



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
**Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ESTUDOS HIDROGEQUÍMICOS E GEOFÍSICOS NA  
REGIÃO DA BRAQUIDOBRA DE MONTE ALEGRE-PA**

TESE APRESENTADA POR

**ELEM CRISTINA DOS SANTOS LOPES**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **11 / 04 / 2005**

**Comitê de Tese:**

  
RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS (Orientador)

  
ELIENE LOPES DE SOUZA

  
RAIMUNDO MARIANO GOMES CASTELO BRANCO

Belém

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Lopes, Elem Cristina dos Santos

**Estudos hidrogeoquímicos e geofísicos na região de Braquidobra de Monte Alegre-PA.** / Elem Cristina dos Santos Lopes; orientador, Raimundo netuno Nobre Villas. Belém. – 2005

83f. : il

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2005.

1. Geoquímica 2. Hidrogeoquímica 3. Eletroresistividade 4. Gravimetria 5. Bacia do Amazonas 6. Monte Alegre-PA I. Villas, Raimundo Netuno Nobre, orient. II Título.

**CDD 20. ed.: 551.9098115**

---

## RESUMO

A braquidobra de Monte Alegre localiza-se no município homônimo, no oeste do estado do Pará, sendo uma das mais proeminentes estruturas geológicas da bacia sedimentar do Amazonas. Em superfície exhibe forma elíptica com eixos maior (NE-SW) e menor (NW-SE) de cerca de 30 e 20 km, respectivamente, e expõe amplamente boa parte das rochas que compõem a coluna estratigráfica daquela bacia (formações Ererê, Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro, Monte Alegre, Itaituba, Alter do Chão e os diabásios Penatecaua). Na área de exposição da Formação Ererê ocorrem fontes termominerais com temperaturas variando de 29 a 37°C.

Os objetivos do trabalho foram avaliar a influência das rochas na composição química das águas da região da braquidobra de Monte Alegre e seu equilíbrio químico; caracterizar isotopicamente e tecer considerações a cerca da origem e circulação das águas das fontes termominerais; elaborar um modelo geológico em subsuperfície e identificar/delimitar a anomalia termal a partir de métodos geofísicos (gravimetria e eletrorresistividade).

O diagrama de Piper mostra uma ampla variação química para as águas subterrâneas e superficiais, variando no campo das bicarbonatadas a sulfatado-cálcicas e cloretado-sódicas. As águas termominerais são quimicamente mais homogêneas e ficam limitadas aos campos das águas bicarbonatadas a cloretado-sódicas. Esta ampla variação química, reflete a composição das rochas pelas quais as águas migram e que resultam principalmente das reações de hidrólise e de oxi-redução, no último caso envolvendo a pirita ou sulfatos de leitos evaporíticos presentes em profundidade, como é o caso das águas termominerais.

Diagramas de atividade mostram que todas as águas estão em equilíbrio com caulinita, porém as águas termominerais se aproximam do campo de estabilidade da muscovita. Algumas amostras de águas superficiais que percolam os carbonatos da Formação Itaituba aproximam-se do campo de equilíbrio com a leonhardita. Nota-se que as águas da fonte Menino Deus, coletadas no período de outubro/2002, equilibram-se com a muscovita e não com a paragonita, apesar de possuírem razões  $Na/K > 1$ . Além disso, a maioria das amostras de água

estudadas tem concentração de sílica que as saturam em quartzo e, a FT-27 e as amostras da fonte Menino Deus, no período seco, estão em equilíbrio com a pirofilita.

Os dados isotópicos revelam que as águas termominerais de Monte Alegre são de origem meteórica com valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  coincidentes com a linha de água metórica global, ainda que levemente enriquecidas em deutério. Esse excesso de deutério varia sazonalmente, registrando-se 11,8 a 14,8‰ no período seco e 4 a 9,5‰ no período chuvoso.

Temperaturas em subsuperfície das águas termominerais foram estimadas com geotermômetros químicos, registrando-se médias de 71°C (na estação chuvosa) e de 83°C (na estiagem) utilizando-se o geotermômetro da sílica. A profundidade de circulação dessas águas foi calculada com base em uma equação empírica para um gradiente geotérmico de 30°/km, e para as temperaturas estimadas com o geotermômetro da sílica, tendo-se obtido valores médios de 1560 e 1900 m no período chuvoso e seco, respectivamente. Estas águas meteóricas infiltram-se e retornam à superfície através da trama de falhas/fraturas existentes na área, sendo os principais condutos as falhas de direção NE-SW e N-S, que truncam os flancos da braquidobra.

Os levantamentos gravimétricos permitiram inferir a presença de um corpo de configuração geométrica similar a um lacólito a 1,3 km de profundidade, cuja maior espessura coincide, aproximadamente, com a área central da braquidobra, onde está situada a porção mais rasa do lacólito. Foi possível, também, estabelecer relações de contato entre as camadas sedimentares e o lacólito em subsuperfície, bem como mapear fraturas e falhas, muitas das quais de traços visíveis em imagens de radar SRTM.

Os perfis de eletrorresistividade, por outro lado, apenas confirmaram a diversidade litológica das formações geológicas presentes em profundidade e mostraram a configuração das falhas que trunca a estrutura.

## ABSTRACT

The Monte Alegre brachyanticline is located in the central-western Pará and is one of the most striking structures of the Paleozoic Amazon sedimentary basin. The dome outcropping surface is elliptical with axes of 30 and 20 km trending NE-SW and NW-SE, respectively. At the present erosion level, rocks of the Ererê, Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro, Monte Alegre, Itaituba and Alter do Chão formations, as well as the Penatecaua diabase are exposed. Thermal springs with temperatures from 29 to 37°C issue out of the Ererê Formation.

The present study focuses on the physico-chemical characterization of surface and groundwater that occur within the dome and on the interaction with their mineral environment. In addition, the thermal waters are also characterized isotopically and their subsurface temperatures estimated with basis on the silica and Na-Ca-K geothermometers. Gravimetric and resistivity methods were applied aiming at detecting potential sources that could account for the heating of the thermal waters.

The Piper diagrams show a wide chemical variation for both the surface and groundwater which spread over the bicarbonate, calc-sulfate and sodic-chloride fields. The thermal waters are chemically more homogeneous and fall on the bicarbonate and sodic-chloride fields. This variability reflects the composition of the rocks through which the waters migrate, whose components result mainly from hydrolysis and redox reactions involving pyrite and sulfate minerals.

Most water samples are in equilibrium with kaolinite as deduced from activity diagrams constructed at 25°C, 1 atm and at quartz saturation. The thermal water samples cluster near the boundary kaolinite-sericite, whereas a few samples of surface waters that drain the Itaituba Formation plot near the line separating the kaolinite and leonhardite stability fields. The samples of the Menino Deus thermal spring collected in October/2002 reached equilibrium with sericite but failed to equilibrate with paragonite despite their Na/K ratios being higher than unity. Furthermore, most water samples are saturated with quartz. During the dry season, sample FT-27 and those from the Menino Deus thermal spring presented higher silica contents causing them to equilibrate with pyrophyllite.

Isotopic data show that the Monte Alegre thermal waters have a meteoric origin with  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values coincident with the global meteoric water line, although slightly enriched in deuterium. The excess of deuterium varies seasonally, being recorded values of 11,8-14,8 ‰ in the dry season and 4-9,5 ‰ in the wet season.

Sub-surface temperatures for the thermal waters estimated with the silica geothermometer yield mean values of 71°C (wet season) and 83°C (dry season). Average water circulation depths ranging from 1560 m (wet season) to 1900 m (dry season) were calculated assuming a geothermal gradient of 30°/km and using the estimated sub-surface temperatures. After infiltrating into the ground, these meteoric waters are heated and rise back to the surface through a channel way network, particularly NE-SW and N-S-trending faults which truncate the brachyanticline flanks.

Gravimetric surveys allowed to infer the presence of a lacolith-like body at a depth of about 1.3 km. This body is thicker close to the central portion of the brachyanticline. Contact relationships between sedimentary units and the lacolith could also be defined. Likewise, fractures and faults could be mapped at depth whose traces are visible on SRTM radar images.

Resistivity profiles did not identify any thermal anomaly in the area, but they confirm the lithological diversity of the geological units as well as faults that may have served as conduits to the fluids.