

## Área de Recarga identificada com base em Perfis Geotérmicos de poços no Município de Teófilo Otoni em Minas Gerais com vistas à Sustentabilidade Ambiental

Antônio J. L. Gomes<sup>1</sup> ([antonio.gomes@ufvjm.edu.br](mailto:antonio.gomes@ufvjm.edu.br)), Jorge L. S. Gomes<sup>2</sup> ([jorge.gomes@cprm.gov.br](mailto:jorge.gomes@cprm.gov.br)), Priscilla S. Gomes<sup>3</sup> ([priscilla.santos.gomes@gmail.com](mailto:priscilla.santos.gomes@gmail.com))

<sup>1</sup>UFVJM - <sup>2</sup>CPRM - <sup>3</sup>Universidade Americana

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.*

### Resumo

Neste trabalho apresenta-se a identificação de uma zona de recarga, verificada com base nos resultados de gradientes geotérmicos obtidos através de perfisagens térmicas de temperatura, realizados em poços de abastecimento no Município de Teófilo Otoni, Vale do Mucuri na região Leste do Estado de Minas Gerais. A identificação de zonas de recarga permite soluções de abastecimento urbano e rural, e contribui para o desenvolvimento de projetos multidisciplinares visando à sustentabilidade ambiental. Dos quatro poços perfilados, três poços são de propriedade da Copasa e um da empresa JBS. Todos os poços estavam parados e sem bombeamento há vários meses o que facilitou a realização das perfisagens térmicas e permitiu a ausência de perturbações térmicas por efeitos de perfuração. Os valores dos gradientes geotérmicos foram obtidos por dois tipos de metodologias, sendo o primeiro o convencional (CVL) e o segundo da temperatura estável do fundo do poço (CBT). Em dois destes poços os dados analisados utilizaram o modelo CVL e os outros restantes utilizaram o método CBT. Com base nas análises de cada poço foi possível identificar uma região com baixo valor de gradiente geotérmico de 10,7 °C/km inferior à média observada na região de 18,3°C/km. Esta anomalia geotermal, com resultado de valor muito inferior aos dos demais poços, mostra que através de interpretações de perfisagens térmicas com valor baixo de gradiente geotérmico, em regiões tectonicamente estáveis, indica possivelmente uma área de recarga, permitindo que estudos multidisciplinares na região e seu entorno, contribuam para um maior incremento de sustentabilidade ambiental.

### Introdução

A identificação de zonas de recarga permite desenvolver projetos multidisciplinares visando à sustentabilidade ambiental, servindo também de identificação de locais que apresentam capacidade de abastecimento de água em locais urbanos e áreas rurais (Gomes et al, 2012; Lopes et al, 2012).

Locais de baixos valores de gradiente geotérmico em zonas geológicas estáveis são classificados como zonas de recarga, sendo observados normalmente na presença de lençóis freáticos, sumidouros de calor e também em

aquíferos (Gomes et al, 2011; Lopes et al, 2012). Este trabalho, é parte de um programa de pesquisa da Energia Geotérmica dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pelo Laboratório de Geotermia da UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, campus do Mucuri, Teófilo Otoni, cujo laboratório esta em fase de implementação. O projeto tem por objetivo principal avaliar o potencial geotérmico do Estado de Minas Gerais. Desde então, têm sido realizadas medições de perfil de temperaturas para determinação do gradiente geotérmico regional e também para um maior entendimento do campo termal da região dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Já conhecemos o baixo potencial geotérmico dessa região, porém não descartamos a possibilidade de identificar altas ou baixas anomalias geotérmicas. Neste sentido, identificou-se a partir de estudos geotérmicos uma zona de recarga com baixo valor de gradiente geotérmico no poço C11 de propriedade da Copasa, no bairro da Bela Vista, na cidade de Teófilo Otoni, no Estado de Minas Gerais. Este poço está parado sem bombeamento com vistas a ser utilizado para abastecimento urbano de água potável no Município, cujo gradiente geotérmico obtido foi de 10,7 °C/km, sugerindo uma possível zona de recarga (Gomes et al, 2011; Gomes e Alexandrino, 2011; Lopes et al, 2012). Assim, o objetivo principal deste trabalho foi identificar regiões de recarga para abastecimento de água à população e com vistas à sustentabilidade ambiental. Na Figura (1) apresentamos a localização do Município.

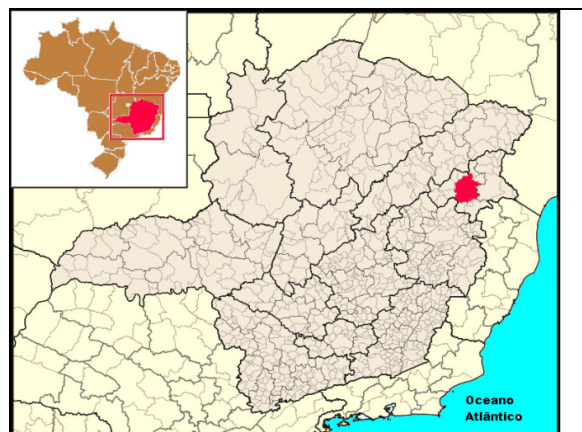


Figura 1 – Mapa regional com a localização do Município de Teófilo Otoni situado na região leste do Estado de Minas Gerais.

## Metodologia

As perfilagens geotérmicas são utilizadas para medidas de temperatura em subsuperfície em furos e poços, cujos resultados permitem determinar o valor do gradiente geotérmico. Há dois conjuntos de dados sobre as temperaturas em profundidade: medidas diretas e estimativas indiretas (Boldizar, 1958; Bullard, 1965; Bodvarsson, 1974; Jessop et al, 1976; Haenel e Mongelli, 1988; Fournier, 1991).

A partir da determinação do gradiente geotérmico também é possível identificar a área investigada em relação ao seu potencial geotérmico. Através destas medidas também se identificam regiões que apresentam baixo ou alto valor de gradiente geotérmico, que nos permitem identificar as anomalias geotérmicas (Gomes et al, 2011; Lopes et al, 2012).

Visando o melhor entendimento do contexto geotérmico do Município de Teófilo Otoni, e devido também às baixas quantidades de dados geotérmicos regionais, investigou-se no presente trabalho uma nova compilação das perfilagens geotérmicas já realizadas em 2010 e apresentadas nos trabalhos de Gomes et al (2011), Gomes e Alexandrino (2011) e Lopes et al (2012).

As informações sobre as temperaturas em subsuperfície constituem o acervo básico para avaliação de recursos geotérmicos. Na determinação dos gradientes geotérmicos da área de estudo, foram utilizados dois métodos distintos, respectivamente, o método convencional (CVL) e o de temperatura estável de fundo de poço (CBT).

As medidas de temperatura foram efetuadas como uso de sensores tipo termistor. Os termistores são semicondutores que apresentam propriedades físicas específicas, onde a resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura (Gomes, 2009).

O método convencional (CVL) é utilizado para determinação do gradiente geotérmico através de ajuste linear dos dados de perfilagem para um intervalo selecionado. O intervalo deve estar preferencialmente livre de qualquer processo de perturbação que seja capaz de afetar o regime geotérmico local. O uso deste método é adotado para casos onde as camadas geológicas são lateralmente homogêneas, de propriedades térmicas constantes e possuem dimensões físicas bem definidas em relação aos intervalos das medidas. Desta forma, a profundidade foi considerada como variável independente e a temperatura como variável dependente.

No presente caso, para um conjunto de N pares de dados ( $z_i$ ,  $T_i$ ) os coeficientes são o gradiente térmico ( $\Gamma$ ) e o intercepto ( $T_0$ ), dada por:

$$\Gamma = \frac{N \sum z_i T_i - \sum z_i \sum T_i}{N \sum z_i^2 - (\sum z_i)^2} \quad (1)$$

$$T_0 = \frac{\sum z_i^2 \sum T_i - \sum z_i \sum z_i T_i}{N \sum z_i^2 - (\sum z_i)^2} \quad (2)$$

O método de temperatura estável de fundo do poço (CBT) é utilizado para casos, em que os fluxos de fluidos no interior do poço, perturbam o regime térmico condutivo, impossibilitando desta forma a determinação pelo método convencional do gradiente geotérmico. Nesses casos, uma variante do procedimento conhecido como 'método de fundo do poço' (BHT), proposto por Carvalho e Vacquiers (1977) e Carvalho (1981) e foi utilizado por Hamza e Muñoz (1996), Gomes e Hamza, (2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009), Hamza et al, (2004), Hamza et al, (2005), Alexandrino e Hamza (2008), Hamza et al (2010). O gradiente pelo CBT é determinado pela seguinte relação:

$$T_{CBT} = T_0 + q \sum_{i=1}^N R_i h_i \quad (3)$$

onde  $R_i$  é a resistividade térmica da camada  $i$ . O termo do somatório se refere à resistência térmica cumulativa das formações presentes até o fundo do poço onde foi efetuada a medida de temperatura.

## Áreas de Recarga e Tipos de Aquíferos

A água ao se infiltrar em subsuperfície vai se acumulando nos espaços vazios das rochas ou dos solos. Este local onde a água fica armazenada é denominado de aquífero. A área por onde a água penetra no aquífero é chamada de zona de recarga ou área de recarga, que é o local ou área onde a água passa da superfície para o interior das camadas em subsuperfície. Dependendo da pressão local estes são denominados de livres ou confinados, e do ponto de vista geológico podem ser porosos (sedimentos), fissurais (rochas) ou cársticos (calcário), conforme apresentamos com adaptações nas Figuras (1) e (2) abaixo (ABAS, 2002).

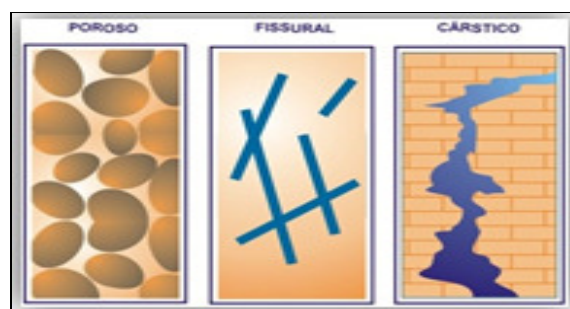


Figura 2 - Aquíferos quanto à porosidade (ABAS, 2012).

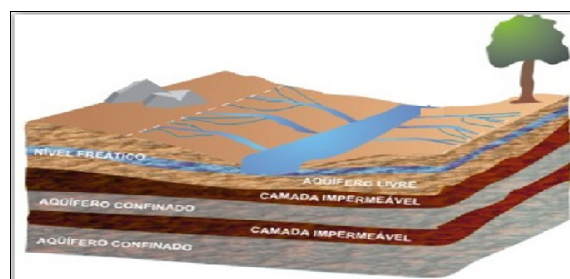


Figura 3 - Aquíferos livres e confinados (ABAS, 2012).

## Resultados

Todos os poços onde foram realizadas as perfilações térmicas estão localizados no Município de Teófilo Otoni. Durante as medidas, os locais foram devidamente georreferenciados.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela (1), onde consta o número do poço, o local e também as suas respectivas coordenadas geográficas. Em seguida na Tabela (2) são mostrados os valores dos gradientes geotérmicos obtidos por tipo de método com o seu respectivo valor e desvio padrão.

Tabela 1 – Local dos poços perfilados em Teófilo Otoni.

Poço	Local	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
P01-JBS	JBS	17° 52' 23"	41° 28' 22"
C3-COPASA	Potón	17° 55' 19"	41° 28' 27"
C5-COPASA	São José	17° 52' 11"	41° 32' 06"
C11-COPASA	Bela Vista	17° 50' 23"	41° 30' 35"

Tabela 2 – Gradientes geotérmicos obtidos com o seu respectivo tipo e com destaque do baixo valor obtido no poço C11.

Poço	Gradiente Geotérmico (°C/km)		
	Tipo	Valor	Desvio Padrão
P01-JBS	CBT	18,6	0,48
C3-COPASA	CBT	17,2	0,17
C5-COPASA	CVL	19,2	0,71
C11-COPASA	CVL	10,7	1,29

Os gráficos com os resultados finais dos perfis térmicos dos poços são apresentados nas Figuras (4) e (5).

## Discussão e análise dos resultados

Devido à baixa densidade de dados que temos em Teófilo Otoni, nos permite apenas a identificação de feições de grande comprimento de onda, ou seja, as anomalias regionais. Neste contexto, o resultado observado para o conjunto de valores do gradiente geotérmico é considerado como normal e correspondente a regiões geológicas consideradas estáveis. No entanto o baixo valor do poço C11 aponta para um local de possível área de recarga (Lopes et al, 2012).

De acordo com Gomes et al (2011) a província Mantiqueira apresenta valores de gradientes geotérmicos

inferiores a 20 °C/km o que é comum a todas as regiões pré-cambrianas.

Desta forma, os resultados obtidos neste trabalho no Município de Teófilo Otoni são compatíveis com a Formação Geológica da Região, que são a Formação Tumiritinga e o Tonalito São Vito, ambas pertencentes ao Complexo Juiz de Fora (COMIG, 2003).

## Conclusões

Os resultados do gradiente geotérmico se encontram num intervalo compreendido entre 10,7 e 19,2 °C/km.

O poço C05 com maior profundidade e de método CVL apresentou o maior valor de gradiente geotérmico, que resultou em  $19,2 \pm 0,71$  °C/km.

Constatou-se a presença de uma anomalia geotérmica de baixo valor apenas no poço C11, no Bairro da Bela Vista, cujo resultado foi de  $10,7 \pm 1,9$  °C/km, sendo indicativo de zonas de recarga.

Zonas de recarga permitem encontrar locais para abastecimento de água potável em cidades e regiões agrícolas e urbanas. Assim, a importância de identificar estes locais com projetos visando à sustentabilidade ambiental, projetos de prevenção contra a poluição dos lençóis freáticos, sumidouros ou aquíferos, e áreas contaminadas.

## Agradecimentos

Em especial ao Dr. Valiya Mannathal Hamza e à equipe do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT que permitiu a realização das perfilações e cedeu os equipamentos.

## Referências

- Gomes, A.J.L., Hamza, Valiya Mannathal. 2009. Avaliação de Recursos Geotérmicos da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado Observatório Nacional.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2009. Gradiente e Fluxo Geotérmico da Bacia do Paraná, 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in August 24-28, 2009, Salvador, Brazil.
- Gomes, A.J.L. ; Alexandrino, C., H. . 2011. Mapeamento de Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Estado de Minas Gerais. In: 12th International Congress Of The Brazilian Geophysical Society.
- Hamza, V.M., Silva Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Terceros, Z.G.D., 2005. Numerical and Functional Representations of Regional Heat Flow in South America, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Volume 152, 4, p.223-256.
- Lopes, K.J. ; Silva, J.M.P. ; GOMES, A.J.L. 2012. Identificação de área de recarga com vistas à sustentabilidade ambiental com base em medidas geotérmicas em Teófilo Otoni. In: IX Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poços de Caldas, Brasil.
- Serra, A. 1955. Atlas Climatológico do Brasil, Cons. Nac. Geo. Serv. Meteorológico, volume 1. Rio de Janeiro.

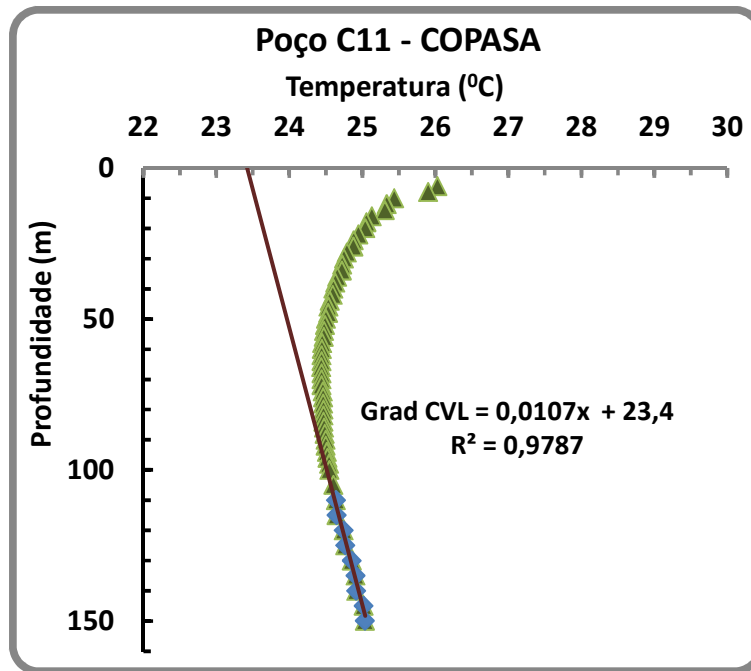


Figura 4 - Perfil térmico do poço C11 localizado no Bairro Bela Vista em Teófilo Otoni.

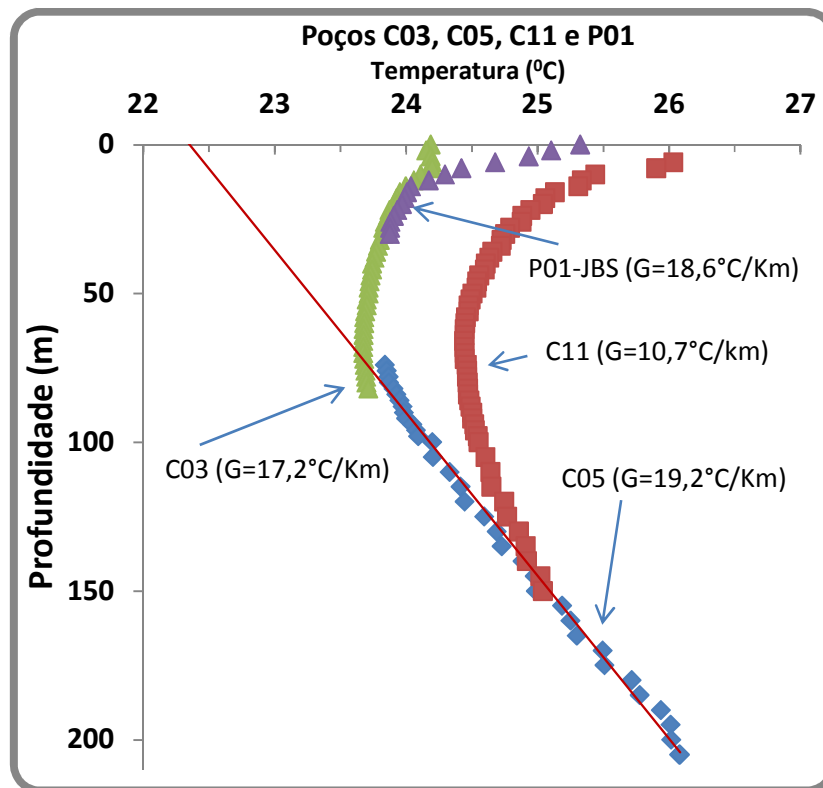


Figura 5 - Perfis térmicos comparativos dos poços C03, C05, C11 e P01 localizados em Teófilo Otoni.