

# **GEOTERMIA**

## **Energias renováveis**

Miguel Centeno Brito

## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Aproveitamentos de

- alta entalpia
- baixa entalpia

[ENTALPIA]  **$H = U + PV$**

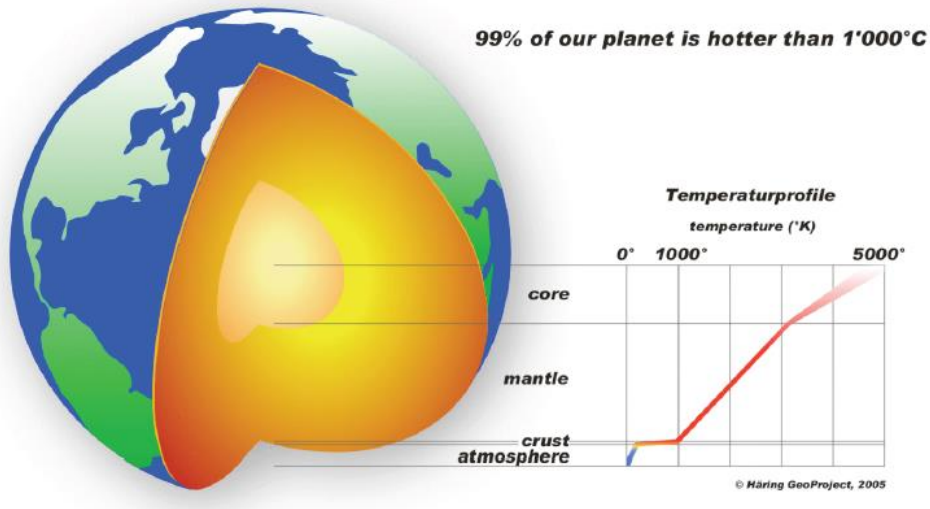
energia de um sistema termodinâmico que pode ser extraída sob a forma de calor, inclui energia interna e energia armazenada no conjunto sistema-vizinhança

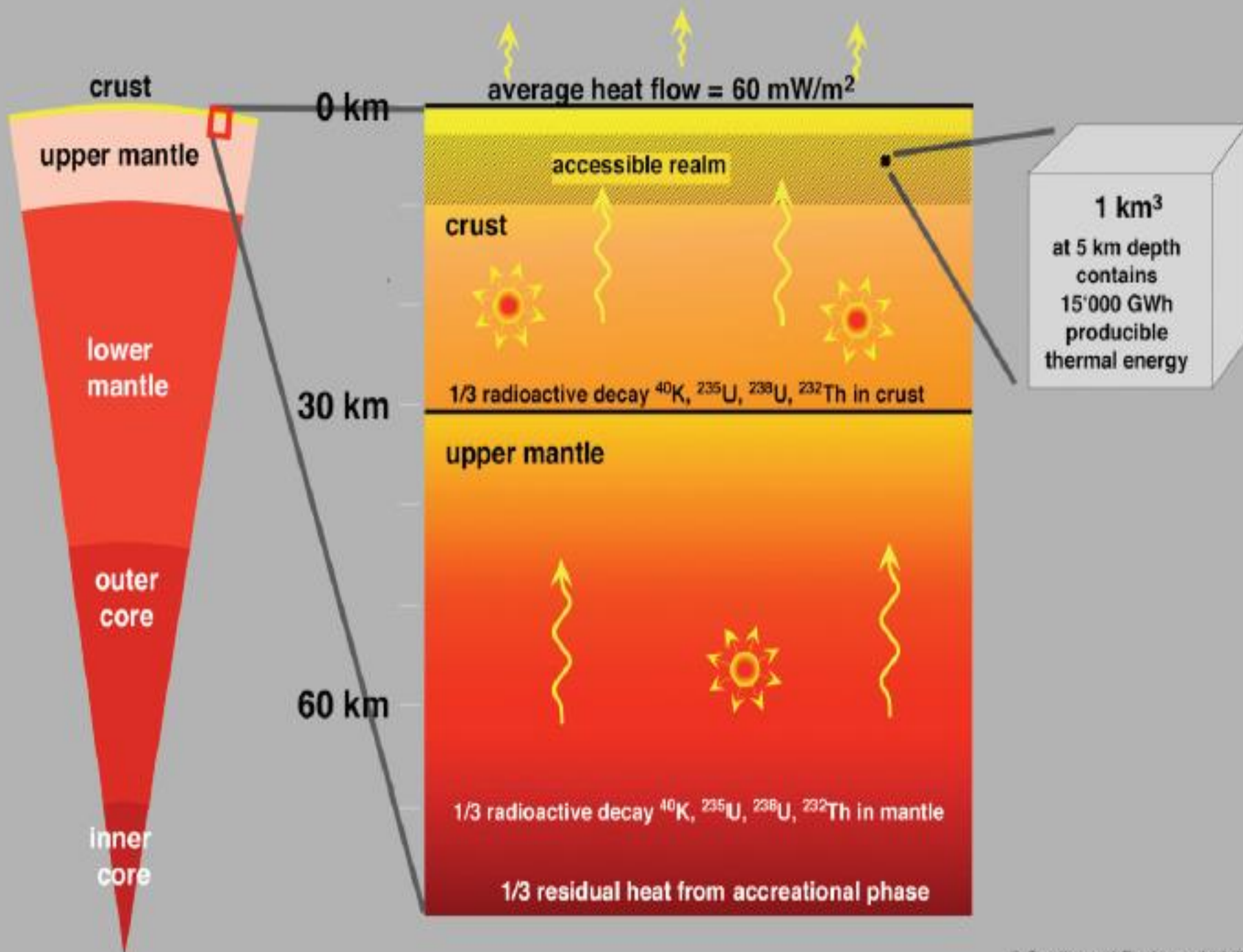
## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Calor proveniente de

- **centro** da Terra
- decaimento **radioactivo** de elementos na crosta





## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Calor proveniente de

- **centro** da Terra
- decaimento **radioactivo** de elementos na crosta

Fluxo de calor médio:

**Sob os continentes: 0.06 W/m<sup>2</sup>**

**Sob os oceanos: 0.01 W/m<sup>2</sup>**

Gradiente típico:

15-20 k/km

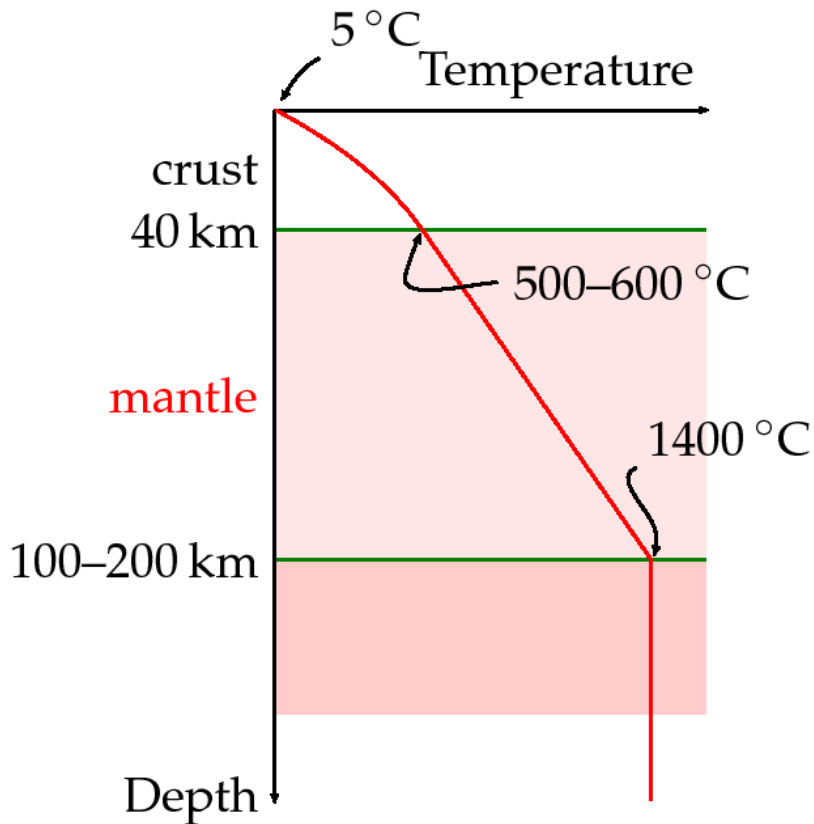
Condutividade térmica:

2.5-3-5 W/m/K

Localmente, intrusões magmáticas podem aumentar fluxo de calor significativamente. Em algumas zonas atinge-se 0.1 W/m<sup>2</sup>.

## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.



Gradiente típico:

15-20 k/km

Condutividade térmica:

2.5-3-5 W/m/K

## **Energia geotérmica**

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

**Será uma fonte renovável de energia?**

**Será uma fonte sustentável de energia?**

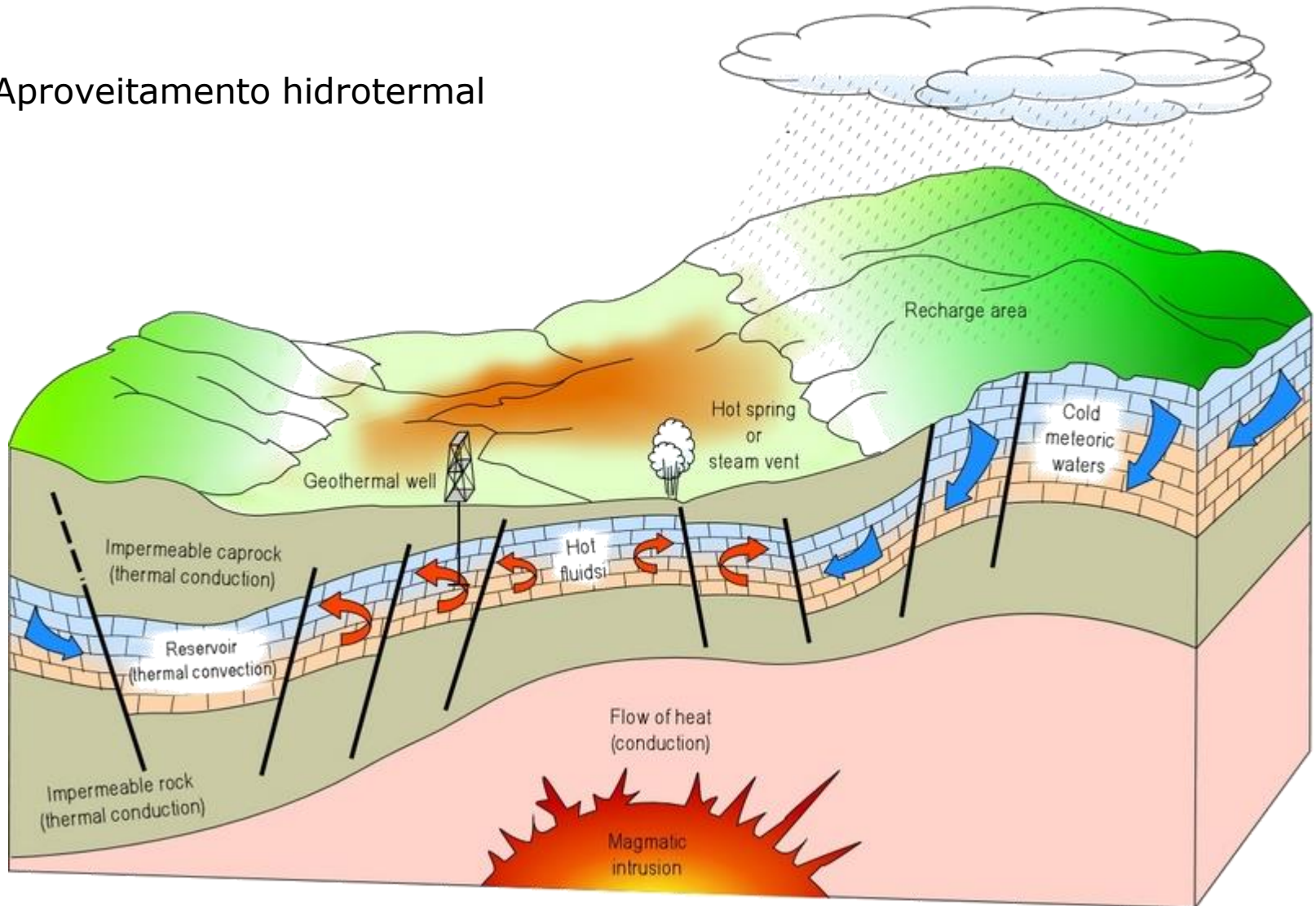
**Baixa densidade energética mas  
'sempre ligado'**

### **Tipos de recursos geotérmicos:**

- hidrotermais – água quente ou vapor em aquíferos, a alta pressão
- água salgada com metano dissolvido sob pressão
- rocha quente
- magma

# Energia geotérmica

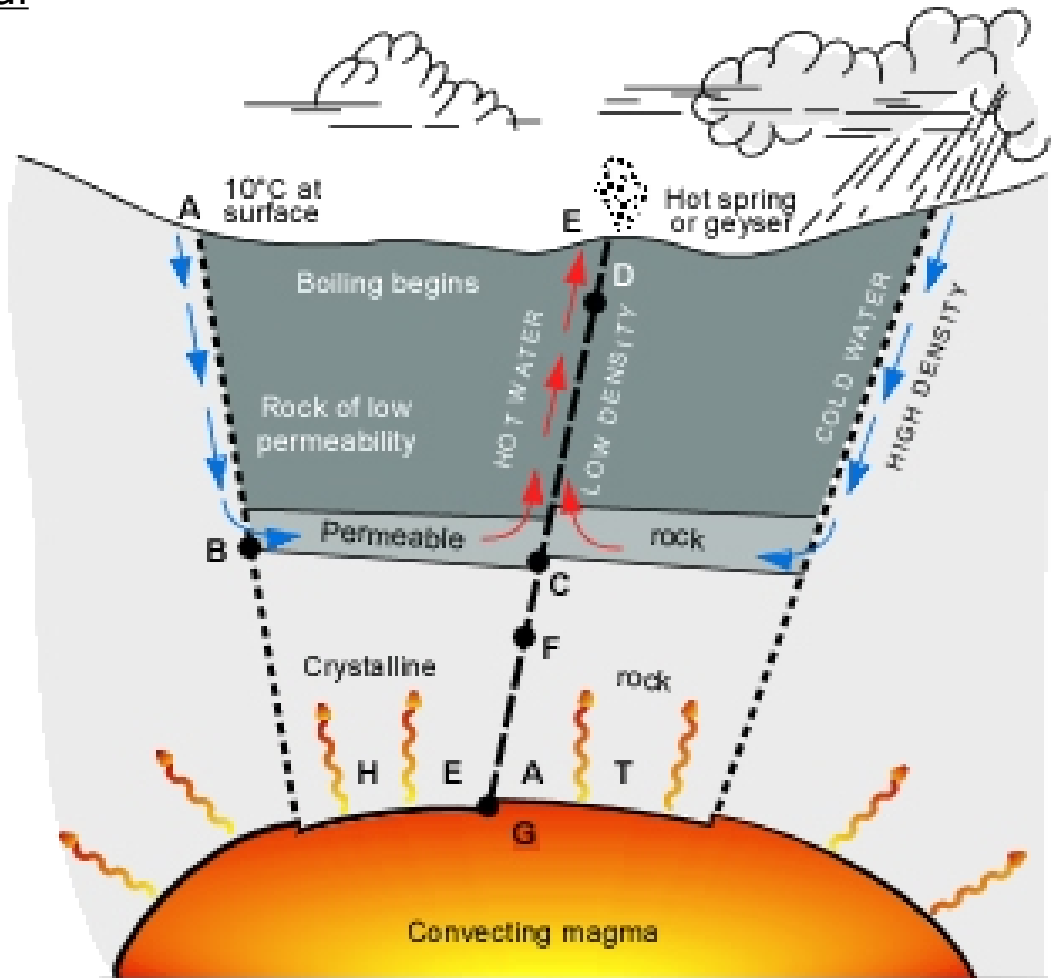
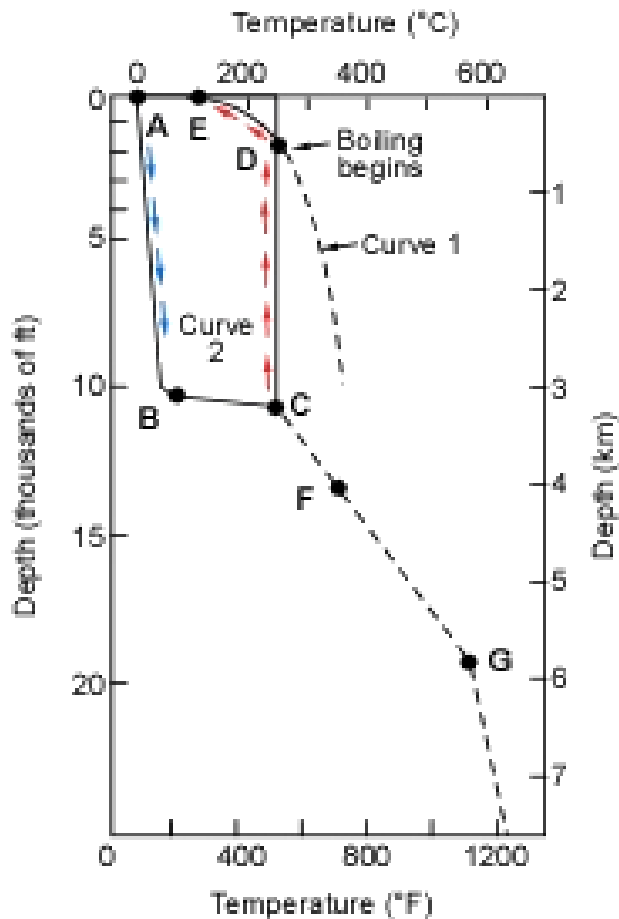
## Aproveitamento hidrotermal





# Energia geotérmica

## Aproveitamento hidrotermal



## **Energia geotérmica**

### Aproveitamento hidrotermal

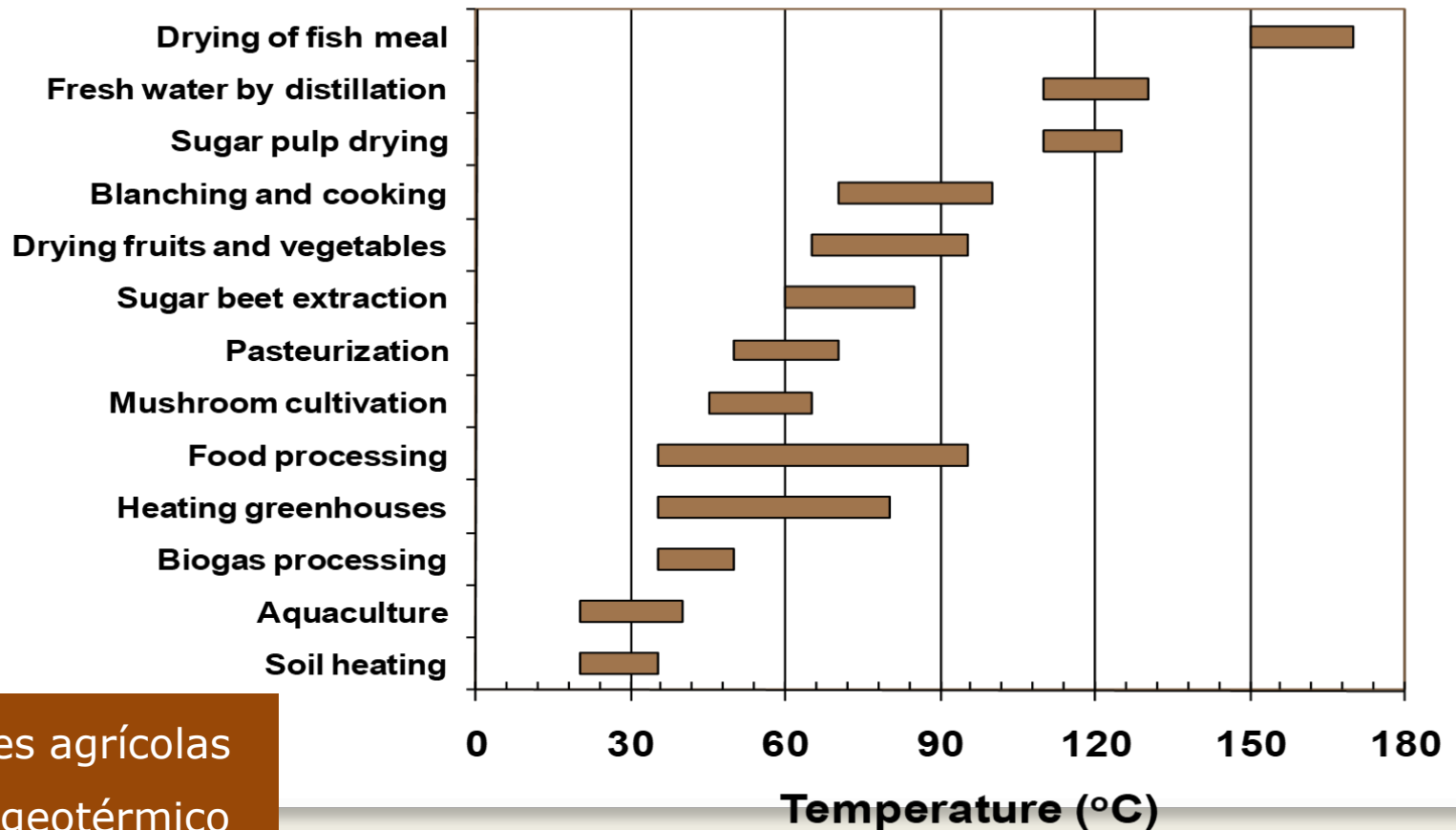
Comuns em zonas com episódios de vulcanismo recente ou 'agitação tectónica' (e.g. formação de montanhas)

## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor



Aplicações agrícolas  
de calor geotérmico

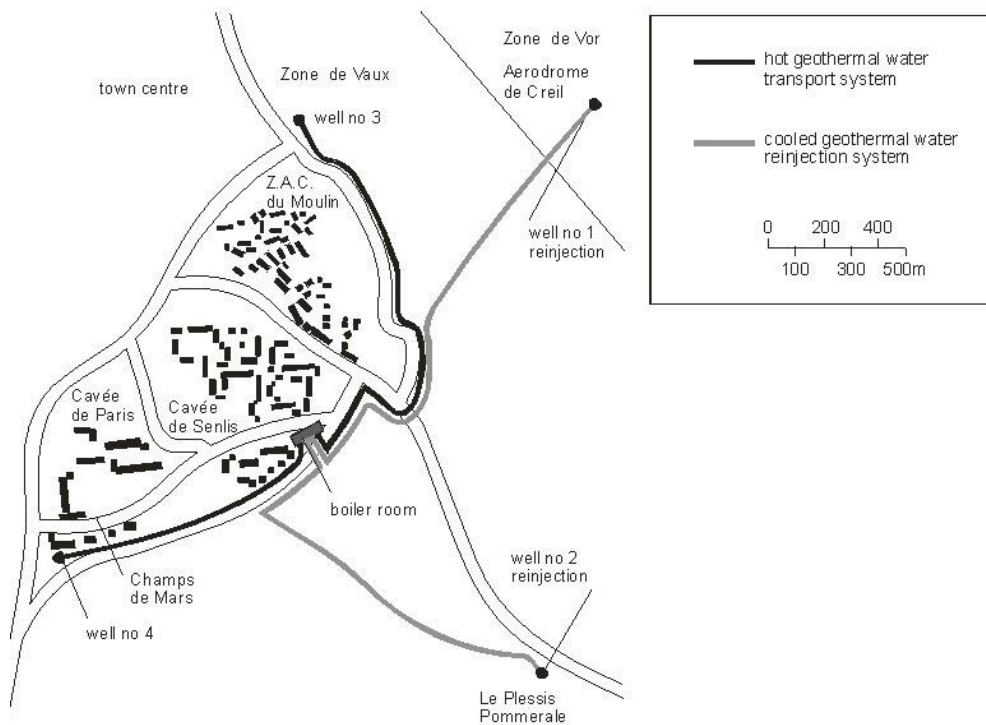
# Energia geotérmica

## Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor

com ou sem bombas de calor



Sistema de distribuição de calor geotérmico em Creil, norte de Paris (1976)

55-70°C

@ 1-2 km profundidade

2000 utilizadores directos

2000 utilizadores bomba calor

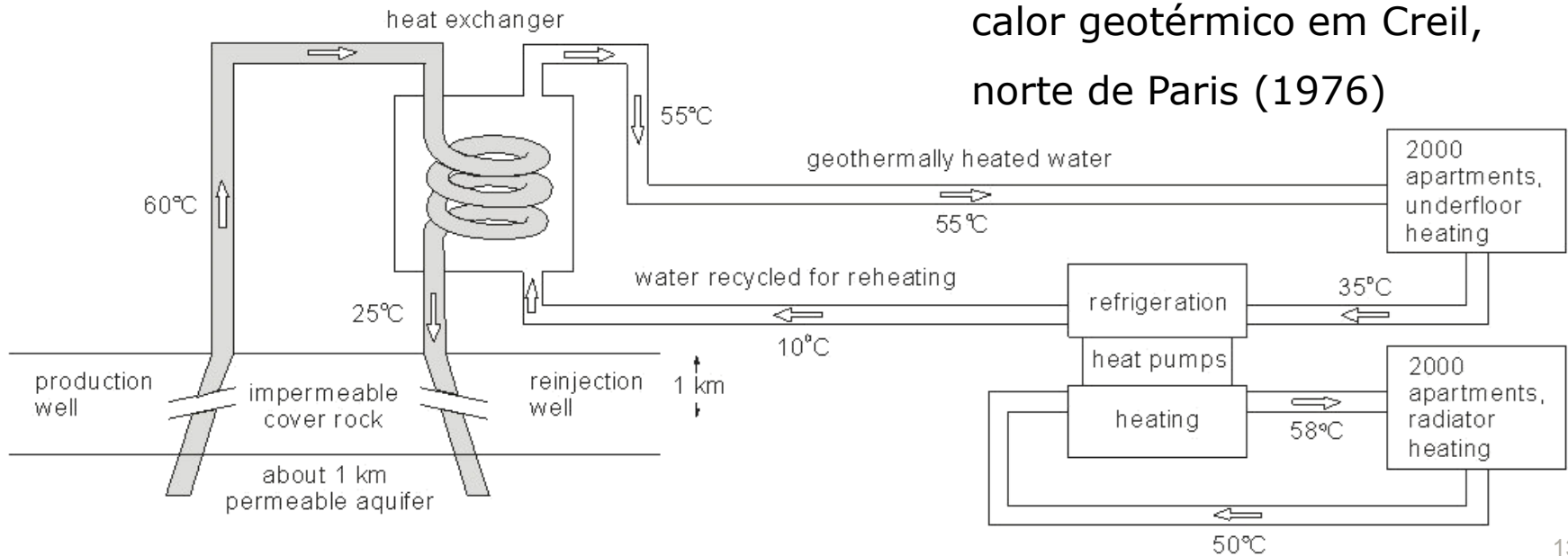
# Energia geotérmica

## Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor com ou sem bombas de calor

Sistema de distribuição de calor geotérmico em Creil, norte de Paris (1976)

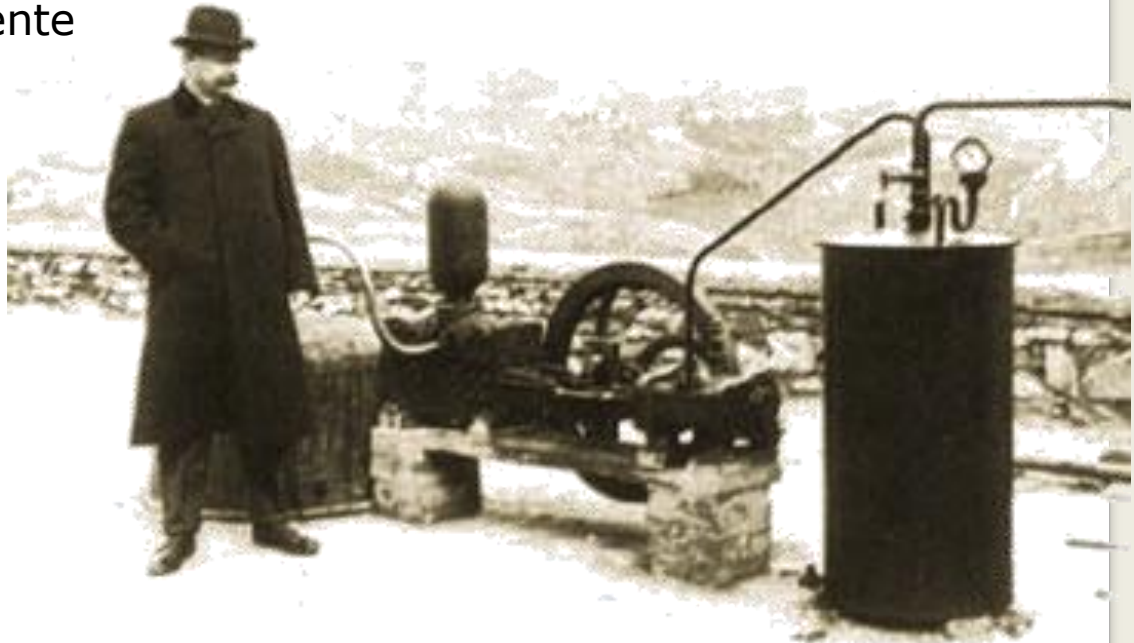


## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente



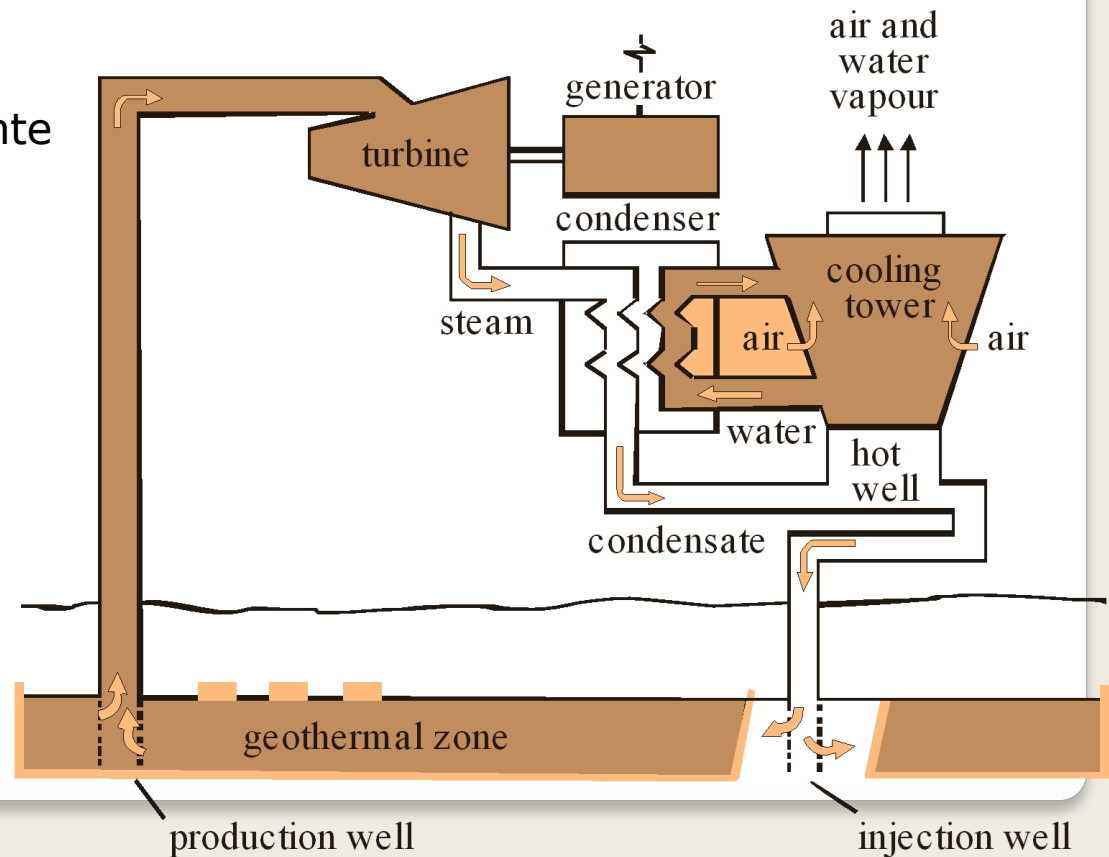
Geração electricidade em Larderello, Itália (1904 )  
e o seu inventor, Príncipe Piero Ginori Conti.

## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente



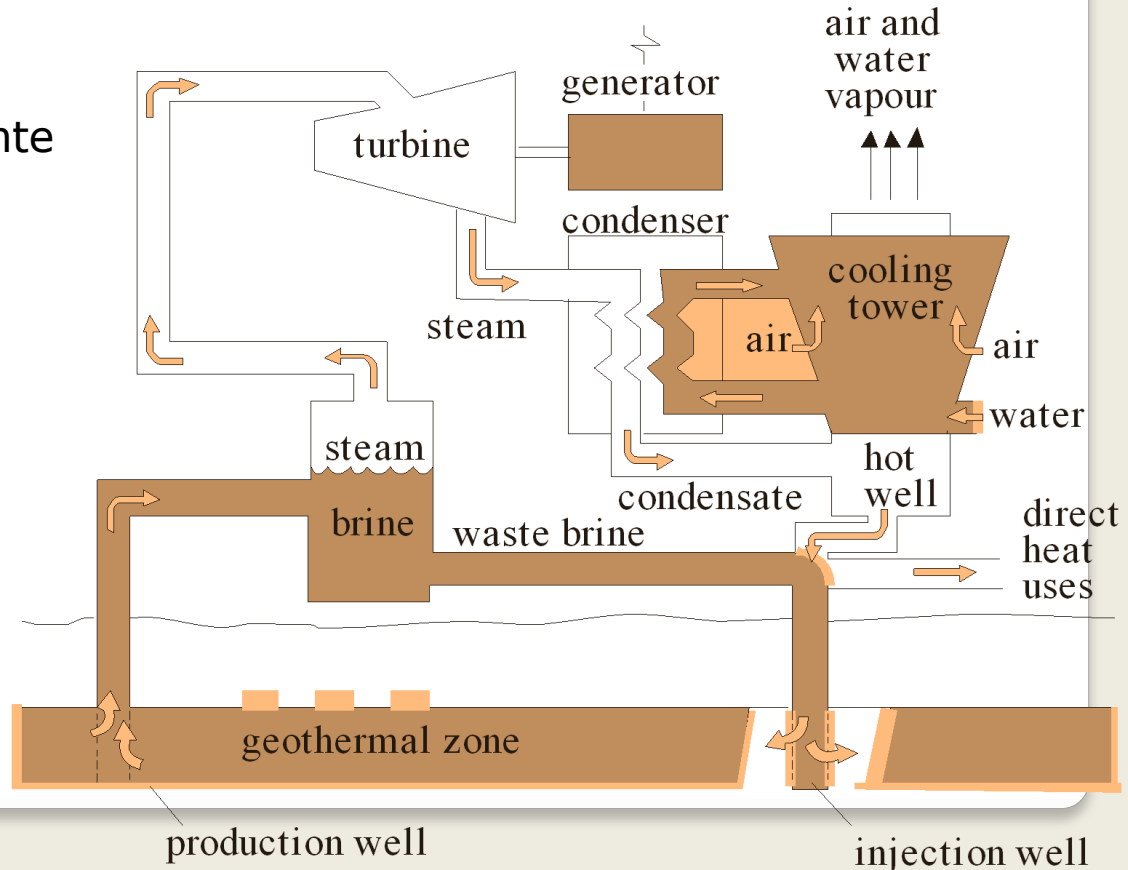
## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

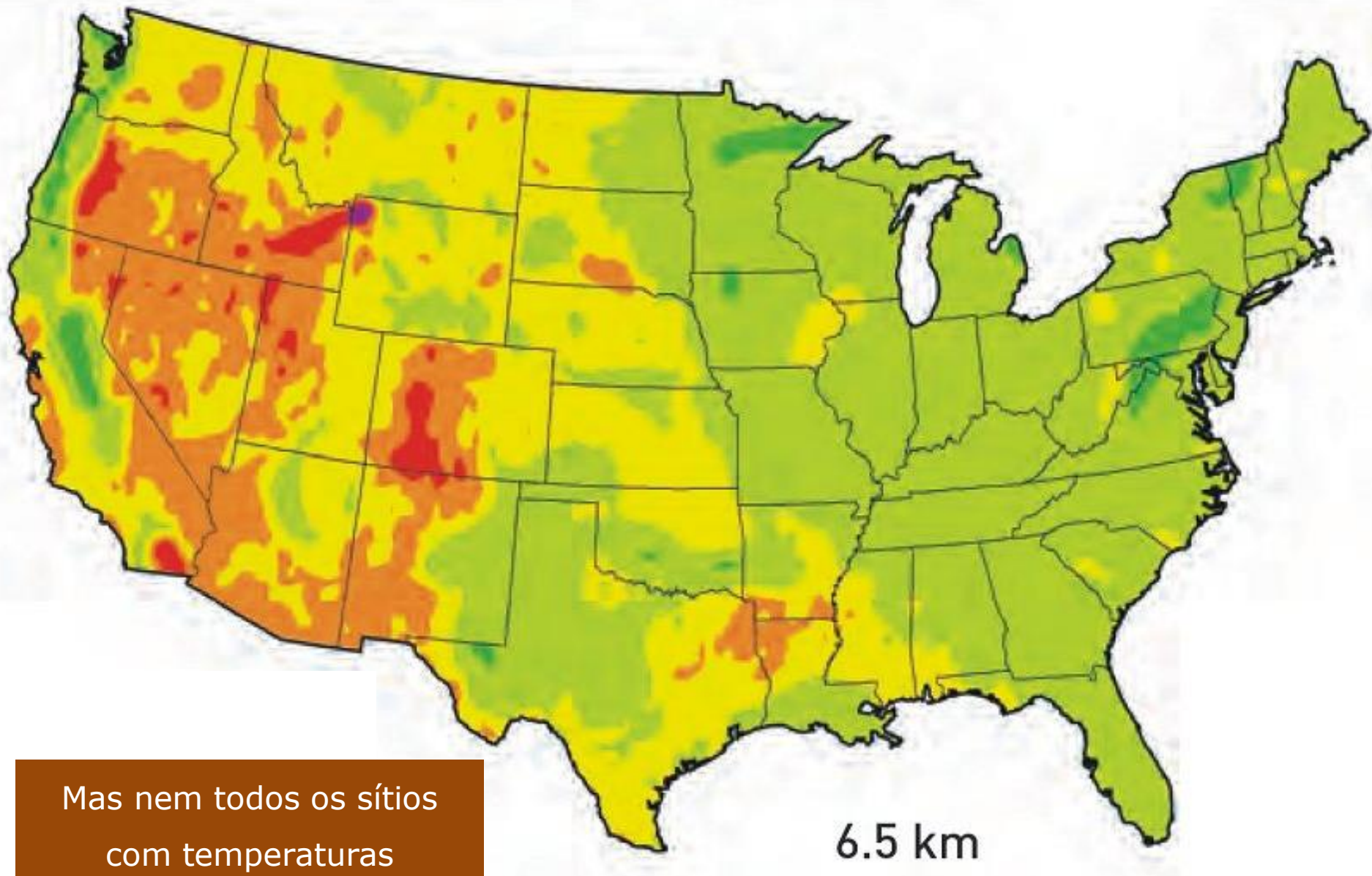
Pode ser aproveitado para

- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente  
ou a partir da água líquida

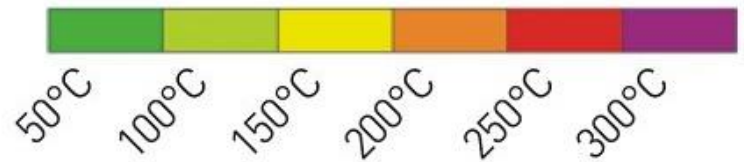
Mas nem todos os sítios  
com temperaturas  
interessantes têm  
água/vapor disponível.



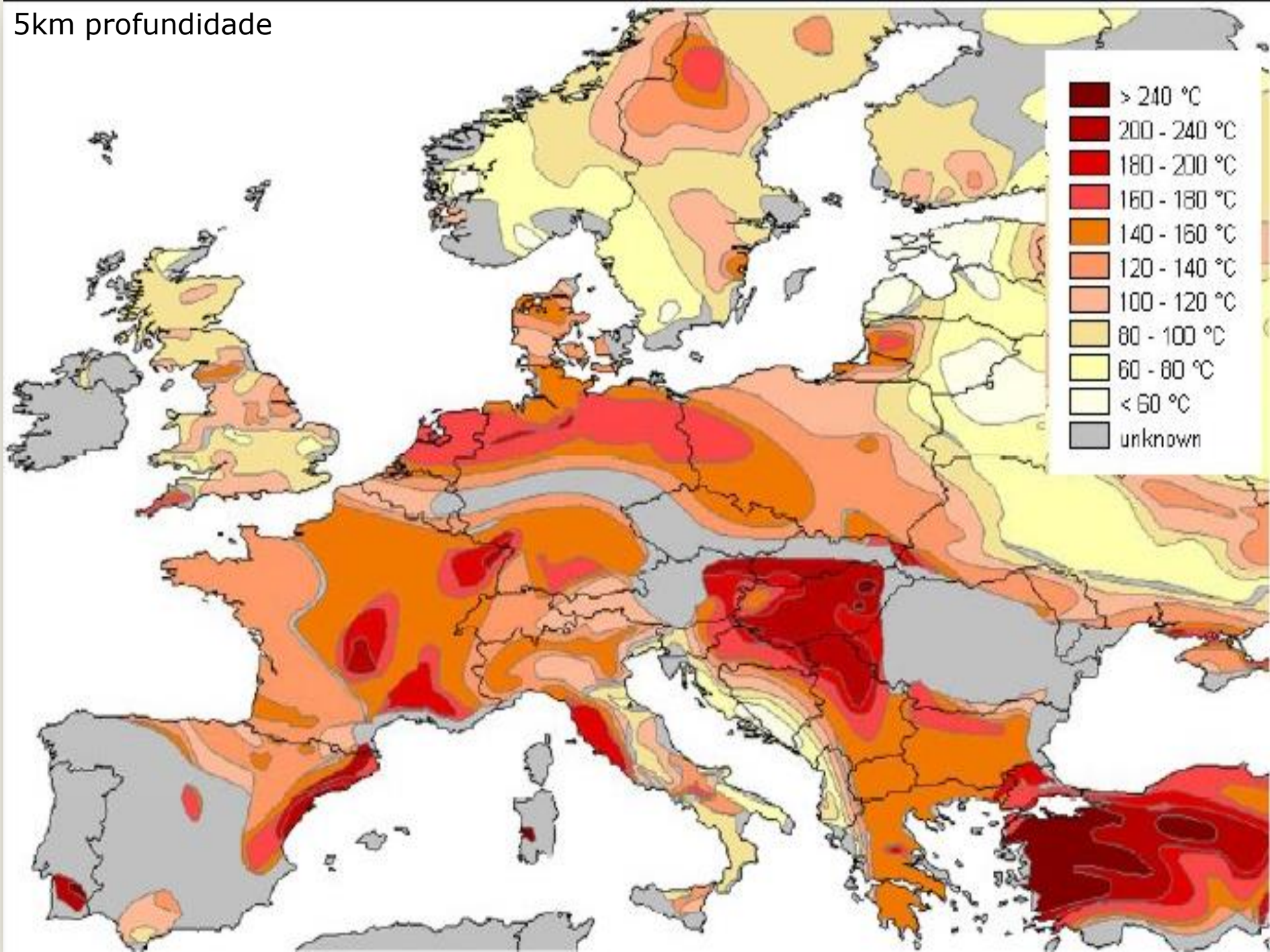




Mas nem todos os sítios com temperaturas interessantes têm água/vapor disponível.



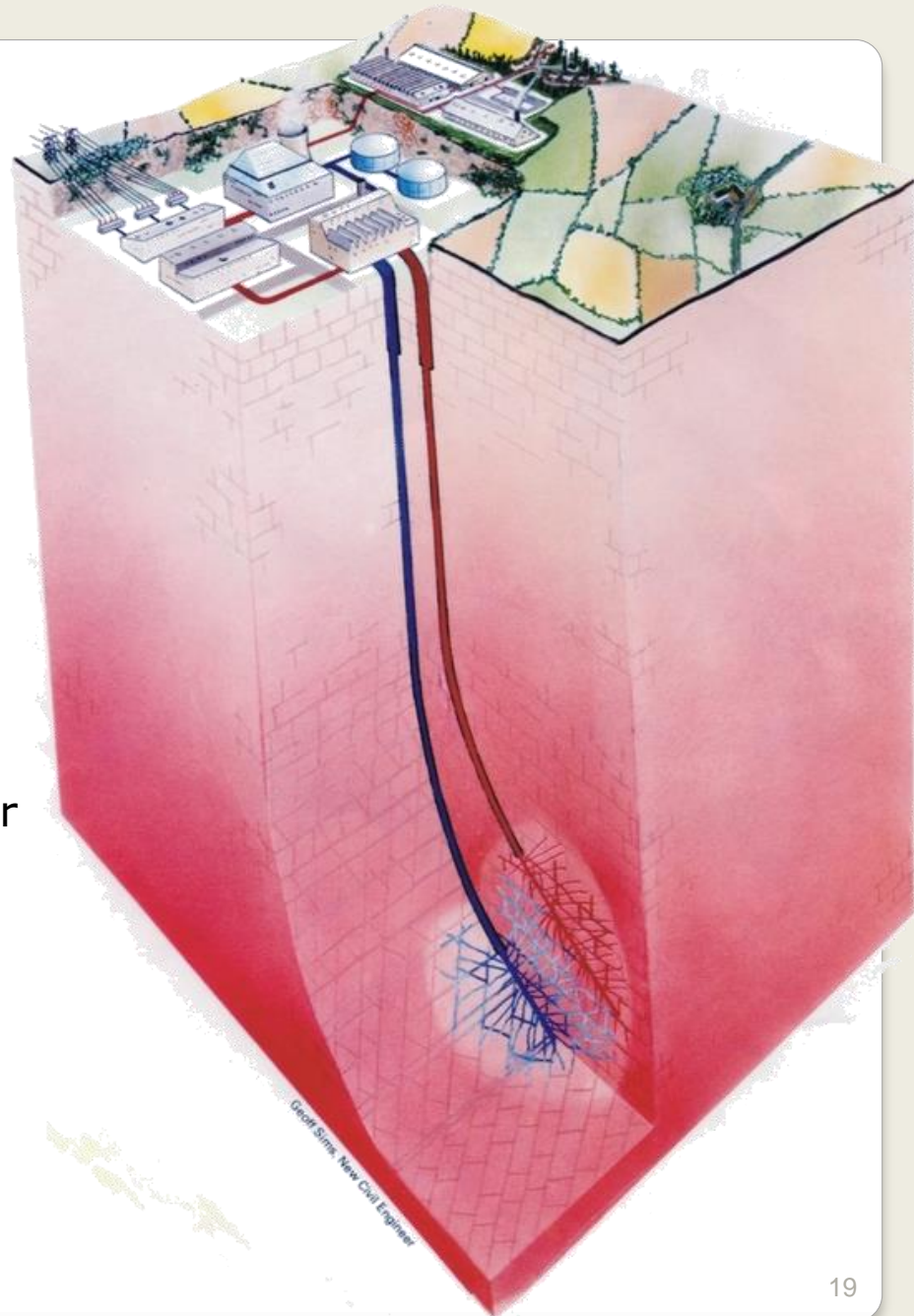
5km profundidade



## Energia geotérmica

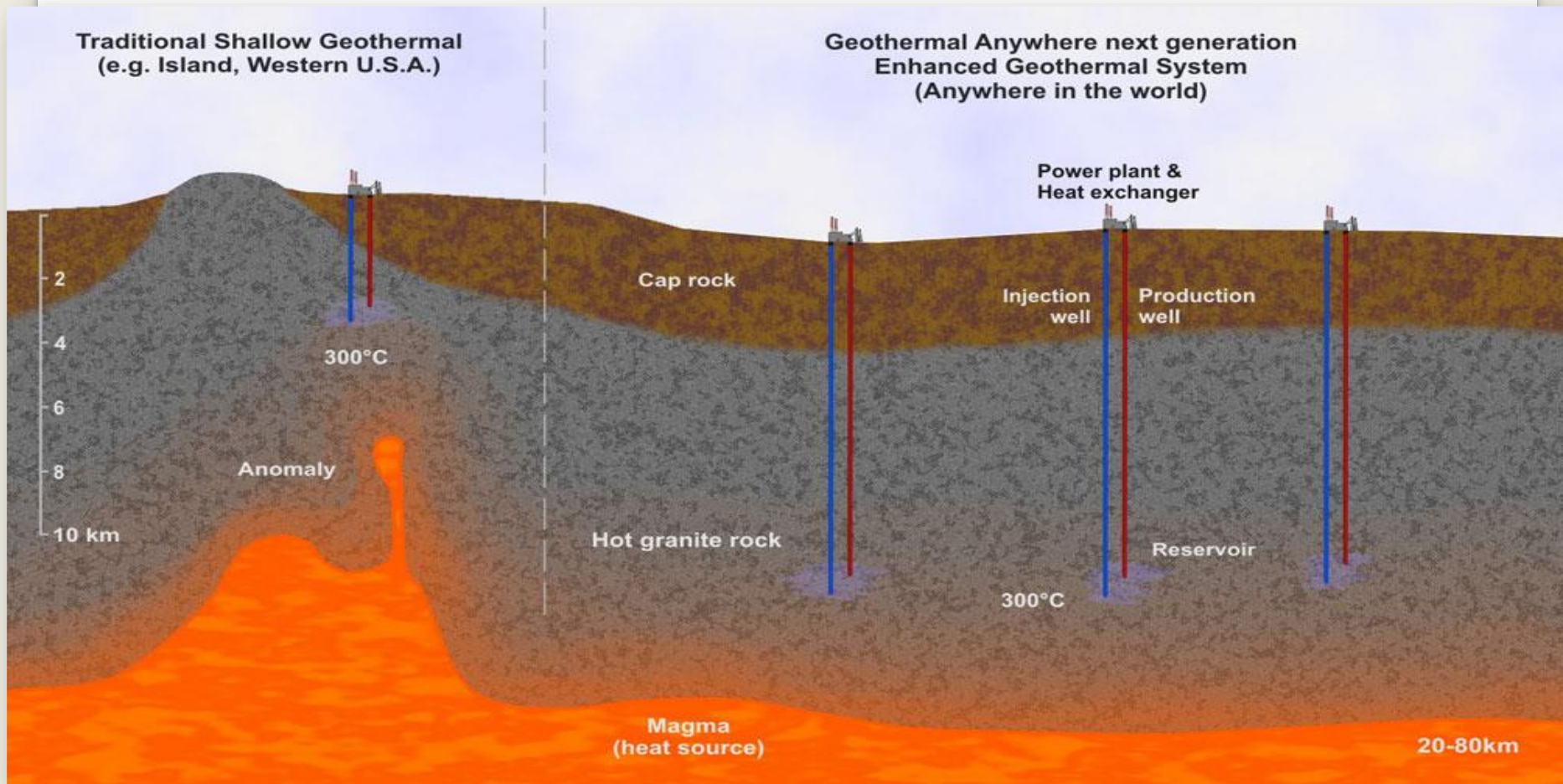
### EGS – Enhanced geothermal system

1. **Furo de injeção**, por onde será injectada água
2. **Fractura** da rocha no fundo (*hydrofracturing*, por injeção de água sob pressão), para aumentar área efectiva de transferência de calor entre rocha/água
3. **Furo de extracção**, por onde será retirada água aquecida

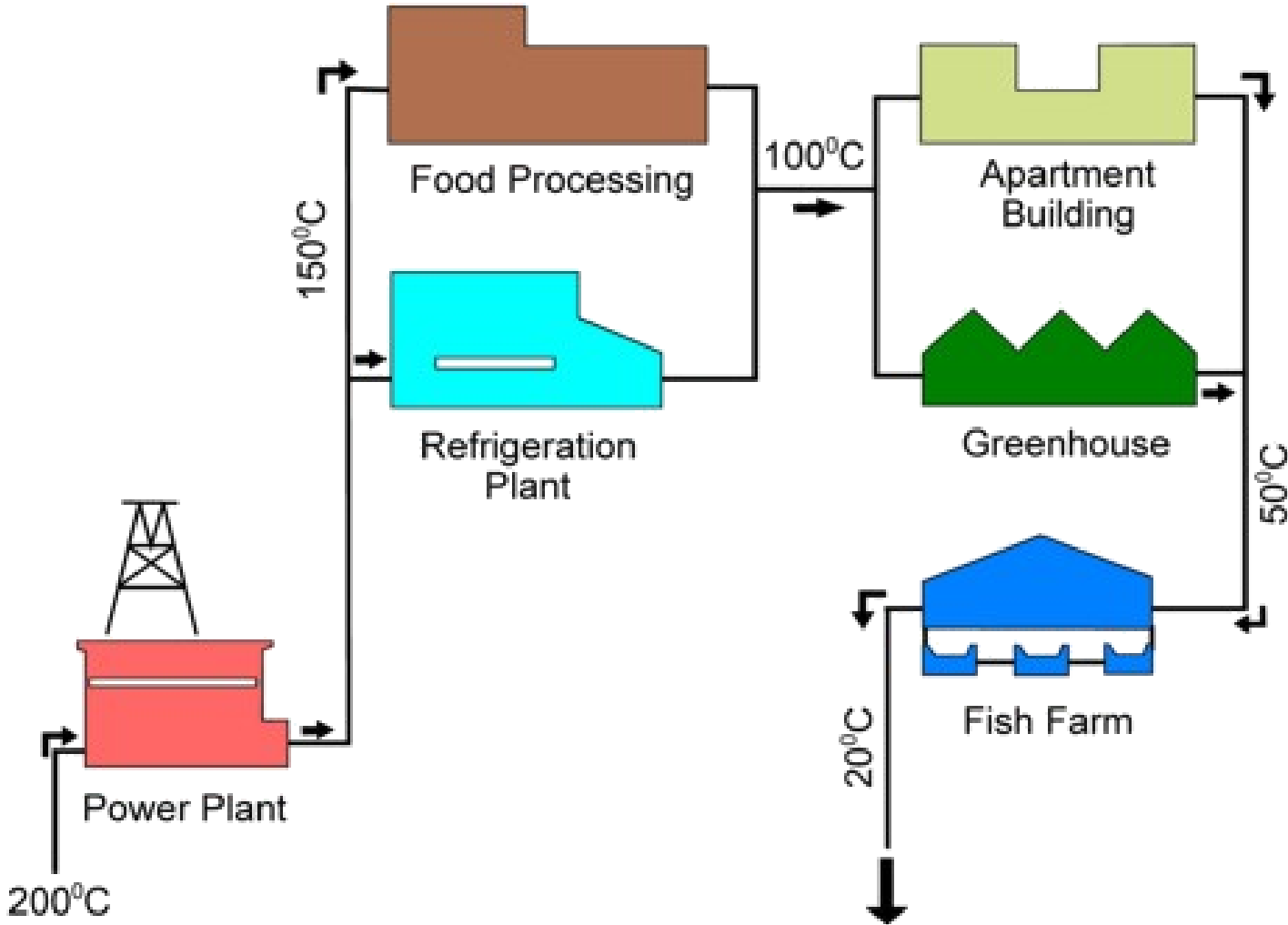


# Energia geotérmica

## EGS – Enhanced geothermal system

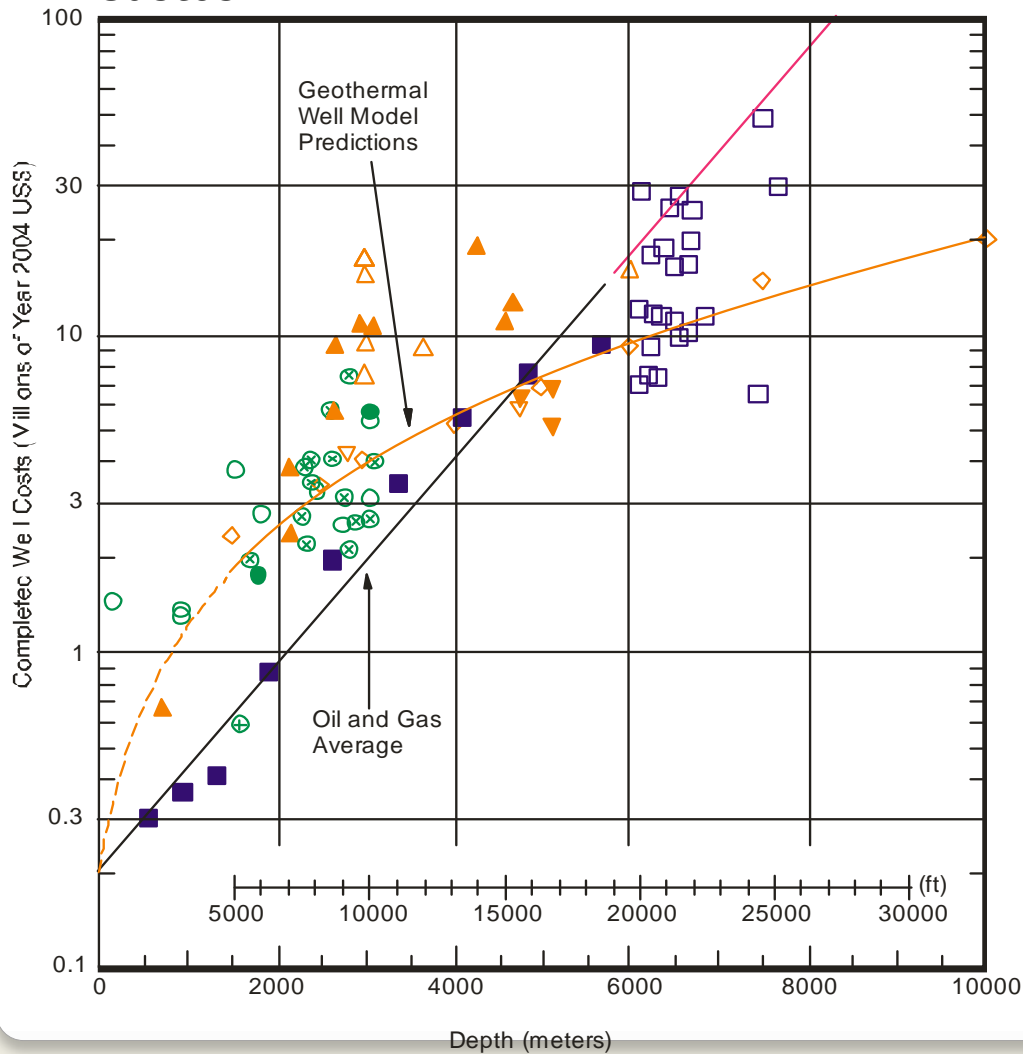


# Energia geotérmica



# Energia geotérmica

## Custos



Custos associados sobretudo à furação.

- JAS Oil and Gas Average
- JAS Ultra Deep Oil and Gas
- The Geysers Actual
- ⊕ Imperial Valley Actual
- ⊗ Other Hydrothermal Actual
- Hydrothermal Predicted
- ▲ HDR/EGS Actual
- △ HDR/EGS Predicted
- ▼ Soutz/Cooper Basin
- Wellcost Lite Model
- ◇ Wellcost Lite Base Case
- ▽ Wellcost Lite Specific Wells

## **Energia geotérmica**

Considerações ambientais

## Energia geotérmica

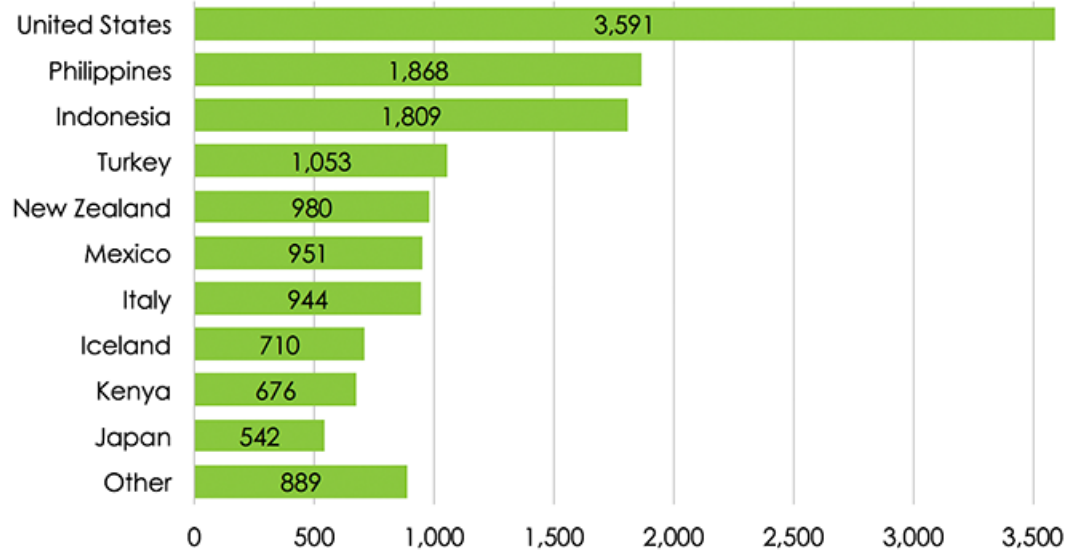
### Considerações ambientais

- Emissão de **gases tóxicos** em suspensão/solução nos fluídos geotermiais
- **Contaminação** águas subterrâneas
- Se em larga escala, **abatimento** do solo ou micro-terramotos
- EGS pode estar associado a **terramotos**



## TOP 10 GEOTHERMAL COUNTRIES

INSTALLED CAPACITY - MW (DECEMBER 2017) – 14,013 MW IN TOTAL



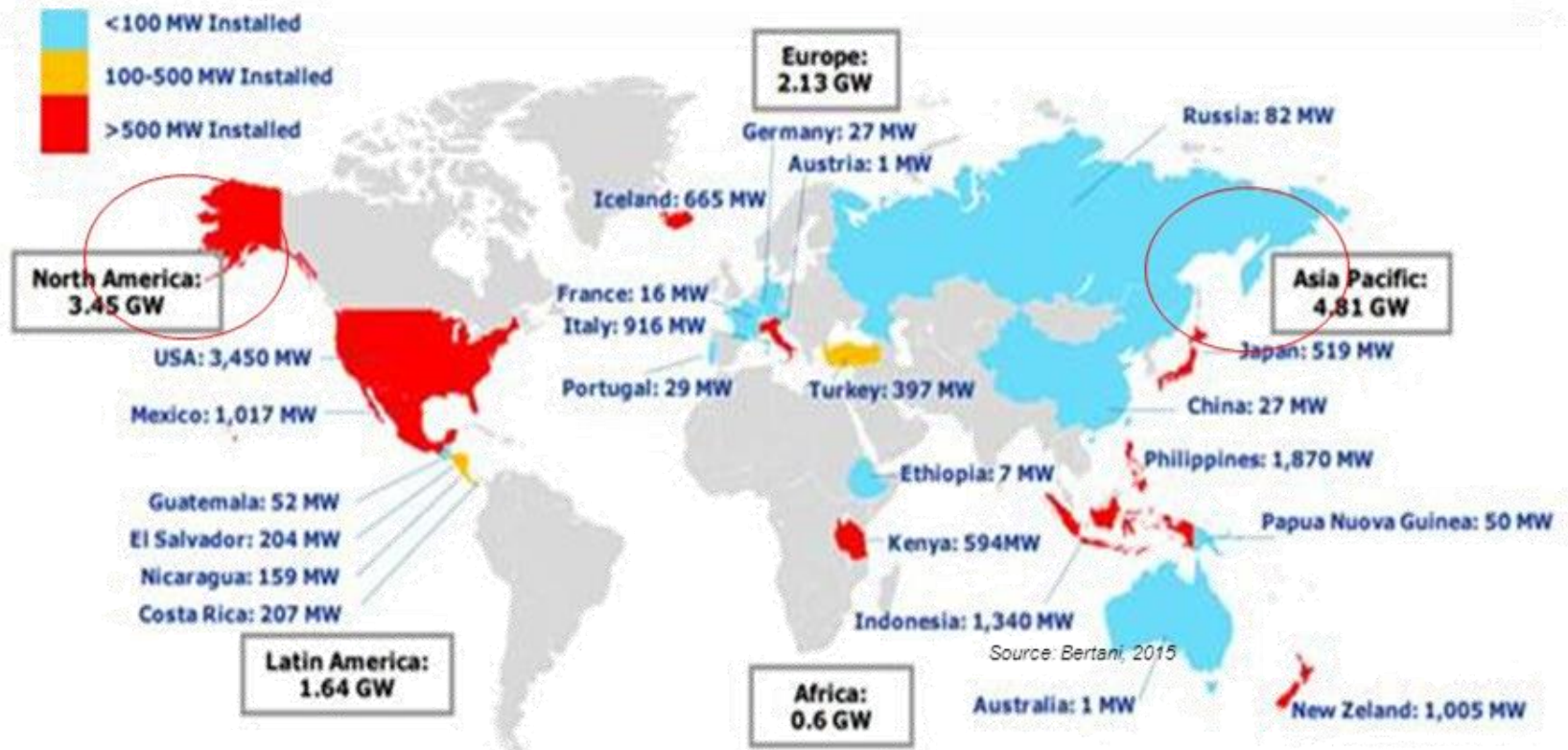
Source: TGE Research (2017), GEA (2016), IGA (2015), JESDER (2017) Enerji Atlası (2017)

**Geothermal  
installed  
power  
generation  
capacity**

**14,013 MWe**

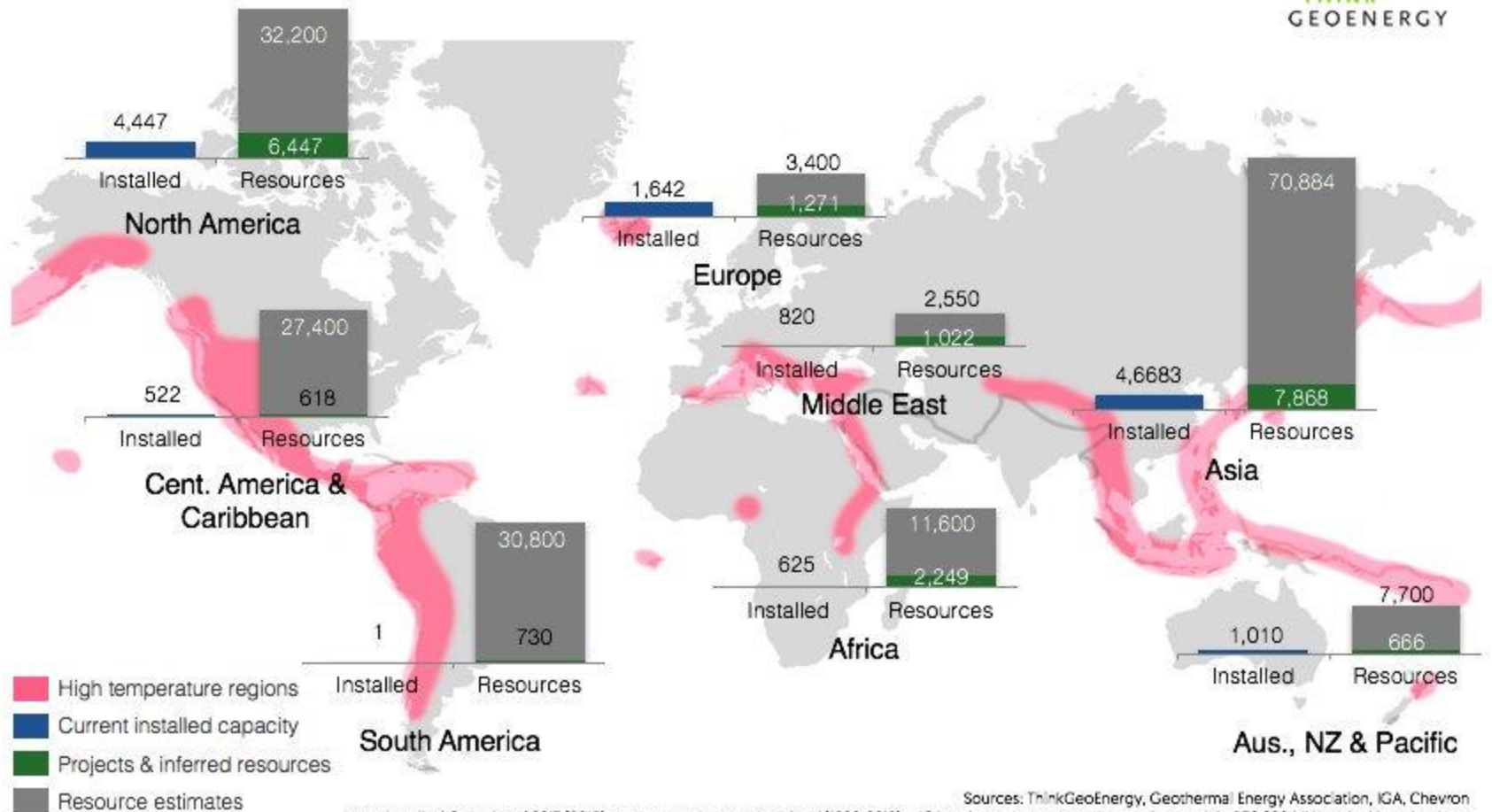
**Top 10 countries  
present 13,124 MWe  
or ~94%.**

- **Geothermal Power:** ~25 countries with a total installed capacity of 12,6 GW
- **Geothermal Heat:** ~80 countries with a total installed capacity of 20.4 GW



# GLOBAL GEOTHERMAL POTENTIAL

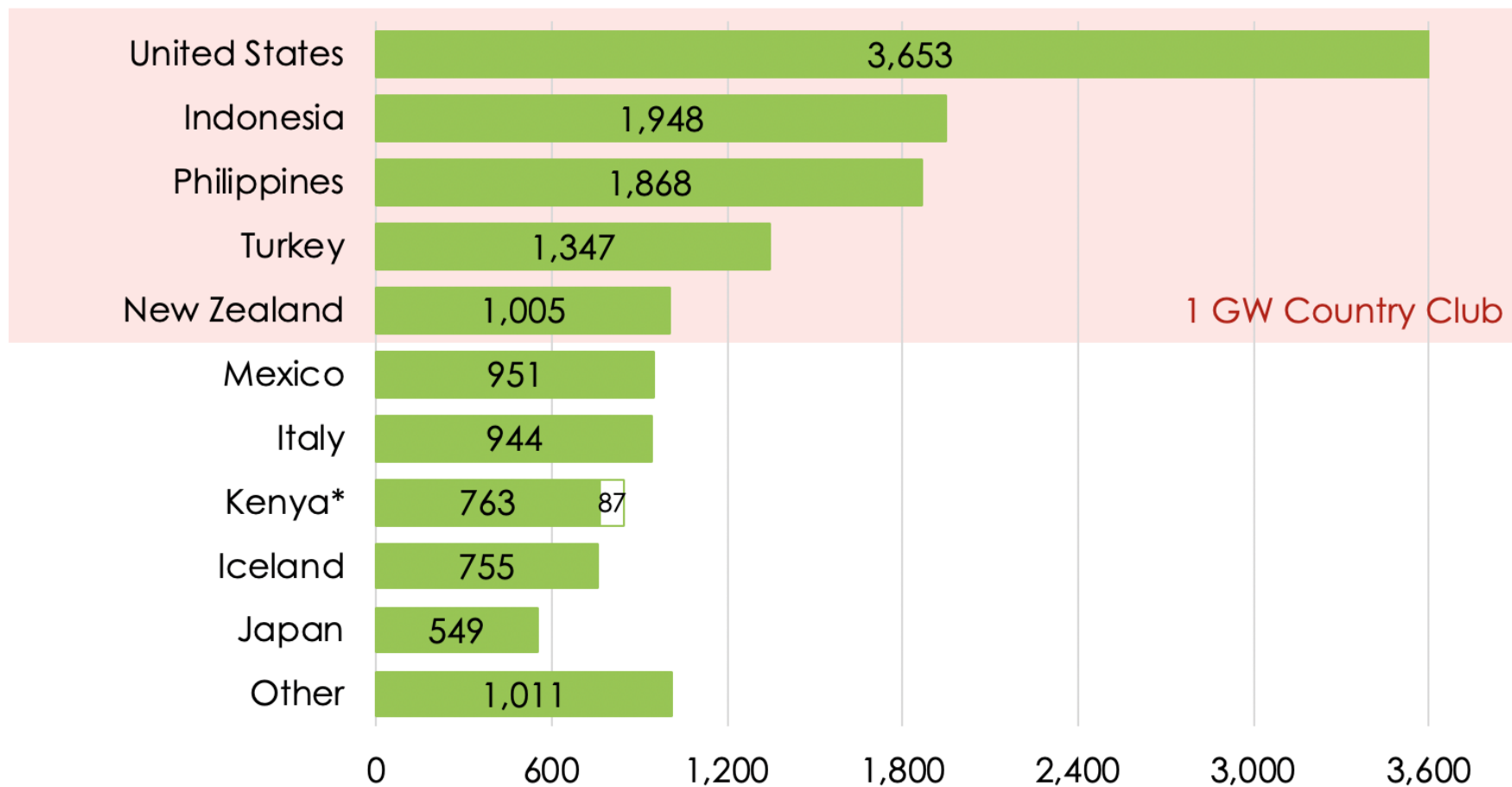
## POWER GENERATION POTENTIAL (MWe)



Sources: ThinkGeoEnergy, Geothermal Energy Association, IGA, Chevron  
 Note: Installed Capacity of 2017 [2015], resource estimates combined [1999-2012] – IGA estimates a conservative total potential of 70,000 MWe and with technology improvements (extended use of low heat and EGS resources) at around 140,000 MWe in power generation capacity.

# TOP 10 GEOTHERMAL COUNTRIES

INSTALLED CAPACITY - MW (JULY 2019) – 14,900 MW IN TOTAL



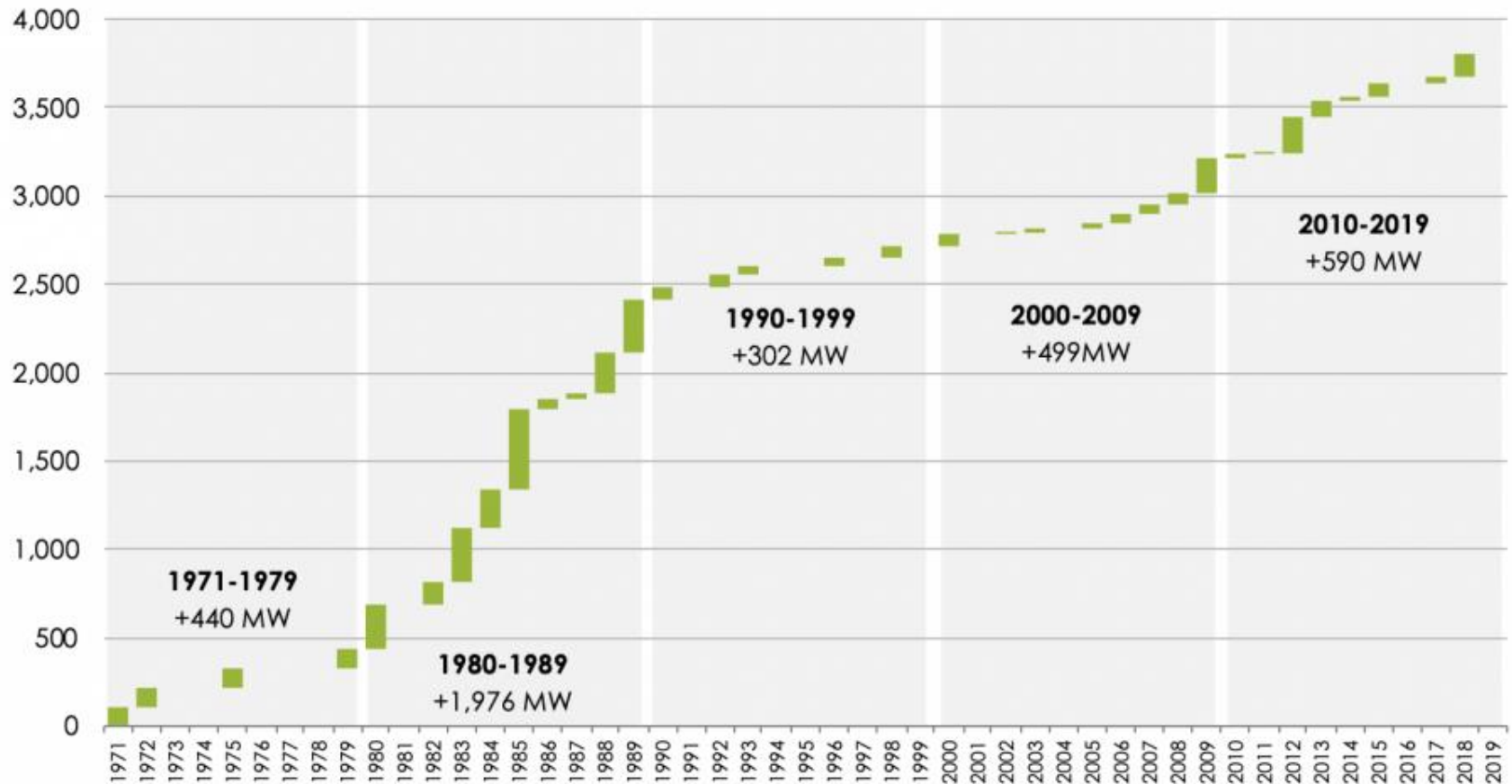
\* Kenya – Olkaria V Unit 1 online, Unit 2 in commissioning - Source: TGE Research (2019), GEA (2016), IGA (2015)

# U.S. GEOTHERMAL DEVELOPMENT 1971-2019

## POWER GENERATION CAPACITY ADDITIONS BY YEAR (MW)



U.S. Installed Nameplate Capacity of Operating Plants – **3,676 MW (August 2019)**



Source: U.S. Energy Information Administration, October 2019 - TGE Research (2019)

## Energia geotérmica

Em Portugal

### Continental

- aproveitamento de **pólos termais** existentes  
(com temperaturas entre os 20 e os 76° C)  
Chaves e S. Pedro do Sul
- aproveitamento de **aquíferos profundos** de bacias sedimentares  
Hospital da Força Aérea do Lumiar, em Lisboa (1992)  
furo de 1500m com temperaturas superiores a 50° C.

## Energia geotérmica

Em Portugal

### Açores

- confluência de 3 placas tectónicas (americana, africana, euroasiática)
- 9 sistemas electroprodutores de pequena escala: **235 MWth**
- São Miguel (Ribeira Grande)  
2 centrais com 23 MW

Central Geotérmica Piloto de Pico Vermelho 3 MW(1980) nunca funcionou acima de 900kW



## Energia geotérmica

Em Portugal

### Açores

- confluência de 3 placas tectónicas (americana, africana, euroasiática)
- 9 sistemas electroprodutores de pequena escala: **235 MWth**
- São Miguel (Ribeira Grande)  
2 centrais com 23 MW



Central Geotérmica da Ribeira Grande  
5 MW (1994) + 8 MW (1998)



Central Geotérmica  
de Pico Vermelho  
10 MW (2007)

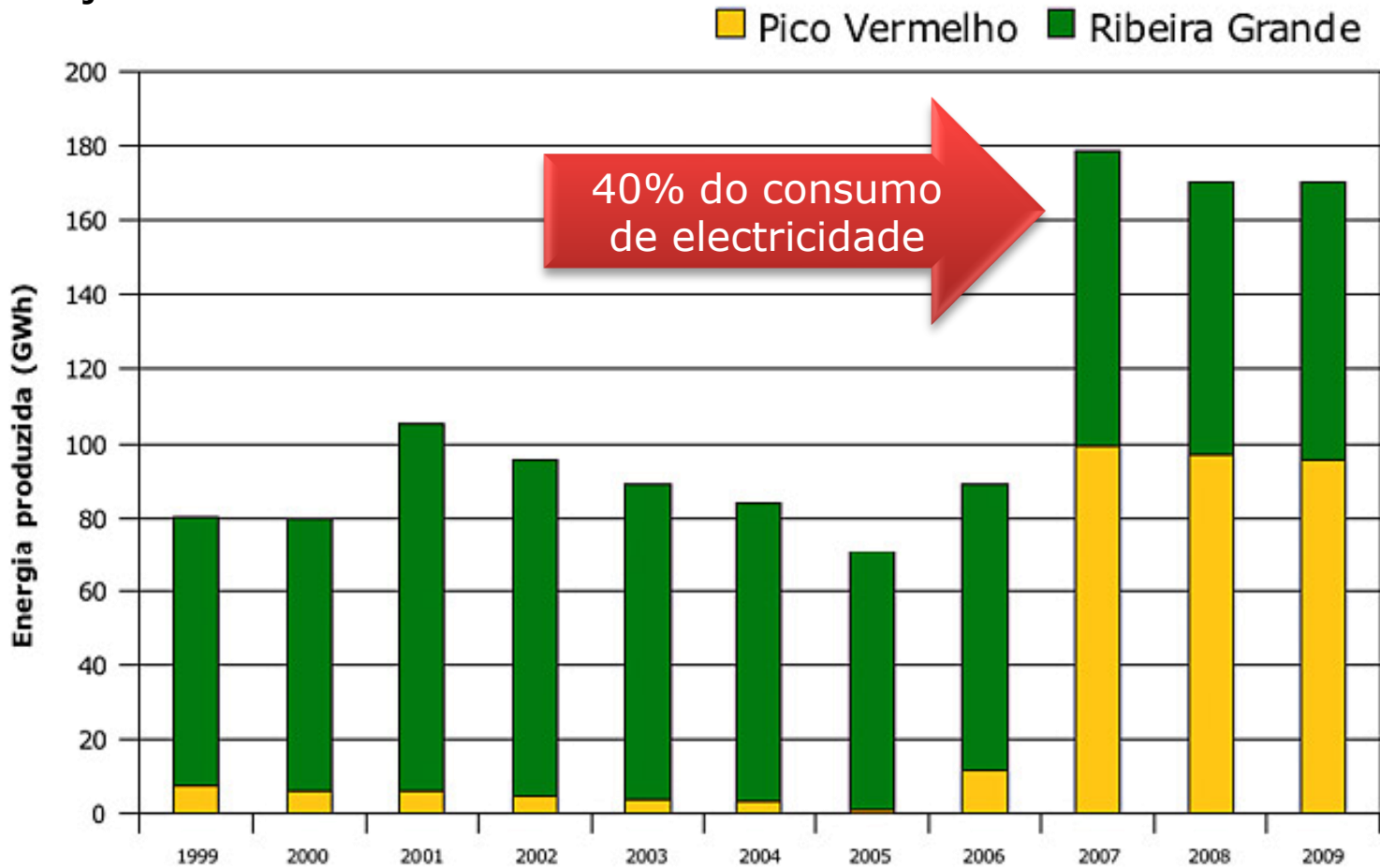
Previstos mais  
5 MW até 2024



# Energia geotérmica

Em Portugal

## Açores





### **CALDAS DE CHAVES** 73°C

O aproveitamento geotérmico iniciou-se na década de 80 do séc. XX.

Foi em Portugal Continental o primeiro projeto de utilização do calor numa rede de aquecimento urbano, para climatização e produção de água quente sanitária de dois hotéis e do edifício termal e ainda para aquecimento de uma piscina.

### **CALDAS DE VIZELA** 50°C

Os caudais excedentes são utilizados no aquecimento de uma piscina e na climatização e produção de água quente sanitária de um hotel localizado nas imediações das termas.

### **LONGROIVA** 47°C

O recurso geotérmico é utilizado para climatização do balneário termal e ainda para a produção de AQS e aquecimento da piscina exterior do hotel rural situado nas proximidades.



### TERMAS DO CARVALHAL 60°C

Estão em curso estudos diversos tendo em vista o desenvolvimento de projetos para aproveitamento geotérmico.

### TERMAS DE S. PEDRO DO SUL 69°C

O aproveitamento geotérmico iniciou-se há três décadas. O **Polo das Termas**, em funcionamento desde 2001, dispõe de uma **central geotérmica** para climatização e produção de AQS de dois balneários termais e de dois hotéis.

No **Polo do Vau**, localizado a cerca de 2 km a sul de São Pedro do Sul, o geocalor foi já utilizado diretamente para o aquecimento de estufas de frutos tropicais, encontrando-se atualmente em reformulação.

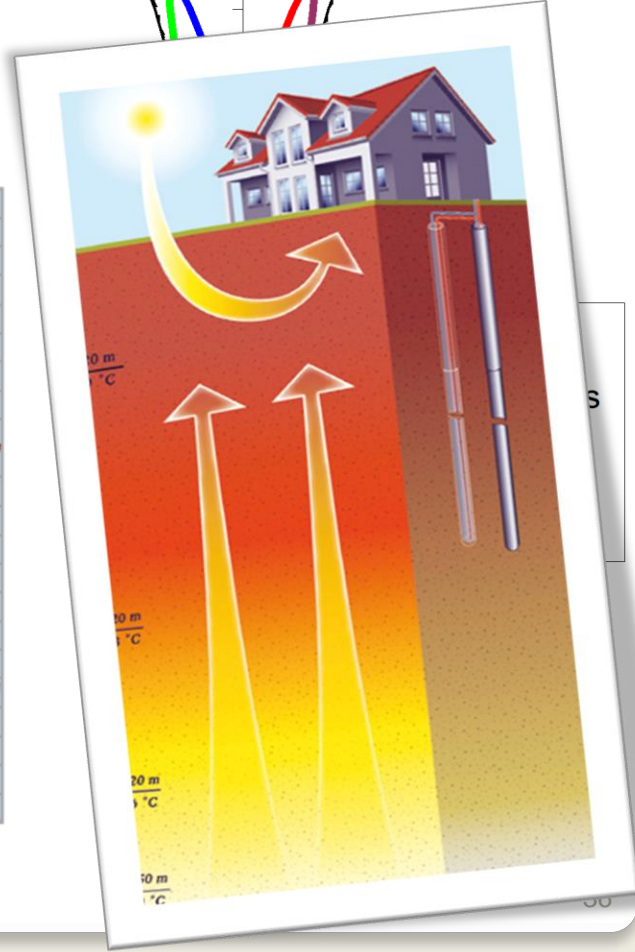
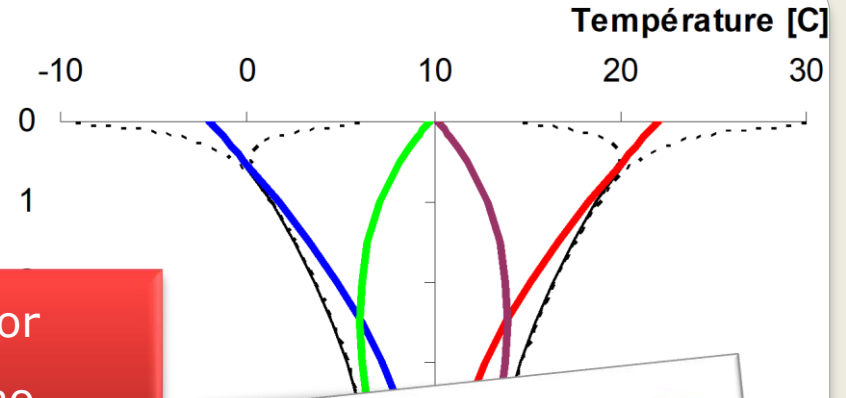
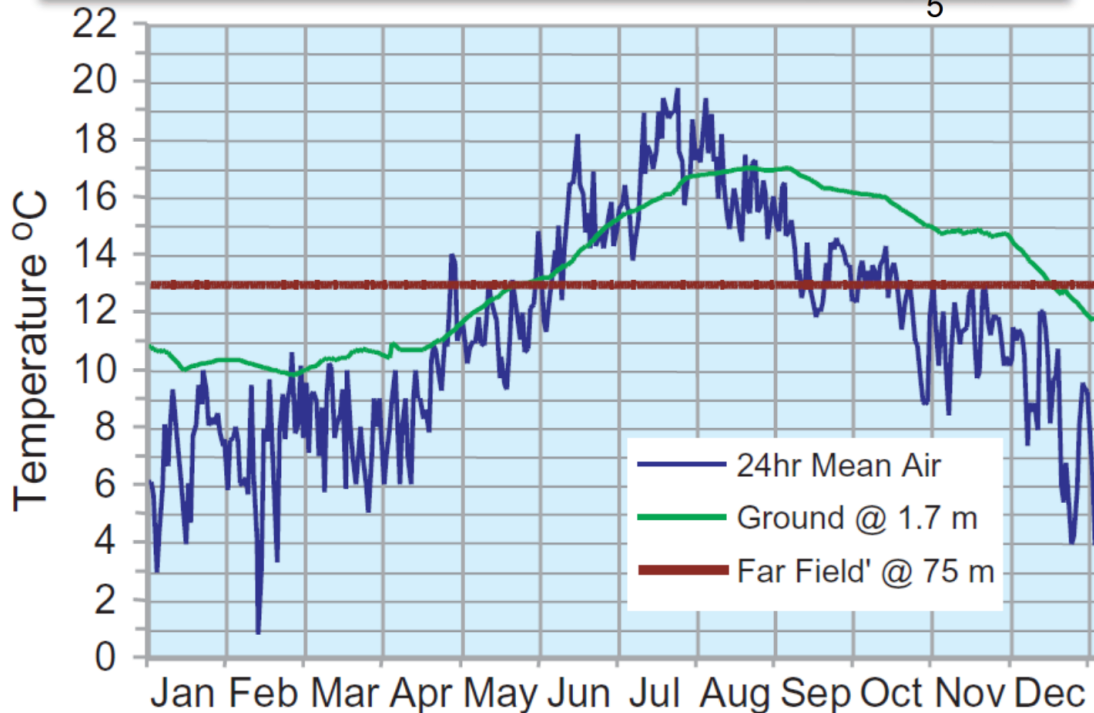
### BANHO DE ALCAFACHE 51°C

O estabelecimento termal é, desde 2003, climatizado a partir do recurso geotérmico com 51°C de temperatura.

# Energia geotérmica

## Aproveitamento baixa entalpia

Usualmente associado a bombas de calor para produção de calor para climatização. Também pode ser usado para refrigeração.



Variação da temperatura do solo muito menor do que na superfície