

Águas Quentes de Caldas Novas, GO

Notável ocorrência de águas termais sem associação com magmatismo

SIGEP 113

José Eloi Guimarães Campos¹

Uwe Tröger²

Fábio Floriano Haesbaert³

A REGIÃO DAS ÁGUAS TERMAIS do sudeste do estado de Goiás comporta uma das maiores ocorrências de águas quentes sem vinculação com vulcanismo ou outro tipo de magmatismo. O aquecimento se processa a partir do grau geotérmico, que representa o aumento da temperatura com o gradual aumento da profundidade. Nesse caso, as águas de chuva que se infiltram através do solo e rochas falhadas e fraturadas, alcançam profundidades maiores que 1000 metros e chegam a temperaturas cerca de 50°C mais elevadas que a média anual na superfície. Depois de aquecidas, as águas migram em direção à superfície por sistemas de fraturas e quando interceptam a superfície formam as nascentes termais, (como as que formam o rio Quente). A avaliação da composição química das águas, dos tipos de rochas, do padrão de relevo e dos sistemas de fluxo subterrâneo permite distinguir três sistemas aquíferos na região: Aquífero Intergranular, Sistema Aquífero Araxá e Sistema Aquífero Paranoá. A composição química das águas e os padrões de fluxo subterrâneo mostram que há misturas de águas dos diversos sistemas aquíferos. Nas últimas décadas os sistemas aquíferos da região sofreram rápido declínio dos níveis d'água em função da sobre-exploração por poços tubulares. A manutenção dos reservatórios subterrâneos requer iniciativas de gestão dos recursos hídricos, incluindo limitação do bombeamento, divulgação de informações técnicas para o público em geral, desenvolvimento de práticas de recarga artificial dos aquíferos, entre outras.

Palavras-chaves: Água termal; aquíferos; recarga; Caldas Novas

Caldas Novas hot springs, State of Goiás –

Remarkable occurrence of thermal waters not related to magmatism

The thermal waters of the southern Goiás state region represents one of the largest occurrences of hot groundwater without association with volcanism or other magmatism phenomenon. The heating is processed by geothermic energy, represented by the temperature rising with the gradual increasing of depth. In such way, the rainwaters infiltrate through the soil and through faulted and fractured rocks, reach up to 1000 meters depths and get temperatures at least 50°C higher than the annual average at the surface. After heated the waters migrate towards surface by fractures systems forming the thermal springs, (as exemplified by the Quente river springs). The chemical composition of the waters, the types of rocks, the relief pattern and the groundwater flow systems allow to distinguish three aquifers systems in the area: Porous Aquifer, Araxá Aquifer System and Paranoá Aquifer System. The chemical composition of the waters and the groundwater flow patterns show that there is mixture of waters of the several aquifers systems. In the last decades, the water levels of the thermal aquifer systems were submitted to fast decline due to the overexploitation by tubular wells. The maintenance of the groundwater reservoirs requests management practices, including limitation of pumping rates, researches on environmental purposes to aim basic information for the general public, projects for artificial recharge of the aquifers and some others.

Key words: Thermal water; aquifers; recharge; Caldas Novas

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é resultante do mapeamento geológico e do levantamento hidrogeológico da região das águas quentes do Estado de Goiás e inclui dados obtidos de trabalhos acadêmicos com estudantes de graduação da Universidade de Brasília e de estudantes da Universidade Técnica de Berlim.

A área está situada no sudeste do Estado de Goiás, incluindo a cidade de Caldas Novas e adjacências, compondo um retângulo no qual a Serra de Caldas está posicionada aproximadamente no centro (Fig. 1). Como referências geográficas locais podem ser citadas a Pousada do Rio Quente (Fig. 2) e a Cidade de Água Quente (ambas no flanco oeste da serra) e as rodovias estaduais pavimentadas GO 213 (ao norte); GO 139 (a leste) e a GO 507 (a oeste). Os acessos a partir de Brasília e Goiânia são feitos por rodovias federais e estaduais conforme o mapa da Fig. 3.

A área considerada para o presente estudo comporta o Domo de Caldas, além dos terrenos rebaixados adjacentes. Entende-se por Domo de Caldas ou Serra de Caldas ou ainda Domo Estrutural de Caldas, a feição fisiográfica/estrutural caracterizada pela elevação topográfica isolada no sudeste goiano, que alcança cotas superiores a 1.000 metros.

O objetivo deste trabalho é apresentar a região das águas quentes do estado de Goiás como um Sítio Geológico do Brasil central, e a importância de sua preservação.

Na região de Caldas Novas existe uma das maiores ocorrências de água termal do mundo sem associação com magmatismo. As águas quentes representam a base da economia local, alimentando o alto potencial turístico que resulta em uma região balneária com inúmeros hotéis e resorts. Apesar da grande importância local e regional das águas quentes, os mecanismos do aquecimento das águas ainda não são

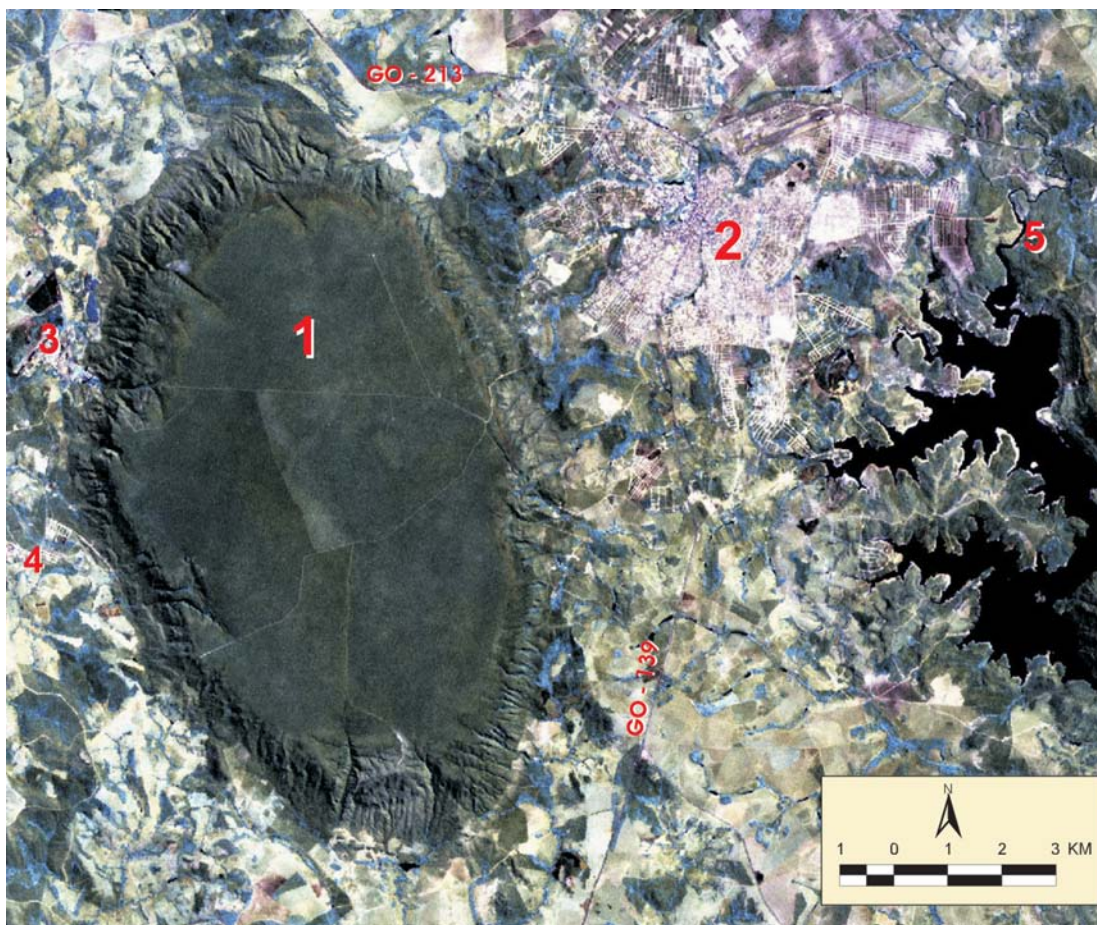


Figura 1 - Imagem de satélite composição colorida 345 de junho de 2001, mostrando as principais referências geográficas da região: **1** - Serra de Caldas, **2** - Cidade de Caldas Novas, **3** - Pousada do Rio Quente, **4** - Cidade de Rio Quente e **5** - Barragem de Corumbá.

Figure 1 - Satellite image (RGB 345 from June 2001), showing the main geographical references of the region: **1** - Caldas Ridge, **2** - Caldas Novas Town, **3** - Rio Quente Resort, **4** - Rio Quente Town and **5** - Corumbá Dam.



Figura 2 - Nascente termal observada em fratura aberta no quartzito maciço.

Figure 2 - Thermal spring observed in open fracture developed on massive quartzite.

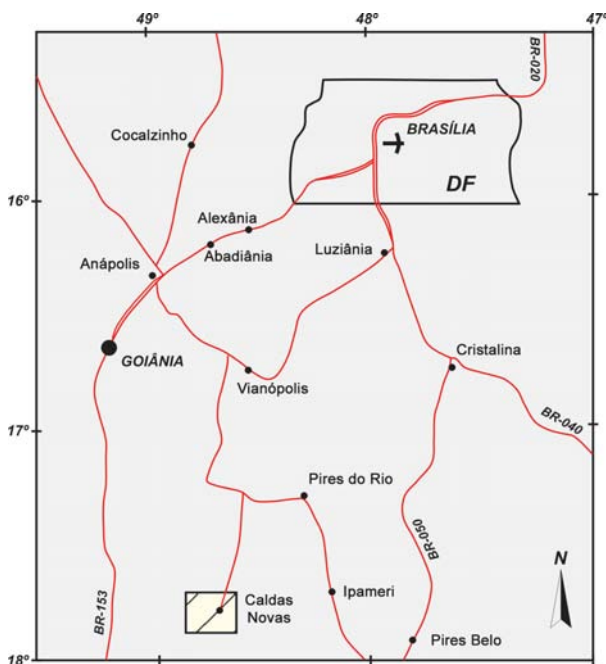


Figura 3 - Localização e acessos à área estudada.

Figure 3 - Location map of the site.

conhecidos do grande público e muitos acreditam que as águas são aquecidas em função da presença de um vulcão ou a partir do contato com rochas ígneas em profundidade.

O aumento da exploração das águas quentes causou o rebaixamento demasiado dos níveis com elimi-

nação de nascentes de águas aquecidas e risco de colapso da economia. Atualmente a perfuração de novos poços tubulares é controlada e iniciativas para a gestão dos aquíferos estão sendo programadas.

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

Geologia

Na região de Caldas Novas ocorrem rochas atribuídas aos grupos Paranoá e Araxá, além de ocorrências subordinadas de conglomerados atribuídos ao Grupo Areado (Fig. 4).

• Grupo Paranoá (Meso/Neoproterozóico)

No Domo de Caldas o Grupo Paranoá foi subdividido em quatro unidades litoestratigráficas, da base para o topo: Ortoquartzito, Quartzito Argiloso, Metarritmito e Pelito-Carbonatada.

Unidade Ortoquartzito – composta essencialmente por ortoquartzitos brancos, intensamente silicificados, finos a médios, aflorando em grandes lajedos e matacões, normalmente apresentando um intenso fraturamento. Esta unidade aflora apenas nas bordas da serra, uma vez que no platô os latossolos mascaram totalmente os afloramentos rochosos. A caracterização desta unidade para o interior do domo foi possível a partir dos dados das sondagens relativas a cinco piezômetros distribuídos ao longo da estrada E-W na porção central da serra.

Análises microscópicas mostram a presença de grãos subarredondados a angulosos, com contatos planares a pontuais, apresentando modificações em função dos eventos tectônicos superimpostos. Em volta dos grãos de quartzo, que apresentam tamanhos variando de 0,2 a 1,3 mm, comumente pode ser observada uma fina película de óxidos e argilominerais autigênicos. Raros grãos de feldspato são observados, geralmente intensamente alterados (transformados em uma massa de mica branca).

Algumas amostras encontram-se intensamente recristalizadas, com interpenetração e junções múltiplas de grãos em função do metamorfismo de baixo grau que oblitera totalmente as feições primárias.

A intensa silicificação é responsável pela eliminação parcial das estruturas sedimentares, contudo ainda é possível observar a presença de marcas onduladas simétricas e assimétricas, laminações cruzadas, estra-

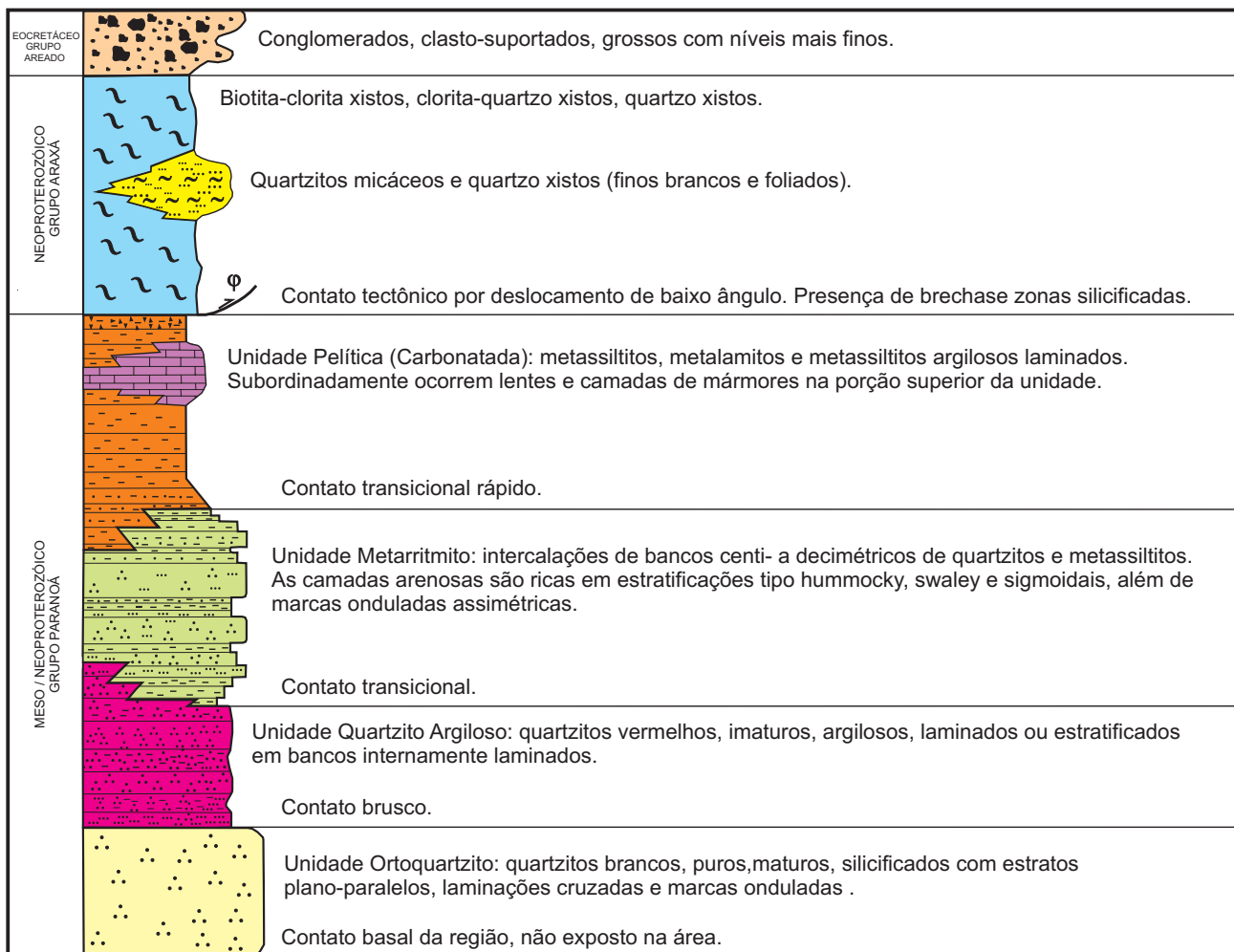


Figura 4 - Estratigrafia da região das águas termais do sudeste do estado de Goiás.

Figure 4 - Stratigraphy of the thermal Water region in the southern portion of Goiás State, Brazil.

tificações cruzadas, estratificações plano-paralelas e, em direção ao topo, *mud flakes*. A elevada maturidade textural e mineralógica, aliada à homogeneidade litológica e às estruturas sedimentares presentes, permitem enquadrar esta unidade em um contexto deposicional marinho de águas rasas, provavelmente dominado por ondas (em função da ausência de estruturas típicas de marés), as quais promovem o constante retrabalhamento responsável pela alta maturidade mineralógica textural do conjunto.

Unidade Quartzito Argiloso – é representada por quartzitos finos, vermelhos, argilosos e mineralogicamente imaturos, sendo localmente substituídos por pacotes pelíticos laminados. A silicificação é variável, desde ausente (padrão friável) até intensa. A cor vermelha característica observada em afloramentos é função da oxidação dos filossilicatos da fração pelítica e não considerada como cor primária. Estima-se que a espessura máxima desta unidade seja da ordem de 80 metros; con-

tudo, as variações laterais de fácies são responsáveis pelo adelgaçamento e até mesmo pela ausência dessa fácies na porção nordeste do domo.

As estruturas sedimentares observadas são laminações e estratificações plano-paralelas, além de raras lâminas cruzadas e acamamento ondulado.

Unidade Metarritmito – é caracterizada por uma seqüência de quartzitos finos a médios, feldspáticos, brancos a rosados, intercalados com níveis centimétricos a decimétricos de materiais pelíticos (metassiltitos e metalamitos), freqüentemente ricos em mica branca detrítica. Esta unidade está especialmente bem exposta na região da Pousada do Rio Quente, onde se tem espessas sucessões aflorantes em taludes naturais e em cortes artificiais.

Nas camadas e nos bancos de quartzitos destacam-se as estruturas sedimentares do tipo *hummockys*, acamamento sigmoidal, marcas onduladas, laminações e estratificações cruzadas de pequeno porte, *climbing*

ripples, além de freqüentes camadas com base plana e topo ondulado. Os planos de acamamento mergulham de forma centrífuga segundo a estrutura regional, sendo inclusive dobrada em amplas ondulações e mais raramente em *chevrons* mais apertados.

A observação ao microscópio mostra que os níveis de quartzitos são representados por metarenitos impuros com até 25% de feldspato e fragmentos líticos e são mal selecionados.

O conjunto demonstra claramente a deposição em uma plataforma aberta dominada por episódios de tempestades, o que caracteriza a deposição por processos trativos e suspensivos simultâneos. Esta sucessão pode ser correlacionada a outras unidades do Grupo Paranoá expostas em outras localidades e marca a deposição de areia em porções da plataforma a profundidades abaixo do nível de retrabalhamento de ondas de tempo bom.

Unidade Pelito-Carbonatada – compreende a sucessão de topo do Grupo Paranoá na área. É composta por um espesso pacote de metassiltitos maciços ou laminados, sendo nesse caso caracterizada por metasiltitos argilosos. A principal estrutura sedimentar observada nestes litotipos é a estratificação plano-paralela, além da laminação horizontal. A coloração avermelhada é típica desta unidade, com a possibilidade de existência de fácies com tons rosados até brancos e ainda mosqueados.

Subordinadamente, na forma de restritas lentes, ocorrem mármores finos com textura sacaroidal, bandados e ricos em minerais máficos prismáticos, milimétricos a submilimétricos. Esses mármores são rosados até brancos; e sempre apresentam pequenos cristais de biotita e turmalina isolados na massa carbonática recristalizada.

As feições microscópicas evidenciam a presença de duas gerações de biotita, com cor verde clara e forte pleocroísmo (verde até quase incolor). Os grãos de turmalina são esparsos e ocorrem em menor freqüência.

A presença de biotita associada aos mármores não significa que o Grupo Paranoá foi submetido regionalmente a condições de metamorfismo na zona da biotita, mas apenas localmente, próximo ao contato tectônico entre a Unidade Pelito-Carbonatada e o Grupo Araxá. Nessa situação, por se tratar de um conjunto de rochas mais reativo, submetido a condições locais de maior intensidade de pressão e temperatura, houve a cristalização da biotita. No restante da pilha estratigráfica do Grupo Paranoá, a mineralogia indica condições de anquimetaformismo, próximo ao limite da diagênese, no máxi-

mo com a cristalização de clorita a partir de argilominerais diagenéticos.

Embora os mármores sejam restritos nos afloramentos, sua presença em subsuperfície é determinada através dos testemunhos de sondagens (de poços tubulares) da região da cidade de Caldas Novas, onde pacotes com espessuras superiores a 100 metros são interceptados.

Brecha – No topo do conjunto descrito anteriormente ocorre uma rocha bastante característica, com aspecto rudáceo, sempre interceptada quando da perfuração de poços tubulares na região. Trata-se de uma brecha tectônica, com fragmentos angulosos de rochas variadas (principalmente metassiltitos e quartzitos), bastante silicificados e oxidados. Localmente, em afloramentos intemperizados, existem padrões de alteração em *box work* que evidencia provável sulfetação. Este tipo de rocha materializa o plano do descolamento regional no qual o Grupo Araxá deslizou sobre a seqüência psamo-pelítica do Grupo Paranoá.

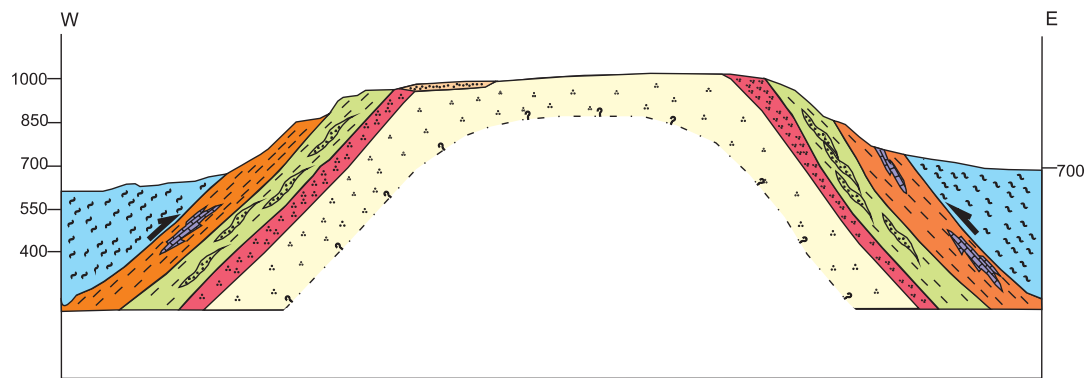
Este tipo petrográfico é localmente substituído por veios de quartzo leitosos; intensamente fraturados, ou mesmo por litologias pelíticas silicificadas.

Duas seções delgadas dessa brecha foram analisadas, sendo uma amostra de superfície e outra amostra de calha de poço tubular. Ambas mostram as mesmas características gerais, apresentando fragmentos intensamente silicificados mal selecionados (desde milímetros até 3 cm), angulosos e de natureza variável (principalmente quartzito, metassiltitos e quartzo). A maior diferença entre elas está no fato da amostra de superfície apresentar somente cimento de sílica e óxido, enquanto a de subsuperfície apresenta cimento de carbonato e óxido, além de sílica subordinada.

• Grupo Araxá (Neoproterozóico)

Corresponde a toda a região plana nas adjacências da Serra de Caldas. Os *inselbergs* destacados na paisagem arrasada (tipo Serra da Matinha) também pertencem a esta unidade. Trata-se de monótonas seqüências plataformais metamorfisadas na fácies xisto verde, com muscovita-quartzo-biotita xistos, muscovita-biotita xistos, muscovita-biotita-granada xistos. Os xistos a muscovita e a biotita são os tipos mais comuns, apresentando textura lepidoblástica, e os tipos granadíferos mostram feições de rotação de granadas. O protolito desta sucessão é representado por metapelitos e turbiditos diluídos de plataforma.

A atitude da foliação dos xistos é bastante variável, tanto em direção quanto nos valores de mergulho, o que



Grupo Areado - Eocretáceo

Ortoconglomerados grossos a médios com ventifactos

Grupo Araxá - Neoproterozóico

Muscovita-biotita xistos; quartzo-xistos e quartzitos micáceos

Grupo Paranoá - Meso/Neoproterozóico

Unidade Pelito-carbonatada - metargilitos e metassiltitos com mármore subordinados

Unidade Metarrítmica - intercalações de quartzitos e metapelitos (sequência rica em SCS, HCS e estratificações sigmoidais)

Unidade Quartzito Argiloso - quartzitos imaturos, argilosos, vermelhos e laminados

Unidade Ortoquartzitos - quartzitos maduros, limpos, brancos e silicificados

Figura 5 - Seção geológica esquemática representando um corte leste-oeste na porção central da Serra de Caldas.

Figure 5 - Schematic geologic east-west cross section of the central portion of the Caldas Range.

deve representar redobramentos após o deslocamento da massa de xistos sobre o anteparo crustal representado pelo Grupo Paranoá.

Além dos xistos, ocorrem cristas de quartzitos, quartzitos micáceos e quartzo xistos, caracterizando prováveis arenitos e arenitos impuros interdigitados e intercalados aos pelitos. Esses quartzitos são foliados e apresentam padrão de fraturamento mais denso que os xistos. O padrão da alteração desses litotipos indica a provável presença de feldspatos na paragênese.

Microscopicamente os xistos apresentam paragêneses típicas da fácies xisto verde na zona da clorita. A presença local de granada em processo de hidratação e transformação em clorita indica que esse mineral não faz parte da paragênese metamórfica, uma vez que não está em equilíbrio com as condições de pressão, temperatura e atividade dos fluidos.

Os minerais do grupo do epidoto, titanita, óxidos e o zircão são os acessórios mais comuns encontrados em todas as fácies de xistos.

Em associação com os xistos e quartzitos ocorrem, em áreas restritas, faixas de rochas metaultramáficas (tremolita xistos, clorita-talco xistos e esteatitos) e tipos petrográficos interpretados como rochas metavulcânicas ácidas de composição dacítica (Campos & Costa, 1980 e Drake Jr., 1980).

A paragênese mineral do Grupo Araxá na área apresenta processos retrometamórficos definidos pela desestabilização da biotita e granada, que passam para clorita em virtude da hidratação possivelmente ligada aos processos de descolamento tectônico durante o Ciclo Brasileiro. Este fato também pode ser observado pela hidratação dos minerais primários dos granitos e dos corpos ultramáficos, onde o feldspato, a biotita, a olivina e o piroxênio; se transformam, respectivamente, em uma massa de saussurita, clorita, talco e anfibólio.

• Grupo Areado (Formação Abaeté Eocretáceo)

Localmente, ao longo das bordas leste e oeste da chapada que compõe o topo do Domo de Caldas, ocorrem conglomerados considerados como correlatos à Formação Abaeté, do Grupo Areado de idade eocretácea. Essa correlação é proposta com base:

- na similaridade litológica dos conglomerados comuns em outras regiões fora da Bacia Sanfranciscana onde esta unidade foi definida (e.x. Serra da Água Fria/MG, Distrito Federal, Bonfinópolis/MG além de outras ocorrências Campos *et al.*, 1999 e Barbosa, 1997);
- na semelhança litológica tanto macroscópica, quanto microscópica;
- no mesmo sistema deposicional relacionado a sua sedimentação;

- no mesmo nível topográfico no qual estes sedimentos estão distribuídos regionalmente;

- na presença de ventifactos, similar aos presentes nas áreas tipos;

- na semelhança do conteúdo de minerais pesados (turmalina, zircão, granada, opacos e minerais metamórficos).

A granulometria dos conglomerados varia desde finos até muito grossos, sendo comumente clasto-suportados e localmente matriz-suportados. Os seixos são de quartzito e quartzo leitoso e existem fácies desde bem a mal selecionadas (com blocos e matacões). Localmente exibem um cimento de sílica amorfa não raramente em associação com óxidos de ferro (sílica amorfa em tons marrons).

As feições microscópicas do cimento de sílica presente em conglomerados finos mostra que o clima à época da deposição era do tipo árido a semi-árido. Os cimentos são representados por sílica amorfa, sílica fibrosa e sobrecrecimento em grãos, todos representando cimentos do tipo precoce, típico de ambientes desérticos.

Essa unidade apresenta grande importância paleogeográfica, uma vez que está associada regionalmente à superfície de aplainamento Gonduânica. A sua preservação, no entanto, está condicionada às depressões tectônicas controladas por falhas de pequeno rejeito. Esse tipo de controle já foi descrito por Campos *et al.* (1999); para explicar a presença dos conglomerados da Formação Abaeté na região do Distrito Federal e por Barbosa (1997), estudando os conglomerados do Eocretáceo na região de Bonfinópolis de Minas.

Contexto Deformacional

Dois eventos tectônicos foram responsáveis pela estruturação e pelo aspecto geomorfológico atualmente observado na região, incluindo: a tectônica formadora, de natureza dúctil-rúptil atribuída ao Ciclo Brasileiro, e a tectônica modificadora, de natureza rúptil vinculada a reativação da Plataforma Sul-Americana. Na área estudada foram identificados quatro conjuntos de estruturas planares e lineares, as quais apresentam uma relação genética entre si, tendo sido desenvolvidas em regimes dúctil-rúptil e rúptil durante o primeiro evento. O segundo evento não foi responsável pela geração de estruturas, mas apenas pela reativação de estruturas planares geradas no primeiro.

Os eventos deformacionais, por serem separados por um grande intervalo de tempo, serão tratados como Evento E_1 (Ciclo Brasileiro desenvolvido no final do Neoproterozóico) e Evento E_2 (Reativação Waldeniana desenvolvido no Cretáceo). O evento E_1 comporta qua-

tro fases deformacionais progressivas que se sucedem no tempo ou podem ser parcialmente sincrônicas (F_1 , F_2 , F_3 e F_4), enquanto o evento E_2 é considerado como desenvolvido por uma única fase (F_5).

Os elementos estruturais são na maioria concordantes com uma deformação a partir de um esforço compressional próximo de WSW para ENE, tendo como antepaís o Cráton do São Francisco a leste. O esforço equatorial é responsável pela forma do Domo ligeiramente alongado na direção NNW/SSE, onde os flancos leste-oeste são mais fechados que os flancos norte-sul (Fig. 5).

A análise dos dados de lineações minerais e lineações de estrias mostra que o Domo foi estruturado após a colocação tectônica do Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá. No caso do Distrito Federal, por exemplo, o Domo de Brasília já estava estruturado na forma de braquianticlinal quando o Grupo Araxá cavalgou o Grupo Paranoá. A diferença básica é que as lineações na região de Caldas Novas mostram um padrão centrífugo, enquanto no Distrito Federal as lineações apresentam atitude constante em torno de $05/270^\circ$ (Freitas-Silva & Campos 1998).

O comportamento da deformação dúctil-rúptil na região pode ter sido influenciado pelo espessamento da pilha sedimentar do Grupo Paranoá, a qual poderia condicionar o soerguimento localizado da crosta por acomodação flexural de *stress* residual. É importante salientar que dados geofísicos mostram que o Grupo Paranoá na região deve apresentar espessuras superiores a 1000 metros, para explicar as anomalias *bouguer* obtidas pelos levantamentos gravimétricos desenvolvidos na região (Haralyi & Hasui 1982).

A evolução geológica para a área pode ser sintetizada pelos seguintes momentos históricos:

- deposição de uma espessa coluna sedimentar em provável depocentro da Bacia Paranoá, no Meso/Neoproterozóico;

- deposição do Grupo Araxá em porções mais internas da Faixa Brasília, sob condições plataformais com associações de turbiditos de águas mais profundas, no Neoproterozóico;

- metamorfismo do Grupo Araxá e formação da *nappe* que coloca esta unidade sobre o Grupo Paranoá, e estruturação do eixo NW/SE do Domo de Caldas durante os estágios iniciais do Ciclo Brasileiro;

- soerguimento do domo com a estruturação de seu eixo EW e padrão centrífugo das lineações minerais, em estágios tardios do Ciclo Brasileiro;

- fraturamento/falhamento de todo o conjunto (grupos Araxá e Paranoá) nos estágios finais do Ciclo Brasileiro;

- reativação normal das estruturas planares por tectônica extensiva, formando falhas de pequeno rejeito e ampliando a abertura de fraturas existentes, durante o Cretáceo.

- erosão dos xistos mais susceptíveis aos processos de intemperismo e manutenção do conjunto mais resistente, compondo o relevo atualmente observado na região durante o Cenozóico.

Hidrogeologia

Esse item apresenta os aspectos gerais da hidrogeologia da região de Caldas Novas, destacando principalmente a classificação dos aquíferos, as feições da química das águas, a causa do hidrotermalismo e os padrões de regimes de fluxo subterrâneos.

Apesar da importância das águas subterrâneas para a região de Caldas Novas, que representa uma das maiores ocorrências de águas termais do mundo, não existem estudos consistentes sobre os vários aquíferos e as causas do hidrotermalismo, podendo-se destacar apenas os trabalhos de Campos & Costa (1980), Tröger *et al.* (1999), Haesbaert & Costa (1980) e Zschocke (2000), além de vários relatórios técnicos com resultados pouco esclarecedores.

• Classificação dos Aquíferos

Com base nas variações químicas, nas condições de circulação, nas temperaturas e nos tipos litológicos, três grupos de aquíferos foram determinados. Os aquíferos serão tratados genericamente como Sistema Aquífero Intergranular, Sistema Aquífero Paranoá e Sistema Aquífero Araxá.

Sistema aquífero intergranular

Corresponde ao conjunto denominado de aquífero freático por Tröger *et al.* (1999). São aquíferos livres, contínuos lateralmente, de ampla extensão com espessura saturada muito variável e de grande importância hidrogeológica local. Estes aquíferos desempenham três importantes funções na região: funcionam como filtros, favorecem a recarga dos aquíferos sotopostos e regularizam a vazão de base das drenagens superficiais nos períodos de recessão de precipitações pluviométricas.

Este sistema foi dividido em dois subsistemas denominados de P_I e P_{II} , em função das características físicas das coberturas de solo (incluindo sua textura, espessura, variação lateral e padrão de relevo associado). O Subsistema P_I é limitado ao platô da Serra de Caldas,

sendo representado pelo regolito dos quartzitos da Unidade Ortoquartzito, com espessuras variando de alguns metros até 64 metros. Os solos e saprolitos dessa cobertura apresentam valores de condutividade hidráulica muito elevados (com ordem de grandeza variando de 10^{-5} a 10^{-4} m/s) em função do próprio material de origem, sendo classificados como latossolos com textura média a arenosa e areias quartzosas.

A relação entre as características físicas e o padrão de relevo essencialmente plano com cotas superiores a 1000 metros resulta em uma situação de recarga regional muito eficiente. Nesse contexto, o volume de água retida por infiltração é muito elevado, sendo o fluxo superficial limitado às bordas da serra nos períodos de máxima precipitação. Esse subsistema, por apresentar grande condutividade, é rapidamente drenado, apresentando zona vadosa muito espessa e zona saturada limitada ao topo rochoso.

O Subsistema P_{II} é representado pelos cambissolos e solos litólicos presentes na borda da Serra de Caldas e pelos solos argilosos derivados dos xistos do Grupo Araxá. Nesse caso, os aquíferos apresentam espessuras e valores de condutividade hidráulica significativamente inferiores ao do Subsistema P_I , o que associado a um padrão de relevo forte ondulado e com declividades moderadas a elevadas, limitam o volume de recarga natural pela infiltração das águas de precipitação pluviométrica.

As águas do Subsistema P_{II} por apresentarem níveis estáticos muito profundos e estarem integralmente situados no interior de uma área de preservação ambiental (Parque Estadual de Caldas Novas), não são aproveitadas para qualquer fim. O Subsistema P_{II} é aproveitado a partir de poços rasos, em áreas rurais ou em bairros periféricos da cidade de Caldas Novas.

Os aquíferos intergranulares são caracterizados por águas frias com temperaturas próximas às médias anuais locais e por águas pouco mineralizadas. O tempo de contato entre as águas de chuva e o material geológico (solo ou rocha alterada), é restrito, o que diminui a taxa total de sais dissolvidos. Os exutórios desses aquíferos são representados por pequenas fontes de contato e/ou depressão, e pela drenagem subterrânea para os aquíferos fraturados subjacentes.

Sistema aquífero Paranoá

Este sistema é representado por aquíferos: fraturados, livres ou confinados, frios ou termais, anisotrópicos e heterogêneos e com extensão lateral controlada pelos grandes lineamentos. O Sistema Paranoá é classificado como aquífero livre quando as zonas de fraturas são

associadas a áreas de afloramentos de rochas psamopelíto-carbonatadas do Grupo Paranoá, sendo na região de Caldas Novas correspondente ao Domo de Caldas. Por outro lado, quando as zonas fraturadas/fissuradas são recobertas por rochas xistosas do Grupo Araxá, estes aquíferos são classificados como confinados, sendo os xistos considerados como o conjunto aquífero confinante. O Grupo Araxá pode ser considerado como conjunto confinante, pois apesar de também ser potencialmente fraturado, a densidade e a abertura das fraturas são muito inferiores às do Grupo Paranoá. Esta feição é exclusivamente em função do contraste reológico dos litotipos das duas unidades litoestratigráficas.

Da mesma forma, o Sistema Paranoá pode ser dividido em aquíferos frios e termais. O primeiro caso é relacionado às zonas fraturadas com águas de fluxo descendente em profundidades inferiores a 400 metros. Normalmente essa situação está associada às porções do aquífero onde estes são classificados como aquíferos livres.

O Sistema Aquífero Paranoá será considerado termal quando estiver associado a condições de fluxos descendentes em profundidades maiores que 450 metros, ou em qualquer profundidade, quando mantiver o fluxo ascendente a partir de fraturas abertas em grandes profundidades.

Esses aquíferos são relacionados a águas pouco mineralizadas, sendo que, quando termais, o TDS pode alcançar valores um pouco superiores quando comparados aos correspondentes frios.

Para o aquífero Paranoá Frio, os exutórios naturais são caracterizados por fontes de fraturas, enquanto que para o aquífero Paranoá Termal os exutórios são representados por fontes de fraturas e pelo Rio Quente. Neste último caso, além do Rio Quente, os poços tubulares profundos em operação na região da Cidade de Caldas Novas e entorno, também funcionam como exutórios.

A recarga deste sistema aquífero se dá principalmente pela drenagem do Subsistema Intergranular P_I, ou seja, a partir da infiltração na região plana no platô da Serra de Caldas e secundariamente pela infiltração de águas do Subsistema Intergranular P_{II}.

De maneira geral, o Sistema Aquífero Paranoá apresenta excelentes condições de circulação e valores de condutividade hidráulica; e transmissividade; elevados, porém muito anisotrópicos. Os valores elevados dos parâmetros dimensionais devem-se ao fato de a região de Caldas Novas ter sido submetida a esforços neotectônicos relacionados à fase *drifte* da evolução sul-atlântica. Na região de Caldas Novas ocorrem poços com profundidades maiores que 900 metros com signi-

ficativas entradas de águas termais (temperaturas superiores a 55° C).

Sistema aquífero Araxá

Este sistema é representado por aquíferos fraturados muito heterogêneos e anisotrópicos, livres, frios ou termais, com extensão lateral restrita controlada pela distribuição das zonas de fraturamento.

Os aquíferos ligados ao Sistema Araxá, classificados como frios, são aqueles cujas zonas fraturadas são recarregadas diretamente pela infiltração de águas de precipitação a partir do Subsistema Intergranular P_{II}. Neste caso são consideradas as primeiras centenas de metros da coluna de xistos do Grupo Araxá.

As zonas fraturadas mais profundas, próximas ao contato tectônico entre os grupos Araxá e Paranoá e eventualmente, as zonas fraturadas mais abertas em profundidades menores, compõem o aquífero Araxá termal da região de Caldas Novas. A recarga destes aquíferos se dá por fluxo ascendente a partir das águas aquecidas do Aquífero Paranoá termal sotoposto.

Nas condições de confinamento, as zonas fraturadas que representam o Sistema aquífero Paranoá Termal apresentam elevada carga potenciométrica, pois a zona de recarga está situada em cotas positivas superiores a 1000 metros. Assim, quando as águas aquecidas encontram fraturas abertas nos xistos, estas sobem e se misturam com as águas frias do aquífero Araxá, compondo um grupo de águas quentes, com temperaturas intermediárias entre as águas do aquífero Paranoá Termal e as águas do aquífero Araxá Frio.

Os exutórios do Sistema Aquífero Araxá (termal e frio) são representados pelas antigas fontes termais da região de Caldas Novas e pelas fontes de água fria, do tipo fraturada, dispersas pela região de exposição dos xistos. Os poços tubulares da região de Caldas Novas também são exutórios artificiais destes aquíferos.

Pelo modelo aqui adotado, a profundidade que separa os aquíferos Araxá frio e termal é muito variável, sendo função apenas da abertura das fraturas nos xistos, as quais favorecem a subida da água do Aquífero Paranoá Termal. Assim, poderão existir poços com profundidades de poucas centenas de metros com água quente e poços ainda mais profundos sem a presença de água quente.

Em termos químicos estas águas são as mais mineralizadas da região, o que é função direta da elevada reatividade das rochas em comparação com os quartzitos e metapelitos do Grupo Paranoá. Os xistos, por sua vez, apresentam grande concentração de

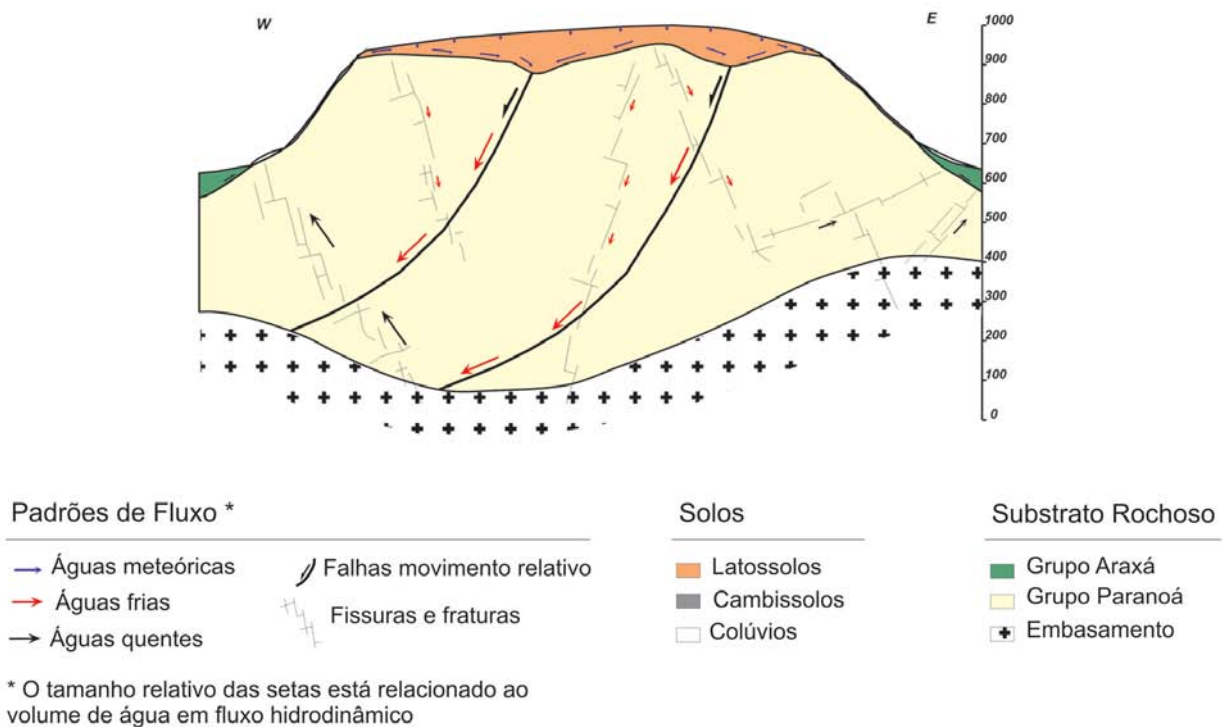


Figura 6 - Seção esquemática ilustrando os sistemas de fluxo hidrogeológico presentes na região das águas quentes do sudeste do estado de Goiás.

Figure 6 - Schematic section showing the hydrogeologic flow pattern present in the region of thermal waters of the southern portion of Goiás State.

filossilicatos, além da presença constante de carbonatos em zonas de segregação metamórfica.

Da mesma forma que o Sistema Aquífero Paranoá, os parâmetros dimensionais para os aquíferos Araxá não foram tratados quantitativamente. Contudo, por analogia; com os valores obtidos para a região do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva 1998), esses valores são significativamente menores que aqueles atribuídos ao Sistema Aquífero Paranoá. Esta feição é devida a dois fatores: 1) reologia dos xistos, os quais apresentam caráter mais plástico, com tendência de acomodação das fraturas por confinamento litostático em profundidade e 2) atitude da foliação em baixo ângulo, o que dificulta a infiltração das águas a partir do Sistema Intergranular P_{II}.

• Padrão de Circulação

A proposta de padrão de circulação das águas subterrâneas, aqui apresentada, deve ser considerada como preliminar, sendo necessário um maior volume de dados para seu refinamento. Entre os dados importantes

para definição de um modelo mais consistente destacam-se:

- 1- informações hidrológicas, principalmente valores de vazões das drenagens superficiais;
- 2- idades de águas frias e termais,
- 3- informações sobre o balanço hídrico local e
- 4- dados de subsuperfície, diretos e indiretos (geofísicos) objetivando limitar a principais zonas fraturadas no platô da Serra de Caldas.

Do ponto de vista regional, a Serra de Caldas é de extrema importância para as águas termais, pois é naquele setor que se processa o maior volume de recarga das águas quentes, tanto do Aquífero Paranoá, quanto do Aquífero Araxá (por mistura). Dessa forma, o modelo de circulação que inclui sistemas de fluxo locais e regionais será representado com base no arcabouço tectônico da serra e nos dados dos cinco piezômetros situados na porção central da Serra de Caldas.

Como pode ser avaliado pelos lineamentos regionais que cortam a Serra de Caldas, e pelas brechas observadas

em planos subverticais de falhas, a serra é seccionada por estruturas que apresentam ampla abertura e continuidade vertical. Sob essas estruturas planares (zonas cataclásticas relacionadas a falhas brasileiras e/ou cretáceas) há um forte rebaixamento da superfície potenciométrica relacionada ao Sistema Aquífero Intergranular P₁. Os trechos rebaixados são interpretados como “cones de depressão naturais”, em função da eficiente drenagem das águas freáticas pelos sistemas de falhas.

Considerando um grau geotérmico de 30° C por quilômetro, isto é, aumento de 1° C a cada 33 metros de penetração na crosta, as águas mais quentes do aquífero Paranoá termal, com cerca de 60° C na superfície, necessitariam estar em contato com rochas a profundidades superiores a 1.000 metros. Assim, a figura 6 mostra, de forma esquemática, o padrão regional de circulação das águas termais dos sistemas aquíferos Paranoá e Araxá.

Dados de anomalias *bouger* (gravimetria regional) mostram que na região de Caldas há um espessamento do Grupo Paranoá, o que possivelmente retrata um paleo depocentro da Bacia Paranoá à época da deposição. O aquecimento da água pode ser processado em função do contato entre as águas descendentes e as rochas do Grupo Paranoá, com mínimo contato com as rochas do embasamento.

A presença de uma intrusão magmática (alcalina ou granítica) em subsuperfície é totalmente descartada em função da química das águas termais do aquífero Paranoá, a qual se caracteriza pela baixíssima mineralização. No caso da presença de plúton em subsuperfície como fonte de calor para o hidrotermalismo, a química das águas deveria apresentar valores de íons dissolvidos muito mais elevados do que os medidos. O mesmo seria esperado caso o contato com as rochas do embasamento granito-gnáissico fosse significativo.

•Química das Águas

O estudo da qualidade química das águas foi efetuado com base em 25 análises de águas de nascentes, de drenagens superficiais e de poços tubulares (em aquíferos termais relacionados aos sistemas Paranoá e Araxá). Além destas análises, dados de 66 amostras de águas quentes dos quartzitos e dos xistos (Zschocke 2000) foram considerados para as interpretações a seguir descritas.

A sílica, cálcio, magnésio e carbonato foram as espécies químicas que proporcionaram a maior distinção entre os vários tipos de águas.

Quatro conjuntos de águas foram definidos com base em seu conteúdo químico: águas das nascentes, águas

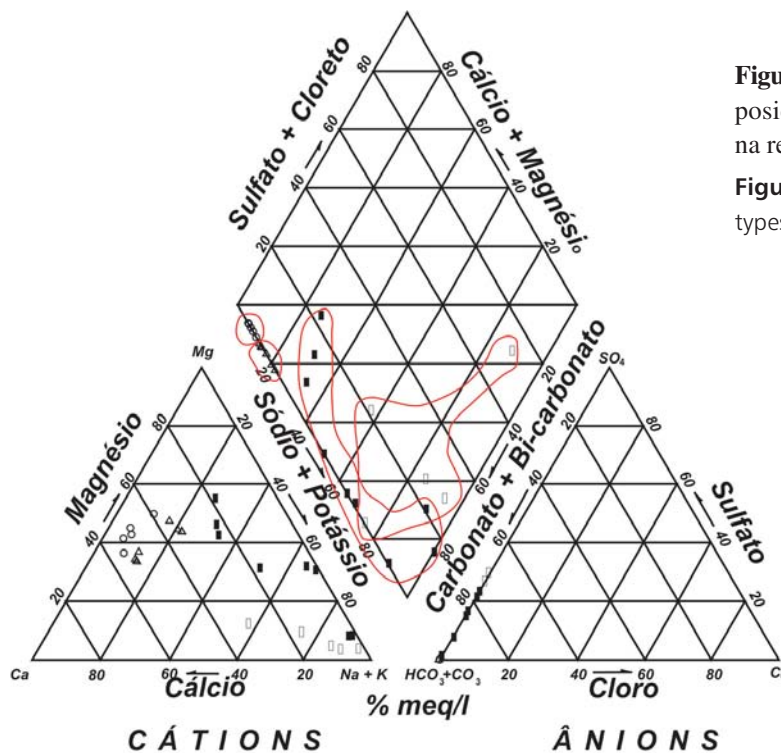


Figura 7 - Diagrama de Piper discriminando as composições dos vários grupos de águas existentes na região.

Figure 7 - Piper diagram showing the several water types present in the region.

- Círculos abertos** - águas do Sistema Aquífero Araxá.
- Triângulos abertos** - águas do Sistema Aquífero Paranoá.
- Retângulos preenchidos** - águas das drenagens superficiais.
- Retângulos abertos** - águas das nascentes.

das drenagens, águas do Sistema Aquífero Paranoá e o Sistema Aquífero Araxá (Fig. 7). As águas das nascentes e das drenagens são importantes, pois representam a composição química próxima da composição original das águas que infiltram e recarregam os aquíferos profundos. A diferença da composição química entre as águas dos aquíferos Paranoá e Araxá é importante porque é um parâmetro utilizado para a diferenciação dos reservatórios subterrâneos.

É importante salientar que as amostras foram coletadas no final do período chuvoso, quando uma significativa parcela do *run off* é responsável pela diluição das águas das nascentes e das drenagens superficiais. As águas termais dos sistemas aquíferos Paranoá e Araxá, por outro lado, não deverão apresentar diferenças químicas em função do período de coleta das amostras.

As águas das nascentes apresentam os menores valores de totais de sólidos dissolvidos, sendo as águas com menor mineralização total. Essas águas têm composição química próxima a das águas de precipitação pluviométrica. Como seu contato com o meio geológico é mínimo (fluxo hidrogeológico local), sua mineralização é muito reduzida.

As águas das drenagens apresentam as maiores variações químicas. Esse fato já era esperado, pois estas águas têm contato com diversos tipos litológicos e estão suscetíveis a problemas de contaminação superficiais (ação antrópica), principalmente nos trechos fora dos limites do Parque Estadual da Serra, onde a atividade humana é mais acentuada. No diagrama de Piper a maior variação química é indicada pelo campo mais amplo formado pelo contorno dos vários pontos.

As águas termais do Sistema Aquífero Paranoá apresentam baixa mineralização total com TDS variando de 17 a 43 mg/L; pH variando de 5,2 a 6,3; e valores de Si variando de 12 a 17 mg/L. A baixa mineralização dessas águas é interpretada como função dos tipos litológicos pouco reativos que compõem seu reservatório. Ou seja, quartzitos e metassiltitos são pouco reativos e não proporcionam grande disponibilidade de íons para a água que circula através de suas fraturas.

Apenas próximo ao contato com as rochas do Grupo Araxá, na região das brechas, ou em situações onde ocorrem os mármores da porção superior, existe a possibilidade de ocorrência de águas com grande mineralização. O provável exemplo deste tipo de água é representado pela amostra de água do poço que abastece a sede do Parque Estadual, o que pode ser inferido pela localização do poço e pelos resultados analíticos da água.

O último conjunto é representado pelas águas do Grupo Araxá, o qual representa o grupo com maior grau de mineralização, com valores de TDS que podem superar 70 mg/L; pH superiores a 6,6 e em geral maiores que 7,0; valores de Si variando de 6 até 12 mg/L; e valores de cálcio e magnésio sempre muito superiores aos valores observados nas águas do Sistema Aquífero Paranoá. Os valores mais elevados da mineralização das águas do Sistema Aquífero Araxá já eram esperados uma vez que o conjunto litológico que compõe os reservatórios subterrâneos (xistos com carbonato, mica, clorita e minerais do grupo do epidoto) é mais reativo e proporciona maior volume de íons para as águas.

Discussão

Os aspectos gerais da química das águas apresentados neste trabalho permitem algumas considerações do ponto de vista da gênese dos aquíferos termais da região:

1- As águas quentes não têm relação com corpos magmáticos em profundidade. No caso da presença de um aquecimento por magmatismo (como é o caso de Poços de Caldas, no estado de Minas Gerais), as águas necessariamente apresentariam elevados teores de totais dissolvidos em diversas formas iônicas;

2- As águas quentes do Aquífero Araxá, apresentam seu aquecimento em função de misturas com águas termais do Aquífero Paranoá com fluxo ascendente;

3- A maior variabilidade química das águas do Aquífero Araxá, sem relação direta com a temperatura, pode indicar que localmente as águas deste sistema aquífero podem ser aquecidas por grau geotérmico, sem misturas significativas com águas quentes do Aquífero Paranoá;

4- O aquecimento das águas é atribuído a regimes de fluxo regionais que alcançam profundidades maiores que 1.000 metros, em uma região onde o grau geotérmico é da ordem de 25 a 30 °C por quilômetro.

5- A neotectônica apresenta importância fundamental no contexto das águas quentes dos aquíferos Araxá e Paranoá. Sem a efetiva atuação de processos transtrativos no Cretáceo certamente não existiriam as expressivas ocorrências de águas quentes na região de Caldas Novas.

CONCLUSÕES

Na área ocorrem tipos litológicos que, em função de suas características litológicas, sedimentológicas, metamórficas e estruturais, são correlacionados aos grupos Paranoá (Meso/Neoproterozóico), Araxá (Neoproterozóico) e Areado (Eocretáceo).

No Grupo Paranoá foi possível individualizar quatro unidades litoestratigráficas, da base para o topo, Unidade Ortoquartzito, Unidade Quartzito Argiloso, Unidade Metarritmito e Unidade Pelito-Carbonatada.

O Grupo Araxá é composto por xistos variados, em geral no contexto metamórfico da zona da clorita, destacando-se os clorita xistos, os xistos ricos em mica branca e os xistos quartzosos.

O contexto deposicional do Grupo Paranoá mostra um ciclo de aprofundamento da bacia, com fácies marinhas de águas rasas que são progressivamente aprofundadas, alcançando um estágio de deposição dominado por tempestades (Unidade Metarritmito). A unidade de topo está relacionada ao evento regressivo final de preenchimento da Bacia Paranoá na região.

Dois eventos tectônicos foram responsáveis pela estruturação atualmente observada na região. O primeiro relacionado ao Ciclo Brasileiro, onde de forma esquemática pode-se discriminar quatro fases de deformação: D_1 transporte tectônico do Grupo Araxá a partir de regiões internas da Faixa Brasília; D_2 dobramentos com eixo NNW/SSE; D_3 dobramentos suaves com eixos próximos de EW e D_4 fraturamento e falhamentos generalizados. O segundo evento é associado a reativação Waldeniana (ruptura Sul-Atlântica) ocorrida no Cretáceo, sendo responsável pela reativação das estruturas rúpteis formadas nos estágios finais do primeiro evento.

Três sistemas aquíferos em dois domínios distintos são discriminados na região: sistemas aquíferos Intergranular, Paranoá e Araxá.

O Sistema Aquífero Intergranular é subdividido nos Subsistemas P_I e P_{II} , sendo caracterizados pelas coberturas de solos e saprolitos. O Sistema Aquífero Paranoá corresponde às zonas fraturadas/fissuradas, podendo ser dividido no Aquífero Paranoá Frio e Termal. O Sistema Araxá, da mesma forma, comporta uma divisão em aquífero Frio e Termal.

O aquecimento das águas é vinculado exclusivamente ao gradiente geotérmico da região e a principal área de recarga está situada no platô da Serra de Caldas.

Quatro grupos de águas foram caracterizados a partir do tratamento das análises químicas de amostras de águas coletadas em nascentes, drenagens e poços. As águas quentes do Sistema Aquífero Paranoá apresentam baixas mineralizações, sendo o conteúdo em sílica e os menores valores de K^+ e Na^+ os melhores elementos para sua discriminação. As águas aquecidas do Sistema Araxá são as que apresentam os maiores valores de totais de sólidos dissolvidos, e apresentam os maiores valores de pH e elevados percentuais de bicarbonato, Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Os estágios neotectônicos foram importantes para a caracterização do contexto hidrogeológico local e inclusive um dos principais condicionantes do hidrotermalismo observado na região de Caldas Novas.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Em função da grande importância da Serra de Caldas do ponto de vista de recarga dos aquíferos, é importante que esta região seja mantida como área de preservação ambiental com o mínimo uso e ocupação, como é o caso do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas.

Estudos de química de rocha poderão ser úteis para correlações entre os diversos tipos de água e o contexto de circulação, com definição de regimes regionais e locais de fluxo hidrogeológico.

O desenvolvimento de estudos geofísicos para determinação das espessuras dos solos e saprolitos é importante para o melhor conhecimento dos mecanismos de recarga, principalmente na maior área do platô da Serra de Caldas.

Para evitar o contínuo rebaixamento do nível das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos termais da região, projetos e estudos visando à recarga artificial desses reservatórios devem ser desenvolvidos.

A restrição de autorizações de novas perfurações de poços tubulares profundos e a limitação do bombeamento dos poços existentes também são iniciativas para preservar este importante sítio geológico brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, E.M. 1997. Sistema deposicional de sedimentos Pós-Paleozóicos da Bacia Alto Sanfranciscana, região de Canabrava e Bonfinópolis de Minas, Noroeste de Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto. 86p. (Dissertação de Mestrado – inédita).
- Campos, E.C.; Costa, J.F.G. 1980. Projeto estudo hidrogeológico da Região de Caldas Novas. Vol. I. MME/DNPM/CPRM. Goiânia. P.34-47.
- Campos, J.E.G.; Freitas-Silva, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB 1998. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Vol. 4, 85p.
- Campos, J.E.G.; Freitas-Silva, F.H.; Dardenne, M.A. 1999. Sobre a ocorrência de conglomerados da Formação Abaeté, Eocretáceo da Bacia Sanfranciscana, na região do Distrito Federal, Brasil. V Simp. Bras. Geol. do Cretáceo. Águas de São Pedro - SP. Boletim de Resumos Expandidos. p. 339-343.
- Drake Jr., A.A. 1980. Tectonic studies in the Brazilian Shield. The Serra de Caldas Window, Goiás. Washington. USGS DNAE DNPM CPRM. *Geological Survey Professional Paper* 1119-A/B, p.1-11.

- Faria, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 199p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- Freitas-Silva, F.H.; Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. *In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 86p. (inédito).
- Haesbaert, F.F.; Costa, J.F.G. 2000. Geologia e Hidrogeologia da Região de Caldas Novas: Adequação à Portaria 312 do DNPM. Relatório Técnico GEOCENTER/GEOCALDAS. 3 vol. (inédito).
- Haralyi, N.L.E.; Hasui, Y. 1982. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic of eastern Brazil. *RBG12(1):160-166*.
- Tröger, U.; Costa, J.F.G.; Haesbaert, F.F.; Zschocke, A. 1999. Novas contribuições aos aquíferos termais de Caldas Novas, Goiás. *In: SIMP. GEOL. CENTRO OESTE, 7*. Brasília, 1999. *Anais...*Brasília, SBG, p.131.
- Zschocke, A. 2000. Hidroquímica das águas termais da região de Caldas Novas – Goiás. Trabalho Final de Graduação. Universidade Técnica de Berlim. (inédito – original em alemão).

¹ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, (61) 3072830 Brasília, DF - Brasil. CEP 70910-900. eloi@unb.br

² Universidade Técnica de Berlim - Berlim - Alemanha. utroe@snafu.de

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP <<http://www.unb.br/ig/sigep>>, em 20/6/2005, também com versão em inglês.

³ Geocaldas Projetos e Assessoria em Geologia. (64) 4534300. Rua Cel. Cirilo, 15 Sala -5. Shopping Tropical. Caldas Novas, GO - Brasil. CEP 75690-000. haesbaert@ih.com.br



JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS

Graduado (1990), mestre (1992) e doutor em Geologia (1996) pela Universidade de Brasília. Atualmente é professor Associado do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Tem experiência na área de Geociências, atuando principalmente nos temas: Hidrogeologia, Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos, Estratigrafia, Sedimentologia, Geologia Regional, e Geologia Ambiental.



UWE TRÖGER

Possui graduação em geologia, mestrado em hidrogeologia, doutorado em geoquímica orgânica e posdoutorado em hidrogeologia, todos os títulos pela Technische Universität Berlin. Foi gerente de duas empresas que trabalham na área de geologia ambiental e cooperação técnica. Atualmente é professor titular de hidrogeologia com área independente no Institut für Angewandte Geowissenschaften da Technische Universität Berlin.



FÁBIO FLORIANO HAESBAERT

Geólogo formado pela Universidade de Brasília. Atua, desde 1980, em questões diretamente relacionadas à hidrogeologia da região de Caldas Novas, incluindo construção de poços, manutenção de sistemas de captação e gestão das águas termais. Atualmente é Diretor Presidente da Associação dos Mineradores de Águas Termais do Estado de Goiás – AMAT.