

# PADRÃO TÉRMICO DE UMA SUPERFÍCIE E PERFIL TÉRMICO EM PROFUNDIDADE CASO DE UM CAMPO GEOTÉRMICO

Mário Talaia<sup>(1)</sup>, Helena Resendes<sup>(2)</sup> e Félix Rodrigues<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, mart@ua.pt

<sup>(2)</sup> Esc. Secundária Domingos Rebelo, Ponta Delgada, S. Miguel, Açores

<sup>(3)</sup> Departamento de Ciências Agrárias, Univ. dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores

## 1. Introdução

Foi há mais de 30 anos que se iniciou a dar ênfase à Educação Ambiental e foi com o Relatório de Brundtland (1987), que define o desenvolvimento sustentável como “um desenvolvimento que responde às necessidades do presente, começando por aquelas dos mais desprotegidos, sem comprometer a capacidade das gerações futuras a responder às suas necessidades”, que a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas se referiu ao conceito de desenvolvimento sustentável, afirmando que um desenvolvimento sem melhoria da qualidade de vida das sociedades não poderia ser considerado como desenvolvimento.

No processo de implementação do desenvolvimento sustentável a Educação é, de facto, a principal ferramenta que se dispõe para atingir o paradigma do Desenvolvimento Sustentável.

Ao instituir a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2015) a UNESCO revela preocupações com o desenvolvimento e pretende, deste modo, melhorar a qualidade do ensino, facilitar a troca de experiências entre os diversos actores envolvidos e fazer com que haja uma maior atenção pública relativa a este assunto.

É nesta perspectiva que se seleccionou uma região da Ilha de São Miguel do Arquipélago dos Açores, Portugal, para avaliar fluxos de energia e fazer a sua contextualizar em ambiente de sala de aula. A Energia é uma temática que não é muito confortável em termos de investigação e ensino. Assim, a nossa contribuição pode ser considerada oportuna.

É sabido que as Caldeiras das Furnas são uma área de manifestações vulcânicas diversas, de onde brotam géisers de água fervente e lamas medicinais e que a tranquila e romântica Lagoa das Furnas, espelho do céu, com obras únicas no seu perfil, conta com autênticas “cozinhas naturais”, de onde se obtém o famoso Cozido das Furnas (enterrado no solo), sendo este um dos ex-libris desta terra.

Os depósitos das caldeiras das Furnas podem ser observados nas margens da lagoa das Furnas, no

meio de um extenso campo a que chamamos “plataforma”.

Todas estas caldeiras naturais e fumarolas estão situadas no interior da grande cratera das Furnas.

Portugal é rico em excelentes águas mineromedicinais, algumas com elevado carácter termal. A sua diversidade é grande em termos das propriedades físicas e químicas.

No Vale das Furnas, na ilha de São Miguel, no arquipélago dos Açores existem mais de duas dúzias de nascentes de carácter hipertermal, mesotermal e hipotermal (Zbyszewski *et al.*, 1958, 1971). Junto a algumas dessas nascentes existem também lamas que são utilizadas localmente para tratamentos de certas doenças. Os mais antigos registos da utilização da água em banhos e abluções datam de 4000 anos A.C., na Índia. No séc. V, A.C., Hérodoto distinguiu o potencial terapêutico das águas com alto teor de minerais e procurou sistematizá-las e relacionar as acções dessas águas com a época do ano. Foram os romanos que desenvolveram os banhos públicos, acumulando conhecimentos sobre as acções e os tipos de água.

Quem visita o Vale das Furnas fica maravilhado com o que ali é possível observar. Junto à Lagoa das Furnas existe uma “plataforma” que é usada para vários fins, sendo a mais divulgada a “cozinha natural” ou “fornos naturais”.

Questões problema podem ser levantadas. A explicação dos fenómenos observados, em laboratório natural e céu aberto, pode permitir um melhor ensino / aprendizagem. Partilhamos da convicção que este ensino fora do contexto de sala de aula através de actividades exteriores à sala de aula é mais eficaz por desenvolver competências e cultivar uma “banda larga” de conhecimento científico. De facto, aprender passa por participar activamente nas actividades.

Nesta perspectiva, na visita efectuada ao Vale das Furnas, surgiu a questão problema:

Porque razão as “cozinhas naturais” são localizadas em determinadas áreas da “plataforma”?

Para responder, pensamos numa primeira actividade experimental a que chamamos “ padrão térmico de uma região”.

## 2. Padrão térmico de uma região

Nesta actividade pretende-se conhecer como se situam as isotérmicas (linhas caracterizadas com a mesma temperatura) numa região e como este padrão pode ser usado no ensino.

Estudamos uma região, onde estão localizados algumas “cozinhas naturais” com uma área superior a 600 m<sup>2</sup> e de forma rectangular (comprimento superior a 30 m e uma largura superior a 20 m) por conveniência do terreno.

Como conhecer e estudar o padrão das isotérmicas à superfície terrestre?

Os materiais e instrumentos de medida usados foram: fio norte “tipo sapateiro”, fita métrica, termómetros de mercúrio, diversos termopares, multímetro, sensores de temperatura, termohigrómetro, martelo de bola e pedras de marcação (postos de observação, distanciados uns dos outros de 3 m). A colecção de dados foi registada nos dias 6, 7 e 8 de Fevereiro de 2008.

A Figura 1 mostra parte da região de observação e de estudo. No lado esquerdo da figura é visível um “forno natural”, sem tampa.



Fig. 1. – Região investigada – uma vista parcial

A Figura 2 mostra um dos instrumentos de medida, usado, denominado termopar de profundidade.



Fig. 2. – Termopar de profundidade

A Figura 3 mostra a marcação da “grelha” dos postos de observação e um primeiro teste de registo.



Fig. 3. – Grelha de marcação de postos de observação e teste de registo

As Figuras 4 e 5 mostram fases de medição em postos de observação diferentes. É interessante a diferença de temperaturas que se regista em postos de observação. Estes valores serão a base para se “criar” o cenário de um padrão térmico da superfície investigada.



Fig. 4. – Registo de temperatura, 36,0 °C, num posto de observação



Fig. 5. – Registo de temperatura, 96,7 °C, num posto de observação

## 2.1 Resultados e discussão

Os dados registados para os diferentes postos de observação permitiram criar um ficheiro de dados usando a Microsoft Excel.

Um padrão térmico da região seleccionada, com cerca de 600 m<sup>2</sup>, foi determinado a partir do uso da ferramenta MATLAB versão 7.1.

Na Figura 6 mostra-se o resultado obtido para um primeiro cenário de padrão.

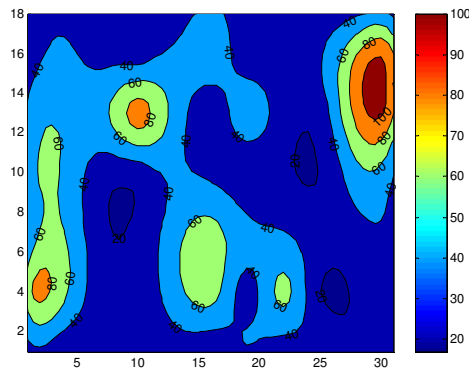


Fig. 6. – Padrão da superfície seleccionada: dia 6 de Fevereiro às 17 horas

De notar que tinha chovido e que a superfície terrestre estava húmida. Esperava-se obter isotérmicas de valor inferior ao de um dia com superfície seca e de céu limpo. As isotérmicas indicadas na figura mostram de forma inequívoca o que a observação visual poderia traçar.

A zona à esquerda definida até à cota de abcissa cerca de 5 e até à cota de ordenada cerca de 14 mostra uma “ilha de calor” cuja temperatura superficial atinge valores próximos de 80 °C. Nesta zona estão localizados três “fornos naturais”. Existe um quarto “forno natural” na cota de ordenada cerca de 18.

O cenário do padrão térmico obtido, parece mostrar que três dos quatros “fornos naturais” estão mal implantados.

Cerca da cota 30 de abcissa e no corredor da cota de ordenada existem vários “fornos naturais”. A “ilha de calor” que se observa é de céu aberto com água quente onde não se podem localizar “fornos naturais”. Nesta ilha a observação visual pode admirar a grande taxa de evaporação que se regista.

A Figura 7 mostra o resultado obtido para a segunda recolha de dados. A superfície terrestre apresentava um aspecto mais seco. As linhas da figura confirmam a existência de isotérmicas com valor superior ao do dia anterior.

Como se esperava o padrão térmico encontrado está em concordância com o primeiro registo, valorizando por isso algumas considerações anteriormente referidas.

A Figura 7 sugere entre a cota de abcissa 20 à 25 zonas de “ilha de calor” e susceptíveis de serem bons “fornos naturais”.

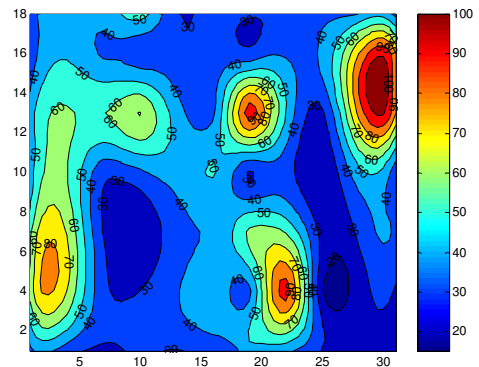


Fig. 7. – Padrão da superfície seleccionada: dia 7 de Fevereiro às 11 horas

O dia 8 de Fevereiro foi favorecido com condições de tempo bastante diferente.

O céu durante a manhã apresentava-se limpo ou seja sem nebulosidade. A radiação solar directa interceptada pela superfície de estudo permitiu a evaporação de água presente na superfície terrestre tornando-a no início da tarde com um aspecto mais seco.

Esperava-se obter um padrão muito próximo da realidade, em que a presença de água não condicionasse o deslocamento espacial e o valor das isotérmicas. Para este dia adoptou-se, por conveniência, o registo de dados para as 15 e 16 horas. A Figura 8 mostra o resultado obtido para a terceira recolha de dados e para as 15 horas.

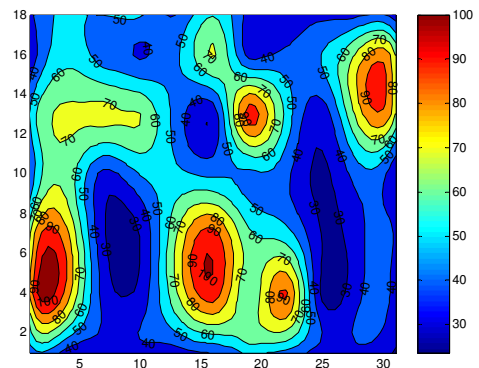


Fig. 8. – Padrão da superfície seleccionada: dia 8 de Fevereiro às 15 horas

A Figura 9 mostra o padrão obtido para as 16 horas. A observação visual do padrão térmico obtido para o dia 8 de Fevereiro, às 15 e 16 horas, é semelhante e confirma os padrões anteriormente obtidos com um tempo atmosférico diferente.

Assim, podemos concluir que a região estudada deverá apresentar alguma dinâmica da temperatura muito próxima do padrão obtido para o dia 8.

A observação visual confirma as conclusões anteriormente obtidas e indicia uma sub-região localizada nas cotas de abcissa entre cerca de 13 e 23 e de ordenada entre cerca de 3 a 8, e uma sub-

região localizada nas cotas de abcissa entre cerca de 17 a 23 e de ordenada entre 11 e 15. Interessante é o facto de que nestas sub-regiões não foram implantados “fornos naturais”, e que há “fornos naturais” que foram implantados mas que a sua eficiência energética foi posta em causa.

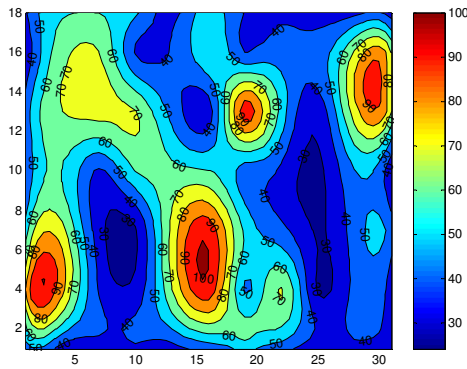


Fig. 9. – Padrão da superfície seleccionada: dia 8 de Fevereiro às 16 horas

A sub-região definida pelas cotas de abcissa entre cerca de 4 a 10 e de ordenada entre 12 e 14 parece indicar uma zona possível de instalação de “fornos naturais”.

### 3. Importância das isotérmicas – padrão da densidade do ar à superfície

A unidade temática Mudança Global faz referência ao clima e à previsão de tempo.

A questão que se pode colocar é a seguinte. Que relação existe entre o padrão térmico encontrado para determinada região e a unidade temática Mudança Global?

É sabido que o parâmetro meteorológico temperatura faz parte daqueles que permitem definir o clima de determinada região. As isotérmicas traçadas numa carta de superfície são análogas ao padrão térmico traçado no Vale das Furnas. Nestes termos, o que se faz para o continente português é o mesmo que se fez no Vale das Furnas. No nosso caso, cada registo de um posto de observação corresponde a um registo da temperatura do ar de uma estação meteorológica clássica ou automática, oferecendo diferentes padrões, função da altura do ano.

O aluno passa a entender a importância da existência de uma “grelha” de estações meteorológicas espalhadas sobre o território nacional.

Se agora, considerarmos a temperatura do ar a 50 mm acima do solo no Vale das Furnas e se considerarmos uma pressão próxima de uma atmosfera (é uma hipótese aceitável em termos de estudo), é possível introduzir uma nova questão problema: Será que é possível avaliar a densidade do ar a 50 mm acima da superfície terrestre e conhecer como essa variação pode condicionar correntes de convecção?

Considere-se que a atmosfera ao nível 50 mm acima da superfície terrestre apresenta a mesma temperatura do solo. Esta aproximação é correcta e aceitável, pois o teste de registo efectuado mostrou que os valores registados são próximos.

Considerando que a pressão parcial de vapor se pode desprezar em face da pressão atmosférica (é uma boa aproximação para o estudo da atmosfera) resulta

$$p = \rho_a R_a T \quad (1)$$

ou

$$\rho_a = \frac{p}{R_a T} \quad (2)$$

em que  $p \cong 10^5$  Pa,  $R_a = 287$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> e  $T = T_{ar} + 273$  K.

As Figuras 10 e 11 mostram para o dia 6 e 7 a massa volúmica do ar para a mesma região de estudo.

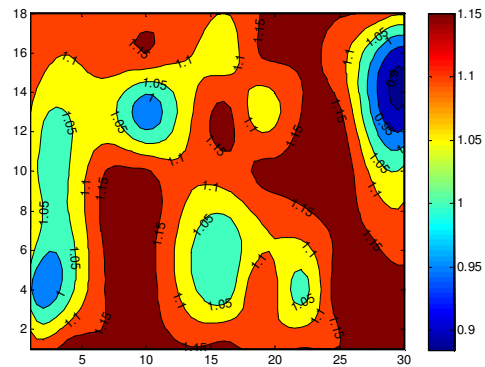


Fig. 10. – Padrão da massa volúmica do ar: dia 6 de Fevereiro

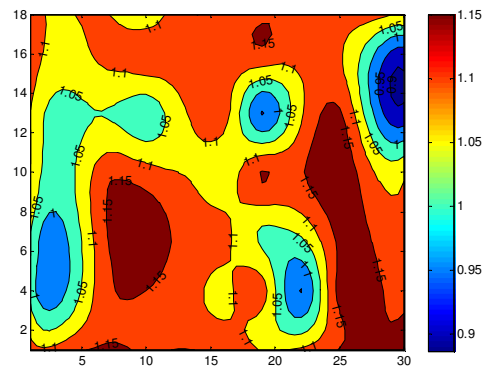


Fig. 11. – Padrão da massa volúmica do ar: dia 7 de Fevereiro

Como era esperado, nas zonas em que existem “ilhas de calor” a massa volume do ar é inferior e nas zonas mais frias a massa volúmica do ar é superior. Esta situação pode ser explicada, tendo em consideração a *capacidade térmica mássica* do solo. Considerando esta como constante, para diferentes quantidades de energia fornecidas registam-se

diferentes aumentos de temperatura. A camada de ar adjacente é influenciada por essa temperatura. Maiores temperaturas tornam as camadas mais “leves” o que acontecendo geram uma zona de baixa pressão. Menores temperaturas tornam as camadas mais “densas” geram uma zona de alta pressão.

A circulação do ar será das zonas de maior massa volúmica para as zonas de menor massa volúmica, ou seja de um centro de alta pressão para um centro de baixa pressão. Nestas circunstâncias o ar é obrigado a ascender na zona das “ilhas de calor” onde a massa volúmica do ar é menor criando as chamadas correntes de convecção ascendentes. O contrário se dá para as zonas mais frias, a corrente é descendente.

As Figuras 12 e 13 mostram o padrão da massa de ar para dois registos do dia 8 de Fevereiro. A observação visual confirma o padrão para a massa volúmica do ar para a região em estudo.

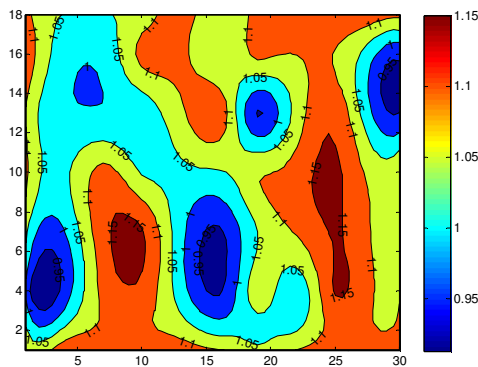


Fig. 12. – Padrão da massa volúmica do ar: dia 8 de Fevereiro (1º registo)

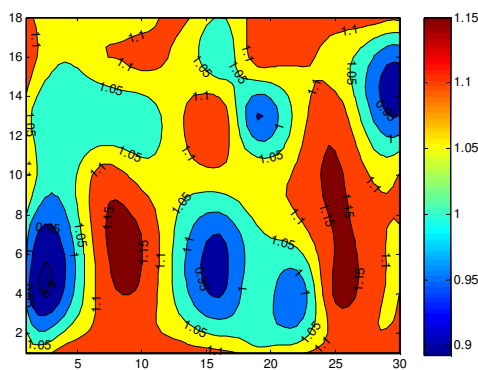


Fig. 13. – Padrão da massa volúmica do ar: dia 8 de Fevereiro (2º registo)

#### 4. Perfil térmico em profundidade de um “forno natural”

Nesta actividade pretende-se conhecer como varia a temperatura em profundidade de um “forno natural”. No Vale das Furnas o solo é um meio de intensa actividade físico-química, biológica e térmica.

Como anteriormente referido, o padrão térmico do solo à superfície ao longo do ano permite adoptar

estratégias para se obterem os melhores “fornos naturais” que condicionam um tempo de cozedura não demasiado longo. Por exemplo, segundo opiniões locais, cada “forno natural” tem as suas próprias performances de cozedura de alimentos. Um bom forno permite que um *cozido à portuguesa* esteja “pronto” em cerca de seis horas.

Assim, para se conhecer o perfil térmico em profundidade, ao longo do ano, seria necessário instalar vários termómetros de profundidade a diferentes níveis. Como em geral a profundidade dos “fornos naturais”, para a preparação de cozidos, usando duas panelas, é cerca de 100 cm, os termómetros poderiam ser localizados em quatro níveis de profundidade (50 mm, 200 mm, 500 mm e 1000 mm). A técnica de instalação seria igual a que se usa nas estações meteorológicas clássicas para se conhecer o perfil térmico de uma região ao longo do ano (dá boas indicações para o momento das sementeiras ou plantações, de acelerar ou retardar o desenvolvimento de culturas, de controlar certas doenças das plantas, etc.), de acordo com Talaia e Amorim (2002).

A partir da análise dos perfis térmicos em pontos de observação devidamente seleccionados numa grelha, seria possível conhecer o padrão térmico em profundidade. Os resultados permitiriam implantar os “fornos naturais” nos melhores locais. Se, eventualmente, a transferência de energia sob a forma de calor alterasse, o que se considera normal, facilmente se adoptaria nova estratégia de implantação.

É sabido que a capacidade de absorção de energia, a capacidade térmica mássica e a condutividade calorífica de um solo dependem da sua cor, textura e teor em matéria orgânica. Solos arenosos aquecem e arrefecem mais rapidamente do que os outros, em virtude da areia apresentar uma menor capacidade térmica mássica e maior condutividade calorífica.

Uma questão problema surge:

Como o conhecimento do “clima” de um solo pode ajudar a implantar “fornos naturais”, como o caso do Vale das Furnas?

Para responder à questão, realizámos varias actividades usando registos, em diferentes “fornos naturais”, à superfície e no interior do forno (ao nível da superfície e em profundidade).

As Figuras 14 e 15 mostram a recolha de dados usando um sensor de temperatura de profundidade em dois “fornos naturais”.

Em termos gerais, os “fornos naturais” têm uma profundidade de cerca de 900 mm. Para aumentar a capacidade energética alguns “fornos naturais” tinham a cerca da metade da profundidade (450 mm) 5 furos de alimentação de vapor (uniformemente distribuídos) e a cerca de 800 mm de profundidade 4 furos de alimentação de vapor (uniformemente distribuídos). O fundo é de terra e a parede lateral é de manilha de betão. O diâmetro interno da manilha

é variável entre 580-620 mm com uma espessura de cerca de 60 mm.



Fig. 14. – Registo de dados num “forno natural”



Fig. 15. – Um “forno natural” – fase de recolha de dados

Em função da profundidade do “forno natural” é possível colocar no forno uma ou duas panelas de cozinho. Uma tampa de madeira é usada para tapar a boca do forno, que depois é coberta com alguma terra. Os materiais ou utensílios necessários para as tarefas são: um carro de mão, terra, uma pá, uma enxada e um tirante apropriado de ferro.

As Figuras 16 e 17 mostram o início da abertura de um “forno natural” coberto de terra onde se observam dois termopares e a tampa do forno já sem terra.



Fig. 16. – Um “forno natural” – temperatura na tampa

O “forno natural” que se mostra na Figura 16 não estava implantado na zona que se avaliou o padrão térmico da superfície, por isso não se podem comparar valores registados de temperatura. Por estar em funcionamento (é um forno que é usado por um restaurante local – por curiosidade, o nosso almoço passou por “provar” esse excelente cozido) aproveitamos a sua abertura para fazer registos de temperatura.



Fig. 17. – Um “forno natural” – tampa sem terra

Nas Figura 18, 19 e 20 mostramos, a título de exemplo, valores da temperatura registados em diferentes momentos e na abertura da tampa. Os valores da temperatura mais altos estão associados a “tomadas” ou saídas de vapor.



Fig. 18. – Temperatura à superfície – tampa (87,8 °C)

Para se conhecer o perfil térmico em profundidade da região investigada usaram-se alguns “fornos naturais” que estavam implantados.

Para a recolha de dados usaram-se os seguintes materiais e instrumentos de medida: fita métrica e diversos termopares de profundidade.

Sempre que oportuno, registaram-se as temperaturas de saída de vapor de água nos buracos feitos na parede da manilha de betão.

Para um “forno natural”, a Figura 21 indica o perfil térmico em profundidade, da atmosfera interior ao forno. Chama-se a atenção que o forno não estava a

ser usado e que a sua atmosfera interior estava em contacto directo com a atmosfera “livre”.

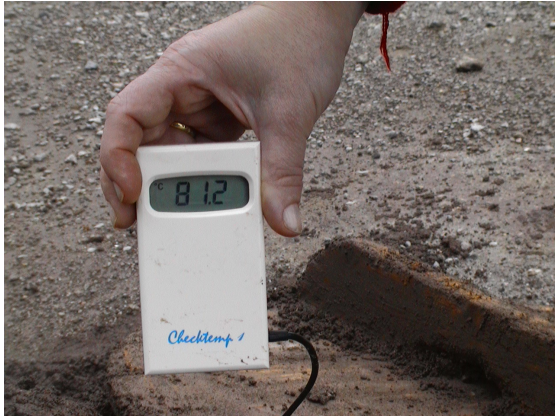


Fig. 19. – Temperatura no forno – após abertura (81,2 °C)



Fig. 20. – Temperatura no forno – após abertura (64,2 °C)

Os pontos circulares a “negro” representam valores médios medidos, no nível correspondente, para a atmosfera interior no forno. A linha traçada de cor “negra” mostra que a temperatura aumenta em profundidade. O ponto circular a “caramelo” indica a temperatura exterior do forno à superfície (profundidade de 50 mm). Como seria esperado, a temperatura registada na terra (exterior ao forno) é superior (uma diferença de 3,5 °C) à temperatura medida (ao mesmo nível) no interior do forno.

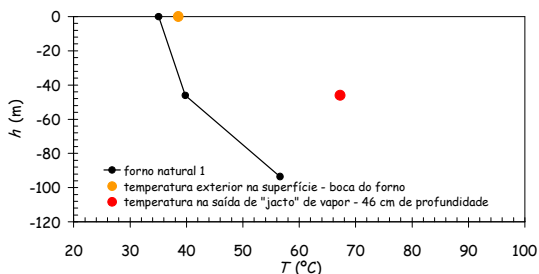


Fig. 21. – Características térmicas dum “forno natural”

Esta situação indica que há transferência de energia, em forma de calor, do exterior (da terra e por condução através da parede da manilha de betão) para o interior do forno, cuja parede interior está em

contacto directo com a atmosfera do forno. O ponto circular a “vermelho” indica a temperatura registada a um nível de 460 mm de profundidade. A temperatura registada é diferente da registada e indicada pelo ponto circular a “negro”, porque refere-se a uma saída de vapor. Estas saídas são feitas na manilha de betão em níveis estratégicos (normalmente metade da profundidade do forno – ajuda quando se usam duas painelas) para aumentar a transferência de energia (deixa de haver só condução através da parede da manilha de betão).

A diferença de temperatura registada a um nível de 460 mm (ponto a “vermelho” e ponto a “negro”) é de 27,5 °C. De notar que esta diferença se justifica pois ao nível do fundo a temperatura medida não esta relacionada com nenhum jacto de saída de vapor. A temperatura interior medida à superfície é influenciada pela temperatura da atmosfera livre e pela alimentação do vapor em profundidade.

A Figura 22 mostra diferentes perfis térmicos em profundidade para diferentes “fornos naturais”.

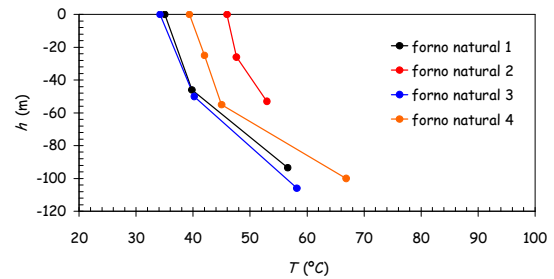


Fig. 22. – Perfis térmicos para diferentes “forno naturais”

Os fornos referenciados de 1 a 3 localizam-se na área de estudo (avaliação da padrão térmico à superfície). O forno natura 4 localiza-se numa outra área e só é apresentado por ter uma profundidade cerca de metade do que é habitual. É um forno natural que apenas permite que seja usada uma painela, não dispondo de “furos” ou jactos de vapor de alimentação.

### 5. Considerações finais

A partir da colecção de dados recolhida durante três dias seguidos foi possível apresentar um cenário para um padrão térmico da região estudada. Foram detectadas zonas com temperaturas altas, iniciando “ilhas de calor”. Estas zonas da “plataforma” sugerem a melhor implantação de “fornos naturais”. Considerando que a atmosfera adjacente à superfície terrestre é influenciada pela dinâmica de trocas de energia apresentou-se um cenário para correstes de convecção quando se considera a massa volúmica do ar.

A partir da análise de dados para um forno natural, que não estava a ser usado, apresenta-se um perfil térmico em profundidade.

Por último, para se tomarem decisões baseadas num padrão térmico e perfil térmico em profundidade seria interessante realizar um estudo para o Vale das

Furnas durante um ano. Esta estratégia iria permitir conhecer a dinâmica da temperatura e as zonas onde deveriam ser implantados os melhores “fornos naturais”.

### **Referências**

Brundtland, G. (1987). Our Common Future. Report. World Commission on Environment and Development.

Talaia, M.A.R. and Amorim, A.H. (2002). *Contribution for a Better Understanding in Soil Temperature*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Meeting EEGS-ES Environmental and Engineering Geophysics, CDROM, ISBN 972-789-071-7, Aveiro, 425-429.

Zbyszewski, G., Almeida, F.M., Ferreira, O.V. e Assunção, C.T. (1958). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000 – Notícia explicativa da Folha B, S. Miguel (Açores)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Zbyszewski, G., Medeiros, A.C., Ferreira, O.V. e Assunção, C.T. (1971). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000 – Notícia explicativa da Folha da Ilha Terceira*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.