



**SEMINÁRIO DE GEOTERMIA 2025
ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL
Situação Atual e Desafios para o Futuro**

LIVRO DE ATAS

EDITORES

Luís M. Ferreira Gomes

Pedro Madureira

João Figueira

Cláudia Pinto

Hugo A.S. Pinto

Pedro Coelho Ferreira

Covilhã, 2025

© 2025, *Luís Ferreira Gomes, Pedro Madureira, João Figueira, Cláudia Pinto, Hugo A.S. Pinto e Pedro Coelho Ferreira.*

© 2025, *Universidade da Beira Interior.*

O conteúdo desta obra está protegido por Lei. A qualidade científica e os conteúdos das comunicações, apesar de processo independente de revisão por pares, são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.



SEMINÁRIO DE GEOTERMIA 2025

ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL

Situação Atual e Desafios para o Futuro

LIVRO DE ATAS

FICHA TÉCNICA

Título

SEMINÁRIO DE GEOTERMIA 2025
ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL
Situação Atual e Desafios para o Futuro

Editores

Luís M. Ferreira Gomes
Pedro Madureira
João Figueira
Cláudia Pinto
Hugo A.S. Pinto
Pedro Coelho Ferreira

Imagem da Capa

João Figueira / Hugo A.S. Pinto

Design

Hugo A.S. Pinto

Edição e Execução Gráfica

UBI Edições – Universidade da Beira Interior
Rua Marquês d'Ávila e Bolama | 6201-001 Covilhã – Portugal
tipografia@ubi.pt | www.ubi.pt

N.º de Exemplares

Print-on-demand

ISBN

978-989-9239-23-4 (papel)
978-989-9239-22-7 (pdf)

Depósito Legal N.º

555921/25

DOI

10.25768/9239-22-7

Covilhã, 2025

Preâmbulo

O presente Livro de Atas reúne os contributos apresentados no Seminário de Geotermia 2025, **SG25**, refletindo o dinamismo e a relevância crescente da investigação e inovação neste domínio em Portugal.

A transição energética e a crescente procura por fontes renováveis reforçam o papel da energia geotérmica como uma solução sustentável para Portugal. Os avanços tecnológicos sobre aproveitamentos geotérmicos contribuem para a redução da dependência de combustíveis fósseis e das importações de energia, mostrando que a geotermia pode ser um recurso estratégico na diversificação da matriz energética nacional.

O **SG25** surge como o **1º Seminário Anual de Geotermia**, com a designação global de “Energia Geotérmica em Portugal – Situação Atual e Desafios para o Futuro”, no âmbito do recente Grupo de Trabalho de Geotermia Superficial (**GTGS**), criado pela Comissão Portuguesa de Geotecnia Ambiental (**CPGA**), integrada na Sociedade Portuguesa de Geotecnia (**SPG**).

Entende-se ser justo mencionar, que a raiz principal do **SG25**, foi delineada no dia **10 de outubro de 2024**, no decorrer do evento “Portugal Smart Cities Summit”, que aconteceu na FIL – Parque das Nações, em Lisboa, onde se entendeu pelos principais intervenientes do **SG25**, da “necessidade e obrigação” de fazer algo na comunidade portuguesa, no sentido de reunir técnicos, cientistas, concessionários de recursos hidrominerais e geotérmicos, consumidores de energia e estudantes, e que, de entre outros objetivos, do mesmo evento, resultasse um **Livro Especial**, com elevado desenvolvimento, para apoiar os atuais e futuros técnicos nesta área, inclusive os utilizadores de geotermia, e estudantes, de entre outros.

O projeto desse evento foi logo esquiçado, sendo o **SG25** uma consequência do mesmo, esperando-se concluir o processo com a publicação do **Livro Especial** ainda no presente ano. O **SG25**, resulta assim, com um dia intenso, em **10 de outubro de 2025** (um ano certo depois da sua delineação), com apresentações/palestras, exatamente pelos convidados (autores ou

coautores) dos vários capítulos. No dia 11 de outubro de 2025 decorrerá ainda uma Visita Técnica ao aproveitamento geotérmico em cascata associado às Termas de São Pedro do Sul, cujo concessionário é a Câmara Municipal de São Pedro do Sul (CMSPS).

Merece registrar que na estratégia desenvolvida foi fundamental a experiência de 25 anos de atividades de exploração de energia geotérmica, e outras ações associadas, em São Pedro do Sul, resultante de uma parceria protocolada entre a CMSPS, e a Universidade da Beira Interior (UBI), onde o presidente do evento desenvolve as suas atividades como professor e investigador, do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura (DECA), integradas em termos científicos no Centro de Investigação GeoBioTec.

O projeto do Livro Especial, será alvo de apresentação na Sessão I do evento, mas em síntese merece dizer que será de acordo como foi delineado inicialmente, com mais de duas dezenas de capítulos, organizado em sete partes, de acordo com o seguinte: Parte I – *Geotermia: Aspectos Globais e Conceituais*, Parte II – *Geotermia: Alta Entalpia*, Parte III – *Geotermia: Baixa Entalpia*, Parte IV – *Geotermia: Muita Baixa Entalpia – Geotermia Superficial*, Parte V – *Avanços em Geotermia*, Parte VI – *A Geotermia em Fase de Velocidade de Cruzeiro – Experiências dos Consumidores*, Parte VII – *Conclusões e Perspetivas Futuras*.

Merece realçar, que devido aos desenvolvimentos ocorridos no planeamento detalhado do **SG25**, nomeadamente no âmbito do **GTGS**, devido à tradição da **SPG** na liderança de eventos deste tipo, foi aberto à comunidade técnica e científica a possibilidade de apresentação de comunicações livres, desde que enquadradas nas temáticas do **SG25**, tendo resultado um conjunto de 24 artigos, na forma de Resumos Alargados, e cuja apresentação foi de extrema validade, por estarem expostos em posters na zona do evento, resultando imensas vezes como o mote de interessantes conversas/discussões técnicas e científicas sobre os vários casos apresentados. Devido ao número de trabalhos apresentados, e à qualidade dos mesmos, foi entendido em boa hora, e separadamente do Livro Especial em preparação, que resultasse este presente Livro de Atas, SG25.

Assim, o presente Livro de Atas do **SG25**, organiza-se em três Partes:

Parte I, inclui num primeiro momento a apresentação sintética dos conteúdos de cada capítulo do livro especial em preparação, para de seguida incluir os

resumos individuais de cada um dos capítulos desse livro. A organização desses resumos, corresponde exatamente à sequência das palestras apresentadas no decorrer do evento.

Parte II, inclui os Resumos Alargados, que foram propostos de um modo livre pela comunidade técnica e científica da área do saber do evento, após terem sido sujeitos à comissão de revisores.

Parte III, constitui um documento, em forma de artigo técnico, com explanação dos aspetos fundamentais a decorrer na visita técnica, e complementados com vários elementos e referencias bibliográficas de modo a possibilitar condições aos leitores de completarem o seu conhecimento sobre os elementos em análise.

A Organização do SG25, espera ter contribuído para a difusão do conhecimento da geotermia, quer sob o ponto de vista de aspetos didáticos e conceituais, legislativos, quer sobre elementos de geotermia aplicada a vários domínios de entalpia, nomeadamente de baixa entalpia, e em particular à geotermia superficial. Todos estes domínios em Portugal têm tanto caminho para andar e em rampa bem inclinada. Isso ficou bem patente, nomeadamente na parte da Sessão de apresentações “Avanços em geotermia – Exemplos de investigação” e ainda nas várias comunicações livres, vertidas na Parte II, e apresentadas em poster, nomeadamente as dos vários doutorandos de várias universidades portuguesas, que se associaram ao evento.

Assim, a Organização, agradece a todos os que contribuíram, através da sua participação, para o sucesso do evento, nomeadamente aos autores, oradores, patrocinadores, expositores, apoiantes, moderadores das várias sessões de trabalho, Comissão Científica e demais colaboradores.

Covilhã e UBI, 9 de outubro de 2025

Luís Ferreira Gomes
Pedro Madureira
João Figueira
Cláudia Pinto
Hugo A.S. Pinto
Pedro Coelho Ferreira

Índice

Parte I

O PROJETO DO LIVRO: ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL - SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS PARA O FUTURO	3
CAPÍTULO 1. ASPETOS DIDÁTICOS E CONCEPTUAIS SOBRE ENERGIA GEOTÉRMICA	13
CAPÍTULO 2. A GEOTERMIA EM PORTUGAL CONTINENTAL E SEU ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	15
CAPÍTULO 3. GEOTERMIA NOS AÇORES	17
CAPÍTULO 4. APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DE CHAVES	19
CAPÍTULO 5. APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS EM SÃO PEDRO DO SUL	23
CAPÍTULO 6. APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS TERMAS DE LONGROIVA	25
CAPÍTULO 7. OS SISTEMAS GEOTÉRMICOS NA UNIVERSIDADE DE AVEIRO E OUTROS	27
CAPÍTULO 8. O APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DE OMBRIA RESORT (ALGARVE)	29
CAPÍTULO 9. SISTEMAS GEOTÉRMICOS NO INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL, 20 ANOS DE DESENVOLVIMENTO	31
CAPÍTULO 10. POTENCIAL EGS/HDR DA REGIÃO CENTRO E NORTE DE PORTUGAL	33
CAPÍTULO 11. POTENCIAL GEOTÉRMICO DA ILHA DA MADEIRA	35

CAPÍTULO 12. O POTENCIAL GEOTÉRMICO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS PROFUNDOS DAS BACIAS SEDIMENTARES DE LISBOA-SETÚBAL	37
CAPÍTULO 13. CONTRIBUIÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL CONTINENTAL A PARTIR DE APROVEITAMENTOS EM CASCATA	39
CAPÍTULO 14. O POTENCIAL DA TRIGERAÇÃO EM CENTROS TERMAIS: O USO DO GEOCALOR DESPERDIÇADO, PARA A OBTENÇÃO DE FRIO	41
CAPÍTULO 15. PERMUTADOR DE CALOR “AR-SOLO” APLICAÇÃO NA REGULAÇÃO TÉRMICA DE ARMÁRIOS DE TELECOMUNICAÇÕES E ESTUFAS AGRÍCOLAS	43
CAPÍTULO 16. COMPORTAMENTO TÉRMICO E TERMOMECÂNICO DE SOLOS	45
CAPÍTULO 17. VIABILIDADE DE SISTEMAS DE GEOTERMIA SUPERFICIAL BASEADOS EM ESTRUTURAS GEOTÉCNICAS TERMOATIVAS	47
CAPÍTULO 18. A 5ª GERAÇÃO DE REDES TÉRMICAS URBANAS E A GEOTERMIA SUPERFICIAL	49
CAPÍTULO 19. CARTOGRAFIA GEOTÉRMICA À ESCALA DO MUNICÍPIO COMO INSTRUMENTO DE PLANEAMENTO E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO	51
CAPÍTULO 20. SISTEMAS GEOTÉRMICOS PORTUGUESES: ABORDAGENS INTEGRADAS E DESAFIOS FUTUROS	53

Parte II

O PAPEL DAS GEOCIÊNCIAS E MODELAÇÃO NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOTÉRMICO DE PORTUGAL CONTINENTAL – MÉDIA ENTALPIA	57
PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAIXA TEMPERATURA EM PORTUGAL CONTINENTAL: É RENTÁVEL?	63
ELEMENTOS SOBRE O POTENCIAL GEOTÉRMICO DO DISTRITO DA GUARDA	69

APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS NASCENTES DO HOSPITAL RAINHA D. LEONOR, CONCESSÃO HIDROMINERAL CALDAS DA RAINHA	75
A PROFUNDIDADE DE RESERVATÓRIO GEOTÉRMICO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SULFÚREOS DA BACIA DO RIO DÃO	81
POTENCIAL GEOTÉRMICO DA ÁREA DO GRANJAL A PARTIR DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS	87
ELEMENTOS HIDROGEOTÉRMICOS DA FONTE SANTA DA MALHADA QUENTE, MONCHIQUE	93
O PROJETO GEOTERMICO DAS TERMAS DO CARVALHAL, CASTRO DAIRE	99
CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICO-ESTRUTURAL E HIDROGEOLOGICA COM BASE EM TÉCNICAS DE PROSPEÇÃO GEOFÍSICA, EM ÁREAS DO SISTEMA AQUÍFERO QUENTE DE CALDAS DE VIZELA, PORTUGAL	105
ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR SOBRE A CAPTAÇÃO VIZELA 6 DE ÁGUA MINERAL NATURAL QUENTE DE CALDAS DE VIZELA	111
CARACTERIZAÇÃO HIDROQUIMICA DE UMA ÁGUA TERMAL DA CAPTAÇÃO VIZELA 6, CALDAS DE VIZELA, PORTUGAL	117
CARACTERIZAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DA ÁGUA MINERAL NATURAL QUENTE DAS CALDAS DE MONÇÃO, PORTUGAL	123
POTENCIAL GEOTÉRMICO DO RECURSO HIDROMINERAL DAS CALDAS DE SÃO PAULO, PORTUGAL	129
ESTUDOS GEOFISICOS NA PESQUISA DE RECURSO HIDROMINERAL E GEOTÉRMICO NAS TERMAS DA TOUCA, FUNDÃO	137
ELEMENTOS SOBRE O POTENCIAL GEOTÉRMICO DAS TERMAS DOS CÓTIMOS, TRANCOSO	145
CALDAS DE MOLEDO: O SISTEMA HIDROTERMOMINERAL E POTENCIAL GEOTÉRMICO	153
O PROJETO ThermEcoWat - FORTALECER A RESILIÊNCIA DOS ECOSISTEMAS LIGADOS À ÁGUA TERMAL	161
ESTUDOS GEOFÍSICOS NA PERSPETIVA DE OTIMIZAÇÃO DO LOCAL DE UMA CAPTAÇÃO GEOTÉRMICA EM S. P. DO SUL, BEIRA ALTA, PORTUGAL	169

O APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS ESTUFAS DE FRUTOS TROPICAS DE SÃO PEDRO DO SUL	177
A GEOTERMIA EM FASE DE VELOCIDADE DE CRUZEIRO: EXPERIÊNCIA DO USO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO HOTEL DO PARQUE – CONGRESS & SPA	187
ESTUDOS PRÉVIOS E CONDICIONANTES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE GEOTERMIA SUPERFICIAL	197
INTEGRAÇÃO GEOBIM PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GEOTERMIA SUPERFICIAL EM EDIFÍCIOS E CIDADES INTELIGENTES	205
CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS SOLOS DE LISBOA: COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES EM CONDIÇÕES NÃO ESTACIONÁRIAS COM SONDA TIPO AGULHA E SONDA PLANA	213
DE NORTE A SUL: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE PERMUTADORES VERTICAIS DE CALOR GEOTÉRMICOS EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS NAS CAPITALS EUROPEIAS	221

Parte III

O APROVEITAMENTO EM CASCATA DO PÓLO DAS TERMAS DE SÃO PEDRO DO SUL – DOS APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS ÀS VÁRIAS APLICAÇÕES: TERMALISMO, BEM-ESTAR, PRODUTOS COSMÉTICOS, E HISTÓRICO-CULTURAIS	231
--	-----

Anexos

PROGRAMA FINAL	243
LISTA DE PARTICIPAÇÕES / INSCRIÇÕES	249

Organização

Comissão Organizadora

L. M. Ferreira Gomes, UBI/GeoBioTec/CPGA/GTGS
Pedro Madureira, SYNEGE/CPGA/GTGS
João Figueira, Geogradiente/CPGA/GTGS
António Albuquerque, UBI/GeoBioTec
Cláudia Pinto, Câmara Municipal de Lisboa/CPGA/GTGS
Hugo A.S. Pinto, UBI/GeoBioTec
Luís Pires, UBI
Pedro Coelho Ferreira, Câmara Municipal de Mêda/GeoBioTec

Comissão Científica

L. M. Ferreira Gomes, UBI/GeoBioTec/CPGA/GTGS
Pedro Madureira, SYNEGE/CPGA/GTGS
João Figueira, Geogradiente/CPGA/GTGS
Alcides Pereira, UC – Univ. de Coimbra
Ana Vieira, LNEC – Lab. Nacional de Engenharia Civil
António Figueiredo – Univ. de Aveiro
Bruno Veloso, ADENE – Agência para a Energia/GTGS
Carla Lourenço, DGEG- Dir. Geral de Energia e Geologia /GTGS
Cláudia Pinto, Câmara Municipal de Lisboa/CPGA/GTGS
Elsa Ramalho, LNEG – Lab. Nac. de Energia e Geologia /GTGS
Fernando Rocha, UA, Univ. de Aveiro, GeoBioTec
João Carlos Nunes, UAc – Univ. dos Açores/GTGS
João Sousa, Green BEELT, OET – Ordem Eng. Técnicos /GTGS
José António Simões Cortez, UP- Univ. do Porto
José Lapa, Ferreira Lapa, Lda/GTGS
Luís Coelho, IPS – Instituto Politécnico de Setúbal/GTGS
Marco Lopes Silva, Ordem dos Arquitetos /GTGS
Maria do Rosário Carvalho, UL – Univ. de Lisboa/GTGS
Peter Bourne-Webb, IST – Instituto Superior Técnico/GTGS
Rute Ramos, LNEC – Lab. Nacional de Engenharia Civil/GTGS
Susana Prada, UMa – Univ. da Madeira/GTGS

Patrocinadores Platina



Patrocinadores Ouro



Patrocinadores Prata



Patrocinadores Bronze



Apoios



Parte I

O PROJETO DO LIVRO: ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL – SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS PARA O FUTURO

Alcântara da Cruz, J. F.; *Direção-Geral de Energia e Geologia, Lisboa, Portugal,*
jose.cruz@dgeg.gov.pt

A transição energética e a crescente necessidade de fontes renováveis de energia colocam a energia geotérmica em destaque como uma opção promissora para o desenvolvimento sustentável em Portugal. "ENERGIA GEOTÉRMICA EM PORTUGAL – SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS PARA O FUTURO" é um livro que visa explorar, de forma aprofundada e sistemática, o panorama atual da energia geotérmica em Portugal, bem como os desafios e oportunidades para o futuro. Assim, este recurso pode desempenhar um papel determinante na diversificação do *mix* energético resultante das energias renováveis e na redução da dependência de combustíveis fósseis em Portugal.

A geotermia associada aos recursos geotérmicos estão, presentemente, a desencadear um enorme interesse por parte dos concessionários que os detêm. Muitos destes recursos foram utilizados desde o tempo dos romanos. Até há bem pouco tempo o facto de existir uma temperatura elevada era uma desvantagem pois para fazerem baixar a temperatura da água mineral natural até à temperatura de utilização do recurso para fins termais, tinham que utilizar vários meios, desperdiçando a termalidade da água.

Nos vários capítulos deste livro, os autores abordam de uma forma transversal as várias áreas que se interligam a geotermia, desde a sua origem, a prospeção e pesquisa até às várias formas da sua utilização, quer a nível nacional (Continente, Açores e Madeira), quer a nível mundial.

Presentemente a energia geotérmica pode provir dos recursos geotérmicos ou de sistemas geotérmicos superficiais, onde o recurso a bombas de calor geotérmicas fazem elevar ou baixar a temperatura para aquecimento ou arrefecimento ambiental.

A inventariação realizada e o conhecimento dos modelos hidrogeológicos conceptuais de todos os recursos geotérmicos conhecidos são a principal ferramenta para o incremento do aproveitamento desses recursos tendo em vista a promoção dos seus aproveitamentos, que representam novas oportunidade de desenvolvimento de atividade económica do local onde ocorrem, que, para além da própria atividade termal, ao proporcionar economia de energia ou melhoria do grau de conforto dos estabelecimentos termais e outros.

No Arquipélago dos Açores foram Identificados nos anos ´70, reconhecidos nos anos ´80 (período em que a viabilidade de produção de energia eléctrica foi demonstrada) e em exploração industrial desde os anos 90 do século passado, estes recursos estão associados a sistemas vulcânicos ativos adormecidos. Está em curso um programa de expansão, incluindo a expansão da central geotérmica do Pico Vermelho (+12 MW) e a revitalização de 5 MW na central da Ribeira Grande (5 MW). Prevê-se que estes projetos estejam concluídos até 2026, e com a sua entrada em operação, será possível aumentar a taxa de penetração da energia geotérmica na produção eléctrica da ilha de São Miguel. Nos Açores existem, ainda, recursos de baixa entalpia, usados em termas, spas e ocasionalmente na culinária.

Em Portugal Continental as maiores temperaturas conhecidas estão localizadas em Chaves, aonde foi realizado o projeto da Rede Urbana de Calor de Chaves, tendo sido concebido com o objetivo de aproveitar o recurso geotérmico da região para fornecer energia térmica a diversos edifícios públicos e privados da cidade, promovendo a sustentabilidade energética, a eficiência e a redução de emissões poluentes. A rede foi implementada em formato de anel fechado, com tubagens de ida e retorno que inclui cerca de 2.400 metros de condutas subterrâneas, ligando 26 edifícios consumidores. Para garantir o fornecimento contínuo e eficaz de energia térmica, a central geotérmica existente foi modernizada, permitindo aumentar significativamente a sua capacidade. Entre as intervenções realizadas destacam-se: instalação de permutadores de maior potência, grupos de bombagem mais robustos, tubagens de maior diâmetro e um sistema de Gestão Técnica Centralizada (GTC) para controlo e monitorização em tempo real de toda a rede. A exploração do recurso geotérmico é feita de forma sustentável, com um caudal de 15 L/s a 74 °C no circuito primário, permitindo uma potência térmica disponível de cerca de 1,5 MW e uma produção anual

estimada de 47,5 TJ. A temperatura da água fornecida aos consumidores é de 65 °C, com retorno a 45 °C. Cada edifício ligado à rede possui uma instalação própria com permutador de calor, contadores e equipamentos de controlo. O sistema GTC permite ajustar automaticamente a produção em função das necessidades dos utilizadores, otimizando o consumo de energia e melhorando a eficiência operacional. As condutas da rede urbana são termicamente isoladas e foram instaladas sob os arruamentos públicos da cidade, com materiais apropriados como aço e PEX, conforme o diâmetro necessário. Foram também implementadas válvulas, ventosas e sistemas de drenagem para garantir a segurança e manutenção da rede. Do ponto de vista económico, o sistema representa uma redução de custos para os utilizadores, tanto no consumo energético como na manutenção. Ambientalmente, destaca-se uma poupança anual de cerca de 1.340 toneladas de CO₂ equivalente, contribuindo diretamente para os objetivos de neutralidade carbónica de Portugal e da União Europeia. A nova rede urbana de calor de Chaves é um exemplo claro de como a geotermia pode ser utilizada de forma eficiente, segura e sustentável, promovendo a autonomia energética local, reduzindo as emissões e beneficiando economicamente os seus utilizadores.

A região de São Pedro do Sul é caracterizada por águas subterrâneas naturalmente quentes, com várias ressurgências a cerca de 67 °C. O uso desta água subterrânea singular remonta a vários milénios, existindo evidências arqueológicas e científicas que indicam a sua utilização há aproximadamente 4000 anos, nomeadamente no Castro do Banho, próximo da Nascente do Vau. Em 2019, foi inaugurado no município o Museu “Ruínas do Balneário Romano”, junto às Termas de São Pedro do Sul. A recuperação arquitetónica cuidada, associada à preservação de materiais de diferentes períodos históricos, permite documentar cerca de 2.000 anos de utilização, desde a época romana, passando pelo reinado do primeiro rei de Portugal, até à atualidade. As características geotérmicas destas águas terão provavelmente exercido um papel determinante na ocupação humana da região. Atualmente, o território associado àquelas águas designa-se como Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul, com aquela água subterrânea classificada oficialmente como dois recursos, não só como água mineral natural no uso do termalismo e atividades afins, mas também como recurso geotérmico.

As Termas de Longroiva possuem águas minerais naturalmente quentes ($\approx 47\text{ }^{\circ}\text{C}$), classificadas desde 2011 como recurso geotérmico. Este recurso apresenta potencial não apenas para aplicações no termalismo clássico e de bem-estar, mas também para o aquecimento ambiente de edifícios e das suas águas sanitárias. Contudo, os balneários portugueses enfrentam atualmente desafios de sustentabilidade energética, agravados por custos elevados e sobredimensionamento de infraestruturas. Neste contexto, as energias renováveis, em particular a geotermia de baixa entalpia, surgem como uma solução promissora. Nas Termas de Longroiva, aonde foi avaliado o seu potencial geotérmico, já é feito o seu aproveitamento, apontam-se cenários de aplicação, vantagens energéticas e perspetivas futuras para o incremento do seu aproveitamento.

São ainda apresentados alguns exemplos de construção e projeto de alguns sistemas geotérmicos para a climatização de edifícios executados, onde foram obtidas experiências e informações que permitiram determinar uma sistematização de procedimentos, estudos preparatórios e de condicionantes do terreno e do edifício, para determinação da aplicabilidade dos diferentes sistemas de aquisição da energia geotérmica e da distribuição energética de climatização no edifício. São apresentadas variadas aplicações dos sistemas de geotermia superficial em edifícios de serviços, habitação e industriais, descrevendo-se as soluções, bem como a sua conceção, cálculo e dimensionamento, sua gestão, manutenção e monitorização, e ainda referências a vantagens e riscos da utilização desses sistemas e ainda da sua eficiência e sustentabilidade.

Em termos energéticos os edifícios estão cada vez mais exigentes, nomeadamente, nos requisitos de conforto e necessidades energéticas. Estes constituem um contributo significativo no consumo energético e é necessário promover a eficiência energética e reduzir o consumo de energia. Ombria Resort, no Algarve, teve na sua génese a atenção na sua eficiência energética e instalou um sistema de climatização com base em geotermia superficial, em rede, para os vários edifícios que compõem a estrutura. O caso em estudo é apresentado e discutido, ao nível do projeto e instalação, passando pelos conceitos subjacentes ao aproveitamento geotérmico de muito baixa entalpia, referentes ao projeto de climatização e ao papel da geologia no reconhecimento da fonte de calor e execução.

O Instituto Politécnico de Setúbal (IPS) foi pioneiro em Portugal na utilização de bombas de calor geotérmicas para climatização de edifícios, utilizando recursos superficiais. Desde 2004, o IPS participou em projetos europeus, como o GROUNDHIT, que desenvolveu bombas de calor geotérmicas de alta eficiência para habitação, com destaque para um protótipo no IPS que ainda funciona após 20 anos. Seguiram-se outros projetos onde se continuou a melhorar sistemas de climatização para diferentes tipos de edifícios, incluindo comerciais e industriais. Algumas empresas europeias integraram essas soluções nos seus produtos, ampliando o mercado. Um projeto relevante, o TESS2b, demonstrou que a combinação de energia geotérmica, solar térmica e armazenamento térmico com materiais de mudança de fase aumenta a eficiência, reduz custos e aumenta a quota das fontes de energia renovável. Conclui-se que a energia geotérmica superficial tem um potencial de desenvolvimento contínuo, sendo uma fonte renovável essencial para a transição energética.

A ilha da Madeira, situada no oceano Atlântico, 850 km a sudoeste de Portugal continental, corresponde a um vulcão escudo de idade Mio-Holocénica (>7Ma) profundamente dissecado pela erosão. Este edifício vulcânico foi construído sobre crosta oceânica de idade cretácica e está localizado no limite meridional do alinhamento de relevos vulcânicos submarinos, designado por “Cadeia Vulcânica da Madeira”. A sua origem tem sido atribuída ao rasto de um ponto quente (*hot-spot track*) associado a uma pluma mantélica cuja posição é estacionária relativamente à deriva, para NE, da placa tectónica africana. Contudo, a origem do magmatismo oceânico intraplaca não está totalmente esclarecida. Entre os modelos propostos, salienta-se a hipótese do vulcanismo estar diretamente relacionado à tectónica, nomeadamente ao arqueamento (*buckling*) da litosfera na região da Crista Madeira-Tore e a um processo de subducção incipiente iniciado mais a oriente. O campo de tensões localmente distensivo terá induzido a fusão de rochas por decompressão e conseqüente ascensão de magma em dois sistemas de fraturação principais (NE-SW e WNW-ESE) relacionados com descontinuidades pré-existentes na crosta oceânica. O facto de a erupção vulcânica mais recente na ilha da Madeira ter ocorrido há cerca de 7 –6 mil anos revela um sistema vulcânico adormecido, onde não está excluída a hipótese de ocorrer atividade vulcânica no futuro. Atualmente, observam-se manifestações que podem estar relacionadas com desgaseificação do

manto e com um elevado gradiente geotérmico, suscetível de aproveitamento.

Em Portugal Continental a ocorrência de recursos geotérmicos, aliada à informação de sondagens petrolíferas na Orla Mesocenozóica Ocidental, evidencia a presença de aquíferos profundos com elevado potencial geotérmico. Em formações sedimentares que se estendem do Mio-Pliocénico ao Aptiano-Albiano, foram identificados aquíferos com temperaturas de cerca de 50 °C e gradientes geotérmicos que podem ultrapassar 3,5 °C/100 m. Sob a Península de Setúbal, onde se observa a maior anomalia térmica, esperam-se temperaturas próximas de 75 °C a 2.800 m de profundidade. O potencial geotérmico dos aquíferos do Aptiano-Albiano e Valanginiano da bacia de Lisboa foi estimado em 1×10^{18} J, constituindo um recurso de grande relevância estratégica, considerando a elevada densidade populacional da região.

Neste trabalho é ainda apresentado o sintético o potencial geotérmico de Portugal Continental, no sentido de evidenciar locais para realizar novas captações adequadas à produção de água quente. São ainda apresentados elementos globais sobre a tecnologia que permite produzir eletricidade a partir de águas subterrâneas com temperatura inferior a 100°C, para depois se apresentarem exercícios com a produção de eletricidade, e mostrar que o mesmo fluxo ficando com o mesmo quimismo, mas mais frio, pode continuar numa cascata com temperaturas ainda adequadas para aproveitamentos energéticos térmicos, aquecimento urbano, termalismo, aqualúdicos, agro-estufas e outros.

A geotermia apresenta, indubitavelmente, um recurso extraordinário e versátil com as mais diversas aplicações. No entanto, o seu potencial ainda pode ser consideravelmente otimizado de modo a tornar o sistema ainda mais sustentável. Com este objetivo, uma abordagem promissora é o seu aproveitamento para a trigeração, isto é, a obtenção de eletricidade, aquecimento e arrefecimento em simultâneo. Este terceiro componente, o arrefecimento, pode ser obtido por meio de diversas formas, como os tradicionais sistemas de compressão de vapor, os sistemas de absorção e os de adsorção. Por fim, a escolha da solução mais adequada depende diretamente da entalpia dos recursos geotérmicos disponíveis.

São ainda abordados os permutadores de calor “ar-solo” é uma solução de climatização passiva que utiliza a temperatura relativamente estável do subsolo para condicionar o ar. A uma profundidade de alguns metros, o solo mantém-se em torno de 15 a 18 °C ao longo do ano, independentemente das variações sazonais da superfície. Essa característica permite que o ar, ao circular por tubagens enterradas, seja naturalmente aquecido no inverno ou arrefecido no verão antes de ser insuflado no espaço de utilização. Uma aplicação prática importante encontra-se nos armários de telecomunicações. Os equipamentos eletrónicos geram calor contínuo e sensível, o que pode comprometer o desempenho e a durabilidade dos componentes. O permutador ar-solo garante a dissipação desse calor sem recorrer a sistemas ativos de ar condicionado, assegurando temperaturas mais estáveis, maior fiabilidade dos dispositivos e significativa poupança de energia elétrica. Além disso, trata-se de uma solução silenciosa e de baixa manutenção, que aumenta a resiliência da infraestrutura. Outra aplicação relevante ocorre em estufas agrícolas. Nestes ambientes, a estabilidade térmica é essencial para o crescimento saudável das plantas. No inverno, o ar frio do exterior é aquecido ao passar pelo solo antes de entrar na estufa, evitando choques térmicos e perdas de produtividade. No verão, o ar quente é arrefecido, evitando temperaturas excessivas que poderiam prejudicar o cultivo. Dessa forma, o sistema ajuda a criar um microclima equilibrado, reduzindo a dependência de aquecedores e ventiladores mecânicos. Em suma, o permutador de calor “ar-solo” constitui uma solução sustentável, eficiente e versátil, capaz de reduzir custos energéticos e promover estabilidade térmica em contextos técnicos e agrícolas.

Uma adequada caracterização térmica e termomecânica do solo em sistemas geotérmicos superficiais é essencial para assegurar o seu correto dimensionamento, tanto do ponto de vista energético como geotécnico-estrutural. Neste trabalho é apresentado ainda os princípios e métodos dessa caracterização. Numa primeira fase, define-se a estratigrafia do terreno envolvente e quantificam-se os parâmetros térmicos, condutividade térmica, capacidade calorífica volumétrica e difusividade, e a sua variação com a profundidade, bem como as condições hidrogeológicas (nível freático e escoamento). Quando a geoestrutura está termoativada e acumula função estrutural, importa ainda avaliar os efeitos dos ciclos sazonais de aquecimento/arrefecimento sobre a rigidez, a resistência e as pressões intersticiais, os coeficientes de expansão térmica do solo e do betão, o

comportamento da interface solo-estrutura e os estados de tensão e deformação, pelo seu impacto nos estados limite. A obtenção dos parâmetros de dimensionamento recorre a abordagens complementares, incluindo estudos preliminares com cartografia e bases de dados, ensaios laboratoriais e ensaios in situ, com destaque para os testes de resposta térmica e respetivas variantes.

Neste novo paradigma energético, em que se procura efetivamente soluções alternativas e renováveis para a providência energética, a geotermia superficial apresenta-se como promissora e em franca adoção na Europa, América do Norte e China. A evolução tem sido na direção da consideração dos recursos geotérmicos superficiais também para redes urbanas de calor e frio. As redes térmicas urbanas, em especial foco nas de 5ª geração, permitem o fornecimento de calor e frio, à escala multiconsumidor, para aquecimento e arrefecimento ambiente, e águas quentes sanitárias. São, então, abordadas as redes térmicas urbanas e a integração da geotermia superficial nestes sistemas. É analisado ainda o estado atual de desenvolvimento em Portugal e o seu potencial.

Um bom exemplo de aproveitamento é realizado pelo Município de Lisboa que tem vindo a incentivar a implementação de boas práticas no que concerne ao uso de sistemas geotérmicos de baixa entalpia para climatização do parque edificado. Para atingir esse objetivo encontra-se a desenvolver três tarefas fundamentais: elaboração de um guia técnico com informação relativa à fase de avaliação do recurso e fase de avaliação da necessidade energética e do respetivo sistema; desenvolvimento e implementação de um fluxo procedimental com as ações que cada promotor e projetista devem realizar de forma a explorarem esta alternativa ao nível dos projetos de especialidades; disponibilização do mapa do potencial geotérmico da cidade. Esta informação será disponibilizada nas plataformas de urbanismo da cidade de Lisboa e integrará a revisão do PDM pois considera-se que a mesma é um elemento fundamental para a promoção desta tecnologia, e para a implementação de soluções sustentáveis para o parque edificado, o que contribui para as metas e objetivos do desenvolvimento sustentável e para o cumprimento das metas climáticas.

Neste trabalho é feita ainda a análise dos resultados obtidos em três sistemas geotérmicos de média entalpia em Portugal continental – Chaves, Caldas de Manteigas e Caldas da Rainha – através de uma abordagem multi-

interdisciplinar. Em cada sistema foram caracterizadas as principais componentes geológicas, geoquímicas e isotópicas, bem como estimadas as temperaturas e profundidades dos respetivos reservatórios. Os resultados evidenciam a relevância de abordagens integradas para a definição de modelos de circulação, na compreensão das dinâmicas de recarga e descarga, e na avaliação da viabilidade do recurso. A caracterização aprofundada destes sistemas contribui significativamente para o conhecimento científico dos recursos hidrominerais e geotérmicos nacionais, reforçando o seu potencial de exploração sustentável. Para além do valor científico e tecnológico, os dados obtidos sublinham a importância estratégica da geotermia no contexto da transição energética. As condições identificadas apontam para a viabilidade de captações relativamente profundas, com elevada probabilidade de sucesso, reforçando a geotermia profunda como uma fonte renovável, estável e de base. Assim, este recurso pode desempenhar um papel determinante na diversificação do mix energético e na redução da dependência de combustíveis fósseis em Portugal.

As diversas abordagens das duas áreas da geotermia (recursos geotérmicos e geotermia superficial) pelos diversos autores faz do presente livro um excelente manual do conhecimento atual acerca desta “nova” energia renovável que muito contribui para a transição energética, quer em Portugal Continental quer o Insular, para a redução do CO₂ e ainda para a dependência dos combustíveis fósseis.

Lisboa, outubro de 2025

CAPÍTULO 1. ASPETOS DIDÁTICOS E CONCEPTUAIS SOBRE ENERGIA GEOTÉRMICA

CHAPTER 1. DIDACTIC AND CONCEPTUAL ASPECTS OF GEOTHERMAL ENERGY

Ramalho, Elsa Cristina; *Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, 2610-999 Amadora, Portugal, elsa.ramalho@lneg.pt*

Vieira, Ana; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, avieira@lnec.pt*

RESUMO

Este capítulo aborda, de uma forma genérica, alguns aspetos fundamentais relacionados com o tema multidisciplinar que é a energia geotérmica, fazendo referência à origem do calor da Terra, bem como ao modo como este pode ser explorado dependendo das características geológicas e hidrogeológicas regionais e locais e da utilização que se lhe pretende dar, nos vários tipos de sistemas geotérmicos, desde os de usos diretos (com e sem bomba de calor), aquecimento ambiental (para climatização ambiental ou armazenamento térmico), bem como aqueles que permitem a produção de eletricidade. São introduzidos alguns conceitos básicos relacionados com a geotermia, que serão desenvolvidos com mais detalhe em capítulos subsequentes, cujo foco é mais específico, e feitas algumas considerações genéricas acerca do seu contexto em Portugal. São igualmente abordados, de uma forma resumida, os métodos de prospeção e pesquisa de recursos geotérmicos.

ABSTRACT

This chapter addresses, in a generic way, some fundamental aspects related to the multidisciplinary theme of geothermal energy. It refers to the origin of the Earth's heat, and how it can be exploited depending on the regional and local geological and hydrogeological characteristics and its intended use, in the various types of geothermal systems, from those for direct uses (with and without heat pumps), space heating (for air conditioning or thermal storage), to those that allow the production of electricity. Some basic concepts related

to geothermal energy, which will be developed in more detail in subsequent chapters, are introduced, and some generic considerations about its context in Portugal are made. Methods for prospecting for geothermal resources are also summarized.

Palavras-Chave: calor da Terra, parâmetros geotérmicos, tipos de geotermia, prospeção geotérmica.

Keywords: Earth's heat, geothermal parameters, types of geothermal, geothermal prospecting.

CAPÍTULO 2. A GEOTERMIA EM PORTUGAL CONTINENTAL E SEU ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

CHAPTER 2. GEOTHERMAL ENERGY IN MAINLAND PORTUGAL AND ITS LEGISLATIVE FRAMEWORK

Lourenço, Carla; DGEG, Lisboa, Portugal, carla.lourenco@dgeg.gov.pt

RESUMO

Os Recursos Geotérmicos (RG) de Portugal continental têm vindo a ser estudados não só através de métodos e estudos hidrogeológicos clássicos, como também através de inventários minuciosos e recolha regular de dados quantitativos e interpretação dos parâmetros obtidos. Justifica-se a promoção do aproveitamento destes recursos, que representam um recurso local e uma oportunidade de desenvolvimento de atividade económica, para além da própria atividade termal, ao proporcionar economia de energia ou melhoria do grau de conforto dos estabelecimentos termais e outros.

Os estudos elaborados pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) mostram uma evolução do aproveitamento dos RG em Portugal continental, sendo expectável que nos próximos anos haja um maior aproveitamento destes recursos, cujo potencial se encontra ainda subaproveitado.

ABSTRACT

Geothermal Resources of mainland Portugal have been studied not only through classical hydrogeological methods and studies, but also through detailed inventories and regular collection of quantitative data and interpretation of the obtained parameters. Promoting the use of these resources is justified, as they represent a local resource and an opportunity for developing economic activity, beyond the thermal activity itself, by providing energy savings or improving the comfort level of medical spas and others.

Studies prepared by the Directorate-General for Energy and Geology (DGEG) show an evolution in the use of GR in mainland Portugal. It is expected that

greater use will be made of these resources in the coming years, whose potential is still underexploited.

Palavras-Chave: Energia geotérmica, recursos geotérmicos, águas minerais naturais, geotermia superficial, transição energética.

Keywords: Geothermal energy, geothermal resources, natural mineral waters, shallow geothermal, energy transition.

CAPÍTULO 3. GEOTERMIA NOS AÇORES

CHAPTER 3. GEOTHERMAL ENERGY IN THE AZORES

Nunes, João Carlos; *INOVA- Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores, Rua S. Gonçalo, n.º 75, 9500-110 Ponta Delgada & Universidade dos Açores, Rua Mãe de Deus, 9501-801 Ponta Delgada, Açores, Portugal, jcnunes@inovacores.pt*

Franco, António; *EDA RENOVÁVEIS, S.A., Rua Embaixador Faria e Maia, n.º 56, 9500-535 Ponta Delgada, Açores, Portugal, antonio.l.franco@edar.pt*

Rangel, Graça; *EDA RENOVÁVEIS, S.A., Rua Embaixador Faria e Maia, n.º 56, 9500-535 Ponta Delgada, Açores, Portugal, mrangel@edar.pt*

Martins, Rita; *EDA RENOVÁVEIS, S.A., Rua Embaixador Faria e Maia, n.º 56, 9500-535 Ponta Delgada, Açores, Portugal, rmartins@edar.pt*

Carvalho, Maria do Rosário; *Departamento de Ciências da Terra e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa & Instituto D. Luiz, Campo Grande, Edifício C6, 3º Piso, 1749-016 Lisboa, Portugal, mdrcarvalho@ciencias.ulisboa.pt*

RESUMO

Em Portugal, os recursos geotérmicos de alta temperatura estão limitados ao Arquipélago dos Açores. Identificados nos anos 70, reconhecidos nos anos 80 (período em que a viabilidade de produção de energia elétrica foi demonstrada) e em exploração industrial desde os anos 90 do século passado, estes recursos estão associados a sistemas vulcânicos ativos adormecidos. A EDA Renováveis S.A. é a concessionária responsável pela exploração destes recursos para produção de eletricidade. Atualmente, opera três centrais ORC: duas na Ribeira Grande (Pico Vermelho e Ribeira Grande, total de 23 MW), na ilha de São Miguel e uma no Pico Alto (3,5 MW), na ilha Terceira. Na última década, a geotermia assegurou 36-40% da eletricidade em São Miguel e 4-12% na Terceira. Está em curso um programa de expansão, incluindo a expansão da central geotérmica do Pico Vermelho (+12 MW) e a revitalização de 5 MW na central da Ribeira Grande (5 MW). Prevê-se que estes projetos estejam concluídos até 2026, e com a sua entrada em operação, será possível aumentar a taxa de penetração da energia geotérmica na produção elétrica da ilha de São Miguel. Nos Açores existem, ainda, recursos de baixa entalpia, usados em termas, spas e ocasionalmente na culinária. As bombas de calor geotérmicas (GSHP) têm elevado potencial, mas apenas foram alvo de um projeto piloto em São Miguel.

ABSTRACT

In Portugal, high-temperature geothermal resources are limited to the Azores Archipelago. Identified in the 1970s, recognized in the 1980s (a period during which the feasibility of electricity generation was demonstrated), and under industrial exploitation since the 1990s, these resources are associated with dormant active volcanic systems. EDA Renováveis S.A. is the concessionaire responsible for exploiting these resources for electricity production. Currently, it operates three ORC plants: two in Ribeira Grande (Pico Vermelho and Ribeira Grande, totaling 23 MW) on São Miguel Island, and one in Pico Alto (3.5 MW) on Terceira Island. Over the past decade, geothermal energy has supplied 36–40% of electricity on São Miguel and 4–12% on Terceira. An expansion program is underway, including the extension of the Pico Vermelho geothermal plant (+12 MW) and the repowering of 5 MW at the Ribeira Grande plant. These projects are expected to be completed by 2026, and once operational, they will increase the penetration rate of geothermal energy in electricity production on São Miguel Island. In the Azores, there are also low-enthalpy resources, used in thermal baths, spas, and occasionally in cooking. Geothermal heat pumps (GSHP) have high potential, but so far have only been the subject of a pilot project on São Miguel Island.

Palavras-Chave: Geotermia, Alta entalpia, Baixa entalpia, Aproveitamentos geotérmicos.

Keywords: Geothermal energy, High enthalpy, Low enthalpy, Geothermal uses.

CAPÍTULO 4. APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DE CHAVES

CHAPTER 4. GEOTHERMAL ENERGY USE IN CHAVES

Nogueiro, Rui; *Câmara Municipal de Chaves, Chaves, Portugal*, rui.nogueiro@chaves.pt
Esteves, Joaquim; *Gestão de Equipamentos Municipais, Chaves, Portugal*,
joaquimesteves.termas@chaves.pt

RESUMO

O projeto da Rede Urbana de Calor de Chaves foi concebido com o objetivo de aproveitar o recurso geotérmico da região para fornecer energia térmica a diversos edifícios públicos e privados da cidade, promovendo a sustentabilidade energética, a eficiência e a redução de emissões poluentes. A rede foi implementada em formato de anel fechado, com tubagens de ida e retorno que inclui cerca de 2.400 metros de condutas subterrâneas, ligando 26 edifícios consumidores. Para garantir o fornecimento contínuo e eficaz de energia térmica, a central geotérmica existente foi modernizada, permitindo aumentar significativamente a sua capacidade. Entre as intervenções realizadas destacam-se: instalação de permutadores de maior potência, grupos de bombagem mais robustos, tubagens de maior diâmetro e um sistema de Gestão Técnica Centralizada (GTC) para controlo e monitorização em tempo real de toda a rede. A exploração do recurso geotérmico é feita de forma sustentável, com um caudal de 15 L/s a 74°C no circuito primário, permitindo uma potência térmica disponível de cerca de 1,5 MW e uma produção anual estimada de 47,5 TJ. A temperatura da água fornecida aos consumidores é de 65°C, com retorno a 45°C. Cada edifício ligado à rede possui uma instalação própria com permutador de calor, contadores e equipamentos de controlo. O sistema GTC permite ajustar automaticamente a produção em função das necessidades dos utilizadores, otimizando o consumo de energia e melhorando a eficiência operacional. As condutas da rede urbana são termicamente isoladas e foram instaladas sob os arruamentos públicos da cidade, com materiais apropriados como aço e PEX, conforme o diâmetro necessário. Foram também implementadas válvulas, ventosas e sistemas de drenagem para garantir a segurança e manutenção da rede. Do ponto de vista económico, o sistema representa uma redução de custos para os utilizadores, tanto no consumo energético como na manutenção. Ambientalmente, destaca-se uma poupança anual de cerca de

1.340 toneladas de CO₂ equivalente, contribuindo diretamente para os objetivos de neutralidade carbónica de Portugal e da União Europeia. A nova rede urbana de calor de Chaves é um exemplo claro de como a geotermia pode ser utilizada de forma eficiente, segura e sustentável, promovendo a autonomia energética local, reduzindo as emissões e beneficiando economicamente os seus utilizadores.

ABSTRACT

The Chaves Urban Heat Network project was designed to harness the region's geothermal resource to provide thermal energy for various public and private buildings in the city, promoting energy sustainability, efficiency, and reduced pollutant emissions. The network was implemented as a closed-loop system, comprising supply and return pipelines spanning approximately 2,400 metres of underground ducting and connecting 26 consumer buildings. To ensure a continuous and efficient supply of thermal energy, the existing geothermal plant was modernized, significantly increasing its capacity. Key upgrades included the installation of higher-capacity heat exchangers, more robust pumping units, larger-diameter piping, and a centrally monitored Technical Management System (GTC) for real-time network control and monitoring. Geothermal exploitation is conducted sustainably, with a flow rate of 15 L/s at 74 °C, providing an available thermal output of around 1.5 MW and an estimated annual production of 47.5 TJ. The supply temperature to consumers is maintained at 65 °C, with return temperatures of 45 °C. Each connected building is equipped with its own installation, featuring a heat exchanger, meters, and control equipment. The GTC system automatically adjusts production according to users' needs, optimising energy consumption and enhancing operational efficiency. The underground network ducts are thermally insulated and placed beneath public thoroughfares, constructed from suitable materials such as steel and PEX according to required diameters. Valves, air release devices, and drainage systems have also been installed to ensure network safety and facilitate maintenance. From an economic standpoint, the system reduces costs for users in both energy consumption and maintenance. Environmentally, it achieves an annual saving of approximately 1,340 tonnes of CO₂ equivalent, directly contributing to the carbon neutrality goals of both Portugal and the European Union. The new urban heat network in Chaves clearly demonstrates how geothermal energy

can be utilized efficiently, safely, and sustainably—fostering local energy autonomy, reducing emissions, and delivering economic benefits to its users.

Palavras-Chave: Geotermia, Chaves, Aquecimento, Edifícios, Energia.

Keywords: Geothermal energy, Chaves, Heating, Buildings, Energy.

CAPÍTULO 5. APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS EM SÃO PEDRO DO SUL

CHAPTER 5. GEOTHERMAL ENERGY USE IN SÃO PEDRO DO SUL

Ferreira Gomes, L. M.; *Diretor Técnico, Termas de São Pedro do Sul, GeoBioTec@UBI, Dep.de Eng^a Civil e Arquitetura, Univ. da Beira Interior, Covilhã; Portugal, lmfg@ubi.pt*
Jorge, I.S.T. Ana, *Direção Operacional, Termalístur - Termas de São Pedro do Sul, E.M., S.A., São Pedro do Sul, Portugal, anajorge@termas-spsul.com*
Gonçalves, F. Liliana, *Técnica Superior de Bioquímica, Termalístur - Termas de São Pedro do Sul, E.M., S.A., São Pedro do Sul, Portugal, lilianaferreira@termas-spsul.com*

RESUMO

A região de São Pedro do Sul é caracterizada por águas subterrâneas naturalmente quentes, com várias ressurgências a cerca de 67 °C. O uso desta água subterrânea singular remonta a vários milénios, existindo evidências arqueológicas e científicas que indicam a sua utilização há aproximadamente 4000 anos, nomeadamente no Castro do Banho, próximo da Nascente do Vau. Em 2019, foi inaugurado no município o Museu “Ruínas do Balneário Romano”, junto às Termas de São Pedro do Sul. A recuperação arquitetónica cuidada, associada à preservação de materiais de diferentes períodos históricos, permite documentar cerca de 2000 anos de utilização, desde a época romana, passando pelo reinado do primeiro rei de Portugal, até à atualidade. As características geotérmicas destas águas terão provavelmente exercido um papel determinante na ocupação humana da região. Atualmente, o território associado àquelas águas designa-se como Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul, com aquela água subterrânea classificada oficialmente como dois recursos, não só como água mineral natural no uso do termalismo e atividades afins, mas também como recurso geotérmico. O presente estudo inicia-se com uma nota histórica e a definição dos objetivos. Segue-se uma síntese dos principais elementos do modelo geohidráulico do recurso, examinando a sua relação com a ocupação do território e os eventuais impactos na estabilidade térmica do sistema aquífero fissural quente face às alterações climáticas. Posteriormente, descrevem-se os sistemas de exploração dos dois setores produtores – Pólo das Termas e Pólo do Vau – incluindo considerações económicas e

ambientais. Por fim, apresentam-se as perspectivas futuras para a gestão sustentável do recurso.

ABSTRACT

The São Pedro do Sul region hosts naturally hot groundwater, with several discharges at approximately 67°C. The exploitation of this unique groundwater resource dates back several millennia, with archaeological and scientific evidence indicating its use around 4000 years ago, particularly at Castro do Banho, near the Vau Spring. In 2019, the municipality inaugurated the *Roman Old Balneary and Poll Museum*, adjacent to the São Pedro do Sul thermal spa. The architectural restoration and recovery of materials from different periods document nearly two millennia of continuous use, from the Roman era through the reign of Portugal's first king to the present day. The geothermal characteristics of these waters appear to have strongly influenced human settlement in the area. Currently, the territory is designated as São Pedro do Sul Hydromineral and Geothermal Field, with its groundwater recognized as a dual resource: natural mineral water, used in balneology and related activities, and as geothermal resource. This work begins with a historical overview and research objectives. It then provides a synthesis of the main components of the geohydraulic model of the system, with emphasis on its relationship to land occupation and the potential impacts of anthropogenic disturbance and climate change on the hot fissured aquifer and its thermal stability. Subsequently, an outline of the exploitation schemes for the two production sectors – Termas Pole and Vau Pole—are described, including associated economic and environmental considerations. Finally, the study presents future perspectives for the sustainable management of the resource.

Palavras-Chave: recurso geotérmico, alterações climáticas, usos em cascata, São Pedro do Sul.

Keywords: geothermal resource, climate change, cascade uses, São Pedro do Sul.

CAPÍTULO 6. APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS TERMAS DE LONGROIVA

CHAPTER 6. GEOTHERMAL UTILIZATION OF THE TERMAS DE LONGROIVA

Coelho Ferreira, P. J.; *GeoBioTec@UBI, C. M. de Mêda, Mêda, Portugal, pedroferreira@cm-meda.pt*

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec@UBI, Dep.de Eng^a Civil e Arquitetura, Univ. da Beira Interior, Covilhã; Portugal, lmfg@ubi.pt*

RESUMO

As Termas de Longroiva possuem águas minerais naturalmente quentes (≈ 47 °C), classificadas desde 2011 como recurso geotérmico. Este recurso apresenta potencial não apenas para aplicações no termalismo clássico e de bem-estar, mas também para o aquecimento ambiente de edifícios e das suas águas sanitárias. Contudo, os balneários portugueses enfrentam atualmente desafios de sustentabilidade energética, agravados por custos elevados e sobredimensionamento de infraestruturas. Neste contexto, as energias renováveis, em particular a geotermia de baixa entalpia, surgem como uma solução promissora. No presente trabalho, com base em estudos realizados e recorrendo a elementos de hidrogeologia ambiental, hidrogeoquímica, análises isotópicas e de geotermometria química, é apresentado o modelo geohidráulico da água mineral natural de Longroiva e avaliado o seu potencial geotérmico. Analisa-se ainda o aproveitamento geotérmico já implementado nas Termas de Longroiva e apontam-se cenários de aplicação, vantagens energéticas e perspetivas futuras para o seu aproveitamento.

ABSTRACT

Termas de Longroiva have naturally hot mineral waters ($\approx 47^{\circ}\text{C}$), classified since 2011 as a geothermal resource. This resource has potential not only for applications in classical hydrotherapy and wellness, but also for space heating of buildings and DHW. However, Portuguese Medical Spas currently face energy sustainability challenges, aggravated by high operational costs and oversized infrastructures. In this context, renewable energies, particularly low-enthalpy geothermal energy, emerge as a promising solution. In the

present work, based on studies carried out and using elements of environmental hydrogeology, hydrogeochemistry, isotopic analyses, and chemical geothermometry, the geohydraulic model of the natural mineral water of Longroiva is presented, and its geothermal potential is assessed. The geothermal use already implemented at the Termas de Longroiva is also analyzed, and scenarios of application, energy advantages, and future perspectives for its utilization are outlined.

Palavras-Chave: temperatura, gradiente geotérmico, águas sulfúreas, maciços graníticos, reservatório geotérmico.

Keywords: temperature, geothermal gradient, sulphurous groundwater granitic massifs; geothermal reservoir.

CAPÍTULO 7. OS SISTEMAS GEOTÉRMICOS NA UNIVERSIDADE DE AVEIRO E OUTROS

CHAPTER 7. GEOTHERMAL SYSTEMS AT THE UNIVERSITY OF AVEIRO AND OTHERS

Lapa, José; *Diretor-Geral da Ferreira Lapa Lda.; Professor Associado aposentado da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, marqueslapa@ferreiralapa.com*

RESUMO

O presente capítulo pretende apresentar alguns exemplos de construção e projeto de alguns sistemas geotérmicos para a climatização de edifícios, executados com o acompanhamento do autor, dos quais foram obtidas experiências e informações que permitiram determinar uma sistematização de procedimentos, estudos preparatórios e de condicionantes do terreno e do edifício, para determinação da aplicabilidade dos diferentes sistemas de aquisição da energia geotérmica e da distribuição energética de climatização no edifício. São apresentadas variadas aplicações dos sistemas de geotermia superficial em edifícios de serviços, habitação e industriais, descrevendo-se as soluções, bem como a sua conceção, cálculo e dimensionamento, sua gestão, manutenção e monitorização, e ainda referências a vantagens e riscos da utilização desses sistemas e ainda da sua eficiência e sustentabilidade.

ABSTRACT

This chapter aims to present some examples of construction and design of some geothermal systems for the air conditioning of buildings, executed with the author's supervision, from which experiences and information were obtained that allowed to determine a systematization of procedures, preparatory studies and constraints of the terrain and building, to determine the applicability of the different systems of acquisition of geothermal energy and the energy distribution of air conditioning in the building. Various applications of surface geothermal systems in service, residential and industrial buildings are presented, describing the solutions, as well as their design and energy analysis, management, maintenance, and monitoring, as

well as references to the advantages and risks of using these systems and their efficiency and sustainability.

Palavras-Chave: sistemas geotérmicos, projeto e construção, geotermia superficial, climatização de edifícios e AQS.

Keywords: geothermal systems, design and construction, surface geothermal, heating-cooling-DHW in buildings.

CAPÍTULO 8. O APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DE OMBRIA RESORT (ALGARVE)

CHAPTER 8. GEOTHERMAL ENERGY USE AT OMBRIA RESORT (ALGARVE)

Madureira, Pedro; *Synege, Venda do Pinheiro, Portugal*, pmadureira@synege.pt
Figueira, João S.; *Geogradiente, Venda do Pinheiro, Portugal*, jfigueira@geogradiente.pt

RESUMO

Os edifícios estão cada vez mais exigentes, nomeadamente, nos requisitos de conforto e necessidades energéticas. Estes constituem um contributo significativo no consumo energético e é necessário promover a eficiência energética e reduzir o consumo de energia. Ombria Resort, no Algarve, teve na sua génese a atenção na sua eficiência energética e instalou um sistema de climatização com base em geotermia superficial, em rede, para os vários edifícios que compõem a estrutura. O caso em estudo é apresentado e discutido, ao nível do projeto e instalação, passando pelos conceitos subjacentes ao aproveitamento geotérmico de muito baixa entalpia, referentes ao projeto de climatização e ao papel da geologia no reconhecimento da fonte de calor e execução.

ABSTRACT

Buildings are increasingly demanding, particularly in terms of comfort and energy needs. These contribute significantly to energy consumption, and it is necessary to promote energy efficiency and reduce energy consumption. Ombria Resort, in the Algarve, focused on energy efficiency from the outset and installed a linked shallow geothermal heating system for the various buildings that comprise the structure. The case study is presented and discussed in terms of design and installation, covering the concepts underlying the exploitation of very low enthalpy geothermal energy, including the HVAC design and the role of geology in heat source identification and implementation.

Palavras-Chave: Ombria Resort, aproveitamento geotérmico, geotermia superficial, rede térmica urbana.

Keywords: Ombria Resort, geothermal exploration, shallow geothermal energy, district heating and cooling.

CAPÍTULO 9. SISTEMAS GEOTÉRMICOS NO INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL, 20 ANOS DE DESENVOLVIMENTO

CHAPTER 9. GEOTHERMAL SYSTEMS AT THE POLYTECHNIC INSTITUTE OF SETÚBAL, 20 YEARS OF DEVELOPMENT

Luís Coelho, *MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Escola de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politecnico de Setúbal, Portugal*, luis.coelho@estsetubal.ips.pt

RESUMO

O Instituto Politécnico de Setúbal (IPS) foi pioneiro em Portugal na utilização de bombas de calor geotérmicas para climatização de edifícios, utilizando recursos superficiais. Desde 2004, o IPS participou em projetos europeus, como o GROUNDHIT, que desenvolveu bombas de calor geotérmicas de alta eficiência para habitação, com destaque para um protótipo no IPS que ainda funciona após 20 anos. Seguiram-se outros projetos onde se continuou a melhorar sistemas de climatização para diferentes tipos de edifícios, incluindo comerciais e industriais. Algumas empresas europeias integraram essas soluções nos seus produtos, ampliando o mercado. Um projeto relevante, o TESSe2b, demonstrou que a combinação de energia geotérmica, solar térmica e armazenamento térmico com materiais de mudança de fase aumenta a eficiência, reduz custos e aumenta a quota das fontes de energia renovável. Conclui-se que a energia geotérmica superficial tem um potencial de desenvolvimento contínuo, sendo uma fonte renovável essencial para a transição energética.

ABSTRACT

The Polytechnic University of Setúbal (IPS) is a pioneer in the use of geothermal heat pumps for heating, cooling and DHW in buildings in Portugal, using shallow geothermal resources. Since 2004, IPS has participated in European projects such as GROUNDHIT, which developed high-efficiency geothermal heat pumps for residential use, notably a prototype at IPS that is still operational after 20 years. Other projects followed, where air conditioning systems continued to be improved for different types of buildings, including commercial and industrial ones. Some European companies have integrated

these solutions into their products, expanding the market. A key project, TESSe2b, demonstrated that combining geothermal energy, solar thermal energy, and thermal storage with phase change materials increases efficiency, reduces costs and increases the share of renewable energy sources. The conclusion is that shallow geothermal energy has potential for continued development, being an essential renewable source for the energy transition.

Palavras-Chave: geotermia superficial, sistemas geotérmicos, bombas de calor, climatização de edifícios, Instituto Politécnico de Setúbal.

Keywords: shallow geothermal energy, geothermal systems, heat pumps, heating-cooling-DHW in buildings, Instituto Polytechnic de Setúbal.

CAPÍTULO 10. POTENCIAL EGS/HDR DA REGIÃO CENTRO E NORTE DE PORTUGAL

CHAPTER 10. EGS/HDR POTENTIAL IN CENTRAL AND NORTHERN PORTUGAL

Pereira, A.J.S.C., *Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal,*
apereira@dct.uc.pt

Neves, L.J.P.F., *Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal*
luisneves@dct.uc.pt

RESUMO

A geotermia EGS/HDR apresenta um elevado potencial enquanto fonte de energia eléctrica com carácter renovável, encontrando-se presentemente em desenvolvimento dezenas de projetos nos EUA, Austrália e Europa. Na região centro e norte de Portugal não é fácil encontrar alguns dos cenários geológicos mais favoráveis a este tipo de aproveitamento geotérmico, normalmente associados a rochas graníticas possuindo espessa cobertura de sedimentos/metassedimentos. Contudo, alguns granitos variscos de natureza HHP que ocorrem na região apresentam indicadores favoráveis à existência de fluxos térmicos superiores aos normais na crosta, o que potencialmente os qualifica para o efeito de aproveitamento geotérmico EGS/HDR. Em favor desta possibilidade concorrem, designadamente, o grande volume e profundo enraizamento de alguns destes corpos graníticos, a sua elevada produção interna de calor radiogénico ($>3,5 \mu\text{Wm}^{-3}$), as evidências geoquímicas de que os teores de elementos radiogénicos são suscetíveis de não decrescer rapidamente em profundidade, e ainda as inferências baseadas em geotermómetros aplicados a águas termais que sugerem fluxos térmicos pontuais da ordem dos $140 \pm 10 \text{ mWm}^{-2}$, duplos dos normalmente observados na crosta continental.

ABSTRACT

Engineered Geothermal Systems (EGS) present a high potential as a renewable source of energy for electricity production; dozens of projects are

currently being developed in the USA, Australia and Europe. In the central and northern region of Portugal it is not possible to find the most common geological scenarios that are usually considered favorable for this new type of geothermal exploitation, namely those associated with deep granites covered by a thick sedimentary sequence. However, some HHP granites of this region of Portugal show several evidence of increased heat flow, which could make them suitable for EGS/HDR. This conclusion is based in the large volume and deep-rooted nature of some plutons, their high internal heat production (higher than $3,5 \mu\text{Wm}^{-3}$), geochemical evidence suggesting that the concentrations of the radiogenic elements are not likely to be significantly reduced with depth, and also results from geothermometers applied to thermal waters, that allow to estimate heat flow in the range $140 \pm 10 \text{ mWm}^{-2}$, which approximately doubles typical values of the continental crust.

Palavras-Chave: Geotermia, EGS, HDR, Avaliação, Portugal.

Keywords: Geothermic, EGS, HDR, Evaluation, Portugal.

CAPÍTULO 11. POTENCIAL GEOTÉRMICO DA ILHA DA MADEIRA

CHAPTER 11. GEOTHERMAL POTENTIAL OF MADEIRA ISLAND

Prada, S.; IVAR e Universidade da Madeira, Portugal, slprada@staff.uma.pt

Cruz, J.V.; IVAR e Universidade dos Açores, Portugal, jose.vm.cruz@uac.pt

Brum da Silveira, A.; Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, antonio.brum@fc.ul.pt

Figueira, C.; Instituto das Florestas e Conservação da Natureza, Madeira, Portugal, celso.figueira@madeira.gov.pt

RESUMO

A ilha da Madeira, situada no oceano Atlântico, 850 km a sudoeste de Portugal continental, corresponde a um vulcão escudo de idade Mio-Holocénica (>7Ma) profundamente dissecado pela erosão. Este edifício vulcânico foi construído sobre crosta oceânica de idade cretácica e está localizado no limite meridional do alinhamento de relevos vulcânicos submarinos designados por “Cadeia Vulcânica da Madeira”. A sua origem tem sido atribuída ao rasto de um ponto quente (*hot-spot track*) associado a uma pluma mantélica cuja posição é estacionária relativamente à deriva, para NE, da placa tectónica africana. Contudo, a origem do magmatismo oceânico intraplaca não está totalmente esclarecida. Entre os modelos propostos, salienta-se a hipótese do vulcanismo estar diretamente relacionado à tectónica, nomeadamente ao arqueamento (*buckling*) da litosfera na região da Crista Madeira-Tore e a um processo de subducção incipiente iniciado mais a oriente. O campo de tensões localmente distensivo terá induzido a fusão de rochas por decompressão e conseqüente ascensão de magma em dois sistemas de fraturação principais (NE-SW e WNW-ESE) relacionados com descontinuidades pré-existentes na crosta oceânica. O facto de a erupção vulcânica mais recente na ilha da Madeira ter ocorrido há cerca de 7–6 mil anos revela um sistema vulcânico adormecido, onde não está excluída a hipótese de ocorrer atividade vulcânica no futuro. Atualmente, observam-se manifestações que podem estar relacionadas com desgaseificação do manto e com um elevado gradiente geotérmico.

ABSTRACT

Madeira Island, located in the Atlantic Ocean, 850 km southwest of mainland Portugal, corresponds to a shield volcano of Mio-Holocene age (>7 Ma), deeply dissected by erosion. This volcanic edifice was built upon Cretaceous-age oceanic crust and is located on the southern edge of the alignment of submarine volcanic reliefs known as the “Madeira Volcanic Chain.” Its origin has been attributed to the track of a hot spot associated with a mantle plume whose position is stationary relative to the northeastward drift of the African tectonic plate. However, the origin of intraplate oceanic magmatism is not fully understood. Among the proposed models, emphasis is given to the hypothesis that volcanism is directly related to tectonics, namely to the buckling of the lithosphere in the region of the Madeira-Tore Rise and to an incipient subduction process that began further east. The locally extensional stress field may have induced rock melting by decompression and the consequent ascent of magma along two main fracture systems (NE-SW and WNW-ESE) related to pre-existing discontinuities in the oceanic crust. The fact that the most recent volcanic eruption on Madeira Island occurred about 7–6 thousand years ago reveals a dormant volcanic system, where the possibility of future volcanic activity cannot be excluded. Currently, manifestations are observed that may be related to mantle degassing and to a high geothermal gradient.

Palavras-Chave: Geotermia, Potencial, Ilha da Madeira, Portugal.

Keywords: Geothermic, EGS, HDR, Evaluation, Madeira Island, Portugal.

CAPÍTULO 12. O POTENCIAL GEOTÉRMICO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS PROFUNDOS DAS BACIAS SEDIMENTARES DE LISBOA-SETÚBAL

CHAPTER 12. THE GEOTHERMAL POTENTIAL OF DEEP AQUIFER SYSTEMS IN THE SEDIMENTARY BASINS OF LISBON-SETÚBAL

Carvalho, Maria do Rosário; *Departamento de Ciências da Terra e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa & Instituto D. Luiz, Campo Grande, Edifício C6, 3º Piso, 1749-016 Lisboa, Portugal, mdrcarvalho@ciencias.ulisboa.pt*

Carreira, Paula; *Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt*

Marrero-Díaz, Rayco; *C.N. IGME – CSIC, Espanha, r.marrero@igme.es*

RESUMO

A ocorrência de águas termais, aliada à informação de sondagens petrolíferas na Orla Mesocenoica Ocidental, evidencia a presença de aquíferos profundos com elevado potencial geotérmico. Em formações sedimentares que se estendem do Mio-Pliocénico ao Aptiano-Albiano, foram identificados aquíferos com temperaturas de cerca de 50 °C e gradientes geotérmicos que podem ultrapassar 3,5 °C/100 m. Sob a Península de Setúbal, onde se observa a maior anomalia térmica, esperam-se temperaturas próximas de 75 °C a 2.800 m de profundidade. O potencial geotérmico dos aquíferos do Aptiano-Albiano e Valanginiano da bacia de Lisboa foi estimado em 1×10^{18} J, constituindo um recurso de grande relevância estratégica, considerando a elevada densidade populacional da região.

ABSTRACT

The occurrence of thermal waters, together with data from oil drilling in the Western Meso-Cenozoic Border, demonstrates the presence of deep aquifers with high geothermal potential. In sedimentary formations ranging from the Mio-Pliocene to the Aptian-Albian, aquifers have been identified with temperatures of around 50 °C and geothermal gradients that may exceed 3.5 °C/100 m. Beneath the Setúbal Peninsula, where the greatest thermal anomaly is observed, temperatures close to 75 °C are expected at a depth of

2,800 m. The geothermal potential of the Aptian-Albian and Valanginian aquifers of the Lisbon Basin has been estimated at 1×10^{18} J, representing a resource of great strategic relevance, given the high population density of the region.

Palavras-Chave: Energia Geotérmica, Potencial, Lisboa-Setúbal, Portugal.

Keywords: Geothermal Energy, Potential, Lisboa-Setúbal, Portugal.

CAPÍTULO 13. CONTRIBUIÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL CONTINENTAL A PARTIR DE APROVEITAMENTOS EM CASCATA

CHAPTER 13. CONTRIBUTION TO ELECTRICITY PRODUCTION IN MAINLAND PORTUGAL FROM CASCADE UTILISATION

Källberg, P.; *Sylvander Trading, Estocolmo, Suécia e Gaucín, Espanha*, peter.kallberg@sylvander.pt
Ferreira-Gomes, L.M.; *GeoBioTec, Dep.de Eng^a Civil e Arquitetura, Univ. da Beira Interior, Covilhã*; lmfg@ubi.pt

RESUMO

O presente capítulo, depois de apresentar o seu enquadramento e objetivo, dedica-se de seguida a mostrar de um modo sintético o potencial geotérmico de Portugal Continental, no sentido de evidenciar locais para realizar novas captações adequadas à produção de água quente. De seguida apresentam-se elementos globais sobre a tecnologia que permite produzir eletricidade a partir de águas subterrâneas com temperatura inferior a 100°C, para depois se apresentarem exercícios com a produção de eletricidade, e mostrar que o mesmo fluxo ficando com o mesmo quimismo, mas mais frio, pode continuar numa cascata com temperaturas ainda adequadas para aproveitamentos energéticos térmicos, aquecimento urbano, termalismo, aqualúdicos, agro-estufas e outros.

ABSTRACT

This chapter, after presenting its framework and objective, is then dedicated to showing in a synthetic way the geothermal potential of mainland Portugal, in order to highlight places to carry out new abstractions suitable for the production of very hot water. Next, global elements are presented on the technology that allows the production of electricity from groundwater with a temperature below 100°C, and then exercises with the production of electricity are presented, and show that the same flow, with the same chemistry, but colder, can continue in a cascade with temperatures still suitable for thermal energy uses, thermalism, aqualudics and others.

Palavras-Chave: Eletricidade, geotermia, termalismo, aproveitamentos em cascata, LCOE.

Keywords: Electricity, geothermal energy, thermalism, cascade uses, Levelized Cost of Energy.

CAPÍTULO 14. O POTENCIAL DA TRIGERAÇÃO EM CENTROS TERMAIS: O USO DO GEOCALOR DESPERDIÇADO, PARA A OBTENÇÃO DE FRIO

CHAPTER 14. THE POTENTIAL OF TRIGENERATION IN THERMAL CENTRES: THE USE OF WASTE GEOHEAT TO OBTAIN COOLING

Barandier, Pedro; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, University of Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, P - 6201-001 Covilhã, Portugal, pedro.barandier@ubi.pt*

Miranda, Alexandre; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, University of Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, P - 6201-001 Covilhã, Portugal, alexborg@ubi.pt*

Marques Cardoso, António. J; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, University of Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, P - 6201-001 Covilhã, Portugal, ajmcardoso@ieee.org*

RESUMO

A geotermia apresenta, indubitavelmente, um recurso extraordinário e versátil com as mais diversas aplicações. No entanto, o seu potencial ainda pode ser consideravelmente otimizado de modo a tornar o sistema ainda mais sustentável. Com este objetivo, uma abordagem promissora é o seu aproveitamento para a trigeração, isto é, a obtenção de electricidade, aquecimento e arrefecimento em simultâneo. Este terceiro componente, o arrefecimento, pode ser obtido por meio de diversas formas, como os tradicionais sistemas de compressão de vapor, os sistemas de absorção e os de adsorção. Por fim, a escolha da solução mais adequada depende diretamente da entalpia dos recursos geotérmicos disponíveis.

ABSTRACT

Geothermal energy undoubtedly presents an extraordinary and versatile resource with a wide range of applications. Nevertheless, its potential can still be considerably optimised to make the system even more sustainable. For this purpose, a promising approach is to utilise it for trigeneration, that is, obtaining electricity, heating and cooling simultaneously. This third component, cooling, can be achieved by several ways, such as traditional vapour compression systems, absorption systems and adsorption systems.

Finally, the choice of the most suitable solution depends directly on the enthalpy of the geothermal resources available.

Palavras-Chave: Trigeriação, Bombas de Calor de Compressão de Vapor, Bombas de Calor de Absorção, Bombas de Calor de Adsorção.

Keywords: Trigeration, Vapour Compression Heat Pumps, Absorption Heat Pumps, Adsorption Heat Pumps.

CAPÍTULO 15. PERMUTADOR DE CALOR “AR-SOLO” APLICAÇÃO NA REGULAÇÃO TÉRMICA DE ARMÁRIOS DE TELECOMUNICAÇÕES E ESTUFAS AGRÍCOLAS

CHAPTER 15. “AIR-GROUND” HEAT EXCHANGER: APPLICATION IN THE THERMAL REGULATION OF TELECOMMUNICATIONS BOXES AND AGRICULTURAL GREENHOUSES

Pires, Luís Carvalho, *C-MAST - Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, Universidade da Beira Interior*, pires@ubi.pt

Silva, Pedro Dinho, *C-MAST - Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, Universidade da Beira Interior*, dinho@ubi.pt

Ferreira-Gomes, Luís Manuel, *GeoBioTec@UBI - Geobiosciences, Geoengineering and Geotechnologies, Universidade da Beira Interior*, lmfg@ubi.pt

RESUMO

O permutador de calor ar-solo é uma solução de climatização passiva que utiliza a temperatura relativamente estável do subsolo para condicionar o ar. A uma profundidade de alguns metros, o solo mantém-se em torno de 15 a 18 °C ao longo do ano, independentemente das variações sazonais da superfície. Essa característica permite que o ar, ao circular por tubagens enterradas, seja naturalmente aquecido no inverno ou arrefecido no verão antes de ser insuflado no espaço de utilização. Uma aplicação prática importante encontra-se nos armários de telecomunicações. Os equipamentos eletrónicos geram calor contínuo e sensível, o que pode comprometer o desempenho e a durabilidade dos componentes. O permutador ar-solo garante a dissipação desse calor sem recorrer a sistemas ativos de ar condicionado, assegurando temperaturas mais estáveis, maior fiabilidade dos dispositivos e significativa poupança de energia elétrica. Além disso, trata-se de uma solução silenciosa e de baixa manutenção, que aumenta a resiliência da infraestrutura. Outra aplicação relevante ocorre em estufas agrícolas. Nestes ambientes, a estabilidade térmica é essencial para o crescimento saudável das plantas. No inverno, o ar frio do exterior é aquecido ao passar pelo solo antes de entrar na estufa, evitando choques térmicos e perdas de produtividade. No verão, o ar quente é arrefecido, evitando temperaturas excessivas que poderiam prejudicar o cultivo. Dessa forma, o sistema ajuda a criar um microclima equilibrado, reduzindo a

dependência de aquecedores e ventiladores mecânicos. Em suma, o permutador de calor ar-solo constitui uma solução sustentável, eficiente e versátil, capaz de reduzir custos energéticos e promover estabilidade térmica em contextos técnicos e agrícolas.

ABSTRACT

The earth-air heat exchanger is a passive solution for heating and cooling that uses the relatively stable temperature of the subsoil to condition the air. At a depth of a few meters, the ground remains at around 15 to 18 °C throughout the year, regardless of seasonal variations on the surface. This characteristic allows the air, as it circulates through buried pipes, to be naturally heated in winter or cooled in summer before being blown into the space where it will be used. An important practical application is in telecommunications cabinets. Electronic equipment generates continuous and significant heat, which can compromise the performance and durability of components. The earth-air heat exchanger ensures the dissipation of this heat without resorting to active air conditioning systems, ensuring more stable temperatures, greater device reliability, and significant electricity savings. In addition, it is a quiet, low-maintenance solution that increases resilience. Another relevant application is in agricultural greenhouses. In these environments, thermal stability is essential for healthy plant growth. In winter, cold air from outside is heated as it passes through the soil before entering the greenhouse, preventing thermal shocks and productivity losses. In summer, hot air is cooled, preventing excessive temperatures that could harm crops. In this way, the system helps to create a balanced microclimate, reducing dependence on heaters and mechanical fans. In short, the earth-air heat exchanger is a sustainable, efficient, and versatile solution capable of reducing energy costs and promoting thermal stability in technical and agricultural contexts.

Palavras-Chave: permutador ar-solo, estabilidade térmica, solução sustentável, solução energética eficiente.

Keywords: earth-air heat exchanger, thermal stability, sustainable solution, energy-efficient solution.

CAPÍTULO 16. COMPORTAMENTO TÉRMICO E TERMOMECÂNICO DE SOLOS

CHAPTER 16. THERMAL AND THERMO-MECHANICAL BEHAVIOUR OF SOILS

Vieira, Ana; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, avieira@lnec.pt*

Figueira, João S.; *Geogradiente, Venda do Pinheiro, Portugal, jfigueira@geogradiente.pt*

RESUMO

Uma adequada caracterização térmica e termomecânica do solo em sistemas geotérmicos superficiais é essencial para assegurar o seu correto dimensionamento, tanto do ponto de vista energético como geotécnico-estrutural. Este capítulo apresenta os princípios e métodos dessa caracterização. Numa primeira fase, define-se a estratigrafia do terreno envolvente e quantificam-se os parâmetros térmicos, condutividade térmica, capacidade calorífica volumétrica e difusividade, e a sua variação com a profundidade, bem como as condições hidrogeológicas (nível freático e escoamento). Quando a geoestrutura está termoativada e acumula função estrutural, importa ainda avaliar os efeitos dos ciclos sazonais de aquecimento/arrefecimento sobre a rigidez, a resistência e as pressões intersticiais, os coeficientes de expansão térmica do solo e do betão, o comportamento da interface solo-estrutura e os estados de tensão e deformação, pelo seu impacto nos estados limite. A obtenção dos parâmetros de dimensionamento recorre a abordagens complementares, incluindo estudos preliminares com cartografia e bases de dados, ensaios laboratoriais e ensaios in situ, com destaque para os testes de resposta térmica e respetivas variantes.

ABSTRACT

An adequate thermal and thermo-mechanical characterisation of soil in shallow geothermal systems is essential to ensure proper design, both in energy terms and in geotechnical and structural terms. This chapter presents the principles and methods for such characterisation. As a first step, the

stratigraphy of the surrounding ground is defined and the thermal parameters, thermal conductivity, volumetric heat capacity and thermal diffusivity, and their variation with depth, are quantified, together with the hydrogeological conditions (groundwater table and flow). When the geostructure is thermo-active and also carries a structural function, it is further necessary to assess the effects of seasonal heating and cooling cycles on stiffness, strength and pore-water pressures, the thermal expansion coefficients of soil and concrete, the behaviour of the soil-structure interface and the stress and strain states, given their impact on limit states. The parameters used for design are obtained through complementary approaches, including preliminary studies based on geological mapping and databases, laboratory tests, and in situ tests, with emphasis on thermal response tests and their variants.

Palavras-Chave: Comportamento térmico de solos, comportamento termo-mecânico de solos, geotermia superficial, condutividade térmica.

Keywords: Thermal behaviour of soils, Thermo-mechanical behaviour of soils, shallow geothermal energy, thermal conductivity.

CAPÍTULO 17. VIABILIDADE DE SISTEMAS DE GEOTERMIA SUPERFICIAL BASEADOS EM ESTRUTURAS GEOTÉCNICAS TERMOATIVAS

CHAPTER 17. FEASIBILITY OF SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS BASED ON THERMOACTIVE GEOTECHNICAL STRUCTURES

Bourne-Webb, Peter John, CERIS, Instituto Superior Técnico, Portugal, peter.bourne-webb@tecnico.ulisboa.pt

Bodas Freitas, Teresa M, CERIS, Instituto Superior Técnico, Portugal, teresabodas@tecnico.ulisboa.pt

Venâncio, Diogo, Arup, Irlanda, drvenancio@outlook.com

RESUMO

Nas últimas duas décadas tem se verificado um aumento no uso de estruturas enterradas, em contacto com o solo (lajes, estacas, paredes de contenção, aduelas de revestimento de túneis) como permutadores de calor, no contexto de sistemas de energia geotérmica superficial (SEGS), denominadas de estruturas termoativas. A adoção mais generalizada desta solução técnica tem sido limitada pela falta de familiaridade com a mesma, bem como incerteza quanto aos efeitos mecânicos induzidos sobre os elementos estruturais pela termoativação. Este capítulo procura descrever o funcionamento de estruturas geotécnicas termoativas, o seu potencial térmico, bem como o estado da arte quanto aos efeitos mecânicos expectáveis decorrentes da sua termoativação. Para concluir é apresentado um caso de estudo, em que é analisada a viabilidade de um sistema SEGS baseado em estacas termoativas, para um edifício habitacional em Lisboa.

ABSTRACT

Increasingly, over the past two decades, buried structures in contact with the ground (slabs, piles, retaining walls, tunnel linings) have been used as heat exchangers in the context of shallow geothermal energy systems (SGES), known as thermoactive structures. Widespread adoption of this technical solution has been hindered by a lack of familiarity with it, as well as uncertainty regarding the mechanical effects induced on the structural elements by the thermoactivation. This chapter describes the operation of

thermoactive geostructures, their thermal potential and the state of the art regarding the expected mechanical effects resulting from the thermoactivation. Finally, it is presented a case study that examines the feasibility of implementing a SGES based on thermoactive piles in a residential building in Lisboa.

Palavras-Chave: geotermia superficial, estruturas termo-ativadas, estacas, interação solo-estrutura, efeitos termomecânicos.

Keywords: shallow geothermal, thermo-active structures, piled foundations, soil-structure interaction, thermo-mechanical effects.

CAPÍTULO 18. A 5ª GERAÇÃO DE REDES TÉRMICAS URBANAS E A GEOTERMIA SUPERFICIAL

CHAPTER 18. THE 5TH GENERATION OF DISTRICT HEATING AND COOLING NETWORKS AND SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY

Figueira, João S.; Geogradiente, Venda do Pinheiro, Portugal, jfigueira@geogradiente.pt

RESUMO

Neste novo paradigma energético, em que se procura efetivamente soluções alternativas e renováveis para a providência energética, a geotermia superficial apresenta-se como promissora e em franca adoção na Europa, América do Norte e China. A evolução tem sido na direção da consideração dos recursos geotérmicos superficiais também para redes urbanas de calor e frio. As redes térmicas urbanas, em especial foco nas de 5ª geração, permitem o fornecimento de calor e frio, à escala multiconsumidor, para aquecimento e arrefecimento ambiente, e águas quentes sanitárias. São, então, abordadas as redes térmicas urbanas e a integração da geotermia superficial nestes sistemas. É analisado ainda o estado atual de desenvolvimento em Portugal e o seu potencial.

ABSTRACT

In this new energy paradigm, where alternative and renewable solutions are being effectively sought for energy provision, shallow geothermal energy appears promising and is being consistently adopted in Europe, North America, and China. The trend has been towards considering shallow geothermal resources for urban heating and cooling networks as well. District heating and cooling systems, particularly fifth-generation ones, enable the supply of heating and cooling, on a multi-consumer scale, for space heating and cooling, and domestic hot water. The article then addresses urban heating networks and the integration of shallow geothermal energy into these systems. The current state of development in Portugal and its potential are also analysed.

Palavras-Chave: Rede térmica urbana, geotermia superficial, climatização, redes térmicas de 5ª geração.

Keywords: District heating and cooling, shallow geothermal energy, Heating and cooling, 5th generation thermal networks.

CAPÍTULO 19. CARTOGRAFIA GEOTÉRMICA À ESCALA DO MUNICÍPIO COMO INSTRUMENTO DE PLANEAMENTO E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

CHAPTER 19. GEOTHERMAL CARTOGRAPHY AT THE MUNICIPAL SCALE, AS A TOOL FOR PLANNING AND TERRITORY USE

Pinto, C., *Câmara Municipal de Lisboa, FCUL, Atlântica Instituto Universitário, Lisboa, Portugal*, claudia.pinto@cm-lisboa.pt

Inácio, M., *Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa, Portugal*, miguel.inacio@cm-lisboa.pt

RESUMO

A Câmara Municipal de Lisboa tem vindo a incentivar a implementação de boas práticas no que concerne ao uso de sistemas geotérmicos de baixa entalpia para climatização do parque edificado. Para atingir esse objetivo encontra-se a desenvolver três tarefas fundamentais: elaboração de um guia técnico com informação relativa à fase de avaliação do recurso e fase de avaliação da necessidade energética e do respetivo sistema; desenvolvimento e implementação de um fluxo procedimental com as ações que cada promotor e projetista devem realizar de forma a explorarem esta alternativa ao nível dos projetos de especialidades; disponibilização do mapa do potencial geotérmico da cidade. Esta informação será disponibilizada nas plataformas de urbanismo da cidade de Lisboa e integrará a revisão do PDM pois considera-se que a mesma é um elemento fundamental para a promoção desta tecnologia, e para a implementação de soluções sustentáveis para o parque edificado, o que contribui para as metas e objetivos do desenvolvimento sustentável e para o cumprimento do contrato climático.

ABSTRACT

The Lisbon City Council has been actively promoting the adoption of best practices regarding the use of low-enthalpy geothermal systems for the acclimatization of the building stock. To this end, it is currently undertaking three key initiatives: the preparation of a comprehensive technical guide containing detailed information on the resource assessment phase and the evaluation of energy needs and corresponding system design; the

development and implementation of a procedural framework specifying the actions to be undertaken by developers and designers in order to integrate this alternative within specialized project planning; and the provision of a geothermal potential map of the city. This information will be made available through Lisbon's urban planning platforms and will be incorporated into the revision of the Lisbon Master Plan (PDM), as it is regarded as a crucial instrument for fostering the adoption of this technology and advancing sustainable solutions for the built environment. These measures will contribute to achieve the goals and objectives of sustainable development as well as ensuring compliance with the climate agreement.

Palavras-Chave: Cartografia geotérmica, Ordenamento, Município, Território.

Keywords: Geothermal cartography, Planning, Municipality, Territory.

CAPÍTULO 20. SISTEMAS GEOTÉRMICOS PORTUGUESES: ABORDAGENS INTEGRADAS E DESAFIOS FUTUROS

CHAPTER 20. PORTUGUESE GEOTHERMAL SYSTEMS: INTEGRATED APPROACHES AND FUTURE CHALLENGES

Marques, José; *Instituto Superior Técnico, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Lisboa, Portugal*, jose.marques@tecnico.ulisboa.pt

Carreira, Paula; *Instituto Superior Técnico, Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Bobadela LRS, Portugal*, carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

Este trabalho analisa os resultados obtidos em três sistemas geotérmicos de média entalpia em Portugal continental – Chaves, Caldas de Manteigas e Caldas da Rainha – através de uma abordagem multi-interdisciplinar. Em cada sistema foram caracterizadas as principais componentes geológicas, geoquímicas e isotópicas, bem como estimadas as temperaturas e profundidades dos respetivos reservatórios. Os resultados evidenciam a relevância de abordagens integradas para a definição de modelos de circulação, na compreensão das dinâmicas de recarga e descarga, e na avaliação da viabilidade do recurso. A caracterização aprofundada destes sistemas contribui significativamente para o conhecimento científico dos recursos hidrominerais e geotérmicos nacionais, reforçando o seu potencial de exploração sustentável. Para além do valor científico e tecnológico, os dados obtidos sublinham a importância estratégica da geotermia no contexto da transição energética. As condições identificadas apontam para a viabilidade de captações relativamente profundas, com elevada probabilidade de sucesso, reforçando a geotermia profunda como uma fonte renovável, estável e de base. Assim, este recurso pode desempenhar um papel determinante na diversificação do *mix* energético e na redução da dependência de combustíveis fósseis em Portugal.

ABSTRACT

This study analyzes the results obtained in three medium-enthalpy geothermal systems in mainland Portugal – Chaves, Caldas de Manteigas,

and Caldas da Rainha – through a multi-interdisciplinary approach. In each system, the main geological, geochemical, and isotopic components were characterized, and the temperatures and depths of the respective reservoirs were estimated. The results highlight the relevance of integrated approaches for defining circulation models, understanding recharge and discharge dynamics, and assessing resource viability. The detailed characterization of these systems contributes significantly to the scientific knowledge of national hydrothermal and geothermal resources, reinforcing their potential for sustainable exploitation. Beyond scientific and technological value, the data obtained underline the strategic importance of geothermal energy in the context of the energy transition. The identified conditions point out to the feasibility of relatively deep drilling, with a high probability of success, strengthening deep geothermal energy as a renewable, stable, and baseload source. Thus, this resource may play a decisive role in diversifying the energy mix and reducing dependence on fossil fuels in Portugal.

Palavras-Chave: energia geotérmica, sistemas de temperatura média, abordagem interdisciplinar, Portugal continental.

Keywords: geothermal energy, medium-temperature systems, interdisciplinary approach, mainland Portugal.

Parte II

**O PAPEL DAS GEOCIÊNCIAS E MODELAÇÃO NA AVALIAÇÃO DO
POTENCIAL GEOTÉRMICO DE PORTUGAL CONTINENTAL – MÉDIA
ENTALPIA**

**THE ROLE OF EARTH SCIENCES AND MODELLING IN THE ASSESSMENT OF
THE GEOTHERMAL POTENTIAL OF MAINLAND PORTUGAL – MEDIUM
ENTHALPY**

Marques, J.; *Instituto Superior Técnico, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Lisboa, Portugal, jose.marques@tecnico.ulisboa.pt*

Carreira, P.; *Instituto Superior Técnico, Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Bobadela LRS, Portugal, carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt*

RESUMO

Este estudo aborda três sistemas geotérmicos de média temperatura em Portugal continental, recorrendo a uma abordagem multidisciplinar. São identificadas características geológicas, geoquímicas e isotópicas nos três casos de estudo, nomeadamente: Chaves, Caldas de Manteigas e Caldas da Rainha. Os resultados realçam a importância de abordagens integradas na caracterização dos modelos de circulação, dinâmicas de recarga-descarga e viabilidade do recurso.

ABSTRACT

This study addresses three medium-temperature geothermal systems in mainland Portugal using a multidisciplinary approach. Geological and hydrogeochemical characteristics are identified in the three case studies, namely: Chaves, Caldas de Manteigas, and Caldas da Rainha. The results highlight the importance of integrated approaches in characterizing circulation models, recharge-discharge dynamics, and resource viability.

Palavras-Chave: energia geotérmica, sistemas de temperatura média, abordagem multidisciplinar, Portugal continental

Keywords: geothermal energy, medium temperature systems, multidisciplinary approach, mainland Portugal.

1 – INTRODUÇÃO

A avaliação dos sistemas geotérmicos de média entalpia em Portugal continental ganha relevância na transição energética, sendo uma alternativa fiável aos combustíveis fósseis. O seu aproveitamento requer conhecer características, distribuição e viabilidade. Este artigo apresenta casos de estudo e abordagens multidisciplinares, realçando a importância de métodos integrados na caracterização e avaliação dos recursos geotérmicos.

2 – SISTEMA GEOTÉRMICO DE CHAVES

O sistema geotérmico de média temperatura ($T_{\text{Furo}} \approx 77 \text{ }^\circ\text{C}$) de Chaves está localizado no norte de Portugal, na “Depressão de Chaves”, um graben orientado NNE–SSW. A região é constituída principalmente por granitos de idade varisca e por metassedimentos paleozóicos (Marques *et al.*, 2019a – e referências aí citadas). As águas geotérmicas ricas em CO_2 são do tipo Na- HCO_3 , com $\text{pH} \approx 7$, TDS entre 1600–1850 mg/L e CO_2 livre em torno de 500 mg/L. Os geotermómetros da sílica e K^2/Mg indicam $T_{\text{Reservatório}}$ próxima dos 120 $^\circ\text{C}$. As assinaturas isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$) corroboram a origem meteórica destas águas, sem ^{18}O -shift significativo (Marques *et al.*, 2019a). Os valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (-7,2 a -5,1‰ vs. V-PDB) e as razões $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ (10^8 – 10^9) sugerem uma fonte profunda (manto superior) de CO_2 (Carreira *et al.*, 2010). As razões ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ nas águas (0,728035–0,716713) são semelhantes às razões das plagioclases dos granitos, indicando a hidrólise da plagioclase-Na como o principal processo de interação água-rocha (Marques *et al.*, 2012). Prospeções geofísicas (resistividade e AMT) revelaram zonas condutivas na parte central do graben, atribuídas à presença de fluidos geotérmicos salinos em formações fraturadas e permeáveis. Conforme se ilustra no diagrama esquemático da Figura 1, a recarga ocorre preferencialmente em zonas de altitude elevada (no bloco E do graben de Chaves), com precipitação significativa, seguida de percolação (~3,5–4 km) ao longo de falhas profundas e descarga na planície de Chaves (Marques *et al.*, 2019a).

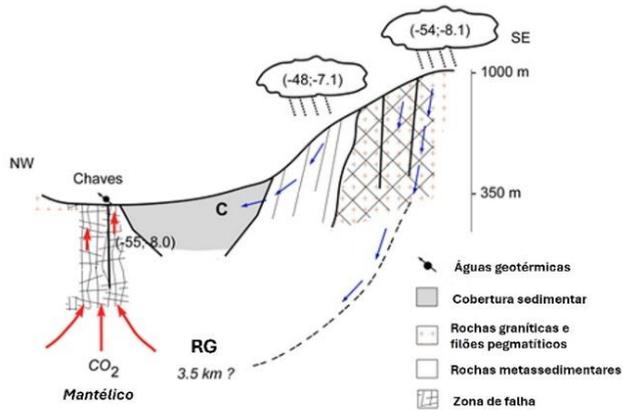


Figura 1 – Modelo Hidrogeológico Conceptual do Sistema Geotérmico de Chaves. C - Depósitos de Cobertura. RG - Reservatório Geotérmico; (-54;-8,1) - Composição Isotópica ($\delta^2\text{H}$; $\delta^{18}\text{O}$) das Águas. Adaptado de Marques *et al.* (2019a).

3 – SISTEMA GEOTÉRMICO DE CALDAS DE MANTEIGAS

Adotou-se uma abordagem multidisciplinar para modelar a circulação no sistema geotérmico de média temperatura das Caldas de Manteigas (Carreira *et al.*, 2011 – e referências aí citadas). A região de estudo situa-se no Parque Natural da Serra da Estrela (centro de Portugal). A geologia local inclui: i) aluviões e depósitos glaciais quaternários; ii) xistos e grauvaques do Precâmbrico-Câmbrico; e iii) granitos variscos. Este sistema, com temperaturas de emergência nos furos de captação entre 40–44 °C, apresenta: i) pH alcalino (~9); ii) baixo TDS (160–170 mg/L); iii) *fácies* HCO_3^- -Na; e iv) sílica elevada (~60 mg/L) e flúor (até 11 mg/L). Os geotermómetros químicos indicam $T_{\text{Reservatório}}$ entre 98–103 °C e profundidade de cerca de 3,7 km (Carreira *et al.*, 2011). Os valores $\delta^{18}\text{O} = -7,90 \pm 0,13\%$ e $\delta^2\text{H} = -47,1 \pm 1,6\%$ vs. V-SMOW corroboram uma origem meteórica das águas, com uma contribuição de 2,6% do degelo. De acordo com o diagrama esquemático da Figura 2, a recarga ocorre por vales tectónicos acima dos 1.500 m de altitude: o Vale do Zêzere (NNE–SSW), a Nave de Santo António, e os vales do Covão da Ametade e da Candeeira. A infiltração dá-se através de estruturas tectónicas, permitindo que a água atinja o reservatório granítico em profundidade, com descarga a cerca de 800 m de altitude, nas Caldas de Manteigas (Carreira *et al.*, 2011).

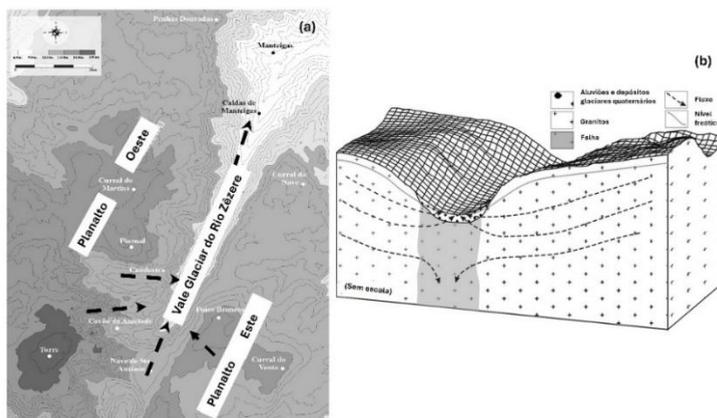


Figura 2 – (a) Modelo Hidrogeológico Conceptual do Sistema Geotérmico de Caldas de Manteigas. (b) Recarga na Nave de Santo António. Adaptado de Espinha Marques *et al.* (2006).

4 – SISTEMA GEOTÉRMICO DE CALDAS DA RAINHA

O modelo de circulação das águas geotérmicas de média temperatura de Caldas da Rainha ($T_{\text{Furos}} \approx 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$) desenvolvido por Marques *et al.* (2013 – e referências aí citadas) indica que estas águas estão associadas a um grande sinclinal e a percursos de escoamento regionais (mineralização total de cerca de 3000 mg/L). Duas estruturas diapíricas promoveram o levantamento e dobramento das rochas carbonatadas jurássicas, influenciando a circulação subterrânea. A composição química (pH 6,7–6,9) reflete interação água-calcário (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}), enquanto Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} estão associados à dissolução de halite e gesso no interior do sinclinal. Conforme se pode observar no diagrama esquemático da Figura 3, os dados isotópicos ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) indicam uma altitude preferencial de recarga que ocorre nos calcários jurássicos da Serra dos Candeeiros (margem E do sinclinal), enquanto a descarga é controlada por uma falha oblíqua N–S (60°E) e pelas margas da Dagorda na margem W (Marques *et al.*, 2013). Os teores de trítio (1,1–2,8 TU) sugerem diferentes percursos de escoamento e tempos médios de residência. Os geotermómetros de sílica e K^2/Mg indicam profundidades de circulação entre 1-2 km, mais plausíveis do que as estimadas pelo geotermómetro isotópico $\text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ (3–5 km). Os valores de $\delta^{34}\text{S}_{(\text{SO}_4)}$ e $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SO}_4)}$ indicam que o sulfato resulta da interação água-rocha com rochas evaporíticas no interior do sinclinal (Marques *et al.*, 2013).

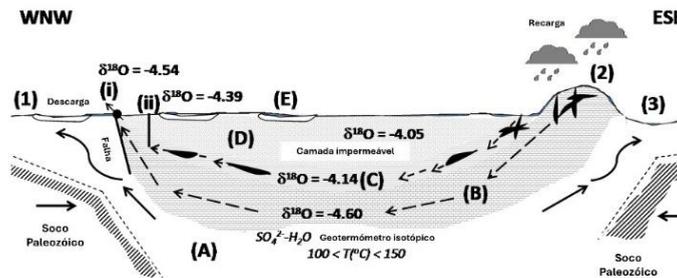


Figura 3 – Secção Esquemática da Região de estudo. Formações Geológicas: (A) Hetangiano-Retiano; (B) Jurássico Inferior e (C) Jurássico Médio (Formações Aqüíferas Termais); (D) Jurássico Superior; (E) Plio-Plistocénico. Locais de Amostragem: (1) Diapiro das Caldas da Rainha; (2) Serra dos Candeeiros; (3) Diapiro da Fonte da Bica. (i) Nascente Termal no Balneário das Caldas da Rainha; (ii) Furo de Exploração de água Termal. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ em ‰ vs. V-SMOW. Adaptado de Zbyszewski (1959) e Marques *et al.* (2019b).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisa três casos de estudo de sistemas geotérmicos de média entalpia em Portugal continental, apresentando dados hidrogeológicos, geoquímicos, isotópicos, bem como estimativas de temperatura e profundidade dos reservatórios. Estes resultados constituem um contributo relevante para a compreensão e utilização sustentável dos recursos hidrominerais e geotérmicos nacionais. A caracterização detalhada destes sistemas demonstra não apenas o potencial científico e tecnológico da geotermia em Portugal, mas também a sua relevância estratégica no atual contexto da transição energética. Com base nos conhecimentos adquiridos, identificam-se condições favoráveis para a realização de captações relativamente profundas, com elevada probabilidade de sucesso, abrindo caminho à valorização da geotermia profunda como uma alternativa renovável, estável e de base, capaz de reforçar a diversificação do mix energético e a redução da dependência de combustíveis fósseis.

AGRADECIMENTOS

José Marques e Paula Carreira agradecem o apoio da FCT através dos projetos estratégicos UID/04028/2025 e UID/04349/2025, respetivamente.

REFERÊNCIAS

- Carreira, P.M., Marques, J.M., Espinha Marques, J., Chaminé, H.I., Fonseca, P.E., Monteiro Santos, F., Moura, R.M. e Carvalho, J.M. (2011). Defining the dynamics of groundwater in Serra da Estrela Mountain area, central Portugal: an isotopic and hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal*, 19(1), pp.117-131.
- Carreira, P.M., Marques, J.M., Rosário Carvalho, M., Giorgio C. e Fausto, G. (2010). Mantle-derived carbon in Hercynian granites. Stable isotopes signatures and C/He associations in the thermomineral waters, N-Portugal. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189, pp. 49-56.
- Espinha Marques, J., Marques, J.M., Chaminé, H.I., Carreira, P.M., Fonseca, P.E., Samper, J., Vieira, G.T., Mora, C., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Borges, F.S. e Rocha, F.T. (2006). Hydrochemical model of a low temperature geothermal system in a mountainous terrain, Serra da Estrela, central Portugal. *Geothermal Resources Council Transactions*, 30, pp. 913-918.
- Marques, J.M., Carreira, P.M., Aires-Barros, L.A., Monteiro Santos, F.A., Antunes da Silva, M. e Repesas, P. (2019a). Assessment of Chaves low-temperature CO₂-rich geothermal system (N-Portugal) using an interdisciplinary geosciences approach. *Geofluids*, Article ID 1379093, 24 pp.
- Marques, J.M., Carreira, P.M., Goff, F., Eggenkamp, H.G.M. e Antunes da Silva, M. (2012). Input of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios and Sr geochemical signatures to update knowledge on thermal and mineral waters flow paths in fractured rocks (N-Portugal). *Applied Geochemistry*, 27 (8), pp. 1471-1481.
- Marques, J.M., Graça, H., Eggenkamp, H.G.M., Neves, O., Carreira, P.M., Matias, M.J., Mayer, B., Nunes, D. e Trancoso V.N. (2013). Isotopic and hydrochemical data as indicators of recharge areas, flow paths and water-rock interaction in the Caldas da Rainha – Quinta das Janelas thermomineral carbonate rock aquifer (Central Portugal). *Journal of Hydrology*, 476, pp. 302-313.
- Marques, J.M., Matos, C., Carreira, P.M. e Neves, M.O. (2019b). Isotopes and geochemistry to assess shallow/thermal groundwater interaction in a karst/fissured-porous environment (Portugal): a review and reinterpretation. *Sustainable Water Resources Management*, 5, pp. 1525-1536.
- Zbyszewski, G. (1959). Étude structurale de la vallée typhonique de Caldas da Rainha (Portugal). *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 3, pp. 1-184.

PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAIXA TEMPERATURA EM PORTUGAL CONTINENTAL: É RENTÁVEL?

GENERATING ELECTRICITY FROM LOW TEMPERATURE GEOTHERMAL RESOURCES IN MAINLAND PORTUGAL: IS IT ECONOMICAL?

Miranda, Mafalda M.; *GRAnalytics Lda, Leiria, Portugal*,
mafalda.a.m.miranda@gmail.com

Pires, Rui; *GRAnalytics Lda, Leiria, Portugal*, rui.pires.carreira@gmail.com

RESUMO

Uma avaliação técnico-económica preliminar do potencial geotérmico profundo para produção de electricidade é essencial para chamar à atenção para uma indústria emergente. Os resultados deste estudo revelam que produzir electricidade em Portugal continental a partir de recursos geotérmicos com temperatura menor que aquela usualmente usada com a tecnologia clássica, pode ser economicamente viável, com um custo nivelado de energia abaixo do custo médio anual de electricidade. No entanto, é necessário mais trabalho de base para se obter estimativas mais exatas.

ABSTRACT

A preliminary techno-economic assessment of deep geothermal potential for electricity generation is key to drawing attention to an emerging industry. The results of this study reveal that generating electricity in mainland Portugal from geothermal resources at a lower temperature than that typically used with classical technology can be economically viable, with a levelized cost of energy below the current average annual cost of electricity in Portugal. However, more groundwork needs to be done to obtain more accurate estimates.

Palavras-Chave: potencial de produção elétrica, central geotérmica de ciclo binário, doublet geotérmico, custo nivelado de energia.

Keywords: potential for electricity generation, binary cycle geothermal power plant, geothermal doublet, levelized cost of energy.

1 – INTRODUÇÃO

Portugal continental tem uma longa e rica história de utilização dos seus recursos geotérmicos de baixa temperatura em aplicações de balneoterapia e climatização (Nunes *et al.*, 2022). No entanto, apesar das vantagens destes recursos na descarbonização do setor elétrico e na promoção da independência energética, o potencial geotérmico profundo de Portugal continental ainda se encontra mal definido.

Portugal continental é caracterizado por recursos geotérmicos de baixa temperatura (Nunes *et al.*, 2022) com gradientes geotérmicos estimados de 19 a 27 °C/km (LNEG, 2025). A 2 km de profundidade, a temperatura estima-se que varie entre os 49 e os 72 °C e a 5 km de profundidade, entre os 98 e os 150 °C (LNEG, 2025). Estas estimativas de temperatura não são animadoras quando comparadas com temperaturas encontradas noutros países europeus que têm exploração de recursos geotérmicos para produção de eletricidade. No entanto, fora da Europa, países como o Canadá, estão neste momento a avançar com projetos de produção de eletricidade recorrendo a centrais binárias com recursos geotérmicos de 120 °C a profundidades de 3,5 km (Huang *et al.*, 2024). Chena Hot Springs no Alasca é também um exemplo interessante onde eletricidade é produzida a partir de recursos geotérmicos de 74 °C usando centrais binárias adaptadas (Chena Power Company, 2007).

Neste sentido, e considerando os avanços tecnológicos na área da geotermia não superficial, este estudo apresenta uma avaliação da utilização de recursos geotérmicos de baixa temperatura para a produção de eletricidade. A análise económica é comparada com o custo médio da eletricidade em Portugal, para uma melhor apreciação do valor que a energia geotérmica profunda possa ter em Portugal continental.

2 – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO ELÉCTRICA E DO CUSTO NIVELADO DE ENERGIA

Para esta análise foram criados 12 cenários para diferentes temperaturas do recurso geotérmico (entre 70 e 130 °C) e diferentes caudais mássicos (entre 10 e 70 kg/s). O valor de 50 °C foi assumido para a temperatura de re-injecção do recurso geotérmico (p.e., Majorowicz e Grasby, 2013). Os cálculos assumiram o uso de uma central geotérmica de ciclo binário que são ideais

para recursos geotérmicos de baixa temperatura. O potencial de geração eléctrica (P_e ; MW) foi estimado como (p.e., Majorowicz e Grasby, 2013):

$$P_e = Q \times \rho C_{\text{fluido}} \times (T_{\text{fluido}} - T_{\text{re-injecção}}) \quad [1]$$

onde Q (m^3/s) é o caudal, ρC_{fluido} ($4.1 \text{ MJ}/\text{m}^3/\text{K}$) é a capacidade térmica volumétrica do fluido e T ($^{\circ}\text{C}$) é a temperatura.

Os resultados sugerem que quanto mais elevada a temperatura do recurso geotérmico e o seu caudal, mais electricidade pode ser produzida (Fig. 1). No entanto, para recursos com temperaturas de 70-80 $^{\circ}\text{C}$ e caudais de 30 kg/s, os resultados são também promissores (Fig. 1).

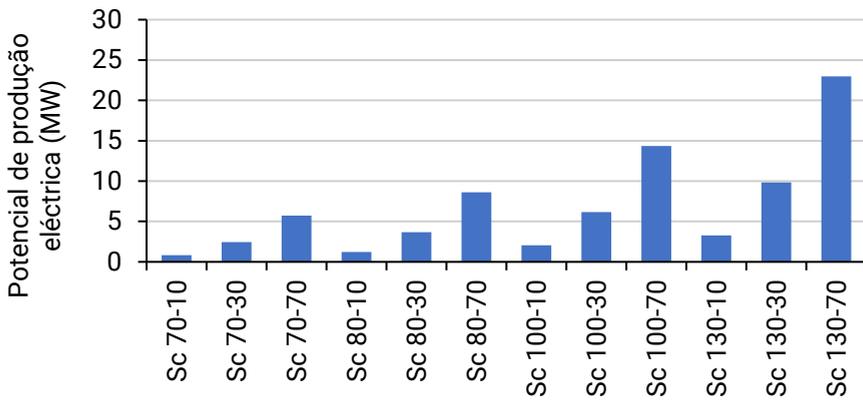


Figura 1 – Potencial de produção eléctrica para diferentes cenários de temperatura do recurso geotérmico e caudal.

A avaliação económica teve por base uma estimativa do custo nivelado de energia (LCOE; $\$/\text{MWh}$) recorrendo ao modelo de taxa fixa (p.e., Beckers e McCabe, 2019):

$$\text{LCOE} = \frac{\text{OPEX} + \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \text{CAPEX}}{P_e} \quad [2]$$

onde OPEX (\$) corresponde aos custos operacionais (retirados de Sanyal et al., 2007), i (%) é a taxa de juros imputada (assumida a variar entre 9 e 15%), t (anos) é o tempo de vida do projeto (assumido a variar entre 20 e 50 anos) e CAPEX (\$) corresponde ao investimento inicial. O CAPEX teve em consideração o custo de furação que foi estimado a partir de Akindipe e Witter

(2025), o custo da construção da central geotérmica estimado a partir de Stefánsson (2002) e a potencial necessidade de usar estimulação hidráulica (custo estimado a partir de Sanyal *et al.*, 2007).

Os cálculos do custo nivelado de energia foram realizados para os cenários de caudal de 30 kg/s para ilustrar o valor económico de utilização dos recursos geotérmicos profundos (Quadro 1). Estas estimativas foram feitas considerando um esquema doublet (i.e., um furo de produção e um furo de injeção), e tiveram em consideração a atual carta de temperatura em profundidade do GeoPortal do LNEG (LNEG, 2025). Os resultados são apresentados em USD (1 USD = 0.86 EUR de acordo com a taxa de conversão atual).

Quadro 1 – Intervalo de variação do custo nivelado de energia para os diferentes cenários de temperatura do recurso geotérmico e para diferentes profundidades num sistema do tipo doublet.

Cenário	Sem estimulação hidráulica (\$/MWh)				Com estimulação hidráulica (\$/MWh)			
	2 km	3 km	4km	5 km	2 km	3 km	4 km	5km
Sc 70-30	40-92	52- 128	61- 169	82-248	43-98	55- 133	65- 173	86-254
Sc 80-30	---	39-92	45- 118	59-170	---	42-95	47- 121	61-174
Sc 100-30	---	---	32-81	41-111	---	---	33-84	42-114
Sc 130-30	---	---	---	31-77	---	---	---	32-78

De acordo com os resultados obtidos, e comparando estes resultados com o custo médio anual de eletricidade em Portugal continental, i.e., 64.68 €/MWh (ou, 75.37 USD/MWh; REN, 2025), a exploração de recursos geotérmicos com temperaturas de 70-80 °C aparenta ser economicamente atrativa a profundidades de 2-3 km. Por sua vez, produzir eletricidade a partir de recursos geotérmicos com temperaturas de 100 a 130 °C aparenta ser economicamente atrativo mesmo a profundidades de 4-5 km.

3 – LIMITAÇÕES DESTE ESTUDO E OPORTUNIDADES

Neste estudo uma temperatura de re-injeção de 50 °C foi usada para estimar o potencial de produção elétrica. No entanto, este valor vai estar dependente do fluido usado dentro do sistema binário e da temperatura mínima a qual ele

pode ser circulado. As centrais geotérmicas de Soultz-sous-Forêts e Rittershoffen, por exemplo, têm temperaturas de re-injeção superiores a 50 °C (70 e 80 °C, respetivamente) mas a temperatura do fluido geotérmico é também mais elevada que a estimada em Portugal (160 e 170 °C, respetivamente). Assumindo que em Portugal se conseguia uma diferença de temperatura de entrada e saída do fluido geotérmico dentro da mesma ordem de valores (i.e., 90 °C), uma temperatura de re-injeção de 50 °C parece ser uma aproximação viável para esta primeira análise. No entanto, é importante ter em mente que se a temperatura de saída do fluido geotérmico for superior a 50 °C, os cálculos de potencial de produção elétrica apresentados assim como os cálculos do custo nivelado de energia estão sobrestimados.

Um exemplo interessante de uma central geotérmica de ciclo binário a operar a temperaturas de 74 °C é o sistema instalado no resort Chena Hot Springs no Alasca (Chena Power Company, 2007). Aqui, um furo com 217 m de profundidade e com um fluido geotérmico de 74 °C bombeado a 33 kg/s é usado para alimentar dois sistemas de Ciclo Rankine Orgânico de 200 kW cada. Apesar de as condições de operação não serem as mesmas que em Portugal, este caso poderia ser usado como exemplo para avaliar a sua viabilidade com as devidas alterações de operação. Outros exemplos interessantes para Portugal são os projetos DEEP e Alberta #1 no Canadá. Estes projetos vão utilizar recursos geotérmicos de 120 °C localizados a 3.5 km de profundidade para gerar eletricidade (Huang *et al.*, 2024). Igualmente interessante é o sistema EavorLoop (Huang *et al.*, 2024).

Estes são apenas alguns exemplos, mas muito mais oportunidades existem numa altura em que os avanços a nível da geotermia profunda e do uso de recursos geotérmicos de baixa temperatura têm sido vários.

4 – CONCLUSÃO

Este estudo apresenta uma análise técnico e económica preliminar do potencial geotérmico profundo de Portugal continental para geração de electricidade através de um sistema tipo doublet e considerando uma central geotérmica de ciclo binário. A maioria dos cenários apresenta custos nivelados de energia abaixo do custo médio anual de eletricidade em Portugal continental. O que sugere que a produção de energia elétrica a partir de recursos geotérmicos, mesmo com temperatura abaixo de 150 °C, pode ser

economicamente viável. No entanto, ainda há trabalho de base que deve ser realizado para melhorar esta análise técnico e económica e obter resultados mais exatos.

REFERÊNCIAS

- Akindipe, D. e Witter, E. (2025). 2025 Geothermal Drilling Cost Curves Update. *Proceedings, 50th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford (CA), US, February 10-12, 2025.
- Beckers, K. F. e McCabe, K. (2019). GEOPHIRES v2.0: updated geothermal techno-economic simulation tool. *Geothermal Energy* 7, 5.
- Chena Power Company (2007). 400 kW Geothermal Power Plant at Chena Hot Springs, Alaska. Final Project Report. Chena Power, LLC, Fairbanks (AK), US, 38 pp.
- Huang, K., Dehghani-Sani, A., Hickson, C., Grasby, S. E., Smejkal, E., Miranda, M. M., et al. (2024). Canada's Geothermal Energy Update in 2023. *Energies* 17, 1807.
- LNEG (2025). GeoPortal. Disponível em: <https://geoportal.lneg.pt/mapa/>, acessado em 14/08/2025.
- Majorowicz, J. e Grasby, S. E. (2013). Geothermal Energy for Northern Canada: Is it Economical? *Natural Resources Research* 23, pp. 159-173.
- Nunes, J. C., Coelho, L., Carvalho, J. M. E Carvalho M. R. (2022). Geothermal Energy Use, Country Update for Portugal. *Proceedings, European Geothermal Congress 2022*. Berlin, Germany, October 17-22, 2022.
- REN (2025). REN Data Hub. Disponível em: <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/mercado/>, acessado em 14/08/2025.
- Sanyal, S. K., Morrow, J.W., Butler, S. J. e Robertson-Tait, A. (2007). Cost of electricity from enhanced geothermal systems. *Proceedings, 32nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford (CA), US, January 22-24, 2007.
- Stefánsson, V. (2002). Investment cost for geothermal power plants. *Geothermics* 31, pp. 263-272.

ELEMENTOS SOBRE O POTENCIAL GEOTÉRMICO DO DISTRITO DA GUARDA

ELEMENTS OF THE GEOTHERMAL POTENTIAL OF THE DISTRICT OF GUARDA

Gonçalves, V.; *GeoBioTec, Univ. Beira Interior, Covilhã, Portugal, alvane.goncalves@ubi.pt*

Marcos, T.; *Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, tmsmarcos@gmail.com*

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt*

Albuquerque, A.; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, antonio.albuquerque@ubi.pt*

Almeida, P.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, galmeyda@ubi.pt*

RESUMO

O potencial geotérmico do distrito da Guarda foi avaliado com base em dados hidrogeoquímicos. As temperaturas de reservatório foram estimadas por geotermómetros químicos e a interpolação geoestatística, permitiu o zonamento do recurso. As zonas de falha evidenciaram maior aptidão para aproveitamento geotérmico, destacando-se Longroiva, Manteigas, Cavaca e Almeida como áreas favoráveis a utilizações de baixa entalpia.

ABSTRACT

The geothermal potential of the Guarda district was assessed using hydrogeochemical. Reservoir temperatures were estimated through chemical geothermometers, and geostatistical interpolation in GIS enabled the zoning of the resource. Fault zones revealed greater suitability for geothermal exploitation, with Longroiva, Manteigas, Cavaca and Almeida standing out as favourable areas for low-enthalpy utilisation.

Palavras-Chave: geotermia, águas subterrâneas, geotermómetros químicos, SIG

Keywords: geothermal energy, Groundwater, chemical Geothermometers, GIS

1 – INTRODUÇÃO

No distrito da Guarda, a ocorrência de águas subterrâneas sulfúreas com temperaturas superiores a 20 °C, associadas a maciços graníticos e sistemas de falha, evidencia condições geoestruturais propícias ao aproveitamento geotérmico. O presente estudo avalia o potencial dessas águas subterrâneas para aplicações diretas de baixa entalpia e, para utilizações indiretas, quando as condições térmicas o permitam.

O aproveitamento do potencial geotérmico identificado no distrito da Guarda pode contribuir para diversificar a matriz energética regional e reduzir a dependência de fontes fósseis. A integração deste recurso em edifícios públicos, hotéis, balneários termais e pequenas redes de climatização urbana permitiria ganhos em eficiência energética e sustentabilidade. Além disso, a valorização local da geotermia estaria em consonância com os objetivos da Estratégia Nacional para a Energia e Clima 2030 e com as metas da União Europeia para a transição energética, reforçando o papel das regiões do interior na descarbonização do país.

2 – METODOLOGIA

A análise baseou-se em 53 amostras de águas subterrâneas (Marcos, 2016; Marcos *et al.*, 2017), cuja composição química permitiu estimar a temperatura de reservatório (T_r) através de geotermômetros de sílica (SiO_2). A modelação seguiu os modelos de Rybach (1990), relacionando a T_r , a temperatura de descarga à superfície (T_s), o caudal de descarga (Q) e a profundidade do reservatório (D_r). Na ausência de dados experimentais de T_s ou Q , recorreu-se a valores de referência ajustados por bacia hidrográfica, considerando a temperatura média anual do ar (T_E). O gradiente geotérmico (G) foi obtido a partir da expressão (Ferreira Gomes *et al.*, 2015) [1]:

$$T_i = T_0 + G \times P_i \quad [1]$$

onde T_i corresponde à temperatura à profundidade P_i , enquanto T_0 representa a temperatura de descarga local. A interpolação espacial, pelo método EBK Regression Prediction (EBKRP) (Krivoruchko, 2012; Krivoruchko e Gribov, 2019), considerou a distância às falhas e utilizou como variável-alvo a potência térmica extraível, em escala logarítmica e calculada pela eq. [2]:

$$P = Q \times C_p \times (T_r - T_E) \quad [2]$$

onde C_p é a capacidade calorífica específica da água ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$). O modelo foi validado por *cross-validation* (Krivoruchko e Gribov, 2019).

3 – RESULTADOS

As ocorrências de águas subterrâneas estudadas situam-se na sua maioria em maciços de rochas graníticas (Fig.1). A análise hidrogeoquímica daquelas águas indica predominância de águas sulfúreas, seguidas por hipossalinas e alcalino-sódico-cálcicas, cuja estabilidade físico-química sugere circulação em profundidade.

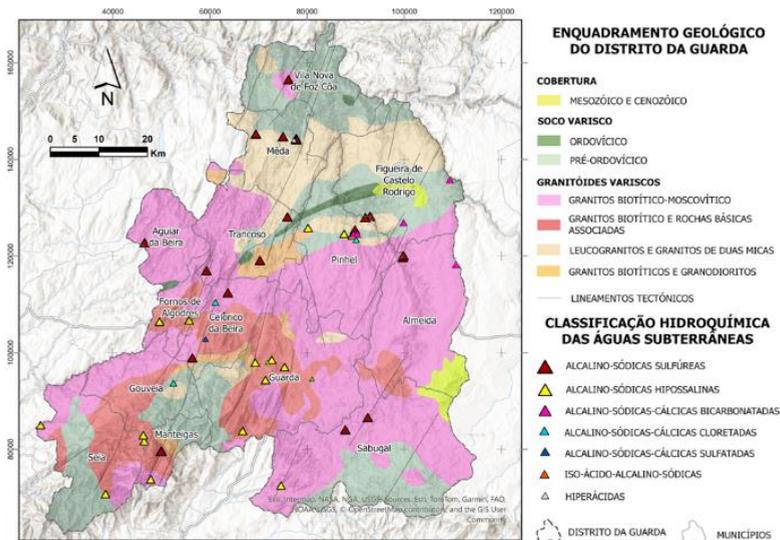


Figura 1 – Enquadramento geológico, localização das emergências de águas subterrâneas estudadas e respetivas classificação hidroquímica no distrito da Guarda (adaptado de Marcos, 2016).

A caracterização espacial do gradiente geotérmico no distrito da Guarda evidencia valores muito elevados ($\geq 70 \text{ }^\circ\text{C/km}$) (Fig. 2a), bastante acima do valor de referência de $0,033 \text{ }^\circ\text{C/m}$ (Ferreira Gomes *et al.*, 2015), concentrando-se sobretudo nos municípios de Fornos de Algodres, Trancoso e Sabugal, bem como na zona de fronteira entre Pinhel e Figueira de Castelo Rodrigo. São as águas sulfúreas que registam os maiores valores de temperatura de superfície (T_s), destacando-se as Termas de Manteigas ($48,8 \text{ }^\circ\text{C}$), as Termas

de Longroiva (47,5 °C), as Termas da Cavaca (27,9 °C) e o novo furo das Termas de Almeida (31 °C) (Figura 2b).

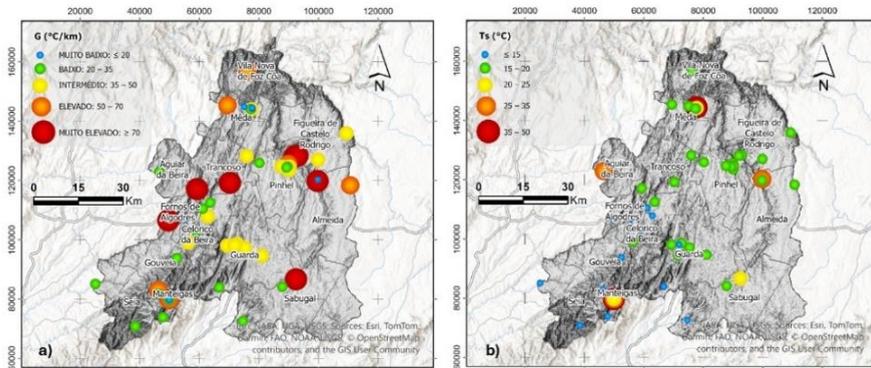


Figura 2 – a) Distribuição espacial do gradiente geotérmico (°C/km) no distrito da Guarda; b) Distribuição espacial da temperatura de superfície da água (T_s , °C) no distrito da Guarda.

A análise comparativa entre o gradiente geotérmico (G) e a temperatura de superfície da água (T_s) revela uma correspondência espacial parcial, verificando-se coincidência sobretudo em Manteigas e Longroiva, onde as águas sulfúreas emergem com temperaturas elevadas. Nestes locais, a combinação de gradientes geotérmicos elevados com a presença de maciços graníticos fraturados e lineamentos tectónicos, favorece a circulação profunda e a ascensão rápida das águas aquecidas, permitindo que o potencial térmico em profundidade se manifeste efetivamente à superfície. Por contraste, em outras áreas com gradiente igualmente elevado, a ausência de fraturação significativa, a baixa permeabilidade das rochas ou a mistura com águas superficiais limitam a expressão hidrotermal, o que explica a inexistência de correspondência direta entre os valores de G e de T_s . Assim, a relação espacial observada confirma que a expressão das anomalias geotérmicas resulta da conjugação entre as condições térmicas de profundidade e os controlos hidrogeológicos e estruturais locais.

O zonamento qualitativo do potencial geotérmico (Fig.3), resulta da interpolação da potência térmica útil, validada pela proximidade a lineamentos tectónicos, fornecendo uma visão regional contínua do recurso. Em contraste, a distribuição da energia disponível reflete os valores

estimados em cada amostra, evidenciando o potencial efetivo de cada ocorrência do presente estudo.

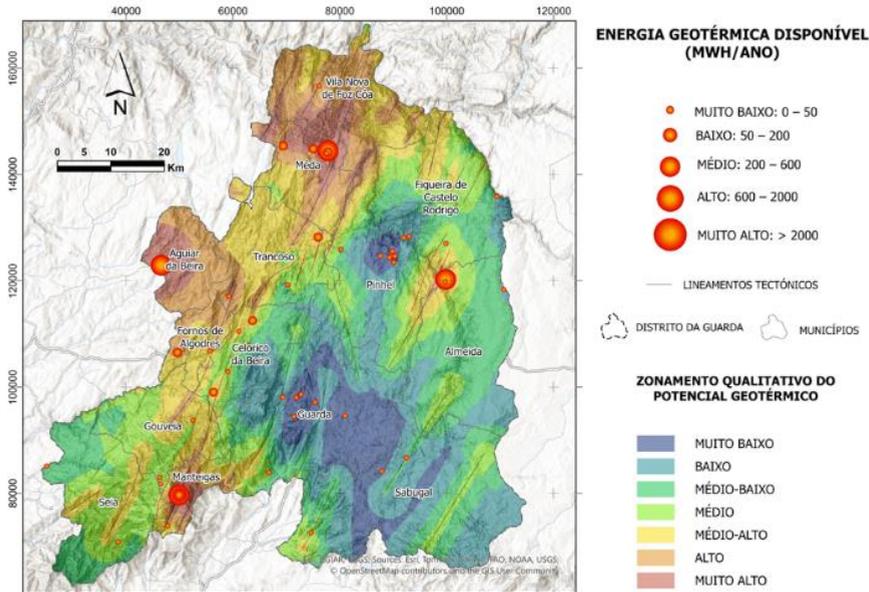


Figura 3 – Distribuição espacial do potencial geotérmico e energia estimada (MWh/ano).

A energia geotérmica total estimada para as águas sulfúreas é de cerca de $2,7 \times 10^8$ kWh/ano. Predominam potências reduzidas, adequadas a usos locais, com valores mais baixos no setor centro-oriental e classes médio-alto no ocidental e sudoeste, refletindo a influência tectónica. Destacam-se Longroiva, Manteigas, Cavaca e Almeida, que apresentam maior potencial para aplicações de baixa entalpia, como climatização e aquecimento de águas sanitárias.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas obtidos evidenciam anomalias térmicas regionais e confirmam o potencial geotérmico em locais como Longroiva e Manteigas, onde já existem aplicações em termalismo e climatização. A distribuição da energia estimada mostra que a combinação entre valores pontuais e zonamento permite identificar áreas prioritárias para aproveitamento sustentável. Estes resultados estão em consonância com o Plano Estratégico para a Geotermia (DGEG, 2025), que destaca a necessidade de cartografia regional detalhada.

A integração futura de modelação numérica e ferramentas SIG permitirá otimizar a seleção de locais e alinhar a região com as metas europeias de descarbonização, onde a geotermia de baixa entalpia é considerada tecnologia-chave. O presente estudo, configura-se como um exercício académico destinado a destacar a relevância das ferramentas SIG no apoio à avaliação e estimativa das múltiplas componentes geotérmicas do território.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Unidade de Investigação GeoBioTec, através dos projetos estratégicos UIDB/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04035/2020>) e UIDP/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/04035/2020>), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP/MCTES (Portugal) através de fundos nacionais (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

- DGEG (2025) Plano Estratégico para a Geotermia. Ministério do Ambiente e da Ação Climática. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/plano-estrategico-para-a-geotermia-fevereiro-2025/>, acedido em 21/08/2025.
- Ferreira Gomes, L. M., Ferreira Guedes, J., Gomes da Costa, T. C., Coelho Ferreira, P. J., e Neves Trota, A. P. (2015). Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: Lessons learned from deep boreholes. *Environmental Earth Sciences*, 73(6), pp. 2963–2979, <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3605-y>
- Krivoruchko, K. (2012). Empirical Bayesian Kriging, *ArcUser Fall 2012*.
- Krivoruchko, K. e Gribov, A. (2019). Evaluation of empirical Bayesian kriging. *Spatial Statistics*, 32, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2019.100368>
- Marcos, T. M. dos S. (2016). *Contribuição para o conhecimento do potencial geotérmico do distrito da Guarda*. Diss. de Mestrado, Univ. da Beira Interior, 136p.
- Marcos, T. M. S., Pais, L. J. A. e Ferreira Gomes, L. M. (2017). Contribution to the knowledge of the geothermal energy potential of the Guarda District. *Proc. Int. Cong. on Engineering*, UBI, Covilhã, Portugal. 10p.
- Rybach, L. (1990). Determination of thermal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. *Memoires of the 22nd Congress of IAH*, Lausanne, Vol. XXII, pp.608–615.

APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS NASCENTES DO HOSPITAL RAINHA D. LEONOR, CONCESSÃO HIDROMINERAL CALDAS DA RAINHA

GEOHERMAL USE OF THE NATURAL SPRINGS OF THE RAINHA D. LEONOR HOSPITAL, CALDAS DA RAINHA HYDROMINERAL FIELD

Carvalho, Rita; *Município das Caldas da Rainha, Caldas da Rainha*, rita.carvalho@tarh.pt
Paiva, Marina; *TARH, Lda., Sacavém, Portugal*, marina.paiva@tarh.pt
Carvalho, Tiago; *TARH, Lda., Sacavém, Portugal*, tiago.carvalho@tarh.pt
Laia, Carlos; *CEEETA-ECO, Lisboa, Portugal*, carlos.laia@ceeeta.pt

RESUMO

As Caldas da Rainha têm uma longa tradição termal que remonta ao Império Romano. A água termal que emerge nas nascentes das piscinas que se encontram dentro do edifício do Hospital Termal, constitui um recurso relevante que atualmente não é aproveitado. O caudal (10L/s) e a temperatura (31°C) destas nascentes justificam a realização de operações de geotermia de baixa entalpia através de bombas de calor. Segundo o estudo de viabilidade aqui apresentado, existe uma potência térmica disponível de 461 kW e uma economia de energia primária de 329,6 MWh/ano, a que corresponde uma redução de emissões de gases com efeito de estufa de cerca de 118,5 ton CO₂ eq/ano.

ABSTRACT

Caldas da Rainha has a long thermal spa tradition dating back to the Roman Empire. Thermal water emerges from the springs of the pools inside the Thermal Hospital and constitutes a significant and currently unused resource. The flow rate (10 L/s) and temperature (31°C) of these springs justify the implementation of low-enthalpy geothermal energy operations using heat pumps, according to the feasibility study presented here. The available thermal power is 461 kW and primary energy savings of 329.6 MWh/year, corresponding to a reduction in greenhouse gas emissions of approximately 118.5 tons of CO₂ eq/year.

Palavras-Chave: geotermia, baixa entalpia, bombas de calor, nascentes termais, estudo de viabilidade.

Keywords: geothermal, low enthalpy, heat pumps, hot springs, feasibility study.

1 – ENQUADRAMENTO

A água termal de Caldas da Rainha, classificada como água mineral natural (AMN) emerge junto a uma falha oblíqua (NNE-SSW) que põe em contacto as margas de Dagorda (no vale tifónico) e as formações jurássicas (Malm) do sinclinal de A-de-Francos. A zona de recarga é a Serra dos Candeeiros, em afloramentos do Malm, sendo o escoamento subterrâneo realizado para oeste segundo as Camadas de Alcobaça (Graça *et al.*, 1999).

É uma água com temperatura média de 34,8°C, hipersalina, sulfúrea, cloretada, sódica, sulfatada, cálcica, magnésiana, com uma mineralização total em torno de 2 850 mg/L e tem indicações terapêuticas para o aparelho respiratório e para as doenças reumáticas e músculo-esqueléticas.

As nascentes clássicas, situadas no interior do Hospital Termal e circunscritas em piscinas, encontram-se qualificadas como recurso geotérmico que ainda não entrou em exploração, com um caudal avaliado em 10 L/s a uma temperatura de 31,0°C (ManuSystems, 2019) (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Planta Esquemática da Rede de Calor a construir com a localização das Nascentes do Hospital Termal.



Figura 2 – Piscina das Inalações (à direita) e piscina da Rainha (à esquerda).

2 – CONCEÇÃO GENÉRICA DO PROJETO

O aproveitamento termal da água das antigas nascentes do Hospital Termal foi considerado prioritário, pois: (i) é um recurso que tem custos de captação praticamente inexpressivos, (ii) a sua localização dentro/próxima das instalações que serão beneficiadas pelo projeto geotérmico e, (iii) como recurso geotérmico é desaproveitado, sendo descartado diretamente no esgoto municipal. Embora a temperatura da água não permita o seu aproveitamento direto em calor, propõe-se a elevação de temperatura através de bombas de calor água-água.

3 – CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO RECURSO GEOTÉRMICO

O estudo de viabilidade do projeto inclui dois edifícios existentes - Hospital Termal e Balneário Novo - como os consumidores de energia térmica. Face à temperatura do recurso, adotam-se bombas de calor água-água: evaporador em circuito fechado a 25/20 °C e condensador a 60/65 °C, adequados a

aquecimento ambiente e AQS. Assume-se $\Delta T=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ no primário geotérmico (31→26 °C) e na rede secundária (25→20 °C) (Fig. 3).

A potência térmica disponível é de cerca de 461 kW. A energia térmica total anualmente disponível é de 14,5 TJ, admitindo um funcionamento contínuo da central geotérmica.

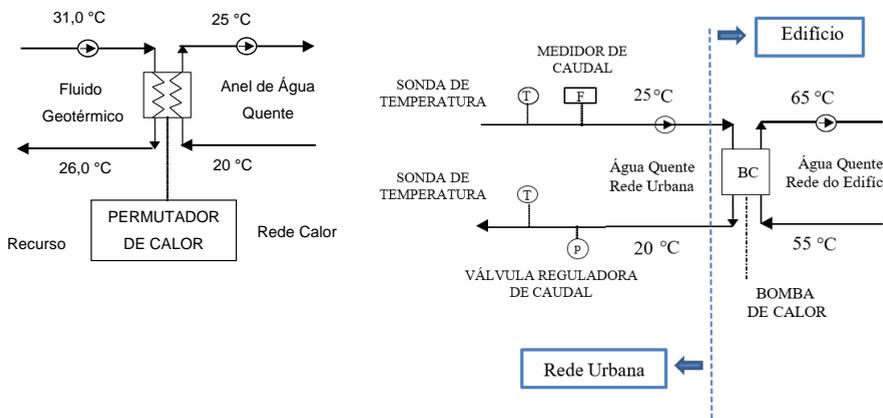


Figura 3 – Esquema Simplificado do Aproveitamento Geotérmico das Nascentes Termais.

4 – CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS CONSUMIDORES

As necessidades térmicas conjuntas dos dois edifícios são 1 612 GJ/ano e podem ser integralmente supridas pelo recurso geotérmico, que disponibiliza 14,5 TJ/ano (Quadro 1).

Quadro 1 – Necessidades Energéticas e Carga Térmica dos potenciais utilizadores da Rede Geotérmica.

Edifício	Necessidades térmicas			Potência
	AQS (GJ/ano)	Aquecimento ambiente (GJ/ano)	TOTAL (GJ/ano)	Carga térmica (kW)
Hospital Termal	55	1 185	1 240	351
Balneário Novo	92	280	372	83
TOTAL	147	1 465	1 612	434

5 – ANÁLISE DE VIABILIDADE, BENEFÍCIOS ECONÓMICOS E AMBIENTAIS

Assumindo-se 20 anos de vida útil do projeto, os resultados da análise de viabilidade são os apresentados no Quadro 2. Procedeu-se a uma comparação entre os custos “atuais”, que são obtidos por utilização de gás natural como forma de energia direta para aquecimento e AQS, com os custos após a implementação do projeto geotérmico (ver Quadro 3). Verifica-se que o projeto proporciona uma economia de energia primária de 329,6 MWh/ano e reduz custos para os edifícios utilizadores em cerca de 49 000€. Este projeto permite uma redução de emissões de gases com efeito de estufa de cerca de 118,5 ton CO₂ eq/ano.

Quadro 2 – Análise de Viabilidade (€, s/IVA).

Análise de viabilidade	€/ano
Investimento (€)	210 000
Benefícios com a exploração do projeto (€/ano)	49 389
Custos de operação e manutenção (€/ano)	1 500
Período de retorno simples (anos)	4,4
VAL (€)	440 831
TIR (%)	17,7

Quadro 3 – Redução de Consumo de Energia Primária e de Custos pelos utilizadores (€/ano, s/IVA).

Edifício (s/projeto geotérmico)	Consumo de energia (MWh/ano)	Custo com energia (€/ano)
Hospital Termal	344	51 669
Balneário Novo	103	15 487
TOTAL	448	67 155
Edifício (c/projeto geotérmico)	Consumo de energia (MWh/ano)	Custo com energia (€/ano)
Hospital Termal	91,1	13 669
Balneário Novo	27,3	4 097
TOTAL	118,4	17 766
Edifício	Redução de consumo de energia primária (MWh/ano)	Custo com energia (€/ano)
Hospital Termal	252,9	38 000
Balneário Novo	75,7	11 390
TOTAL	329,6	49 389

6 – CONCLUSÕES

A cidade das Caldas da Rainha apresenta um potencial considerável para a realização de operações de geotermia com bombas de calor, pois coexistem abundante recurso geotérmico e potenciais utilizadores de calor. Propõe-se a implementação de um sistema de bombas de calor água-água, permitindo poupanças de até 329,6 MWh/ano. A operação proposta para necessidades avaliadas em 1 612 GJ/ano apresenta níveis de investimento moderado (da ordem de 210 000 euros), período de retorno simples de menos cinco anos, uma redução de emissões de gases com efeito de estufa de cerca de 118,5 ton CO₂ eq/ano e outras mais-valias ambientais. Sendo que as nascentes a aproveitar se encontram no centro da cidade, esta pequena operação agora perspetivada poderá ser a precursora de uma rede de calor mais vasta, mobilizando mais do recurso geotérmico e abrangendo grandes consumidores de calor.

REFERÊNCIAS

- Graça, H., Páscoa, J. e Andrade, L. (1999). Centro Hospitalar das Caldas da Rainha. Concessão HM-14 “Caldas da Rainha”. Estudo do Perímetro de Proteção. DataGeo, Lisboa, 76p.
- ManuSystems (2019). Relatório de ensaio. Piscinas do Hospital Termal. Caldas da Rainha, 21p.

A PROFUNDIDADE DE RESERVATÓRIO GEOTÉRMICO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SULFÚREOS DA BACIA DO RIO DÃO

THE DEPTH OF THE GEOTHERMAL RESERVOIR OF THE SULPHUROUS AQUIFER SYSTEMS IN THE DÃO RIVER BASIN

Gomes da Costa, T.C.; *Diretora Técnica, Concessão HM69-Granjal, Santa Comba Dão, Portugal, catarina.costa@cm-santacombadao.pt*

Ferreira Gomes, L.M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt*

Sousa Oliveira, A.; *CGEO, Univ.de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real; Portugal, soliveir@utad.pt*

RESUMO

Na Bacia hidrográfica do Rio Dão ocorrem de montante para jusante as águas sulfúreas: Caldas da Cavaca, Sezures, Termas de Alcafache, Caldas de Sangemil e a água mineral natural do Granjal. As águas sulfúreas são indiciadoras de extenso circuito hidráulico, e consequentemente muito profundo, situação que lhe confere características geotérmicas. O presente trabalho depois de efetuar o enquadramento da zona de estudo e objetivo, apresenta os elementos principais geotérmicos com base nas características hidrogeoambientais e desenvolve algumas discussões sobre a profundidade de reservatório, cujos resultados orientam para situações entre 900 m e 5000 m, de modo a atingir zonas com fluidos a cerca de 100°C.

ABSTRACT

In the Dão River basin, from upstream to downstream, there are sulphurous waters: Caldas da Cavaca, Sezures, Termas de Alcafache, Caldas de Sangemil and the natural mineral water of Granjal. Sulphurous waters are indicative of an extensive hydraulic circuit, and consequently very deep, a situation that gives it geothermal characteristics. This work, after framing the study area and objective, presents the main geothermal elements based on hydrogeoenvironmental characteristics and develops some discussions on reservoir depth, the results of which indicate situations between 900 m and 5000 m, in order to reach areas with fluids at around 100°C.

Palavras-Chave: Dão, água sulfúrea, geotermia, profundidade de reservatório.

Keywords: Dão, sulphurous groundwater, geothermics, reservoir depth.

1 – INTRODUÇÃO

O estudo com algum desenvolvimento e detalhe sobre as águas subterrâneas da Bacia do Rio Dão foi realizado por Gomes da Costa (2018). Das águas subterrâneas daquele estudo as que interessam ao presente trabalho, são aquelas do tipo sulfúreas alcalinas (Figura 1), por terem um circuito geohidráulico muito longo e profundo, com associação às grandes falhas geológicas, situação que lhes permite adquirir aumento de temperatura em profundidade. A profundidade de reservatório (Dr), corresponde à maior profundidade que este tipo de águas atinge tendo sido as mesmas inicialmente meteóricas.

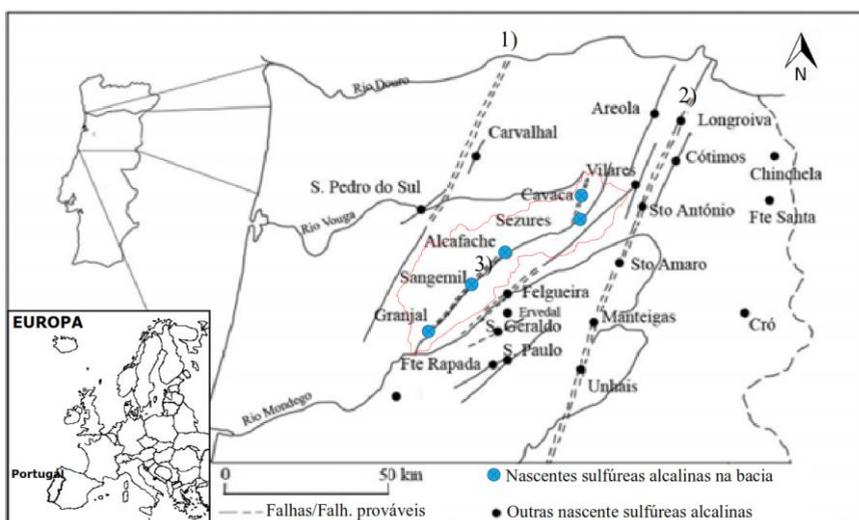


Figure 1 – Enquadramento geográfico e contexto tectónico da bacia do Rio Dão: 1) Falha Régua-Verin; 2) Falha da Vilarça; 3) Falha do Rio Dão (a partir de Gomes da Costa, 2018).

Ao longo da Bacia do Rio Dão ocorrem as várias águas sulfúreas alcalinas que sustentam o aproveitamento termal das Caldas da Cavaca, das Termas de Alcafache, das Caldas de Sangemil e das Termas do Granjal. Ocorre também na envolvente de Campina (Sezures-Penalva do Castelo), junto à margem esquerda do rio Dão, uma água sulfúrea em que à data não dispõe de qualquer aproveitamento termal.

Em termos genéricos aquelas águas percolam em profundidade até formar um sistema aquífero semi-confinado a confinado, do tipo fissural, em que os

valores de pH são entre 8,0 e 9,5 e condutividade elétrica superior 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aquelas águas tendo elevada estabilidade físico-química, tornam a aplicação de geotermómetros com resultados fiáveis na obtenção da ordem de grandeza da temperatura do reservatório (T_r), parâmetro este que é fundamental para obter Dr. Aqueles parâmetros (D_r , T_r), são absolutamente fundamentais para se estabelecerem estratégias de prospeção e pesquisa mecânica que levem a captações profundas para obter fluidos com temperaturas a rondar os 100°C. Com fluidos de temperaturas daquela ordem, seria possível fazer aproveitamentos em cascata, que além de aplicações em termalismo, poderiam associar aproveitamentos geotérmicos que envolvam até a produção de energia elétrica. Estudos com elementos geológicos, hidrogeológicos e até elementos de geotermia para a área da bacia do Rio Dão, podem ser observados em trabalhos de Ferreira Gomes *et al.* (2006) e Gomes da Costa *et al.* (2014, 2019 a, b). O objetivo do presente trabalho é no essencial apresentar algumas discussões sobre a profundidade de reservatório para os locais de ocorrência das várias águas sulfúreas alcalinas da bacia do Rio Dão.

2 – PROFUNDIDADE DE RESERVATÓRIO

Para se avaliar a profundidade de reservatório (D_r) de um sistema aquífero do tipo fissural, numa situação comum é necessário disponibilizar desde logo da temperatura desse mesmo reservatório (T_r), e do gradiente geotérmico local (Δ_l). Com base naqueles valores, é então possível avaliar D_r (Calado, 2001, Ferreira Gomes *et al.*, 2015 e Gomes da Costa, 2018). No entanto, para isso é mesmo importante o conhecimento do Δ_l . Por vezes, para se ter uma noção da evolução em profundidade da temperatura, usa-se o valor atribuído à crosta continental em termos médios globais, como sendo $\Delta = 0,033^\circ\text{C}/\text{m}$ (IGM,1999). Gomes da Costa (2018) em estudos detalhados na área do Granjal com base no acompanhamento da perfuração de um furo com 670,6m verificou $\Delta_l = 0,0157^\circ\text{C}/\text{m}$, valor que é muito próximo ao que Pomerol e Ricour (1992) consideraram como comum em maciços graníticos ($0,0125^\circ\text{C}/\text{m}$). Desconhecendo-se os gradientes geotérmicos de todos os locais da bacia do Rio Dão, entende-se no presente trabalho usar a metodologia proposta por Rybach (1990). Segundo aquele autor, considerando situações de águas termominerais de circulação profunda, como os casos em estudo, aplicam-se modelos que explicam a perda de calor da água termomineral entre o reservatório e a superfície onde emerge, com

transferência daquele calor para a rocha envolvente. A perda de calor é representada por uma variável adimensional - θ - e que se define como sendo função de T_r , de D_r , da temperatura de descarga (T_s), do caudal respetivo (Q), da temperatura média do ar na região da emergência (T_E), e ainda da geometria do sistema de descarga, através da equação (Rybach, 1990):

$$\theta = (T_s - T_E) / (T_r - T_E) = f(Q, D_r, \text{Geometria}) [1]$$

Para a geometria, o método procura fazer uma analogia à arquitetura física do circuito de descarga do sistema aquífero, simplificando-se em dois tipos de situações: descarga sob efeito de “conduta plana” ou de “conduta cilíndrica”. Considerando os elementos de base disponíveis por Gomes da Costa (2018), apresentam-se os valores das várias componentes no Quadro 1, para os vários locais de águas sulfúreas da bacia do Rio Dão. No mesmo quadro juntam-se ainda os valores de D_r obtidos, com base na projeção dos valores de θ em ambos os digramas, de acordo com a Figura 2.

Quadro 1 – Elementos para a estimativa da profundidade de reservatório (D_r) a partir do método de Rybach (1990).

Águas sulfúreas	Q (L/s)	T _s (°C)	T _E (°C)	T _r (°C)	θ	D _r (m)
Cavaca	0,2	29,0	12,0	106	0,18	900
Sezures	0,05	15,7	12,0	92	0,05	2000
Alcafache	1,4	51,0	12,9	108	0,40	2900
Sangemil	1,0	48,5	12,3	116	0,35	2800
Granjal	1,4	22,7	13,2	98	0,11	1100/5000

Da análise da Figura 2 verifica-se que a maioria das projeções das águas sulfúreas enquadra-se na circulação sob a forma do modelo de “conduta cilíndrica”, como a Cavaca, Alcafache, Sangemil, e mesmo Sezures, enquanto a situação que melhor se enquadra, à partida, para o Granjal é o modelo de “conduta plana”. Considerando a análise anterior levaria a D_r menor para a Cavaca, com 900m, e o maior para a Alcafache, com 2900m. Para o caso do Granjal, enfatiza-se que Gomes da Costa (2018) registando o gradiente geotérmico local, $\Delta_l = 0,0157^\circ\text{C}/\text{m}$, leva a D_r de cerca de 5000m. Ora, esta situação leva à orientação que de acordo com o método de Rybach, a geometria corresponderá também a uma situação de conduta cilíndrica, levando a D_r efetivamente de cerca de 5000 m (Figura 2b).

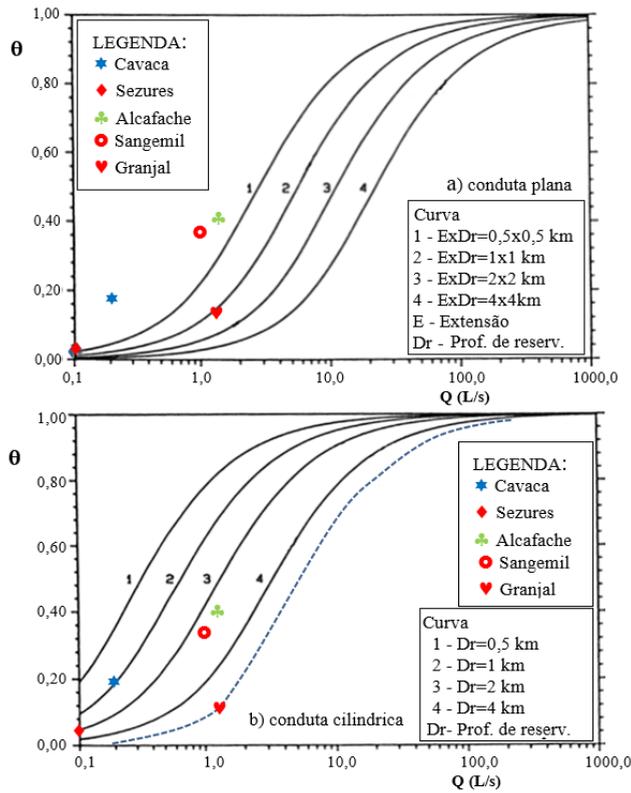


Figura 2 – Projeções dos resultados do método de Rybach para as águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão.

3 – NOTAS FINAIS

Os valores de Dr para os vários locais de águas sulfúrea da bacia do Rio Dão, considerando método de Rybach, segundo o modelo de conduta cilíndrica, orientam para situações entre Dr de 900m para a Cavaca e 5000m para o Granjal, com valores de Tr a rondar os 100°C. Menciona-se da importância do conhecimento do gradiente geotérmico local, pois foi fundamental para aferir o tipo de modelo no método de Rybach, porque à partida considerar-se-ia o modelo de conduta plana, devido ao aparente melhor ajuste nas curvas, levando a Dr muito diferente do constatado com o gradiente geotérmico local.

Por fim, é importante frisar da necessidade de serem realizados furos de prospeção mecânica, pelo menos na ordem de 1000m de profundidade para

os vários setores em estudo, pois com os mesmos, poder-se-á aferir o gradiente geotérmico de cada local e a partir daí poderá se ser mais preciso na determinação da profundidade do reservatório.

REFERÊNCIAS

- Calado, C.M.A (2001). *A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese*. Tese de Dout., Univ. Lisboa, 462 pp.
- Ferreira Gomes, L.M.; Gomes da Costa, T.C.; Plácido, E. e Almeida, M.N. (2006). Estudos hidrogeoambientais com objectivo a uma nova Unidade Termal em Santa Comba Dão. *8º Cong. da Água*, APRH, Figueira da Foz, paper nº 177, 16p
- Ferreira Gomes, L. M.; Guedes, J. F.V.; Costa, T. C.; Ferreira, P. C.; Trota, A. (2015). Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. *Environmental Earth Sciences*. Vol.73, Nº 6, pp.2963-2979. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3605-y>
- Gomes da Costa, T. C. (2018). *Modelo Geohidráulico das Águas Sulfúreas da Bacia do Rio Dão*, Tese de dout., Univ. da Beira Interior, Covilhã, 135p.
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L.M. e Oliveira, A. S. (2014). Contribuição para a caracterização da fraturação e do potencial hidráulico e energético do maciço granítico do Granjal - Sta Comba Dão". *14.º CNG. SPG e UBI*; pp.73-74.
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L.M. e Oliveira, A.S. (2019a). Numerical modelling elements as contribution to knowledge of the geohydraulic model of sulphurous groundwater of the Dao River basin, in Portugal. *Earth Environ. Sci.* 221 012028, [doi:10.1088/1755-1315/221/1/012028](https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012028)
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L. M. e Oliveira, A. S. (2019b). Contribution to the knowledge of temperature and reservoir depth of sulphurous groundwater aquifer systems in the Dão River basin, Portugal. *Earth Environ. Sci.*, 362, 012088, [doi:10.1088/1755-1315/362/1/012088](https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012088)
- IGM (1999). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental. Catálogo de Recursos Geotérmicos. Instituto Geológico e Mineiro, CD-ROM.
- Pomerol, Ch. e Ricour, J. (1992). *Terroirs et Thermalisme de France*, BRGM, Orléans, 288 p.
- Rybach, L. (1990). Determination of thermal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. *Memoires of the 22nd Cong. of IAH*, Vol. XXII. Lusanne, 608-615.

POTENCIAL GEOTÉRMICO DA ÁREA DO GRANJAL A PARTIR DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

GEOTHERMAL POTENTIAL OF THE GRANJAL AREA BASED ON HYDROGEOLOGICAL ELEMENTS

Gomes da Costa, T.C. Diretora Técnica, Concessão HM69-Granjal, Santa Comba Dão, Portugal, catarina.costa@cm-santacombadao.pt

Ferreira Gomes, L.M.; GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt

Sousa Oliveira, A., S.; CGEO, UTAD, Vila Real, Portugal, soliveir@utad.pt

RESUMO

Na aldeia do Granjal, na proximidade da margem direita do Rio Dão, e apenas a cerca de 3 km, de Santa Comba Dão, há umas "Termas a céu aberto" muito antigas, constituídas por um entrosado conjunto de tanques, que permitiam as pessoas usufruir dos bens terapêuticos da água sulfúrea oriunda de uma nascente de apenas 0,006 L/s. Realizaram-se vários trabalhos de prospeção e pesquisa que culminaram no Furo AQ1 com 670,6m de profundidade, permitindo legalizar o seu recurso como água mineral natural. Neste trabalho apresentam-se os elementos geotérmicos, nomeadamente, as temperaturas obtidas no decorrer do furo, o gradiente geotérmico e ainda a temperatura e respetiva profundidade de reservatório.

ABSTRACT

In the village of Granjal, near the right bank of the Dão River, and only about 3 km from Santa Comba Dão, there are some ancient "open-air thermal baths," consisting of a set of interconnected tanks, which allowed people to enjoy the therapeutic benefits of sulfurous water from a spring with a flow rate of only 0.006 L/s. Several prospecting and research works were carried out, culminating in the AQ1 Well, which is 670.6 m deep, allowing its resource to be classified as natural mineral water. This paper presents the geothermal elements, namely the temperatures obtained during drilling, the geothermal gradient, and the temperature and respective depth of the reservoir.

Palavras-Chave: Granjal, temperatura e profundidade de reservatório.

Keywords: Granjal, reservoir temperature and depth.

1 – INTRODUÇÃO

A zona do Granjal, nas proximidades da cidade de Santa Comba Dão, disponibiliza uma captação de água mineral natural, Furo AQ1, com uma profundidade de 670,6 m, e caudal explorável de 13 L/s, com temperatura de 22 °C (Gomes da Costa, 2011). Aquele furo resultou no seguimento de alguns estudos realizados com base na “âncora” da ocorrência de uma pequena nascente do tipo sulfúrea, com caudal constante de cerca de 0,006 L/s, com 19 °C. Elementos detalhados sobre a geomorfologia, geologia, hidrogeologia, inclusive sobre elementos construtivos do Furo AQ1, que decorreu totalmente em rochas graníticas, podem observar-se em várias publicações, merecendo referência Gomes da Costa e Ferreira Gomes (2012) e Gomes da Costa *et al.* (2013, 2014).

O presente trabalho dedica-se em particular aos elementos sobre o potencial geotérmico, função dos elementos obtidos no Furo AQ1, tendo os mesmos sido já abordados em vários trabalhos, nomeadamente em Gomes da Costa *et al.* (2014, 2019). Há, portanto, o objetivo de apresentar os aspetos fundamentais no domínio da geotermia, de modo a mostrar que neste local, que recentemente (2015) ficou no inventário oficial das águas minerais naturais portuguesas para termalismo, com a Concessão HM69-Granjal, há potencial para além de umas novas termas atualmente em projeto, mas também, para aproveitamentos geotérmicos em cascata, desde que se venham a realizar novas captações de modo a atingir temperaturas que o permitam, como nos itens seguintes se mostra.

2 – ELEMENTOS GEO-ENERGÉTICOS

A temperatura da Nascente Sulfúrea do Granjal é de 19°C. A temperatura da água do Furo AQ1, à cabeça do mesmo, com caudal de artesianismo de 1,4 L/s, é de 22,0 °C. Aquela temperatura é o resultado das temperaturas de mistura de águas que afluem ao furo de profundidades superiores a 160 m, uma vez que o mesmo está entubado e devidamente isolado a profundidades inferiores a este valor.

Para se ter uma noção da evolução do gradiente geotérmico local, disponibiliza-se da temperatura registada com uma sonda no interior do furo a diferentes profundidades, à medida que este avançava em perfuração, mas

sem ferramenta no seu interior; foi utilizado um aparelho de marca *Reflex Instruments- EZ-SHOT*; este equipamento, consiste basicamente numa haste com 6 m de comprimento munida de um dispositivo de leitura calibrado e programado para o tempo de leitura que geralmente foi entre 15 e 20 minutos. Esta sonda foi a mesma que registou também a verticalidade da sondagem.

Os registos efetuados no interior do Furo AQ1 apresentam-se na Figura 1, sendo de evidenciar o valor de cerca de 30 °C na profundidade de 670 m. Da análise gráfica dos registos obtém-se a seguinte equação: $T = 18,685 + 0,0157 D$, com T a temperatura em °C, e D a profundidade em m. Desta análise pode-se referir que o gradiente geotérmico local é de 0,0157 °C/m, valor que é inferior ao gradiente geotérmico médio 0,033 °C/m atribuído à crosta continental (IGM,1999), ainda assim, valor da mesma ordem de grandeza do considerado normal em maciços graníticos (0,0125 °C/m) por Pomerol e Ricour (1992).

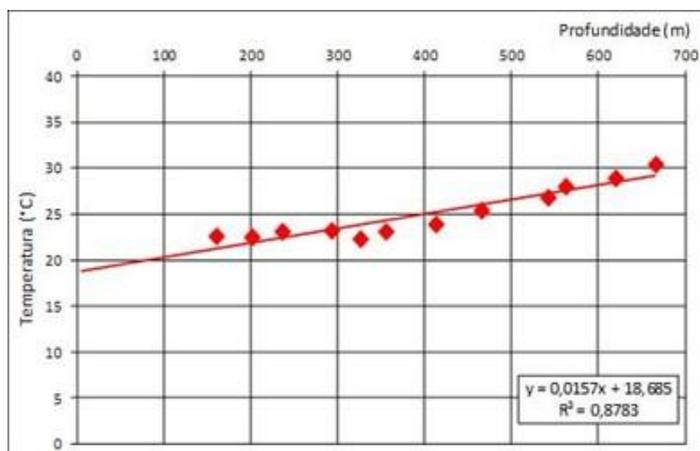


Figura 1 – Evolução da temperatura em profundidade no maciço granítico na zona do Granjal (Santa Comba Dão) a partir de registos no Furo AQ1.

Pelos resultados anteriores, na equação obtida, verifica-se que a temperatura correspondente à superfície, é de 18,687 °C, valor muito próximo do que se regista na Nascente Sulfúrea do Granjal, com 19 °C a cerca de 20 m da cabeça do furo. Considerando como válida a referida equação para profundidades superiores à verificada no furo, obtêm-se os valores de temperatura para diferentes profundidades, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Temperaturas prováveis a diferentes profundidades para a zona do maciço granítico do Granjal.

P (m)	0	100	200	400	800	1000	2000	3000	4000	4733
T (°C)	18,7	20,3	21,8	25,0	31,2	34,4	50,1	65,8	81,5	93,0

No sentido de se saber a temperatura de reservatório (T_r), com base nos resultados das análises físico-químicas da água do Furo AQ1, Gomes da Costa *et al.* (2014, 2019) usando geotermómetros de sílica e de Na/k, com 10 equações distintas, obtiveram o valor de T_r médio de 93 °C. Considerando aquele valor e cruzando com os elementos do Quadro 1, pode-se avançar que há potencial para o maciço do Granjal apresentar temperatura com cerca de 93 °C à profundidade de 4733 m, entendendo-se essa profundidade como a correspondente à profundidade do reservatório (D_r), ou seja, a profundidade máxima que a água que está na origem do Furo AQ1, circulou.

Segundo Gomes da Costa *et al.* (2019) ao apresentarem vários cenários sobre a situação de D_r , usando o método de Rybach (1990), verificaram com base no modelo de conduta cilíndrica, que se obtém D_r com cerca de 5000m, reforçando, portanto, os valores apresentados no Quadro 1.

3 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O local do Granjal, na proximidade de Santa Comba Dão, tem uma pequena nascente de água sulfúrea, desde tempos imemoriáveis, com um caudal de apenas 0,006 L/s, com 19 °C. Após vários estudos realizou-se o Furo AQ1, com 670,3 m de profundidade, e permite obter o recurso de quimismo similar ao da nascente, mas com 22 °C à boca do furo, e cerca de 30 °C no fundo do mesmo. O gradiente geotérmico local determinado a partir dos elementos do Furo AQ1 foi de 0,0157 °C/m, que a verificar-se em profundidade, corresponde a uma temperatura de 93 °C aos 4733 m, entendendo-se esta profundidade como D_r , pois o modelo de Rybach de conduta cilíndrica, orienta para cerca de 5000 m.

Aqueles resultados deixam em aberto a possibilidade de função da evolução estratégica a ocorrer no local, nomeadamente com a construção de uma unidade de termalismo de raiz, várias unidades hoteleiras, de entre outros como apresentado por Ferreira Nunes *et al.* (2013), construir um novo furo, ou furos, a profundidade adequada, para tirar partido do potencial energético térmico, nomeadamente até na produção de eletricidade. Salienta-se que a

proximidade da albufeira do Rio Dão, poderá potencializar ainda mais este tipo de projetos, fazendo a injeção de fluidos em profundidade, de modo a se disponibilizar de caudais de fluidos geotérmicos com muito significado. Este tipo de investigações deverá prosseguir, pois ao serem uma realidade no futuro, serão um grande contributo para a sustentabilidade energética local.

REFERÊNCIAS

- Ferreira Nunes, G. M. T.; Ferreira Gomes, L. M. e Miranda Beato, C. S. (2013). Ordenamento do espaço termal - Uma proposta sobre o corredor entre Sta Comba Dão e as Termas do Granjal. *Int. Conf. on Engineering – ICEUBI 2013*, Covilhã, UBI Editions, paper 415, 10p.
- Gomes da Costa, T. C. (2011). *Estudos hidrogeoambientais para o licenciamento de uma nova água mineral termal na zona do Granjal - Santa Comba Dão*. Diss. Mestrado. Univ. Beira Interior. Covilhã, 92p.
- Gomes da Costa, T. C. e Ferreira Gomes, L. M. (2012). Elementos sobre a construção de uma captação profunda no maciço granítico de Santa Comba Dão. *11º Cong. Nac. da Água*, Porto, Ed. APRH. p. nº 246, 12p.
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L.M.; Carvalho, P.E.M. e Oliveira, A. S. (2013). Studies on groundwater quality in different pumping rates of a very deep well in a granitic aquifer system. *Proc. Int. Conf. on Civil Engineering*. CI-Premier PTE LTD, Singapore. pp. CE-105-CE114.
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L.M. e Oliveira, A. S. (2014). Contribuição para a caracterização da fraturação e do potencial hidráulico e energético do maciço granítico do Granjal – Sta Comba Dão”. *14.º CNG. SPG e UBI*; pp.73-74.
- Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L.M. e Oliveira, A. S. (2019). Contribution to the knowledge of temperature and reservoir depth of sulphurous groundwater aquifer systems in the Dão River Basin, Portugal. *Earth and Environmental Science* 362, 012088, [doi:10.1088/1755-1315/362/1/012088](https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012088)
- IGM (1999). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental. Catálogo de Recursos Geotérmicos. CD-ROM. Versão 1.0.
- Pomerol, Ch. e Ricour, J. (1992). *Terroirs et Thermalisme de France*, BRGM, Orléans, 288 p.
- Rybach, L. (1990). Determination of termal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. *Memoires of the 22nd Congress of IAH*, Vol. XXII. Lusanne, pp.608-615.

ELEMENTOS HIDROGEOTÉRMICOS DA FONTE SANTA DA MALHADA QUENTE, MONCHIQUE

HYDROGEO THERMAL ELEMENTS OF THE FONTE SANTA DA MALHADA QUENTE, MONCHIQUE

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt
Mendes, C; *Fonte Santa, Malhada Quente, Monchique, Portugal*,
fontesantadamalhadaquente@gmail.com

RESUMO

A Fonte Santa da Malhada Quente corresponde a um pequeno complexo termal de banhos populares, com um balneário de arquitetura vernacular, onde há imensas memórias e tradições graças à ocorrência de uma água subterrânea especial, que se entende ter um potencial particular para aí se desenvolverem interessantes investimentos centrados naquele recurso. No presente trabalho apresentam-se elementos hidrogeoambientais que mostram o potencial daquela água, desde elementos sobre o seu quimismo à temperatura em reservatório e em particular à orientação do local para a realização de um furo que permita obter um caudal adequado e quente, para efetivamente com base no mesmo se planear um futuro empreendimento.

ABSTRACT

The Fonte Santa da Malhada Quente is a small thermal complex of popular baths with vernacular architecture, where there are countless memories and traditions thanks to the presence of a special groundwater, which is believed to have particular potential for the development of interesting investments focused on that resource. This paper presents hydrogeoenvironmental elements that show the potential of that groundwater, from elements related to its chemistry to the temperature in the reservoir and, in particular, to the orientation of the site for drilling a borehole that will provide an adequate and hot flow, so that a future project can be effectively planned based on this.

Palavras-Chave: água subterrânea especial, Malhada Quente, Algarve.

Keywords: special groundwater, Malhada Quente, Algarve.

1 – INTRODUÇÃO

A ocorrência da nascente designada por Malhada Quente (Fig.1), situa-se na freguesia de Alferce, concelho de Monchique e distrito de Faro. A nascente emerge à temperatura de 23.2°C, e à cota de 270m, com um caudal de 1286 L/h (0,36 L/s), segundo arquivos que datam de 1954 (IGM,1999). No entanto Almeida e Almeida (1966) indicaram a temperatura de emergência como 28°C. Atualmente medindo a temperatura na nascente regista-se um valor máximo de 28°C. Esta água tem sido aproveitada para fins terapêuticos em balneários rudimentares e toscos com características de arquitetura vernacular, nunca tendo sido concessionada. O complexo termal foi dizimado no incêndio de 2018 e foi recuperado. Desde 2022 “abriu portas” à comunidade para a celebração cultural da tradição do “Banho do 29”, sem qualquer tipo de exploração económica (Pereira e Mendes, 2025). É um lugar aprazível, onde se praticam eventos, no sentido de a título experimental, se sentir o potencial deste recurso, através de banhos termais em tanque centenário e da ingestão desta água. A Fonte Santa da Malhada Quente é um lugar com nascentes de águas termais, com interesse cultural, histórico, turístico, e com qualidade ambiental que possibilita um contributo para o bem-estar da comunidade.

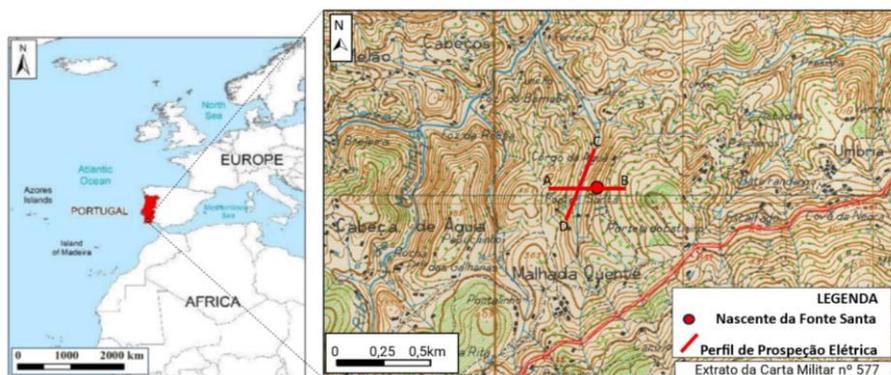


Figura 1 – Localização da Nascente da Fonte Santa da Malhada Quente.

Há a pretensão de criar uma Unidade de Turismo com espaços aqualúdicos, e ainda em complemento setores de rega a espaços verdes e árvores de fruto, e entre outros, onde o aproveitamento geotérmico, poderá tornar todo o projeto mais sustentável, quer economicamente, quer ambientalmente. Com o conhecimento do modelo geohidráulico desta água, será possível encontrar

o local adequado para uma capta o-furo, que proporcione um recurso similar ao atual, mas em maior quantidade e com maior temperatura, pelo que com o presente artigo se pretende contribuir naquele sentido.

2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Malhada Quente situa-se no maciço eruptivo sub-vulcânico sienítico de Monchique (Figura 2), de forma elíptica com cerca de 65 km². Emerge através de diaclases, nas proximidades do Rib. de Foia e estão relacionadas com a circula o de água em profundidade no interior do maciço eruptivo, que se instalou no seio da Forma o de Brejeira do grupo Flysh do Baixo Alentejo, constituída por rochas metamórficas. Sobre qualidade do recurso, pelos resultados apresentados no Quadro 1 a água da Malhada Quente   bicarbonatada sódica, alcalina, semelhante   água das Caldas de Monchique.

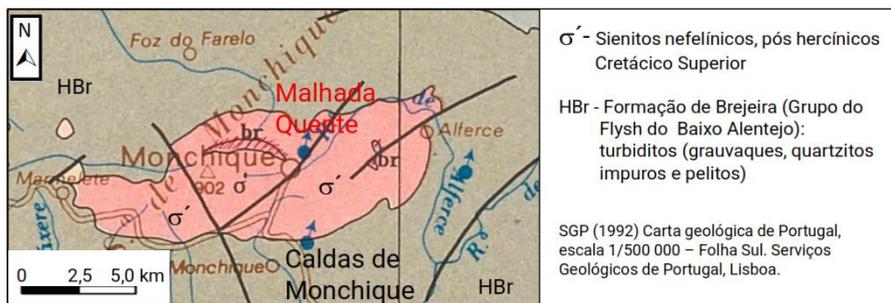


Figura 2 – Enquadramento geológico da nascente de Malhada Quente.

Quadro 1- Parâmetros físico-químicos das  guas da Nascente da Fonte Santa da Malhada Quente (MQ) e das Caldas de Monchique.

Parâmetro	Lab. IST (2016) MQ - Termal 1	Lab. IST (2016) MQ - Termal 2	Caldas de Monchique (Lab. IST,1999, in IGM,1999)
Min. Total (mg/L)	328,0	336,0	335,2
Cond. E. (�S/cm)	371,0	377,0	463,0
SiO ₂ (mg/L)	13,0	13,0	13,5
pH (-)	8,94	9,00	9,57
Na ⁺ (mg/L)	91,0	94,0	107,0
Ca ²⁺ (mg/L)	2,1	2,2	1,05
K ⁺ (mg/L)	1,0	1,0	2,0
Mg ²⁺ (mg/L)	0,39	0,39	0,061
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	176,0	179,0	104,9
Cl ⁻ (mg/L)	22,0	22,0	33,0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	13,0	14,0	46,2

No sentido de adquirir sensibilidade sobre o potencial geotérmico desta água usa-se ao geotermómetro proposto por Giggenbach *et al.* (1983), para calcular a temperatura de reservatório, $Tr = [1390 / (1,75 - \log(K/Na))] - 273,2$, com K e Na, em mg/L, obtendo-se Tr de 101°C. Enfatiza-se que Calado (2001), para as Caldas de Monchique, com a temperatura da emergência à superfície de 31°C, apresenta Tr provável entre 102 e 122°C, avançando ainda com uma profundidade de reservatório (Dr) de 3149 m. Utilizando agora a metodologia usada por Calado (2001) para obter Dr, para a Malhada Quente, obtém-se Dr de 2750m. No sentido de ser ter uma noção da evolução de temperatura em profundidade, utilizando o gradiente geotérmico universal médio de 0,03°C/m, e considerando como temperatura inicial a temperatura de emergência, de 28°C, obtém-se para a Malhada Quente 43°C aos 500m, e 58°C aos 1000m. No sentido de procurar o melhor local para realizar um furo, efetuaram-se 2 perfis geofísicos segundo as posições registadas na Figura1, apresentando-se o exemplo do Perfil AB na Figura 3. Este orienta que as zonas mais favoráveis serão as que apresentam resistividade mais baixa, inferiores a 100 Ohm.m, ou seja, na zona mais a Este do perfil (zona B).

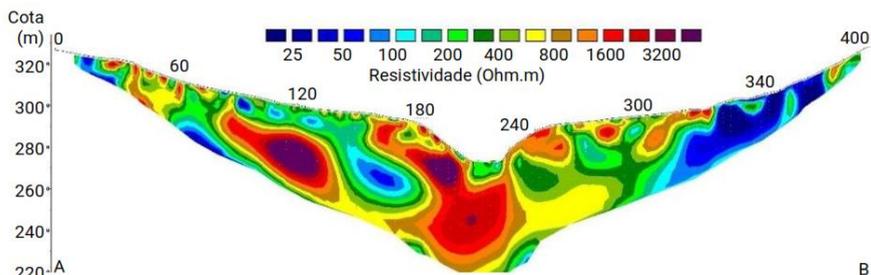


Figura 3 – Exemplo de perfil geofísico realizado na área da Malhada Quente, segundo alinhamento AB (Fig.1).

3 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Como principal conclusão, menciona-se que na zona da Malhada Quente, existe uma ressurgência com um quimismo especial, muito semelhante à água das Caldas de Monchique, e naturalmente quente (28°C). Os elementos disponíveis sobre temperatura em profundidade, orientam para uma ordem de grandeza de 101°C, à profundidade de reservatório por volta dos 2750m. Necessita-se com urgência de uma captação profunda, que a atingir 1000 m poderá segundo os estudos desenvolvidos obter água a 58°C. Estes

elementos devem entender-se como aproximados e propõe-se que se realizem mais estudos, nomeadamente de geofísica, além de algumas sondagens mecânicas de prospeção, para, se os resultados forem positivos, se projetar uma captação com pelo menos 1000m, pois a obterem-se resultados positivos, poderão levar a que a Malhada Quente, venha a ter um empreendimento muito interessante, que poderá passar por aproveitamentos vários, desde o engarrafamento, a aproveitamentos em cascata tirando partido da geotermia, termalismo clássico, e elementos aqualúdicos, de entre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Unidade de Investigação GeoBioTec, através dos projetos estratégicos UIDB/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04035/2020>) e UIDP/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/04035/2020>), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP/MCTES (Portugal) através de fundos nacionais (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

- Almeida, A. e Almeida, J. (1966). *Inventário Hidrológico de Portugal: Algarve*. 1º Vol., Instituto de Hidrologia de Lisboa. Lisboa. 135p.
- Calado, C. M. A (2001). *A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese*. Tese de Dout., Univ. Lisboa, 462 p.
- Giggenbach, W. F.; Gonfiantini, R.; Jangi, B.L. e Truesdell, A. H. (1983). Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, northwest Himalaia, India. *Geothermics*, vol. 12, nº 2-3, p. 199-222.
- IGM (1999). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental. Catálogo de Recursos Geotérmicos. CD-ROM. Versão 1.0.
- Pereira, A. e Mendes, C. (2025). *Banho do 29, Tradição, Histórias e Poemas da Fonte Santa da Malhada Quente*. Amazon Italia Logistica S.r.l., 264p.
- SGP (1992) Carta geológica de Portugal, escala 1/500 000 – Folha Sul. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

O PROJETO GEOTERMICO DAS TERMAS DO CARVALHAL, CASTRO DAIRE

THE GEOTHERMAL PROJECT OF CARVALHAL MEDICAL SPA, CASTRO DAIRE

Ferreira Guedes, J.; *Diretor Técnico, Termas de Carvalhal, Castro Daire, Portugal*, joaq.guedes@gmail.com

Ferreira Gomes, L.M.; *Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt

Rodrigues, E.; *Município de Castro Daire, Portugal*, ernestorodrigues@cm-castrodaire.pt

RESUMO

No presente trabalho após uma primeira fase com o enquadramento geral das Termas do Carvalhal, com uma breve apresentação das captações da sua água mineral natural do tipo sulfúrea, descreve-se o objetivo do mesmo. Depois elenca-se os principais elementos indicadores do potencial geotérmico, nomeadamente o gradiente geotérmico local, as estimativas da temperatura de reservatório e da respetiva profundidade. Por fim, apresentam-se os aspetos globais do projeto geotérmico a implementar, para se terminar com algumas conclusões e perspetivas futuras.

ABSTRACT

In this work, after an initial phase providing a general framework of Carvalhal Medical Spa, including a brief presentation of its sulphurous mineral water abstractions, the objective of the same is described. Next, the main indicators of geothermal potential are listed, namely the local geothermal gradient, and estimates of reservoir temperature and depth. Finally, the overall aspects of the geothermal project to be implemented are presented, concluding with some conclusions and future perspectives.

Palavras-Chave: Termas de Carvalhal, projeto geotérmico, potencial geotérmico, temperatura de reservatório, novas aplicações geotérmicas.

Keywords: Carvalhal Medical Spa, geothermal project, geothermal potential, reservoir temperature, new geothermal applications.

1 – INTRODUÇÃO

As Termas do Carvalhal, são abastecidas por um recurso, água mineral natural, do tipo sulfúrea. Inicialmente eram abastecidas por várias nascentes que brotavam a temperaturas entre 13,0 e 28,5 °C. Entretanto, a partir do ano de 1993 as mesmas foram substituídas por 2 furos, F1 e F2, com profundidade 62 e 86 m respetivamente, e com água de temperatura de 44,4 e 29,1°C, respetivamente. Entretanto, construiu-se uma nova captação, o Furo AC1-G1, em 2003/04, com 600 m de profundidade, com água de características semelhantes às outras captações, mas, de temperatura de 60°C à cabeça do furo, em artesianismo de cerca de 4,2 L/s, e com 15,0 L/s como caudal admissível com um rebaixamento de 15 m (Ferreira Gomes, 2007a e Ferreira Guedes *et al.*, 2013). Aquela captação veio disponibilizar condições ímpares para a implementação de um projeto geotérmico em cascata harmonizado desde logo com os aproveitamentos de termalismo aí existentes. A Câmara Municipal de Castro Daire, como Concessionária do recurso hidromineral, ciente da necessidade deste tipo de aproveitamentos, nomeadamente das vantagens geotérmicas, foi promotora ainda em 2012, de um Projeto Geotérmico (CR, 2012). No entanto, por falta de apoios financeiros, entre outros o mesmo não foi ainda implementado.

Assim, há o objetivo no presente trabalho, de apresentar os elementos fundamentais do referido projeto, e apresentar algumas perspetivas futuras, que levem à efetivação do mesmo.

2 – ENQUADRAMENTO HIDROGEOAMBIENTAL

Os elementos geológicos, hidrogeológicos e outros afins estão documentados na literatura nomeadamente por Ferreira Gomes (2007a,b). Enfatizam-se os elementos associados mais diretamente ao potencial geotérmico. Segundo estudos de Ferreira Gomes *et al.* (2015), o gradiente geotérmico observado com base na temperatura registada à medida que o Furo AC-G1 avançava, foi de acordo com: $T=0,020P+55,9$, com P (profundidade) em m e T (temperatura) em °C. O log de T, obtido após o furo finalizado apresenta-se na Figura 1, sendo de enfatizar o facto de se terem registado 69,5 °C no pé do Furo. Ainda Ferreira Gomes *et al.* (2015), com base no quimismo da água do Furo AC-G1, usando geotermómetros, avançaram

com a temperatura de reservatório na ordem de 117 °C, e correspondente profundidade do reservatório de 3370 m.

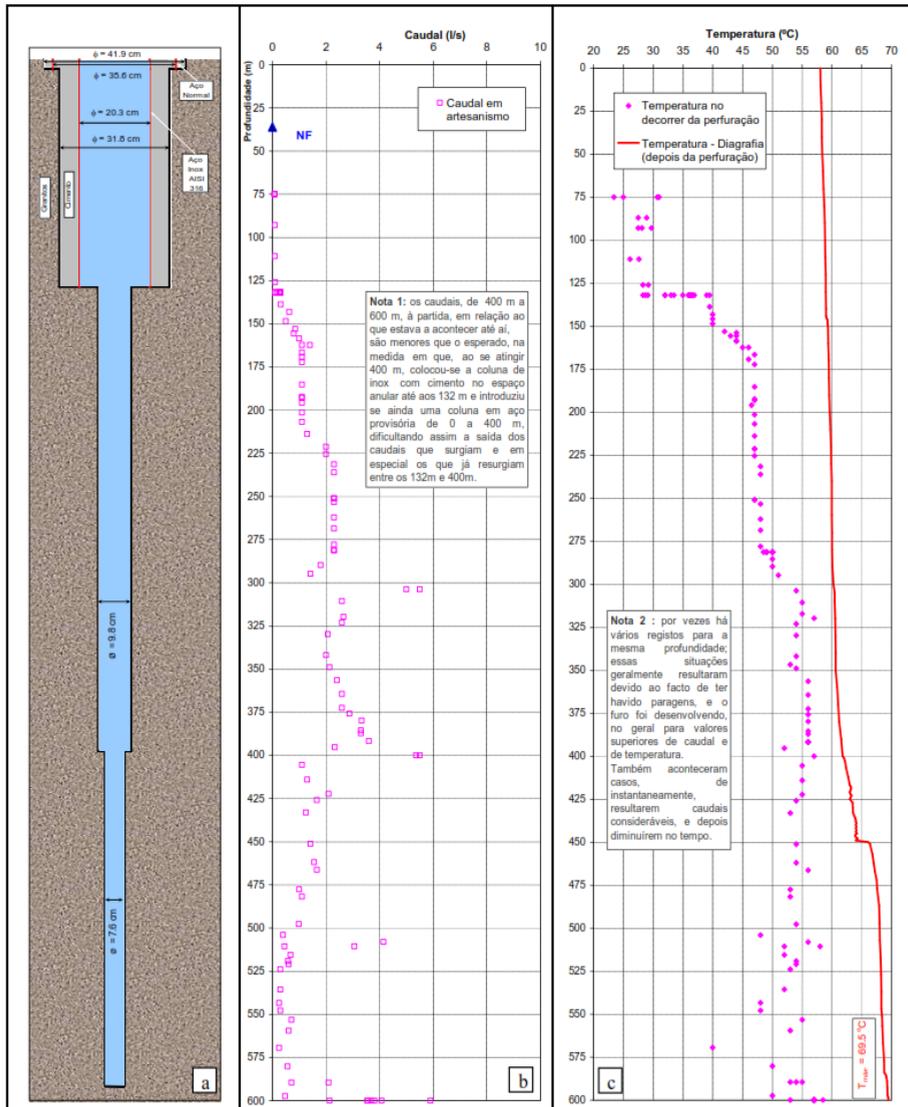


Figura 1 – Geometria Furo AC-G1 (a) e caudais obtidos no decorrer da sua construção (b) e ainda evolução da temperatura em profundidade (c) das Termas do Carvalhal.

3 – O PROJETO GEOTÉRMICO

O Plano Global de Aproveitamento Geotérmico para as Termas do Carvalhal, apresentado com detalhe em CR (2012), considera as componentes principais seguintes: i) Captação de Água Mineral Natural Quente (AMN-Q), a 60 °C, ou seja, o Furo AC-G1; ii) Sistema global de arrefecimento, constituído no essencial por 3 permutadores de placas: PP1, PP2 e PP3. PP1 irá aquecer água sanitária (AQS), com origem em água na rede de água normal, ou outra, de modo a ser acumulada num reservatório e conseqüentemente distribuída. PP2 tem como objetivo “armazenar geocalor” no RIT (Reservatório de Inércia Térmica) de modo a ser fornecido para climatização de espaços interiores de edifícios, aquecimento de água sanitária a terceiros, aquecimento eventual de água de piscinas de terceiros, de entre outros. PP3, tem apenas a função de arrefecer a AMN, se os sistemas anteriores não conseguirem cumprir esse objetivo; salienta-se que PP3 ficou dimensionado para conseguir fornecer AMN fria (AMN-F) de acordo com o atual Plano de Exploração para termalismo; iii) Sistema de captação/adução/restituição de água da Ribeira da Courinha, que atravessa a zona das termas, de modo a haver água comum disponível a custo baixo para arrefecer a AMN-Q, em interação direta com PP3; foi previsto efetuar dois poços comunicantes na Ribeira da Courinha, em associação a dois drenos semi-horizontais a cerca de 3 m de profundidade do leito da Ribeira. Neste sistema está ainda associada uma rede de água normal fria que vai desde os poços até PP3, promovendo o arrefecimento da AMN, e ainda o retorno de água normal morna desde PP3, até à Ribeira da Courinha, numa zona já a jusante das comportas existentes na zona; iv) Sistema de armazenamento de AMN, constituído por 3 reservatórios de 20 m³ de AMN fria (AMN-F) e ainda um reservatório de 10 m³ de AMN quente (AMN-Q). Para que as componentes principais e sistemas associados fiquem em devida harmonia, deverão estar em local adequado e entrosados com uma zona de comando, num espaço fechado, devidamente compartimentado e que se designou por Central Geotérmica e Hidropressora.

4 - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Os elementos principais que condicionam o projeto geotérmico global em desenvolvimento são os seguintes: i) arrefecimento da AMN quente a 60°C para temperaturas da ordem de 30°C; ii) aquecimento de água sanitária para consumo nas Termas, nomeadamente na lavandaria; iii) climatização das

Termas, de modo a que na época fria a geotermia seja usada para aquecer o edifício; iv) climatização de unidades hoteleiras vizinhas das Termas; v) aquecimento de águas sanitárias de unidades hoteleiras e outros espaços urbanos nas proximidades das termas; e por fim, vi) aquecimento da água da piscina pública próxima das Termas.

Como perspetivas futuras, de entre muitas situações que se poderiam elencar, merece referencia a necessidade de apoios financeiros por parte de entidades superiores para que efetivamente o projeto geotérmico se possa colocar em prática e conseqüentemente provar da mais-valia do mesmo, e que, inclusive, permita alavancar a construção de um furo novo, que a atingir a profundidade do reservatório, se entende haver muito potencial para que se possa com o mesmo, realizar um aproveitamento em cascata, cujo primeiro degrau seria a produção de eletricidade. Pelos resultados excelentes já obtidos no Furo AC-G1, Castro Daire tem potencial para ter esse pioneirismo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Unidade de Investigação GeoBioTec, através dos projetos estratégicos UIDB/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04035/2020>) e UIDP/04035/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/04035/2020>), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP/MCTES (Portugal) através de fundos nacionais (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

- CR (2007). Aproveitamento geotérmico do recurso da nova captação de Carvalhal. Ante-projeto. C.M. Castro Daire. 10p., 9 peças desenhadas.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007a). Elementos construtivos e hidráulicos da nova captação de água mineral das Termas de Carvalhal - Castro Daire. Bol.de Minas 42 (2), DGEG, Lisboa, pp.137-147.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007b). Pesquisa profunda de águas sulfúreas. *II Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo*". Eds.: H. Chaminé e J.M. Carvalho. Porto, pp. 161-177.
- Ferreira Guedes, J.; Ferreira Gomes, L. M.; Almeida, P. G. e Simões Cortez, J.A. (2013). From Conception to Construction of deep well of groundwater in granitic

massifs. *Twin Int. Conf., Civil Engineering & Concrete Future*. Covilhã – Portugal., pp. CE-125 - CE-134.

Ferreira Gomes, L. M.; Guedes, J. F.; Costa, T. C.; Ferreira, P. C.; Trota, A. (2015) Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. *Environmental Earth Sciences*. Vol.73, N° 6, pp.2963-2979. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3605-y>

**CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICO-ESTRUTURAL E HIDROGEOLOGICA COM
BASE EM TÉCNICAS DE PROSPEÇÃO GEOFÍSICA, EM ÁREAS DO SISTEMA
AQUÍFERO QUENTE DE CALDAS DE VIZELA, PORTUGAL**

**GEOLOGICAL-STRUCTURAL AND HYDROGEOLOGICAL
CHARACTERIZATION BASED ON GEOPHYSICAL PROSPECTING
TECHNIQUES, IN AREAS OF THE HOT AQUIFER SYSTEM OF CALDAS DE
VIZELA, PORTUGAL**

Gonçalves, L. F.; *Geólogo e Diretor Técnico de Águasquil e Caldas de Vizela. Braga, Portugal, gocalves.luisfilipe92@gmail.com*

Antunes da Silva, M.; *Consultor em Hidrogeologia, Coimbra, Portugal, dirtecpportugal@gmail.com*

Aracil, E.; *Diretor da Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L. (AGS). Pozuelo de Alarcón, Madrid, Espanha, e.aracil@ags-geofisica.com*

RESUMO

As Caldas de Vizela, inserem-se num contexto geológico dominado por granitos hercínicos pós-tectónicos intensamente fraturados, favorecendo a circulação de águas subterrâneas, quentes, com nascentes naturais que emergem a temperaturas entre 36 e 60°C, cujo aproveitamento envolve prospeção e caracterização do subsolo. O presente trabalho visa contribuir para uma melhor compreensão da hidrogeologia de uma região com elevado potencial para a exploração e gestão sustentável de recursos hidrominerais e geotérmicos. A prospeção geofísica utilizou a tomografia elétrica, e foram realizados seis perfis com 710 m de comprimento cada. Para além da identificação das unidades geológicas principais, a geofísica foi fundamental para determinar as características do subsolo e identificar áreas com valores de menor resistividade, normalmente associadas a rochas fraturadas saturadas.

ABSTRACT

Caldas de Vizela area is set within a geological context dominated by post-tectonic Hercynian granites that are intensely fractured, facilitating the circulation of hot groundwater. Natural springs emerge at temperatures ranging from 36 to 60 °C, and their utilization requires subsurface exploration

and characterization. This study aims to contribute to a better understanding of the hydrogeology of a region with high potential for the sustainable exploitation and management of thermal and geothermal water resources. Geophysical prospecting was carried out using electrical resistivity tomography (ERT), with six profiles, each 710 m in length. In addition to identifying the main geological units, the geophysical survey was essential in determining subsurface characteristics and in locating areas with lower resistivity values, which are typically associated with saturated fractured rocks.

Palavras-Chave: prospeção, geofísica, hidromineral, fraturação, aquíferos.

Keywords: prospecting, geophysical, hydromineral, fracturing, aquifers.

1 – INTRODUÇÃO

As Caldas de Vizela constituem um sistema hidromineral relevante situado na Zona Centro Ibérica, inserida no Maciço Hespérico, uma das principais unidades geológicas da Península Ibérica. Conforme descrito por Azevedo (2013), a região caracteriza-se por uma geologia complexa, predominantemente composta por granitóides hercínicos pós-tectónicos, e apresenta uma intensa atividade tectónica que facilita a circulação de águas subterrâneas profundas.

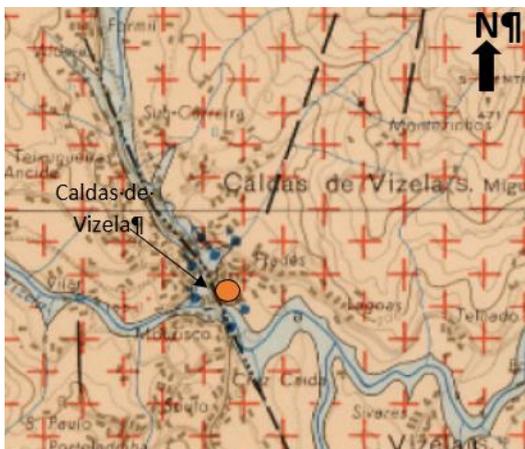


Figura 1 – Extrato da carta geológica de Portugal, à escala 1:50.000, folha 9-B, Guimarães (a partir de Montenegro de Andrade et al, 1986).

As Águas Minerais Naturais quentes de Vizela estão relacionadas com aquíferos formados em granitos fortemente fraturados. Segundo a DGEG (2025), estas águas possuem origem meteórica, longa permanência no meio subterrâneo e apresentam propriedades hidrotermais relevantes.

O presente trabalho visa contribuir para uma melhor compreensão da hidrogeologia de uma região com elevado potencial para a exploração e gestão sustentável de recursos hidrominerais e geotérmicos.

A prospeção geofísica é fundamental para a caracterização não invasiva do subsolo, permitindo a identificação precisa de estruturas geológicas em profundidade. No âmbito da exploração de recursos hidrominerais quentes, essa abordagem otimiza a localização de zonas fraturadas e alteradas com potencial hidrogeológico, minimizando os riscos associados à perfuração. Técnicas como a tomografia elétrica de resistividade facilitam a deteção de anomalias condutivas e descontinuidades estruturais, contribuindo para um planeamento da exploração mais eficiente e sustentável, segundo Robinson *et al.* (2008) e Putiška *et al.* (2012).

2 – PROSPEÇÃO GEOFÍSICA

A resistividade elétrica das rochas é influenciada principalmente por fatores como a porosidade efetiva, a geometria e a conectividade dos poros, o grau de saturação hídrica e a condutividade da água presente nos poros, conforme indicado por Aracil (2021). Neste estudo, foi utilizada a tomografia elétrica, metodologia comprovadamente eficaz para distinguir entre formações rochosas compactas e zonas fraturadas ou alteradas com relevância hidrogeológica. Esta técnica possibilita a obtenção de secções bidimensionais do subsolo, nas quais as variações de resistividade são representadas através de escalas cromáticas, facilitando a análise das variações litológicas e estruturais, como descrito por Loke (1999).

A investigação envolveu a execução de seis perfis de tomografia elétrica, cada um com extensão de 710 m cada e espaçamento de 10 m entre elétrodos. Para maximizar a qualidade da informação obtida, foram utilizados três arranjos de elétrodos distintos: o dispositivo Schlumberger-Wenner, o Dipolo-Dipolo, e o Polo-Dipolo.

A análise dos perfis de tomografia elétrica evidenciou uma clara distinção entre as formações rochosas compactas e as zonas alteradas ou fraturadas, confirmando a eficácia dos diferentes arranjos dos elétrodos utilizados. O arranjo Schlumberger-Wenner mostrou-se particularmente útil na delimitação das camadas superficiais, alinhando-se com as observações de Loke (1999), que destaca sua capacidade para caracterizar espessuras e limites litológicos. Por outro lado, os métodos Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo revelaram-se sensíveis à identificação de descontinuidades estruturais e fraturas, aspetos essenciais para a avaliação hidrogeológica da área, conforme enfatizado por Binley e Kemna (2005). Apesar das limitações impostas por obstáculos naturais e construções, os dados obtidos permitiram uma interpretação consistente da dinâmica subterrânea, demonstrando que a combinação de diferentes configurações de elétrodos potencializa a resolução espacial e a profundidade de investigação em estudos geofísicos.

A interpretação da tomografia elétrica permitiu identificar três unidades geológicas principais, uma camada superficial de rochas fraturadas e secas (15-30 m), uma unidade intermédia de rochas fraturadas mais saturadas (20-80m) e uma camada inferior de granito maciço com alta resistividade, interrompida localmente por zonas fraturadas condutivas. As anomalias de baixa resistividade, associadas à presença de água nas fraturas, foram detetadas entre as cotas de 20-50m e 75-120 m. Também foram identificadas seis fraturas principais, geralmente paralelas ao curso do rio, cuja interação com superfícies sub-horizontais gera um sistema estrutural complexo que favorece a circulação subterrânea ativa e processos hidrotermais, evidenciando o potencial hidromineral da região.

A campanha geofísica realizada na concessão hidromineral de Caldas de Vizela permitiu confirmar a viabilidade da exploração de água hidromineral em meio granítico fraturado. A análise e interpretação dos dados obtidos possibilitaram a identificação de dois setores e quatro locais com maior potencial produtivo, orientando de forma fundamentada e estratégica os trabalhos de perfuração. A definição da ordem de intervenção teve por base a dimensão das anomalias detetadas e os baixos valores de resistividade associados.



Figura 2 – Dispositivo de perfis utilizado.

3 – CONCLUSÕES

A tomografia elétrica demonstrou ser uma ferramenta valiosa na caracterização da heterogeneidade estrutural e hidrogeológica da área das Caldas de Vizela, permitindo a identificação detalhada de unidades litológicas e zonas fraturadas com presença de água. As principais vantagens desta técnica incluem a sua capacidade de investigação em profundidade, a resolução espacial relativamente elevada e o facto de ser não invasiva, o que a torna especialmente adequada para ambientes geológicos complexos, como os meios graníticos fraturados.

Apesar das suas virtudes, a tomografia elétrica apresentou algumas limitações, nomeadamente a sensibilidade a ruídos elétricos e as dificuldades na execução de perfis retilíneos em terrenos com obstáculos naturais ou construídos, fatores que podem afetar a qualidade dos dados e da interpretação. Ainda assim, a utilização combinada de diferentes arranjos de eléctrodos demonstrou aumentar significativamente a resolução e profundidade de investigação, sendo uma abordagem aplicável a outros contextos hidrogeológicos semelhantes.

Esta abordagem integrada permite reduzir significativamente o risco associado às operações de perfuração, ao mesmo tempo que aumenta as probabilidades de sucesso na captação dos recursos hidrominerais.

No âmbito da energia geotérmica em Portugal, a caracterização geofísica das Caldas de Vizela adquire particular relevância. A identificação de zonas fraturadas e saturadas em granitos, com circulação subterrânea ativa e sinais de alteração hidrotermal, aponta para um potencial geotérmico. Assim, o presente estudo evidencia tanto o potencial como os desafios da geotermia no país, destacando a importância de métodos de prospeção eficientes e sustentáveis para fundamentar decisões de exploração em regiões geologicamente complexas.

REFERÊNCIAS

- Aracil, E. (2021). Caracterização geológico-estrutural e hidrogeológica com base em técnicas de prospeção geofísica, no município de São João de Caldas de Vizela, Portugal. AGS – Análisis y Gestión del Subsuelo. Relatório Inédito.
- Azevedo, M. R. (2013). Granitos Variscos do Centro Norte de Portugal, RIA - Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/15922>, acessado em 20/08/2025.
- Binley, A. e Kemna, A. (2005). Electrical imaging for environmental applications. *Surveys in Geophysics*, 26(4), pp.513–532.
- DGEG. (2025). Hidrogenoma HM-68 Caldas de Vizela. Disponível em: <https://hidrogenoma.dgeg.gov.pt/agua-mineral-natural/caldas-de-vizela>, acessado em 20/08/2025.
- Montenegro de Andrade, M.; Noronha, F. e Rocha, A. (1986). Carta Geológica de Portugal, Escala 1/50.000, 1ª Edição - Serviços Geológicos de Portugal, Folha 09-B – Guimarães.
- Loke, M. H. (1999). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys* (Doctoral dissertation). University of Birmingham.
- Putiška, R., Pašteka, R., e Novák, M. (2012). *Geophysical methods in geological structure investigation: Application of electrical resistivity tomography*. *Geologica Carpathica*, 63(4), pp.345–357.
- Robinson, D. A., Binley, A., Crook, N., Day-Lewis, F. D., Ferré, T. P. A., Grauch, V. J. S. Slater, L. (2008). Advancing process-based watershed hydrological research using near-surface geophysics: A vision for, and review of, electrical and magnetic geophysical methods. *Hydrological Processes*, 22(18), pp.3604–3635.

ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR SOBRE A CAPTAÇÃO VIZELA 6 DE ÁGUA MINERAL NATURAL QUENTE DE CALDAS DE VIZELA

MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO THE WELL VIZELA 6 OF HOT NATURAL MINERAL WATER IN CALDAS DE VIZELA

Gonçalves, L. F.; *Geólogo e Diretor Técnico de Águasmil e Caldas de Vizela. Braga, Portugal, goncalves.luisfilipe92@gmail.com*

Antunes da Silva, M.; *Consultor em Hidrogeologia. Coimbra, dirtecpportugal@gmail.com*

Gonçalves, J. L.; *Diretor Geral Águasmil – Sociedade Exploradora de Águas Subterrâneas, Porto, Portugal, luis.goncalves@aguasmil.pt*

Aracil, E.; *Diretor da Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L. (AGS). Pozuelo de Alarcón (Madrid, Espanha), e.aracil@ags-geofisica.com*

RESUMO

O artigo pretende contribuir para o conhecimento sobre recursos hidrominerais quentes e avaliar a viabilidade técnica da respetiva exploração sustentável nas Caldas de Vizela. Para o efeito foi realizada uma campanha de prospeção geofísica, visando identificar zonas de fraturação e alteração do maciço granítico, fundamentais para o delineamento da captação. A perfuração, num dos locais determinados, foi feita através do método de rotopercussão, e alcançou 181 m de profundidade. Ensaios de caudal demonstraram elevada produtividade, estabilidade hidroquímica e rápida recuperação piezométrica, com água à temperatura de 60 °C, confirmando a viabilidade técnica e sustentável da exploração de Água Mineral Natural Quente.

ABSTRACT

The study aims to contribute to the understanding of thermal mineral water resources and to assess the technical feasibility of their sustainable exploitation in Caldas de Vizela. A geophysical survey was conducted to identify fractured and altered zones within the granite massif, which are essential for well siting. Drilling at one of the selected locations was carried out using the rotary-percussive method, reaching a depth of 181 m. Flow tests indicated high productivity, hydrochemical stability, and rapid piezometric

recovery. The water reached a temperature of 60 °C, confirming the technical and sustainable feasibility of exploiting this Natural Thermal Mineral Water.

Palavras-Chave: prospeção, exploração, aquífero, hidromineral, sustentável

Keywords: prospecting, exploration, aquifer, hydromineral, sustainable

1 – INTRODUÇÃO

De acordo com Azevedo (2013), as Caldas de Vizela constituem um importante sistema hidromineral localizado na Zona Centro Ibérica, inserido no Maciço Hespérico, uma das principais unidades geológicas da Península Ibérica. Esta região apresenta uma geologia complexa, dominada por rochas ígneas, nomeadamente granitóides hercínicos pós-tectónicos, e é marcada por intensa tectonização que favorece a circulação de águas subterrâneas profundas.

A Água Mineral Natural quente de Vizela está associada a aquíferos fissurados desenvolvidos em granitos intensamente fraturados. De acordo com a DGE (2025), estas águas têm origem meteórica, apresentam um longo tempo de residência no subsolo e revelam propriedades hidrotermais singulares. Aquelas propriedades singulares, em relação ao comum das águas subterrâneas, facilmente possibilitarão aproveitamentos em cascata, com implementação de climatização de edifícios, aquecimento de águas sanitárias, harmonizados com o uso do termalismo, quer no setor clássico quer no setor do bem-estar, e ainda outros a jusante, como aproveitamentos aqualúdicos, de aquacultura, agrícolas, etc.

No âmbito da exploração sustentável destes recursos, foi desenvolvida a captação Vizela 6, com base numa abordagem integrada que combinou prospeção geofísica, caracterização geológica e hidrogeológica detalhada, e técnicas modernas de perfuração.

Este artigo descreve os principais aspetos da geologia local, os métodos utilizados na fase de prospeção, a execução técnica da perfuração e os resultados dos ensaios de caudal, com o objetivo de avaliar a viabilidade da exploração hidromineral em meio granítico profundamente fraturado.

2 – PROSPEÇÃO GEOFÍSICA

Com os trabalhos de geofísica realizados foram identificadas seis fraturas principais na área estudada, com orientações distintas, mas aproximadamente paralelas à direção do rio. A interação entre estas fraturas e superfícies sub-horizontais cria um sistema estrutural complexo que favorece a concentração de zonas condutoras, indicando intensa circulação de água subterrânea e processos de alteração hidrotermal, ao longo dos planos de fratura.

A identificação de dois setores e quatro locais com maior potencial produtivo orientou de forma fundamentada e estratégica os trabalhos de perfuração, que, no caso em análise, foram desenvolvidos em S2 (Fig. 1). A definição da ordem de intervenção teve por base a dimensão das anomalias detetadas e os baixos valores de resistividade associados ($R < 200 \text{ Ohm.m}$). Estes são valores de resistividade relativamente baixos quando comparados com os valores comuns de rochas compactas sem fraturas e sem água.



Figura 1 – Identificação dos locais com maior potencial produtivo (Aracil, 2021).

3 – PROSPEÇÃO MECÂNICA E ENSAIO DE CAUDAL

A captação Vizela 6 foi executada através da perfuração mecânica do tipo rotoperfuração com *martelo de fundo de furo*, com uma máquina de perfuração marca AGBO, modelo G 450 (Fig.2), intersecando o maciço granítico designado por Granito de Guimarães (Andrade *et al*,1986). De acordo com o descrito em Gonçalves (2022), a perfuração decorreu em várias fases,

com o acompanhamento de hidrogeólogo em contínuo, situação absolutamente fundamental, na tomada de decisões, em relação aos entubamentos iniciais, provisórios, cimentações, alargamento em alguns troços, de entre outros, como a instalação da coluna final, definitiva em aço inoxidável AISI 316L de 7". De salientar que a captação ficou com 181m de profundidade, entubado da superfície até aos 66m, e daí para baixo em *open-hole*.



Figura 2 – Execução dos trabalhos de prospeção mecânica - Vizela 6.

No final, o furo completamente pronto, obteve-se um fluxo artesianos de cerca de 10.000 L/h, com uma água quimicamente semelhante às demais captações da concessão, destacando-se uma temperatura de emergência de 60 °C.

Com o objetivo de avaliar o comportamento hidrogeológico do sistema aquífero granítico intersetado pela construção do Furo Vizela 6, foi realizado um ensaio de caudal com bomba submersível. Os resultados do ensaio apresentam-se na Figura 3. Salienta-se que a bombagem decorreu em regime escalonado, com caudais progressivos até 20.000 L/h. Daquele ensaio, após a realização da curva características (Caudal *versus* rebaixamento) considerou-se como caudal admissível máximo, 20 m³/h, em bombagem, sendo de salientar a singularidade do furo permitir em artesianismo o caudal de cerca de 10 000 L/h.

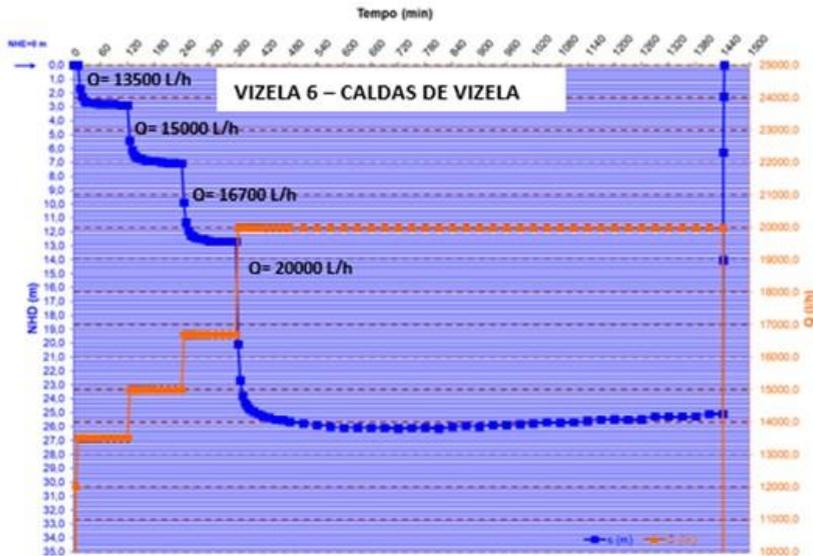


Figura 3 – Resultados do ensaio de caudal realizado no Furo Vizela 6.

4 – CONCLUSÕES

Este projeto assentou numa sólida base de dados litológicos, hidrogeológicos e geofísicos obtidos em campo, resultando numa infraestrutura técnica robusta, adaptada às condições locais e alinhada com os princípios de sustentabilidade e proteção ambiental.

A escolha do método de perfuração por rotopercussão com *martelo de fundo de furo* revelou-se particularmente adequada para a exploração de formações graníticas duras e intensamente fraturadas. Esta técnica garantiu uma progressão rápida, precisa e com excelente verticalidade, minimizando riscos de desvios que poderiam comprometer a integridade hidrogeológica da captação. Além disso, a metodologia adotada demonstrou elevada eficácia neste tipo de litologia, sendo facilmente transferível para outros contextos geológicos semelhantes onde a precisão estrutural e a estabilidade são cruciais para a exploração sustentável de aquíferos profundos.

Os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios, confirmando a presença de um aquífero produtivo, com excelente capacidade de recuperação e circulação eficiente nas zonas fraturadas do maciço granítico.

A captação realizada revelou-se tecnicamente adequada para uma exploração sustentável, com caudais em bombagem até 20 m³/h e uma temperatura constante em torno dos 60 °C, garantindo a estabilidade e qualidade do recurso hidromineral. Estes resultados beneficiaram também do contributo da campanha geofísica, que permitiu orientar de forma mais precisa a escolha do local para os trabalhos de perfuração.

A presença de um aquífero com estas características térmicas posiciona este recurso no âmbito da geotermia em Portugal, demonstrando o potencial para aplicações térmicas locais, como aquecimento de edifícios, estufas agrícolas e usos balneológicos. Este estudo assume particular relevância num contexto nacional de crescente interesse pela diversificação da matriz energética e pela promoção de fontes renováveis e sustentáveis.

Projetos que integrem conhecimentos hidrogeológicos, técnicas de perfuração adequadas e tecnologias geofísicas eficientes, como o aqui apresentado, são fundamentais para fomentar o desenvolvimento da geotermia e a sua incorporação no *mix* energético nacional, contribuindo para os objetivos de sustentabilidade ambiental e segurança energética do país.

REFERÊNCIAS

- Aracil, E. (2021). Caracterização geológico-estrutural e hidrogeológica com base em técnicas de prospeção geofísica, no município de São João de Caldas de Vizela, Portugal. AGS – Análisis y Gestión del Subsuelo. Relatório Inédito interno.
- Azevedo, M. R. (2013). Granitos Variscos do Centro Norte de Portugal, *RIA - Repositório Institucional da Universidade de Aveiro*. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/15922>, acedido em 20/08/2025.
- DGEG. (2025). Hidrogenoma HM-68 Caldas de Vizela. Disponível em: <https://hidrogenoma.dgeg.gov.pt/aqua-mineral-natural/caldas-de-vizela>, acedido em 20/08/2025.
- Gonçalves, L.F. (2022). Execução de uma sondagem de pesquisa e eventual captação de água mineral natural – AM1 Termas de Vizela. Águasmil – Sociedade Exploradora de Águas Subterrâneas Lda. Relatório Inédito interno.
- Andrade, M.; Noronha, F. e Rocha, A. (1986). *Carta Geológica de Portugal*, Escala 1/50.000, 1ª Ed. - Serviços Geológicos de Portugal, Folha 09-B – Guimarães.

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DE UMA ÁGUA TERMAL DA CAPTAÇÃO VIZELA 6, CALDAS DE VIZELA, PORTUGAL

HYDROCHEMICAL CHARACTERISATION OF THERMAL WATER FROM THE VIZELA 6 ABSTRACTION, CALDAS DE VIZELA, PORTUGAL

Gonçalves, L. F.; *Geólogo e Diretor Técnico de Águasmil e Caldas de Vizela, Braga, Portugal, goncalves.luisfilipe92@gmail.com*

Antunes da Silva, M.; *Consultor em Hidrogeologia. Coimbra, Portugal dirtecpportugal@gmail.com*

RESUMO

Fruto de trabalho detalhado de estudos geofísicos (resistividade elétrica), reconheceram-se zonas com potencial adequado a executar na Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela, uma nova captação – Vizela 6, cujo recurso foi reconhecido como Água Mineral Natural, com capacidade terapêutica e de aplicação geotérmica. No presente artigo apresenta-se o seu perfil hidroquímico demonstrando a sua similitude com a água das restantes captações desta exploração, permitindo consequentemente a sua integração no plano de exploração oficial, com aplicações no domínio do termalismo e com aproveitamentos geotérmicos.

ABSTRACT

As a result of detailed geophysical studies (electrical resistivity), areas with sufficient potential were identified in the Caldas de Vizela Hydromineral Concession to build a new groundwater abstraction – Vizela 6, whose resource was recognized as Natural Mineral Water, with therapeutic and geothermal uses. This article presents its natural mineral hydrochemical profile, demonstrating its similarity to other natural mineral water abstractions from this exploitation.

Palavras-Chave: Recurso hidromineral, água sulfúrea, água termal, hidroquímica, Vizela.

Keywords: Hydromineral resource, sulphurous water, thermal water, hydrochemistry, Vizela.

1 – INTRODUÇÃO

As Caldas de Vizela associam-se a um importante sistema hidromineral localizado na Zona Centro Ibérica, integrada no Maciço Hespérico, uma das principais unidades geológicas da Península Ibérica. Segundo Azevedo (2013), esta região apresenta uma geologia complexa, dominada por rochas ígneas, nomeadamente granitóides hercínicos pós-tectónicos, e marcada por uma intensa tectonização que favorece a circulação de águas subterrâneas profundas.

As águas termais de Vizela, estão associadas a aquíferos fissurados desenvolvidos em granitos intensamente fraturados. De acordo com a DGEG (2025), estas águas têm origem meteórica, apresentam um longo tempo de residência no subsolo e revelam propriedades hidrotermais especiais, como temperaturas de ressurgências naturais superiores às temperaturas das águas comuns da região. A zona da Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela inclui várias nascentes fora de atividade e uma ativa (Lameira), com Água Mineral Natural sulfúrea à temperatura de 48°C. Menciona-se que se encontram ativas também as captações profundas Vizela 1, 2, 3, 4 e 6, com Água Mineral Natural sulfúrea com temperaturas entre 34 e 60 °C.

Antes da execução da captação Vizela 6 estavam em aproveitamento 5 captações (4 profundas e uma nascente), sendo ainda conhecida uma sexta que não se encontra em uso, todas elas com comprovada estabilidade físico-química e microbiológica.

No âmbito da exploração sustentável deste recurso hidromineral e geotérmico, foi construída a captação Vizela 6, com base numa abordagem integrada que combinou prospeção geofísica, caracterização geológica e hidrogeológica detalhada, e técnicas modernas de perfuração.

Este artigo apresenta a composição química da água captada na Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela, dando especial relevo à da captação mais recente, Vizela 6.

2 – CAPTAÇÃO VIZELA 6

A captação Vizela 6 foi executada através do método de perfuração por rotopercussão com *martelo de fundo de furo*, técnica apropriada para rochas duras como o granito predominante da região. Conforme descrito por Gonçalves (2022), a perfuração decorreu em três fases principais: (1) até 7 m de profundidade com diâmetro de 17”, onde foi instalada uma coluna guia em aço carbono, cimentada para isolamento hidráulico; (2) até 30 m com diâmetro de 14”, quando foi instalada uma nova coluna de aço para proteção contra contaminações superficiais; e (3) prolongamento até 181 m, com diâmetro de 6½”, tendo o troço entre 7 e 66 m sido alargado para 8½” para a instalação da coluna definitiva em aço inoxidável AISI 316L de 7”.

A selagem da captação foi garantida por cimentação inversa, com o apoio de um obturador mecânico expansível, assegurando o isolamento hidráulico até à superfície. A partir dos 66 m, o furo desenvolve-se em “open hole”, sustentado pela competência geomecânica do granito local – granito biotítico, de cor acinzentada e de grão médio a fino, que se apresenta pouco fraturado em profundidade.

Durante a execução da sondagem foi feito o acompanhamento da litologia atravessada, dos tempos de furação, dos caudais emergentes e de propriedades físico-químicas da água, tal como o pH, Condutividade Elétrica e Temperatura, o que permitiu a definição da coluna de revestimento final (conforme descrita acima) e assegurar que o perfil químico potencialmente se encontrava dentro do pretendido. No final da execução da captação obteve-se um fluxo artesianos de 10.000 L/h de uma água quimicamente semelhante à água das restantes captações da Concessão (usando os parâmetros expeditos já referidos), com realce para uma temperatura de emergência de 60 °C. Com o objetivo de avaliar o comportamento hidrogeológico do aquífero no local intercetado, foi realizado um ensaio de caudal com bomba submersível. A bombagem decorreu em regime escalonado, com caudais progressivos até 20.000 L/h, seguido de manutenção deste valor durante 24 horas. Verificou-se estabilização do nível hidrodinâmico, constância dos parâmetros físico-químicos expeditos e rápida recuperação do nível piezométrico após interrupção da bombagem.

3 – A HIDROQUÍMICA

A água termal da Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela, classificada como Água Mineral Natural, além de Recurso Geotérmico, designa-se como água fracamente mineralizada, e atendendo à sua constituição, como sulfúrea devido à presença de espécies reduzidas de enxofre, atribuindo-lhe ainda, devido aos seus principais componentes, a designação de Bicarbonatada Sódica, e com base na sua composição química secundária é ainda Fluoretada.

A temperatura da Água Mineral Natural, captada nas captações integradas no Plano de Exploração, variam de captação para captação, dos 36°C aos 60°C.

A Água Mineral Natural da Captação Vizela 6 foi sujeita a um extenso plano de controlo analítico, tendo-se comprovado a sua estabilidade físico-química e microbiológica ao longo de um ano hidrológico. O perfil hidroquímico da água desta nova captação é em tudo semelhante aos das restantes captações como se pode ver no diagrama de PIPER da Figura 1, constatando-se o posicionamento na mesma zona das águas das outras captações das Caldas de Vizela.

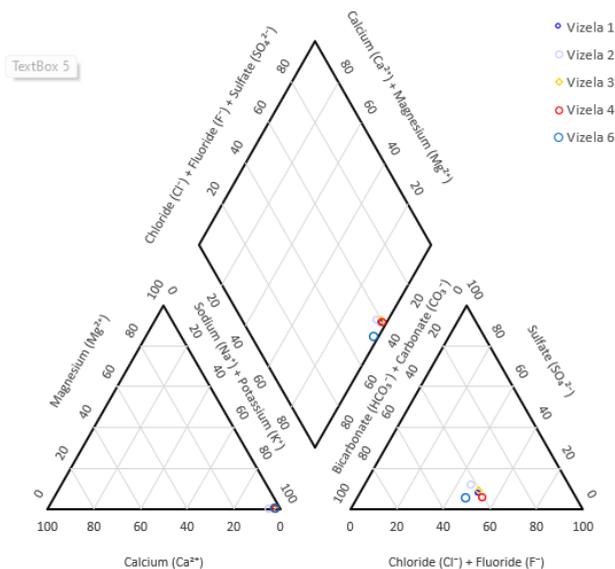


Figura 1 – Diagrama de PIPER comparativo do quimismo da água captada na Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela.

4 – CONCLUSÕES

A captação Vizela 6 surge como resultado de um trabalho de estudo detalhado de parte da área da Concessão Hidromineral de Caldas de Vizela.

Tendo como base o conhecimento hidrogeológico da zona (geologia, tectónica, histórico de sondagens), e considerando a experiência adquirida na exploração das captações existentes, foi definido um programa de investigação geofísica onde foram identificados vários locais com potencial para a realização de uma nova captação de Água Mineral Natural quente.

Selecionado um desses locais, foi executada uma sondagem que em face dos dados recolhidos se transformou em captação – Vizela 6.

Como expectável, considerando a informação recolhida durante a execução dos trabalhos de prospeção mecânica, a água captada em Vizela 6 pôde ser reconhecida como Água Mineral Natural e está hoje disponível para utilização em balneoterapia e em geotermia.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, M. R. (2013). Granitos Variscos do Centro Norte de Portugal, RIA - Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <http://hdl.handle.net/10773/15922>, acedido em 20/08/2025.
- DGEG. (2025). Hidrogenoma HM-68 Caldas de Vizela. Direção-Geral de Energia e Geologia. Disponível em: <https://hidrogenoma.dgeg.gov.pt/agua-mineral-natural/caldas-de-vizela>, acedido em 20/08/2025.
- Gonçalves, L.F. (2022). Execução de uma sondagem de pesquisa e eventual captação de água mineral natural – AM1 Termas de Vizela. Águasmil – Sociedade Exploradora de Águas Subterrâneas Lda.

CARACTERIZAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DA ÁGUA MINERAL NATURAL QUENTE DAS CALDAS DE MONÇÃO, PORTUGAL

CHARACTERIZATION OF THE EXPLOITATION OF THE HOT NATURAL MINERAL WATER IN CALDAS DE MONÇÃO, PORTUGAL

Gonçalves, L. F.; *Geólogo e Diretor Técnico de Águasminil e Caldas de Monção. Braga, Portugal, goncalves.luisfilipe92@gmail.com*

Antunes da Silva, M.; *Consultor em Hidrogeologia, Coimbra, Portugal, dirtecpportugal@gmail.com*

RESUMO

As captações de Água Mineral Natural quente das Caldas de Monção inserem-se na Zona Centro Ibérica do Maciço Hespérico, marcada por granitos e xistos com diferentes graus de metamorfismo. Localizam-se na margem esquerda do rio Minho e alinhadas segundo ENE–WSW, evidenciam forte controlo tectónico, nomeadamente por falhas tardi-hercínicas. A circulação hidrotermal ocorre em profundidade, de forma independente da topografia, sendo facilitada por fraturas intensas no maciço granítico. A zona de descarga apresenta elevada transmissividade e alteração hidrotermal, conferindo ao meio características próximas de aquíferos porosos. A Água Mineral Natural quente captada pelos furos G01 e AC1, é sulfúrea, bicarbonatada sódica e fluoretada, com temperatura de cerca de 47/48 °C. A estabilidade hidroquímica e a qualidade do recurso são comprovadas por um programa contínuo de monitorização físico-química, hidrodinâmica e microbiológica, sendo assegurada a exploração sustentável do sistema.

ABSTRACT

The origins of Hot Natural Mineral Water of Caldas de Monção are located within the Central Iberian Zone of the Hesperian Massif, characterized by granitic rocks and schists with varying degrees of metamorphism. They are situated on the left bank of the Minho River and are aligned ENE–WSW, indicating strong tectonic control, particularly by late-Hercynian faults. Hydrothermal circulation occurs at depth, independently of surface topography, and is facilitated by intense fracturing within the granitic massif. The discharge zone shows high transmissivity and significant hydrothermal

alteration, giving the system hydraulic properties similar to those of porous aquifers. The natural mineral water, extracted from Wells G01 and AC1, is sulphurous, sodium bicarbonate, and fluoridated, with a temperature of approximately 47/48 °C. Hydrochemical stability and water quality are proven through a continuous monitoring program, physicochemical, hydrodynamic, and microbiological, being assured the sustainable exploitation of the system.

Palavras-Chave: exploração, hidromineral, fraturação, granitos.

Keywords: exploitation, hydromineral, fracturing, granites.

1 – INTRODUÇÃO

As captações de Água Mineral Natural quente das Caldas de Monção integram-se na Zona Centro Ibérica do Maciço Hespérico, uma das unidades geológicas mais representativas da Península Ibérica. Esta zona distingue-se pela predominância de formações granitóides, e por metassedimentos xistentos sujeitos a diferentes graus de metamorfismo. Este contexto estrutural e litológico fornece as condições favoráveis à instalação de sistemas hidrotermais profundos.

Segundo Carreira *et al.* (2005), as nascentes originais localizadas na margem esquerda do rio Minho, sobre terraços aluvionares, distribuem-se segundo um alinhamento ENE–WSW, o que evidencia o controlo estrutural exercido pelas falhas tardi-hercínicas da região. A circulação hidrotermal ocorre a profundidade considerável, sustentada por redes de fraturação que não dependem da topografia superficial, mas sim de acidentes tectónicos de grande expressão. Este regime hidráulico confinado e fraturado permite a ascensão de fluidos profundos com estabilidade química e térmica.

O maciço granítico na zona de descarga apresenta elevada densidade de fraturas e sinais de alteração hidrotermal significativa. Estas características, associadas a valores de transmissividade acima da média para meios fraturados, conferem ao sistema uma permeabilidade efetiva equivalente à dos aquíferos porosos, facilitando a descarga do recurso hidromineral. Tal configuração favorece a emergência de águas termais com temperaturas elevadas e composição química estável, típica de sistemas profundos.

O presente estudo visa contribuir para a caracterização hidrogeológica da região, com vista à sua exploração sustentável no contexto dos recursos hidrominerais e geotérmicos.

2 – HIDROQUÍMICA

De acordo com Ribeiro e Moreira (1986), a Água Mineral Natural das Caldas de Monção apresenta uma temperatura de cerca de 47 °C e é classificada como sulfúrea, bicarbonatada sódica e fluoretada, o que indica uma origem profunda e uma circulação prolongada no maciço granítico.

A monitorização sistemática do recurso inclui medições *in situ* de parâmetros físico-químicos como pH, condutividade elétrica e temperatura, revelando ao longo do tempo, estabilidade hidroquímica com variações sazonais mínimas (Fig.1).

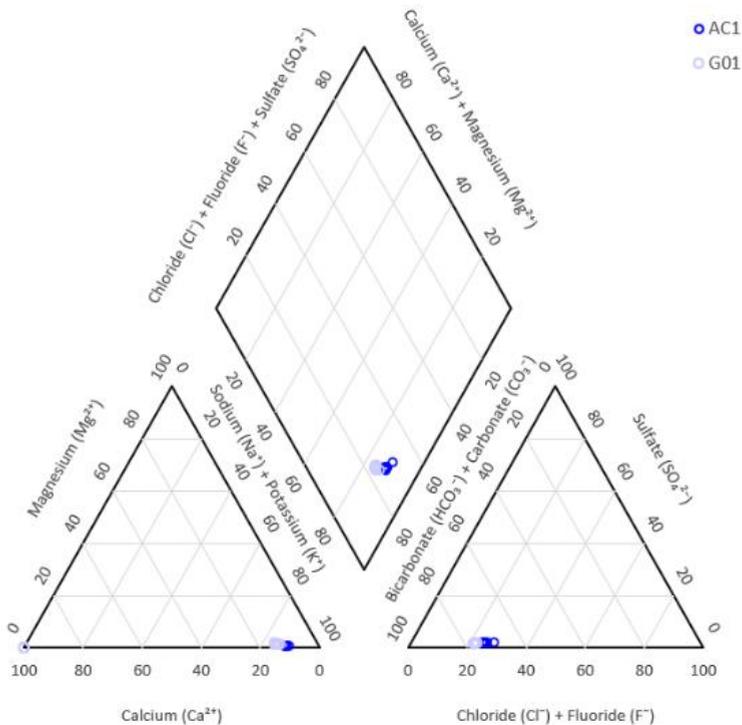


Figura 1 – Diagrama de Piper, com o exemplo da projeção das características físico-químicas do recurso, num ano hidrológico.

3 – UTILIZAÇÃO DO RECURSO HIDROMINERAL E GEOTÉRMICO

Na Concessão Hidromineral de Monção existem duas captações de Água Mineral Natural quente (G01 e AC1), e a sua utilização está aprovada, em Plano de Exploração, pela Direção Geral de Energia e Geologia, para Termalismo e Geotermia.

Atualmente o sistema de aproveitamento geotérmico está a ser reabilitado, com o intuito de fornecer energia térmica, a partir do calor da água quente das captações, a 47 e 48°C, respetivamente, para aquecimento das piscinas municipais e do balneário termal (Fig.2).

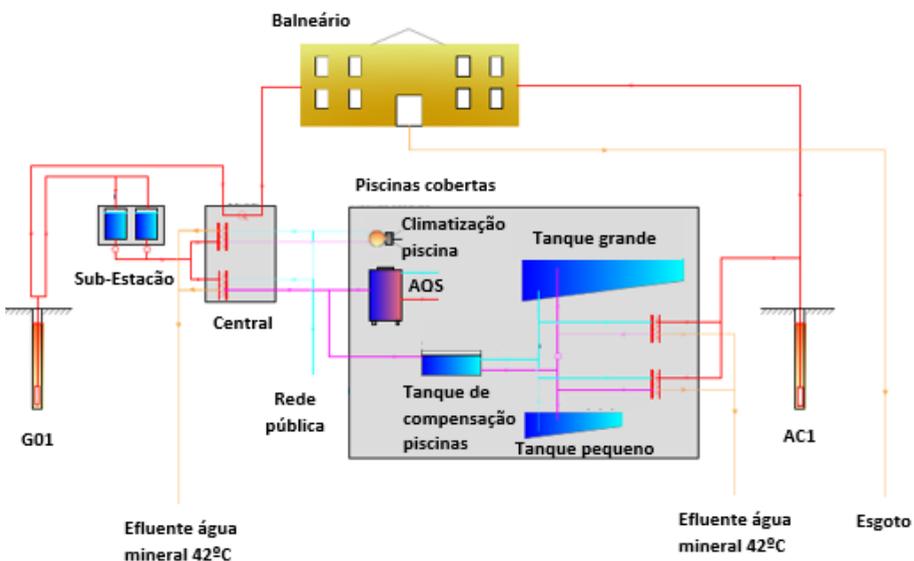


Figura 2 – Esquema de princípio do aproveitamento da energia geotérmica em Caldas de Monção.

A definição dos caudais de exploração de AC1 e G01 resultou dos ensaios realizados aquando da execução das captações, sendo complementada por um programa de monitorização contínua (hidrodinâmica, físico-química e microbiológica), essencial para comprovar estabilidade e proteção do recurso e orientar a exploração, de modo a evitar situações de sobre-exploração que comprometam a sua qualidade.

4 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O enquadramento hidrogeológico existente em Caldas de Monção deu origem à classificação de uma água subterrânea muito especial, como Água Mineral Natural, com temperaturas na emergência de cerca de 47°C.

As características físico-químicas estáveis e a pureza microbiológica daquele recurso permitiram a validação de valências terapêuticas aplicáveis em doenças do aparelho respiratório e doenças reumáticas e músculo-esqueléticas, no âmbito das atividades de termalismo.

Com base na temperatura a que aquela água é captada, levou à aprovação do seu uso em geotermia, ficando o recurso licenciado superiormente, não só como Água Mineral Natural, mas também como Recurso Geotérmico, perspetivando-se a reabilitação das instalações para permitir a sua aplicação em vários equipamentos existentes.

Sobre perspetivas futuras, menciona-se que ainda não há muita experiência com a implementação dos sistemas geotérmicos, no entanto, admite-se que com alguma celeridade se venha a otimizar o aproveitamento, desde logo com o aproveitamento do fluido térmico rejeitado, no sentido de reforçar o pré-aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e em outras aplicações.

REFERÊNCIAS

- Carreira, P. M., Marques, J. M., Monteiro Santos, F. A., Andrade, M., Matias, H., Luzio, R., e Nunes, D. (2005). Role of geophysics, geochemistry and environmental isotopes in the assessment of Caldas de Monção low-temperature geothermal system (Portugal). *Transactions – Geothermal Resources Council*, 29, pp.209–213.
- Ribeiro, A. e Moreira, F. (1986). *Caracterização hidrogeoquímica das águas minerais naturais das Caldas de Monção*. Relatório técnico, Direção-Geral da Energia e Geologia (DGEG), Lisboa.

POTENCIAL GEOTÉRMICO DO RECURSO HIDROMINERAL DAS CALDAS DE SÃO PAULO, PORTUGAL

GEOHERMAL POTENTIAL OF CALDAS DE SÃO PAULO HYDROMINERAL RESOURCE

Cavaleiro, Victor; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal, victorc@ubi.pt*

Carvalho, António; *GeoBioTec, UBI, Covilhã, Portugal, antonio.jj.carvalho@ubi.pt*

Pinto, Hugo A.S.; *GeoBioTec, UBI, Covilhã, Portugal, hpinto@ubi.pt*

Santos, Paulo; *Chama Energia, Coimbra, Portugal, ps@chama.com.pt*

Marchiori, Leonardo; *GeoBioTec, UBI, Covilhã, Portugal, leonardo.marchiori@ubi.pt*

RESUMO

O aproveitamento geotérmico de recursos hidrominerais representa uma alternativa sustentável para energia e valorização económica dos territórios. As Caldas de São Paulo possuem um contexto geológico favorável, com circulação subterrânea em granitos fraturados da Serra da Estrela, permitindo a ascensão de águas naturalmente quentes. Este estudo apresenta os principais aspetos hidrogeológicos e hidroquímicos, evidenciando águas de mineralização média, bicarbonatadas-sódicas, resultantes de interação prolongada com os granitos e circulação profunda. Tais características indicam potencial para geotermia de baixa entalpia, aplicável a aquecimento, balneoterapia e turismo, reforçando a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento regional.

ABSTRACT

The geothermal use of hydromineral resources represents a sustainable alternative for energy production and economic valorization of thermal waters. Caldas de São Paulo have a favorable geological setting, with groundwater circulation through fractured granites of the Serra da Estrela, allowing the ascent of heated waters. This study presents the main hydrogeological and hydrochemical aspects, showing waters of medium mineralization, sodium-bicarbonate type, resulting from prolonged interaction with granites and deep circulation. These characteristics indicate potential for

low-enthalpy geothermal applications in heating, balneotherapy, and tourism, supporting environmental sustainability and regional development.

Palavras-Chave: Geotermia, águas termais, hidrogeoquímica, sustentável.

Keywords: Geothermal, thermal waters, hydrogeochemistry, sustainability.

1 – INTRODUÇÃO

A crescente procura por fontes de energia sustentáveis tem impulsionado a valorização dos recursos geotérmicos em diversos contextos. Entre esses, os recursos hidrominerais representam uma oportunidade singular, uma vez que conjugam a importância terapêutica e turística das águas termais com o seu potencial de aproveitamento energético. A utilização de sistemas geotérmicos de baixa entalpia tem-se revelado particularmente eficaz em aplicações como aquecimento de edifícios, climatização de espaços termais, como balneários, e apoio a infraestruturas turísticas, contribuindo para reduzir emissões de carbono e diversificar a matriz energética local. Em Portugal, a tradição termal está enraizada na cultura e na história, estando as Caldas de São Paulo localizadas na vertente da Serra da Estrela. As suas águas termais emergem de granitos fraturados, cuja circulação subterrânea, longa e profunda, faz com que possuam uma temperatura superior à temperatura das águas comuns da região, bem como uma mineralização característica.

Neste enquadramento, a utilização das águas das Caldas de São Paulo em contexto geotérmico alinha-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (United Nations, 2015). O aproveitamento deste recurso não só reforça a sustentabilidade ambiental, promove o desenvolvimento regional e a valorização económica do património termal nacional. O presente trabalho tem como objetivo contribuir para o conhecimento do potencial geotérmico do recurso hidromineral das Caldas de São Paulo, integrando aspetos hidrogeológicos e hidroquímicos que justificam o seu aproveitamento. Pretende-se, assim, contribuir para uma perspetiva mais abrangente da geotermia em recursos hidrominerais portugueses.

2 – ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO

As Caldas de São Paulo, localizadas na vertente da Serra da Estrela, concelho de Oliveira do Hospital, inserem-se em área com afloramentos graníticos do maciço hercínico e sequências metassedimentares xistosas e quartzíticas (Fig. 1). A circulação subterrânea ocorre principalmente por fraturas e fissuras, permitindo infiltração de águas meteóricas e sua mineralização progressiva. A região integra a sub-bacia do rio Alva, na Plataforma do Mondego, uma superfície de aplanamento entre as serras da Estrela e do Caramulo, profundamente entalhada pelos vales paralelos dos rios Mondego, Dão e Alva. Observam-se depósitos fluviais e glaciares, terraços quaternários, solos residuais de granito e granitos porfíroides, bem como veios filoneanos de quartzo e aplito-pegmatitos (Lourenço, 1989).

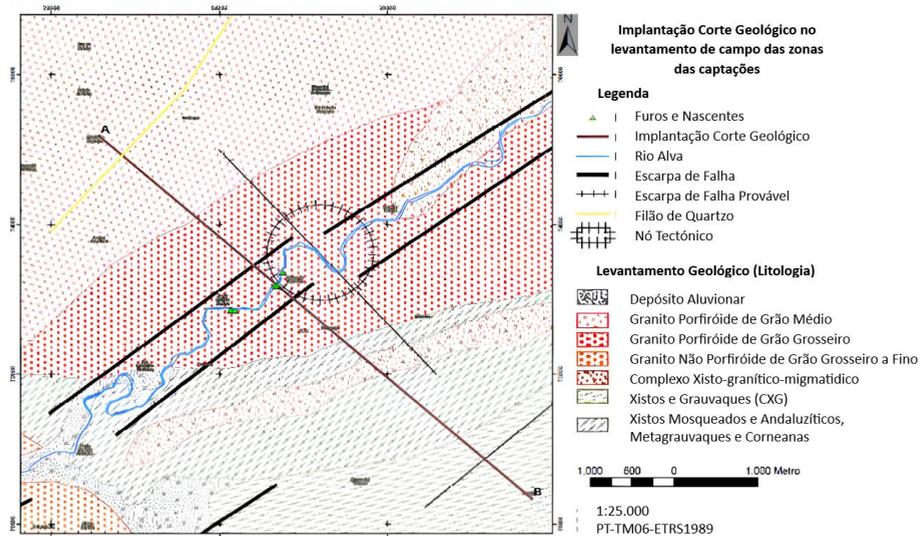


Figura 1 – Levantamento Geológico das Caldas de São Paulo.

Mineralogicamente, os granitos contêm quartzo, feldspatos alcalinos e biotite, com minerais acessórios como clorite e óxidos de ferro (Teixeira *et al.*, 1961). A elevada meteorização dos granitos porfíroides deve-se à presença de feldspatos e à pluviosidade intensa. Estruturalmente, a região é condicionada pela Falha de Arganil-Nazaré e fraturas locais que conferem elevada permeabilidade. Do ponto de vista estrutural, a região é condicionada pela Falha de Arganil-Nazaré, com direção N35°–50°E e mergulho para

sudeste. O levantamento da fraturação local revela duas famílias principais: E-W a ENE-WSW e N45°–60°W, subverticais, e uma secundária segundo N0°–10°E, conferindo elevada permeabilidade às formações rochosas. A hidrologia local é dominada pelo rio Alva e afluentes, que drenam a área, funcionando como base de escoamento e zonas de descarga natural dos aquíferos. As condições climáticas, com elevada precipitação invernal, favorecem a recarga subterrânea. A composição físico-química das águas minerais das Caldas de São Paulo revela mineralização média, com características bicarbonatadas e sódicas, resultado da interação prolongada com os granitos.

As análises físico-químicas realizadas permitem classificar as águas das Caldas de São Paulo (Herculano de Carvalho *et al.*, 1961), como sulfúreas, fracamente mineralizadas, macias e de reação alcalina. Entretanto, o diagrama de Piper (Fig. 2), classificam-se como bicarbonatadas-sódicas. Os principais parâmetros medidos indicam temperaturas de 26 °C nas nascentes tradicionais e até 32 °C a 100 m de profundidade, pH de 8,55 (a 21 °C), condutividade de 608,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mineralização total de 547,5 mg/L.

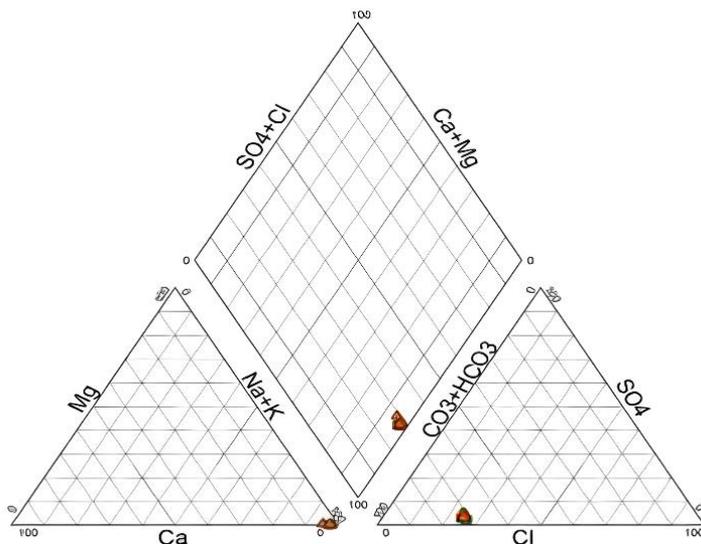


Figura 2 – Diagrama da Composição da Água das Caldas de São Paulo.

A sílica apresenta valores elevados (71,3 mg/L). Entre os iões, dominam o bicarbonato (219,5 mg/L) e o sódio (144,0 mg/L), seguidos do cloreto (46,6

mg/L) e do fluoreto (26,0 mg/L). A composi o química reflete a intera o das  guas com granitos locais, destacando-se a hidrólise de plagioclasas sódicas (albite), responsável pela assinatura $\text{HCO}_3\text{-Na}$. O cloreto associa-se   dissolu o de apatite, enquanto o fluoreto deriva de minerais como fluorite e fluorapatite. A sílica poderá estar relacionada com fluxos hidrotermais de maior temperatura. A presença de enxofre reduzido pode resultar tanto da oxida o de sulfuretos profundos como da redu o biog nica de sulfatos (Calado, 2001).

3 – MODELO HIDROGEOLÓGICO E POTENCIAL GEOTÉRMICO

As propriedades hidrodinâmicas do aq fero foram determinadas a partir de ensaios de caudal realizados na capta o F1-CSP, e a interpreta o dos dados, por Theis-Jacob e Hantush, indicou uma transmissividade de $6,25 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{dia}$. O caudal de explora o foi estimado em $120,76 \text{ m}^3/\text{d}$ para um rebaixamento de 1 m. O aq fero identificado apresenta características de meio fraturado confinado a semi-confinado, limitado por falhas que por vezes funcionam como barreiras impermeáveis, e em algumas situa es como zonas que favorecem a recarga em profundidade (Fig.3). A circula o   profunda, com longo tempo de residência e evidências de processos geotérmicos, sendo a recarga assegurada essencialmente pela infiltra o meteórica.

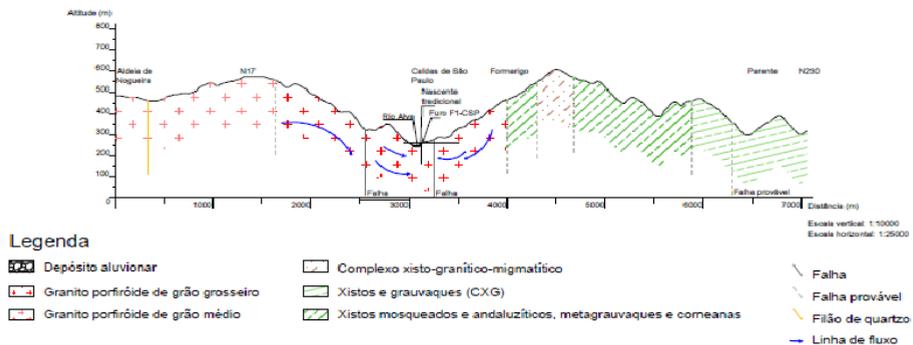


Figura 3 – Modelo Conceptual das Caldas de São Paulo (Cavaleiro *et al.*, 2017).

Nas Caldas de São Paulo, a capta o F1-CSP está aprovada, em Plano de Explora o, pela Dire o Geral de Energia e Geologia, para Termalismo e para aproveitamento geotérmico. O sistema atual de aproveitamento geotérmico

busca fornecer energia para o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (Fig. 4). O sistema baseia-se na captação vertical (Furo F1-CSP) com profundidade de cerca de 100 metros, com água disponível num caudal de 2,0 L/s, à temperatura de 28 °C, associada a depósitos de inércia térmica e controlo otimizado da condensação, garantindo operação sustentável e contínua. A climatização dos espaços será assegurada por uma bomba de calor geotérmica de alto rendimento, que utiliza a energia estável do recurso de baixa entalpia para aquecimento e arrefecimento com elevada eficiência energética.

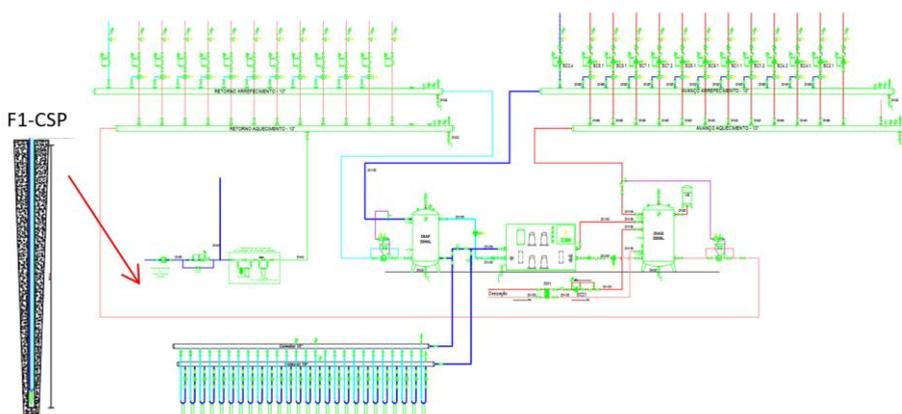


Figura 4 – Esquema do Aproveitamento Geotérmico da Caldas de São Paulo.

4 – CONCLUSÕES

Os elementos disponíveis mostram que nas Caldas de São Paulo, há ótimas condições para o aproveitamento geotérmico. As características físico-químicas estáveis permitem valências médico-terapêuticas e a sua temperatura natural permitiu a instalação de sistemas geotérmicos que diminuíram o custo da faturação energética baseada em combustíveis fósseis, além de se ter a noção de se usufruir de uma energia limpa, favorável à qualidade dos territórios termais e do planeta. Logo, os órgãos competentes devem incentivar e apoiar a integração da geotermia em concessões de águas termais, promovendo a eficiência energética, a sustentabilidade e o desenvolvimento regional.

REFERÊNCIAS

- Calado, C. (2001). *A Ocorrência da Água Sulfúrea Alcalina no Maciço Hespérico: Quadro Hidrogeológico e Quimiogénese*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 462 p.
- Cavaleiro, V., Pires, J., Carvalho, A. (2017). Contribuição para o conhecimento do modelo hidrogeológico conceptual das águas subterrâneas das Caldas de São Paulo. *11º Seminário sobre Águas Subterrâneas*. APRH, Porto.
- Herculano de Carvalho, A., Almeida, J.D., Reis, E.M. (1961). *Guia de Análise Química das Águas (Potáveis, Minerais e para a Indústria)*. Associação dos Estudantes do IST. Lisboa, 162 p.
- Lourenço, L., (1989). O Rio Alva. Hidrogeologia, Geomorfologia, Climatologia, Hidrologia. Coimbra, Instituto de Estudos Geográficos.
- Teixeira, C., Brito de Carvahó, L.H., Barros, R.F., Ávila Martins, J., Haas, W.E.L. (1961). *Notícia explicativa da folha 17-C, Santa Comba Dão*. Serviços Geológicos de Portugal.
- United Nations (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN.

ESTUDOS GEOFÍSICOS NA PESQUISA DE RECURSO HIDROMINERAL E GEOTÉRMICO NAS TERMAS DA TOUCA, FUNDÃO

GEOPHYSICAL STUDIES IN THE EXPLORATION OF HYDROMINERAL AND GEOTHERMAL RESOURCES AT TERMAS DA TOUCA, FUNDÃO

Goes da Silva, V., *Câmara Municipal do Fundão, Portugal*; valter.silva@cm-fundao.pt
Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt
Aracil, E.; *Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L. (AGS), Madrid, Espanha*, e.aracil@ags-geofisica.com
Mendes, E.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, emendes@ubi.pt

RESUMO

As “Termas da Touca”, foram outrora umas Termas muito úteis à população e à economia local, pelas propriedades curativas da água sulfúrea inicialmente proveniente de uma nascente, que atualmente estão inativas e com o antigo balneário em ruínas. Neste trabalho apresentam-se dados que mostram o potencial hidrogeológico local, o potencial geotérmico (com base na temperatura do reservatório), os resultados duma campanha geofísica com a proposta da localização de uma captação que tenha potencial para obter um recurso do tipo “Termas da Touca”, passível de ser classificado como água mineral natural com eventual aproveitamento geotérmico.

ABSTRACT

The ‘Termas da Touca’ were once very useful to the population and the local economy due to the healing properties of the sulphurous water that originally came from a spring, which is now inactive, and the old spa is in ruins. This paper presents data showing the local hydrogeological potential, geothermal potential (based on reservoir temperature), and the results of a geophysical survey proposing the location of a groundwater abstraction with the potential to obtain a resource similar to that of Termas da Touca, which could be classified as natural mineral water with possible geothermal use.

Palavras-Chave: estudos geofísicos, nova captação, água sulfúrea, Termas da Touca.

Keywords: geophysical studies, new groundwater abstraction, sulphurous water, Termas da Touca.

1 – INTRODUÇÃO

As “Termas da Touca” localizam-se na vila de Alpedrinha, concelho do Fundão (Fig. 1), no flanco SE da Serra da Gardunha.

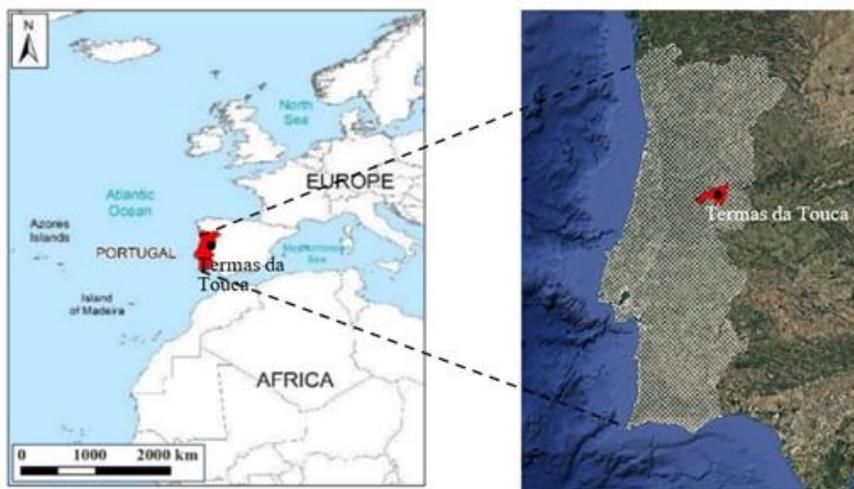


Figura 1 – Localização das Termas da Touca, Fundão.

Em termos geológicos o local estudado insere-se nos granitoides da fase pós-orogénica do ciclo Varisco, mais concretamente em Granitos monzoníticos porfiroides de grão médio a grosseiro, sendo que estes aspetos estão devidamente pormenorizados em Goes da Silva (2015).

Ferreira Gomes *et al.* (2025) apresentam resultados das características químicas da água do Furo AC2, destacando-se que é uma água do tipo sulfúrea, bicarbonatada sódica, fluoretada, com temperatura de emergência a rondar 18 °C, pH com carácter alcalino, sendo superior a 8,68, com condutividade elétrica da ordem de 374 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Eh negativo de cerca de -102 mV e um resíduo seco entre 203 e 225 mg/L.

Tendo em consideração as características especiais do recurso, que tem potencial de vir a ser classificado como água mineral natural (e eventualmente geotérmica), há o objetivo neste trabalho de apresentar os resultados de prospeção geofísica com proposta para a melhor localização de uma nova sondagem mecânica, a transformar em captação caso os resultados a obter o permitam, assim como, o potencial geotérmico dessa

nova captação com base no cruzamento da temperatura do reservatório (Tr) e da profundidade do reservatório (Dr), apresentados em Goes da Silva (2015) e Calado (2001).

2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos de prospeção geofísica realizados por Aracil (2024) consistiram na realização de 5 perfis de tomografia de resistividade elétrica – ERT (Fig.2), conjugando dois métodos elétricos de prospeção geofísica, nomeadamente Schlumberger + Wenner com o Dipolo-Dipolo, de modo a obter melhores resultados na diferenciação das várias “camadas” e melhor identificação de falhas e respetiva orientação. Os perfis foram realizados com uma extensão de 1,42 km, de forma a proporcionar uma profundidade de investigação de 300 m. Como resultado destes trabalhos foram identificadas 5 fraturas principais assim como anomalias condutivas profundas (que estarão associadas a águas sulfúreas), projetando-se estas em imagem de satélite (Fig.3), com proposta de localização para nova sondagem, com profundidade estimada de 320 m, de acordo com os ERT obtidos. A posição da proposta dessa nova sondagem, T1, apresenta-se esquiçada no perfil 1 da Figura 2, sendo de salientar que visa atingir a zona de terrenos com resistividades inferiores a 200 Ohm.m, por se entender serem potencialmente produtiva em água sulfúrea.

No sentido de se ter uma noção do potencial geotérmico, apresentam-se no Quadro 1 a temperatura de reservatório (Tr) para estas águas sulfúreas, com base em valores da literatura (Calado, 2001; Goes da Silva, 2015). Salienta-se que aqueles foram calculados através de geotermómetros de sílica por se entender, serem os mais adequados em ambientes de sistemas aquíferos de água sulfúrea em maciços graníticos. Os valores apresentados, apesar de dispare, entende-se serem coerentes pelo facto de Calado (2001) ter feito os seus cálculos com base na água da nascente antiga, que apresentava uma temperatura de 13 °C e que seguramente se apresentaria “contaminada” com águas do aquífero livre, enquanto Goes da Silva (2015) utiliza dados do Furo AC2 com 18 °C e com maior mineralização. Os valores apresentados por Goes da Silva (2015) enquadram-se com Tr (90 a 125 °C) das águas termais/minerais das Beiras, calculadas com base nos geotermómetros de sílica, por Morais (2012).

Quadro 1 – Temperatura do reservatório (Tr), para a zona das Termas da Touca.

Geotermómetros (Fournier, 1991)	Calado (2001)	Goes da Silva (2015)
Quartzo (Conduutivo) Tr = 1309 / (5.19 - log SiO ₂) - 273.15	74 °C	97 °C
Quartzo (Adiabático) Tr = 1522 / (5.75 - log SiO ₂) - 273.15	79°C	99 °C

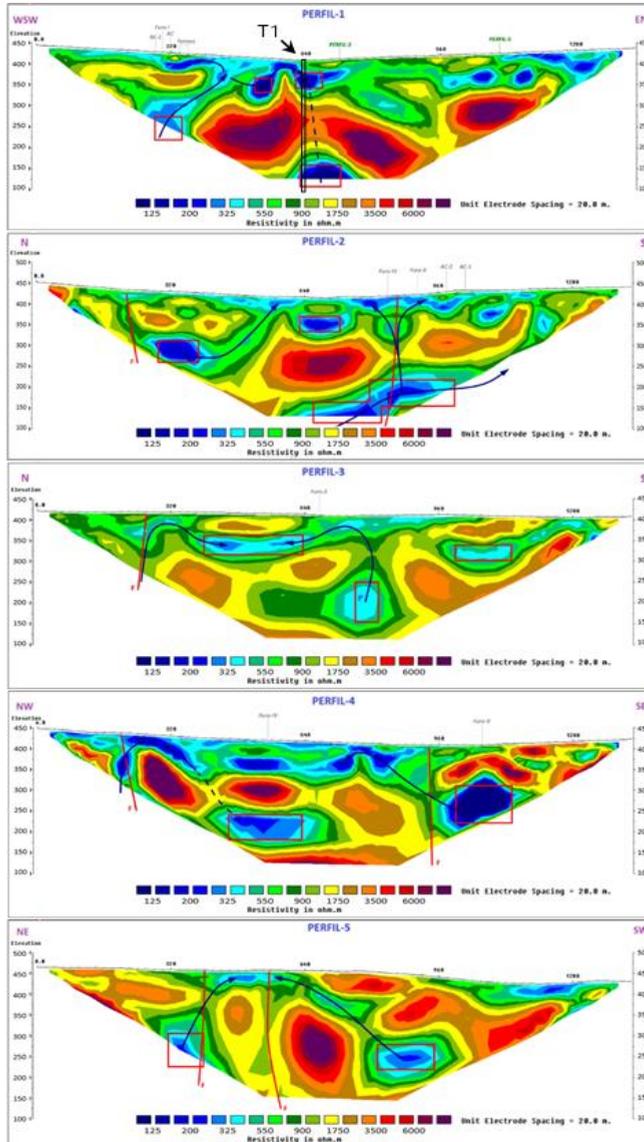


Figura 2 – Perfis Geofísicos realizados nas Termas da Touca, por Aracil (2024).

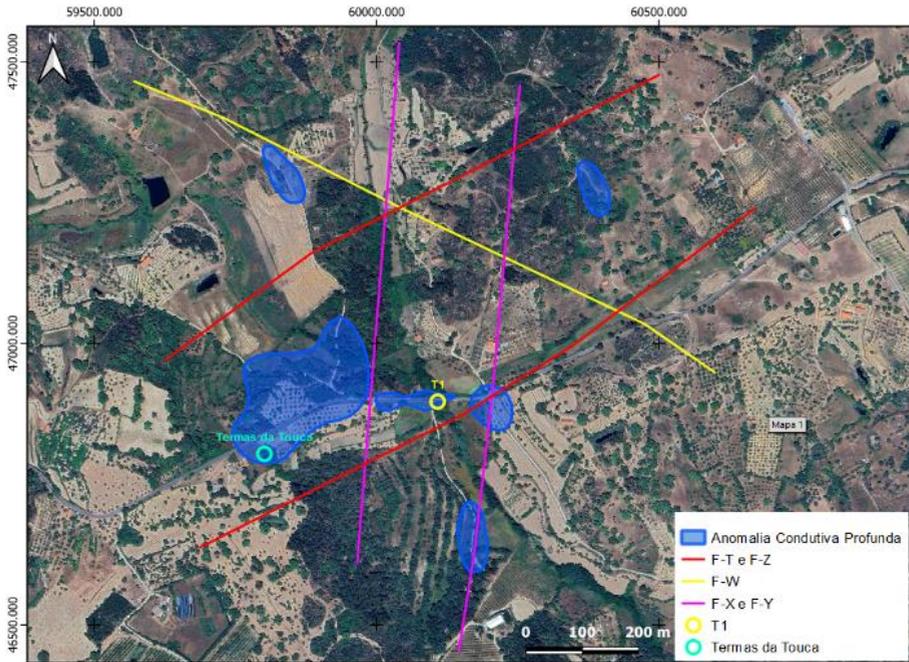


Figura 3 – Imagem de satélite, com anomalias condutivas profundas, falhas inferidas proposta de localização para nova sondagem.

Para avaliar a profundidade do reservatório (D_r) usa-se a equação $D = ((T - 20 \text{ °C}) / \Delta) + 50 \text{ m}$, sendo T a temperatura e D a profundidade, assumindo $T = 20 \text{ °C}$ quando $D = 50 \text{ m}$ (Calado, 2001). Usando o valor de gradiente geotérmico médio da crosta continental, $\Delta_m = 33 \text{ °C/km}$, e ainda o valor considerado por alguns autores como o normal em maciços graníticos, $\Delta_g = 12,5 \text{ °C/km}$ (Ferreira Gomes et al., 2015), para a situação da água do Furo AC2 das Termas da Touca, considerando T_r de 98 °C (valor médio em Goes da Silva, 2015 – Quadro 1), obtêm-se para D_r , valores de 2414 m e 6290 m , com Δ_m e Δ_g respetivamente. Ao se admitir a evolução das temperaturas em profundidade de acordo com a equação acima referida, uma sondagem a realizar na zona das Termas da Touca, num local assertivo, permitiria obter água sulfúrea, para as duas situações de gradientes geotérmicos, de acordo com o apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Temperatura prováveis em profundidade a obter numa nova sondagem em local adequado do sistema aquífero de água sulfúrea, das Termas da Touca.

Profundidade - D (m)	100	200	300	500	750	1000	2000
Temperatura (c/ Δ_g) - °C	20,6	21,9	23,1	25,6	28,8	31,9	44,4
Temperatura (c/ Δ_m) - °C	21,7	25,0	28,2	34,9	43,1	51,4	84,4

3 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

As Termas da Touca revelam significativo potencial hidromineral, com potencial complementar de aproveitamento geotérmico. Os resultados da prospeção geofísica, apesar de existirem dificuldades económicas, justificam a proposta de execução de uma sondagem com pelo menos cerca de 300 m de profundidade. A avaliação geotérmica, ainda que preliminar, para aquela profundidade aponta para temperaturas entre 23,1 e 28,2 °C. Havendo disponibilidade económica, apesar de haver sempre risco hidrogeológico, uma sondagem, por exemplo com 2000 m (Quadro 2), não se exclui de todo atingir temperaturas entre 44 e 84 °C. A concretização da nova captação será determinante para validar os modelos interpretativos e para sustentar a revitalização deste património hidrogeológico, no sentido de retomar as Termas da Touca, e edificar vários equipamentos associados, absolutamente necessários para contribuírem no desenvolvimento económico e sustentável do concelho do Fundão.

REFERÊNCIAS

- Aracil, E. (2024). Caracterização Geológico-estrutural e hidrogeológica com base em técnicas de prospeção geofísica na área de Termas de Touca (Fundão, Portugal), (AGS), Madrid, Câmara Municipal do Fundão, 48 p.
- Calado, C.M.A (2001). *A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese*. Tese de Dout., Univ. Lisboa, 462 p.
- Ferreira Gomes, L.M.; Goes da Silva V.; Mendes, E.; Pais, L.A.; Azevedo, J.M.M.; Castilho, A.M. (2025). Hydrogeoenvironmental Studies for the Attempt to Revive an Old Medical Spa - Termas da Touca - Fundão (Portugal). *10th WMCCAU 2025*, Ostrava, 10 p.
- Ferreira Gomes, L. M.; Guedes, J. F.; Costa, T. C.; Ferreira, P. C.; Trota, A. (2015) Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. *Environmental Earth Sciences*. Vol.73, Nº 6, pp.2963-2979. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3605-y>

- Fournier, R.O. (1991). *Water geothermometers applied to geothermal energy. In: Applications of geochemistry in geothermal reservoir development.* D'Amore, (ed.), United Nations Institute for Training and Research, USA, pp. 37-69.
- Goes da Silva, V. (2015). *Hidrogeologia dos domínios envolventes das Termas da Touca, Alpedrinha, Fundão.* Diss. de Mestrado. Univ. de Coimbra, 95 p.
- Morais, M.J.F. (2012). *Sistemas Hidrominerais nos Terrenos Graníticos da Zona Centro Ibérica em Portugal Central: Perspectivas Químicas, Isotópicas, Genéticas Sobre as Águas Sulfúreas.* Tese de Dout.,Univ. de Coimbra, 322 p.

ELEMENTOS SOBRE O POTENCIAL GEOTÉRMICO DAS TERMAS DOS CÓTIMOS, TRANCOSO

ELEMENTS ON THE GEOTHERMAL POTENTIAL OF THE TERMAS DOS CÓTIMOS - TRANCOSO

Coelho Ferreira, P. J.; *C. M. de Mêda, Mêda, Portugal*, pedroferreira@cm-meda.pt

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, UBI, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt

Sousa Oliveira, A.; *CGEO, UTAD, Vila Real, Coimbra, Portugal*, soliveir@utad.pt

Plácido, E.; *C. M. de Trancoso, Trancoso, Portugal*, elisabete.placido@hotmail.com

RESUMO

No concelho de Trancoso existem três localidades onde ocorrem águas subterrâneas sulfúreas com potencial para aproveitamento geotérmico que outrora foram utilizadas para fins terapêuticos: as Termas dos Cótimos; Termas do Pisão (Aldeia Nova); Fonte do Banho (Vilares). No presente trabalho dá-se especial enfoque à água das Termas dos Cótimos, antigo balneário em ruínas, no interior do qual se encontra um tanque com uma nascente de água sulfúrea. Esta água percorre circuitos subterrâneos longos e profundos, de potencial geotérmico a investigar. Assim, com base em estudos existentes, nomeadamente análises físico-químicas, isotópicas e de geotermometria química, é avaliado o seu potencial geotérmico.

ABSTRACT

In the municipality of Trancoso, there are three locations where sulphurous groundwaters with geothermal potential occur, which were once used for therapeutic purposes: Termas dos Cótimos; Termas do Pisão (Aldeia Nova); Fonte do Banho (Vilares). This study focuses particularly on the water of Termas dos Cótimos, an old bathhouse in ruins, inside which there is a tank with a sulphurous water spring. This water flow through long, deep underground circuits with geothermal potential to be investigated. Thus, based on existing studies, namely physical-chemical, isotopic and chemical geothermometry analyses, its geothermal potential will be assessed.

Palavras-Chave: água sulfúrea, temperatura e profundidade de reservatório

Keywords: sulphurous groundwater, reservoir temperature and depth

1 – INTRODUÇÃO

No concelho de Trancoso, distrito da Guarda, existem várias nascentes de água sulfúrea, cuja localização geográfica se apresenta na Figura 1. No passado, estas águas tiveram grande importância para as populações locais, que recorriam a elas para fins terapêuticos, são exemplo as Termas dos Cótimos; Termas do Pisão (Aldeia Nova) e Fonte do Banho (Vilares). As Termas dos Cótimos localizam-se na margem direita da Ribeira dos Cótimos, junto à localidade que lhes deu o nome e que também é freguesia. Segundo Almeida e Almeida (1966) estas termas dispunham de um edifício com funções de balneário e hospedaria. O balneário possuía três cabines com banheiras e uma caldeira para aquecer água que emergia fria. A hospedaria tinha quinze quartos e uma cozinha comum. A maioria das pessoas que frequentavam estas termas, nunca mais de 100 aquistas por época, eram doentes reumáticos.

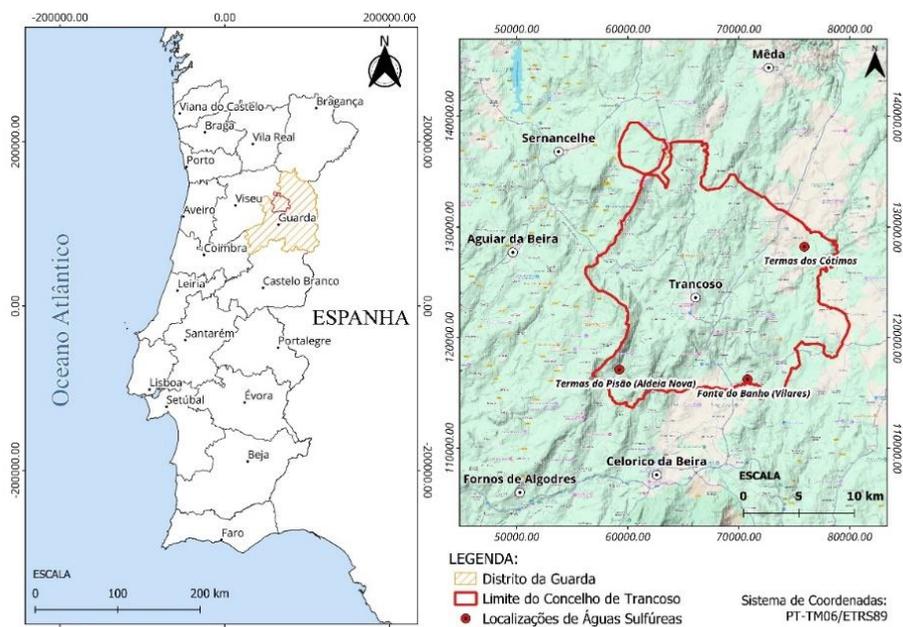


Figura 1 – Localização das Nascentes de água sulfúrea no concelho de Trancoso.

A nascente localiza-se num tanque no interior do edifício, à cota de 478 m, com água emergente à temperatura de 20,0 °C e um caudal de 0,24 L/s (Coelho Ferreira, 2023). Elementos detalhados sobre a geomorfologia,

geologia, hidrogeologia podem ser consultados em Coelho Ferreira (2023). No presente trabalho, com base em estudos de hidrogeoquímica, hidrologia isotópica e geotermometria química apresentados em Coelho Ferreira (2023), procura-se avaliar o potencial geotérmico destas águas.

2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água das Termas dos Cótimos apresenta singularidades especiais na emergência, destacando-se o particular cheiro a sulfídrico e a associação de uma biogeleia esbranquiçada. Esta água e outras similares estão geralmente associadas a grandes falhas e percorrem um circuito subterrâneo extenso e profundo, onde ocorre interação química água-rocha-gases e eventualmente ainda com o contributo microbiológico, conferindo-lhe características únicas que as distinguem das águas subterrâneas comuns da região. No Quadro 1 apresentam-se os resultados das análises físico-químicas existentes desta água, publicadas nos trabalhos de Almeida e Almeida (1975) e Coelho Ferreira (2023), com um hiato temporal entre elas de 40 anos.

Quadro 1 – Principais parâmetros físico-químicos da água sulfúrea dos Cótimos.

Parâmetros Físico-químicos	Almeida e Almeida (1975)	Coelho Ferreira (2023)	Parâmetros Físico-químicos	Almeida e Almeida (1975)	Coelho Ferreira (2023)
pH	8,00	8,34	Na ⁺ (mg/L)	148,80	132,00
Min. total(mg/L)	-	496,00	Ca ²⁺ (mg/L)	2,40	3,50
Cond.(μS/cm)	-	544,00	K ⁺ (mg/L)	-	5,60
Sulfuração total (mL I ₂ 0,01N/L)	-	17,60	Mg ²⁺ (mg/L)	1,20	0,40
SiO ₂ total (mg/L)	62,50	59,30	Li ⁺ (mg/L)	-	0,88
CO ₂ total (mmol/L)	4,60	3,41	NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	0,31
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	205,00	208,00	Fe (μg/L)	40,00	<63,00
Cl ⁻ (mg/L)	53,30	51,00	B (μg/L)	-	285,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	39,90	12,50	Cs (μg/L)	-	137,00
F ⁻ (mg/L)	18,50	18,50	Rb (μg/L)	-	109,00
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	-	< 0,50	Sr (μg/L)	-	64,00
HS ⁻ (mg/L)	0,60	3,00	W (μg/L)	-	123,00

No que diz respeito ao quimismo, trata-se de uma água sulfúrea, que apresenta sulfuração total de 17,60 mL I₂ 0,01N/L, revelando a presença de espécies reduzidas de enxofre na água; é nitidamente alcalina, com pH igual ou superior a 8,0; possui mineralização total perto de 500 mg/L. Em relação à composição iónica principal é uma água bicarbonatada sódica. Apresenta ainda concentrações significativas em fluoreto (F⁻), cloreto (Cl⁻) e sílica (SiO₂), com presença de gás carbónico (CO₂ total) e exhibe o cortejo típico de

elementos vestigiários das águas sulfúreas da região das beiras associadas a maciços graníticos, tais como, o boro (B), o céσιο (Cs), rubídio (Rb), estrôncio (Sr) e volfrâmio (W). Ao comparar os resultados das duas análises, fica bem patente outra das características desta água, a sua estabilidade química ao longo do tempo.

Com o intuito de melhor compreender o modelo hidrogeológico desta água, foram realizadas análises aos isótopos ambientais ^{18}O e ^2H , tendo como objetivo inferir sobre a sua origem, bem como a altitude das áreas de recarga. Os resultados foram os seguintes: $\delta^{18}\text{O}$ de -7,56 ‰ e $\delta^2\text{H}$ de -48,90 ‰. Assim, através dos valores obtidos foi possível projetá-los no gráfico de dispersão $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, que incluía a Reta Meteórica Global – RMG (Craig, 1961) e a Reta Meteórica de Portugal Continental – RMPC (Carreira *et al*, 2007), atestando assim a origem meteórica da água sulfúrea dos Cótimos. A seguir, foi possível estimar a altitude potencial das áreas de recarga, obtendo-se para a água dos Cótimos as cotas: 671 m ($\delta^{18}\text{O}$) e 702 m ($\delta^2\text{H}$).

Neste estudo foram também utilizados geotermómetros para estimar a temperatura de reservatório (T_r) desta água. Recorreu-se apenas a equações que se baseiam na sílica e na relação Na/k, sendo aplicadas 10 equações distintas (*in* Coelho Ferreira, 2023), apontando para temperatura média no reservatório de 115,5 °C. Com o intuito de calcular a profundidade de reservatório (D_r) da água sulfúrea dos Cótimos recorreu-se à metodologia proposta por Rybach (1990). Segundo aquele autor, considerando situações de águas termominerais de circulação profunda, como o caso em estudo, aplicam-se modelos que explicam a perda de calor da água termomineral entre o reservatório e a superfície onde emerge, com transferência daquele calor para a rocha envolvente. Os modelos têm em consideração a temperatura do reservatório (T_r), a temperatura da descarga (T_s), o caudal de descarga (Q) e a profundidade máxima (D) do circuito hidrotermomineral. A perda de calor é calculada com base numa expressão do tipo: $T_r - T_s = f(Q, D, \text{Geometry})$. A aplicação de uma variável adimensional (θ) facilita o cálculo matemático, segundo a expressão (Rybach, 1990):

$$\theta = \frac{T_s - T_E}{T_r - T_E} = f(Q, D, \text{Geometry}) \quad [1]$$

Sendo: T_E - temperatura média anual do ar na região da emergência.

Os modelos experimentados por Rybach (1990) adaptam-se ao contexto geológico do presente trabalho. Este trata-se de dois tipos de modelos: o modelo de conduta vertical (conduta cilíndrica) e o modelo de fratura plana (conduta plana). Na Figura 2 foi projetado o ponto da água dos Cótimos nos ábacos do modelo de Rybach (1990), verificando-se o melhor ajustamento no modelo de conduta cilíndrica, com D_r de cerca de 2,5 km.

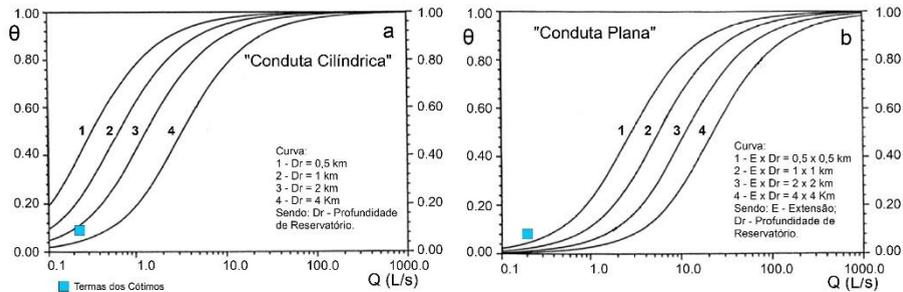


Figura 2 – Projeção do resultado do método de Rybach para a água sulfúrea das Termas dos Cótimos.

Considerando o valor D_r , obtido através do método de Rybach, e aplicando a equação clássica que envolve além de D_r , a temperatura no reservatório (T_R) e a temperatura da nascente (T_0), obtém-se o gradiente geotérmico (Δ), de acordo com o seguinte (*in* Ferreira Gomes *et al.*, 2015):

$$\Delta = (T_R - T_0) / D_r \quad [2]$$

O gradiente geotérmico obtido foi 0,038°C/m, valor superior ao gradiente geotérmico médio 0,033 °C/m atribuído à crosta continental (IGM,1999), e igualmente superior ao considerado normal em maciços graníticos (0,0125 °C/m) por Pomerol e Ricour (1992).

3 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A água das Termas dos Cótimos é uma água sulfúrea típica, oriunda de um sistema aquífero profundo, associado essencialmente a rochas graníticas da região de Trancoso. Devido ao seu quimismo aquela água classifica-se ainda como bicarbonatada sódica, alcalina, fracamente mineralizada e branda.

Relativamente aos resultados obtidos nos estudos dos isótopos ambientais ($\delta^{18}O$ e δ^2H), revelaram que a sua origem é meteórica e as áreas potenciais

de recarga são a altitudes entre 671 e 702 m. Os estudos com os geotermómetros de sílica e de Na/k, apontam para temperatura média no reservatório da ordem dos 115,5 °C. Através do método de Rybach (1990), foi estimada a profundidade do reservatório (Dr), apontando para os 2500 m, na tipologia de conduta cilíndrica. Pelos resultados obtidos, resulta um gradiente geotérmico local de 0,038 °C/m.

O presente estudo evidencia o potencial geotérmico destas águas. Estas devem ser alvo de mais trabalhos de investigação que permitam validar e aprofundar o conhecimento sobre o seu modelo geohidráulico. A possibilidade de construir uma nova captação, capaz de fornecer um recurso com maior caudal e temperatura em torno de 100°C, tornaria viável o investimento num balneário termal e em unidades hoteleiras energeticamente sustentáveis, de entre outras aplicações. Estes empreendimentos poderiam utilizar o recurso em cascata, aproveitando-o não apenas para termalismo, mas também para aplicações geotérmicas, incluindo a produção de energia elétrica, permitindo potenciar o desenvolvimento económico e turístico da localidade dos Cótimos e consequentemente do Concelho de Trancoso.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A. e Almeida, J. (1975). *Inventário Hidrológico de Portugal: Beira Alta*. 3º Vol., Instituto de Hidrologia de Lisboa. Lisboa. 525p.
- Carreira, P.M.; Nunes, D.; Valério, P. e Araújo, M.F. (2007). Variações Sazonais na Composição Isotópica nas Águas de Precipitação em Portugal Continental – 15 Anos de Registo. In: *VI Congresso Ibérico de Geoquímica, XV Semana de Geoquímica*. Vila Real, Portugal. pp. 434-437.
- Coelho Ferreira, P. J. (2023). *Modelação de sistemas geohidráulicos profundos associados a fraturas extensas da região da Mêda*. Tese de Doutoramento. *Universidade da Beira Interior*, Covilhã, 355p.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133. pp. 1702-1703.
- Ferreira Gomes, L. M., Guedes, J. F., Costa, T. C., Ferreira, P. C. e Trota, A. (2015). Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. *Environmental Earth Sciences*. Vol.73, Nº 6, pp.2963-2979. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3605-y>

- IGM (1999). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental. Catálogo de Recursos Geotérmicos. Instituto Geológico e Mineiro, CD-ROM.
- Pomerol, Ch. e Ricour, J. (1992). *Terroirs et Thermalisme de France*. BRGM, Orléans. 288 p.
- Rybach, L. (1990). Determination of thermal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. *Memoires of the 22nd Cong. of IAH*, Vol. XXII. Lusanne, p. 608-615.

CALDAS DE MOLEDO: O SISTEMA HIDROTERMOMINERAL E POTENCIAL GEOTÉRMICO

CALDAS DE MOLEDO: THE HYDROTERMOMINERAL SYSTEM AND GEOTHERMAL POTENTIAL

Sousa Oliveira, A.; *CGEO, UTAD, Vila Real; Portugal*, soliveir@utad.pt

Almeida, S. M. S.; *GeoBioTec@UBI, Covilhã, Portugal*, sms.almeida@netcabo.pt

RESUMO

Nas Caldas de Moledo, localizadas junto ao rio Douro, próximo da cidade do Peso da Régua (N Portugal), têm sido exploradas águas minerais naturais sulfúreas em práticas de termalismo terapêutico. Este recurso, cuja temperatura nas várias emergências varia entre 42 e 45 °C, não tem sido aproveitado na sua componente geotérmica. A edificação de um novo balneário e a qualificação daquela também como recurso geotérmico, irá permitir a sua exploração nesta vertente, contribuindo para uma poupança energética no que se refere ao aquecimento da piscina termal, ao sistema AQS e ao espaço ambiental deste balneário. Neste artigo faz-se uma abordagem do estado do conhecimento deste recurso e do seu sistema hidrotermomineral, avaliando-se ainda o seu potencial energético.

ABSTRACT

In Caldas de Moledo, located near the Douro River, near the city of Peso da Régua (northern Portugal), sulphurous natural mineral waters have been explored in therapeutic thermalism practices. This resource, whose source temperature ranges between 42 and 45°C, has not been utilized in its geothermal component. The construction of a new spa and the qualification of the hydromineral resource as a geothermal resource will now allow its exploitation in this aspect, contributing to the energy savings needed by the thermal spa. This work addresses the state of knowledge of this resource and its hydrothermal and mineral system, also evaluating its energy potential.

Palavras-Chave: água sulfúrea, sistema hidrotermomineral, geotermia.

Keywords: sulphurous groundwater, hydromineral system, geothermics.

1 - INTRODUÇÃO

O polo hidromineral de Caldas de Moledo, localiza-se na margem direita do rio Douro, a cerca de 3,5 km a ocidente da cidade do Peso da Régua, distrito de Vila Real (norte de Portugal). Na base de uma vertente com declive significativo encontra o parque termal onde tem sido explorada a água mineral natural (AMN) sulfúrea no domínio do termalismo clássico ou terapêutico. Perdendo-se no tempo a utilização deste recurso pelos populares, com origem possível ao tempo dos romanos (Oliveira, 2016), a sua localização, numa área classificada pela UNESCO como Património da Humanidade “Alto Douro Vinhateiro”, a oferta de distintas e importantes infraestruturas de transporte e o elevado fluxo turístico à região, colocam o polo termal numa situação privilegiada como fator de desenvolvimento da região. A qualificação como recurso geotérmico comporta assim uma mais-valia para o seu aproveitamento no quadro da geotermia dos sistemas hidrominerais nacionais. O recurso AMN é disponibilizado por artesianismo repuxante em duas captações tubulares verticais, a temperaturas de 42 e 45 °C e caudais de 6 e 4 L/s, respetivamente.

Neste trabalho pretende-se fazer uma breve síntese do estado atual do conhecimento do recurso hidrotermomineral de Caldas de Moledo, tendo por base estudos desenvolvidos no domínio da geologia, hidrogeologia, com a integração de parâmetros físico-químicos, isotópicos e geotermométricos. Pretende-se ainda avançar com alguns elementos relativos a aspetos geotérmicos, nomeadamente avaliar o seu potencial energético.

2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do ponto de vista geológico a região do polo hidromineral de Caldas de Moledo enquadra-se na Zona Centro Ibérica, num domínio onde predominam rochas metassedimentares, que se integram no Grupo do Douro (Teixeira *et al.*, 1967). No contexto geológico, é importante mencionar que a NW deste polo, é identificado um afloramento de granito de duas micas de grão médio, de idade hercínica, sin-orogénica. Frequentemente manifesta-se ainda a presença de rochas filonianas e de massas de natureza aplito-pegmatítica. O metamorfismo térmico manifestado nos protólitos do Grupo do Douro, evoluídos para corneanas, xistos estaurolíticos, entre outros, a presença daquelas rochas filonianas e massas e o afloramento granítico são

indicadores de um ambiente mais profundo enriquecido naquele tipo de litologia granitóide. Do ponto de vista de geologia estrutural realça-se a presença do sistema de falhas da megaestrutura de Vila Real-Verin, com direção NNE-SSW, a ocorrência da família de fraturas com direção NNW-SSE a NW-SE, onde se enquadra a estrutura de Vigo-Régua, e também a falha de Amarante-Régua. É ainda importante mencionar a ocorrência da falha do rio Douro, que na área de concessão apresenta a direção WNW-ESE, sendo também uma estrutura importante a considerar, regional e localmente.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, na região de Caldas de Moledo identificam-se 3 unidades aquíferas principais interrelacionáveis (CGUP, 2000), integradas num maciço fraturado que confere permeabilidade fissural elevada, principalmente a que se enquadra em níveis aquíferos menos profundos, em zonas de fraturação mais intensa ou em nós estruturais resultantes da interseção de famílias de fraturas: 1) Um sistema aquífero subsuperficial, livre, comportando água dita normal; 2) Um sistema aquífero de profundidade intermédia, confinado, comportando também águas normais; 3) Um sistema aquífero profundo, confinado, com artesianismo repuxante, onde se associa o recurso hidromineral sulfúreo. São as famílias de fraturas e demais estruturas geológicas anteriormente referidas que condicionam a infiltração/recarga, os fenómenos de interação água-rocha, o armazenamento e a descarga dos sistemas hidrogeológicos referidos.

Sob o ponto de vista químico, as águas de Caldas de Moledo, são sulfúreas, bicarbonatadas sódicas e com valor de F- relativamente elevado, apresentando-se com grande estabilidade ao longo dos anos, revelada nomeadamente por colheitas regulares bianuais entre 2015 e 2023, a partir das captações AC1 e AC2 (Oliveira, 2016).

O caso particular onde se integra o sistema hidromineral de Caldas de Moledo, corresponde a um sistema hidrogeológico de grande dimensão, com um circuito geohidráulico longo e profundo, da ordem dos 2 km de profundidade, um tempo de residência elevado, da ordem dos 15000 anos, e uma temperatura de reservatório que poderá atingir os 85°C, como atestam os resultados de Marques *et al.* (2003), tendo por base estudos levados a efeito apoiados na aplicação de geotermómetros químicos e isótopos de ¹⁴C. Os mesmos autores, com a aplicação de isótopos ¹⁸O e ²H, mostraram não só a origem meteórica deste recurso hidromineral, mas também definiram a zona de recarga do respetivo sistema hidromineral. O circuito inicia-se na área

de recarga, situada preferencialmente no setor WNW e NW em relação a Caldas de Moledo, entre as altitudes de 850 e 1250 m, comportando a sua zona de descarga no polo hidromineral de Caldas de Moledo, à cota aproximada dos 60 m. A zona de cisalhamento Vigo-Régua (será responsável pelo condicionamento da recarga inicial e circulação profunda, sendo que esta estrutura também será responsável por uma parte do armazenamento profundo, a que se associam também a megaestrutura zona de falha de Vila Real-Verin e falha do Douro, intercetantes entre si e com a estrutura Vigo-Régua. O controlo da circulação na zona de descarga hidromineral parece ser imposto estruturalmente pelas fraturas NNE-SSW, direção segundo a qual se sugere a existência de maior permeabilidade, e litologicamente pelos metassedimentos (CGUP, 2000).

A definição da profundidade do reservatório (D_r), estimada por Marques *et al.* (2003), teve por base a aplicação da relação $(T_r - T_a)/gg$, sendo T_r , a temperatura de reservatório, T_a , a temperatura da média anual do local (15°C) e gg , o gradiente geotérmico médio de $32^\circ\text{C}/\text{km}$. Nesta matéria, dado o contexto geológico enquadrante deste trabalho, dominado por sistemas fraturados, com estruturas de dimensão regional, profundas, a metodologia e os modelos propostos por Rybach (1990), podem também ser aplicados ao caso em análise. Este autor desenvolveu modelos associados a sistemas termominerais de circulação profunda, que explicam a perda de calor do fluido geotérmico, no caso água termomineral, com a transferência daquele para a rocha envolvente, no percurso entre o reservatório e a superfície do local de emergência. Os modelos têm como variáveis: a temperatura da descarga (T_s), o caudal de descarga (Q), e ainda T_r e D_r . A perda de calor calcula-se com base na expressão: $T_r - T_s = f(Q, D_r, G)$, sendo G a geometria do circuito de descarga natural. A aplicação de uma variável adimensional (θ) facilita o cálculo matemático, segundo a expressão (Rybach, 1990): $\theta = (T_s - T_e)/(T_r - T_a) = f(Q, D_r, G)$. Os vários valores usados no presente caso são: $T_a = 15^\circ\text{C}$, $T_s = 43^\circ\text{C}$, $T_r = 85^\circ\text{C}$, e $Q = 10 \text{ L/s}$. Os dois tipos de modelos desenvolvidos por Rybach (1990), o modelo de conduta vertical (conduta cilíndrica) e o modelo de fratura plana (conduta plana) apresentam-se na Figura 1, onde foi projetado o ponto referente a Caldas de Moledo. Nos ábacos correspondentes verifica-se o melhor ajustamento no modelo de conduta plana, com D_r cerca de 2,5 km, que é algo superior ao apresentado por Marques *et al.* (2003), mas na mesma ordem de grandeza.

No que se refere à energia térmica que o recurso possa potencialmente disponibilizar, importa fazer um exercício para avaliar a sua importância no domínio do aproveitamento geotérmico, nomeadamente em aplicações como o aquecimento em piscinas, AQS e aquecimento ambiental.

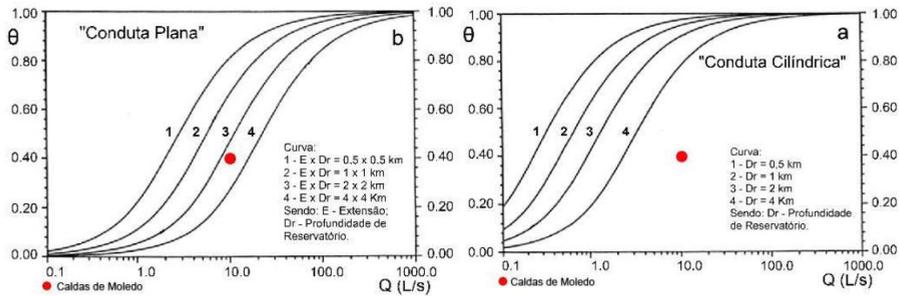


Figura 1 – Projeção do resultado com a aplicação de método de Rybach para as águas sulfúreas das Caldas de Moledo.

Para o cálculo, admitiu-se que todo o caudal disponível do recurso é sujeito a extração da energia térmica, até ao limiar de 20 °C, sem considerar o aproveitamento em termalismo, cujos volumes mobilizados não poderão ser sujeitos a esta depleção energética. O cálculo da energia térmica gerada (E) apoia-se na equação que se refere ao cálculo da potência térmica, dada por: $Q_t = m \cdot c \cdot \Delta T$, com: Q_t , potencia térmica (kW), m, caudal mássico da água (kg/s), c, calor específico da água (4,187 kJ/kg·°C), e ΔT , em °C, diferença de temperatura inicial (T_i) e final (T_f) do recurso. A energia disponível resulta: $E = Q_t \cdot t$, com t, o tempo de operação, que no caso se considera associado bombagem anual contínua. Para o cálculo da disponibilidade de energia térmica associada às captações atuais de Caldas de Moledo considera-se: $m = 10 \text{ kg/s}$, $T_i = 43^\circ\text{C}$, $T_f = 20^\circ\text{C}$. Da aplicação da expressão acima apresentada, resulta $Q_t = 963,01 \text{ kW}$, que, considerando exploração contínua anual, resulta o valor de energia disponível (E) de 3,037 GJ/ano. Trata-se de um valor interessante que poderá apoiar a poupança na fatura energética no que se refere à climatização do balneário e ao aquecimento da piscina termais e ainda no domínio AQS do mesmo balneário.

3 - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O recurso hidrotermomineral de Caldas de Moledo trata-se de uma água de natureza sulfúrea, bicarbonatada, sódica, fluoretada, alcalina, fracamente

mineralizada. A temperatura de emergência, entre os 42 e 45 °C, colocam este recurso suscetível de aproveitamento no domínio do aquecimento de espaços edificados, piscinas e AQS. Os resultados de estudos desenvolvidos mostram um sistema hidrotermomineral associado a rochas metassedimentares em níveis mais superficiais e com afinidades a rochas granitóides em zonas infrajacentes àquelas. Trata-se de um sistema de grande dimensão associado à megaestrutura de Vila Real-Verin, havendo no seu condicionamento também a contribuição da estrutura de Vigo-Régua, nas falhas de Amarante-Régua/rio Douro. Os resultados dos estudos em isótopos de ^{18}O e ^2H , mostram a afinidade do recurso com origem em águas meteóricas, localizando-se a área de recarga potencial entre as altitudes de 850 e 1250 m, preferencialmente nos setores WNW e NW em relação ao local Caldas de Moledo. A profundidade do reservatório estimada pelos modelos de Rybach (1990) aponta para valores da ordem de 2,5 km, com um tempo de residência cerca de 15000 anos, segundo resultados de isótopos de ^{14}C , sendo que a temperatura atingida nesse ambiente poderá atingir os 85°C. A análise do potencial geotérmico mostra que existe uma disponibilidade de energia térmica interessante, cujo aproveitamento contribuirá para a diminuição da fatura energética no funcionamento da atividade termal, contribuindo ainda para a sustentabilidade ambiental no que se refere à diminuição dos gases com efeito de estufa. A presença de duas captações com descargas a temperaturas de emergência diferentes, embora não muito distintas, desafia para o desenvolvimento de estudos complementares no sentido de averiguar a possibilidade de eventual descarga a temperaturas mais elevadas e, portanto, com maior potencial energético.

REFERÊNCIAS

- Teixeira, C.; Fernandes, A. P.; Peres, A. M. e Ribeiro, A. (1967). Carta Geológica de Portugal, DGMSG, Escala 1:50.000, folha 10-C (Peso da Régua).
- CGUP (2000). Proposta de perímetros de proteção das captações de água termomineral da concessão hidromineral HM-32 – Caldas de Moledo. Centro de Geologia da Universidade do Porto. Relatório Técnico.
- Marques, J. M.; Espinha Marques, J.; Carreira, P. M.; Graça, R. C. Aires-Barros, L.; Carvalho, J. M.; Chaminé, H. I. e Borges. D. F. S. (2003). Geothermal fluids circulation at Caldas do Moledo area, Northern Portugal: geochemical and isotopic signatures. *Geofluids*, 3, pp. 189-201.

- Rybach, L. (1990). Determination of thermal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. *Memoires of the 22nd Cong. of IAH*, Vol. XXII. Lusanne, pp. 608-615.
- Oliveira, A. S. (2016). Águas minerais e termais de Caldas de Moledo: Um recurso geológico estratégico para o desenvolvimento da região Duriense. *O meu Moledo*, Lema d' Origem – Editora, Lda., pp. 15-16.

O PROJETO ThermEcoWat - FORTALECER A RESILIÊNCIA DOS ECOSSISTEMAS LIGADOS À ÁGUA TERMAL

THE ThermEcoWat PROJECT - INCREASING THE RESILIENCE OF THERMAL ECOSYSTEMS RELATED TO THERMAL WATER

Ramalho, E. C. e Carvalho, J.; *Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Alfragide, Portugal*, elsa.ramalho@lneg.pt; joao.carvalho@lneg.pt
Ferreira Gomes, L. M., *Diretor Técnico das Termas de São Pedro do Sul, GeoBioTec@ubi, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt
Jorge, A. e Ferreira, L.; *Termalitur, Termas de São Pedro do Sul, I. E. M. S.A., Portugal*, anajorge@termas-spsul.com, lilianaferreira@termas-spsul.com
Iasio, C.; *BRGM - Service Géologique National, Aubière, France*, c.iasio@brgm.fr
Moreno, R. M. e Arnó, G. *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Barcelona (ICGC), Espanha*, rosamaria.moreno@icgc.cat; georgina.arno@icgc.cat
Roussel, M.; *Thermauverne, Royat, França*. m.roussel@borvo.com
Pineda Moncusí, I. e Madorell Batlle, Q.; *Ajuntament de Caldes de Montbui, Espanha*, pinedami@caldesdemontbui.cat; madorellbq@caldesdemontbui.cat
Galindo, M. E. e Ontiveros, C., *Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME-CSIC), Madrid, Espanha*, e.galindo@igme.es; c.ontiveros@igme.es
And the rest of the ThermEcoWat Team¹

RESUMO

O ThermEcoWat (Resiliência dos Ecossistemas Termais) é um projeto transfronteiriço do programa INTERREG SUDOE com duração de 36 meses, que teve início em janeiro de 2024 e põe em contacto os vários intervenientes de territórios termais, em matéria técnico-científica, de gestão e da administração central e local, procurando estratégias conjuntas para os tornar mais resilientes aos efeitos das alterações climáticas, através dos casos pilotos de São Pedro do Sul (Portugal), Caldes de Montbui (Espanha) e Chaudes-Aigues (França). O presente resumo procura dar a conhecer, de uma forma resumida, os seus objetivos e as principais ações que têm vindo a ser desenvolvidas no seu âmbito, pela equipa alargada do projeto.

¹ **LNEG:** A. P. Francés, A. P. Pereira, J. Sampaio, F. Marques, I. Morais, P. Represas, S. Fonseca; **ICGC:** M. Colomer, S. Armengol, I. Herms; **Ajuntament de Caldes de Montbui:** J. Martn Fons, J. Diéguez Henares, **CN IGME-CSIC:** M. M. Corral, B. Martínez; **BRGM:** C. Bertin, J. Bernard, S. Leconte, S. Lanini, C. Bourgeois, S. Caritg, C. Maragnà, C. Aumar; **Thermauverne:** E. Brut, S. Becerra, R. Ainouche, A. Chaillet; **Diputación de Ourense.**

ABSTRACT

ThermEcoWat (Resilience of Thermal Ecosystems) is a 36-month long transnational program INTERREG SUDOE project, which started in January 2024 and puts stakeholders of thermal territories in contact, in the technical-scientific, management and central and local administration aspects, seeking joint strategies to increase resilience to the effects of climate change, focused on the pilots of: São Pedro do Sul (Portugal), Caldes de Montbui (Spain) and Chaudes-Aigues (France). This extended abstract aims to summarize the objectives and actions developed within its scope by the extended project team.

Palavras-Chave: projeto, ThermEcoWat, resiliência, alterações climáticas, territórios termais

Keywords: project, ThermEcoWat, resilience, climate change, thermal territories.

1 - INTRODUÇÃO

O consórcio ThermEcoWat, Resiliência dos Ecossistemas Termais (ThermoEcoWat, 2023), composto por 8 parceiros (Thermauvergne, que é o seu coordenador, e Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de França, Município de Caldes de Montbui/Instituto Cartográfico e Geológico da Catalunha (ICGC), Município de Ourense/Instituto Geológico y Minero de España (CSIC-IGME), de Espanha, e Termalitur/Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), de Portugal), beneficiando igualmente da colaboração do Centre d'Étude et de Recherche Travail, Organisation, Pouvoir (CERTOP-CNRS) de França, procura melhorar a contribuição deste tipo de conhecimentos para a transição energética de acordo com uma metodologia desenvolvida no âmbito do consórcio (Fig. 1).

O projeto centra-se em 3 casos piloto: São Pedro do Sul (Portugal), Caldes de Montbui (Espanha) e Chaudes Aigues, na região de Auvergne, França (Fig. 1), e está organizado em 3 Grupos de Trabalho (GT): GT1, GT2 e GT3. Estes estão centrados em temáticas diferentes, com uma intervenção colaborativa entre todos os parceiros das diversas áreas (ThermEcoWat, 2023). No item seguinte mencionam-se os aspetos principais dos mesmos.

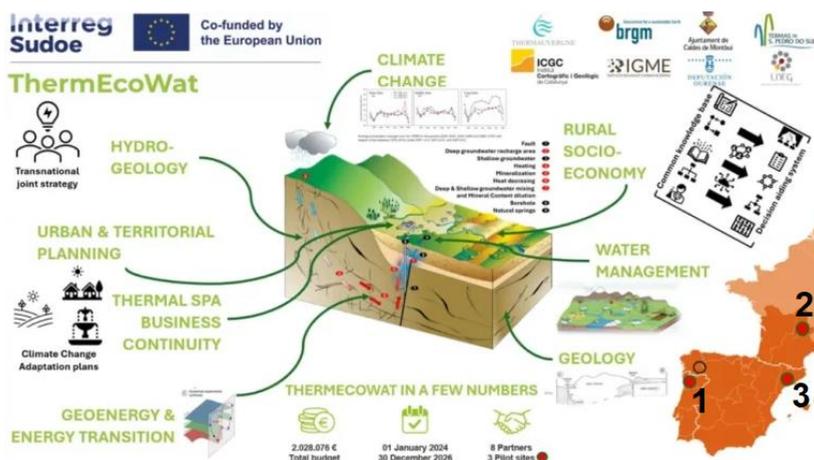


Figura 1 – Abordagens do projeto ThermEcoWat a territórios-piloto: (1) São Pedro do Sul, (2) Chaudes-Aigues e (3) Caldes de Montbui (in ThermEcoWat, 2025).

2 – ESTRUTURA DO PROJETO

O GT1 centra-se nas **Ciências Naturais**, e é desenvolvido principalmente pelas instituições de investigação (LNEG, ICGC e BRGM), com a colaboração das autoridades locais dos vários casos piloto. Foca-se na caracterização do recurso hidromineral e geotérmico e da sua vulnerabilidade às alterações climáticas através da integração de dados geológicos e hidrogeológicos dos casos piloto do projeto. Este GT impulsiona a recolha e centralização dos dados existentes e coordena a aquisição de novos dados hidrogeológicos e geofísicos para uma avaliação de impacto das alterações climáticas a médio prazo na quantidade e qualidade das águas termais. Este GT foi, no entanto, desenvolvido de formas diferentes nos vários casos piloto, indo de encontro aos problemas específicos dos vários locais e ao nível de conhecimento hidrogeológico do recurso (Bertin *et al.*, 2024; Arnó *et al.*, 2025, Ramalho *et al.* 2025). Como tal, diferentes cenários de alterações climáticas nos territórios termais piloto foram objeto de análise, tais como o RCP4.5 e RCP8.5 (IPCC, 2014), e para horizontes temporais médios (médio prazo -40 anos) e de longo prazo (80 anos), bem como o modo como estas se refletirão no futuro no recurso hidrogeológico, em especial na sua relação com as pressões climáticas e antrópicas consequentes no ecossistema termal (Lanini *et al.*, 2025). No caso específico de São Pedro do Sul e no âmbito do GT1, têm sido realizados trabalhos de prospeção hidrogeológica (compreendendo

levantamentos de campo de radiometria, gravimetria e sísmica) pelo LNEG, cuja interpretação está a ser adicionada aos levantamentos históricos da década de 1990 (c. f. Lemos *et al.*, 1992) e às análises químicas dos diversos tipos de água ainda a serem realizadas no âmbito do projeto.

O GT2 está vocacionado para as **Ciências Sociais e Humanas**, e para a definição e aplicação de uma metodologia para identificar os principais intervenientes, vulnerabilidades e perceções sobre as alterações climáticas no recurso hidromineral e geotérmico. Aqui, as autoridades locais dos 3 casos piloto, Thermauverne, Caldes de Montbui e Termalistur, em colaboração com o BRGM, estabeleceram grupos de trabalho dedicados a definir o plano de ação para cada caso piloto (ThermEcoWat, 2023), e a sua análise por caso piloto e global está neste momento em curso.

O GT3 contempla a parte **Tecnológica**, com o desenvolvimento do *ThermEcoWat Knowledge Graph* (TEW KG) usando a abordagem "ExG", uma metodologia inovadora desenvolvida pelo BRGM e ICGC para analisar informações complexas com o objetivo de melhorar a gestão do conhecimento em cenários complexos de alterações climáticas para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão (FAD), esquematizada na Figura 2.

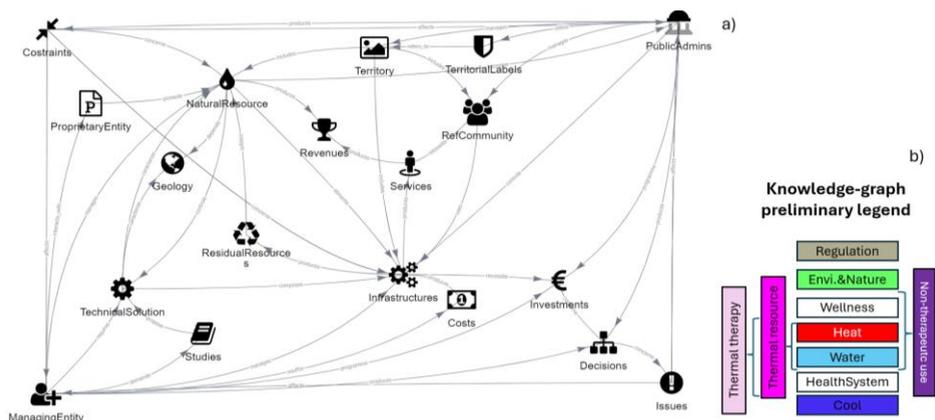


Figura 2 – Conceito da FAD do ThermEcoWat para representar: a) principais elementos e relações considerados para a definição de planos de ação de adaptação dos territórios termais às alterações climáticas; b) diferentes temas considerados no contexto de diversificação de utilização das fontes termais (ThermEcoWat, 2023).

Aquela ferramenta promove estratégias de adaptação às alterações climáticas, nomeadamente através da recuperação do calor e da água termal

descarregada pelas instalações termais e da avaliação da capacidade de armazenamento de calor no subsolo. A concretização desta tarefa conta com a colaboração de todos os parceiros do projeto, bem como com os intervenientes ligados à investigação, decisores políticos e autoridades locais (ThermEcoWat, 2023). Estes instrumentos (FAD) tiveram em conta os cenários climáticos dos vários territórios termais piloto, tendo sido identificadas possíveis consequências e respetivas medidas de mitigação adequadas a cada horizonte temporal e ao cenário climático estabelecidos no GT1.

Entre as **atividades transversais** colaborativas destacam-se a comunicação, cuja estratégia, liderada pela Thermauverne, consiste numa divulgação eficaz dos objetivos do projeto, progresso e resultados entre os vários intervenientes, através de infográficos tecnicamente acessíveis, vídeos com entrevistas, *flyers* nos 3 idiomas do projeto (Fig. 3) e reforçando simultaneamente a visibilidade e o alcance do projeto a nível local, nacional e internacional (ThermEcoWat, 2023).



Figura 3 – Extrato do *Flyer* em português do projeto ThermEcoWat (2024).

3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço do projeto ThermEcoWat já se realizaram 3 workshops (Royat, Caldes de Montbui e São Pedro do Sul) organizados respetivamente pela Thermauverne, Adjuntamento de Caldes de Montbui e Termalistur. Nestes workshops foram discutidos e analisados os desenvolvimentos do projeto descritos na secção anterior e as questões relativas ao aumento da resiliência

dos ecossistemas termais entre os intervenientes presentes, tendo a FAD sido objeto de discussão e desenvolvimento com a intervenção de todos, com o objetivo de conseguir entre outros, uma **estratégia transnacional comum** sobre as águas termais e as alterações climáticas, um **plano de ação para cada caso piloto** e um **Livro Branco** que compila os métodos e critérios desenvolvidos no âmbito do projeto, entre outros (ThermEcoWat, 2023).

AGRADECIMENTOS

Ao programa INTERREG SUDOE 1/2.5/F0009, que financia o projeto ThermEcoWat “Resiliência dos Ecossistemas Termais às Alterações Climáticas”.

REFERÊNCIAS

- Arnó, G., Iasio, C., Herms, I., Roussel, M., Brut, E., Armengol, S., Moreno, R. (2025). The vulnerability of thermal ecosystems to climate change and the ThermEcoWat project: how to approach the study of their resilience from a multidisciplinary point of view. *1st Geo-RIN meeting*, Benasque, Espanha, 2-6 de junho de 2025, 4p.
- Bertin, C., Iasio, C., Herms, I., Arno, G., Carvalho, J., Ramalho, E. Becerra, S., Roussel, M., Brut, E. (2024). ThermEcoWat Enhancing resilience of hot spring ecosystems. Towards a model of sustainable management of spa territories, driving innovation and energy transition. *World Groundwater Congress*, Sep 2024, DAVOS, France. <https://hal.science/hal-04834487v1>.
- IPCC (2014). Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Field, C.B. et al. (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 p.
- Lanini, S., Moreno, R., Ramalho, E., David Carvalho, D., 2025. Climate change scenarios of reference in the 3 different countries: database and perspectives for the pilot cases. Apresentação no ThermEcoWat, *Transnational Workshop in São Pedro do Sul (Portugal)*, São Pedro do Sul, April 8th-10th, 2025.
- Lemos, L. S., Moreira, A. D., Nolasco Silva, M. C., Pires, M. R., Sousa, P. O. (1992). Contribuição para a investigação do campo geotérmico de S. Pedro do Sul. *Estudos, Notas e Trabalhos*, D.G.G.M., 34:107-138.
- Ramalho, E. C., Ferreira-Gomes, L., Carvalho, J., Marques, F., Morais, I., Pereira, A. P., Sampaio, J., Francés, A., Represas P. (2025). Proteção dos recursos hidrominerais e geotérmicos: abordagem preliminar à prospeção geofísica no

âmbito do projeto ThermEcoWat em S. Pedro do Sul. *1st Geo-RIN meeting*, Benasque, Espanha, 2-6 de junho de 2025, 4p.

ThermEcoWat (2023). Consórcio, Projeto ThermEcoWat. Programa Interreg Sudoeste.

ThermEcoWat (2024). ThermEcoWat - Reforçar a resiliência dos ecossistemas de águas termais Interreg Sudoeste Project. Flyer disponível em: em: <https://interreg-sudoeste.eu/wp-content/uploads/2024/05/flyer-thermecowat-pt-2.pdf>

ThermEcoWat (2025). ThermEcoWat - Strengthening the resilience of thermal water ecosystems. Interreg Sudoeste Project. Disponível em: <https://interreg-sudoeste.eu/en/proyecto-interreg/thermecowat/>

ESTUDOS GEOFÍSICOS NA PERSPETIVA DE OTIMIZAÇÃO DO LOCAL DE UMA CAPTAÇÃO GEOTÉRMICA EM S. P. DO SUL, BEIRA ALTA, PORTUGAL

GEOPHYSICAL STUDIES WITH A VIEW TO OPTIMISING THE LOCATION OF A GEOTHERMAL ABSTRACTION IN S. P. DO SUL, BEIRA ALTA, PORTUGAL

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal*, lmfg@ubi.pt
Ramalho, E. C., Carvalho, J., Sampaio, J., Francés, A. e Represas, P.; *LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Amadora, Portugal*. elsa.ramalho@lneg.pt;
joao.carvalho@lneg.pt, jose.sampaio@lneg.pt, alain.frances@lneg.pt,
patricia.represas@lneg.pt

Marques, F. e Morais, I.; *LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Aljustrel, Portugal*, fabio.marques@lneg.pt, igor.morais@lneg.pt

Pereira, A.P.; *LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, S. Mamede de Infesta, Portugal*, ana.pereira@lneg.pt

Jorge, I.S.T. A. e Gonçalves, F. L.; *Termalístur - Termas de São Pedro do Sul, E.M., S.A., São Pedro do Sul, Portugal*, anajorge@termas-spsul.com; lilianaferreira@termas-spsul.com

RESUMO

As alterações climáticas têm gerado impactos significativos nos territórios termais, tanto de forma direta, por diminuição, desde logo, da recarga dos sistemas aquíferos, e indiretamente através da intensificação da procura de recursos hídricos subterrâneos e da transformação dos usos do solo, fatores que, em conjunto, podem comprometer a qualidade e a disponibilidade dos recursos hidrominerais e geotérmicos. Uma das medidas para mitigar tais problemas passa por construir captações profundas, menos suscetíveis às influências antrópicas e capazes de garantir águas minerais naturais e/ou recursos geotérmicos com maior estabilidade em termos de qualidade, quantidade e temperatura. Neste contexto, o presente trabalho, discute as principais dificuldades associadas à implementação bem-sucedida deste tipo de obras e apresenta, os resultados preliminares de estudos geofísicos, obtidos no âmbito do projeto ThermEcoWat orientados para a identificação das localizações mais adequadas à implementação de novas captações profundas. Pretende-se, assim, contribuir para o reforço da resiliência dos territórios termais face às pressões associadas às alterações climáticas.

ABSTRACT

Climate change exerts increasing pressure on thermal territories, primarily through reduced aquifer recharge and, indirectly, via intensified groundwater demand and land-use changes. These processes jointly threaten the quality, availability, and long-term sustainability of hydro-mineral and geothermal resources. Developing deep drillings emerges as a key mitigation strategy, as they are less vulnerable to anthropogenic impacts and ensure natural mineral waters and/or geothermal resources with greater stability in quality, quantity, and temperature. In this context, the present study discusses the main challenges associated with the successful implementation of such infrastructures and presents preliminary results of geophysical investigations carried out within the scope of the ThermEcoWat project. The ultimate goal is to identify the most suitable locations for new deep drillings, thereby contributing to strengthening the resilience of thermal territories to the pressures associated with climate change.

Palavras-Chave: estudos geofísicos, furos profundos, alterações climáticas.

Keywords: geophysical studies, deep holes, climate change.

1 - INTRODUÇÃO

A problemática da localização de novas sondagens nos sistemas de rochas cristalinas como o caso de maciços graníticos associados a águas subterrâneas especiais do tipo sulfúreas, é de veras um dos maiores desafios para o sucesso/insucesso das mesmas atingirem o objetivo de interseccionar o sistema aquífero produtivo e conseqüentemente se transformarem em captações produtoras de água mineral natural (AMN) e eventualmente como recurso geotérmico (RG). São situações particularmente difíceis quando ocorrem falhas ativas ou não ativas que dificultam não só a perfuração devido às alternâncias bruscas de rocha sã (W1) e argila de caixas de falha possantes, que por vezes ocorrem, levando a frequentes colapsos das paredes do furo, com dificuldades acrescidas na sua sustentação devido ao quimismo especial destas águas. Este quimismo leva frequentemente à exigência de aditivos especiais nas caldas de cimentação necessárias para a entivação das paredes dos furos em construção. A ilustrar esta complexidade citam-se os exemplos de Unhais da Serra (Ferreira Gomes *et al.*, 2010) e do

Graben de Longroiva (Ferreira Gomes et al., 2004) onde esse tipo de situações comprometeu o objetivo inicial, ou, por outro lado, em termos positivos, o caso de Castro Daire – Termas do Carvalhal (Ferreira Gomes et al., 2007), onde, perante um maciço granítico cristalino pouco alterado, sem falhas de significado, o objetivo foi cumprido, construindo-se um furo de 600 m de profundidade, com caudal admissível da ordem dos 15 L/s, e água emergindo a uma temperatura de 60 °C.

A necessidade de realizar sondagens que permitam a obtenção de AMN e RG, com qualidade estável de modo a não comprometer o tradicional termalismo e atividades afins, e ainda com temperaturas que permitam implementar os aproveitamentos em cascata, leva que antes de proceder ao início da perfuração, se efetuem estudos geológico-estruturais detalhados, de entre outros, nomeadamente estudos geofísicos até profundidades significativas, de modo a serem decisivos para a localização à superfície dessas sondagens e para o seu anteprojeto em profundidade (pois pode haver vantagem as sondagens serem inclinadas e com vários desvios). Por outro lado, a necessidade de novas captações profundas, surge também, com a tendência de aumento da temperatura ambiental e a diminuição de precipitação nestes últimos anos, como uma consequência das alterações climáticas (*climate change* – CC). Por exemplo, na região de São Pedro do Sul, nesta última década tem-se verificado uma demanda intensa por cidadãos locais, proprietários, na procura e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos superficiais, para suprirem as suas necessidades. Esse tipo de situações e outras sobre o uso do solo, na zona do território classificado como “Estância Termal de São Pedro do Sul” (Afonso de Albuquerque e Ferreira Gomes, 2014) foram recentemente apresentadas por Ferreira Gomes e Carriço (2023), sendo de salientar que muitas delas poderão interferir com a qualidade e até quantidade da AMN e quiçá, no futuro, eventualmente, até na temperatura do RG. Assim, é necessária a disponibilização de novas captações na concessão das Termas de São Pedro do Sul, que de um modo seguro assegurem o futuro deste território termal, onde a economia local é sustentada com muito significado a partir da existência daqueles recursos endógenos (AMN e RG).

Naquela senda, resultou o projeto ThermEcoWat (2025), financiado pelo programa INTERREG SUDOE (2024-26), com um consórcio que integra 8 entidades, de modo a encontrar estratégias para tornar os territórios termais mais resilientes aos efeitos das CC. São Pedro do Sul, sendo um dos

intervenientes nesse projeto piloto, procura encontrar, em articulação com todos os parceiros, soluções para anular ou mitigar esses impactos.

Assim, o objetivo do presente artigo é apresentar de um modo genérico os principais resultados de estudos geofísicos realizados, no sentido dos mesmos contribuir para a localização e anteprojeto de novas sondagens mecânicas relativamente profundas, de modo a pesquisar a ocorrência de zonas produtivas do sistema aquífero de água sulfúrea do tipo São Pedro do Sul, com potencial geotérmico. Menciona-se que o sistema aquífero de AMN quente do Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul (CHGSPS) é explorado em dois setores: o Pólo das Termas, e o Pólo do Vau, a cerca de 1,2 km para SSW do anterior (Ferreira Gomes, 2019).

2 – ESTUDOS REALIZADOS E RESULTADOS

Os estudos realizados foram uma consequência do conhecimento do foro geológico e hidrogeológico existente. O atual perímetro de proteção para as Termas de S. P. do Sul, instrumento de apoio à ocupação do território, em prol da defesa do sistema aquífero de AMN e seu RG, fundamentou-se no modelo proposto por Haven *et al.* (1985), admitindo a recarga na zona de Ribamá, a ESE das zonas das nascentes de AMN localizadas junto à Falha das Termas de direção NE-SW (Fig.1). Estudos isotópicos recentes (Almeida *et al.*, 2022) sobre a AMN das várias captações, apontam para a zona de recarga ocorrer em altitudes muito mais elevadas do que o previsto no modelo anterior, sugerindo a zona da Serra de São Macário, localizada a NW das descargas naturais, exatamente em sentido oposto à zona de Ribamá. Este novo pressuposto, levou a que as pesquisas de prospeção geofísica atuais fossem realizadas em zonas potencialmente de acumulação de AMN quente em profundidade, e oriundas, portanto de NW até às zonas de descarga, favorecidas pelo efeito “barreira” da Falha das Termas. Esta questão tem sido considerada no âmbito do projeto ThermEcoWat (2025), merecendo referência o trabalho de Ramalho *et al.* (2025).

Os trabalhos foram desenvolvidos em três setores (Fig.1a): Zona I – área do Pólo do Vau, Zona II – área do Pólo das Termas, e Zona III – área do Parque Urbano das Nogueiras, na proximidade da foz do rio Sul para o rio Vouga. Aquelas zonas, foram estabelecidas, tendo em consideração, a tipicidade do sistema de falhas associadas às nascentes atuais, nos casos das zonas I e

II. O caso da Zona III, foi uma consequência de se entender que nessa zona ocorre um “nó-estrutural” resultante da conjugação da falha de Ribamá, com uma fratura associada ao troço-retilíneo do rio Vouga, junto à foz do rio Sul.

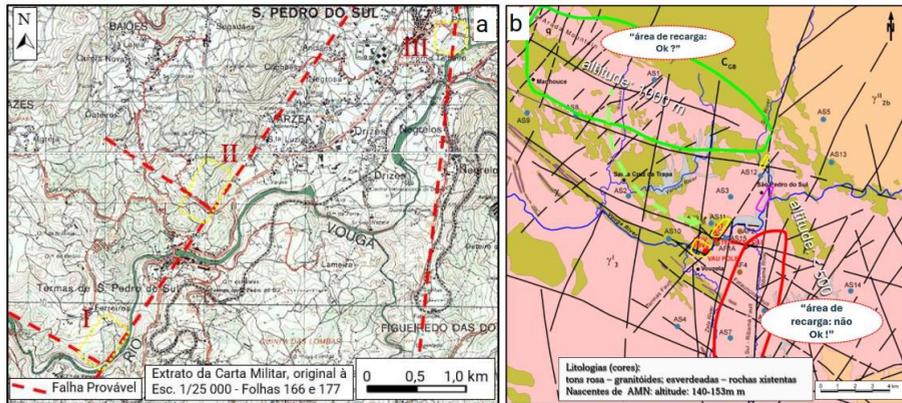


Figura 1 – a) Localização dos setores de estudos geofísicos: I, II, e III; b) Esquema da questão do modelo hidrogeológico, sobre o mapa geológico da região (a partir de Almeida *et al.* (2022)). Nota: os traços vermelhos da Fig. 1a) representam falhas.

Os trabalhos de campo, foram precedidos por estudos de gabinete com o reprocessamento de dados obtidos para a zona, em campanhas de prospeção geofísica realizadas na década de 1990 por equipa das DGGM (atual LNEG) com (*in Ramalho et al., 2025*): 1154 pontos de Espetrometria de radiação gama, 5 perfis de Resistividade elétrica, e 207 pontos de Gravimetria.

A aquisição de novos dados, no âmbito do ThermoEcoWat Piloto, em trabalhos de campo realizados em maio e setembro de 2024, permitiu a aquisição de novos dados geofísicos, designadamente 491 pontos de Espetrometria de radiação gama, 73 pontos de Gravimetria e ainda 4 perfis de sísmica de reflexão, nas zonas I, II e III. Apesar de nesta fase, ainda se estar em optimização do processamento de resultados, harmonizando os registos antigos, com os agora obtidos, merece desde já apresentar algumas imagens na Fig. 2, sobre os mesmos. Verificam-se zonas com anomalias geofísicas nos vários setores, merecendo os mesmos ser alvo de estudos com muito desenvolvimento no processamento de dados em curso. Estão também em curso o plano de análises físico-químicas e isotópicas, desde as AMN nas Nascentes, como de águas subterrâneas comuns e até de chuva, de modo a robustecer o modelo em desenvolvimneto.

3 – NOTAS FINAIS

Com os estudos geofísicos realizados até ao momento, harmonizados com outros em desenvolvimento no âmbito do Projeto ThermoEcoWat, nomeadamente análises físico-químicas, isotópicas, de entre outras, espera-se que venham a contribuir de uma forma significativa para a clarificação do modelo hidrogeológico das águas de circulação profunda do CHGSPS, e ainda a precisar o local para novas captações que permitam obter o recurso hidromineral e geotérmico, não só em condições de maiores caudais disponíveis, como um incremento da temperatura, em relação ao que se disponibiliza atualmente.

A construção de captações profundas adicionais, sendo adequadamente projetadas e acabadas, nomeadamente com o troço mais superficial de cerca de pelo menos 300 m, com isolamento perfeito em relação às águas dos sistemas aquíferos superficiais, permitirá obter com grande probabilidade AMN e RG com menos vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas.

AGRADECIMENTOS

Ao programa INTERREG SUDOE 1/2.5/F0009, que financia o projeto ThermoEcoWat “Resiliência dos Ecossistemas Termais às Alterações Climáticas”.

Agradece-se ainda à Geological Survey of Finland GTK pela disponibilidade do equipamento de sísmica de reflexão e em especial ao Michael Malinowski pelo apoio na realização e interpretação dos perfis de sísmica de reflexão.

REFERÊNCIAS

- Afonso de Albuquerque, F.R.J. e Ferreira Gomes, L.M. (2014). Estância termal de São Pedro do Sul, Memória Descritiva e Justificativa. C.M. S.do Sul; 54p. 4 anexos. publicado em DR, 1.ª série, N.º 93, 2017. Disponível em: http://www.cm-spsul.pt/images/files/editais/obrasurb/edital_estancia_thermal_anexo.pdf
- Almeida, S., Gomes, L. M., Oliveira, A. e Carreira, P. (2022). Contributions for the understanding of the São Pedro do Sul (North of Portugal) geohydraulic and thermomineral system: hydrochemistry and stable isotopes studies. *Geosciences*, 12(2), 16p. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020084>
- Ferreira Gomes, L.M. (2019). Termas de São Pedro do Sul: outros aproveitamentos da água termal que não terapêuticos. *Geonovas*, 32 (1), pp.3-21. https://www.apgeologos.pt/images/Geonovas/Geonovas32_1/geonovas%20321_5-24.pdf

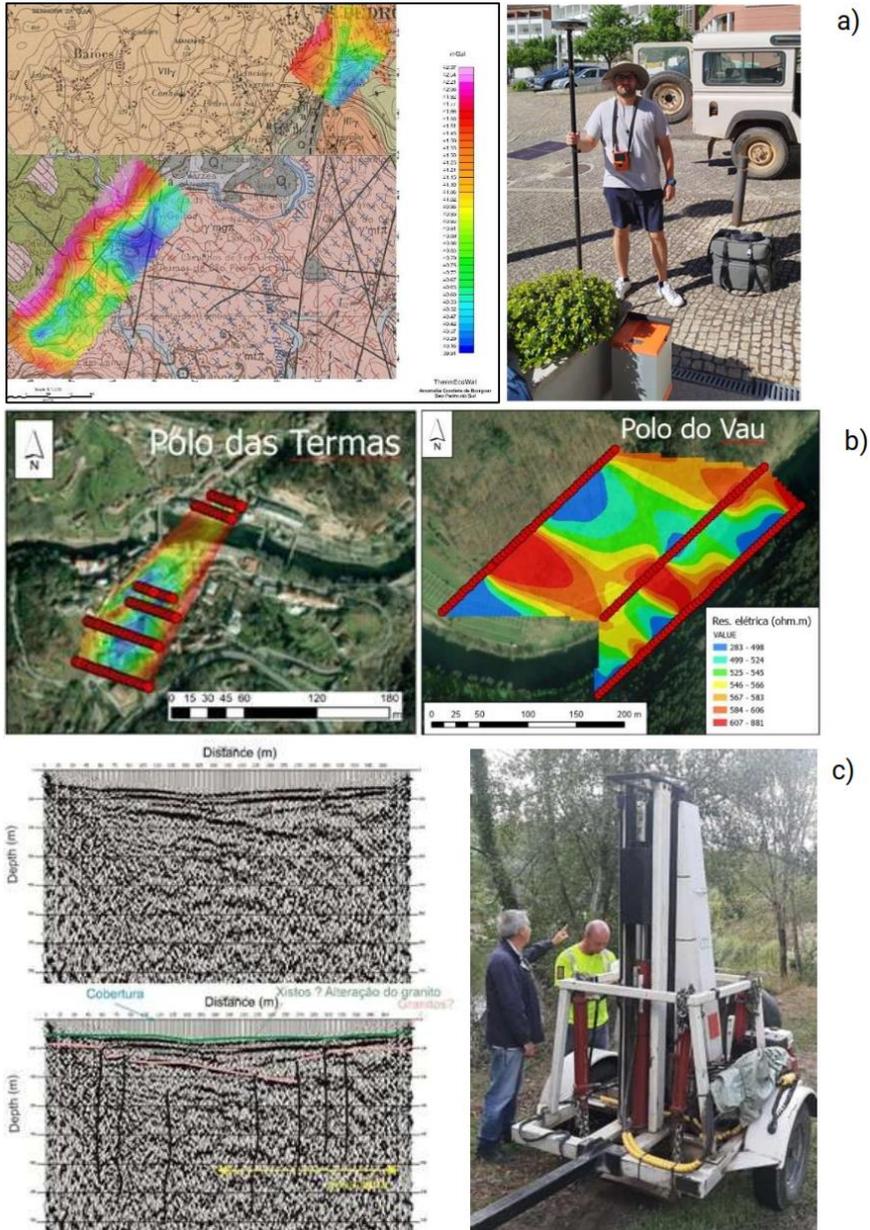


Figura 2 – Elementos sobre trabalhos de prospeção geofísica e com imagens preliminares sobre resultados na área das Estância Termal de São Pedro do Sul, no âmbito do Projeto ThermEcoWat, de: a) gravimetria, b) resistividade elétrica, e c) sísmica de reflexão.

- Ferreira Gomes, L.M.; Andrade Pais, L. e Mendes, E. (2007). Contribution for the knowledge of the fracturing and hydraulic characterization of the granitic pluton of Castro Daire region-Viseu Portugal). *11th Cong. of the Int. Society for Rock Mechanics*: Taylor y Francis Group, London. Vol.1. pp.207-210.
- Ferreira-Gomes, L. M. e Carriço, A. P. S. (2023). The problem of land occupation in the Protection Perimeter area of groundwater abstractions for medical spas: the case of São Pedro do Sul medical spa (Portugal). *Proc. Int. Cong. on Environmental Geotechnics*; Athens, Greece. Vol.5, pp.149-158. <https://doi.org/10.53243/ICEG2023-225>
- Ferreira Gomes, L.M.; Quintela, Viriato, M. A. e Mendes, E. (2010). The new well to obtain hot water and the drilling problems in very fractured granitic massif in Unhais da Serra Spa – Portugal. *Proc. World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia. IGA – Int. Geothermal Association, 12p.
- Ferreira Gomes, L.M.; Serrano, J.A.P.F. e Carvalho, J.A.F. (2004). Prospecção e pesquisa de água subterrânea no Graben de Longroiva. Considerações sobre alguns elementos da legislação actual. *7º Cong. da Água*. LNEC. APRH. Lisboa. Resumos de comunicações, p.193, paper 57 em CD, 18p.
- Haven, H. L.T.; Rudy, T.; Martin, K.; Schoonen, A.; Ben, J.; Jansen, H.; Vriend, S. P.; Van Der Weijden, C. H. e Buitenkamp, J. (1985). Geochemical studies in the drainage basin of the Rio Vouga. *Chemical Geology*, 51(3-4), pp.225-238. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90134-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90134-2)
- Ramalho, E. C.; Ferreira-Gomes, L.; Carvalho, J.; Marques, F.; Morais, I.; Pereira, A. P.; Sampaio, J.; Francés, A. e Represas P. (2025). Proteção dos recursos hidrominerais e geotérmicos: abordagem preliminar à prospeção geofísica no âmbito do projeto ThermEcoWat em S. Pedro do Sul. *1st Geo-RIN meeting*, Benasque, Espanha, 2-6 de junho de 2025, 4p.
- ThermEcoWat (2025). ThermEcoWat - Strengthening the resilience of thermal water ecosystems. Interreg Sudoe Project. Disponível em: <https://interreg-sudoe.eu/en/proyecto-interreg/thermecowat/>

O APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO DAS ESTUFAS DE FRUTOS TROPICAS DE SÃO PEDRO DO SUL

GEOTHERMAL ENERGY USE OF TROPICAL FRUIT GREENHOUSES IN SÃO PEDRO DO SUL

Ferreira Gomes, L. M.; *GeoBioTec, Univ. da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt*
Ferreira, H.F.B; *Quinta do Valgode, Vouzela, Portugal, hugo_ferreira_2004@hotmail.com*
Pinto, H.A.S.; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, hpinto@ubi.pt*
Mendonça, M., *TriunfoVivo, Lda., Alfena, Portugal, miguel.mendonca@trunfovivo.pt*
Salgado, P.; *TriunfoVivo, Lda.; Viseu, Portugal, paulo.salgado@trunfovivo.pt*

RESUMO

Este paper apresenta os elementos principais do aproveitamento geotérmico das estufas de frutos tropicais do Pólo do Vau, do Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul (CHGSPS). Mencionam-se os problemas que ocorreram em todo o aproveitamento devido às cheias de dezembro de 2019. Apresenta-se ainda uma breve síntese de todos os estudos e trabalhos que se têm desenvolvido no sentido de reabilitar todo o sistema energético e captação. Dá-se particular atenção aos elementos da captação, Furo SDV1, com água a 67°C, e respetivas dificuldades na sua reabilitação, além de se elencar um conjunto de medidas e ações a desenvolver, de modo que as estufas voltem a ter o seu lugar icónico na geotermia de Portugal.

ABSTRACT

This paper presents the main elements of geothermal energy use in tropical fruit greenhouses at Polo do Vau, in the São Pedro do Sul Hydromineral and Geothermal Field (CHGSPS). It refers the problems that occurred throughout the operation due to the floods of December 2019. It also presents a summary of all the studies and work that have been carried out to rehabilitate the entire system and well production. Particular attention is given to the abstraction elements, Well SDV1, with water at 67 °C, and the respective difficulties in its rehabilitation, in addition to listing a set of measures and actions to be developed, so that the greenhouses can once again take their iconic place in Portugal's geothermal energy.

Palavras-Chave: São Pedro do Sul, Pólo do Vau, Estufas, Geotermia.

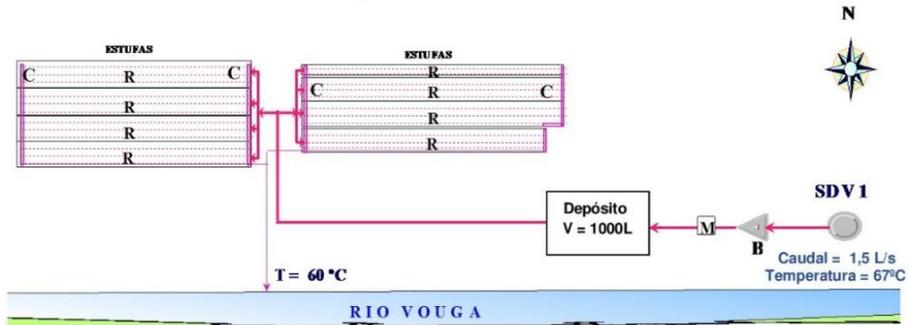
Keywords: São Pedro do Sul, Pólo do Vau, Greenhouses, Geothermal Energy.

1 - INTRODUÇÃO

As estufas de São Pedro do Sul, estão inseridas na concessão do recurso hidromineral, com o nº de Cadastro HM-33, cuja concessionária é a Câmara Municipal de São Pedro do Sul, com a designação oficial de “Termas de São Pedro do Sul”. O Alvará de concessão inicial data de 22 de fevereiro de 1910. Entretanto, à luz da filosofia da legislação que regra a atualidade dos recursos geológicos (DR, 2015) a figura do Contrato de Exploração entre o Estado Português e a Concessionária foi celebrado em 14/12/1998 e publicado em Diário da República de 4 de março de 1999 (DR, 1999). A documentação técnica, associada àquele contrato, incluía o Plano de Exploração (PE) que é a designação técnica definida na legislação dessa época sobre águas minerais naturais e recursos geotérmicos (DR, 1990c), igualmente incluída nas atuais leis sobre os vários aspetos envolvidos (DR, 1990a, b, 2015), que abordam os sistemas de captação-adução-distribuição do recurso, de entre outros.

Os elementos principais do PE inicial, de interesse ao presente trabalho, foram apresentados no artigo de Ferreira Gomes e Albuquerque (1998), tendo o mesmo se apoiado nos relatórios internos de Ferreira Gomes (1997, 1998). Aquele PE, compreendia o aproveitamento medicinal nas termas, como água mineral natural (AMN) e o aproveitamento geotérmico no aquecimento de estufas para produção de frutos tropicais, com recurso Geotérmico (RG) na quinta do Valgode, cujo esquiço do mesmo se apresenta na Figura1. No seguimento, o Contrato de Exploração sofreu várias modificações, função da introdução de novas captações e novas aplicações do recurso, e devido às várias evoluções, o território que genericamente está associado àqueles dois recursos tem-se designado por “Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul (CHGSPS). O CHGSPS é constituído dois polos produtores de AMN quente: o Pólo das Termas e o Pólo do Vau, distanciados apenas um do outro cerca de 1,2 km. É neste último que se instalam as estufas alvo do presente artigo. As estufas são pertença de uma quinta privada (Quinta do Valgode), com a exploração no seu período áureo de produtos tropicais, principalmente o ananás e banana, antes de 2020 (Fig. 2). As estufas ocupam

uma área global de 3650 m² aproximadamente. A rede de geocalor geralmente só era acionada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Num dia normal de Inverno, com sol, o sistema só era acionado durante a noite; só em dias excecionalmente frios é que o sistema funcionava continuamente.



A água mineral (M) sai da cabeça do Furo SDV1 com 1,5 L/s em artesianismo, a uma temperatura de 67°C, sendo elevada pela bomba (B) para o depósito que se situa a uma cota superior à das estufas. Do depósito a água mineral quente é encaminhada para as estufas, onde circula numa rede (R) de tubos semi-enterrados; alguns destes tubos deixam vazar água nas caldeiras (C) a céu aberto, cujo vapor é lançado no ambiente. A água das caldeiras é coletada num tubo para ser lançada no Rio Vouga.

Figura 1 – Esboço sobre o esquema de princípio do Plano de Exploração do Pólo do Vau, do CHGSPS (a partir de Ferreira Gomes, 1998).



Figura 2 – Imagens sobre as estufas do Pólo do Vau do CHGSPS (antes de 2020).

A ocorrência de uma cheia no Rio Vouga, em 19.12.2019, foi catastrófica para os sistemas de exploração do Pólo do Vau. As estufas ficaram quase

completamente destruídas, restando os seus principais muretes, nomeadamente os exteriores de apoio à cobertura, além dos furos de água quente aí existentes, na zona da sua cabeça, terem ficado completamente assoreados, imersos em lama, com a torneira de amostragem danificada.

Desde aquela época, tem havido vários esforços em retomar a exploração das estufas, mas devido a várias dificuldades, desde logo os constrangimentos no período COVID19, depois as limitações económicas, até à dificuldade, em termos técnicos, em reabilitar os furos existentes (SDV1 e SDV2) de um modo minimamente adequado sem perigar o colapso dos mesmos.

Assim, no presente artigo, há o objetivo de mostrar as principais características dos furos existentes, as dificuldades na sua reabilitação, bem como alguns elementos em projeto/construção, de entre outros, para a reabilitação das estufas e de seus sistemas associados, além de se elencarem algumas notas finais sobre perspetivas futuras.

2 – SITUAÇÃO EXISTENTE E TRABALHOS DESENVOLVIDOS

No Pólo do Vau, ocorrem na margem direita do Rio Vouga, uma Nascente de água sulfúrea (NV), e dois Furos (SDV1 e SDV2). Atualmente NV está submersa, devido à subida do nível do rio, como consequência da represa hidroelétrica da Quinta do Valgode, que ocorre na proximidade. Os furos foram realizados em 1991, pela equipa de sondagens da Direção-Geral de Geologia e Minas. Os furos têm características de sondagens de prospeção e ambos apresentam a atitude de N225 °E, 75 °W, atravessando no geral, formações graníticas. SDV1 e SDV2, têm o comprimento de 216 m e 151 m, respetivamente. Desde a sua cabeça até cerca de 30 m de comprimento estão entubados em aço normal, com diâmetro de 6" (≈152 mm), e cimentados no seu espaço anelar; dos 30 m até ao fim, estão em "open hole", com diâmetro HQ (90 mm). Apenas o Furo SDV1 está integrado no PE com a produção de RG a 67 °C, com caudal em artesianismo ≤ de 2,5 L/s.

Perante a situação dos factos ocorridos com a cheia, foi de extrema urgência, verificar desde logo, a situação dos furos, que apenas tinham visível a parte da sua cabeça mais elevada (Fig.3c, d).

Salienta-se que aqueles furos não tinham qualquer caseta de resguardo, pois devido ao facto de serem furos de características não adequadas a

captações definitivas, há vários anos que se persegue o objetivo de construir uma captação adequada e em consequência, anular/neutralizar aqueles furos. Assim, na perspetiva, que isso se venha a verificar com celeridade, as operações imediatas previstas, foram no sentido de se avançar com uma solução transitória, de modo a permitir a continuidade do aproveitamento já icónico das estufas com frutos tropicais, e no futuro, esses furos serem neutralizados (com um material completamente impermeável no seu interior), ou eventualmente serem adaptados a piezómetros especiais de apoio à monitorização do sistema aquífero hidromineral. As operações programadas foram as seguintes (Fig. 3a,b): i) efetuar uma parede/murete de resguardo, com a forma em planta em "V", com a parte de menor dimensão em planta virada para montante (de modo a minimizar o esforço da corrente em fase de cheias), ii) colocar uma base semi-horizontal em betão, acabada com pavimento adequado e antiderrapante; iii) construção de uma caixa de fundo para facilitar a medição manual do caudal, e para permitir a descarga direta para o Rio Vouga, em fase de amostragens e em ensaios de caudal, iv) substituição de torneira de amostragem (T_1), v) colocação de torneira de fundo (T_2) para possibilitar ensaios de caudal em artesianismo; e vi) colocação de válvula de corte (V).

As operações básicas (Fig.3 e, f, g) foram decorrendo com muito cuidado, pois a remoção de terras, até se intersear o tubo de adução que liga o furo à zona das estufas, foi manual, pois qualquer vibração pode levar ao colapso imediato da cabeça do furo, que está extremamente franzina, devido à oxidação avançada (Fig. 3h). Nesta fase é fulcral a cabeça do furo ser substituída, no entanto, perante a extrema fragilidade não só da cabeça como do entubamento do furo, seu pequeno diâmetro, a juntar ao artesianismo, e temperatura de 67 °C, têm levado à dificuldade em encontrar técnicos que aceitem essa operação. Têm-se realizado vários trabalhos de campo, e de gabinete, no entanto, ainda terão que se afinar vários elementos até a obra de recuperação das estufas se verificar. O caudal medido em 11/8/2025, em artesianismo, foi de cerca de 4,3 L/s, tendo-se mantido aproximadamente constante durante 10 dias seguidos, com o nível da água do rio a cerca de 0,5 m abaixo da cota de descarga do furo. Trabalhos de arquitetura, termodinâmicos e outros estão já muito avançados (Fig.4).



Figura 3 – Elementos de melhoria do sistema de captação do Furo SDV1 após as cheias: a) e b) esboços sobre intervenções propostas; c) e d) fotos da cabeça do furo assoreada após a cheia; e) a h) fotos após alguns melhoramentos.

Inclusive estudos detalhados sobre aspetos estruturais, de construção civil, de elementos climáticos, cálculo energético sob o ponto de vista da termodinâmica, em harmonização com a cultura dos frutos tropicais, foram já efetuados pela R&T Consulting (2021), sendo a Figura 5 um dos exemplos das peças resultantes desse estudo. Nesta fase é necessário acabar as obras de recuperação do Furo SDV1, realizar um ensaio de caudal final, redefinir os cálculos dos equipamentos termodinâmicos já previstos, e em definitivo, elaborar um projeto adequado sobre os equipamentos a usar na climatização do interior das estufas.

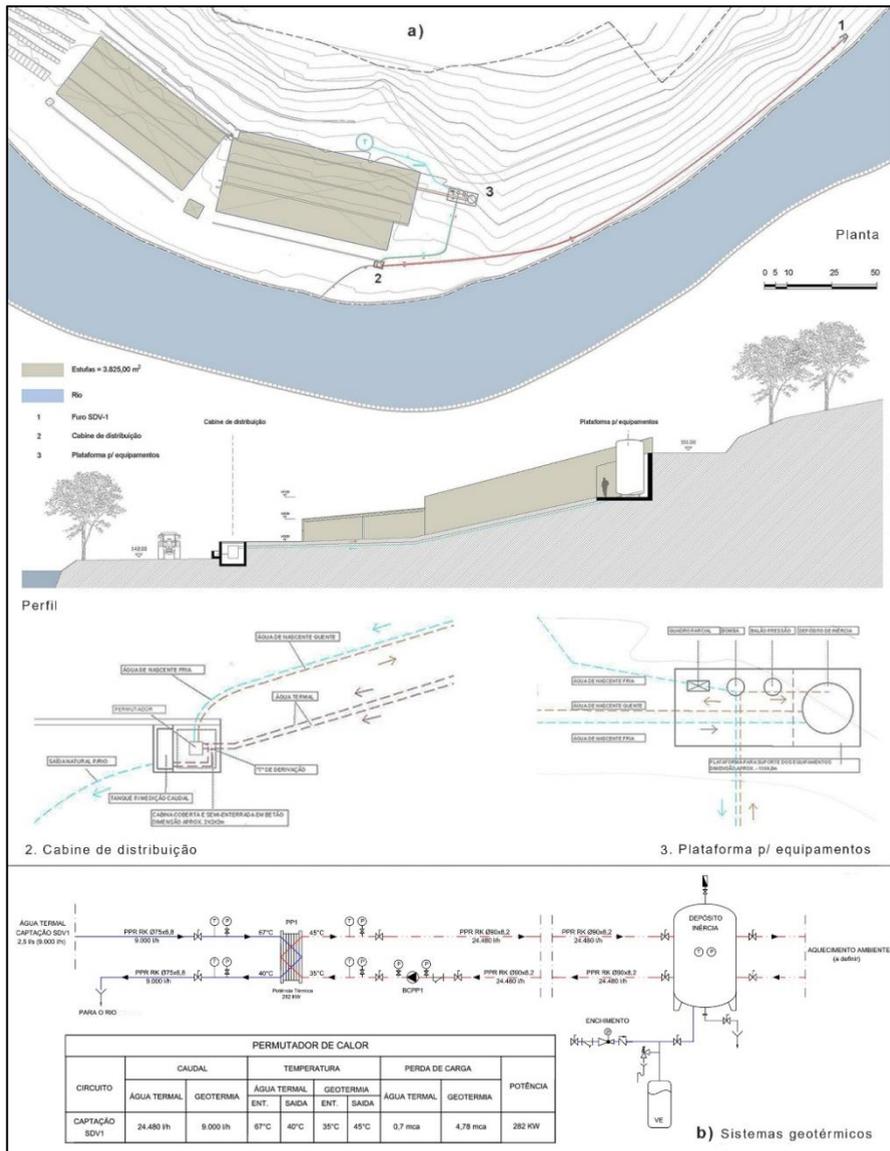


Figura 4 – Elementos em fase de anteprojecto para reabilitação das estufas: a) de arquitetura (Ferreira, 2024), b) sistemas geotérmicos (TriunfoVivo, 2024).

Divisão de períodos:

**Período 1:
08:00 - 16:00**

Período diurno, com temperaturas inicialmente negativas, recupera a temperatura interior com apoio da luz solar.

**Período 2:
16:00 - 00:00**

Período a partir do qual o sol deixa de ser fator no qual local a aquecer o interior da estufa. A importância de Buffer é alta.

**Período 3:
00:00 - 8:00**

Período nocturno. Todas as perdas devem ser compensadas via buffers, aquecimento ativo sobreaquecimento atempado.

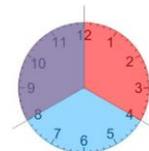
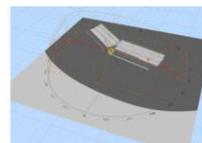
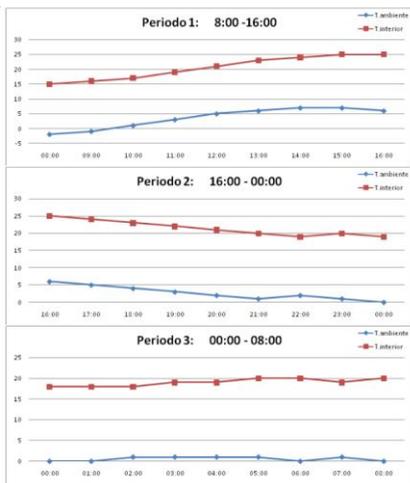


Figura 5 - Elementos sobre estudos climáticos usados no cálculo energético sob o ponto de vista termodinâmico na harmonização com a cultura de frutos tropicais na estufa da Quinta do Valgode (R&T Consulting, 2021).

4 – PERSPETIVAS FUTURAS

Sobre perspetivas futuras, elencam-se as principais ações, de modo a reabilitar as estufas de frutos tropicais do Pólo do Vau, do CHGSPS: i) intervenção no Furo SDV1, de modo a ter um sistema de captação que ofereça condições de garantia, aos investimentos a realizar para a retoma das estufas; ii) aferir o projeto de sistemas de adução/permuta de temperaturas/Inércia térmica, e outros associados, de modo a que as estufas recebam o fluido geotérmico (sem ser AMN) para a climatização das mesmas; iii) re-análise de projeto sobre necessidades térmicas e outras para reabilitar as estufas, com fins de produzir frutos tropicais; iv) construir projeto definitivo sobre sistemas de climatização no interior das estufas, em concordância com as necessidades do previsto no ponto anterior; v) fazer um estudo, sobre outras aplicações desde logo com o fluido AMN rejeitado, e até com o fluido secundário, visto haver potencial para outros usos, como fungicultura, heliocultura, ranicultura, piscicultura, como até o cultivo do camarão “o gigante da Malásia” (a partir de água doce, mas similar ao camarão de água salgada) como já há alguns anos atrás esteve equacionado pelo concessionário, de entre outros, a jusante destes, como a hidroponia aplicada a horticultura.

Por fim, salienta-se que a curto/médio prazo, se prevê realizar nova captação no Pólo do Vau, cujos resultados poderão catapultar ainda mais o futuro não só do aproveitamento das estufas como de todo o CHGSPS.

REFERÊNCIAS

- DR (1990a). Dec.-Lei nº86/90, “Aprova o regulamento de águas minerais naturais”, *D.R.*, I Série, Nº63, pp.1254-1264.
- DR (1990b). Dec.-Lei nº87/90, “Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos”, *D.R.*, I Série, Nº63, pp.1264-1273.
- DR (1990c). Dec.-Lei nº90/90, “Aprova bases do regime juridico da revelação e do aproveitamento de recursos geológicos”, *D.R.*, I Série, Nº63, pp.1296-1304.
- DR (1999). Extrato de Contrato de Exploração. “Extracto do Contrato de Concessão de Exploração da Água Mineral Natural e do Recurso Geotérmico – HM-33”, *D.R.*, III Série, Nº53, p.5004.
- DR (2015). Lei nº54/2015, “Aprova bases do regime juridoco da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos”, *D.R.*, I Série, Nº119, pp. 4296-4308.
- Ferreira Gomes, L. M. (1997). Legalização da água mineral termal do “Campo Geotérmico de S. Pedro do Sul”. Memória descritiva. Relatório Interno. UBI/C.M.S. Pedro do Sul. Covilhã, 23p.
- Ferreira Gomes, L. M. (1998). Plano de exploração da água mineral termal do “Campo Geotérmico de S. Pedro do Sul”. Relatório Interno. UBI/ C.M.S. P. do Sul, 16p.
- Ferreira Gomes, L. M. e Albuquerque, F. (1998). A utilização em multiusos da água minero-termal do Campo Geotérmico de S. Pedro do Sul. *4º Congresso da Água*. APRH, Associação Port. dos Recursos Hídricos. FIL, Lisboa, Paper 062; 15 p.
- Ferreira, H.F.B. (2024). Requalificação de Estufas. Arquitetura - Peças Desenhadas. Quinta do Valgode – Vouzela, para Orlando Serra Ferreira, 4 Folhas.
- R&T Consulting (2021). Projeto de plantação de frutas tropicais. Estufas Quinta do Valgode – Vouzela. Para Orlando Serra Ferreira, 20p.
- TriunfoVivo, Lda. (2024). Requalificação de Estufas. Anteprojecto – Aproveitamento Geotérmico. Quinta do Valgode – Vouzela, para Orlando Serra Ferreira, Esquema de Princípio- Memória Descritiva. 4p.

**A GEOTERMIA EM FASE DE VELOCIDADE DE CRUZEIRO: EXPERIÊNCIA DO
USO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO HOTEL DO PARQUE – CONGRESS &
SPA**

**GEO THERMY AT CRUISE SPEED: THE GEOTHERMAL ENERGY EXPERIENCE
AT THE HOTEL DO PARQUE – CONGRESS & SPA**

Nicolau, José; *Diretor do Hotel do Parque – Congress & Spa; Várzea, São Pedro do Sul, Portugal, jnicolau@hoteldoparque.pt*

Figueiredo Nicolau, Carlos; *Hotel do Parque – Congress & Spa; Várzea, São Pedro do Sul, Portugal, cnicolau@hoteldoparque.pt*

Ferreira Gomes, L.M., *Diretor Técnico das Termas de São Pedro do Sul, GeoBioTec@UBI, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt*

RESUMO

No presente trabalho, depois de uma breve introdução para enquadramento do caso de estudo, apresenta-se o esquema de aproveitamento de energia geotérmica do Hotel do Parque (HP), alguns elementos sobre consumos e custos de energia geotérmica, os constrangimentos identificados, e por fim algumas notas finais sobre a experiência de cerca de duas décadas e meia de uso de energia geotérmica.

ABSTRACT

In this work, after a brief introduction to frame the case study, we present the geothermal energy utilization scheme of the Hotel do Parque (HP), some elements on geothermal energy consumption and costs, the constraints identified, and finally some final notes on the experience of about two and a half decades of geothermal energy use.

Palavras-Chave: Energia Geotérmica, Hotel do Parque, Aquecimento ambiental, AQS.

Keywords: Geothermal Energy, Hotel do Parque, Environmental Heating, DHW.

1 – INTRODUÇÃO

O Hotel do Parque (HP) situa-se na proximidade das Termas de São Pedro do Sul. No âmbito do seu aproveitamento em Cascata (Ferreira Gomes, 2007, 2019, Ferreira Gomes *et al.*, 2025), existe uma Central Geotérmica (CG), que permite transferir energia térmica a partir de um fluido naturalmente quente, água mineral natural (AMN), com um caudal constante de 16,9 L/s à temperatura de 67° C, para outro fluido, água normal (AN), de modo a que este ao ficar a cerca de 60° C, permite um aproveitamento a jusante no HP em seu aquecimento ambiental e respetivas água quente sanitária (AQS).

O Hotel do Parque (Fig.1) iniciou a sua construção em 1987 e abriu as portas ao público (*soft-opening*) em outubro de 1989. Logo na elaboração do projeto foram tomadas opções para aproveitamento do calor geotérmico das águas termais. Optou-se por sistemas de AQS e aquecimento por permutação, prevendo-se desde logo guias para ligação à central técnica das termas, para a passagem de tubagem.

Durante a década de 90 foram feitos estudos pela concessionária das termas (Câmara Municipal de São Pedro do Sul), com perfurações e instalação de CG que começou a funcionar em 2001, fornecendo energia térmica num primeiro momento ao Hotel do Parque, à Pousada da Juventude, e ainda à Sala de Demonstração do projeto (Thermie 94, 1994), numa pequena sala no interior do Balneário Rainha D^a Amélia. Salienta-se que ainda na fase inicial, já em 2002, se associou ao conjunto de consumidores anteriores, o Hotel Rural Villa do Banho. Naquela fase a temperatura do fluido geotérmico que chegava ao HP era superior a 55 °C. O HP na fase inicial tinha 56 quartos e serviço de restauração, sendo a energia geotérmica utilizada no aquecimento de AQS e sistema de aquecimento (radiadores).

Em 2004, o HP foi alvo de uma profunda remodelação e ampliação, passando a oferecer um conjunto de serviços e equipamento de nível superior, designadamente de 100 quartos duplos, duas suites presidenciais e três suites juniores totalmente equipadas e reestruturadas, dispendo de áreas mais generosas, um restaurante, um bar, um salão de festas, um Health Club & SPA equipado com piscina aquecida, sauna, banho turco, massagens, ginásio e dois campos de squash. Em 2019 foi elaborada, pela Termalitur, uma candidatura para ampliar o número de consumidores de energia geotérmica, a qual foi aprovada (EcoTSPS, 2019), e cuja execução está agora

a terminar. No presente, existem mais alguns edifícios a receber a energia geotérmica, mas a temperatura do calor que está a ser distribuído ao HP baixou para cerca de 45 °C, situação menos favorável ao verificado antes de 2019, no entanto admite-se que após a finalização das obras, a situação volte a ser similar ao verificado anteriormente, pois ainda decorrem afinações finais da mesma. Em 2022 o SPA do hotel sofreu uma renovação profunda, a piscina interior aquecida passou a ser dinâmica, e com livre acesso a novos equipamentos, nomeadamente: sauna panorâmica, banho turco, duche sensorial e jacuzzi.



Figura 1 – Imagens do Hotel do Parque, na proximidade das Termas de São Pedro do Sul (HP, 2025).

2 – ESQUEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA GEOTÉRMICA

De acordo com o projeto inicial o HP recebia o fluido geotérmico (AN1) a partir da CG, com um caudal de 4,1 L/s (Ferreira Gomes, 2007) a chegar ao HP com temperatura superior a 55 °C. Nas instalações do HP, com 2 permutadores em série, numa primeira fase fornecia-se energia térmica para o sistema de aquecimento central, e numa segunda fase, para o sistema de AQS. Com a remodelação do HP em 2005, associou-se um terceiro permutador, em série também, para apoiar o aquecimento da água da piscina interior; com os três permutadores em série, a temperatura de AN1 que retorna à CG é cerca de 30 °C. Salienta-se que AN1, efetua a circulação em circuito fechado (CG-HP-CG), saindo genericamente da CG com cerca de 60°C e retorno com cerca de 30°C para iniciar novo ciclo, continuamente.

O esquema de princípio do aproveitamento geotérmico do HP, de acordo com o projeto inicial, apresenta-se na Figura 2. Nesta localizam-se os pontos de vários sensores, que possibilitavam o registo das temperaturas em contínuo, de modo a ser efetuada a gestão de todo o processo. A título de exemplo

3 – CONSUMO E CUSTO DE ENERGIA GEOTÉRMICA

Com base no sistema de monitorização implementado, na fase em que todos os sistemas estavam muito bem afinados e calibrados, era possível com detalhe avaliar os consumos diários e consequentemente outros valores, de modo a ser efetuada a faturação mensal para os diferentes consumidores. Na Figura 4 apresentam-se, a título de exemplo, os resultados detalhados para o ano de 2002, representando os mesmos uma situação típica do HP. Daqueles resultados merecem referência as seguintes observações: i) os consumos mais baixos verificam-se na época do período mais quente, atingindo valores mais baixos nos meses de junho a setembro; isto acontece, pois naquele período verifica-se o uso da energia geotérmica apenas para as AQS; ii) nos meses mais frios, verifica-se o uso da energia para o aquecimento não só das AQS, como também, dos espaços interiores, atingindo valores máximos em março e novembro, que correspondem a meses em que o aquecimento ambiental do interior do HP, já está ligado, sendo uma fase em que há muitos utentes nas Termas de São Pedro do Sul, e por isso necessitam de estar alojados na zona, inclusive no HP; nos meses de dezembro e janeiro, normalmente há poucos utentes nas Termas de São Pedro do Sul, e isso explica não se atingirem os máximos de consumos de energia nesse período; iii) o valor global anual contabilizado, foi de 348 270 kWh/ano.

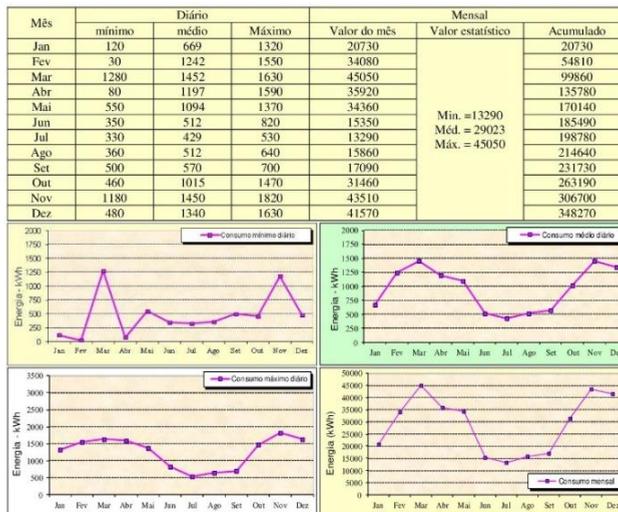


Figura 4 – Consumos de energia reais, em kWh, relativos ao Hotel do Parque, ao longo do ano de 2002 (in Afonso de Albuquerque et al., 2013).

No Quadro 1 apresentam-se os valores de energia geotérmica consumida nos anos de monitorização afinada, bem como os valores de projeto. Estes tiveram por base os registos efetuados no período inicial de consolidação dos sistemas de monitorização e produção de energia geotérmica para o HP.

Quadro 1 – Energia geotérmica para o HP, estimada em fase de projeto, consumida nos anos de monitorização afinada, e respetivos custos estimados.

	Ano	Energia anual (kWh)	Custo/kWh (€)	Custo ((€)
Projeto ^(*)	1991	354 954	-	-
Consumo real no Hotel do Parque	2002	348 270	0,0295	10 275,23
	2003	296650	0,0304	9 014,82
	2004	351 060	0,0313	10 988,32
	2005	441 200 ^(*)	0,0322	14 224,03
	2008	456 950 ^(*)	0,0352	16 097,83

^(*) Em fase de projeto (A. Cavaco,1994) para o Hotel do Parque, considerando 120 quartos, com uma ocupação média a 70 %; para o aquecimento de AQS considerou-se todo o ano com duas pessoas por quarto a consumir 60 L/dia/pessoa e a ser aquecida de 15 °C para 50°C, e para o aquecimento ambiental considerou-se 11.6 kWh/quarto/dia durante 7 meses. $E = 354\,954 \text{ kWh} = 149\,820 \text{ kWh (AQS)} + 205\,134 \text{ kWh (Aquecimento Central)}$

^(*) Nota: os valores a partir de 2005, inclusive, já não são perfeitamente comparáveis com os apresentados em fase de projeto, pois verificaram-se obras no HP tendo modificado os espaços a climatizar. Salienta-se que em 2006 e 2007, não se obtiveram registos devido a avaria do sistema de monitorização.

O custo da energia geotérmica a ser suportado pelo consumidor foi realizado por Cardoso (1999) para o caso de São Pedro do Sul. Naquele estudo, considerando os investimentos efetuados a 50% (dado que se verificou um apoio a 50% a fundo perdido) e ainda os custos da manutenção, concluiu-se que para haver uma recuperação financeira ao fim de 25 anos, levaria a uma taxa de 0,027 €/kWh, com a atualização de 3% por ano devido à inflação, para o cenário dos consumidores iniciais. Claro que, se no processo aderissem mais consumidores, ou, se a taxa for superior àquele valor, a recuperação financeira será num período menor que 25 anos. No cenário referido, apresentam-se os custos da energia geotérmica para os anos referência no Quadro 1, sendo de mencionar que já em 2008, a uma taxa de 0,0352 €/kWh, resultaria para o total do ano, um montante de 16 097,83 €.

Entretanto, com o alargamento do projeto geotérmico em 2019 para 16 consumidores, dos quais 13 unidades hoteleiras (Ferreira Gomes *et al.*, 2025), espera-se que a taxa o custo da energia geotérmica (€/kWh) seja

relativamente mais baixa do que o previsto inicialmente apenas para três consumidores.

Ainda sobre custos, menciona-se que Afonso de Albuquerque (2011) e Afonso de Albuquerque *et al.* (2013), em estudos sobre consumos e custos para o HP, considerando que o mesmo disponibiliza outros sistemas energéticos, como uma caldeira a gás propano com poder calorífico (PCI) de 12,9kWh/kg, e eletricidade, os custos são superiores aos obtidos para o sistema geotérmico. Para o ano de referência de 2002, resultaria $C_{Egeo} = 0,633$ $C_{Eprop} = 0,270$ C_{Eele} , sendo C_{Egeo} , o custo pago com a energia geotérmica, C_{Eprop} o custo a pagar se usasse o gás propano, e C_{Eelet} e o custo a pagar se fosse consumida energia elétrica.

4 – CONSTRANGIMENTOS DA ENERGIA GEOTÉRMICA

O sistema tem de trabalhar em contínuo, pois não tem capacidade para responder a picos, e por isso o HP tem como energia alternativa o gás propano. Para as AQS considera-se cerca de 6 000 litros de água em termoacumuladores para responder aos picos de consumo. Nos radiadores com o sistema sempre ligado, mantém-se a temperatura ambiente agradável com temperatura nos radiadores a rondar os 25 °C. Na piscina com o sistema sempre ligado, mantém a temperatura da sua água na ordem dos 30 °C.

Para o sistema funcionar a energia geotérmica deverá chegar a uma temperatura de pelo menos 51 °C, ao primeiro permutador para que possa haver uma utilização eficaz da geotermia, pois se assim não for, ter-se-á que em emergência usar o sistema a gás propano.

Periodicamente é necessário utilizar somente o gás propano para elevar a temperatura das AQS até aos 55° C, para prevenção do aparecimento de algumas bactérias (nomeadamente a *Legionella pneumophila*).

5 – NOTAS FINAIS

A implementação dos sistemas geotérmicos em 2011, para aquecimento ambiental e das AQS do HP, foi uma singularidade especial, pois esta unidade hoteleira orgulha-se de ser pioneira em termos oficiais, em Portugal, a receber este tipo de energia limpa e numa área de Estância Termal, onde a

saúde do cidadão é uma preocupação não só para os médicos no interior das Termas, como para todos os prestadores de serviços onde se inclui o HP.

O funcionamento em regime de cruzeiro destes sistemas, deverá ter em conta que esta energia não tem custos de produção ao nível das matérias-primas e que a sua utilização não pode ser feita na fórmula “só utilizar quando se precisa”. Como já mencionado anteriormente, o sistema tem de funcionar em contínuo, não podendo haver grandes oscilações na permutação, senão o sistema não consegue responder às necessidades.

No momento o custo da energia geotérmica é mais interessante do que o da energia alternativa (gás). No futuro, tudo dependerá do custo a praticar pelo distribuidor.

REFERÊNCIAS

- A. Cavaco (1994). Projecto Geotérmico GE-306/94 PO de S. Pedro do Sul. Projecto de Execução. Programa Thermie. C.M.S. Pedro do Sul. (Relatório Interno).
- Afonso de Albuquerque, F.J.R. (2011). *Energia geotérmica em edifícios – o caso do Hotel do Parque no Campo Geotérmico e Hidromineral de São Pedro do Sul*. Diss. de Mestrado em Geotecnia Aplicada. Universidade da Beira Interior. 150p.
- Afonso de Albuquerque, F.J.R.; Ferreira Gomes, L.M. e Miranda, A.B. (2013). Utilization of geothermal energy in a hotel in São Pedro do Sul – Portugal. *Proc. of the Int. Conf. on Civil Engineering*. CI- Premier PTE LTD, Singapore, pp. CE-77-CE86.
- Cardoso, S.E.B. (1999). Estudo sobre Proposta de uma Tarifa relativa ao calor geotérmico, no âmbito do Projecto Geotérmico de São Pedro do Sul. C.M.S. Pedro do Sul. (Relatório Interno).
- EcoTSPS (2019). Projeto Eco Termas de S. Pedro do Sul - Promoção da Utilização da Energia geotérmica. “Termalistur-Termas de S. Pedro do Sul, E.M.S.A.”. Projeto financiado no âmbito do FAI, Fundo de Apoio à Inovação, Aviso 05/2018. Memória Descritiva, 76p.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007). Aproveitamento Geotérmico em Cascata em São Pedro do Sul. *Boletim de Minas*, 42 (1), pp. 5-17.
- Ferreira Gomes, L.M. (2019). Termas de São Pedro do Sul: outros aproveitamentos da água termal que não terapêuticos. *Geonovas*, Vol.32, Nº1, pp. 3-21.

- Ferreira-Gomes, L.M.; Jorge, Ana I.S.T.; Gonçalves, Liliana, F. (2025). O aproveitamento geotérmico em São Pedro do Sul - Experiência de duas décadas e meia. *Boletim de Minas*. N°57, Edição Especial Geotermia, pp. 47-76.
- HP (2025). Hotel do Parque. Termas de São Pedro do Sul, Disponível em: www.hoteldoparque.pt
- Thermie 94 (1994). *Multiuse Geothermal Project at S. Pedro do Sul, Central Portugal*. C.M.S. Pedro do Sul. Projecto GE 306/94, no âmbito do Programa Thermie 94.

ESTUDOS PRÉVIOS E CONDICIONANTES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE GEOTERMIA SUPERFICIAL

INITIAL STUDIES AND CONSTRAINTS TO IMPLEMENTATION OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY PROJECTS

Lapa, José; *Diretor-Geral da Ferreira Lapa Lda; Professor Associado aposentado da Universidade de Aveiro, Portugal; marqueslapa@ferreiralapa.com; jlapa@ua.pt*

RESUMO

O presente artigo pretende de forma resumida apresentar alguns dos fatores mais importantes da tecnologia de climatização baseada na energia geotérmica e apresentar alguns exemplos de construção e projeto de sistemas executados com o acompanhamento do autor, dos quais foram obtidas experiências e informações que permitiram determinar uma sistematização de procedimentos, estudos preparatórios e de condicionantes do terreno e do edifício, para determinação da aplicabilidade dos diferentes sistemas de aquisição da energia geotérmica e da transmissão energética de climatização no edifício. É apresentado um exemplo das várias aplicações de sistemas de geotermia superficial em edifícios escolares, de serviços, de habitação e industriais, descrevendo-se a solução, bem como os princípios da sua conceção e dimensionamento, gestão, manutenção e monitorização, e ainda referências a vantagens e riscos da utilização e da sua eficiência e sustentabilidade, análise de ciclo de vida e retorno do investimento.

ABSTRACT

This article intends to briefly present some of the most important factors of geothermal energy-based air conditioning technology and to present some examples of construction and design of systems executed with the author's supervision, from which experiences and information were obtained that allowed to determine a systematization of procedures, preparatory studies and constraints of the terrain and building, to determine the applicability of the different systems of acquisition of geothermal energy and the energy distribution of air conditioning in the building. An example of the various applications of shallow geothermal systems in scholar, service, residential

and industrial buildings is presented, describing the solution, as well as the principles of its design, management, maintenance and monitoring, and references to the advantages and risks of use and its efficiency and sustainability, life cycle analysis and return on investment.

Palavras-Chave: Geotermia superficial, energia geotérmica, sistemas geotérmicos, sistemas instalados, ciclo de vida.

Keywords: Shallow geothermal, geothermal energy, geothermal systems, installed systems, life cycle.

1 – INTRODUÇÃO

A experiência adquirida, em 15 anos de investigação, acompanhamento da construção de edifícios da Universidade de Aveiro (UA) com instalação de sistemas de geotermia superficial e de projeto de sistemas em edifícios de serviços, habitação e industriais, permitiu sensibilidade para a sistematização de procedimentos e obtenção de informações necessárias em estudos prévios e do conhecimento das condicionantes do terreno e do edifício, para determinação da aplicabilidade dos diferentes sistemas de aquisição da energia geotérmica e da sua transmissão para a climatização do edifício, bem como das suas principais vantagens e riscos.

Pode-se dizer que, apesar da multiplicidade de circunstâncias sociais e económicas, diferentes climas, geologia e ambientes, a tecnologia mostra que se pode adaptar a qualquer uma das situações, dependendo dos tipos de edifícios e das suas necessidades energéticas.

É evidente que a partilha de conhecimento de aplicações do sistema em outros empreendimentos é fundamental para a criação de bons guias de construção e de exploração dos edifícios e de como se poderão corrigir alguns fatores que influenciam a eficiência, a sustentabilidade e a qualidade.

Serão aqui referenciados alguns fatores determinantes para a solução, com base em dados e resultados obtidos de aplicações em Portugal, nas fases de projeto, de construção e de exploração de edifícios novos ou reabilitados.

Por último, resultando do acompanhamento de vários empreendimentos nas suas diferentes fases de vida, são descritos desafios à sua implementação, divididos em natureza, técnica, económica, legislativa e informativa.

2 – ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL

2.1 - Introdução

O sistema geotérmico superficial é uma tecnologia de aquisição energética para a climatização de edifícios individuais ou complexos urbanos, cada vez mais utilizada nos países ocidentais mais avançados para substituição da dependência de soluções baseadas em combustíveis fósseis, especialmente nos últimos anos em que os fornecimentos dessas matérias foram afetados por situações de guerra e de instabilidade financeira.

A solução de energia renovável, baseia-se nas seguintes diretrizes:

- O subsolo é uma fonte estável e infinita de energia renovável mais próxima dos edifícios, cuja temperatura é estável e usualmente entre 15-20 °C, até profundidades de cerca de 120m.
- Excelente meio de troca de energia para a climatização de edifícios, por aquisição ou dissipação de energia com tubagens (sondas) de água com glicol (anticongelante e acelerador de ponto de ebulição).
- A transmissão desta energia térmica (calor) para edifícios permite a utilização de formas de corrente, através de convecção ou condução por equipamentos de ar ou água (convetores térmicos, radiadores, piso radiante, vaporizadores, permutadores de calor em TABS, etc.).
- A utilização de bombas de calor geotérmicas e bombas de circulação permitem a correção da temperatura e a transmissão para o edifício.
- A poupança de energia elétrica e a redução das emissões de dióxido de carbono, o aumento da qualidade do ar interior e do conforto humano, a simples execução e a sua utilização ainda disponível sem intermediários ou empresas de gestão e sem taxas ou impostos.

2.2 - Sistemas

Os sistemas geotérmicos podem ser classificados de forma diferente de acordo com o método de permuta de energia no circuito primário das sondas geotérmicas, tais como pela origem e destino do líquido de permutação (circuitos fechados e circuitos abertos com o ar ou aquíferos), pela

profundidade das sondas geotérmicas (verticais ou horizontais) e pelo meio utilizado (com água termal, com solo ou com efluentes).

Sistemas geotérmicos superficiais utilizando o solo como meio de troca energética (circuito primário), podem ser colocados em furos verticais, planos horizontais ou elementos estruturais enterrados, como estacas, paredes ou pavimentos térreos, designados por elementos termo ativados (geoTABS), e que transmitem a temperatura do solo para uma bomba de calor geotérmica e, em seguida, para o sistema de permutação no edifício (circuito secundário).

As sondas geotérmicas no solo, dissipam ou adquirem energia, tomando a sua temperatura por transmissão, que depois com a bomba de calor é responsável por aumentar ou diminuir a temperatura para comunicá-la normalmente por permutadores com o ar interior através de convecção por UTAs, convetores térmicos ou radiadores, ou através da condução por pavimentos radiantes hidráulicos ou mesmo elementos estruturais com permutadores embutidos em lajes ou paredes de betão que se designa por estrutura termo ativada (TABS). A utilização de lajes é semelhante ao piso radiante, mas os permutadores deverão estar situados no plano médio da laje, aproveitando assim a sua grande inércia térmica, provocando a condução no espaço superior e a convecção pela face inferior.

As vantagens de utilização, em diferentes graus, dependendo do tipo de edifício, são principalmente de: i) diminuição das emissões de dióxido de carbono, ii) economia nos custos de exploração com períodos de retorno reduzidos em edifícios de médio e grande porte, iii) isenção de taxas de utilização dos recursos naturais do solo, iv) maior qualidade de ar, v) melhor conforto humano, vi) menor exigência de gestão e de manutenção, vii) aumento da durabilidade dos materiais utilizados no interior, viii) possibilidade de utilizar sondas geotérmicas em elementos estruturais enterrados, normalmente em estacas termo ativadas, diminuindo o custo de investimento, e ix) maior facilidade de gestão que é centralizada e automatizada com uma simples aplicação num computador na central térmica que ocupa apenas o espaço duma pequena sala.

De notar que esta tecnologia de climatização de edifícios é completamente compatível com outras de origem renovável, o que a torna bastante atrativa quando combinada com outras fontes energéticas como o ar (torres de arrefecimento e pré-processamento geotérmico do ar), a água (utilizando

redes de esgotos, piscinas, lagos e rios) e o sol (painéis solares e fotovoltaicos) constituindo sistemas híbridos renováveis.

Quanto às menores valias podem apontar-se: i) a necessidade de maior investimento inicial principalmente com a solução de furação para utilização de sondas de maior profundidade, ii) a necessidade de ventilação natural e forçada, iii) a pouca apetência para rápidas variações de temperatura e de utilização humana, iv) a necessidade de conhecimentos sobre a gestão do sistema e também de sensores de modo a ser centralizada e automatizada.

Estes sistemas assentam na utilização de bombas de calor geotérmicas, que podem ser reversíveis para os ciclos de aquecimento e de arrefecimento, podendo ser um fator determinante para a eficiência da solução uma vez que no mercado já existem bombas com altos coeficientes de desempenho para aquecimento e de eficiência energética sazonal no caso das reversíveis.

Assim, atendendo a tantos fatores contribuintes para uma boa e económica solução final, compreendendo a aquisição ou dissipação energética no solo e a transmissão da energia para a climatização de edifícios, com a utilização de bombas de calor geotérmicas, a partir da experiência adquirida, podem-se equacionar quais os estudos preparatórios e as condicionantes para a implementação duma boa solução com base na geotermia superficial.

Excetuando a escolha da bomba de calor e equipamentos acessórios, como reservatórios de compensação, bombas circulatórias, utilização de outros sistemas de ventilação, distribuição, condicionamento e tratamento do ar (UTA) e recuperação de calor, na vertente do dimensionamento mecânico, pretende-se promover o conhecimento de fatores do terreno e do edifício que podem influenciar a eficácia e a sustentabilidade no ciclo de vida pretendido.

2.3 – Estudos prévios e condicionantes

Assim e relativamente ao terreno, enumeram-se alguns fatores a ter em consideração para o estabelecimento de estudos prévios como sondagens e ensaios e de utilização de diferentes técnicas de aproveitamento geotérmico:

- Condições geológicas e freáticas e caracterização geotérmica
- Sistemas de geotermia superficial disponíveis
- Áreas exteriores disponíveis para a instalação dos sistemas
- Tipos de aquisição energética por sondas ou coletores geotérmicos
- Influência da aquisição e da dissipação energética no solo

- Determinação de custos de furações e de escavações
- Tipos de aquisição energética com bombas de calor

Alguns destes fatores estarão intimamente dependentes da tipologia, utilização e necessidades do edifício em termos de climatização, podendo enumerar-se alguns decisivos para o custo e eficiência da solução:

- Área, volumetria, utilização, arquitetura e seus sistemas passivos
- Caracterização e contacto com solo
- Determinação das necessidades energéticas
- Tipologia de estrutura
- Sistemas de transmissão térmica
- Necessidades de ventilação e tratamento de ar
- Necessidades de rápidas alterações por utilização humana
- Capacidades de resposta rápida do sistema geotérmico

A partir do conhecimento dos fatores, podem entender-se quais os estudos prévios e necessidade de conceção e de dimensionamento dos sistemas bem como das condições técnicas e disposições construtivas que devem ser previstas, e das necessidades de gestão, manutenção e monitorização, bem como da previsão de riscos e conhecimento das vantagens e desvantagens, sendo para isso útil uma análise do ciclo de vida previsto, enumerando as condicionantes e conformidades a prever para a boa utilização e exploração.

2.4 - Investigação

Com o contributo da sua experiência na construção de 6 edifícios nos campi universitários, entre 2011 e 2021, alguns deles monitorizados para obtenção de dados para investigação e simulação termodinâmica, a UA (Claudino Cardoso, António Figueiredo e Joaquim Macedo) em colaboração com o LNEC (Ana Vieira) e Município de Lisboa (Cláudia Pinto), participou nos projetos de investigação "SUCCESS", "GEOSUSTAINED" e "STORE2SUSTAIN", resultando vasta publicação de artigos, merecendo referência os trabalhos de Aljundi *et al.* (2023) e Thomas *et al.* (2024), bem como teses doutoramento de Figueiredo (2016) e de Aljundi (2024), coorientadas pelo autor.

3 – EXEMPLO

Foram vários os edifícios com acompanhamento de projeto, construção e exploração. Destes escolhe-se neste resumo, o primeiro edifício construído

na UA em 2012 (Lapa e Cardoso, 2015), com o qual se colheram muitos ensinamentos que conduziram a aperfeiçoamentos, até ao último construído em 2021.

Edifício CICFANO (área bruta 4514 m², volume 17600 m³):

- Necessidades de 134 kWh de aquecimento e 152 kWh de arrefecimento.
- Solução geotérmica (solo) e biotérmica (emissário), com estacas termo ativas: 55 x 600 mm de diâmetro e 30 x 400 mm de diâmetro, com profundidade de 10 metros (muito superficial) com ligações em série (mostrou falta de eficiência), para potência de aquecimento de 100,0 kWh e arrefecimento de 90,0 kWh, e com permutador de aço inoxidável de 350 mm de diâmetro, com caudal de 84 L/s de efluente, a temperatura entre 21°C e 25°C, com 32 m, 3 tubos permutadores, para potências de aquecimento 74,3 kWh e arrefecimento 121,9 kWh.
- Solução TABS (permutadores na camada de compressão de lajes pré-fabricadas de painéis alveolares, com baixa eficiência. Rede aeróbica com ventiloconvectores.
- Duas bombas de calor geotérmicas, 2 tanques de compensação e de AQS (água quente), 10 bombas de circulação.
- Para além da avaliação de custos de exploração resultante da monitorização do edifício, foi desenvolvido estudo comparativo com a solução tradicional de ar condicionado baseado num refrigerador ar-água e caldeira a gás, previsto no projeto inicial, com redução da necessidade elétrica de 55% aquecimento e 70% em arrefecimento.
- Período de retorno calculado pela estimativa da solução inicial e pelos consumos reais do edifício, de 6 anos e 3 meses.

4 – DESAFIOS

O estado da arte da análise à implementação de estratégias energéticas que incluem a geotermia superficial é fértil na apresentação dos problemas e dificuldades para a sua utilização, pretendendo-se aqui apresentar uma sistematização dos diferentes temas de análise, como desafios:

Desafios Técnicos: Conceção de sistemas; Integração com outros sistemas; Necessidades passivas e ativas; Avaliação de parâmetros e fatores; Ferramentas de cálculo; Eficiência; Metodologias de execução; Gestão e planos de manutenção; Monitorização.

Desafios Económicos: Investimento; Sustentabilidade; Retorno; Bombas e Centrais térmicas; Sondagens, furações e escavações; Construção nova; Reabilitação; Sistemas Urbanos; Impostos e taxas.

Desafios legislativos: Regulamentação; Códigos e manuais técnicos; Incentivos; Organismos; Fabricantes e instaladores; Certificação; Iniciativas do setor público; Ambiente; Qualidade do ar.

Desafios informativos: Ensino; Formação técnica; Qualificação profissional; Investigação científica; Promoção e divulgação; Comunicação social; Planeamento estratégico; Sustentabilidade ambiental; Diretivas europeias.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento aos elementos principais das equipas de investigação já mencionados, com relevância para o Prof. Dr. Claudino Cardoso, Pró-Reitor para a sustentabilidade dos campi da UA, que foi o principal impulsionador da utilização desta tecnologia na construção dos novos edifícios da UA e motivador para um engenheiro estrutural se dedicar à área da energia.

REFERÊNCIAS

- Aljundi, K. (2024). Sustainability of efficient solutions in shallow geothermal systems: Case study in Aveiro University. *Tese de doutoramento no IST*, Lisboa. Coorientação de J. Lapa.
- Aljundi, K.; Lapa, J.; Figueiredo, A.; Vieira, A.; Lapa, J.; Cardoso, R. (2023). Geothermal energy system application: from basic standard performance to sustainability reflection, *Social Science Research Network*, Elsevier, SSRN, Disponível em [doi: 10.1016/j.renene.2023.119612](https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119612)
- Figueiredo, A. (2016). Energy efficiency and comfort strategies for southern european climate: optimization of passive housing and pcm solutions, *Tese de doutoramento na Universidade de Aveiro*. Coorientação de J. Lapa.
- Lapa, J. e Cardoso, C. (2015) A geotermia na sustentabilidade de campi universitários: Os casos de estudo dos edifícios Cicfano e Escola Superior de Saúde, PPGS Newsletter nº 3, pp. 6 -10.
- Thomas, S.D.; Lapa, J.; Vieira, A.; Pinto, C. (2024). Integration of ground energy systems for low carbon heating & cooling of buildings, *Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024*, Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society, Disponível em [doi: 10.3390/geosciences14010019](https://doi.org/10.3390/geosciences14010019)

INTEGRAÇÃO GEOBIM PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GEOTERMIA SUPERFICIAL EM EDIFÍCIOS E CIDADES INTELIGENTES

GEOBIM INTEGRATION FOR ENERGY EFFICIENCY AND SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY IN SMART BUILDINGS AND CITIES

Pinto, Hugo A.S.; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal,*
hpinto@ubi.pt

Nepomuceno, Miguel C.S.; *Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal,*
mcsn@ubi.pt

Graça, Carlos J.P.; *Principal Highways Engineer, Leeds, England,*
cgraca.civeng@gmail.com

Marchiori, Leonardo; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal,*
leonardo.marchiori@ubi.pt

RESUMO

A integração entre *Building Information Modelling* (BIM) e *Geographic Information Systems* (GIS), designada GeoBIM, emerge como uma ferramenta estratégica para apoiar a eficiência energética em edifícios e cidades inteligentes. O objetivo deste estudo é realizar uma revisão crítica sobre o potencial dos modelos GeoBIM na avaliação energética, abrangendo desde o desempenho energético de edifícios e soluções de geotermia superficial. Os resultados evidenciam que a modelação GeoBIM permite melhorar a qualidade dos dados e precisão de simulações energéticas, demonstrando reduções de consumo superiores a 40% em determinados contextos. No entanto, persistem limitações significativas relacionadas com a interoperabilidade, ausência de normalização e complexidade computacional. Conclui-se que o GeoBIM constitui um instrumento promissor para otimizar recursos, apoiar a tomada de decisão e acelerar a transição para edifícios e cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes.

ABSTRACT

The integration between *Building Information Modelling* (BIM) and *Geographic Information Systems* (GIS), known as GeoBIM, emerges as a strategic tool to support energy efficiency in buildings and smart cities. The aim of this study is to conduct a critical review of the potential of GeoBIM

models in energy assessment, encompassing both the thermal performance of buildings and shallow geothermal solutions. The results show that GeoBIM modelling improves data quality and the accuracy of energy simulations, demonstrating consumption reductions of over 40% in certain contexts. However, significant limitations remain regarding interoperability, lack of standardization, and computational complexity. It is concluded that GeoBIM represents a promising tool to optimize resources, support decision-making, and accelerate the transition towards sustainable, resilient smart buildings and cities.

Palavras-Chave: BIM, GIS, geotermia, cidades inteligentes, *Digital Twin*.

Keywords: BIM, GIS, geothermal energy, smart cities, *Digital Twin*.

1 - INTRODUÇÃO

A nível mundial, a pressão para atingir a neutralidade carbónica e reduzir o consumo energético nos edifícios (European Commission, 2020) impulsiona metodologias digitais e integradas de planeamento e gestão sustentável. As cidades inteligentes dependem de infraestruturas resilientes, transportes de baixo impacto e estratégias otimizadas de energia, recursos e resíduos. Entre as soluções inovadoras, destaca-se a geotermia superficial, fonte renovável e eficiente, capaz de reduzir emissões, reforçar a competitividade económica e a segurança energética em meio urbano.

Neste contexto, a integração BIM – GIS, designada GeoBIM, surge como abordagem promissora para a eficiência energética em edifícios e cidades inteligentes (Barros *et al.*, 2025).

O BIM permite modelar com elevado detalhe os elementos construtivos e associar-lhes bases de dados para análises preditivas e avaliações de desempenho (Ferraro, 2023). O GIS acrescenta a dimensão espacial necessária à análise urbana, disponibilizando informação geoespacial. As suas aplicações incluem análise temporal, deteção do uso do solo, planeamento urbano e representação de cenários com recurso a sensoriamento remoto (Lang, 2009), abrangendo também a avaliação da eficiência energética em edifícios e bairros (Wang *et al.*, 2019).

Apesar do potencial, persistem lacunas na aplicação eficaz do GeoBIM nos desafios urbanos. Este artigo analisa de que forma os modelos GeoBIM podem apoiar a eficiência energética em edifícios e cidades inteligentes.

2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

A utilização da energia geotérmica remonta à Antiguidade, com registos romanos em Portugal ligados ao uso de águas termais para fins terapêuticos (Ramalho *et al.*, 2014). Nos anos 1970, o avanço tecnológico permitiu a aplicação de sondas geotérmicas verticais em sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) (Yao *et al.*, 2023), marcando a transição da exploração empírica para a aplicação tecnológica no setor da construção. Hoje, a geotermia é usada em múltiplos contextos: balneários, climatização, estufas, processos industriais e produção elétrica. Cerca de 60% da energia geotérmica mundial provém da geotermia superficial, por exigir menor profundidade e processos menos complexos, o que a torna competitiva e adequada a áreas urbanas. O sistema de climatização de muito baixa entalpia ampliaram ainda mais o seu uso, tornando-a uma solução adaptável e viável em diferentes contextos (Ramalho *et al.*, 2014). Contudo, muitas vezes a energia extraída não supre totalmente as necessidades dos sistemas AVAC, exigindo sondas adicionais ou fontes complementares, como solar ou elétrica (Yao *et al.*, 2023). Tal reforça a importância de metodologias integradas de planeamento energético.

Neste enquadramento, o BIM permite a representação digital e gestão de ativos ao longo do ciclo de vida, enquanto os GIS organizam e analisam dados espaciais (Barros *et al.*, 2025). O GeoBIM possibilita unir escalas do edifício e do território, promovendo eficiência na gestão, otimização de recursos e qualidade de vida. No setor energético, abre novas perspetivas para análise de consumos, avaliação de soluções renováveis como a geotermia superficial e apoio à decisão em projetos sustentáveis.

3 – MODELAÇÃO GEOBIM

O GeoBIM tem-se afirmado como estratégia central no planeamento urbano e gestão de infraestruturas, pela eficiência operacional, redução de custos e promoção da sustentabilidade (Barros *et al.*, 2025). Contudo, a interoperabilidade continua desafiante: o IFC (Industry Foundation Classes)

privilegia entidades construtivas ricas em semântica – otimização do código cuja finalidade é a execução computacional marcada pela repetição e sistematização de ações (Gunter, 1992), enquanto o CityGML baseia-se em geometrias de fronteira e níveis de detalhe. Assim, o GeoBIM exige reconstrução geométrica e mapeamento semântico para consistência de dados (Yao *et al.*, 2023).

Ferramentas comerciais, como o ArcGIS Pro, permitem importar modelos BIM em plataformas GIS, mas com simplificação geométrica e perda parcial de semântica, restringindo o uso a formatos de leitura. Apesar disso, a integração viabiliza georreferenciação tridimensional e análises conjuntas com dados regionais (Yao *et al.*, 2023). Para ultrapassar barreiras, soluções em Python permitem reatribuir atributos, criar relações topológicas e integrar parâmetros físicos como condutividade e permeabilidade, já aplicados em casos reais de otimização energética.

Exemplos internacionais confirmam este potencial. No Terminal E do Aeroporto de Zurique, 306 das 440 estacas de fundação foram convertidas em fontes energéticas, assegurando 70% do arrefecimento e 65% do aquecimento (Pahud e Hubbuch, 2006). Em Nanjing, 1200 estacas equipadas com tubagens reduziram em mais de 40% o consumo de um bairro residencial de 100.000 m² (Liu *et al.*, 2018). O estudo de Yao *et al.* (2023) (Figura 1), na Universidade de Nanjing, validou com apenas 2% de discrepância o GeoBIM para balanço energético, considerando parâmetros geométricos, climáticos e construtivos. Apesar da simplificação do solo e da hipótese de potência constante, os resultados demonstraram fiabilidade como ferramenta de planeamento energético urbano.

Em Portugal, destaca-se o Ombria Resort (Querença), maior projeto nacional de geotermia superficial e primeira rede urbana de aquecimento de 5.^a geração, em operação desde 2024. Com 40 a 144 furos de 100 – 125 m, integra hotel, Spa e *villas*, usando geotermia para climatização, águas quentes e piscinas, complementada por coletores solares (Figueira *et al.*, 2025). Estes casos demonstram os benefícios da abordagem GeoBIM para a eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios.

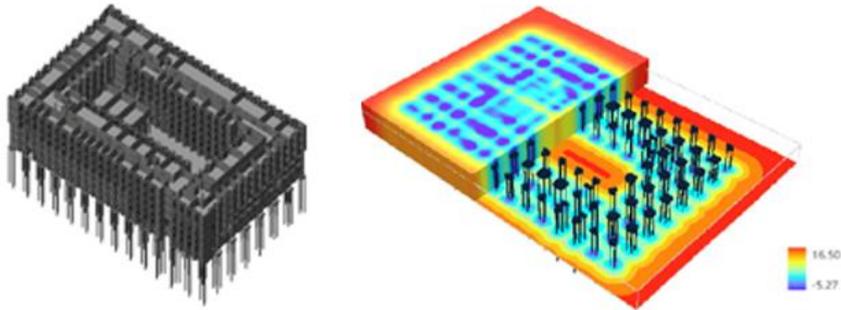


Figura 1 – Modelos BIM de Yao *et al.* (2023) tridimensionais com campo de temperatura do solo em °C.

4 – BENEFÍCIOS, DESAFIOS E LIMITAÇÕES GEOBIM

O GeoBIM melhora a visualização e análise de dados urbanos, apoia a gestão de recursos e promove colaboração entre agentes, contribuindo para cidades mais sustentáveis e resilientes (Barros *et al.*, 2025). Tecnologias como *Digital Twins* ampliam este potencial, permitindo simulações seguras antes da implementação real.

Segundo Barros *et al.* (2025), o GeoBIM é estratégico também em sistemas de transmissão de ultra-alta tensão, viabilizando modelos 3D de linhas e subestações, análises e partilha de dados, com ganhos de eficiência e segurança (Cohen *et al.*, 2019). Apesar dos benefícios, a integração enfrenta barreiras: i) interoperabilidade de dados; ii) falta de normas internacionais; iii) necessidade de formação; iv) resistência institucional e custos elevados; v) limitações socioeconómicas (Barros e Melo, 2020).

Na geotermia superficial, estas dificuldades somam-se a um enquadramento legal desatualizado em Portugal, ainda baseado em normas dos anos 1990, que torna o licenciamento complexo e rígido. Ao contrário, vários países da UE têm simplificado regras para projetos de pequena escala, alinhados com as Diretivas 2018/884/EU e 2024/1275/EU. Assim, a difusão do GeoBIM e da geotermia exige superar barreiras técnicas e legais, criar modelos padronizados de interoperabilidade, investir em capacitação e atualizar políticas públicas para acelerar a transição energética.

5 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O estudo demonstra que o GeoBIM é promissor para a eficiência energética, unindo detalhe construtivo e dimensão territorial em análises que vão do edifício ao microclima urbano, com ganhos em dados, recursos e planejamento sustentável. Os principais desafios incluem interoperabilidade, ausência de normas, complexidade computacional e falta de capacitação, fatores que limitam a adoção em larga escala. Além disso, perspectivas futuras apontam para aplicação com *digital twins* e inteligência artificial, para cumprir metas de neutralidade carbônica e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- Barros, A. S., Andrade, H. B. F., Chagas, C. H. A. D. e Silva, Y. C. da. (2025). O papel da integração de BIM e GIS na transformação de cidades em ambientes inteligentes e sustentáveis. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 23(7), e10585-e10585.
- Barros, F. da C. e Melo, H. C. (2020). Interoperabilidade entre plataforma BIM e ferramentas de análise estrutural utilizando Industry Foundation Classes (IFC): Estudo sobre os benefícios do BIM na interoperabilidade de projetos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. 1(8), pp. 74-91.
- Cohen, S. (2019). Como a State Grid se tornou a líder do setor elétrico brasileiro Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2019/07/como-state-grid-se-tornou-lider-do-setor-eletrico-brasileiro.html> Acedido em: 05/09/2025.
- 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.
- European Commission (2020). A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives. Brussels: European Union.
- Ferraro, N. (2023). Processo de Modelagem Digital BIM. Apostila da Aula 1. Editora: Centro Universitário Internacional, p. 16.

- Figueira, J. S.; Cerdeira, R.; Madureira, P.; Coelho, L. (2025). Contexto atual do desenvolvimento de soluções de geotermia superficial em Portugal. *Geotecnia*. 164, pp. 243-266.
- Gunter, C.A. 1992. *Semantics of programming languages: structures and techniques*: London.
- Lang, S. e Blaschke T. (2009). Análise da Paisagem com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, p. 424.
- Liu, H. L., Wang, C. L., Kong, G. Q., Ng, C. W. e Che, P. (2018). Model tests on thermo-mechanical behavior of an improved energy pile. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22(10), pp.1257-1272.
- Pahud, D. e Hubbuch, M. (2006). Measured thermal performances of the Dock Midfield energy pile system at Zürich airport. *Energie-und Umweltforschung im Bauwesen*, ETH Zurich: 217-224.
- Ramalho, E. C.; Madureira, P.; Lourenço, C.; Francés, A.; Joyce, A.; Silva, L. D. e 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, 837-840.
- Wang, H.; Pan, Y. e Luo, X. (2019). Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. *Automation in Construction*, v. 103, pp. 41-52.
- Yao, L., Dan, Z. H. A. N. G., Bo, W. A. N. G. e Kang, R. E. N. (2023). A 3D Dynamic Evaluation Method of Shallow Geothermal Energy Development Suitability Based on Integration of BIM and GIS. *Geological Journal of China Universities*, 29(2), pp. 272-279.

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS SOLOS DE LISBOA: COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES EM CONDIÇÕES NÃO ESTACIONÁRIAS COM SONDA TIPO AGULHA E SONDA PLANA

THERMAL CHARACTERISATION OF LISBON SOILS: COMPARISON OF MEASUREMENTS UNDER NON-STATIONARY CONDITIONS WITH NEEDLE- TYPE PROBE AND FLAT PROBE

Roka, R.; CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Department of Civil Engineering, University of Aveiro, Aveiro, Portugal; rajendraroka@ua.pt

Vieira, A.; Geotechnics Department, National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon, Portugal; avieira@lnec.pt

Pinto, C.; ReSist Project Team, Lisbon City Council, Portugal; claudia.pinto@cm-lisboa.pt

Figueiredo, A.; CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Department of Civil Engineering, University of Aveiro, Aveiro, Portugal; ajfigueiredo@ua.pt

Ferreira, A.; ReSist Project Team, Lisbon City Council, Portugal; alexandra.c.ferreira@cm-lisboa.pt

Inácio, M.; ReSist Project Team, Lisbon City Council, Portugal; miguel.inacio@cm-lisboa.pt

RESUMO

A informação relativa ao comportamento térmico dos solos em Portugal é ainda escassa. Contudo, a sua caracterização sistemática é essencial para o uso do solo como recurso (por exemplo, em sistemas geotérmicos superficiais para climatização e armazenamento de energia térmica), para apoiar o planeamento urbano sustentável, reforçar a proteção ambiental e a adaptação/mitigação às alterações climáticas, em contexto de transição energética. No âmbito do projeto de investigação GeoSustained, foi prevista a caracterização das propriedades térmicas das formações geológicas típicas da cidade de Lisboa. Para que esta caracterização seja fiável, privilegiou-se a realização de ensaios em amostras indeformadas que preservam o grau de saturação *in situ* e mantêm a respetiva estrutura natural. As medições foram efetuadas em regime transiente com dois tipos de sondas: de agulha e plana. Para cada uma, os fundamentos analíticos que permitem determinar as propriedades térmicas podem ser encontrados em vários autores. Neste trabalho, além da caracterização, comparam-se os

resultados obtidos e quantificam-se as diferenças observadas, culminando numa apreciação global das medições efetuadas.

ABSTRACT

Information regarding the thermal behavior of soils in Portugal is still scarce. However, their systematic characterization is essential for the use of the soil as a resource (for example, in shallow geothermal systems for air conditioning and thermal storage), to support sustainable urban planning and to strengthen environmental protection and adaptation/mitigation of climate change, in the context of the energy transition. Within the scope of the GeoSustained project, the characterization of the thermal properties of the typical geological formations of the city of Lisbon is envisaged. To ensure the reliability of this characterization, priority was given to conducting tests on undisturbed samples, which aim to preserve the *in-situ* degree of saturation and maintain their natural structure. The measurements were carried out in a transient regime using two types of probes: two needle and a flat. The analytical background of each method can be found in various authors. In this work, besides the thermal characterization, the results obtained are compared, and the differences observed are quantified, culminating in an overall appraisal of the measurements performed.

Palavras-Chave: caracterização térmica do solo, sistema geotérmico superficial, métodos transientes.

Keywords: soil thermal characterization, shallow geothermal system, transient methods.

1 – INTRODUCTION

Shallow geothermal energy provides an alternative renewable solution for building acclimatization. Thermal properties such as thermal conductivity (λ), a measure of a material's ability to conduct heat, and volumetric heat capacity (ρC_p), which indicates how much heat the soil can store per unit volume, are key properties to determine the feasibility of the shallow geothermal potential of a region (Roka *et al.*, 2023). Assessing the thermal properties of soil formation helps to better understand subsurface conditions, leading to

improved design and operation of shallow geothermal energy systems (Aljundi *et al.*, 2024). In the laboratory, soil thermal conductivity can be measured using either the steady-state or non-steady (transient) methods. Transient test methods, such as the Transient Line Source (TLS) and Transient Plane Source (TPS), measure the temperature response to a short heat pulse over time. Non-steady methods are faster, require smaller sample sizes, and cause minimal disturbance to the sample, which makes them advantageous in geothermal studies (Ramos *et al.*, 2019).

2 – MATERIALS AND METHODS

As regards the present study, Fig. 1(a) shows the location of the sampling area, and Fig. 1(b) shows some of the collected samples. These are the first tests performed on intact soil samples to investigate the thermal properties of soils from Lisbon.

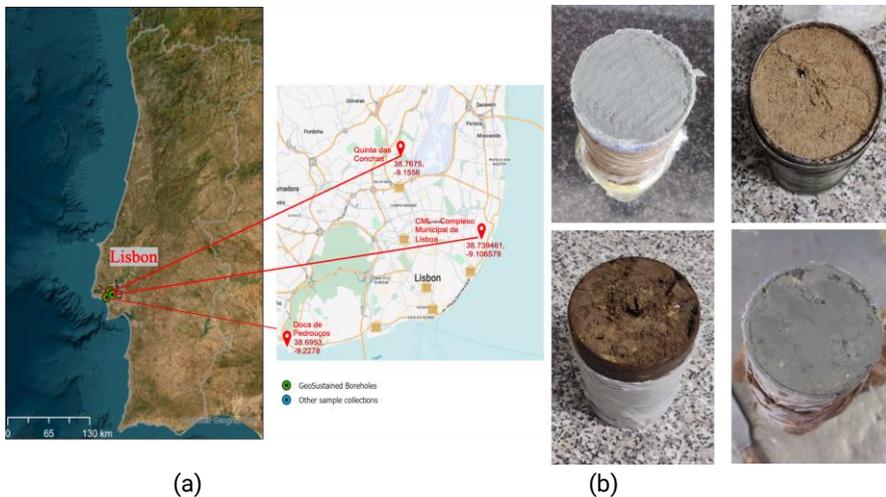


Figure 1 – Location map showing the sampling area (a) and collected samples (b).

Fig. 2 shows the measurement platform, featuring three thermal probes (two needles and a flat), alongside the laboratory setup for the transient test method. Details regarding the equipment, measurement devices, analytical background, and the methods used to determine the thermal properties using both devices, as well as the geotechnical properties of the samples, can be found in Roka *et al.* (2025). This study presents a preliminary part of the thermal characterization of soil formations in Lisbon, covering five samples

from three Miocene formations in Lisbon: *Argilas de Forno do Tijolo* (AT), *Areolas de Braço de Prata* (AP), and alluvial deposits (AD).



Figure 2 – Needle and plane source probes with their respective test setups.

3 – RESULTS AND DISCUSSIONS

Soil thermal properties, λ , α and νC_p , were measured using the thermal probes. In this study, λ values measured by these three probes were compared. Table 1 presents a summary of thermal properties obtained from the three thermal probes, along with physical properties such as specific gravity (G_s) and degree of saturation (S_r). The degree of saturation of the tested samples ranges from about 30% (partially saturated) to fully saturated conditions. As expected, the results clearly illustrate a strong positive correlation between the S_r and λ . The samples from the same formations with different degrees of saturation (in the case of S1, S2, and S3), with higher saturation levels, such as Ls-AT-S2 ($S_r \approx 99\%$), exhibit significantly higher λ values of $1.67 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. In contrast, samples with lower saturation, such as Ls-AT-S3 and Ls-AT-S4 ($S_r \approx 30\%$), demonstrate significantly reduced values, ranging from 1.1 to $1.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Table 1- Summary of thermal property measurements from the three probes.

Samples	G_s	S_r (%)	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) at room temperature=25°C			α ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) ($\times 10^{-6}$)	νC_p ($\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$) ($\times 10^6$)
			TLS-100	TLS-100 νC_p	TPS-4		
Ls-AD-S1	2.77	99.32	1.329	1.428	1.299	1.078	1.984
Ls-AT-S2	2.78	98.83	1.669	1.698	1.497	0.874	2.000
Ls-AT-S3	2.69	33.56	1.328	1.427	1.298	0.988	1.352
Ls-AT-S4	2.65	29.25	1.166	1.119	1.338	0.954	1.343
Ls-AP-S5	2.73	83.97	1.160	1.229	1.358	0.581	2.004

Fig. 3 illustrates the comparison of soil thermal conductivity measurements obtained from the three different thermal probes. The red dashed line represents the average thermal conductivity obtained from the measurements on the mentioned Lisbon soil samples ($1.36 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), which are themselves mean values derived from a series of at least five individual determinations.

In most cases, TLS 100 $\sqrt{C_p}$ obtained higher λ values than the other two thermal probes. However, in the case of Ls-AT-S4 and Ls-AP-S5, the higher values were obtained with the plane probe TPS-4. It is assumed that, since these two samples were stored in the laboratory for a long period and were not fully saturated, some water migration towards the bottom may have occurred, and the test was likely performed on the more saturated portion, resulting in higher thermal conductivity values.

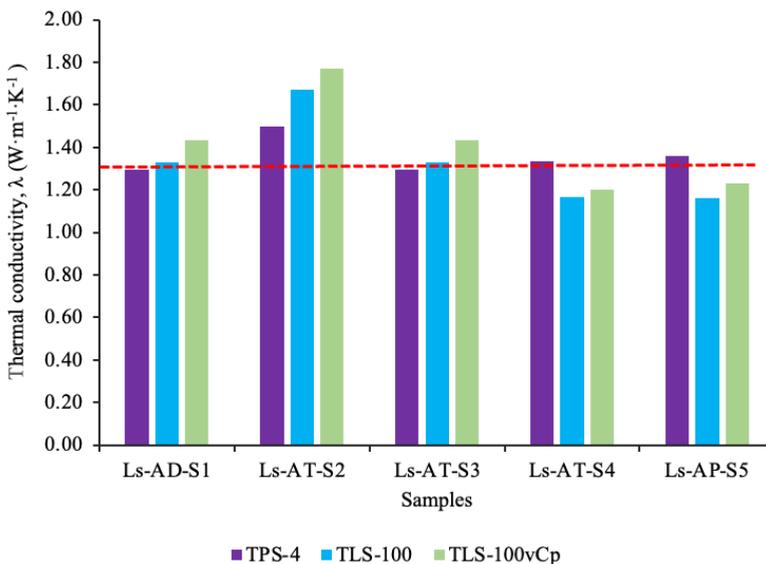


Figure 3 – Comparison of soil thermal conductivity values obtained from the three thermal probes.

Fig. 4 shows the correlation heat map illustrating the relation between the λ values measured by two transient needle probes and with the transient plane probe. Two needle probes, TLS 100vCp and TLS 100, exhibit a very strong positive correlation (greater than 0.90). The relationship between needle probes and TPS-4 shows a slightly weaker correlation (below 0.8 in both

cases). These deviations in the results between the needle and surface probes may arise from experimental variations, probe sensitivity, differences in measurement techniques, probe geometry, and heat transfer models.

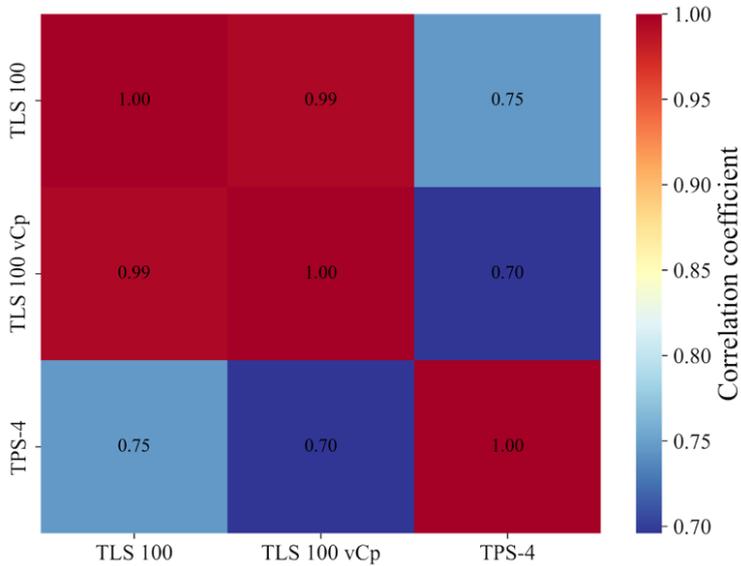


Figure 4 – Correlation heatmap illustrating the relationship between λ values measured using the TLS 100, TLS 100 vCp, and TPS-4 probes.

4 – CONCLUSIONS

This study aims to characterize the thermal properties of soils in Portugal for the application of shallow geothermal energy and to assess the reliability of non-steady-state measurements obtained with different types of thermal probes. The average thermal conductivity measured was $1.34 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. The results obtained with three thermal probes demonstrate a strong agreement. However, the minor deviations can be attributed to heat losses, contact issues, and water content concentration in specific regions.

ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the financial support of the Foundation for Science and Technology (FCT) through the project UID/6438/2025 of the research unit CERIS. They further acknowledge the support from the GeoSustained project (PTDC/ECI-CON/1866/2021).

REFERENCES

- Aljundi, K., Vieira, A., Lapa, J., Figueiredo, A. e Cardoso, R. (2024). Assessing the Impact of a Shallow Geothermal System Operation through Multi-Layer Temperature Monitoring in a Mediterranean Climate. *Geosciences* (Switzerland), 14(1). Disponível em: [doi: 10.3390/GEOSCIENCES14010019](https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES14010019)
- Ramos, R., Aresti, L., Christodoulides, P., Vieira, A. e Florides, G. (2019). Assessment and comparison of soil thermal characteristics by laboratory measurements. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, 0, pp.155–162. Disponível em: [doi: 10.1007/978-3-319-99670-7_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99670-7_20)
- Roka, R.B., de Figueiredo, A.J.P., Vieira, A.M.C.P. e Cardoso, J.C. de P. (2023). A systematic review on shallow geothermal energy system: a light into six major barriers. *Soils and Rocks*, 46(1). Disponível em: [doi: 10.28927/SR.2023.007622](https://doi.org/10.28927/SR.2023.007622)
- Roka, R., Vieira, A., Figueiredo, A., Ferreira, A. e Cardoso, C. (2025). Thermal characterization of soils in Aveiro and Lisbon for shallow geothermal applications: A study using transient methods. *Geothermics*, 134, 103498. Disponível em: [doi: 10.1016/J.GEOTHERMICS.2025.103498](https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2025.103498)

**DE NORTE A SUL: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE
PERMUTADORES VERTICAIS DE CALOR GEOTÉRMICOS EM DIFERENTES
ZONAS CLIMÁTICAS NAS CAPITALS EUROPEIAS**

**FROM NORTH TO SOUTH: COMPARATIVE EVALUATION OF BOREHOLE
HEAT EXCHANGER EFFICIENCY IN DIVERSE CLIMATE ZONES OF
EUROPEAN CAPITAL CITIES**

Roka, R.; *CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, University of Aveiro, Aveiro, Portugal*; rajendraroka@ua.pt
Figueiredo, A.; *CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, University of Aveiro, Aveiro, Portugal*; ajfigueiredo@ua.pt
Vieira, A.; *Geotechnics Department, National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon, Portugal*; avieira@lnec.pt
Cardoso, C.; *CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, University of Aveiro, Aveiro, Portugal*; claudino@ua.pt

RESUMO

A transição para sistemas energéticos mais sustentáveis na Europa incentiva cada vez mais a utilização da energia geotérmica superficial como possível solução renovável para aquecimento e arrefecimento dos edifícios. Os permutadores de calor geotérmicos verticais (BHEs) representam um dos componentes que mais influência têm no desempenho desta tecnologia. Contudo, este desempenho é fortemente influenciado pelas características geológicas locais e pelas condições climáticas. Este estudo realiza uma avaliação comparativa da eficiência dos BHEs em várias capitais europeias, utilizando como caso de estudo um edifício universitário simulado em diferentes zonas climáticas, desde o Norte até ao Sul da Europa. As simulações foram efetuadas com recurso ao GLHEPro, a fim de avaliar o efeito dos parâmetros climáticos e geológicos no desempenho dos permutadores. Os resultados salientam a necessidade de estratégias de dimensionamento específicas para cada local, demonstrando que o dimensionamento e a eficiência operacional dos BHEs não são transferíveis entre regiões sem a devida adaptação.

ABSTRACT

The transition towards sustainable energy systems in Europe increasingly encourages the use of shallow geothermal energy as a renewable heating and cooling solution. Borehole heat exchangers (BHEs) are a crucial component of this technology. However, their performance is highly influenced by local geological characteristics and climatic conditions. This study conducts a comparative assessment of BHE efficiency across selected European capital cities, using a case study of a university building simulated in diverse climate zones from Northern to Southern Europe. The simulation was performed using GLHEPro to assess the effect of climatic and underground parameters on the borehole performance. The findings underline the need for site-specific design strategies, demonstrating that BHE sizing and operational efficiency are not transferable across regions without adaptation.

Palavras-Chave: permutador de calor geotérmico, sistema geotérmico superficial, eficiência de furos geotérmicos, bomba de calor geotérmica.

Keywords: borehole heat exchanger, shallow geothermal system, borehole efficiency, ground source heat pump.

1 - INTRODUCTION

A shallow geothermal energy system is a low-carbon and sustainable energy system that can be integrated into renewable heating and cooling systems for buildings. Among these, BHEs have gained increasing attention as a reliable and environmentally friendly solution for meeting building energy demands, as they are suitable for space-constrained areas (Roka *et al.*, 2023). BHEs serve as the core infrastructure of vertical ground-source heat pump systems, enabling the exchange of thermal energy between the ground and buildings or other built structures (Vieira *et al.*, 2017).

Europe has diverse climatic zones and a wide range of geological formations, and it is acknowledged that the local ground thermal properties and climatic conditions have a strong influence on the efficiency of BHE systems. For instance, soil mineral composition, thermal properties of soil, subsurface temperature and groundwater flow have a direct effect on the heat transfer capacity of the ground. That makes the BHEs system highly site-specific

(Chicco *et al.*, 2025). Likewise, heating and cooling demands are affected by local and regional climatic conditions. In this sense, different European capital cities were selected for comparative study, as shown in Fig. 1. This study performs a comparative evaluation of BHEs performance in selected European capital cities, located in diverse climatic regions from Northern to Southern Europe. The cities were selected to represent each climatic zone characterized by ASHRAE Standard 169 (ASHRAE, 2021). Using a university building as a reference, simulations were performed with GLHEPro software to analyze the impact of climatic parameters and subsurface thermal characteristics on borehole design and performance.



Figure 2 – Selected European capital cities for study.

2 – BUILDING GENERAL CHARACTERIZATION

The case study building is the Centre of Communication and Image Science (CCCI) building from the University of Aveiro. The building was constructed in 2018 and has a rectangular configuration, comprising three floors with a gross floor area of 1600 square meters. The front and back views of the building are shown in Figures 2a and 2b. The U-value of the external wall is 0.38 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) and doors and windows are 1.70 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). Occupant density is 3.40 (m^2/p). The glazing portion of the external walls accounts for nearly 50% of the building in all directions.



Figure 2 – Campus building for the study a) Front view b) Back view

3 – SIMULATION APPROACH

A BHE model is developed using the Ground Loop Heat Exchanger program (GLHEPro) simulation software. The ground-source heat pump (GSHP) system, coupled with borehole heat exchangers (BHEs), operates in both heating and cooling modes. Excess heat is rejected to the ground while operating in cooling mode, whereas heat is extracted from the ground in heating mode. The entering fluid temperature (EFT) to the heat pump is constrained between 0 °C and 40 °C to ensure operational stability, as adapted for the 20-year simulation period. The effect of groundwater flow in any direction is neglected and heat transfer is considered solely through conduction, with convection and radiation being disregarded. A rectangular bore field configuration is selected with a 24:3x8 layout. Each borehole is chosen to be 300mm in diameter with a 10m spacing. Each borehole is equipped with a single U-tube of 20.4 mm internal diameter filled with a propylene glycol/water mixture (15%) as the heat transfer fluid, circulating at a flow rate of 1.5 L/s. The backfilling material, with a thermal conductivity of 1.5 W/m·K, is used. Underground soil properties, such as thermal conductivity, volumetric heat capacity, and undisturbed ground temperature, were sourced from the published literature and the GLHEPro database.

4 – RESULTS AND DISCUSSIONS

The cities were selected based on climate zones classified by the ASHRAE Standard 169-2021 (ASHRAE, 2021), ranging from hot/dry (Nicosia) to

cold/humid (Helsinki and Oslo). Fig. 3 illustrates the total monthly building cooling load in all selected cities.

Among the studied cities, Nicosia, Ankara, and Tirana demonstrate the highest cooling demand, whereas Oslo and Helsinki exhibit the highest heating demand. The other remaining cities exhibit a more balanced distribution of heating and cooling demands. The results of the required borehole depths for a 20-year system design across a range of European capital cities are presented in Fig. 4. A clear trend of deep borehole demand emerges in both the northernmost (Oslo and Helsinki) and southernmost (Nicosia and Ankara) cities. Each borehole depth demand for Oslo is approaching 320m and Helsinki exceeds 330m. Similarly, Nicosia exceeds 360m deep and Ankara approaches 275m deep borehole. This pattern is seen as the influence of climatic extremes. In northern regions, the significant heating demand of buildings and the extended heating season necessitate excessive heat extraction from the ground. In contrast, southern regions have high cooling demands for building acclimatization, which necessitates substantial heat rejection to the ground from the building. In both cases, deeper boreholes are required than in the other cities to ensure long-term thermal balance of the ground and system reliability.

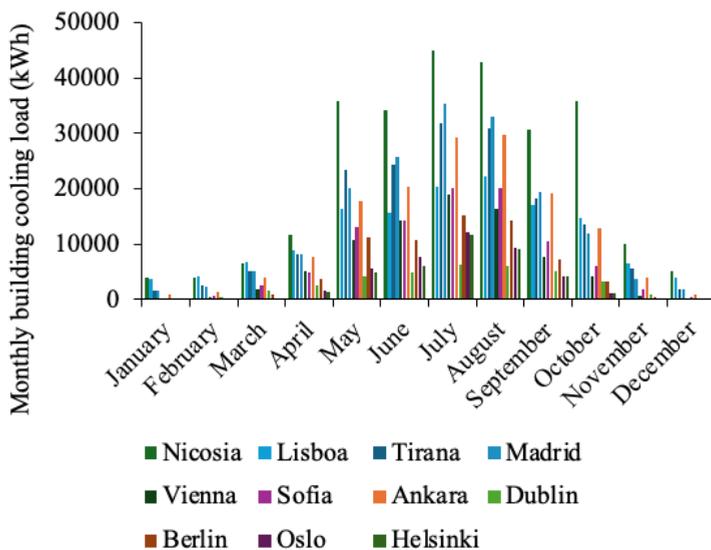


Figure 3 – Total monthly building cooling load in all cities.

In contrast, cities with more temperate climates, such as Lisbon, Madrid and Vienna, exhibit comparatively shallow borehole requirements (150–180 m). These locations benefit from a more balanced annual heating and cooling loads of the building. That helps to reduce the stress placed on the ground heat exchanger. Intermediate cases, represented by cities such as Sofia, Berlin and Dublin, required borehole depth to fall within the 190–210 m range, reflecting moderate but not extreme demand.

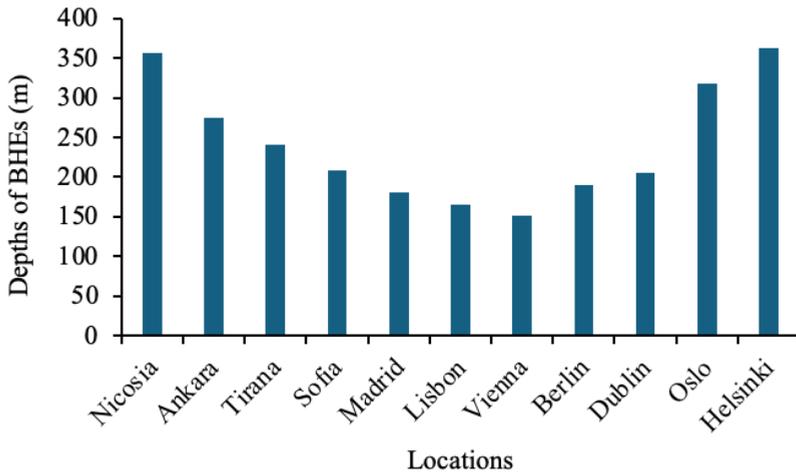


Figure 4 – Required BHE depths for a 20-year system design.

Fig. 5 illustrates the yearly energy consumption by heat pump in selected cities. The northernmost cities (Oslo and Helsinki) experience an extreme and prolonged period of heating demand, which requires more annual energy consumption for ground-source heat pumps. Whereas the Southern cities (Lisbon and Madrid), which experience balanced heating and cooling demand, consume less energy than other cities.

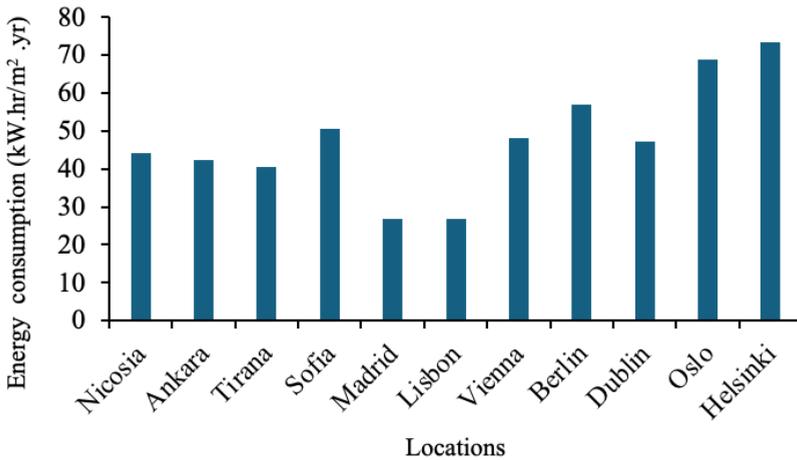


Figure 5 – Yearly energy consumption by heat pump in selected cities.

5 – CONCLUSIONS

This study highlights the significance of location and its climatic conditions in designing and determining the performance of BHEs within shallow geothermal systems. By comparing the required borehole depth and performance of BHEs in selected European capital cities, it reaffirms that uniform design and sizing approaches are applicable to some extent for ensuring efficient operation across diverse climatic regions. Instead, site-specific characterization of underground thermal properties is necessary for optimizing both BHE system performance and long-term sustainability. The results presented here are based on a 3×8 rectangular borehole field with 10 m spacing and the values were used only as an illustrative example. Further analyses with alternative field configurations and spacing values are currently underway as part of the thesis work.

ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the financial support of the Foundation for Science and Technology (FCT) through the project UID/6438/2025 of the research unit CERIS. They further acknowledge the support from the GeoSustained project (PTDC/ECI-CON/1866/2021).

REFERENCES

- ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE Standard 169-2021: Climatic data for building design standards. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Chicco, J. M., Giordano, N., Comina, C., & Mandrone, G. (2025). Performance Analysis of Different Borehole Heat Exchanger Configurations: A Case Study in NW Italy. *Smart Cities*, 8(4), 121.
- Roka, R. B., de Figueiredo, A. J. P., Vieira, A. M. C. P., & Cardoso, J. C. de P. (2023). A systematic review on shallow geothermal energy system: a light into six major barriers. *Soils and Rocks*, 46(1). <https://doi.org/10.28927/SR.2023.007622>
- Vieira, A., Alberdi-Pagola, M., Christodoulides, P., Javed, S., Loveridge, F., Nguyen, F., Cecinato, F., Maranhã, J., Florides, G., Prodan, I., Van Lysebetten, G., Ramalho, E., Salciarini, D., Georgiev, A., Rosin-Paumier, S., Popov, R., Lenart, S., Poulsen, S. E., & Radioti, G. (2017). Characterisation of ground thermal and thermo-mechanical behaviour for shallow geothermal energy applications. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122044>

Parte III

O APROVEITAMENTO EM CASCATA DO PÓLO DAS TERMAS DE SÃO PEDRO DO SUL – DOS APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS ÀS VÁRIAS APLICAÇÕES: TERMALISMO, BEM-ESTAR, PRODUTOS COSMÉTICOS, E HISTÓRICO-CULTURAIS

THE CASCADE USE OF THE TERMAS DE SÃO PEDRO DO SUL POLE – FROM GEOTHERMAL USES TO VARIOUS APPLICATIONS: THERMALISM, WELLBEING, COSMETIC PRODUCTS, AND HISTORICAL AND CULTURAL ATTRACTIONS

Ferreira Gomes, L. M., *Diretor Técnico das Termas de São Pedro do Sul, GeoBioTec@ubi, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, lmfg@ubi.pt*
Jorge, A., Ferreira, L., e Saraiva, F.; *Termalístur, Termas de São Pedro do Sul E. M. S.A., Portugal, anajorge@termas-spsul.com, lilianaferreira@termas-spsul.com*
Coelho Ferreira, P. J.; C. M. de Mêda, Mêda, Portugal, pedroferreira@cm-meda.pt
Pinto, Hugo A.S.; *GeoBioTec, Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal, hpinto@ubi.pt*

RESUMO

As Termas de São Pedro do Sul são um dos motores do desenvolvimento da região de Lafões na Zona Interior-Centro de Portugal. As atividades de termalismo e de outras associadas naquela Estância Termal, baseiam-se no uso de uma água subterrânea que ressurgue naturalmente quente, em dois setores: O Polo das Termas e o Polo do Vau. Devido às características singulares daquela água está oficialmente classificada como dois recursos: i) água mineral natural (AMN) com aplicações em termalismo e produção de produtos cosméticos; e ii) como recurso geotérmico (RG) para climatização de edifícios e aquecimento de águas sanitárias, e em climatização de estufas para produção de frutos tropicais.

A visita de estudo decorrerá no Polo das Termas, pois é aí que ocorrem as principais captações, e sistemas de exploração/monitorização associados, bem como os principais locais de uso em cascata daqueles recursos. Assim, haverá uma breve sessão de boas-vindas e apresentação dos principais elementos a visitar com apoio das mascotes das termas, “*Afonsinho e Amelinha*”, seguindo-se uma visita detalhada às captações e sistemas associados (Nascente Tradicional e Furo artesiano de 500m de

profundidade), seguindo-se a “experienciação físico-química” expedita local, das águas termais e dos sistemas de monitorização da vizinhança. Seguir-se-á a visita à Central Geotérmica, local de transferências de cargas térmicas e controlo de produção energética. De seguida visitar-se-á a sub-estação geotérmica do consumidor de energia Hotel do Parque. A visita prosseguirá para os balneários, iniciando-se pelo Balneário Rainha D^a Amélia, depois pelo Centro Termal - Balneário D. Afonso Henriques e por fim ao Museu Balneário Romano, onde se terá a oportunidade de observar elementos arquitetónicos, de entre outros, com cerca de 2000 anos de história, onde a água natural quente foi a principal responsável.

PERCURSO /PARAGENS PREVISTAS

Paragem 1

Auditório do Balneário Rainha D^a Amélia

Sessão de boas-vindas e apresentação dos principais elementos a visitar por “Afonzinho e Amelinha” (mascotes do CHGSPS, Fig.1). Serão efetuadas alusões aos elementos apresentados nas Figuras 2 a 9.



Figura 1 – Extrato de curto filme animado sobre a Água Mineral Natural e Recurso Geotérmico do CHGSPS (a partir de Termas de São Pedro do Sul, 2014).

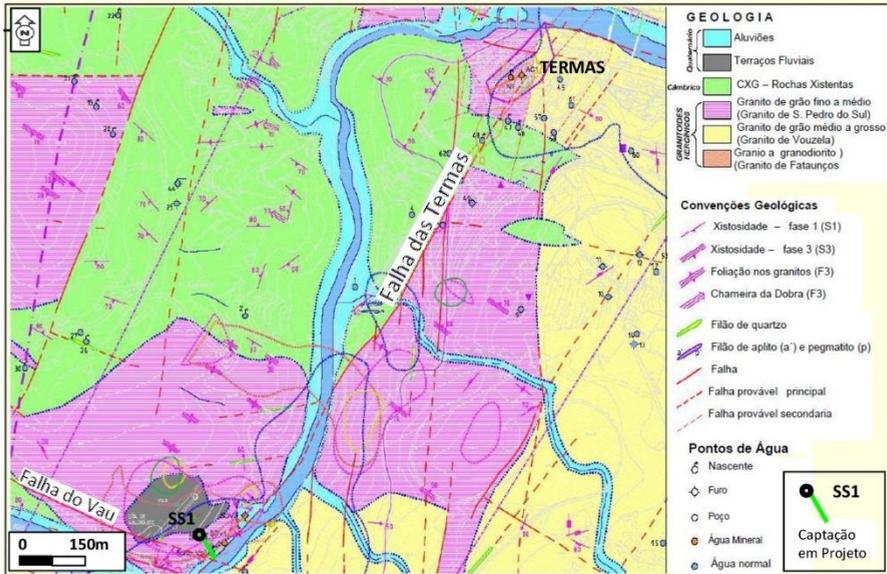


Figura 2 – Enquadramento geológico da área do CHGSPS (Ferreira Gomes, 2019).



Figura 3 – Relação entre os sistemas de fraturas registadas e as ressurgências naturais da zona da Nascente Tradicional das Termas de São Pedro do Sul (Ferreira Gomes, 2019).

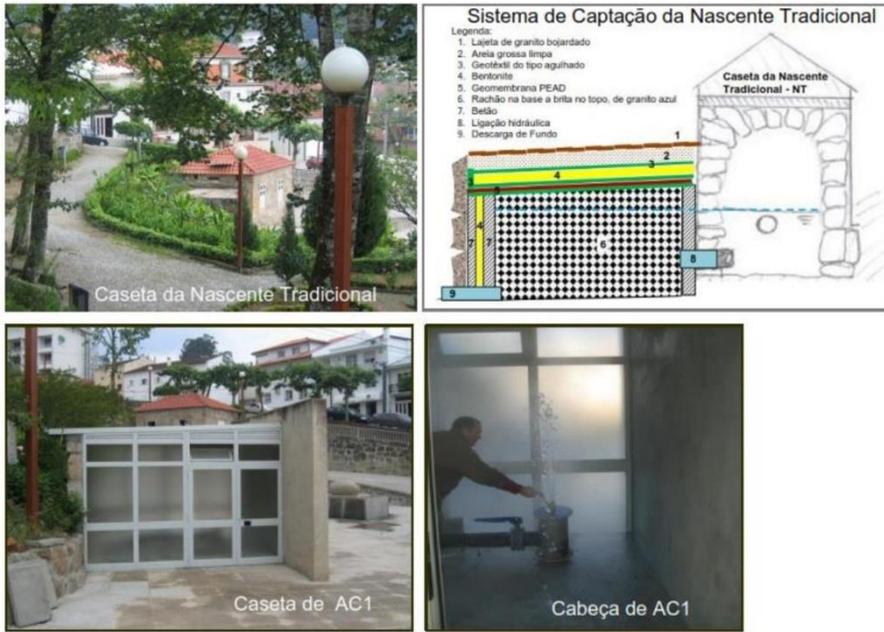
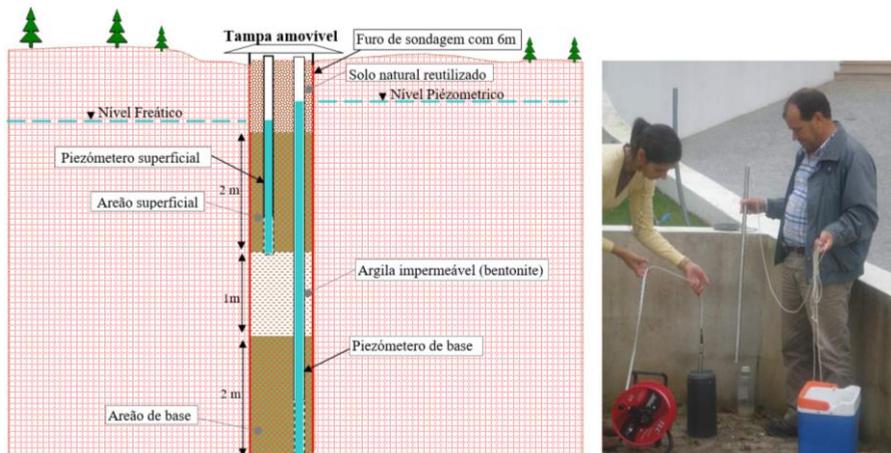


Figura 4 – Elementos dos sistemas de captação principais dos recursos geológicos do Polo das Termas do CHGSPS.



Paragem 2

Central Geotérmica e Sistemas Associados

Observação dos sistemas mecânicos transformadores de energia para aproveitamentos em climatização ambiental e aquecimento de águas sanitárias (Fig.6). Menciona-se que atualmente a Central Geotérmica encontra-se em obras no sentido de produzir energia com melhor eficiência, de modo a responder às recentes solicitações para abastecer mais consumidores.

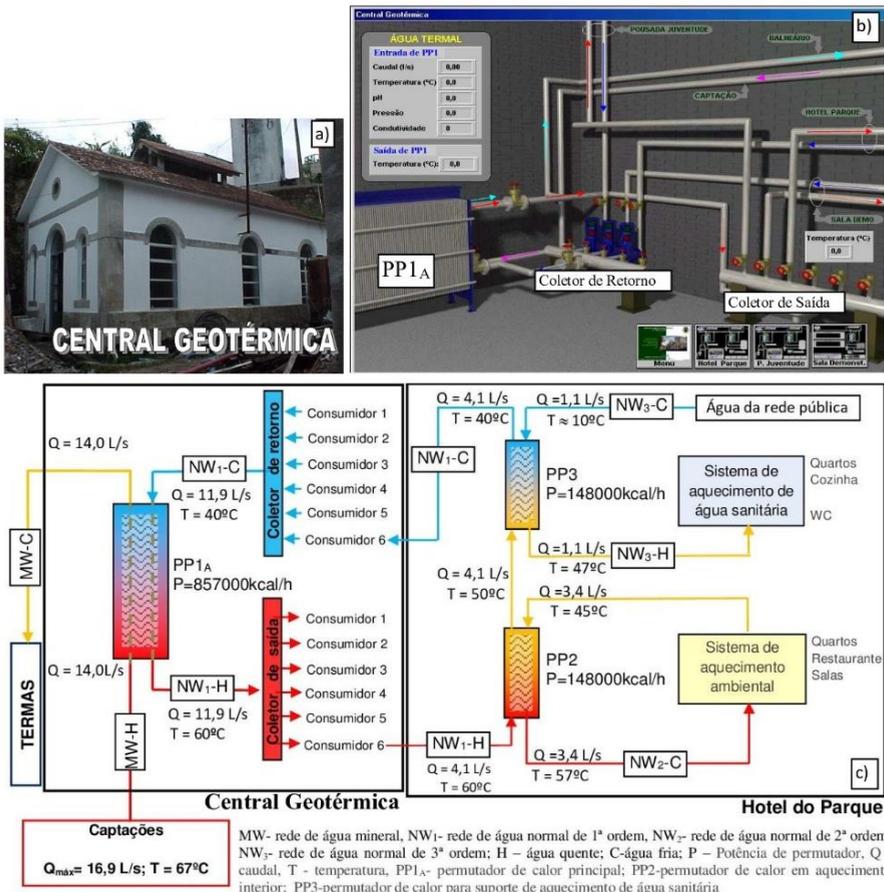


Figura 6 – Elementos sobre os aproveitamentos geotérmicos no Polo das Termas: a) imagem exterior da Central Geotérmica, b) imagem virtual didática de seu interior, e c) detalhes do melhor consumidor de energia (Hotel do Parque) ao longo dos anos.

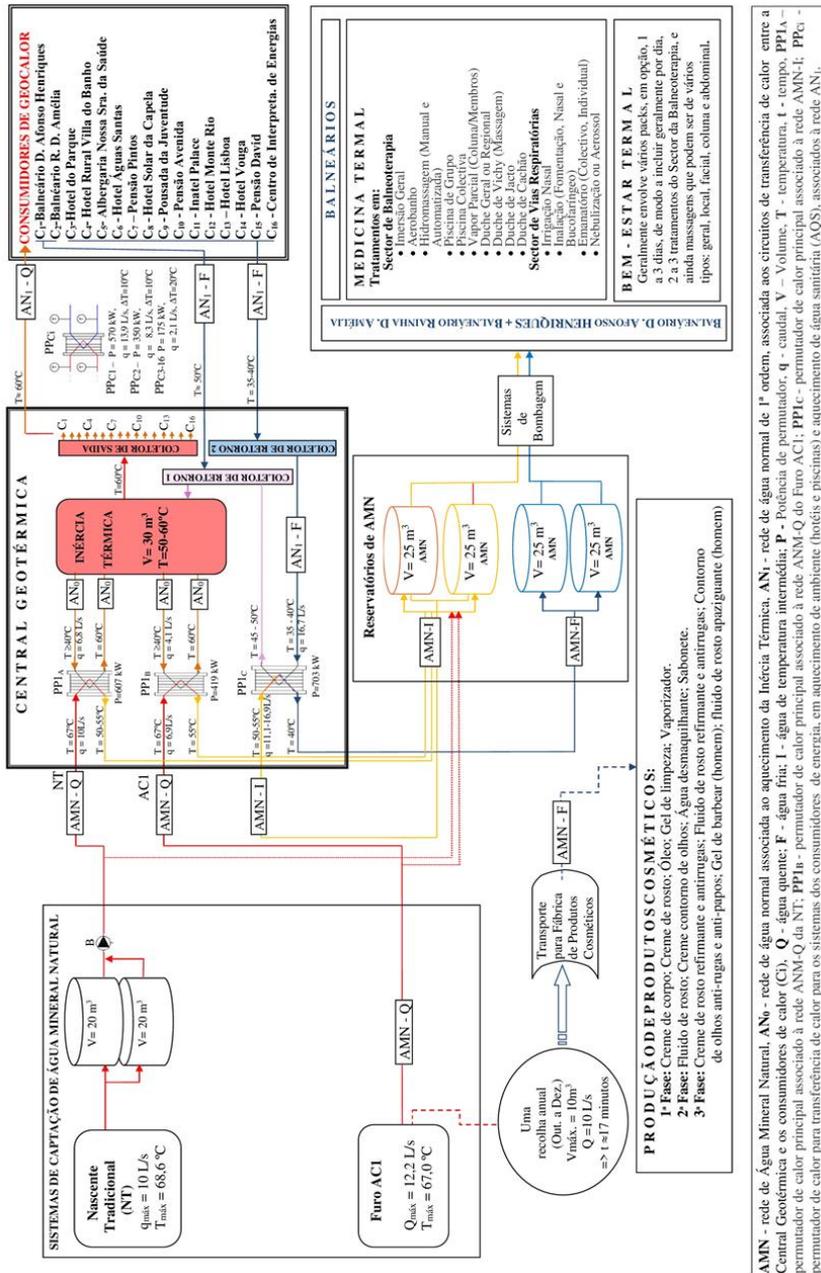


Figura 7 – Esquema de princípio do Plano de Exploração Global do Polo das Termas, com aproveitamentos geotérmico, medicinal, bem-estar e de produção de produtos cosméticos do CHGSPS (a partir de Ferreira Gomes, 2011; EcoTSPS, 2019).

Paragem 3

Balneários Termais e Sistemas do Plano de Exploração

Depois de uma explanação sucinta sobre o Plano de Exploração Global (Fig.7) aprovado superiormente pela DGE (Direção-Geral de Energia e Geologia), efetuar-se-á a visita ao Balneário Rainha D^a Amélia e ao Centro Termal – Balneário D. Afonso Henriques (Fig.8).



Figura 8 – Imagens dos Balneários em funcionamento das Termas de São Pedro do Sul.

Paragem 4

Museu/Balneário Romano

Observação e reflexão sobre elementos com cerca de 2000 anos de história (Fig.9), consequentes da água termal quente que a natureza ali facultou. Entende-se terminar a visita, nesta fase, com reflexões de como uma água tão especial, água sulfúrea quente, com origem em sistemas aquíferos muito profundos, se impôs num lugar que perdura ao longo dos tempos.



Figura 9 – Imagens do Museu – Balneário Romano das Termas de São Pedro do Sul (Ferreira Gomes e Carriço, 2022).

REFERÊNCIAS (de apoio à visita)

- Afonso de Albuquerque, F. J.R., Ferreira Gomes, L.M. & Miranda, A. B. (2013). Utilization of geothermal energy in a hotel in São Pedro do Sul – Portugal. *Proc. of the Int. Conference on Civil Engineering (Towards a Better Environment)*. Published by CI - Premier PTE LTD, Singapore, pp. CE 77- CE86.
- Almeida, S. M. S.; Ferreira Gomes, L.M.; Carvalho, P. E. M.; Sousa Oliveira, A. (2015). Contribution to the knowledge about hydrogeochemistry of São Pedro do Sul thermomineral system (N of Portugal). *Comunicações Geológicas*. 102 (I) pp.125-128. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/208>
- Almeida, S.M.S., Ferreira Gomes, L.M., Oliveira, A.S. & Carreira, P.M. (2017). Application of hydrochemistry and stable isotopes in the study of São Pedro do Sul thermomineral system (north of Portugal). *2nd International Interdisciplinary Conference on Mineral Waters*; Luso, 26-31 de março.
- Almeida, S., Ferreira Gomes, L.M., Oliveira, A. & Carreira, P. (2022). Contributions for the Understanding of the São Pedro do Sul (North of Portugal) Geohydraulic and Thermomineral System: Hydrochemistry and Stable Isotopes Studies), *Geosciences*, 12, 84, 16p. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020084>
- Cariço, A.P.S., Ferreira Gomes, L.M. & Barros Gomes, J.J. (2014). Metamorfoses do espaço termal ao longo do tempo. O caso das Termas de S. Pedro do Sul (Portugal). *7º Con. Luso-Moçambicano de Engenharia. Inhambane/Moçambique*, 14-18 de abril. Resumo alargado, em Livro, Ed. Silva Gomes J F, António CC, Afonso CF e Matos AS, pp.81-82. Artigo Nº A033732, 14p.
- EcoTSPS (2019). Projeto Eco Termas de S. Pedro do Sul - Promoção da Utilização da Energia geotérmica. "Termalistur-Termas de S. Pedro do Sul, E.M.S.A.". Projeto financiado no âmbito do FAI, Fundo de Apoio à Inovação, Aviso 05/2018. Memória Descritiva, 76p, 1 Desenho - Esquema de Princípio dos Sistemas Geotérmicos.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007). Aproveitamento Geotérmico em Cascata em São Pedro do Sul. *Boletim de Minas*, 42 (1), pp.5-17.
- Ferreira Gomes, L.M. (2011). Revisão do Plano de Exploração: aproveitamento para produção de produtos cosméticos a partir da água mineral. Termas de São Pedro do Sul. Relatório Interno, 26p.
- Ferreira Gomes, L.M. (2019). Termas de São Pedro do Sul: outros aproveitamentos da água termal que não terapêuticos. *Geonovas*, 32 (1), pp.3-21.

- Ferreira Gomes, L. M. & Albuquerque, F.J.A. (1998). A Utilização em Multiusos da Água Mineral-termal do Campo Geotérmico de S. Pedro do Sul. *4º Congresso da Água*. Lisboa APRH. p. 243 de Relatos e Resumos e 14 p. em CD, paper 062.
- Ferreira Gomes, L.M. & Albuquerque, F. J. R.A. (2015). Aproveitamentos geotérmicos no Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul – Elementos Globais. Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial (PPGS); *NEWSLETTER* (2), pp. 4-5.
- Ferreira Gomes, L.M., Albuquerque, F. J. A & Fresco, H. (2001). Protection areas of S.Pedro do Sul Spa, Portugal. *Engineering Geology*, Vol. 60 (1-4), 341-349. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00114-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00114-9)
- Ferreira Gomes, L.M., Alves, J., Jorge, A. & Gonçalves, L. (2022a). Territory Occupation in the Protection Perimeter Area of the São Pedro do Sul Medical Spa - The Situation of the New Aquatic Leisure Equipment of Hotel do Parque (Portugal), WMCAUS 2022, *7th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium*, 13-17 June, 2022 – Prague (Czech Republic).
- Ferreira Gomes, L.M. & Carriço, A. (2022). The spa space over time - the case of the São Pedro do Sul medical spa (Portugal). *AIP Publishing; AIP Conf. Proc.*; Vol. 2574 (1) 1-10; <https://doi.org/10.1063/5.0106525>
- Ferreira Gomes, L. M. & Carriço A. P. S. (2023). The problem of land occupation in the Protection Perimeter area of groundwater abstractions for medical spas: the case of São Pedro do Sul medical spa (Portugal). *Proc.Int. Cong. on Environmental Geotechnics*; Ed.: Baser et al., D. ARGO-E GROUP, Athens, Greece. Vol.5, pp.149-158. <https://doi.org/10.53243/ICEG2023-225>
- Ferreira Gomes, L.M.; Jorge, A.; Rodrigues, L. (2021). Good practices of quality control in the area surrounding of natural mineral water abstraction of São Pedro do Sul medical spa (Portugal), *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*; 906 012092, 10p., <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/906/1/012092/pdf>
- Ferreira Gomes, L.M., Soares Almeida, S.M. & Sousa Oliveira, A. (2023). Estudos hidrogeoambientais na resolução de problemas para a manutenção da qualidade da água mineral natural das Termas de São Pedro do Sul. *18º Cong. Nac. de Geotecnia: Geotecnia e Alterações Climáticas*. Évora, EU, SPG, Atas - E. Book, Ed.: Duarte et.al.; pp.67-78.
- Ferreira Gomes, L. M., Tavares Jorge, A. I. S., Gonçalves, L. F. & Soares Almeida, S. M. (2022b). Chemical quality of rainwater and surface runoff water in the proximity of the abstractions that supply the São Pedro do Sul medical spa (Portugal). *Water Quality - New Perspectives*, Edited by Sadik Dincer; IntechOpen, 32 p. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.107164>; <https://www.intechopen.com/online-first/83911>

- Ferreira Gomes, L. M., Trota, A.P.N, Sousa Oliveira, A. & Soares Almeida, S. M. (2017a). Reservoir considerations and direct uses of São Pedro do Sul hydromineral and geothermal field, northern Portugal. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*; 95 022018; 9p; [doi:10.1088/1755-1315/95/2/022018](https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/2/022018)
- Ferreira Gomes, Trota, A.P.N. & Afonso de Albuquerque, F. J. R. (2017b). Experience Gained on Direct Use of Low Enthalpy Energy in Hotel do Parque, S. Pedro do Sul, Portugal. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*; 95 022017; 7p.; [doi: 10.1088/1755-1315/95/2/022017](https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/2/022017)
- Haven, H., Konings, R., Schoonen, M., Jansen,S., Vriend, S., Van Der Weijden, C. & Buitenkamp, J. (1985). Geochemical Studies in the Drainage Basin of the Rio Vouga (Portugal): II. A Model for the Origin of Hydrothermal Water in the Vouzela Region", *Chemical Geology*, (51) 225- 238.
- Pereira, E. & Ferreira, N. (1985). Geologia regional e controlo estrutural das nascentes termais de S. Pedro do Sul. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 71, (1). Pp.17-25.
- Termas de São Pedro do Sul (2014). As fantásticas águas termais de São Pedro do Sul. Filme didático animado sobre o Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul: Produtor: Nuno Soares, Textos: Ana Jorge e Liliana Ferreira, Figurantes: Paula Sena, Joana Pinto e Miguel Pinto; Realização: Catarina Afonso, Direção e Produção 3D: Francisco Nogueira; Consultora 3D: Helena Duarte; Animação Personagens: Pedro Oliveira; Operador de Câmara /Edição: Marco Neiva; Sound Design: Duarte Araújo; Voice Acting: Peter Michael, Mónica Chaby, Tiago Matias; Consultor Técnico: L. Ferreira Gomes. Apoios: Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro; QREN, Quadro de Referência Estratégico Nacional, Portugal 2007-2013; União Europeia, Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional; 9 minutos. Ligação: https://www.youtube.com/watch?v=riLK80_kn8I

Anexos

PROGRAMA FINAL

10 de outubro, 2025

9h30 | **SESSÃO DE ABERTURA**

Ana Paula Duarte, Reitora da Universidade da Beira Interior – UBI

Carla Lourenço, Diretora de Serviços Hidrogeológicos e Geotérmicos, em representação de Diretor-Geral de Energia e Geologia – DGEG

Teresa Cristina Sobrinho, Vereadora, em representação de Presidente da Câmara Municipal de São Pedro do Sul

João Barbosa, Secretário-Geral, em representação do Presidente da Associação de Termas de Portugal – ATP

Cláudia Pinto, Presidente da Comissão Portuguesa de Geotecnia Ambiental, em representação do Presidente da Soc. Portuguesa de Geotecnia – SPG

Fernando Rocha, Coordenador da Unidade de Investigação GeoBioTec – UA

Luís M. Ferreira Gomes, Presidente do Seminário de Geotermia 2025 – UBI

10h15 | **SESSÃO I: GEOTERMIA – ASPETOS GLOBAIS E CONCEITUAIS**

Moderadores: L.M. Ferreira Gomes & João Figueira

O projeto do Livro: energia geotérmica em Portugal - situação atual e desafios para o futuro

José Alcântara da Cruz; *Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG)*

Aspetos Didáticos e Conceptuais Sobre Energia Geotérmica

Elsa Cristina Ramalho; *Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)*

Ana Vieira; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*

A Geotermia em Portugal Continental e Seu Enquadramento Legislativo

Carla Lourenço; *Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG)*

11h15 | **Coffee break**

11h30 | **SESSÃO II: GEOTERMIA EM ALTA ENTALPIA**

Moderadores: Pedro Madureira & Pedro Ferreira

Geotermia nos Açores

João Carlos Nunes; *INOVA- Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores*
António Franco; *EDA Renováveis, S.A.*
Graça Rangel; *EDA Renováveis, S.A.*
Rita Martins; *EDA Renováveis, S.A.*
Maria do Rosário Carvalho; *Departamento de Ciências da Terra e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*

12h00 | **SESSÃO III: GEOTERMIA EM MÉDIA ENTALPIA**

Moderadores: Alcino de Sousa Oliveira & Joaquim Guedes

Aproveitamento Geotérmico de Chaves

Rui Nogueiro; *Câmara Municipal de Chaves*
Joaquim Esteves; *Gestão de Equipamentos Municipais*

Aproveitamentos Geotérmicos em São Pedro do Sul

Luís Ferreira Gomes; *Diretor Técnico, Termas de São Pedro do Sul*
Ana Jorge; *Direção Operacional, Termalístur - Termas de São Pedro do Sul, E.M.*
Liliana Gonçalves; *Técnica Superior de Bioquímica, Termalístur - Termas de São Pedro do Sul, E.M., S.A.*

Aproveitamento Geotérmico das Termas de Longroiva

Pedro Coelho Ferreira; *Câmara Municipal de Mêda*
Luís Ferreira Gomes; *Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, UBI*

13h00 | **Almoço**

14h30 | **SESSÃO IV: GEOTERMIA EM BAIXA ENTALPIA – GEOTERMIA SUPERFICIAL**

Moderadores: Ana Vieira & António Figueiredo

Os Sistemas Geotérmicos na Universidade de Aveiro e Outros

José Lapa; *UA/Diretor-Geral de Ferreira Lapa Lda.*

O Aproveitamento Geotérmico de Ombria Resort (Algarve)

Pedro Madureira; *Synege*
João Figueira; *Geogradiente*

Sistemas Geotérmicos no IPS, 20 Anos de Desenvolvimento

Luís Coelho; *IPS, MARE – Marine and Environmental Sciences Centre*

15H30 | SESSÃO V: AVANÇOS EM GEOTERMIA – EXEMPLOS DE INVESTIGAÇÃO

Moderadores: João Figueira & Miguel Inácio

Potencial EGS/HDR da Região Centro e Norte de Portugal

Alcides Pereira; *Departamento de Ciências da Terra (UC)*

Luís Neves; *Departamento de Ciências da Terra (UC)*

Potencial Geotérmico da Ilha da Madeira

Susana Prada; *IVAR e Universidade da Madeira*

José Cruz; *IVAR e Universidade dos Açores*

António Brum da Silveira; *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*

Celso Figueira; *Instituto das Florestas e Conservação da Natureza*

O Potencial Geotérmico dos Sistemas Aquíferos Profundos das Bacias Sedimentares de Lisboa-Setúbal

Maria do Rosário Carvalho; *Departamento de Ciências da Terra e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*

Paula Carreira; *Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico*

Rayco Marrero-Díaz; *C.N. IGME – CSIC*

Contribuição Para a Produção de Eletricidade em Portugal Continental a partir de Aproveitamentos em Cascata

Peter Källberg; *Sylvander Trading, Estocolmo, Suécia e Gaucín, Espanha*

Luís Ferreira Gomes; *Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, UBI*

O Potencial da Trigeração em Centros Termiais: O Uso do Geocalor Desperdiçado, para a Obtenção de Frio

Pedro Barandier; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, UBI*

Alexandre Miranda; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, UBI*

António Marques Cardoso; *CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, UBI*

Permutador de Calor “Ar-Solo” Aplicação na Regulação Térmica de Armários de Telecomunicações e Estufas Agrícolas

Luís Carvalho Pires; *C-MAST - Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, UBI*

Pedro Dinho Silva; *C-MAST - Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, UBI*

Luís Ferreira Gomes; *GeoBioTec@UBI - Geobiosciences, Geoengineering and Geotechnologies, UBI*

Comportamento Térmico e Termomecânico de Solos

Ana Vieira; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*

João Figueira; *Geogradiente*

Viabilidade de Sistemas de Geotermia Superficial Baseados em Estruturas Geotécnicas Termoativas

Peter Bourne-Webb; *CERIS, Instituto Superior Técnico, IST*
Teresa Bodas Freitas; *CERIS, Instituto Superior Técnico, IST*
Diogo Venâncio; *Arup, Irlanda*

A 5ª Geração de Redes Térmicas Urbanas e a Geotermia Superficial

João Figueira; *Geogradiente*

Cartografia Geotérmica à Escala do Município como Instrumento de Planeamento e Ordenamento do Território

Cláudia Pinto; *Câmara Municipal de Lisboa, FCUL*
Miguel Inácio; *Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa*

Sistemas Geotérmicos Portugueses: Abordagens Integradas e Desafios Futuros

José Marques; *Instituto Superior Técnico, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA)*
Paula Carreira; *Instituto Superior Técnico, Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN)*

17h00 | **Coffee break**

17h15 | **SESSÃO VI: MESA REDONDA: EXPERIÊNCIA E RESULTADOS DE PROJETOS EM VELOCIDADE DE CRUZEIRO**

Moderador: Cláudia Pinto, Câmara Municipal de Lisboa, SPG, CTGA, GTGS

- Hotel do Parque – Congress & Spa: A Energia Geotérmica Utilizada a partir da Central Geotérmica de São Pedro do Sul, por José Nicolau, Hotel do Parque
- O Aquecimento de edifícios em Chaves, por Joaquim Esteves, Gestão de Sistemas Geotérmicos, Câmara Municipal de Chaves
- Utilização de Geotermia Superficial na Indústria Vinícola, por João Sousa, *Green Building Energy Efficiency Lab Tech (BEELT)*
- O papel do conhecimento académico na inovação e disseminação dos sistemas geotérmicos, por António Figueiredo, Universidade de Aveiro

18h00 | **SESSÃO DE ENCERRAMENTO**

Mário Marques Freire, Presidente da Faculdade de Engenharia, FE-UBI

António Albuquerque, Presidente do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, DECA-UBI

Luís Andrade Pais, Delegado Distrital da Ordem dos Engenheiros, de Castelo Branco, em Representação do Senhor Bastonário da Ordem dos Engenheiros - OE

Claúdia Pinto, Presidente da Comissão Portuguesa de Geotecnia Ambiental, CPGA - SPG

Pedro Madureira, Coordenador do Grupo de Trabalho de Geotermia Superficial, GTGS - CPGA - SPG

Luís Manuel Ferreira Gomes, Presidente do SG25, GTGS - CPGA - SPG, UBI

Nota: Em paralelo às sessões orais do dia 10 de outubro, decorre uma exposição de Posters, sobre as várias temáticas, resultantes dos Resumos Alargados, propostos livremente pela comunidade técnica/científica das áreas em discussão, que fazem parte integral do Livro de Atas SG25.

20h00 | **Jantar de confraternização**

11 de outubro, 2025

VISITA TÉCNICA AO APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO EM CASCATA DE SÃO PEDRO DO SUL

Coordenadores: Luís Ferreira Gomes, Ana Jorge, Liliana Ferreira, Fátima Saraiva, Pedro Ferreira & Hugo A.S. Pinto

08h30 | **Saída da Covilhã: Hotel D^a Maria/Mélia** (Transporte em autocarro)

10h30 | Encontro na Entrada do Balneário Rainha D^a Amélia

10h40 | Sessão de Enquadramento da Visita, no Auditório do Balneário Rainha D^a Amélia

11h00 | Visita às Captações de Água Mineral Natural Quente – Nascente Tradicional e Furo AC1 de 500m

11h30 | Observação de Sistemas de adução/armazenagem e Sistemas de monitorização externa.

11h45 | Visita à Central Geotérmica

12h20 | Visita a uma subestação geotérmica de um operador privado – Hotel do Parque

12h45 | **Almoço – Hotel do Parque**

14h00 | Visita aos Balneários Termiais (com passagem, de entre outros, no Núcleo Museológico do Balneário Rainha D^a Amélia, e Piscinas do Balneário D. Afonso Henriques).

15h00 | Visita ao Museu/Balneário Romano

16h00 | **Saída – Autocarro** (Hotel do Parque)

18h00 | Covilhã (Hotel D^a Maria/Mélia)

LISTA DE PARTICIPAÇÕES / INSCRIÇÕES

Alcides José Sousa Castilho Pereira	Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra	ajscpereira@gmail.com
Alcino de Sousa Oliveira	Universidade de Trás-os- Montes e Alto Douro	solveir@utad.pt
Alexandra Cordeiro Ferreira	Câmara Municipal de Lisboa	dina.rodrigues@cm-lisboa.pt
Ana Jorge	Termalstur EM, S.A. / Apoio – Staff Organização	anajorge@termas-spsul.com
Ana Paula Coelho Duarte	Universidade da Beira Interior – Reitora	apcd@ubi.pt
Ana Maria Vieira	Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC	avieira@lnec.pt
Andrea Camblor Suero	BRASELI Tubos y Accesorios S.A.U.	a.camblor@braseli.com
António J. Carvalho de Albuquerque	Universidade da Beira Interior – FE/DECA/GeoBioTec	antonio.albuquerque@ubi.pt
António M. de Carvalho Soares Correia	Universidade de Évora	correia@uevora.pt
António José Pereira de Figueiredo	Universidade de Aveiro	ajfigueiredo@ua.pt
António João Marques Cardoso	UBI/DEM/CISE – Electr. Systems Research Centre	ajmc@ubi.pt
Carla Lourenço	Direção-Geral de Energia e Geologia – DGEG / GTGS	carla.lourenco@dgeg.gov.pt
Carla Midões	Direção-Geral de Energia e Geologia – DGEG	carla.midoes@dgeg.gov.pt
Carlos Anunciação Marques	Sondamar, Furos de Captação de Água e Bombagem	geral@sondamar.pt
Carlos Díaz-Silveira Santos	Muovitech Ibérica	carlos.diaz@muovitech.com
Carlos Martins Mendes	SULIS / Malhada Quente / Monchique	fontesantadamalhadaquente@gmail.com
Carlos Figueiredo Nicolau	Hotel do Parque – Congress & Spa – São Pedro do Sul	cnicolau@hoteldoparque.pt
Carlos Pinto Marques	Sondamar, Furos de Captação de Água e Bombagem	geral@sondamar.pt
Catarina Gomes da Costa	Câmara Municipal Sta. Comba Dão / Termas do Granjal	catarina.costa@cm-santacombadao.pt
Claúdia Pinto	Comissão Portuguesa de Geotecnia Ambiental – CPGA	claudia.pinto@cm-lisboa.pt
Daniel Fernandes Lourenço	GDTP / Palacedouro	montalvia@gmail.com

Elisabete Lourenço Rodrigues	GDTP / Termas de São Vicente	geral@termasdesaovicente.pt
Elsa Cristina Ramalho	Lab. Nacional de Energia e Geologia – LNEG / GTGS	elsa.ramalho@lneg.pt
Enrique Aracil Ávila	ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL SUBSUELO, S.L. (AGS)	e.aracil@ags-geofisica.com
Eric Mendes	OBJECTIVU, Consultoria Geoambiental, Lda.	e_mendes@hotmail.com
Ernesto da Silva Rodrigues	Câmara Municipal de Castro Daire / Termas do Carvalhal	ernestorodrigues@cm-castrodaire.pt
Fernando Lage Ladeira	DeltaTau – Sondagens e Estudos Geotécnicos	ladeira.fernando@gmail.com
Fernando Tavares Rocha	Universidade de Aveiro – GeoBioTec	tavares.rocha@ua.pt
Filipa Lopes Batista	Câmara Municipal de Lisboa	dina.rodrigues@cm-lisboa.pt
Maria da Graça Vaz de Medeiros Rangel	EDA Renováveis – Eletricidade dos Açores	mrangel@edar.pt
Gumercindo D' Oliveira Lourenço	Grupo Desenvolvimento Termas de Portugal – GDTP	geral.gdtp@gmail.com
Hugo Filipe Batista Ferreira	Quinta da Valgode SPS	hugo_ferreira_2004@hotmail.com
Hugo Pimenta	Ecoforest	hugo.pimenta@ecoforest.com
Hugo A.S. Pinto	Universidade da Beira Interior – FE/DECA/GeoBioTec	hpinto@ubi.pt
João Pinto Barbosa	ATP – Termas de Portugal	sgeral@termasdeportugal.pt
João de Sousa Figueira	SYNEGE / GEOGRADIENTE – Soluções Geotérmicas / GTGS	jfigueira@geogradiente.pt
João Martins	SYNEGE	jlmartins@synege.pt
João Sousa	Green Beelt Consult SA – Green Building Energy	joao.sousa@greenbeelt.onmicrosoft.com
Joaquim Esteves	Câmara Municipal de Chaves	joaquimesteves.termas@chaves.pt
Joaquim Guedes	GEOTEC – Estudos Geotécnicos e Hidrogeológicos, Lda.	geotec.lda@gmail.com
Jónatas Rodrigues	SYNEGE	jrodrigues@synege.pt
José Alcântara da Cruz	Direção-Geral de Energia e Geologia – DGEG	jose.cruz@dgeg.gov.pt
José Marques Lapa	Ferreira Lapa Lda. – Universidade de Aveiro / GTGS	jlapa@ua.pt

José Luís Gonçalves	Águasmil – Soc. Exploradora de Águas Subterrâneas, Lda.	aguasmile@gmail.com
José Manuel Barbosa Marques	Universidade de Lisboa, IST – Instinto Superior Técnico	jose.marques@tecnico.ulisboa.pt
José Nicolau	Hotel do Parque – Congress & Spa	jnicolau@hoteldoparque.pt
José Niel Simões	Câmara Municipal de São Pedro do Sul	jose.simoese@cm-spsul.pt
Juan de la Fuente	BRASELI Tubos y Accesorios S.A.U.	j.fuente@ferrosystems.com
Kevin R. Castro Cañon	UBI/GeoBioTec/DECA – Dep. de Eng.ª Civil e Arquitetura	kevin.castro.canon@ubi.pt
Leonardo P. Marchiori	UBI/GeoBioTec/DECA – Dep. de Eng.ª Civil e Arquitetura	leonardo.marchiori@ubi.pt
Liliana Caria Oliveira	Câmara Municipal de Lisboa	dina.rodrigues@cm-lisboa.pt
Liliana Gonçalves Ferreira	CMSPS / Termalitur EM, S.A.	lilianafferreira@termas-spsul.com
Luís Carlos Carvalho Pires	UBI, C-MAST, DEM – Dep. de Engenharia Eletromecânica	pires@ubi.pt
Luís Manuel Rodrigues Coelho	IPS / MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / GTGS	luis.coelho@estsetubal.ips.pt
Luís Filipe Gonçalves	Águasmil – Soc. Exploradora de Águas Subterrâneas, Lda.	goncalves.luisfilipe92@gmail.com
Luís M. Ferreira Gomes	Universidade da Beira Interior – FE/DECA/GeoBioTec/GTGS	lmfg@ubi.pt
Luís José Andrade Pais	UBI/FE/DECA/GeoBioTec OE – Ordem dos Engenheiros	ljap@ubi.pt
Mafalda M. Miranda	GRAnalytics, Lda., Leiria	mafalda.a.m.miranda@gmail.com
Mafalda Pais	Câmara Municipal Castro Daire / Termas de Castro Daire	mafaldapais@termasdocarvalho.com
Manuel Antunes da Silva	Consultor em Hidrogeologia	dirteportugal@gmail.com
Maria Rosa Alves Duque	Universidade de Évora	mrada@uevora.pt
Maria Vitoria Vieira de Moraes	UBI/DECA – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura	vitoria.morais@ubi.pt
Marina Sousa Paiva	TARH – Terra, Ambiente e Recursos Hídricos, Lda.	marina.paiva@tarh.pt
Mário Marques Freire	Universidade da Beira Interior - FE	mariof@ubi.pt
Miguel Filipe Oliveira Inácio	Câmara Municipal de Lisboa / SPG	miguel.inacio@cm-lisboa.pt

Miguel Mendonça	TriunfoVivo, Lda.	miguel.mendonca@triufovivo.pt
Orlando Serra Ferreira	Quinta da Valgode SPS	vislenha@sapo.pt
Pedro Caldas W. Barandier	UBI/DEM – Departamento de Engenharia Eletromecânica	pedro.barandier@ubi.pt
Pedro Coelho Ferreira	Câmara Municipal de Mêda / Termas de Longroiva	pedroferreira@cm-meda.pt
Pedro Madureira	SYNEGE / GEOGRADIENTE – Soluções Geotérmicas/GTGS	pmadureira@geogradiente.pt
Peter Källberg	Sylvander Trading, Stockholm, Sweden and Gaucin, Spain	peter.kallberg@sylvander.pt
Rafael Casais Figueiredo Almeida	Câmara Municipal de São Pedro do Sul	rafael.almeida@cm-spsul.pt
Rajendra Babu Roka	Universidade de Aveiro	rajendraroka@ua.pt
Raquel Rosa	Universidade da Beira Interior – UBI	raquel@ubi.pt
Ricardo Filipe Robalo	Universidade do Minho	ricardo.f.robalo@gmail.com
Rita Martins de Carvalho	Câmara Municipal de Caldas da Rainha	rita.carvalho@tarh.pt
Rui Carreira Pires	GRAnalytics, Lda., Leiria	rui.pires.carreira@gmail.com
Sandra Isabel Duarte Miguel	UBI/DECA – Dep. de Engenharia Civil e Arquitetura	sandra.miguel@ubi.pt
Sandra Marques	Sondamar, Furos de Captação de Água e Bombagem	geral@sondamar.pt
Teresa Sobrinho	Câmara Municipal de São Pedro do Sul	teresa.sobrinho@cm-spsul.pt
Valter Goes da Silva	Câmara Municipal do Fundão / Termas da Touca	valter.silva@cm-fundao.pt
Vanessa Santos Alvané Gonçalves	UBI/GeoBioTec/DECA – Dep. de Eng.ª Civil e Arquitetura	alvane.goncalves@ubi.pt

