

CONTEXTO ATUAL DO DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES DE GEOTERMIA SUPERFICIAL EM PORTUGAL

Current state of development of shallow geothermal solutions in Portugal

João S. Figueira^a, Rita Cerdeira^a, Pedro Madureira^a, Luís Coelho^b

^a Geogradiente & Synege, Lda, Núcleo Empresarial de Venda do Pinheiro - Zona Norte, Rua C - Pavilhão 60, 2665 – 601 Venda do Pinheiro, Portugal.

^b MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS, Estefanilha, 2910-761, Setúbal, Portugal.

RESUMO – Existe uma diferença significativa no desenvolvimento de soluções de exploração de geotermia superficial, quando comparamos Portugal a outros países europeus onde esta tecnologia já conta com um desenvolvimento significativo. Apesar disso, tem-se verificado uma mobilização maior neste sentido e já existe alguma experiência no desenvolvimento destas soluções e casos de sucesso. O desenvolvimento sustentável da implementação desta tecnologia é de elevada importância para se garantir instalações de qualidade e criar um impacto positivo nos setores da energia e climatização em Portugal. Nesse sentido, faz-se uma análise ao contexto atual de gestão e desenvolvimento deste tipo de sistemas em Portugal, incluindo vários domínios, nomeadamente, enquadramento legal; sistema de gestão dos recursos; formação e certificação; ferramentas de apoio ao projeto; políticas de incentivo à implementação; entre outros. São referidos alguns casos de sucesso que representam marcos no desenvolvimento destes sistemas em Portugal. Por fim, identificam-se ainda alguns pontos chave para que se prossiga com o desenvolvimento sustentável desta tecnologia. A ausência de regulamentação e legislação adequada para a utilização destes recursos geotérmicos limitam o avanço do mercado da geotermia superficial, levando à falta de incentivos fiscais, financeiros e políticos.

ABSTRACT – There is a significant difference in the development of shallow geothermal energy solutions, when we compare Portugal to other European countries where this technology has already seen significant development. Despite this, there has been greater mobilization in this regard and there is already some experience in developing these solutions and successful cases. The sustainable development of this technology's implementation is of great importance to guarantee installations of quality and create a positive impact on the energy and heating and cooling sectors in Portugal. In this sense, an analysis is made of the current context of governance and development of this type of systems in Portugal, including several areas, namely, legal framework; resource management system; training and certification; project support tools; implementation incentive policies; among others. Some success cases are cited that represent milestones in the development of these systems in Portugal. Finally, some key points are still identified to proceed with the sustainable development of this technology. The absence of adequate regulation and legislation for the use of geothermal resources limits market development, leading to a lack of fiscal, financial and political incentives.

Palavras Chave – geotermia superficial, climatização renovável, desenvolvimento sustentável, eficiência energética.

Keywords – shallow geothermal energy, renewable heating and cooling, sustainable development, energy efficiency.

E-mails: jfigueira@syenge.pt (J. Figueira), cerdeira@syenge.pt (R. Cerdeira), pmadureira@syenge.pt (P. Madureira), luis.coelho@estsetubal.ips.pt (L. Coelho)

ORCID: orcid.org/0000-0002-0883-5833 (J. Figueira), orcid.org/0000-0002-6267-2414 (L. Coelho)

1 – INTRODUÇÃO

Segundo a Diretiva (EU) 2018/2001 de 11 de dezembro de 2018 (reformulação), define-se energia geotérmica como “a energia armazenada sob a forma de calor debaixo da superfície sólida da Terra”. Este calor pode ser utilizado e explorado como fonte energética. A energia geotérmica está normalmente associada a fenómenos naturais de altas temperaturas no subsolo que permitem o aproveitamento energético para a produção de eletricidade, ou para a utilização direta de calor das denominadas águas minerais naturais. No entanto, não é necessária a existência de altas temperaturas no subsolo para o aproveitamento desta forma de energia.

Uma definição possível e simplista divide os sistemas em alta entalpia (alta temperatura) ou baixa entalpia (baixa temperatura) consoante a temperatura do solo recurso geotérmico seja superior ou inferior a 150 °C, respetivamente (Instituto Geológico e Mineiro, 1998). A Geotermia Superficial (GS), de baixa e muito baixa entalpia, não se baseia na alta temperatura que se pode encontrar a grande profundidade ou em anomalias geotérmicas, mas sim na aplicação de tecnologia que permita o aproveitamento do calor, a baixa temperatura, nos cerca de 200 m abaixo da superfície terrestre. A temperatura nesta faixa superficial da crosta terrestre apresenta-se estável a partir de cerca de 10 a 15 metros de profundidade, momento a partir do qual a variação sazonal da temperatura ambiente deixa de ter impacto (Brandl, 2006). A partir dessa profundidade, o regime térmico é definido por um gradiente geotérmico que descreve o aumento da temperatura com a profundidade. Em Portugal continental, foram registados gradientes geotérmicos entre 2,1 e 3,5 °C/100m (Cabeças et al., 2010), que são considerados valores médios (Huenges, 2010) e adequado para a exploração de GS.

A exploração da GS baseia-se nas características térmicas das formações geológicas e corpos de água pertencentes à camada mais superficial da crosta terrestre. Pela elevada inércia térmica e temperatura relativamente constante, estas formações e corpos de água servem como fonte térmica para sistemas de climatização (aquecimento e arrefecimento) e aprovisionamento de Águas Quentes Sanitárias (AQS), geralmente com recurso a bombas de calor. Desta forma, o sistema energético funciona através da permuta de energia térmica entre o solo/corpo de água e o interior do ambiente construído.

Estas soluções baseadas em geotermia superficial constituem uma alternativa de elevada eficiência energética, renovável, endógena, segura, sem impacto visual, disponível a qualquer hora e com várias hipóteses de integração em sistemas multivalentes. Por estas razões, a exploração de geotermia superficial deve ser vista como alternativa às soluções convencionais de climatização, havendo um alinhamento com os objetivos atuais de crescente descarbonização das sociedades e do seu desenvolvimento sustentável.

Quando se refere desenvolvimento sustentável das sociedades inclui-se aqui também o desenvolvimento sustentável da tecnologia e da exploração da GS para benefício de todos. O desenvolvimento sustentável de soluções de GS em Portugal depende de uma gestão e resposta coerente e transversal a vários níveis. Sendo que servirá para garantir instalações de qualidade e, a médio prazo, criar um impacto positivo no setor da climatização em Portugal, contribuindo para a melhoria da eficiência energética e aumento da componente renovável no abastecimento destes sistemas. Em Portugal, a componente renovável no fornecimento de serviços relacionados com o aquecimento e arrefecimento representaram 32,5% e 41,6% em 2004 e 2019, respetivamente (Eurostat, 2022).

O presente artigo pretende fazer um ponto de situação sobre o desenvolvimento de soluções de exploração de GS em Portugal com o objetivo de se analisar o estado atual do mercado e estado de arte. A análise inclui o enquadramento legal da tecnologia, referindo ainda ferramentas e entidades de suporte para o desenvolvimento de projetos de GS. Por fim, é feita uma análise ao panorama atual de instalações que representam casos de sucesso portugueses e alguns projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) que representam marcos no desenvolvimento deste tipo de sistemas em Portugal. Identificam-se ainda alguns pontos chave para que se prossiga com o desenvolvimento sustentável desta tecnologia em Portugal.

2 – DESENVOLVIMENTO TÍPICO DE SOLUÇÕES DE GEOTERMIA SUPERFICIAL

2.1 – Conceito geral

Para o desenvolvimento sustentável da tecnologia, é reconhecido, tanto pela academia como pela indústria, que é necessário um guia que detalhe o projeto típico de sistemas de geotermia superficial, desde o processo de conceção, passando pela instalação, até às fases de manutenção e monitorização. Tal guia é de extrema importância para manter um elevado nível de qualidade de instalação e para melhorar continuamente o conhecimento e o desempenho destes sistemas, protegendo o ambiente e garantindo que os procedimentos recomendados sejam seguidos. Adicionalmente, este guia também ajuda na definição dos objetivos, responsabilidades e níveis de conhecimento de cada equipa envolvida no projeto. O desenvolvimento deste guia prende-se a um conjunto de diferentes desafios técnicos, políticos, sociais e ambientais. Tal guia ainda não existe em Portugal, mas existem alguns regulamentos nacionais de outros países da EU e documentos de suporte de algumas entidades europeias (ver 4.3 –). Apesar de já haver algumas abordagens propostas para o desenvolvimento deste tipo de sistemas, não existe uma abordagem unificada, mas todas elas se traduzem na consideração de três aspetos. O processo de conceção envolve, então (Figueira, 2023): a capacidade da fonte térmica, os requisitos do(s) edifício(s) e as características dos equipamentos (Figura 1).

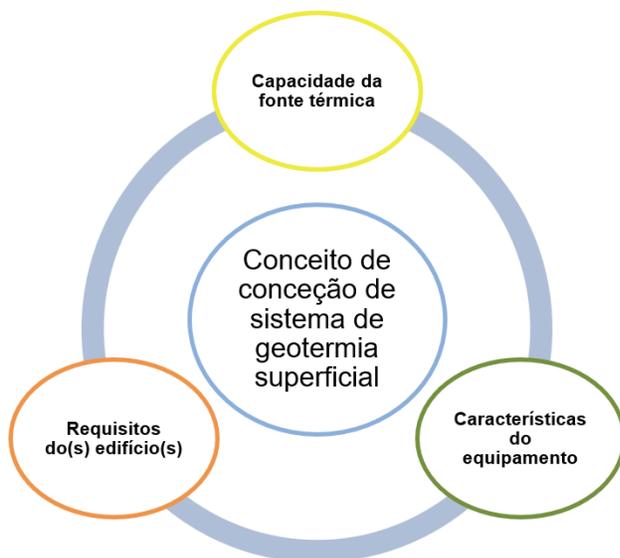


Fig. 1 – Conceito de conceção de sistemas de geotermia superficial.

O equilíbrio destes três aspetos é a base para o processo de conceção de um sistema de geotermia superficial. A capacidade da fonte está relacionada com a capacidade do solo ou água, superficial ou subterrânea, de atuar como fonte/dissipador de calor para o sistema de energia térmica, sendo esta específica do local devido à heterogeneidade da fonte em questão e às condições geológicas. A capacidade da fonte é uma das principais questões relativas à adequação da solução para fornecer energia térmica ao edifício, especialmente quando o espaço e o orçamento são limitados. Neste processo também é crucial definir o tipo e configuração do sistema a ser instalado, consoante o contexto geológico e hidrogeológico (cf. Seções 2.3.1 e 2.3.2).

Os requisitos térmicos do(s) edifício(s) são os principais impulsionadores da necessidade de tal sistema. Para a conceção do sistema é necessário ter o perfil das necessidades de climatização ao longo do ano, pois isso terá implicações diretas no funcionamento do sistema e identificar se existem algumas oportunidades para aumentar a eficiência energética global do sistema, como, por exemplo, aproveitando o armazenamento térmico sazonal destes sistemas. Uma abordagem centrada nos requisitos do edifício pode levar a uma solução de projeto com algumas consequências operacionais importantes que podem prejudicar a operação do sistema a longo prazo. Como, por exemplo, uma exploração com desequilíbrio de cargas térmicas e consequente perda de eficiência, caso não se respeite a capacidade natural de regeneração da fonte térmica.

Quanto às características dos equipamentos utilizados nos circuitos do sistema, esta questão é crucial para fazer a correta integração entre a fonte e o recetor/consumidor da energia térmica. A seleção do equipamento utilizado na solução de projeto tem inúmeras consequências em vários aspetos do sistema energético. Por exemplo, a potência das bombas de circulação e os respetivos caudais impulsionados, terão um impacto direto na velocidade do fluido de transferência de calor, tendo, portanto, um impacto direto na taxa de transferência de calor entre o circuito térmico e a fonte/dissipador de calor. Por outro lado, também terá influência direta no consumo de eletricidade e, consequentemente, na eficiência energética do sistema.

Dito isto, a conceção de projetos de sistemas de geotermia superficial envolve uma solução técnica de fornecimento das necessidades energéticas do(s) edifício(s), ou apenas em parte, em conjugação com a capacidade da fonte geotérmica e as suas características, compatibilizada com os equipamentos mecânicos que constituem o sistema energético. Esta solução ainda poderá considerar outras questões importantes relativas a legislação em vigor, eventuais incentivos, hibridização do sistema energético, condicionalismos de espaço (em área e/ou em profundidade), proteção de valores ambientais, entre outros.

2.2 – Infraestrutura geotérmica

Os sistemas de exploração de GS podem ser vistos como uma agregação da infraestrutura geotérmica, estrutura necessária para o acesso à fonte térmica, e o sistema energético, sistema de permuta térmica entre a fonte e a estrutura a climatizar e a fornecer AQS. Geralmente, no desenvolvimento deste tipo de projetos não existe uma clara diferença entre ambos. Naturalmente, o sistema energético baseado em GS não funciona sem acesso à fonte, no entanto a infraestrutura geotérmica pode ser utilizada para muitos objetivos e apresenta características diferentes quando nos focamos no sistema energético de GS.

Existem vários tipos de infraestrutura geotérmica, dependente ainda do tipo de fonte térmica. No caso de ser utilizado um corpo de água como fonte térmica, terá de ser uma infraestrutura que permita o acesso à água. Este acesso pode ser feito através de poços de captação de água subterrânea e, eventualmente, de reinjeção dessa água, ou de captação e reinjeção de água superficial. Na Figura 2 apresenta-se a cabeça da captação, executada em 2024, nas Caldas de Fonte Santa, em Manteigas, com o intuito de se começar a explorar o recurso para climatização e produção de AQS, através de uso direto do recurso geotérmico, neste caso recurso geotérmico qualificado (cf. Seção 3.).

No caso de ser considerado o solo como fonte térmica, a infraestrutura que permite o acesso e a permuta térmica pode ser constituída por poços, cestos ou trincheiras geotérmicas. A infraestrutura geotérmica pode ser ainda incluída em elementos estruturais em contato com o solo, nomeadamente, fundações profundas (estacas), paredes e lajes enterradas, tuneis, entre outros. A este tipo de infraestrutura geotérmica dá-se o nome de estruturas termoativas, ou neste caso geoestruturas termoativas. Na Figura 3 pode-se ver os furos geotérmicos já executados na base de fundo de escavação de um edifício de escritórios, propriedade da Fidelidade Property Europe em Lisboa.



Fig. 2 – Nova captação nas Caldas de Fonte Santa, Manteigas.



Fig. 3 – Furos geotérmicos já executados na base do fundo de escavação de um edifício de escritórios em Lisboa.

Tendo em conta os tipos de infraestrutura geotérmica, estes apresentam características que devem ser diferenciadas do sistema energético, nomeadamente:

- Tempo de vida útil: pelas características da infraestrutura geotérmica, esta consegue apresentar um tempo de vida útil de até 50 anos (Geotrainet, 2011).
- Acesso: a infraestrutura não é de fácil acesso, naturalmente, e como tal a manutenção (reparação e eventual substituição) é difícil e por vezes impossível. Por outro lado, também

não requer qualquer manutenção. Caso se trate de poços de captação de água, estes permitem e requerem alguma manutenção do estado do furo.

- Economia: O custo de investimento na execução da infraestrutura geotérmica representa o maior custo financeiro na instalação de um sistema de exploração de GS. O retorno deste investimento pode ser interessante, devido à elevada eficiência energética destes sistemas. Em Coelho et al. (2010) são referidos períodos de retorno entre 3 e 10 anos.

2.3 – Desenvolvimento típico do sistema energético

Um sistema energético de climatização e preparação de AQS baseado em permuta térmica com um corpo de água ou com o solo, isto é, baseado em GS, é tipicamente composto por três circuitos (Figura 4) (Banks, 2009):

- Circuito primário: responsável pela captação de água ou permuta térmica com o solo, pode ser materializado num circuito aberto ou fechado, dando origem aos sistemas abertos e fechados baseados em GS, respetivamente.
- Circuito intermédio: circuito fechado interno da bomba de calor geotérmica, caso a exploração da GS se dê de forma indireta.
- Circuito secundário: responsável pela distribuição de calor, ou permuta térmica, pela estrutura a climatizar, podendo ser do tipo fluido-água (através de ventiloconvectores, radiadores ou piso radiante, entre outros) ou fluido-ar (bomba de calor água-ar), e a fornecer AQS.

Em muitos casos, a temperatura dos sistemas de GS não é suficiente para uso direto em climatização (necessário, pelo menos, 35/40°C) ou produção de AQS (60°C, para controlo eficaz contra a legionella). Para contornar esta limitação, são utilizadas bombas de calor geotérmicas, reversíveis, que aumentam ou diminuem a temperatura do sistema, permitindo que se atendam às especificações necessárias dos equipamentos e necessidades de aquecimento/arrefecimento.

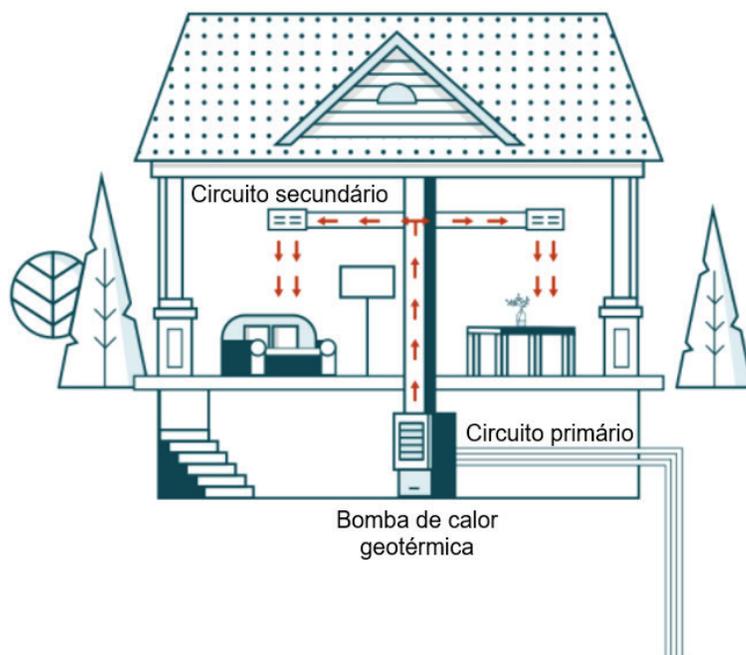


Fig. 4 – Sistema energético baseado em geotermia superficial (adaptado de Dandelion, 2019).

O desenvolvimento típico de um projeto composto por um sistema energético de climatização baseado em GS idealmente segue as seguintes fases:

- Estudo prévio: fase em que se analisa o enquadramento geológico do local em estudo, a viabilidade legal, técnica e económica do sistema, assim como se inclui um pré-dimensionamento do sistema.
- Projeto de execução: fase em que se finaliza o dimensionamento da solução, considerando, no mínimo, 20 anos de operação, detalhando todos os aspetos relacionados com o sistema a instalar – localização de furos e tubagens, equipamentos, entre outros, incluindo estudos de desempenho do sistema e recomendações para a instalação e operação. É nesta fase que se efetuam testes à capacidade da fonte térmica (testes de resposta térmica e/ou ensaios de caudal), para otimizar o projeto e adequar os métodos de perfuração com dados *in situ*.
- Construção: fase de construção/instalação do sistema energético, idealmente, com supervisão do projetista.
- Operação: iniciada pela fase inicial de testes, a operação do sistema requer, geralmente, pouca manutenção para além da definição de procedimentos operacionais e de controlo do sistema, acompanhado pela monitorização das temperaturas nas várias componentes do sistema.

De seguida pormenoriza-se o desenvolvimento típico de projeto de sistemas abertos e fechados.

2.3.1 – *Sistemas abertos*

Os sistemas abertos, ou de circuito aberto, são caracterizados pela utilização direta de um fluido transportador de calor, captado por advecção, presente no local para a permuta térmica, que pode ser devolvido ao mesmo ou outro corpo de água (Figura 5). Estes sistemas fazem normalmente uso de águas subterrâneas pouco profundas ou superficiais para extrair ou rejeitar calor, dependendo do propósito. Naturalmente, este tipo de sistemas está limitado às localizações próximas de corpos de água, subterrâneos e/ou superficiais.

Neste tipo de sistemas torna-se essencial conhecer o modelo geológico e caracterizar a capacidade da fonte, o quimismo das águas, os parâmetros hidráulicos e hidrogeológicos do aquífero/corpo de água a explorar, por forma a evitar a exaustão do sistema, problemas de corrosão nas tubagens, entre outros. Usualmente, é necessário um ensaio de caudal de forma que se definam os caudais máximos de extração sustentável, sem comprometer o recurso. É importante ainda definir a forma de restituição do recurso, após permuta térmica, e estudar o impacto térmico na zona de restituição, possíveis alterações no meio, entre outros fatores. Tratam-se, em regra, de sistemas que exigem manutenção e monitorização rigorosa.

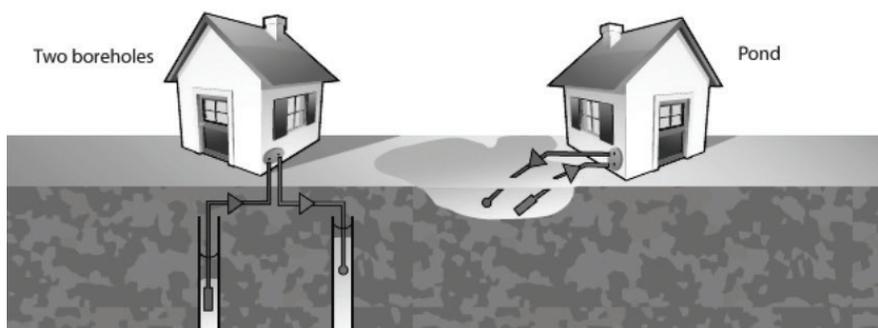


Fig. 5 – Tipos de infraestrutura geotérmica para sistemas abertos baseados em corpos de água subterrâneos (esquerda) e superficiais (direita) (Manzella, 2017).

Uma vez já construída a infraestrutura geotérmica, o sistema energético requer a conexão desta à sala técnica através de circuito de tubagem enterrada na horizontal. Na sala técnica, o recurso é então explorado através da permuta térmica de forma direta, através de permutadores para o sistema de distribuição (circuito secundário), ou de forma indireta, através da bomba de calor. A escolha do sistema de distribuição de calor depende da temperatura do recurso, forma direta se é suficiente para o funcionamento do sistema de distribuição no interior da estrutura a climatizar (tipicamente 35/40°C para pisos radiantes e ventiloconvetores), caso contrário é necessário a bomba de calor para elevar e/ou diminuir a temperatura, de acordo com as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento, respetivamente.

2.3.2 – Sistemas fechados

Os sistemas fechados, ou de circuito fechado, são caracterizados pela permuta térmica com o recurso diretamente na fonte. Isto é, o circuito primário é composto por um circuito fechado de tubagem, enterrado, onde circula um fluido transportador de calor, geralmente água com anticongelante (Figura 6). Neste caso, o recurso geotérmico considerado são as formações geológicas superficiais que armazenam energia térmica, havendo então uma permuta térmica entre elas e o sistema energético. No modo de aquecimento, o circuito primário terá a função de transferir calor vindo do solo e assim alimentar o sistema. Já no modo de arrefecimento, o circuito primário funciona por forma a transferir energia térmica para o solo para promover o arrefecimento da estrutura a climatizar. Deste modo, o sistema pode funcionar para ambos os propósitos e, teoricamente, pode ser instalado em qualquer zona com acesso à crosta terrestre. Na Figura 6 são apresentados os vários tipos de infraestrutura geotérmica para sistemas fechados, sendo que o mais comumente utilizado é o sistema vertical (Lund, 2001), composto por furos geotérmicos.

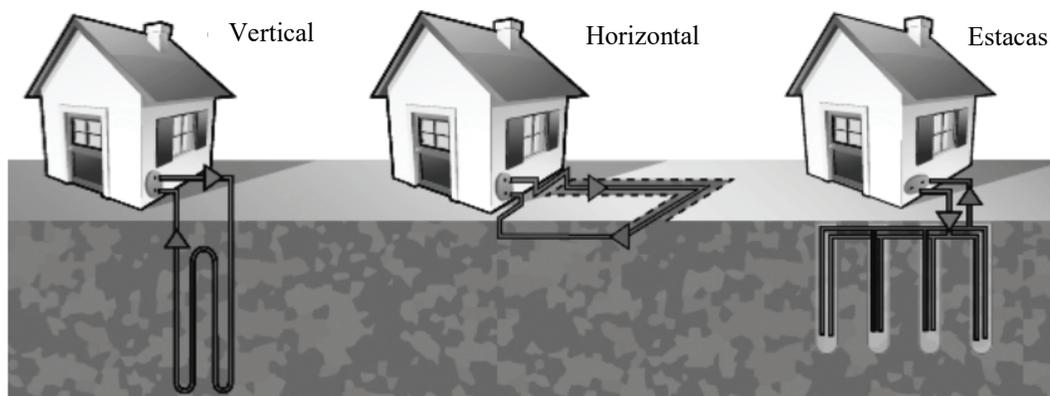


Fig. 6 – Tipos de infraestrutura geotérmica para sistemas fechados: vertical (esquerda), horizontal (ao centro) e estacas termoativas (direita) (Manzella, 2017).

Os furos geotérmicos são feitos com intuito de se criar condições para permuta térmica com o solo, sendo compostos por:

- Sonda geotérmica: circuito de tubagem, normalmente de polietileno, funcionando como um permutador de calor enterrado, que é introduzido dentro do furo geotérmico. Este circuito pode ter diversas configurações: tubo(s) em U, coaxial, em espiral, entre outros.
- Argamassa de enchimento: entre a sonda geotérmica e as paredes do furo, é necessário preencher esse espaço por diversos motivos relacionados com a integridade da sonda, otimização da permuta térmica e evitar a comunicação entre águas de origens diferentes.

Este espaço é geralmente preenchido por argamassas de enchimento, idealmente, com condutividade térmica similar à do terreno ou superior.

Entre o estudo prévio e o projeto de execução, é importante fazer uma prospeção específica para se conseguir quantificar as características térmicas do solo e otimizar o projeto com dados reais do terreno (Figueira e Vieira, 2016). Nesse sentido, é recorrente a execução de Testes de Resposta Térmica (TRT). O TRT é utilizado para medir a resposta térmica de um furo geotérmico durante a injeção ou extração de calor a uma taxa constante, que é imposta pela circulação do fluido transportador de calor dentro do circuito fechado enterrado, sendo a temperatura do fluido controlada pelo equipamento de aquecimento/arrefecimento. A resposta térmica do furo é obtida medindo a variação da temperatura do fluido entre a entrada do circuito da tubagem e a saída. A resposta térmica medida está relacionada com as características térmicas do solo e do material de enchimento do furo através de um método de interpretação, tipicamente, do modelo da fonte linear infinita (Gehlin, 2002). E assim se consegue obter a temperatura natural do solo, a condutividade efetiva térmica do terreno e a resistência térmica do furo, parâmetros importantes no dimensionamento do sistema energético. Como a execução de um TRT requer a execução de um furo geotérmico piloto, o TRT também serve para analisar o método de perfuração, o rendimento na execução, entre outros parâmetros.

Uma vez já construída a infraestrutura geotérmica, o sistema energético requer a conexão desta à sala técnica através de circuito horizontal de tubagem enterrada. Quando o nº de furos geotérmicos é considerável, é comum utilizar-se caixas coletoras ou de derivação, onde se agrega vários furos e se liga à sala técnica numa tubagem apenas. Na sala técnica, o recurso é então explorado através da permuta térmica, geralmente, de forma indireta, com apoio da bomba de calor. De referir que os vários furos geotérmicos devem respeitar uma distância mínima entre si (geralmente, 5 a 6 metros sem percolação significativa) para não apresentarem interferência.

3 – ENQUADRAMENTO LEGAL

A primeira menção legislativa dos recursos geotérmicos foi no Decreto-lei n.º 560-C/76, de 29 de julho, motivado pelo interesse na produção de eletricidade através dos recursos geotérmicos de alta entalpia dos Açores, num contexto de grande crise energética devido ao mercado do petróleo.

Foi em 1990 a segunda menção dos recursos geotérmicos no quadro legal português, motivada pela diversidade e especificidade das diferentes aplicações da exploração destes recursos e pelo avanço tecnológico, dispostos numa conjuntura legal em conjunto com os restantes recursos geológicos. Consequentemente, o regulamento geral dos recursos geológicos foi estabelecido no Decreto-lei n.º 90/90, de 16 de março, complementado por diplomas específicos para os diferentes recursos geológicos (Figura 7). Os recursos geotérmicos foram incluídos no domínio público dos recursos geológicos e são regulamentados pelo Decreto-lei n.º 87/90, de 16 de março.

O Decreto-Lei n.º 87/90, sendo específico dos recursos geotérmicos, define o processo de acesso ao recurso geotérmico para prospeção, investigação e exploração. O Decreto-Lei define que para se poder aceder aos recursos geotérmicos, ainda não revelados, é necessária uma licença de prospeção e pesquisa. Esta licença pode ser obtida através de concurso público (art. 6.º) ou através de candidatura (art. 42.º), obtendo-se posteriormente o contrato de prospeção e pesquisa (art. 7.º). Uma vez revelado o recurso geotérmico, é necessária uma concessão de exploração para a exploração efetiva. Isto pode ser conseguido no seguimento de um contrato de prospeção e pesquisa (art. 7.º e art. 16.º), através de uma candidatura (art. 17.º) ou de concurso público (art. 19.º). Por fim, é assinado um contrato de concessão (art. 20).

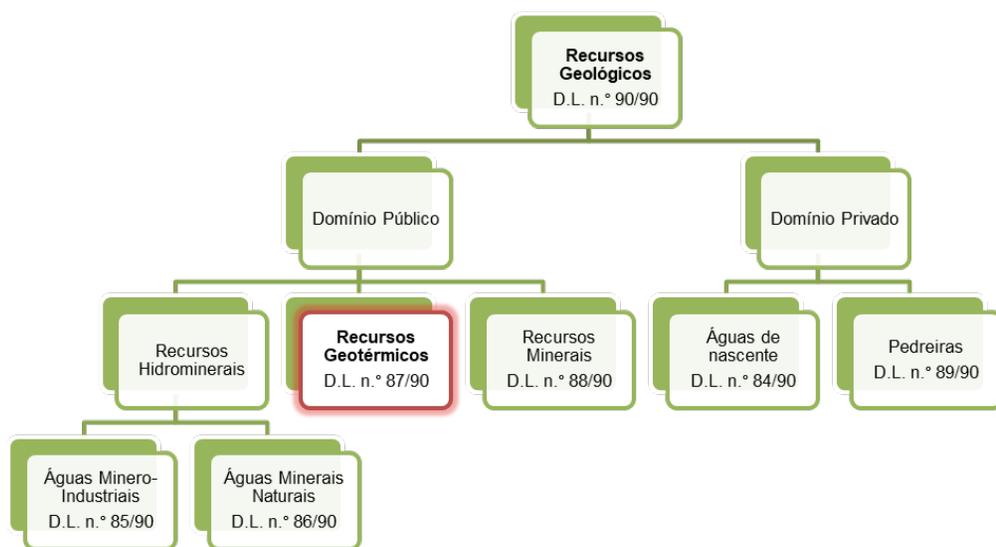


Fig. 7 – Enquadramento legal dos recursos geotérmicos na legislação de 1990.

Mais recentemente, esforços têm sido feitos para se estabelecer uma nova revisão do regulamento geral dos recursos geológicos. Atualmente, o Decreto-Lei n.º 54/2015, de 22 de junho, define as bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional. Nesta lei, os recursos geotérmicos, considerados domínio público, são definidos como sendo “fluidos e formações geológicas do subsolo, cuja temperatura é suscetível de aproveitamento económico”. O diploma complementar relativo aos recursos geotérmicos ainda não foi revisto, sendo que se continua a respeitar o Decreto-Lei n.º 87/90 que aprova o regulamento dos recursos geotérmicos, definindo a sua revelação e aproveitamento.

Da análise dos decretos-lei mencionados, podemos inferir que o regulamento não aborda de forma inequívoca as soluções de geotermia superficial. Portanto, na implementação de um projeto de geotermia superficial, pode não ser explicitamente necessária uma licença de exploração. No entanto, é importante observar que o regulamento exige a qualificação prévia do fluido ou formação geológica como recurso geotérmico. Atualmente existem 66 ocorrências geotérmicas qualificadas como águas minerais naturais, destas apenas 11 são qualificadas como recurso geotérmico (DGEG, s/d).

Vale a pena ressaltar que, embora não exista um regulamento específico para a geotermia superficial dentro dos recursos geotérmicos, outra legislação deve ser considerada. Por exemplo, em soluções de geotermia superficial que envolvam captação de águas subterrâneas ou interfiram com recursos hídricos, é necessário cumprir o Decreto-Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, que trata da gestão das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, pode ser necessário realizar uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para a solução de geotermia superficial a ser implementada (Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro). Quanto à exploração de recursos geotérmicos de baixa entalpia, que não dependem de um corpo de água, não há regulamentação específica, mas existem já casos de sucesso de implementação em Portugal. Atualmente, a permuta energética entre o solo e a infraestrutura não se enquadra nas definições de recurso geotérmico qualificado previstas na legislação em vigor. No entanto, no desenvolvimento do presente trabalho considerou-se como tal, de acordo com o estado da arte.

Não existe regulamentação específica à GS a nível europeu, exceto duas Normas Europeias (EN). A primeira norma EN para sistemas de bombas de calor em geral é de 2007, EN15450

“Sistemas de aquecimento em edifícios – Projeto de sistemas de aquecimento com bombas de calor”. Além disso, existe um regulamento europeu (EN ISO 17628) que determina como um TRT deve ser realizado. Em maio de 2020, foi apresentado um novo projeto de norma, CEN PREN 17522, focado em projeto e construção de furos geotérmicos. Além disso, existem vários relatórios do tipo guia de boas práticas que se destinam a apoiar o desenvolvimento de projetos bem-sucedidos de geotermia superficial. Estes documentos constituem um conjunto de recomendações e, portanto, não são vinculativos. Por exemplo:

- GSHPA Standards (http://www.gshp.org.uk/GSHP_Standards.html)
- Guia de boas práticas da Environmental Agency para sistemas baseados em GS (http://www.gshp.org.uk/pdf/EA_GSHC_Good_Practice_Guide.pdf);
- Relatórios do projeto europeu GEOTRAINET (<http://geotrainet.eu/resources/>).

4 – MERCADO E GOVERNANÇA

4.1 – Considerações iniciais

Em Portugal, os recursos geotérmicos são explorados por diferentes objetivos e por vários sistemas, dependendo da sua temperatura e profundidade. A energia geotérmica tem sido utilizada para a produção de energia elétrica, para climatização e fins recreativos (como banhos, natação e balneoterapia). Os recursos geotérmicos portugueses ocorrem tanto no continente como nos arquipélagos dos Açores e da Madeira (Carvalho et al., 2015). A ocorrência destes recursos depende das condições de geologia e hidrogeologia. Os recursos geotérmicos nos Açores estão intimamente associados à atividade vulcânica, embora em Portugal continental os recursos geotérmicos ocorram devido a falhas ativas e diapirismo (Carvalho et al., 2005). Os recursos geotérmicos portugueses de alta entalpia estão confinados ao arquipélago dos Açores. Mas os recursos geotérmicos de baixa entalpia estão presentes em todo o território continental e insular português e podem ser explorados em todas as partes do país com um gradiente geotérmico médio (Lourenço, 2019). Nesta seção faz-se uma análise do mercado existente de GS em Portugal, assim como das ferramentas de suporte e entidades competentes que fazem parte do processo de desenvolvimento de soluções geotérmicas. Por fim, enumeram-se várias instalações, casos de sucesso, que representaram marcos no desenvolvimento da GS em Portugal, assim como projetos de I&D.

4.2 – Perspetivas de mercado

O setor de aquecimento e arrefecimento ambiente representa uma grande parte do consumo de energia na União Europeia (UE). O consumo para aquecimento ambiente representou 63,8% do consumo final de energia no setor residencial, no ano de 2022, que já é um número considerável. Quando incluímos o arrefecimento ambiente e o aquecimento de água quente sanitária (AQS), a percentagem aumenta para quase 80%. Se considerarmos o caso de Portugal, verificamos que o consumo relativo ao aquecimento ambiente no setor residencial representa 32,2%, juntando o arrefecimento ambiente e AQS, o consumo para estes três propósitos represente quase 50% (Eurostat, 2022). Se considerarmos agora a despesa do setor residencial (Figura 8), a percentagem de despesas relacionadas com a climatização e AQS soma os 25,5%, um valor que poderá estar abaixo da média europeia, devido ao clima mais temperado de Portugal.

Na Figura 9 verifica-se a distribuição do consumo de energia no setor residencial por tipo de utilização e tipo de fonte de energia, notando-se um elevado consumo de eletricidade para iluminação, equipamentos elétricos, cozinha e arrefecimento ambiente, de gás natural e gás de garrafa para AQS e de biomassa para aquecimento ambiente.

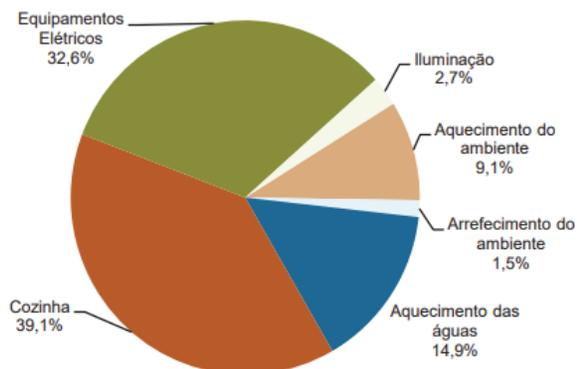


Fig. 8 – Distribuição da despesa com energia no setor residencial por tipo de utilização - Portugal, 2020 (INE et al., 2021).

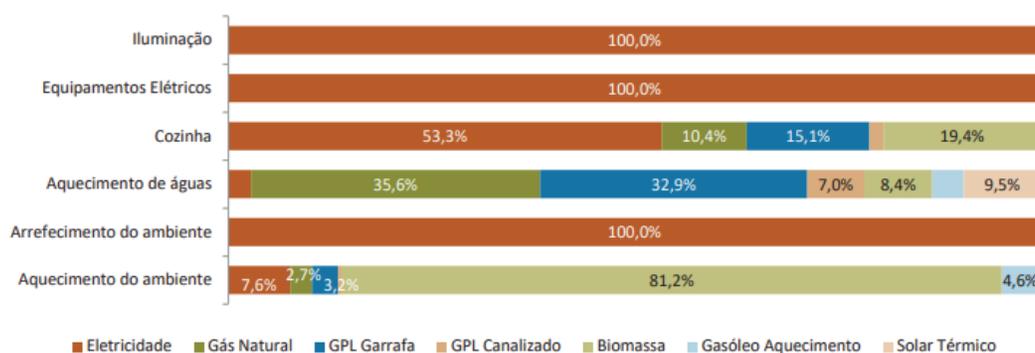


Fig. 9 – Distribuição do consumo de energia no setor residencial por tipo de utilização e tipo de fonte de energia - Portugal, 2020 (INE et al., 2021).

Aproximadamente 80% do consumo de energia para o aquecimento de águas provêm de combustíveis fósseis, o que não está alinhado com a tendência atual de contínua descarbonização. Por outro lado, o arrefecimento do ambiente tem sido providenciado 100% através de eletricidade. Já no aquecimento do ambiente, a biomassa predomina com mais de 80%, sendo o restante uma mistura entre combustíveis fósseis e eletricidade. É de notar que, culturalmente, não existe uma atenção dedicada ao aquecimento do ambiente e que a biomassa tem predominado devido à utilização de lareira e caldeiras a biomassa. A utilização de biomassa requer a queima de material,

Isso destaca a importância de políticas de eficiência energética e do desenvolvimento de tecnologias de energia renovável para reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e minimizar o impacto ambiental. A geotermia superficial é a tecnologia que atualmente se apresenta como a alternativa sustentável que permite satisfazer uma grande parcela das necessidades energéticas neste setor.

De seguida são apresentados alguns dados ao nível do mercado europeu relacionado com a venda de bombas de calor geotérmicas (Figura 10), onde se nota que o mercado português é residual, especialmente, quando comparado com países como a Suécia, Alemanha e Países Baixos. Efetivamente, a diferença é notória e demonstra o nível de desenvolvimento da tecnologia, que em países como os mencionados a exploração da GS é bem mais comum.

Na Figura 11 são apresentadas as perspectivas de mercado de venda de bombas de calor de sistemas hidráulicos (em que o fluido transportador de calor no sistema de distribuição é à base de água). É feita uma comparação da evolução que se prevê de acordo com a tendência atual do mercado e os objetivos definidos no plano REpowerEU, de 2022, da Comissão Europeia, em resposta às dificuldades e perturbações do mercado mundial da energia causadas pela invasão da Ucrânia pela Rússia.

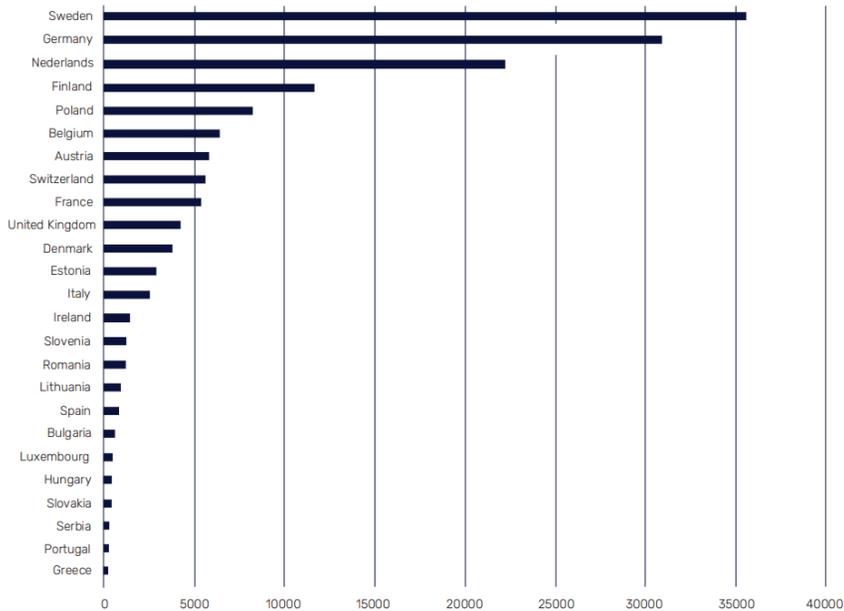


Fig. 10 – Venda de bombas de calor geotérmicas em 2023 (EGEC, 2023).

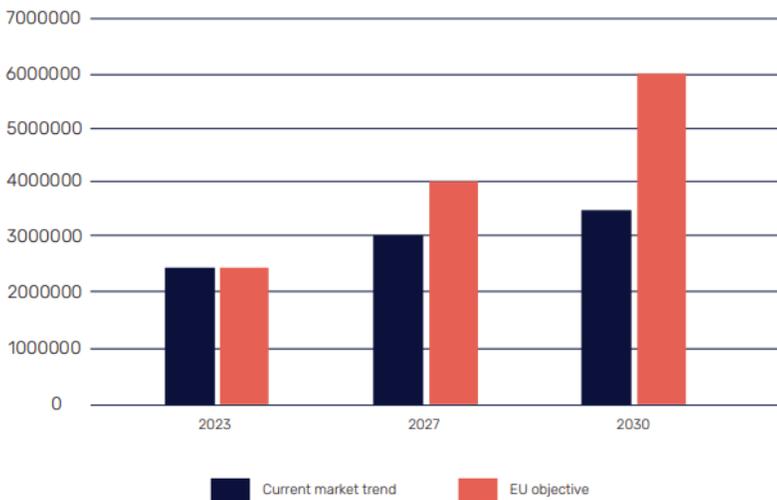


Fig. 11 – Perspetiva de mercado das bombas de calor: o objetivo da UE e a tendência atual do mercado (EGEC, 2023).

4.3 – Ferramentas de Suporte e entidades competentes

O organismo da administração pública portuguesa próprio para “contribuir para a conceção, promoção e avaliação de políticas relacionadas com a energia e os recursos geológicos” é a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Tem como principais responsabilidades contribuir para a definição, promoção e avaliação de políticas energéticas e de prospeção, investigação e exploração de recursos geológicos. Dedicar-se a tornar o quadro legislativo e regulamentar adequado e eficaz, visando a valorização dos recursos e garantindo o abastecimento, a diversificação das fontes de energia, a eficiência energética e a preservação do ambiente (<http://www.dgeg.pt/>).

Recentemente, a DGEG desenvolveu uma estratégia para promover o desenvolvimento da GS e outras utilizações diretas da energia geotérmica. A estratégia pretende catalogar e analisar a situação atual da exploração geotérmica, numa primeira fase. Depois pretende-se dar a conhecer e, criar valor e condições para promover um desenvolvimento sustentável da energia geotérmica. Esta estratégia inclui a minuta de projeto de lei que complementará o Decreto-Lei n. 54/2015 relativa aos recursos geotérmicos. O projeto de lei foi feito de forma a incluir a GS e baseou-se na experiência e conhecimento de diversas organizações técnicas existentes em Portugal. A estratégia adotada incluiu ainda um seminário internacional em 2017, um documento de status quo (DGEG, 2017) e duas campanhas de financiamento: uma para a avaliação do potencial para exploração hidrotérmica e geotérmica de recursos hidrominerais com $T > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SYNEGE e DGEG, 2021), e a segunda para a expansão da exploração geotérmica existente. Adicionalmente, em 2016, os sistemas baseados em GS foram incluídos num curso de certificação técnica nacional para instaladores de sistemas térmicos de energia renovável, no âmbito do catálogo nacional de qualificações da ANQEP (Lourenço, 2019).

Ao contrário de Portugal, alguns Estados-Membros da UE já possuem os seus próprios regulamentos e/ou diretrizes, como a Áustria, Suécia, Alemanha (VDI4640) e França, entre outros. O Reino Unido (diretriz britânica MIS 3005) e a Suíça (norma suíça SIA 384/6) também podem ser mencionados. O mercado tem, naturalmente, utilizado estes regulamentos para o desenvolvimento destes sistemas em Portugal. Para uma análise mais profunda sobre a comparação com outros países europeus, em relação à resposta de governança e gestão destes recursos, consultar Figueira (2023).

Em Portugal, para além da DGEG, existem outras entidades públicas que contribuem para o desenvolvimento sustentável da tecnologia e o estado da arte, como, por exemplo:

- A ADENE, Agência para a Energia, é uma pessoa coletiva de tipo associativo com estatuto de utilidade pública e apoia medidas e projetos centrados na área da energia e gestão hídrica, contribuindo também através de formação certificada e disseminação. Este organismo é responsável pela transferência de conhecimentos nas áreas da certificação energética, eficiência energética e eficiência hídrica.
- O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) é uma instituição de I&D que visa responder às necessidades da sociedade e do setor empresarial nas áreas relacionadas com energia e geologia. No âmbito das suas atividades, o LNEG tem contribuído para a elaboração e atualização contínua do Atlas Geotérmico.
- O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) dedica-se a empreender, coordenar e promover a investigação científica e desenvolvimento tecnológico, visando o aperfeiçoamento e a boa prática na área da engenharia civil. No seu âmbito de prioridades de I&D, o LNEC tem contribuído para o estado da arte da GS em Portugal relacionados com o projeto e exploração de sistemas de GS, procurando compreender o comportamento do solo quando sujeito a alterações térmicas inerentes ao funcionamento do sistema.

O Atlas Geotérmico é uma ferramenta desenvolvida pelo LNEG (<https://geoportal.lneg.pt/>) com o objetivo de concentrar a informação relevante para o desenvolvimento de projetos no âmbito da prospeção, pesquisa e exploração de recursos geotérmicos, nas suas diversas aplicações. Este mapeamento geotérmico é o resultado de um processo contínuo de aquisição e processamento de

dados (geológicos, hidrogeológicos, de temperatura em profundidade, fluxo de calor, entre outros), e inclui informações para projetos de alta, média, baixa e muito baixa entalpia (Ramalho; 2014). Toda esta informação de base é compilada, processada e disponibilizada online e mediante solicitação, facilitando assim todo o processo de estudo, determinação do potencial geotérmico e projeto de instalações geotérmicas (Ramalho et al., 2015).

Para além destas organizações, tem havido contributos muito relevantes na área feitos por algumas universidades portuguesas, nomeadamente, a Universidade de Aveiro, a Universidade da Beira Interior, a Universidade de Coimbra, a Universidade de Lisboa e o Instituto Politécnico de Setúbal.

Por último, importa referir a Plataforma Portuguesa da Geotermia Superficial (PPGS). A sua criação, em 2013, teve como objetivo criar um canal de comunicação entre os vários setores e intervenientes envolvidos no processo de exploração da GS (Ramalho et al., 2014). Esta plataforma foi criada através de uma parceria interinstitucional composta pela DGEG, o LNEG, a ADENE e a Associação Portuguesa de Geólogos (APG - Associação Portuguesa de Geólogos), que neste momento se encontra inativa.

A GS ainda não está incluída nos planos de ação nacionais e regionais a nível do setor energético. É necessário promover o contributo da energia geotérmica para o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) e a nível local e regional, por exemplo, nos Planos de Ação para as Energias Sustentáveis (PAES). De facto, a nova revisão do Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030), aprovado em 2024, continua a ignorar o possível contributo da GS para as metas definidas no setor de aquecimento e arrefecimento, sem qualquer menção à geotermia neste setor. Ainda é referido, erradamente, que as redes térmicas urbanas não são uma boa opção face às condições climáticas de Portugal, pelo que não se perspetivam novos desenvolvimentos na próxima década. De notar que a 5ª geração de redes térmicas urbanas (redes térmicas modernas com temperatura de funcionamento bastante inferior em relação às gerações antecedentes) pode ser baseada em GS, existindo estudos que comprovam a sua viabilidade (Figueira et al., 2024) e, como exemplo, o Ombria resort serve de marco no desenvolvimento de redes térmicas urbanas em Portugal. No PNEC 2030 apenas é incluída a menção de geotermia de profundidade para produção de eletricidade.

Ao nível da formação e certificação de qualidade, Portugal não dispõe de qualquer sistema de certificação específico para a GS e, para além do curso de técnico instalador (que atualmente é oferecido apenas a jovens sem formação universitária), não existe qualquer outra formação específica.

A natureza desta tecnologia pode aproveitar de incentivos que promovam a utilização de energias renováveis, a eficiência energética, a independência energética, a redução das emissões de CO₂ e a mitigação das alterações climáticas, entre outros. Nenhuma campanha de incentivo específico à instalação de sistemas de exploração de GS foi adotada até então.

4.4 – Estado da arte em Portugal

Atualmente, na prática, apenas ocorrências de águas minerais naturais com temperatura superior a 20°C que sejam utilizadas para fins relacionados com climatização, AQS e aquecimento de piscinas, é que podem ser qualificadas como recurso geotérmico de baixa entalpia. Na Figura 12 é apresentado o mapa atualizado das ocorrências geotérmicas em Portugal continental, onde se denota a predominância a Norte das ocorrências que têm uma utilização geotérmica.

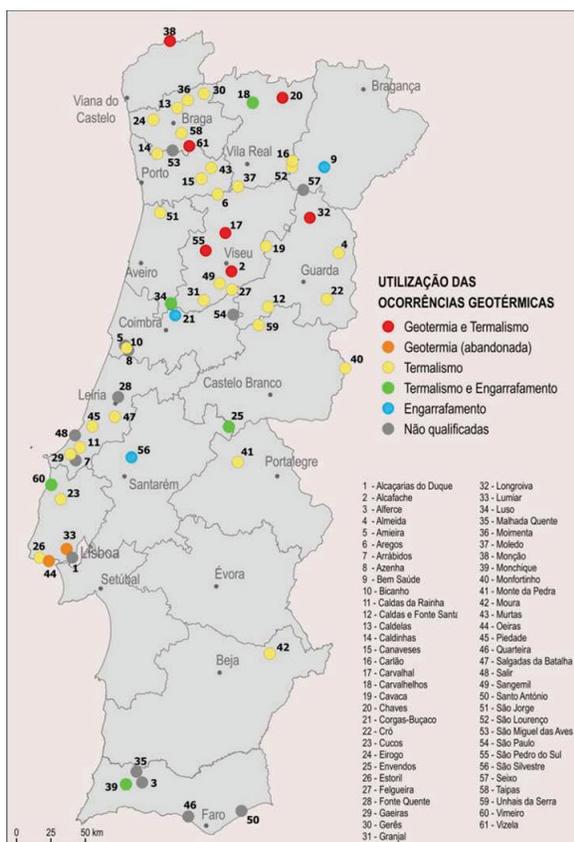


Fig. 12 – Mapa das ocorrências geotérmicas em Portugal continental (Lourenço, 2019).

A utilização geotérmica das águas minerais naturais tem sido feita através de uso em cascata, na sua maioria, utilização direta (Lourenço, 2019). Nas Caldas de Monção (51°C, temperatura do fluido geotérmico), a utilização geotérmica do recurso começou em 2015 para aquecimento do estabelecimento termal, piscinas públicas, hotel e edifícios públicos. Nas Caldas de Chaves (73°C), o aproveitamento geotérmico começou nos anos 80, considerado o primeiro projeto de rede de aquecimento urbano, em Portugal, para aquecimento e produção de AQS para diversos edifícios. Nas Caldas de Vizela (50°C), a GS é utilizada para aquecimento, AQS e aquecimento de piscina de hotel. Em Longroiva (47°C) o recurso é utilizado na climatização do estabelecimento termal e, ainda, para produção de AQS e aquecimento de piscina exterior de hotel rural. Nas Termas do Carvalhal (60°C) estão em curso estudos para a utilização do recurso para aproveitamento geotérmico, assim como, nas Termas de Aregos (62°C). Nas Termas de S. Pedro do Sul (69°C) o recurso é utilizado numa central geotérmica, desde 2001, responsável pelo aquecimento e produção de AQS para dois balneários termais e dois hotéis. Adicionalmente, o recurso já foi utilizado no aquecimento de uma estufa de frutos tropicais, encontrando-se atualmente desativada. Por fim, nos Banhos de Alcafache (51°C) o recurso é utilizado no aquecimento do estabelecimento termal desde 2003.

Para além dos recursos classificados, existem outros tipos de exploração de GS ativos em Portugal. Existem sistemas abertos que, por não serem baseados em águas minerais naturais, não são contempladas pela legislação relativa aos recursos geotérmicos. Nesse sentido, águas superficiais e águas subterrâneas que não constituam águas minerais naturais, não são contempladas

neste âmbito legal. Como, por exemplo, existem diversas utilizações das águas do rio Tejo para climatização: Fundação Champalimaud, Pavilhão Atlântico e o Centro de Resíduos da Valorsul.

Devido ao enquadramento legal dos recursos geotérmicos, a utilização da GS em sistemas fechados, com permuta térmica com o solo, tem sido feita, mas sem a necessidade de classificação do recurso, nem de um controlo administrativo por parte das entidades públicas.

Neste âmbito, merecem ser referidos alguns projetos de I&D que têm sido importantes no contributo do estado da arte em Portugal na utilização de sistemas fechados de exploração da GS, tais como:

– Projetos de I&D internacionais:

- GROUNDHIT – O projeto focou-se na análise e melhoria do custo-benefício, competitividade e penetração do mercado de sistemas fechados de GS com recurso a bomba de calor (TREN/04/FP6EN/S07.31402/503063– 2002-2006). Neste âmbito, foi instalado um sistema fechado, de 5 furos geotérmicos de 80 metros de profundidade, na Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal. Mais informação em Sanner et al. (2007).
- GROUNDMED – O projeto pretendeu demonstrar o funcionamento de bombas de calor geotérmicas, de última geração, em sistemas fechados de GS para climatização, com a instalação de sistemas em 8 locais diferentes do Sul da Europa (TREN/FP7EN/218895/"GROUND-MED"– 2009-2015). Neste âmbito, o edifício de autoridade regional de Coimbra foi dotado de um sistema fechado de GS com sete furos geotérmicos de 125 metros de profundidade. Mais informações em Mendrinos et al. (2010).
- TESSe2b - Neste projeto foram testados e validados os sistemas integrados baseados em energia solar, geotérmica e armazenamento de energia térmica, em três demo sites, edifícios unifamiliares, em Espanha, Áustria e Chipre (*European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement number 680555 – 2015-2019*). Este projeto foi coordenado pelo Instituto Politécnico de Setúbal. Mais informações em Coelho et al. (2024) e Coelho et al. (2022).

– Projetos de I&D nacionais:

- SUCCESS – O projeto focou-se na promoção e adoção de tecnologia de exploração de GS em Portugal e, em particular, o estudo da sustentabilidade destes sistemas aplicados ao clima do sul de Europa (PTDC/ECM-GEO/0728/2014 – 2014-2018).
- DEEPCOOL – O projeto pretendeu promover a adoção de estruturas termoativas em Portugal e, em particular, o estudo do comportamento de estacas termoativas aplicadas ao clima português (PTDC/ECI-EGC/29083/2017 – 2017-2021).
- GEOSUSTAINED – O projeto tem como objetivo caracterizar e modelar o comportamento térmico dos solos na cidade de Lisboa na perspetiva de uso futuro em sistemas de exploração de GS (PTDC/ECI-COM/1866/2021 – 2021-2024).

Na Figura 13 é apresentado um mapa de Portugal continental com a localização de alguns dos marcos na implementação de sistemas de exploração de GS em Portugal e, como tal, representam importantes contributos para o estado da arte em Portugal. Alguns já foram mencionados, sendo que os restantes:

- Aveiro – A Universidade de Aveiro tem cinco edifícios em climatização com sistemas baseados em GS e constitui o primeiro caso de estacas termoativas. A instalação foi realizada entre 2011 e 2015: o edifício ESSUA apresenta quatro sistemas com um total de 22 furos de 150 m de profundidade e 147 estacas termoativas de 8 m de profundidade; O

edifício CICFANO possui um sistema com 55 estacas termoativas com 10 m de profundidade e um sistema de recuperação térmica dos efluentes de águas residuais (biotermia); o edifício ESAN dispõe de quatro sistemas com um total de 34 furos de 150 m de profundidade e painéis solares; o edifício ECOCRR possui um sistema com 22 furos de 120 m de profundidade; o último, edifício CCCI, possui um sistema com 42 furos de 130 m de profundidade e painéis solares.

- Lumiar – O Hospital da Força Aérea dispõe de um furo com 1500 m de profundidade desde 1987 (50°C) para AQS e climatização. Os problemas de corrosão levaram à sua desativação.
- Entrecampos – Edifício de escritórios da Fidelidade *Property Europe* – caso de estudo em contexto urbano e onde os furos foram feitos na base do edifício, sob 8 pisos de escritório acima do solo e 3 pisos de estacionamento abaixo do solo. A infraestrutura geotérmica é composta por 90 permutadores de calor enterrados com uma profundidade de 120 m cada, perfazendo um total de 10 800 m. Trata-se de um sistema vertical e cada furo é composto por um permutador de calor enterrado do tipo simples U, em sistema fechado. Os permutadores de calor enterrados são totalmente preenchidos com água aditivada de anticongelante do tipo propilenoglicol, biodegradável.
- Querença – O Ombria Resort é, atualmente, o maior projeto de exploração de GS em Portugal, em operação desde 2024, constitui o único caso de redes de aquecimento urbano de 5ª geração (mais informações em Figueira, (2023)). O projeto é composto por um hotel, um campo de golfe, um *club house*, um Spa e algumas villas. A infraestrutura geotérmica é composta por 40 furos de 100 m de profundidade para a *club house*; 60 furos de 125 m de profundidade para o hotel e 144 furos de 115 m de profundidade para o Spa e villas. O recurso é utilizado para climatização, fornecer AQS e água quente para as piscinas. Além disso, foram instalados 108 coletores solares térmicos para o *club house* e 48 para o hotel, onde se considerou a sua utilização para a eventual regeneração da temperatura do solo.



Fig. 13 – Mapa de sistemas de exploração de GS que representam marcos do estado de arte.

5 – ANÁLISE CRÍTICA

Na sequência da análise do enquadramento legal e do mercado da GS em Portugal, são desenhadas algumas recomendações, considerando toda a sistematização que tem vindo a ser feita neste âmbito:

Legislação

- A legislação atual não é adequada para regular a utilização da energia geotérmica na sua totalidade. Não existe diferenciação entre os vários tipos de potencial geotérmico que podem ser explorados e, por isso, é evidente a inexistência de aspetos específicos da GS na legislação portuguesa.
- A legislação não se cumpre, no Decreto-Lei n.º 54/2015, porque o decreto-lei específico dos recursos geotérmicos ainda não foi aceite nem entrou em vigor. Consequentemente, o acesso à exploração dos recursos geotérmicos é ainda regulado pela legislação de 1990;
- O acesso à exploração de energia geotérmica não é adequado à exploração de GS e foi elaborado com o objetivo principal de regular o acesso à energia geotérmica profunda nos Açores. O processo de acesso é o mesmo quer se trate de projetos públicos ou privados, de infraestruturas industriais, comerciais ou residenciais.
- O processo de acesso aos recursos geotérmicos é demasiado complexo e pode constituir uma barreira ao desenvolvimento do mercado da GS. As políticas de alguns estados-membros da UE têm evoluído no sentido de facilitar e simplificar o processo de obtenção de autorização para operações de pequena escala, que vai de encontro com o disposto em diretivas europeias relativas à integração de energia renovável e melhoria da eficiência energética. Consultar diretiva 2018/884/EU e diretiva 2024/1275/EU.

Mercado:

- Devem ser implementados métodos para contabilizar a produção de energia térmica com base em GS para as metas nacionais e europeias de descarbonização.
- Importa referir que a divulgação e formação é de extrema importância para a credibilidade e desenvolvimento da tecnologia, para que seja promovida a sua utilização e a sua integração nos planos nacionais de energia e clima.
- É necessário um sistema de certificação para garantir instalações bem-sucedidas. Além disso, é necessário associá-lo a um sistema de formação. O incentivo através da formação promoverá a informação entre técnicos e empresas. É necessária formação ao nível do projeto, perfuração, instalação, manutenção e inspeção.
- Portugal não apresenta qualquer incentivo específico para a GS. No entanto os sistemas baseados em GS podem, teoricamente, ser elegíveis para alguns incentivos para fontes renováveis de energia ou incentivos para aumentar a eficiência energética.
- É de extrema importância definir uma política de incentivos nesta área, podendo-se destacar os incentivos fiscais (redução de impostos operacionais, importação de equipamentos, entre outros), incentivos financeiros (fundos especiais, empréstimos sem juros, entre outros), e na forma de garantias ou seguros. Mais informações e boas práticas noutros países europeus podem ser consultados em (Jaudin et al., 2013).

Ferramentas de suporte:

- Ausência de um documento orientador para os vários tipos de sistemas de utilização da GS (tanto para sistemas fechados como abertos) e definição de entidade reguladora destes tipos de instalações.
- A criação da PPGS fez todo o sentido para desenvolver este mercado e, encontrando-se inativa, é necessária uma outra plataforma que tenha os mesmos objetivos.
- Tal como em muitos outros países da UE, em Portugal existe o Atlas Geotérmico que apresenta vários tipos de informação relevante para apoiar a proliferação de projetos de

geotermia. Este projeto é da maior importância e precisa de ser complementado com informações pertinentes ao desenvolvimento de projetos de GS.

- É necessário, numa fase mais avançada do mercado geotérmico em Portugal, dispor de um processo recorrente de realização de visitas de inspeção e monitorização dos sistemas de GS. Uma alternativa será um sistema de certificação de técnicos especializados.
- Para fomentar a fiabilidade desta tecnologia, deve existir um investimento contínuo em atividades de I&D. A investigação é necessária, principalmente, no âmbito da deteção e clarificação das diferenças na utilização de GS no ambiente mediterrâneo, em comparação com a vasta experiência em climas do Centro e Norte da Europa.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da análise feita, que apesar de não exaustiva providencia um enquadramento sobre o desenvolvimento das tecnologias de exploração da GS em Portugal, chega-se à opinião de que o atual estado de desenvolvimento não é suficiente para que Portugal se equipare com outros países europeus que apresentam uma maturidade de mercado considerável. Esta tecnologia tem sido considerada como uma prioridade e tem sido alvo de investimento por parte de países como a Alemanha, Suécia, Inglaterra e Países Baixos, e isso é evidenciado pelos dados recolhidos.

A exploração de GS apresenta vantagens valiosas e incontornáveis, representando um potencial de criar um impacto positivo no setor da climatização melhorando a eficiência energética e aumentando a componente renovável no abastecimento destes sistemas energéticos. Em Portugal o desenvolvimento ainda é residual e com alguns marcos importantes no seu desenvolvimento e adaptação ao contexto português. No entanto, a penetração da tecnologia de exploração da GS no mercado energético apresenta uma série de fatores que limitam o seu avanço. Essencialmente, a ausência de regulamentação e legislação adequada para a utilização deste recurso geotérmico, levando à falta de incentivos fiscais, financeiros e políticos.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banks, D. (2009). *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*, 1st ed. Wiley-Blackwell, 2009. [Online]. Disponível em: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-144430268X.html>
- Brandl, H. (2006). Energy Foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique* 56, No. 2, pp. 81-122. <https://doi.org/10.1680/geot.2006.56.2.81>
- Cabeças, R.; Carvalho, J. M.; Nunes, J. C. (2010). Portugal Country Geothermal Update 2010. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010*, pp. 25-29.
- Carvalho, J. M.; Silva, J. M. M.; Ponte, C. A. B.; Cabeças, R. M. (2005). Portugal geothermal country update 2005. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey.
- Carvalho, J. M.; Coelho, L.; Nunes, J. C.; Carvalho, M. R.; Garcia, J.; Cerdeira, R. (2015). Portugal Country update 2015. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia.
- Coelho, L.; Koukou, M. K.; Konstantaras, J.; Vrachopoulos, M. G.; Rebola, A.; Benou, A.; Karytsas, C.; Tourou, P.; Sourkounis, C.; Gaich, H.; Goldbrunner, J. (2024). Assessing the Effectiveness of an Innovative Thermal Energy Storage System Installed in a Building in a Moderate Continental Climatic Zone. *Energies*, 2024-02, <https://doi.org/10.3390/en17030763>
- Coelho, L.; Koukou, M. K.; Dogkas, G.; Konstantaras, J.; Vrachopoulos, M. G.; Rebola, A.; Benou, A.; Choropanitis, I.; Karytsas, C.; Sourkounis, C.; Chrysanthou, Z. (2022). Latent Thermal

- Energy Storage Application in a Residential Building at a Mediterranean Climate. *Energies*, 2022-01. <https://doi.org/10.3390/en15031008>
- Coelho, L.; Cerdeira, R.; Garcia, J.A.; Sanner, B.; Abry, M.; Karytsas, C. (2010). Development and Demonstration of Ground Coupled Heat Pumps of High Technology. Proc, World Geothermal Congress.
- Dandelion (2019). Geothermal Heat Pump Frequently Asked Questions. Dandelion energy, press release (<https://dandelionenergy.com/geothermal-heat-pump-frequently-asking-questions>. (acesso em 02.10.2021).
- Decreto-Lei no. 560-C/76 (1976). Define o regime de prospecção, pesquisa e exploração de recursos geotérmicos. Ministério da Indústria e Tecnologia. Diário da República no. 165, Série I de 1976-07-16, Lisboa.
- Decreto-Lei no. 87/90 (1990). Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos. Ministério da Indústria e Energia. Diário da República no. 63, Série I de 1990-03-16, Lisboa.
- Decreto-Lei no. 90/90 (1990). Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos. Ministério da Indústria e Energia. Diário da República no. 63, Série I de 1990-03-16, Lisboa.
- Decreto-Lei no. 54/15 (2015). Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional. Assembleia da República. Diário da República no. 119, Série I de 2015-06-22, Lisboa.
- Decreto-Lei no. 58/05 (2005). Aprova a Lei da Água. Assembleia da República. Diário da República no. 249/2005, Série I-A de 2005-12-29, Lisboa.
- Decreto-Lei no. 151-B/2013 (2013). Regime jurídico da avaliação de impacte ambiental. Assembleia República. Diário da República no. 211/2013, 2º Suplemento, Série I de 2013-10-31, Lisboa.
- DGEG (2017). Geotermia – Energia renovável em Portugal. ISBN: 978-972-8268-43-5 Disponível em:
https://www.dgeg.gov.pt/media/d3jkqmis/i015526.pdf#Publica%C3%A7%C3%A3o_I015526_Geotermia_EnergiaRenov%C3%A1velEmPortugal_DGEG_2017
- DGEG s/d – Recursos Geotérmicos Qualificados (<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/geologia/recursos-geotermicos/exploracao-de-recursos-geotermicos/recursos-geotermicos-qualificados/>) (acesso em 19.06.2024).
- Diretiva no. 2018/884/UE (2018). amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. European Parliament and the Council, Official Journal of the European Union.
- Diretiva no. 2024/1275/UE (2024). Amending Directive 2018/884/UE on the energy performance of buildings (recast). European Parliament and the Council, Official Journal of the European Union.
- EGEC (2023). Annual Market Report. EGEC, Brussels, Belgium.
- EN 15450 (2007). Heating systems in buildings. Design of heat pump heating systems. European Standard. European Committee for Standardization.
- EN 17522 (2020). Design and construction of borehole heat exchangers. Draft European Standard. European Committee for Standardization.

- EN ISO 17628 (2017). Geotechnical investigation and testing - Geothermal testing - Determination of thermal conductivity of soil and rock using a borehole heat exchanger. European norm.
- Environmental Agency (2011). Environmental good practice guide for ground source heating and cooling.
- Eurostat (2022). Energy consumption in households. Eurostat, Luxembourg.
- Figueira, J.; Vieira, A. (2016). Métodos de caracterização térmica do solo para aproveitamentos geotérmicos superficiais. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- Figueira, J. S. (2023). Critical aspects on shallow geothermal energy systems: development, design and infrastructure. PhD thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Figueira, J. S.; Gil, A. G.; Vieira, A.; Michopoulos, A. K.; Boon, D. P.; Loveridge, F.; Cecinato, F.; Götzl, G.; Epting, J.; Zosseder, K.; Bloemendal, M.; Woods, M.; Christodoulides, P.; Vardo, P. J.; Borg, S. P.; Poulsen, S. E.; Andersen, T. R. (2024). Shallow geothermal energy systems for district heating and cooling networks: Review and technological progression through case studies. *Renewable Energy* 236, 121436. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121436>
- Gehlin, S. (2002). Thermal Response Test: Method development and Evaluation. PhD Thesis, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Geotrained (2011). Geotrained training manual for designers of Shallow Geothermal Systems. Project IEE/07/581/S12.499061. EFG, Brussels.
- GSHP Association (2011). Closed-loop vertical borehole – Design, Installation & Materials Standards. Ground Source Heat Pump Association, report. Issue 1.0, 1st of October 2011.
- Huenges, E. (2010). Geothermal Energy Systems: Exploration, Development, and Utilization. Wiley-VCH.
- INE; DGEG; ADENE (2021). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico - 2020. Instituto Nacional de Estatística, Direção Geral de Energia e Geologia, edição 2021, Lisboa.
- Instituto Geológico e Mineiro (1998). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental – baixa entalpia. Instituto Geológico e Mineiro; Direção de Serviços de Gestão e Recursos Geológicos; Divisão de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos, Lisboa. ISBN: 972-95452-4-3.
- Jaudin, F.; Annuziata, L.; Van Beek, D.; Benson, J.; Bezelues, S.; Coufer, M.; Cucueteanu, D.; Cuevas, J.; Frey, M.; Godschalk, B.; Goumas, A.; Jardeby, A.; Mette Nielsen, A.; Pasquali, R.; Poux, A.; Raftegard, O.; Sanner, B. (2013). Overview of Shallow Geothermal Legislation in Europe. D2.2: General Report of the Current Situation of the Regulative Framework for the SGE Systems. REGEOCITIES EU Project.
- Lourenço, C. (2019). Recursos Geotérmicos – estratégia e legislação. Seminário de Geotermia, Porto.
- Lund, J. W. (2001). Geothermal Heat Pumps - An Overview. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 22 (1), pp. 1-2.
- Manzella, A. (2017). Geothermal Energy. *EPJ Web of Conferences* 148.
- Mendrinós, D.; Karytsas, K.; Rosca, M. (2010). The European Project Ground-Med “Advanced Ground Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling in Mediterranean Climate”. Proceedings of European Geothermal Congress, Indonesia.

- MIS 3005 (2017). Requirements for MCS contractors undertaking the supply, design, installation, set to work, commissioning and handover of microgeneration heat pump systems. Microgeneration installations standard, UK.
- Ramalho, E. (2014). O papel do Atlas Geotérmico Nacional no fomento da exploração da energia geotérmica em Portugal continental. *Comunicações Geológicas* 101, Especial II, pp. 833-836.
- Ramalho, E.; Diaz, R.; Dias, R. (2015). Cartografia Geológica, Hidrogeológica e Geotérmica como ferramentas de apoio ao dimensionamento de pequenas instalações de geotermia superficial. *Newsletter da PPGS* no. 4, pp. 5-7.
- Ramalho, E.; Madureira, P.; Lourenço, C.; Francés, A.; Joyce, A.; Silva, L.; Silva, L. (2014). A Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial e o seu papel na dinamização do mercado da geotermia em Portugal. *Comunicações Geológicas* 101, Especial II, pp. 837-840.
- Sanner, B.; Karytsas, K.; Abry, M.; Coelho, L.; Goldbrunner, J.; Mendrinós, D. (2007). GROUNDHIT – advancement in ground source heat pumps through EU support. *Proceedings of European Geothermal Congress, Germany*.
- SIA D 0136, 1996 – Principle of usage of non-deep geothermal energy for heating systems. *Planning, Energy and buildings series*. Switzerland.
- SYNEGE; DGEG (2021). Avaliação do Potencial de Exploração dos Recursos Hidrominerais e Geotérmicos e da sua Utilização para Temperaturas Superiores a 25°C. https://www.dgeg.gov.pt/media/kycnuhg5/publica%C3%A7%C3%A3o-recursos-geot%C3%A9rmicos-aviso-04-1_2018-fai_final2.pdf
- VDI 4640 (2001). Thermal use of the underground, Ground source heat pump systems – part 2. VDI norms, Germany.

