



Ministério da Educação
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095–2011 – PROEXC/UFVJM
Nº 01 – Ano I – 05/2012
www.ufvjm.edu.br/vozes

AVALIAÇÃO DOS RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MINAS GERAIS

Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino
Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia – ICET
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
E-mail: carlos.alexandrino@ufvjm.edu.br

Saniely Eduarda Magalhães Couy
Discente do ICET – UFVJM
E-mail: saniely24@hotmail.com

Flaviany Lopes Rodrigues
Discente do ICET – UFVJM
Email: fa.rodrigues@hotmail.com

Resumo: Estudos recentes realizado por uma equipe conjunta do Programa de Planejamento Energético da UFRJ (COPPE) e da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) sinalizam que o setor elétrico do Estado de Minas Gerais não mais será auto-suficiente em geração elétrica, a partir do ano de 2025. Frente a isso, torna-se imperativo buscarmos novas fontes de energia. Uma das formas de energia pouco citada e quase desconhecida no estado é a geotérmica. Recentes avaliações de fluxo geotérmico realizados por Alexandrino (2008) mostram que a região centro-norte de Minas Gerais possui forte potencial para exploração e aproveitamento deste tipo de fonte energética. Este projeto tem como objetivo avaliar os recursos geotermicos do Estado de Minas Gerais.

Palavras-chaves: Geotermia e fluxo térmico. Recursos geotermiais. Eficiência energética. Matriz energética de Minas Gerais.

Introdução

Em 2007, um estudo realizado por uma equipe conjunta do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e do Centro de Excelência em Recursos Naturais e Energia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) sinalizaram que o Estado de Minas Gerais perderá a condição de auto-suficiente na geração elétrica, em razão do esgotamento de seus recursos hídricos. Por consequência, Minas Gerais passará de sua qualidade histórica de exportador para importador de energia elétrica, a partir da segunda década do século XXI.

Apresenta-se na Tabela 1 a previsão da demanda versus capacidade de geração para os próximos anos, já em 2030 observar-se que o Estado precisará importar aproximadamente 17% de energia elétrica. Frente a isso, torna-se imperativo a realização de pesquisas por novas fontes de energia.

Tabela 1 – Demanda e Geração de Eletricidade em Minas Gerais - Cenário de Referência

Situação	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
Demanda – Crescimento médio anual	3,8%	4,1%	4,3%	4,5%
Geração em MG -Crescimento médio anual	3,8%	4,1%	4,0%	0,7%
Dependência – Importação líquida de energia	---	---	5,8%	17,1%

Fonte: UFRJ (COPPE)/ UNIFEI

Dentre as diversas opções de energia: eólica, biomassa, solar fotovoltaica e termoelétrica, ondas, nuclear, entre outras, a geotérmica pode ser uma excelente alternativa para Minas Gerais. Os principais benefícios da Energia Geotérmica

resultam de se tratar de uma energia não poluente comparada com as energias que utilizam combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de gases de estufa. Além disso, as centrais geotérmicas operam continuamente, sem estarem sujeitas a condições meteorológicas, ao contrário das centrais eólicas e hídricas que são dependentes da volatilidade do recurso, além de possuírem menor custo em relação aos combustíveis fósseis.

Trabalhos recentes realizados por Alexandrino e Hamza (2008), apontam que a região centro-norte do Estado, se destaca por apresentar valores de fluxo geotérmico relativamente altos, maiores que 80 mW/m^2 . Essa característica fornece ao Estado, condições excepcionais para utilizar a energia geotérmica. A Figura 1 apresenta a distribuição do fluxo geotérmico de Minas Gerais, estimada por Alexandrino (2008).

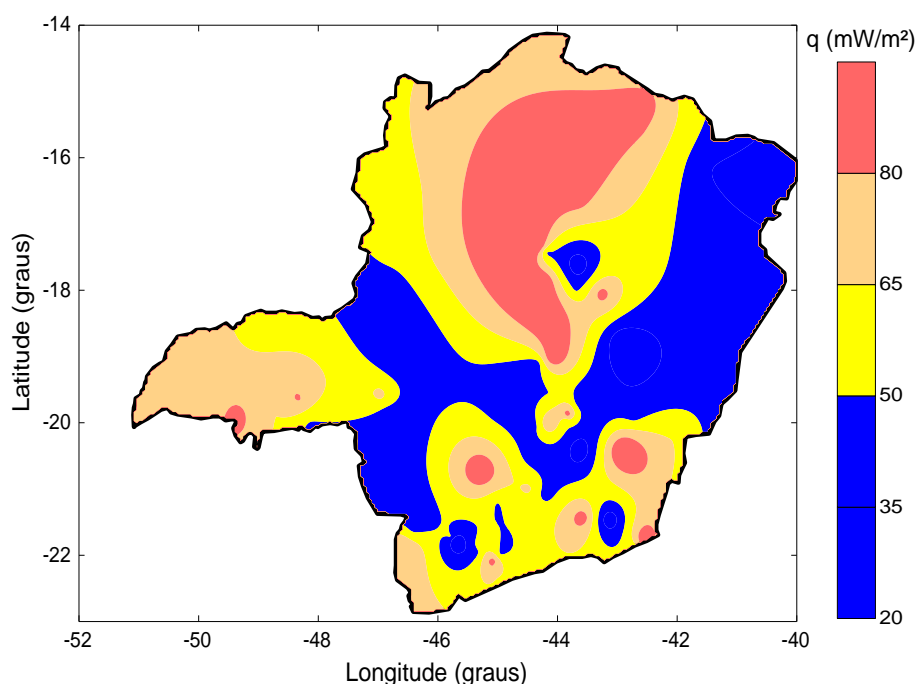


Figura 1 - Distribuição do Fluxo Geotérmico do Estado de Minas Gerais.

Fonte: Alexandrino, 2008.

A utilização de energia geotérmica (tanto para eletricidade quanto para calor) parece atraente considerando o seu potencial: 1% da energia térmica contida em uma camada superficial de 10 km da terra corresponde a 500 vezes todas as reservas de óleo e gás do planeta (Macedo, 2003).

Objetivos

Avaliar o potencial geotérmico de Minas Gerais, com base em dados de fluxo e/ou gradiente geotérmico. Além deste enfoque prático, o projeto possui ainda como objetivos o mapeamento do campo geotérmico da crosta na área do estudo. Isto é de considerável importância, não somente para estudos científicos, mas também nas determinações das condições para maturação térmica de hidrocarbonetos na região da Bacia do São Francisco; Identificação de novas áreas com estâncias hidrotermais no Estado e construção de modelos para obtenção de soluções numéricas estáveis e precisas para os problemas geotérmicos.

1.REVISÃO TEÓRICA

1.1. Sistemas Geotérmicos

Os sistemas geotérmicos podem tanto ser encontrados em regiões, com gradiente geotérmico normal ou anômalo. No primeiro caso, os sistemas se caracterizam por temperaturas, em torno de 100°C, a profundidades economicamente alcançáveis (1-3 km); no segundo caso as temperaturas podem cobrir um amplo range, de 100 a 400°C.

Pode-se descrever um sistema geotérmico como a circulação de água na crosta superior da Terra que recebe calor de uma fonte térmica em profundidade e retorna a superfície livre (Hochstein, 1990).

Um sistema geotérmico é constituído por três elementos principais: uma fonte de calor, um reservatório e um fluido, no qual o meio transfere calor. O reservatório é um volume de rochas quentes permeáveis na qual os fluidos circulantes extraem calor. A Figura 2 é uma representação simplificada de um sistema geotérmico ideal.

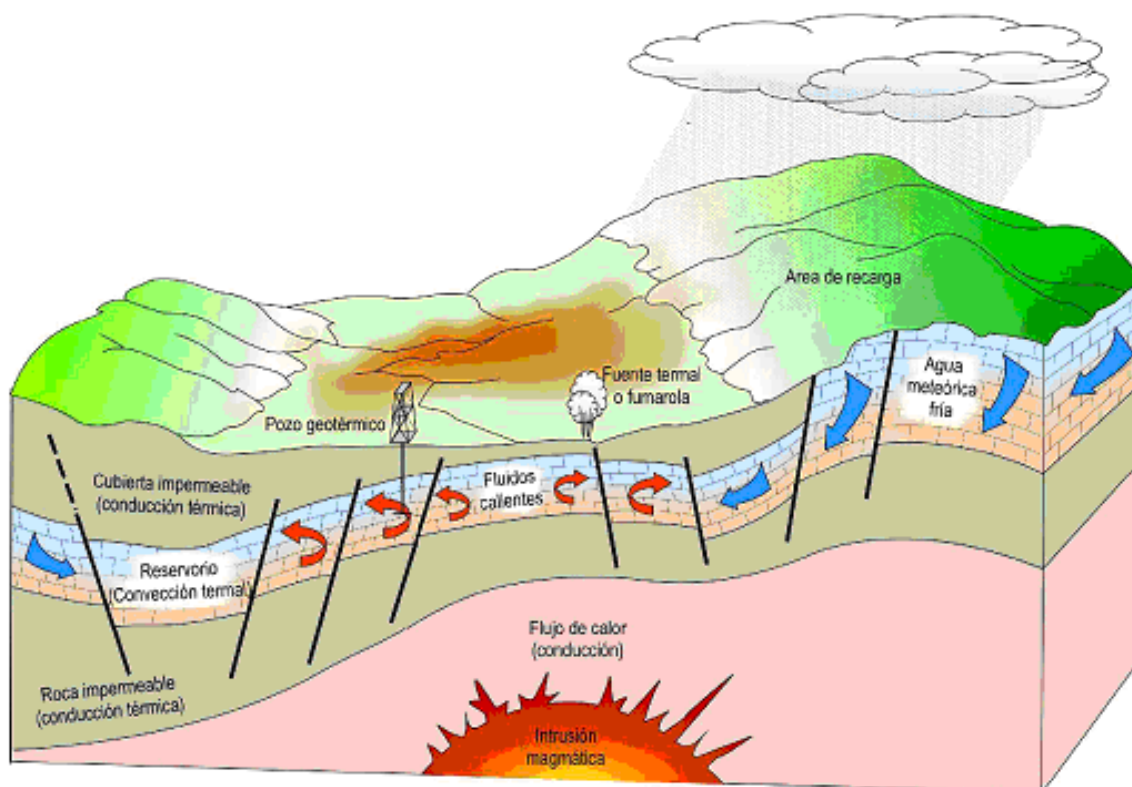


Figura 2- Representação esquemática de um sistema geotérmico ideal

Geralmente o reservatório está coberto por rochas impermeáveis e esta conectada a uma área de recarga superficial através da qual circula um fluido geotermal. Na maioria dos casos o fluido geotermal é água de origem meteórica e dependendo de sua temperatura e pressão poderá estar na fase líquida ou na forma de vapor, que contém substâncias químicas dissolvidas: sais e gases (CO_2 , H_2S , etc).

1.2. Classificação de Recursos Geotérmicos

Os recursos geotérmicos devem ser classificados, pois somente desta forma pode-se analisar se a exploração será economicamente viável. O critério comumente usado para classificar os recursos geotérmicos é o baseado na entalpia dos fluidos geotérmicos que escoam de regiões profundas até à superfície. A entalpia pode ser considerada, como sendo proporcional à temperatura.

Os recursos geotérmicos são classificados em alta, média e baixa entalpia. A Tabela 2 mostra os requisitos propostos para classificar os recursos geotérmicos de acordo com esses critérios.

Tabela 2 - Classificação de recursos geotérmicos segundo (a) Muffler e Cataldi (1978); (b) Hochstein (1990); (c) Benderitter e Cormy (1990).

Classificação do recurso em função da sua entalpia	Temperatura (°C)		
	(a)	(b)	(c)
Baixa	< 90	< 90	< 100
Média	90 – 150	125 – 225	100 – 200
Alta	> 150	> 225	> 200

Uma vez classificado o tipo de recurso geotérmico de uma dada região, a energia disponível oferece diversas aplicações, conforme descrito na Figura 3, que mostra o diagrama de Lindal, onde observa-se que a partir da identificação de recursos de media entalpia é possível a produção de energia elétrica através da utilização de um ciclo binário e caso sejam encontrados recursos de alta entalpia, a produção de energia elétrica pode ser realizada pelos métodos convencionais.

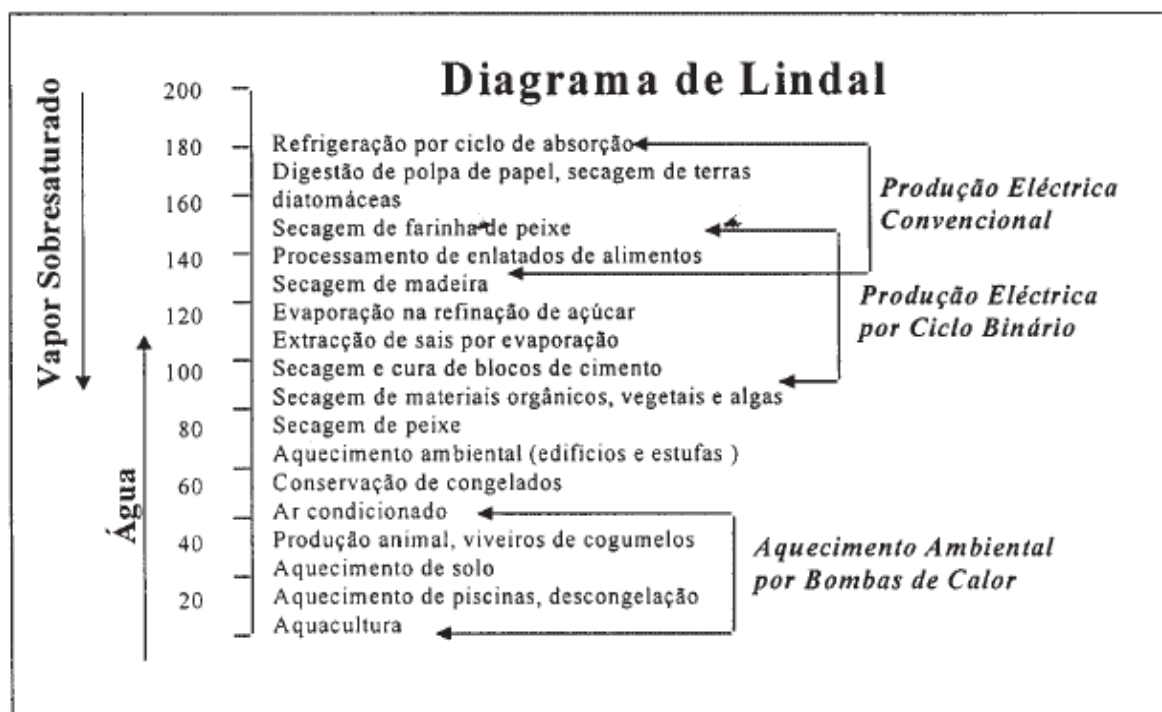


Figura 3 - Utilizações da energia geotérmica (adaptado de Lindal, 1973).

2. METODOLOGIA

Muffler e Cataldi (1978) dividiram os métodos de avaliação de recursos geotérmicos em quatro categorias: (1) fluxo termal na superfície, (2) fratura planar, (3) calor magmático e (4) volumétrico.

O método do fluxo termal na superfície consiste na medida da razão de energia termal perdida em superfície por condução.

O método de fratura planar (Bodvarsson, 1972, 1974) envolve um modelo de energia termal, que é extraído de rochas impermeáveis, através do fluxo d'água ao longo de uma fratura planar. Os cálculos baseiam-se na condutividade térmica e transferência de calor por condução. Requer a estimativa da área da fratura, espaço das fraturas, temperatura inicial da rocha, etc.

O método de calor magmático envolve o cálculo da energia térmica remanescente de intrusões ígneas jovens e das rochas adjacentes em função da temperatura, tamanho, idade e mecanismo de resfriamento.

O método volumétrico envolve o cálculo da energia termal contida num dado volume de rocha e água. A energia termal é calculada pelo produto envolvendo o volume do reservatório, a temperatura e o calor específico da rocha e da água.

O método amplamente utilizado nas avaliações de recursos geotérmicos é o volumétrico (Benderitter e Cormy, 1990; Nicholson, 1993; Axelsson e Gunnlaugsson, 2000), devido à sua facilidade para implementação.

O cálculo do recurso baseia-se nas estimativas sobre a distribuição de temperaturas na crosta. A taxa desta variação depende do fluxo térmico basal, propriedades térmicas do meio, calor radiogênico e características das formações geológicas. O cálculo do Recurso Base (Q_{RB}) neste método é efetuado utilizando a relação:

$$Q_{RB} = \rho c_p A d (T - T_0) \quad (1)$$

sendo ρ a densidade média da crosta, c_p , o calor específico do material, A , a área, d a profundidade média da crosta, T_0 a temperatura ambiente anual média, T a temperatura à profundidade z . O termo $(T - T_0)$ é denominado "excesso de temperatura". Como o cálculo do recurso depende da distribuição vertical do

“excesso de temperatura”, ou seja, $(T-T_0)$, integramos a equação (1) ao longo do eixo z . Logo, obtemos o recurso base como:

$$Q_{RB} = \rho C_p A d \int_0^z [T(z) - T_0] dz \quad (2)$$

No caso de regime térmico estacionário e produção de calor constante, o excesso de temperatura $(\Delta T = T(z) - T_0)$ pode ser estimado usando a seguinte relação:

$$\Delta T = \frac{q_0}{\lambda} z - \frac{A_0}{2\lambda} z^2 \quad (3)$$

onde q_0 é o fluxo geotérmico observado e A_0 a produção de calor radiogênico, ambos observados na superfície e λ a condutividade térmica. O uso da equação (3) permite estimar a distribuição da temperatura na crosta e, conseqüentemente avaliar o potencial geotérmico de uma região.

3. MEDIDAS EM LABORATÓRIO

Para a produção dos resultados, primeiramente necessitou-se de levantamento de dados, como longitude, latitude e altitude de todos os municípios do estado de Minas Gerais. Como são mostrados algumas destas informações na Tabela 3 a seguir.

Município	Longitude	Latitude	Elevação (m)
Além Paraíba	-42,68	-21,87	140
C. Fabriciano	-41,29	-21,76	250
Cach. Pajéu	-41,69	-16,09	804
Diamantina	-43,63	-17,65	715
Guanhães	-42,93	-18,78	777
Itabira	-43,23	-19,62	779
Manhuaçu	-42,03	-20,25	653

Mantena	-40,98	-18,78	212
Medina	-41,33	-16,23	519

Tabela 3 – Localização Geográfica do Estado de Minas Gerais

Após a coleta destes dados, e fazendo-se uso de programação em linguagem Fortran, pode-se calcular a Altura Geoidal, N (m), de cada município, e já em posse destes valores, determinou-se também a Espessura da Crosta, Zc (km), a Espessura da Litosfera, Zl (km), e a temperatura na base da Crosta Terrestre, também conhecida como Temperatura Moho, Tm (°C). Ainda pesquisou-se a Temperatura Média na superfície de cada município, Tms (°C), podendo assim, confeccionar a Tabela 4.

Município	N (m)	Zc (km)	Zl (km)	Tm (°C)	Tms (°C)
Além Paraíba	-5348	36,83	171,15	395,11	21,0
Coronel Fabriciano	-10722	40,20	193,88	384,36	22,0
Cachoeira de Pajeú	-8712	43,08	204,6	391,85	24,0
Diamantina	-8776	46,40	220,41	393,67	21,0
Guanhães	-9948	44,05	210,56	390,09	21,0
Itabira	-8.555	43,50	206,37	392,46	22,0
Manhuaçu	-5673	41,06	191,39	397,29	20,0
Mantena	-9181	39,22	187,41	386,95	24,0
Medina	-8771	42,01	190,66	390,89	24,0

Tabela 4 – Altura geoidal, N, Espessura da crosta, Zc, Espessura da litosfera, Zl, Temperatura Moho, Tm, e Temperatura média da superfície, Tms.

Através do Mapa geológico de Minas Gerais da Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG) e o uso do Surfer8, obteve-se a litologia das cidades, podendo assim analisar a condutividade térmica referente à formação geológica predominante em cada região.

Considerando-se o gradiente térmico, G ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$), em condições de estado permanente e distribuição linear de temperatura, o gradiente pode ser expresso como:

$$G = \frac{T_M - T_{MS}}{z_c} \quad (4)$$

Após calculado o gradiente térmico, pode-se então obter o fluxo geotérmico, q (W/m^2), pela multiplicação da condutividade térmica, λ , pelo gradiente G , como mostra a equação (5):

$$q = \lambda G \quad (5)$$

Desta maneira têm-se então os valores da condutividade, gradiente térmico, e fluxo térmico de cada município, exposto na Tabela 5.

Nome da cidade	λ (W/mK)	G ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	q (W/m^2)
Além Paraíba	3	20,5	62
Coronel Fabriciano	3	9,2	28
Cachoeira de Pajeú	3,7	7,8	29
Diamantina	2,7	8,4	23
Guanhães	2,1	10	21
Itabira	3	13	39
Manhuaçu	3,2	20	64
Mantena	2,5	19	48
Medina	3	8,2	25

Tabela 5 – Condutividade térmica, λ , gradiente térmico, G , e fluxo térmico, q .

Com os dados obtidos, e utilizando a equação (3) é possível calcular o excesso de temperatura nas profundidades desejadas, neste caso, a 3 km e 5 km, podendo estimar o potencial geotérmico de uma dada região.

Por falta de informações sobre dados de calor radiogênico, A_0 , foram considerados valores entre zero e três (taxa máxima), obtendo assim resultados máximos, intermediários, e mínimos para o excesso de temperatura.

As Tabelas 6 e 7, a seguir apresentam os diferentes valores de ΔT devido a imprecisão nos valores do calor radiogênico, e também exibem o erro percentual cometido.

Município	$A_0 = 0\text{mW/m}^3$		$A_0 = 1\text{mW/m}^3$		Erro Percentual (%)	
	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$A_0 = 1\text{mW/m}^3$	
	3 km	5km	3 km	5km	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a 3 km	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a 5km
Além Paraíba	62	103	60,50	99,17	2,42	4,03
C. Fabriciano	28	47	26,50	42,50	5,36	8,93
Cach. Pajéu	24	39	22,30	35,81	5,17	8,62
Diamantina	26	43	23,89	37,96	6,52	10,87
Guanhães	30	50	27,86	44,05	7,14	11,90
Itabira	39	65	37,50	60,83	3,85	6,41
Manhuaçu	60	100	58,59	96,09	2,34	3,91
Mantena	58	96	55,80	91,00	3,13	5,21
Medina	25	42	23,50	37,50	6,00	10,00

Tabela 6: Taxas de excesso de temperatura com $A_0=0\text{mW/m}^3$ e $A_0=1\text{mW/m}^3$

Município	$A_0 = 0\text{mW/m}^3$		$A_0 = 3\text{mW/m}^3$		Erro Percentual % $A_0 = 3\text{mW/m}^3$	
	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ a
	3 km	5km	3 km	5km	3 km	5km
Além Paraíba	62	103	57,50	90,83	7,26	12,10
C. Fabriciano	28	47	23,50	34,17	16,07	26,79
Cach. Pajéu	24	39	19,86	29,05	15,52	25,86
Diamantina	26	43	20,56	28,70	19,57	32,61
Guanhães	30	50	23,57	32,14	21,43	35,71
Itabira	39	65	34,50	52,50	11,54	19,23
Manhuaçu	60	100	55,78	88,28	7,03	11,72
Mantena	58	96	52,20	81,00	9,38	15,63
Medina	25	42	20,50	29,17	18,00	30,00

Tabela 7: Taxas de excesso de temperatura com $A_0=0\text{mW/m}^3$ e $A_0=3\text{mW/m}^3$

Pela análise de sensibilidade pode-se constatar que o erro máximo cometido foi de aproximadamente 36,00%, o valor da discrepância se deve ao fato de ter sido utilizado nestes cálculos, os valores máximos e mínimos para a taxa de calor radiogênico, entretanto, considerando $A_0= 1\text{mW/m}^3$, valor intermediário, constatamos que o erro não supera 12,00%, portanto os dados para o excesso de temperatura aqui calculado, apesar de superestimados estão muito próximos dos valores reais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 4 e 5 apresentam a distribuição do excesso de temperatura do estado de Minas Gerais a profundidades de 3 e 5 km respectivamente. Através da análise dos mapas, é possível avaliar e classificar os recursos geotérmicos do estado.

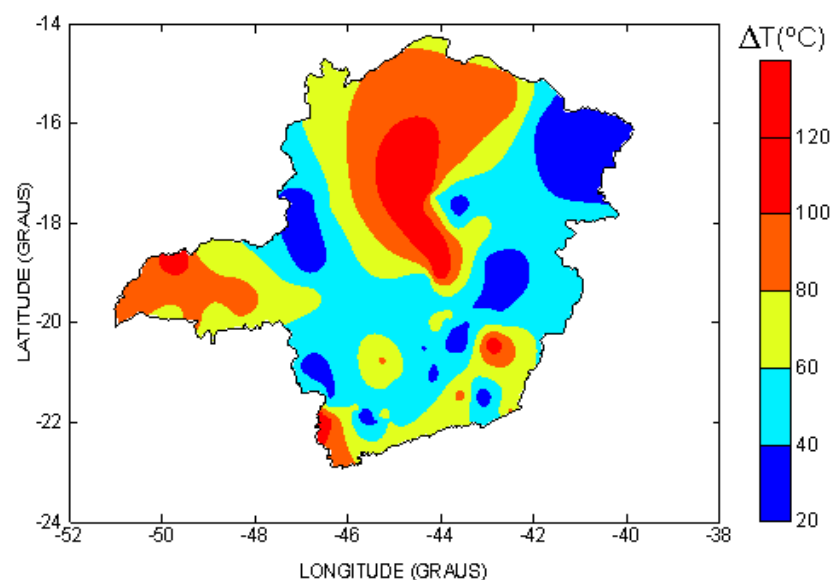


Figura 4: Excesso de temperatura a 3 km de profundidade. Fonte: Couyet al, 2011.

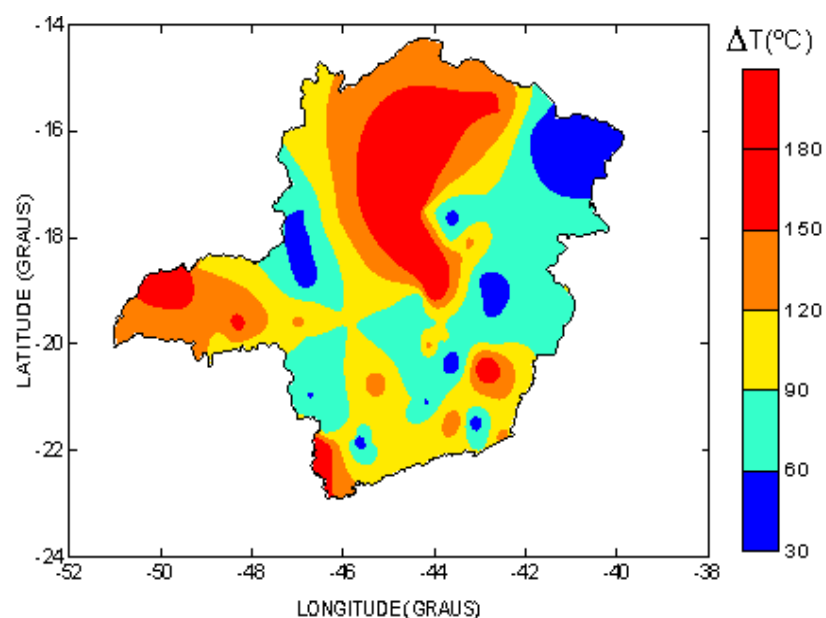


Figura 5 - Excesso de temperatura a 5 km de profundidade.

Fonte: Couyet al, 2011.

De acordo com a Figura 4, observam-se as regiões de maior excesso de temperatura, sendo elas a Bacia do São Francisco e o Triângulo Mineiro, que apresentam temperaturas entre 100°C e 120°C, que segundo Muffler e Cataldi (1978) classificam-se como recursos térmicos de média entalpia, que por sua vez, pelo diagrama de Lindal (1973) é possível a produção de energia elétrica nestas regiões através da utilização de um ciclo binário, além de outras aplicações.

Como se pode observar na Figura 5, as regiões que apresentam maior excesso de temperatura são a Bacia do São Francisco, o Triângulo Mineiro, e pequenos trechos na região Sul e Sudeste do estado que apontam temperaturas entre 150°C e 180°C, que de acordo com Muffler e Cataldi (1978) são classificadas como recursos térmicos de alta entalpia, que segundo Lindal (1973) são regiões propícias a produção de energia elétrica por meio dos métodos convencionais.

Embora a falta de reconhecimento formal ainda seja um obstáculo, a energia geotérmica integra a Matriz Energética Nacional, sendo uma fonte energética bastante utilizada nas áreas de recreação e lazer em diversas regiões do estado. A presença de águas quentes em várias regiões, principalmente nas regiões do Triângulo Mineiro e da Bacia do São Francisco, com temperaturas termais variando entre 37°C e 41°C apontam para uma possível fonte de energia geotérmica explorável.

Sabendo-se que as centrais geotérmicas funcionam continuamente, sem se submeterem a condições meteorológicas e que ocupam áreas relativamente pequenas, se comparadas às centrais hidrelétricas, é possível o uso da energia geotérmica na produção de energia elétrica em regiões isoladas do estado, como por exemplo pequenos povoados, que estejam contidos nas áreas apontadas como de média e alta entalpia.

Contudo, existem poucos dados experimentais da geotermia do estado de Minas Gerais. Tal fato reforça a necessidade de se pesquisar e compreender o potencial energético, a fim de se determinar a viabilidade da implementação de futuras explorações de energia geotérmica nas regiões apontadas, o que seria muito importante para as mesma, bem como para o próprio estado de Minas Gerais.

CONCLUSÃO

Desde tempos históricos, a busca por energia sempre foi uma das preocupações do homem, e atualmente as atividades da sociedade moderna são dependentes da disponibilidade dos recursos energéticos.

É notório que tanto economicamente quanto ecologicamente as fontes alternativas e renováveis de energia vêm se destacando cada vez mais na escolha da sociedade pela procura por recursos energéticos.

Desta forma observa-se que a energia geotérmica é uma das fontes renováveis de energia ao alcance do homem e que graças às tecnologias modernas pode-se pensar em sua utilização nas regiões aqui apontadas como propícias a produção deste tipo de energia.

ABSTRACT: Recent studies conducted by a joint team of the Energy Planning Program of UFRJ (COPPE) and Federal University of Itajubá (UNIFEI) indicate that the power sector of the State of Minas Gerais will no longer be self-sufficient in electricity generation, from the year, 2025. Given this, it becomes imperative to seek new sources of energy. One of the underreported forms of energy and almost unknown in the state is the geothermal. The objective of this project is to assess the geothermal resources of the State of Minas Gerais. Recent assessments conducted by heat flow Alexandrian (2008) show that the north central part of Minas Gerais has great potential for exploration and exploitation of this type of energy source. The results of this project point to the existence of resources from low and medium enthalpy in the region of the basin of San Francisco.

Keywords: Geothermal energy and heat flow. Geothermal resources. Energy efficiency. Energy matrix of Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

Alexandrino, C., H. Geothermal field of the structural province of São Francisco and adjacent mobile belts (in Portuguese) Unpublished Ph.D. Thesis. **Observatório Nacional**, Rio de Janeiro, Brazil, pp.1 – 167, 2008.

Alexandrino, C. H., Hamza, V.M., 2008, Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco craton *International Journal of Earth Sciences*, Volume 97, Number 2, April 2008, pp. 289-306.

Axelsson, G., Gunnlaugsson, E., 2000, Background: Geothermal utilization, management and monitoring. In: Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation. **WGC 2000 Short Courses**, Japan, 3-10.

Benderitter, Y., Cormy, G., 1990, Possible approach to geothermal research and relative costs. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*. **UNITAR**, New York, pp. 59—69.

Bodvarsson, C. Thermal problems in the siting of reinjection wells. **Geothermics**, v. 1, p. 63-66, 1972.

Bodvarsson, C. Geothermal resource energetics. **Geothermics**, vol. 3, pp. 83-92, 1974.

Couy, S.E.M., Rodrigues, F.L., Alexandrino, C.H. **Avaliação do potencial geotérmico de Minas Gerais**. Apresentado na Jornada de Iniciação Científica; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011.

Couy, S.E.M., Rodrigues, F.L., Alexandrino, C.H. **Avaliação dos recursos geotérmicos de Minas Gerais**. Apresentado no 12º Simpósio de Geologia do Sudeste; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011.

Macedo, I., C. Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. CTenerg. p.90, 2003.

Hochstein, M. P. Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*. **UNITAR**, New York, pp. 31 – 57, 1990.

Lindal B. Industrial and other applications of Geothermal Energy. In: ARMSTEAD H. C. H., eds., *Geothermal Energy*. **UNESCO**, Paris, 1973.

Mckelvey, V. E., 1968, Mineral potential for the submerged parts of the continents, in *Mineral resources of the world ocean*: U.S. Geol. Survey,

University of Rhode Island, U.S. Navy. **Occasional Publication** 4, p. 31-38, 1968.

Muffler, P., Cataldi, R. Methods for regional assessment of geothermal resources. **Geothermics**, 7, p. 53 – 89, 1978.

Nicholson, K., 1993, Geothermal Fluids. **Springer Verlag**, Berlin, XVIII, p. 264, 1993.

Programa de Planejamento Energético PPE/COPPE/UFRJ; Universidade Federal de Itajubá - Centro de Excelência em Recursos Naturais e Energia Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030, 2007.

Texto acadêmico publicado em 10 de maio de 2012, na
Revista Vozes dos Vales da UFVJM: Publicações Acadêmicas – MG –
Brasil – Nº 01 – Ano I – 05/2012

Reg.: 120.2.095–2011 – PROEXC/UFVJM –
www.ufvjm.edu.br/vozes