utilizador e desligue a máquina.

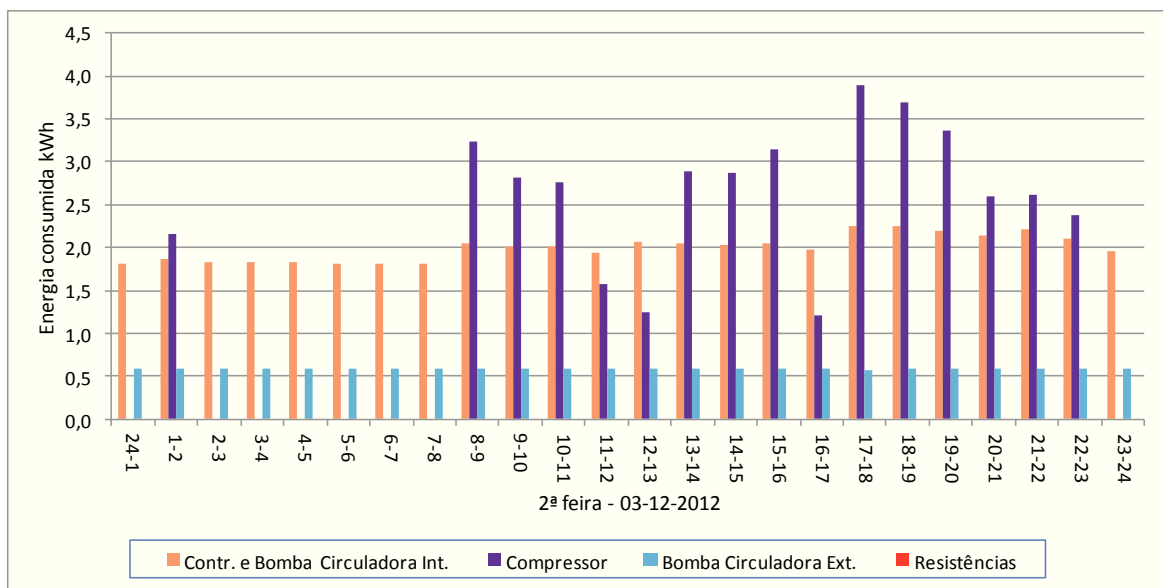


Figura 26 - Gráfico hora a hora do dia 03-12-2012.

Se observarmos os valores para o compressor, reparamos que não trabalhou entre as duas e as oito horas, pode-se concluir que a temperatura dentro do edifício manteve-se seis horas dentro das temperaturas definidas pelo utilizador da bomba de calor geotérmica. Este período de seis horas sem gastos de energia por parte do compressor deve-se ao isolamento do edifício mas principalmente de não haver ninguém durante o período da noite no edifício. Não havendo pessoas também não existe necessidade térmica e daí todos os ventiloconvectores estarem desligados, não libertando o calor do sistema.

Ainda analisando o compressor, nota-se que os picos de consumo decorrem no período das 8 horas e das 18 horas. A temperatura do ambiente exterior deve ser a razão mais provável pela qual os picos mais altos foram detetados pelas 8h e 18h, visto que o edifício de manhã estava frio e ao fim da tarde arrefeceu com o anoitecer, havendo por essas alturas pessoas

possivelmente a ligar os ventiloconvectores. Como referido anteriormente o fato do dia anterior ser domingo faz com que a bomba de calor trabalhe mais no período da manhã.

Em relação aos outros componentes da instalação nota-se que são mais ou menos constantes durante as vinte e quatro horas. A Figura 27 mostra o diagrama de carga referente a este dia.

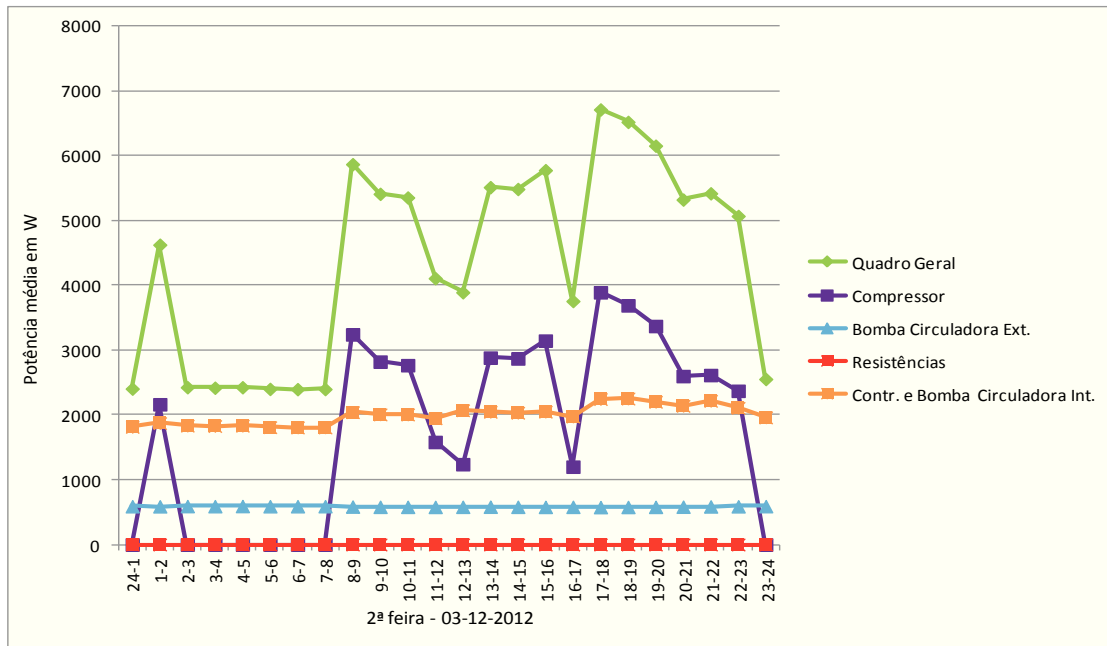


Figura 27 - Diagrama de carga hora a hora do dia 03-12-2012.

Outro aspeto curioso de se analisar é o comportamento da bomba de calor geotérmica num dia em que a escola esteja encerrada, nomeadamente um domingo. O gráfico da Figura 28 apresenta as 24 horas do dia 09-12-2012, onde podemos ver claramente uma enorme descida no consumo de energia.

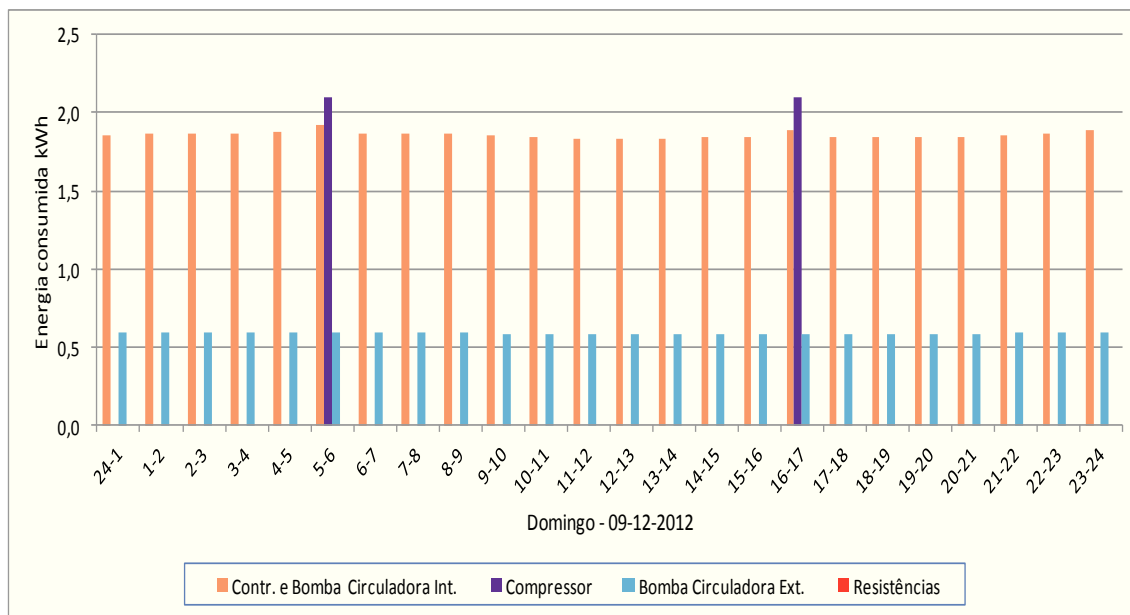


Figura 28 - Gráfico hora a hora do dia 09-12-2012.

Podemos observar que o compressor da bomba de calor esteve em repouso cerca de 10 horas seguidas. Como não havia ventiloconvectores acionados no interior do edifício para extrair o calor dos tubos de aquecimento, o calor é perdido lentamente pelas paredes do edifício. O gráfico da Figura 29 mostra um diagrama de carga referente a este dia.

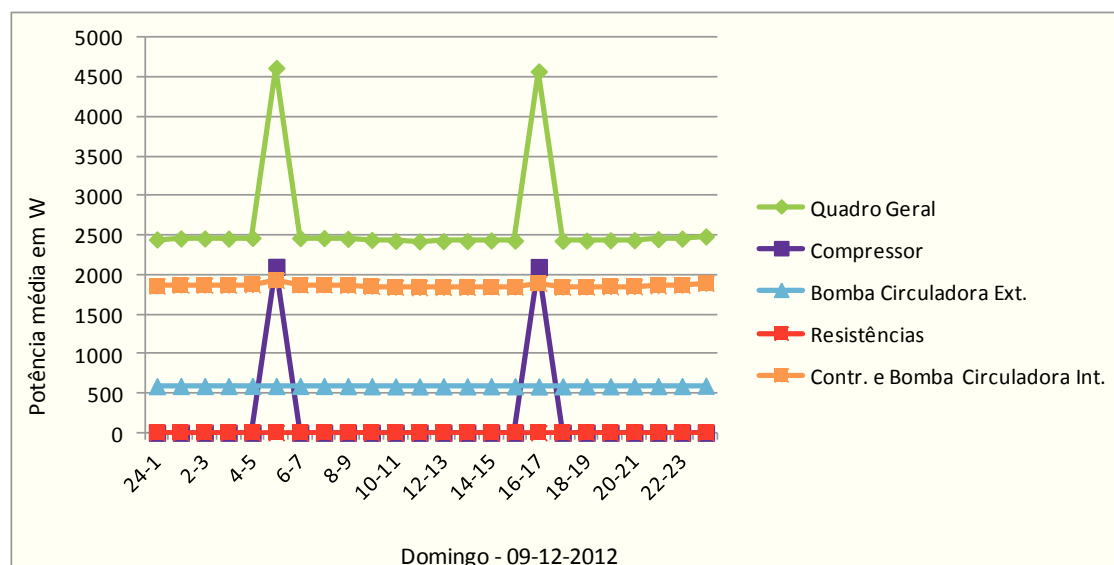


Figura 29 - Diagrama de carga hora a hora do dia 09-12-2012.

Por mais análises que se façam grande parte dos gastos de energia no sistema devem-se às bombas circuladores de água, tanto a exterior como a interior. Estas estão sempre a

trabalhar tornando-se um gasto constante na instalação e de grande preocupação para com a fatura mensal de energia da escola.

Para ter uma noção da importância da temperatura exterior no consumo de energia, criou-se um gráfico onde se representa dois dias da semana equivalentes, neste caso duas sextas-feiras, só que com uma grande diferença nestes dias, nomeadamente a temperatura máxima de cada dia.

Durante a apresentação dos resultados não se incluiu até agora os dados obtidos no primeiro e último dia de medições, isto porque não representavam um dia completo de medições. Para o próximo gráfico utilizou-se as oito horas do primeiro dia nomeadamente o dia 30-11-2012 e outras oito horas do dia 07-12-2012. A necessidade de utilizar o dia 30-11-2012 para estudo é o facto de que nesta sexta-feira a temperatura máxima atingida foi de 10.1°C, ou seja a temperatura mais fria e assim pode-se combinar por coincidência com a sexta-feira de dia 07-12-2012, que apresentou o dia mais quente com 15.9°C, Figura 30.

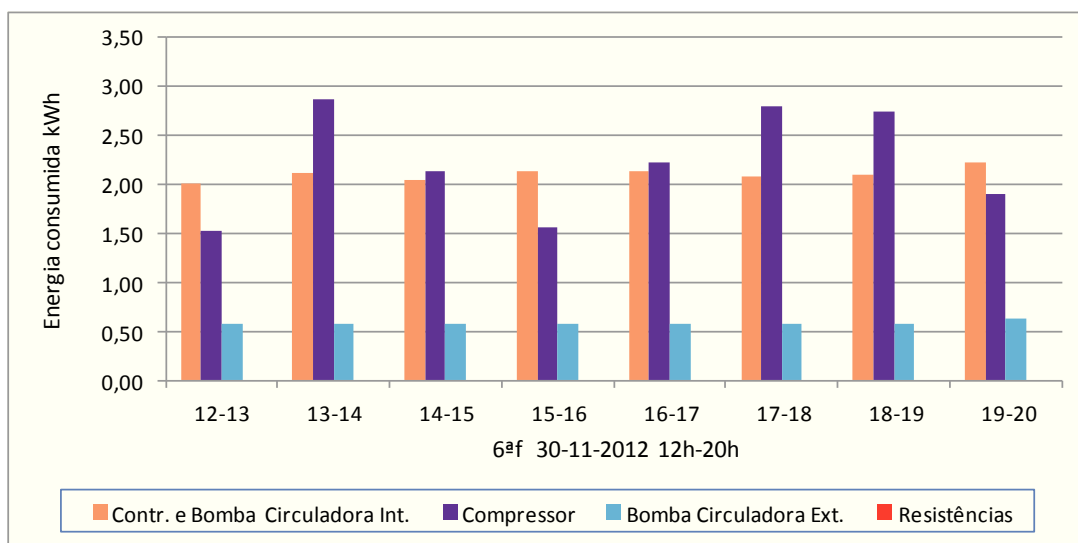


Figura 30 - Gráfico do dia 30-11-2012, 10.1°C.

Em análise ao gráfico apresentado, vemos que na sexta-feira mais fria do estudo, num espaço de tempo entre as 12 horas e as 20 horas o compressor ligou de hora em hora pois as necessidades térmicas dentro do edifício eram muitas.

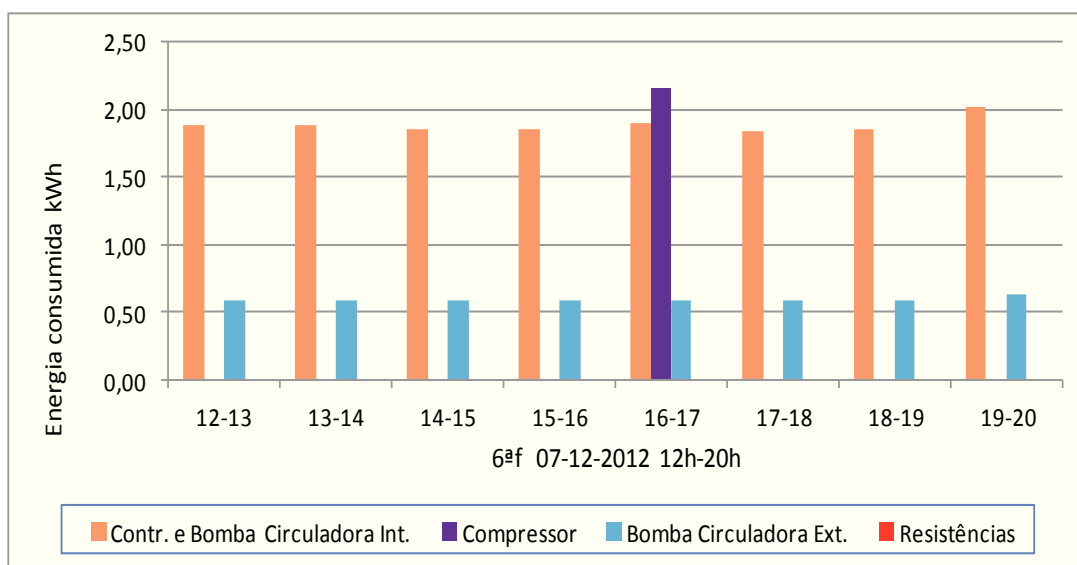


Figura 31 - Gráfico do dia 07-12-2012, 15.9°C.

Em comparação com o gráfico anterior, o gráfico da Figura 31 mostra que a diferença de quase 6°C de temperatura exterior influencia e muito no desempenho da bomba de calor. O consumo energético do compressor foi muito superior.

Após todas estas análises, podemos concluir que as bombas circuladoras, exterior e interior, são as principais responsáveis de um elevado consumo energético na totalidade da instalação. Já esperado era o consumo mínimo no sábado e no domingo e também a consequência do aumento ou diminuição da temperatura ambiente, no consumo de energia da bomba de calor geotérmica.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Conclusão

O presente estudo, incidente na auditoria energética da instalação da bomba de calor geotérmica situada no Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, permitiu aprofundar o conhecimento acerca do seu funcionamento, assim como as potências envolvidas e a energia consumida. Entre os resultados obtidos, poderão reter-se os valores dos custos energéticos durante os dias em estudo da totalidade da instalação, Figura 32.

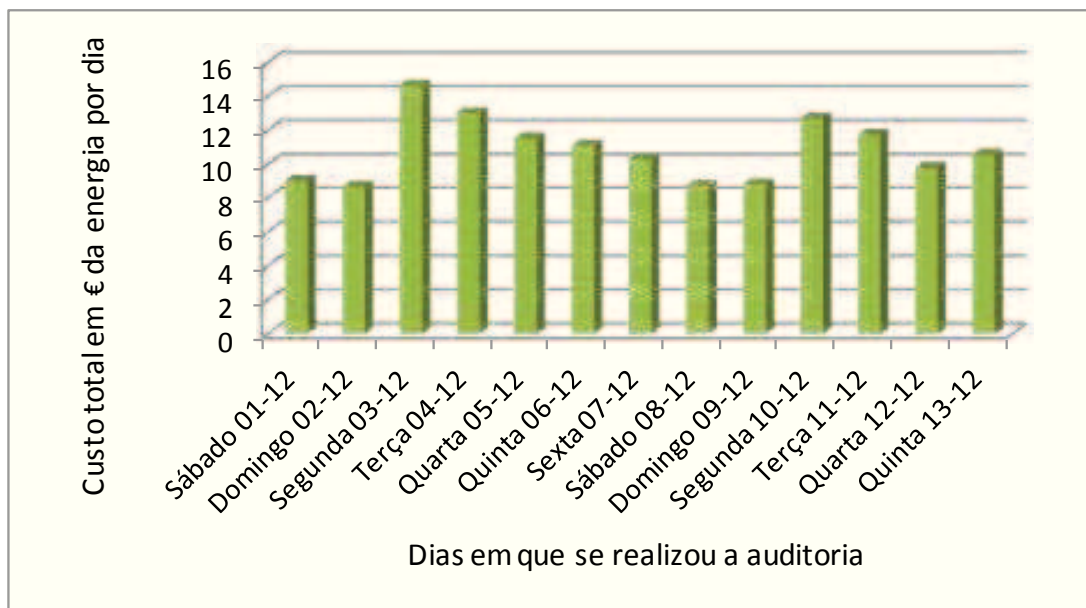


Figura 32 - Custos diários da energia consumida pela instalação.

Conclui-se que a integração da GSHP no edifício é viável, em treze dias efetivos de análise à GSHP, a sua potência média é de 3,22 kW e o total de energia consumida no período foi cerca de 1003.86 kWh que se traduz num custo de 140.54€ com base uma tarifa de 0.14€ por kWh, ou seja um consumo diário médio de 77.22 kWh/dia e um custo diário médio de 10.81€/dia.

Dado que a partir da distribuição dos gastos de energia se constata que ambas as bombas circuladoras funcionam em contínuo e têm um peso muito grande no consumo de energia, para que exista maior racionalização na sua utilização devem ficar desligadas nos períodos noturnos. Dos dados obtidos, e se ambas as bombas circuladoras ficassem desligadas no período entre as 01h e as 07h, durante todo o período em estudo representar-se-ia uma poupança de energia total de 225.24 kWh, 53.54 kWh referente à bomba circuladora exterior e 171.70 kWh referente à bomba circuladora interior, representando uma poupança na fatura a pagar de 31.53€.

A GSHP típica com permutadores de calor no solo verticais exigem atualmente para cada kWh de aquecimento ou arrefecimento a saída de 0,22-0,35 kWh de eletricidade para o compressor. Sabendo isto, podemos comparar com a instalação em estudo. Não tendo permutadores de calor no solo verticais, mas sim horizontais, o seu compressor consumiu cerca de 0.74 kWh de eletricidade, cerca de 50% mais do que o sistema com permutadores de calor no solo verticais.

Numa perspetiva de desenvolvimento futuro, mantendo toda a configuração da GSHP existente, a prioridade de gestão de energia da bomba de calor deverá ser em redor de um rigoroso controlo no funcionamento das bombas circuladoras, principal causa de gasto energético.

Referências Bibliográficas

- [1] Francisco Martínez, Eloy Gómez - Bombas de calor y energías renovables en edificios - Thomson editores Spain, 2005.
- [2] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho - relativa ao desempenho energético dos edifícios - de 19 de maio de 2010.
- [3] Rita Ascenso - Aquecimento: Uma viragem no mercado - Portugal, 2009.
- [4] John Lund, Derek Freeston, Tonya Boyd - Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review - Bali, Indonesia, 2010.
- [5] J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström - Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps a World Overview, 2004.
- [6] Lourenço, Carla; Cruz, José – Aproveitamento geotérmico em Portugal Continental – Ponta Delgada, 26 a 29 de maio de 2005.
- [7] www.aquecimentovillasol.com, acessado em outubro de 2013.
- [8] www.picstopin.com, acessado em outubro de 2013.
- [9] Bombas de calor - Disponível em: www.qzero.pt, acessado em outubro de 2013.
- [10] Aerotermia - Disponível em: www.calordaterra.com, acessado em outubro de 2013.
- [11] Bomba de calor geotérmica, fabricante – Disponível em: www.lampoassa.fi/en, acessado em novembro de 2013.
- [12] Instrumento de medição - Disponível em: www.usinenouvelle.com, acessado em julho de 2013.
- [13] Como funcionam as bombas calor geotérmicas - Disponível em: www.portal-energia.com