

RELATÓRIO TÉCNICO – HIDROGEOLOGIA

REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA CAVA 1

Cliente: Ultracal Indústria e Comércio Ltda
Local: Varjão de Minas - MG
DNPM: 830.704/1979

AGOSTO / 2015

RELATÓRIO TÉCNICO – HIDROGEOLOGIA REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA CAVA 1

Mina da Ultracal Varjão de Minas/MG DNPM – 830.704/1979

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

João César Cardoso do Carmo

Eng. Geólogo – CREA 29.184/D

EQUIPE TÉCNICA DE APOIO:

**Barbara Barreto
Letícia**

**Geóloga CREA - MG
Geógrafa CREA - MG**

EQUIPE TÉCNICA DE APOIO DA ULTRACAL

**André M. Fonseca
Shinobu Kuribayash**

**Engenheiro de Minas
Engenheiro de Minas**

Empresa Responsável:

Carmo & Delgado Geólogos Consultores Ltda.

Av. Álvares Cabral N° 1030 sl 902

30170 001 - Belo Horizonte – MG

Tel: (31) 3275 4653 Cel: (31) 8863 2028



CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	3
2	TRABALHOS REALIZADOS	5
2.1	Coleta de Dados Secundários	5
2.2	Levantamento de Dados Primários	5
2.3	Elaboração de Relatório Técnico	5
3	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	6
3.1	Localização e Vias de Acesso	6
3.2	Características do Município	7
3.3	Hidrologia Superficial	7
3.4	Caracterização Morfopedológica e da Vegetação	8
3.5	Climatologia	10
3.5.1	Tipo do Clima	15
3.6	Geologia Regional	19
3.6.1	Estratigrafia	21
3.6.2	Compartimentação Estrutural do Cráton São Francisco	23
3.7	Hidrogeologia Regional (Sistemas Aquíferos Regionais)	24
3.7.1	Aquíferos Granulares ou Porosos	25
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA MINA DE CALCÁRIO ULTRACAL	31
4.1	Geologia local	31
4.1.1	Unidades Estratigráficas	33
4.1.2	Geologia Estrutural	38
4.2	Geologia Estrutural e sua Relação com a Hidrogeologia Local	44
4.3	Metodologia de Lavra e Beneficiamento	45
5	HIDROGEOLOGIA LOCAL – TIPOS DE AQUÍFEROS	46
5.1	Aquífero Granular	48
5.2	Aquífero Carstico - Fissurado	50
6	INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO	51
7	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE – COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO	54
8	HIDROQUÍMICA	55
9	RELAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	56
9.1	Separação do escoamento superficial e subterrâneo	57
9.2	Coeficiente de Esgotamento	59
9.3	Capacidade de Armazenamento Subterrâneo	60
10	MODELO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL	63
11	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO REBAIXAMENTO NA CAVA 03 E 05	66

12	PROGRAMA DE MONITORAMENTO	67
13	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	68
14	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Localização das Áreas de Lavra no Direito Minerário.....	4
Figura 2. Mapa de localização e vias de acesso.	6
Figura 3. rede de Drenagem Regional, fonte Agua e terra EIA/Rima.	8
Figura 4. Distribuição dos Tipos de Solo no Entorno da Mineração da Ultracal.	10
Figura 5. Dados de pluviometria – 1961/1990.....	12
Figura 6. Dados Climatológicos.....	14
Figura 7. Evapotranspiração potencial.....	14
Figura 8. Diagrama Ombrotérmico.	16
Figura 9. Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather.	18
Figura 10. Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco (Alkmim, 2004). A seta vermelha representa a localização aproximada da região da Mina Ultracal.	20
Figura 11. Coluna estratigráfica simplificada da Bacia do São Francisco (Alkmim& Martins-Neto, 2001).	21
Figura 12. Mapa geológico folha Serra das Almas (Adaptado de Martins et al. 2011). NP2lj (Fm. Lagoa do Jacaré); NP2ss (Fm. Serra da Saudade); NP3tm (Fm. Três Marias); K1a (Gr. Areado); K2mc (Gr. Mata da Corda).	22
Figura 13. Mapa estrutural das unidades pré-cambrianas na porção sul da Bacia do São Francisco. compartimento oeste(W), compartimento central(C), compartimento leste(E) (Alkmim& Martins-Neto, 2001). O retângulo vermelho corresponde a folha Serra das Almas e a seta verde a localização aproximada da mina da Ultracal.	23
Figura 14. Distribuição geográfica dos sistemas aquíferos mapeados na região da Mina Ultracal.	25
Figura 15. Mapa geológico simplificado da região estudada ao entorno dos corpos da mina da Ultracal.	32
Figura 16. Imagem de satélite do Google Earth, com os principais lineamentos estruturais.	39
Figura 17. (A) Estereograma de polos de medidas de acamamento sedimentar. (B) Estereograma de eixo das dobras D1. (C) Estereograma de polos de medidas da foliação S1.	41
Figura 18. (A) Diagrama de rosetas de medidas da direção das principais famílias de fratura. (B) Diagrama de rosetas de medidas de direção dos principais lineamentos estruturais.	43
Figura 19. Captações de Água Subterrâneas (SIAGAS/CPRM ago/2015).	52
Figura 20. Situação das Captações Inventariadas.	52
Figura 21. Mapa da bacia de contribuição do ribeirão Andrade.....	58
Figura 22. Perfil Hidrogeológico - Corpo 1.	65

RELAÇÃO DE FOTOS

Foto 1. Ribeirão Andrade a jusante do corpo 01.	8
Foto 2. Fragmentos de Vegetação do entorno da Mineração de Calcário.	9
Foto 3. Afloramento de cobertura lateríticas em Chapadas.....	27
Foto 4. Afloramento do Grupo Mata da Corda – afloramento localizado nas proximidades da mineração da Ultracal.....	28
Foto 5. Área embrejada no contato dos arenitos e pelitos do Grupo Mata da Corda, nascente intermitente que reduz o volume de água no período seco do ano.	29
Foto 6. Vista panorâmica dos Corpos 1, 2 e 4 da mina da Ultracal.	33
Foto 7. Calcário laminado com intercalações pelíticas (Corpo 1).	34
Foto 8. Calcário maciço (Corpo 1).	34
Foto 9. Vista da chapada formada pelas rochas cretáceas, a sudeste do corpo 5.	35
Foto 10. Arenito com intercalações centimétricas de níveis pelíticos.	36
Foto 11. Lente de conglomerado matriz suportado. Detalhe foto da direita de clasto arredondado de arenito.	36

Foto 12. Camada de carapaça com cerca de 10 m de espessura que cobre o topo da chapada a sudeste da mina da Ultracal – área das nascentes do ribeirão Andrade.....	37
Foto 13. Blocos de carapaça detrítica com morfologia arredondada formada pelos agregados de óxidos.	37
Foto 14. Canal de drenagem com aluvião arenoso, afluente do ribeirão Andrade.	38
Foto 15. Dobras D1 fechadas, de morfologia circular e plano axial subvertical (Corpo 2).....	40
Foto 16. Dobras D1 fechadas a isoclinais com foliação S1, plano axial, ambos redobrados pelas dobras D2 (Corpo 2).....	41
Foto 17. Famílias de fraturas persistentes e contínuas presente no calcário (Corpo 1).	42
Foto 18. Zona de Percolação de Água Subterrânea, Corpo 1.....	44
Foto 19. Vista do sistema aquífero granular na área de nascente do ribeirão Andrade	48
Foto 20. Nascentes que abastece a oficina e a mina.	53
Foto 21. Nascentes que formam o córrego da sede e abastecem a casa da fazenda.	54

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Área de Lavra.	3
Tabela 2. Parâmetros Climáticos – 1961/1990.....	11
Tabela 3. Parâmetros Climáticos.	13
Tabela 4. Dados Médios das Temperaturas.	15
Tabela 5. Dados do balanço hídrico.	17
Tabela 6. Classificação Climática, segundo W.C. Thornthwaite (1955).	19
Tabela 7. Sistemas aquíferos da bacia do ribeirão Andrade.	24
Tabela 8. Síntese do acervo estrutural da região da mina da Ultracal.	43
Tabela 9. Característica dos sistemas aquíferos locais.	47
Tabela 10. Principais direções de descontinuidade na área da mina.	51
Tabela 11. Dados dos poços Inventariados.	52
Tabela 12. Localização dos pontos inventariados no entorno da Ultracal.....	53
Tabela 13. Resultados dos Ensaios de Permeabilidade.	54
Tabela 14. Parâmetros analisados – Águas subterrâneas.....	55
Tabela 15. Valores encontrados para a série de dados utilizada na bacia do ribeirão Andrade.	59
Tabela 16. Deflúvios, Coeficiente de Esgotamento e Capacidade de Armazenamento.....	62

RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo 1 - Mapa Geológico Local	75
Anexo 2 - Mapa Hidrogeológico Local	76
Anexo 3 - Boletins de ensaio	77
Anexo 4 - Hidrogramas.....	78

1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os estudos hidrogeológicos realizados na área do processo DNPM 830.704/1979, de Titularidade da Ultracal – Indústria e Comércio Ltda, que objetiva requerer da SUPRAM/Noroeste a licença para promover o rebaixamento do nível de água do sistema aquífero da frente de lavra denominada “cava 1”, mineração de calcário, localizada no Município de Varjão de Minas, região noroeste do estado de Minas Gerais.

A mineração da Ultracal possui 5 (cinco) frentes de lavra, com quatro em operação, explotadas simultaneamente. Justifica a manutenção das frentes de lavra a composição da rocha cujas variações explicam o direcionamento do produto para determinado tipo de uso. Em resumo, os corpos 3 e 5 são direcionados ao mercado de ração animal e corretivo de solo, enquanto os corpos 1 e 2 atendem ao mercado de agregado para uso direto na construção civil. A Tabela 1 mostra a área de lavra nos corpos em atividade, ou seja, corpos 1, 2, 3 e 5.

Tabela 1. Área de Lavra.

CORPOS DE CALCÁRIO	ÁREA DE LAVRA (HA)
01	3,88
02	6,73
04	Não opera
03 + 05	4,70

O relatório em tela foca no corpo 1, onde a matéria-prima é totalmente destinada à produção de agregado para construção civil (brita). Esta definição é determinada pela composição química da rocha, em especial o teor de "CaCo₃". Os teores encontrados de "CaCo₃" ficam abaixo de 38%, o que não atende as especificações para uso agrícola ou ração animal.

Neste corpo, as operações de lavra ainda não atingiram a superfície potenciométrica de base. No entanto, aparecem alguns pontos de afloramento de água subterrânea que circula pelo manto de alteração, aflorando no contato com a rocha sã ou numa área onde a rocha se mostra bastante quebrada devido à uma zona de cisalhamento que corta o corpo 1. Para viabilizar as operações de lavra é necessário bombear a água que se acumula no interior da cava fechada. As águas que se acumulam no interior da cava têm origem nos afloramentos do escoamento subterrâneo, acrescida com a contribuição das águas de chuva.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os estudos hidrogeológicos contemplando a definição do comportamento hidrodinâmico do sistema aquífero local e o levantamento dos impactos sobre os recursos hídricos, em virtude da necessidade de deplecionar o nível d'água para viabilizar as operações de lavra no corpo 1.

A Figura 1 mostra a poligonal do direito minerário, DNPM 830.704/1979, destacando a posição dos corpos mineralizados.

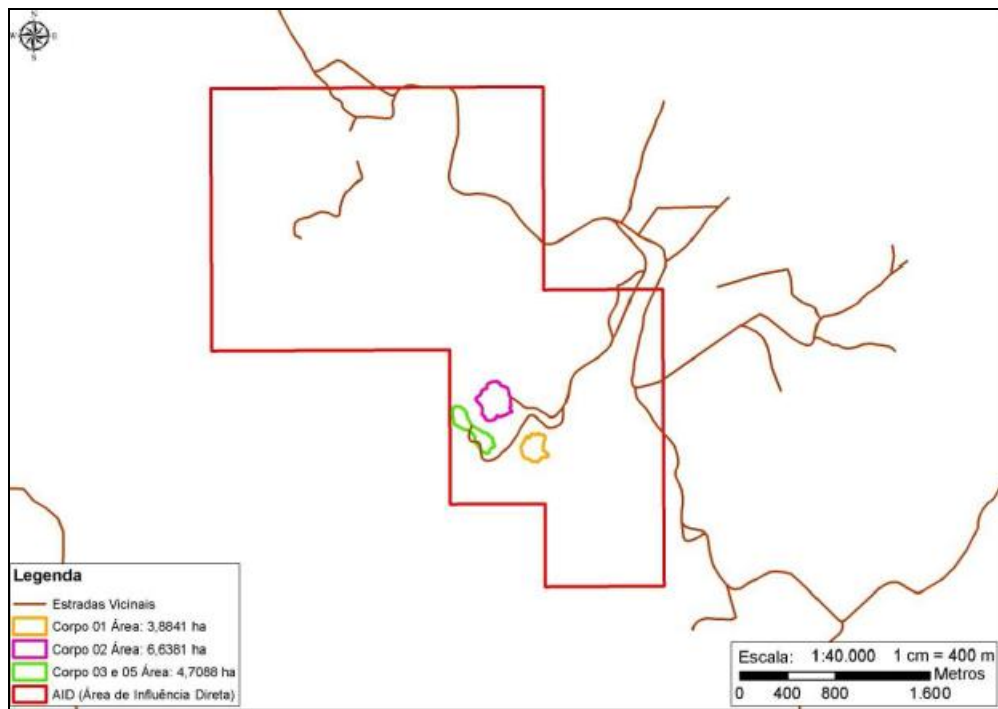


Figura 1. Localização das Áreas de Lavra no Direito Minerário.

Fonte– Água e Terra Planejamento Ambiental EIA/RIMA

Na cava 1, o planejamento de lavra, em função do mercado atual, projeta um avanço inferior a 1 metro /ano, devendo interceptar a superfície potenciométrica na cota 810 (cota do ribeirão Andrade) dentro de quatro a cinco anos. Nas condições atuais, as águas subterrâneas que se acumulam na cava são oriundas do escoamento natural que ocorre na camada de rocha alterada (aquífero granular), que antes da abertura da frente de lavra passava abaixo da cota do terreno. Também contribui para acumular água no interior do corpo 1 uma drenagem, localizada a sul deste corpo, que devido ao avanço da frente sul do mesmo, cria condições para a inversão do fluxo natural por meio de uma zona de cisalhamento de rochas calcárias. Esta situação, mesmo que envolva um volume muito pequeno de bombeamento fora do período de chuva, exige ações de retirada de água para a operação de lavra. Estas são bombeadas para o ribeirão do Andrade, retornando ao fluxo natural.

2 TRABALHOS REALIZADOS

2.1 Coleta de Dados Secundários

Esta atividade envolveu a coleta e análise dos dados disponíveis sobre a área da mineração e seu entorno. Em particular, os estudos hidrogeológicos realizados no ano de 2011, por esta mesma consultoria, para os corpos de calcários, cavas 3 e 5 e, no Estudo de Impacto Ambiental – EIA, de autoria da empresa Água e Terra Planejamento Ambiental Ltda, que embasou o licenciamento ambiental da Mineração.

2.2 Levantamento de Dados Primários

Para o levantamento dos dados primários que interferem no sistema hídrico subterrâneo, no primeiro momento foram retomados os dados dos trabalhos hidrogeológicos efetuados para os corpos 3 e 5, atualizados e complementados para atender as particularidades do “corpo 1”.

Estes estudos envolveram as seguintes atividades:

- caracterização hidrológica e climatológica;
- elaboração de mapa geológico e estrutural da área de estudo;
- inventário hidrogeológico da área de influência da mina, com caracterização dos pontos d’água e identificação dos usos das águas;
- elaboração de mapa hidrogeológico da área de estudo.

2.3 Elaboração de Relatório Técnico

- tratamento e interpretação dos dados, com caracterização hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos;
- definição do modelo hidrogeológico conceitual;
- análise dos impactos no sistema hidrogeológico local em função do bombeamento das águas no interior da cava;

3 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Ultracal Indústria e Comércio Ltda tem sua mineração localizada na Fazenda Andrade, zona rural do Município de Varjão de Minas. Encontra-se instalada a mais de 30 anos e atua na lavra e beneficiamento de calcário para uso na construção civil, ração animal e corretivo de solo.

Atualmente, tem uma capacidade operacional da ordem de 500.000 toneladas de calcário /ano, com corpo técnico especializado que atua desde a lavra, beneficiamento e entrega dos produtos diretamente ao cliente o que vem dando à empresa a viabilidade de participar do mercado nacional de calcário.

3.1 Localização e Vias de Acesso

A mineração de calcário que pertence à empresa Ultracal está localizada a aproximadamente 20 km a sudoeste da cidade de Varjão de Minas. A Figura 2 mostra a localização e principais rodovias federal, estadual e municipal.

O acesso à mineração, a partir de Belo Horizonte, pode ser feito tomando a BR-040 que liga Belo Horizonte ao Distrito Federal até trevo com a BR 365, percorrendo 354 km. Em seguida, toma-se a BR 365 no sentido Patos de Minas por mais 66 km até a sede do município de Varjão de Minas. Ao chegar ao distrito sede do município de Varjão de Minas segue-se por uma estrada municipal, não pavimentada, por mais 10 km.

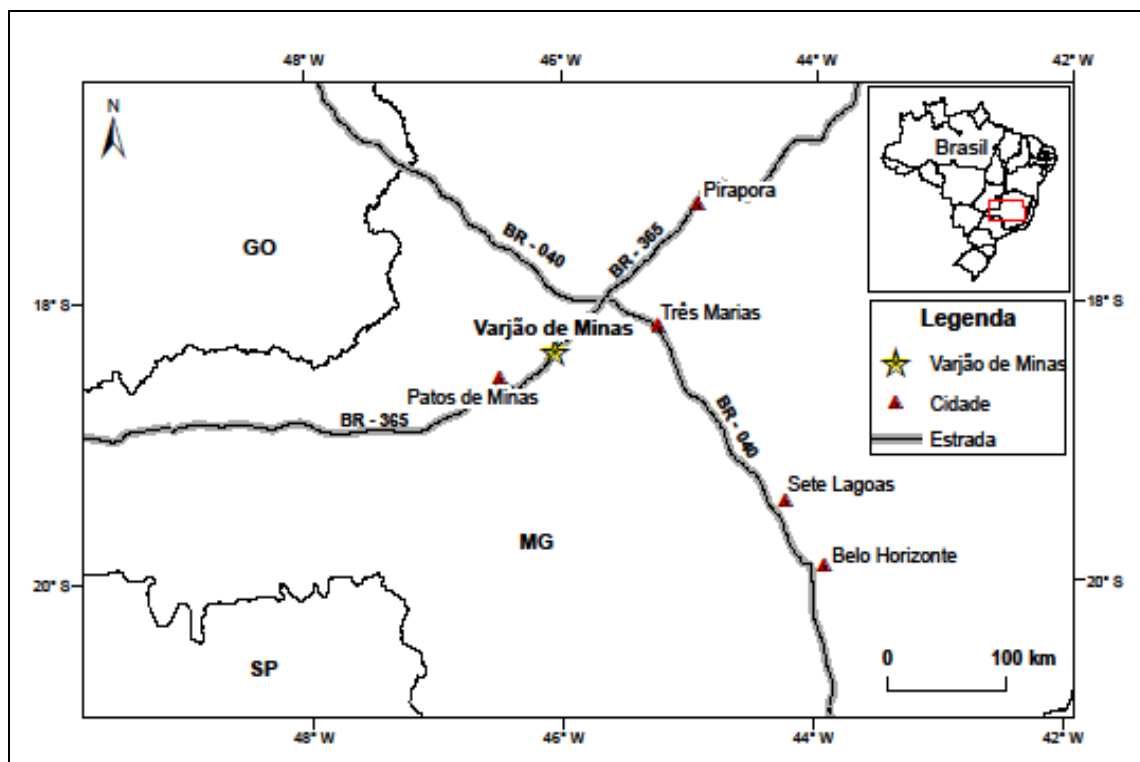


Figura 2. Mapa de localização e vias de acesso.

3.2 Características do Município

A mineração Ultracal está localizada na mesorregião Noroeste de Minas Gerais, microrregião de Paracatu, no Município de Varjão de Minas. O município foi fundado oficialmente em 22 de outubro de 1996, quando foi emancipado de São Gonçalo do Abaeté. Segundo pesquisas do IBGE, realizadas em 2010, a população naquele ano era de 6.054 habitantes e a população projetada para 2015 é de 6.662 habitantes.

Em relação à situação econômica, o município apresenta um PIB de R\$ 87.242 mil, segundo dados do IBGE de 2010, o que confere uma renda per capita de R\$14.384,00 e IDHM de 0,711, o qual é considerado alto (PNUD2010).

As principais atividades econômicas desenvolvidas no município de Varjão de Minas estão relacionadas ao agronegócio, com a produção de soja, milho e feijão, além da criação de bovino e suíno em larga escala. Completa a economia municipal a indústria extrativa, que se restringe à mineração de calcário, e o comércio local, que provém produtos básicos para o abastecimento da população e para as atividades agropecuárias.

3.3 Hidrologia Superficial

O Rio Abaeté constitui o principal curso d'água da região. Apresenta padrão de drenagem meandrante a retilíneo, assentando-se e esculpindo rochas do Grupo Bambuí. Seus principais afluentes são representados pelos ribeirões Andrade, Manso e Canoas, na margem esquerda, e pelos córregos Grande, Ingazeira e São Domingos, além do Ribeirão Manso, na margem direita. Em particular, a área de estudo é contemplada pelo ribeirão Andrade, que corta a mina. O corpo 01, objeto deste trabalho fica na margem esquerda do ribeirão, enquanto os corpos 03 e 04, que foram objeto de trabalho hidrogeológico já protocolado na Supram-NO, estão posicionados na margem direita deste curso d'água.

A Figura 3 mostra o mapa com a rede de drenagem regional, enquanto a Foto 1 apresenta detalhes do ribeirão Andrade a jusante do corpo 01.

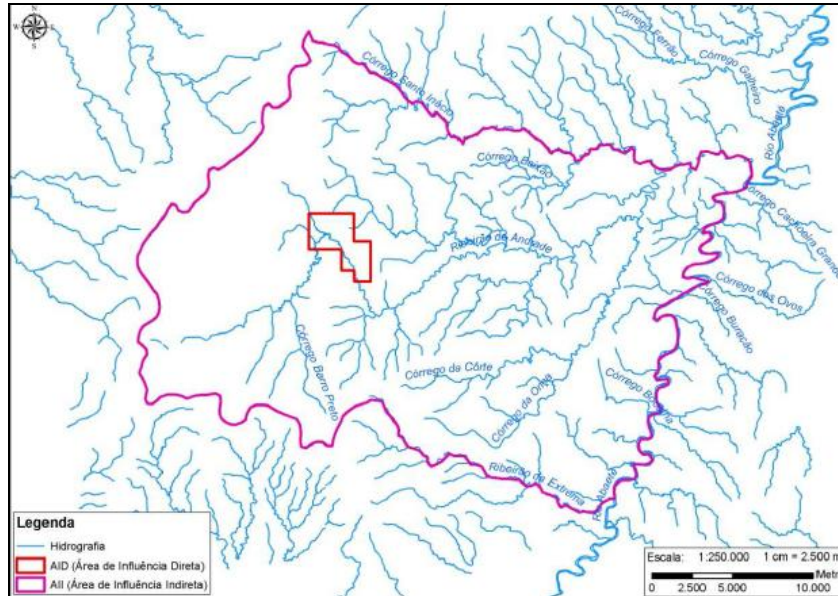


Figura 3. rede de Drenagem Regional, fonte Água e terra EIA/Rima.



Foto 1. Ribeirão Andrade a jusante do corpo 01.

3.4 Caracterização Morfopedológica e da Vegetação

A área de influência da mineração está inserida no bioma cerrado, onde as formações arbóreas têm como característica uma heterogeneidade dos tipos fitogeográficos. Em áreas onde o solo é mais rico em nutrientes, o cerrado dá lugar a matas, primariamente, constituídas de estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo.

Dentre as espécies vegetais encontradas na região destacamos: Cedro, Ipê, Jacarandá, Angico, Folha Larga, Canjerana, Canela, Mutamba, Espeto e Palácio entre outras. Ao longo do ribeirão Andrade e em drenagens de menor porte encontram-se matas ciliares ou de galerias. As fotos seguir mostram os fragmentos de vegetação encontrados na área da Mineração Ultracal:



Foto 2. Fragmentos de Vegetação do entorno da Mineração de Calcário.

A geomorfologia regional está inserida nas unidades geomorfológicas Planalto do São Francisco e depressão SanFranciscana (Cetec 1981). Tais unidades se desenvolveram a partir do Cretáceo superior chegando ao pleistoceno. A morfogênese regional foi influenciada por fatores de dissecação fluvial e pedimentação que afetaram o arcabouço litológico regional.

Os solos da região objeto deste estudo são predominantemente Latossolos, sendo o tipo de maior ocorrência o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, encontrando-se também, com frequência, o Latossolo Vermelho Escuro, Podzólico Vermelho Amarelo e Cambissolos.

Localmente, observa-se que os solos da área de entorno do empreendimento são uniformes e com características clássicas de Latossolos Vermelho Amarelo Distróficos, onde se desenvolve agricultura irrigada com pivôs instalados ao longo do vale do ribeirão Andrade, a montante da área de mineração. A Figura 4 mostra os tipos de solos mapeados na região pela Água e Terra, quando da elaboração do EIA/Rima para licenciamento do empreendimento.

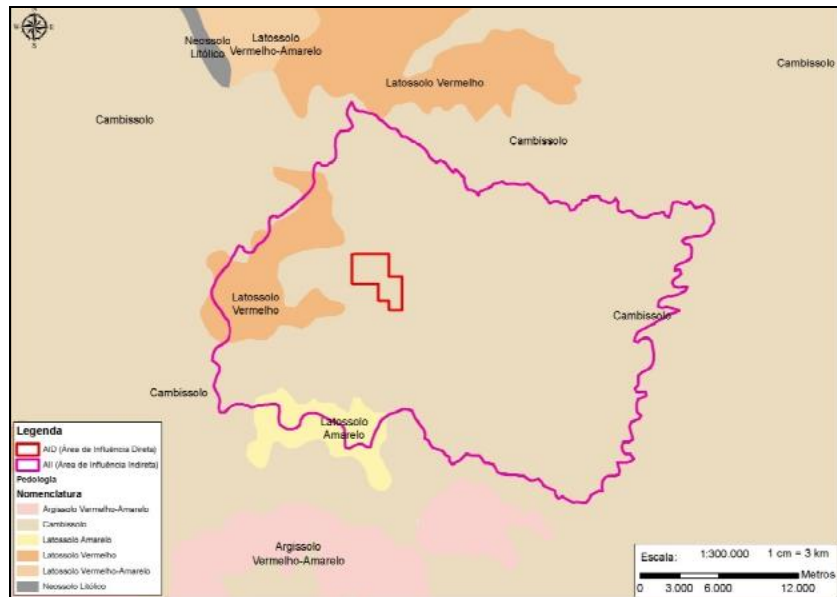


Figura 4. Distribuição dos Tipos de Solo no Entorno da Mineração da Ultracal.

Fonte: Água e Terra 2013

3.5 Climatologia

A análise climatológica foi elaborada com base nos dados da estação climatológica de Patos de Minas que é operada pelo Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. As informações referem-se ao período 1961-1990. Para a análise de clima foi utilizada a classificação de Köppen, comparada com o modelo de Thornthwaite. Na análise do balanço hídrico empregou-se a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955).

Ainda, é importante considerar que a escolha da estação climatológica de Patos de Minas deve-se ao fato de que a área de pesquisa está situada a menos de 60 km da referida estação meteorológica. Portanto, apresenta aspectos comuns no que se refere aos quadros natural e climático, que representam a interação das condições meteorológicas de acordo com o relevo, altitude e outros.

No período considerado, os dados da estação pluviométrica mostram que as chuvas ocorrem, preferencialmente, nos meses de outubro a março (médias mensais variando entre 158 a 297 mm), com maior incidência pluviométrica em novembro, dezembro e janeiro. Por outro lado, no intervalo compreendido entre os meses de abril a setembro, esse índice apresenta valores inferiores a 80 mm, com queda acentuada no período de junho a agosto, com valores inferiores a 15 mm. A redução no índice pluviométrico inicia-se no outono agravando na estação de inverno. Essa distribuição pluviométrica observada na região é característica de ciclo climático unimodal, com verão chuvoso e inverno seco.

A análise dos dados de precipitação média, no período entre os meses de outubro a março, mostra um índice pluviométrico de 1.292 mm, correspondendo a 87,6% do total precipitado no decorrer de todo o ano. Observa-se, ainda, que a concentração do número de dias chuvosos também ocorre no mesmo período, perfazendo um total de 99 (noventa e nove) dias, dos 124 (cento e vinte e quatro) dias de chuva/ano, equivalendo a 79,8% em relação ao período compreendido de abril a setembro, onde o total precipitado foi de apenas 178 mm, com apenas 25 (vinte e cinco) dias chuvosos, o equivalente a 12%.

Os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e novembro com precipitações médias de 297 mm, 273 mm e 204 mm, respectivamente. Esses valores representam 52,5% do total anual precipitado, ao passo que no inverno o volume precipitado foi de apenas 29 mm, equivalendo a 2% do total de chuva/ano, o que vem caracterizar um regime tropical, com chuvas no verão e seca no inverno.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e o gráfico da Figura 5 a seguir, mostram os valores referentes à temperatura média compensada, precipitação, número de dias de chuva, no período de 1961 a 1990.

Tabela 2. Parâmetros Climáticos – 1961/1990.

MÊS/ANO	T.M.COMP. (°C)	PRECIPITAÇÃO (mm)	DIAS/CHUVA
JANEIRO	22,1	273	20
FEVEREIRO	22,2	194,1	15
MARÇO	22,9	166	14
ABRIL	21,2	73,9	9
MAIO	19,7	24,8	4
JUNHO	18,5	6,2	2
JULHO	18,2	13,1	2
AGOSTO	20,3	13,3	3
SETEMBRO	22,1	49,3	5
OUTUBRO	22,2	158,6	13
NOVEMBRO	22	204,9	15
DEZEMBRO	21,7	297,2	22
ANUAL	21,1	1.474,40	124

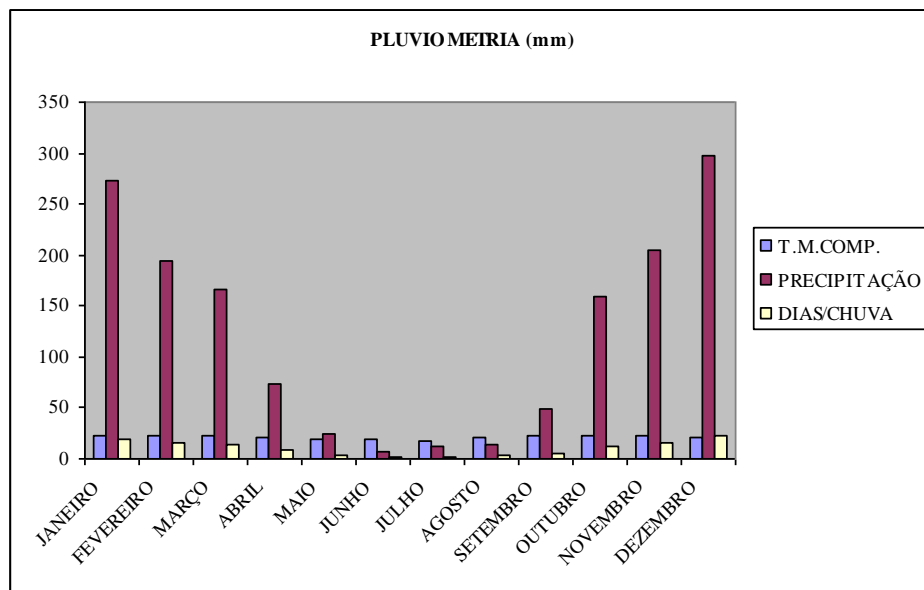


Figura 5. Dados de pluviometria – 1961/1990.

Importante ressaltar como o regime climático de uma região é determinado pelas condições médias da circulação geral da atmosfera, e pela sua localização com respeito às fontes de umidade, bem como pela topografia e seus efeitos locais. Nesse sentido é que se observa como o vento exerce fundamental importância na dinâmica climática. Isto porque o movimento horizontal de ar é o principal agente responsável pela dispersão de poluentes na atmosfera, concorrendo ainda para o transporte de quantidades meteorológicas, como umidade, energia e outros, modificando, dessa forma, a distribuição de outros parâmetros como temperatura do ar e precipitação.

O estado de Minas Gerais está, durante todo o ano, sob o domínio da circulação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul. Como consequência, os movimentos verticais de larga escala são tipicamente descendentes, com predomínio de movimentos divergentes na baixa e média troposfera.

No caso em questão, a região recebe a umidade do oceano Atlântico, transportada pelos ventos alísios de nordeste. Nesse contexto, a serra do Espinhaço representa um anteparo físico e dinâmico ao transporte de umidade disponível na atmosfera, a sotavento da barreira. Desta forma, a disposição orográfica na sua formação destaca a existência de núcleos de máxima intensidade sobre a serra do Espinhaço, e um mínimo sobre as demais regiões. A disposição da serra faz com que o movimento vertical seja levemente ascendente a catavento e descendente sobre as outras regiões do estado. Ressalta-se ainda que, quanto maior a diferença entre a variação da pressão atmosférica, maior será a velocidade do ar e, quanto maior o gradiente da pressão, mais rápido as moléculas de ar irão se deslocar, ocasionando ventos mais fortes. Nesse sentido verifica-se que a velocidade do vento na região é, em média, de 1,4 m/s, considerado suave para a região. Isto porque ele tem sua origem em áreas de alta pressão, tornando-o pesado e fraco, o que irá interferir de forma determinante na umidade relativa do ar e na dinâmica do clima.

O vento, ar em movimento, constitui-se num agente eficiente na dispersão das plantas, isto porque o consumo de dióxido de carbono pelas plantas e as taxas de transpiração tendem a crescer com o aumento de velocidade do vento, até certo nível. Negativamente, o vento pode causar danos físicos às culturas, favorecendo também um alto índice de transpiração e conseqüentemente o ressecamento da planta. Dessa forma, considera-se favorável ao desenvolvimento dos vegetais, a variação acima exposta, desde que o solo esteja preparado para o cultivo e em boas condições de preservação.

No que se refere à insolação, observa-se na série de dados, que seu valor anual é de 2.461,3 (h), apresentando maior incidência no período de março a setembro, representando 59% do total anual. Salienta-se seu valor, pois a insolação é de vital importância agrícola por determinar as características térmicas do ambiente, principalmente as temperaturas do ar e do solo e a duração do dia. De acordo com Griffiths (1976), a planta média começa a aumentar a matéria orgânica por volta de 0°C, aumentando em quantidade até 25°C, diminuindo então até zero nos 40°C. Isso indica que radiação demais ou insuficiente é prejudicial ao processo de fotossíntese.

A Tabela 3 e o gráfico da Figura 6 abaixo permitem uma comparação entre os valores da temperatura, precipitação, insolação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

Tabela 3. Parâmetros Climáticos.

MÊS/ANO	T.M.COMP. (°C)	P	INSOLAÇÃO	EP	ER
JANEIRO	22,1	273	158,1	99	99
FEVEREIRO	22,2	194	173,6	87	87
MARÇO	22,9	166	205,8	100	100
ABRIL	21,2	73	208,1	77	77
MAIO	19,7	24	241,2	64	56
JUNHO	18,5	6	249,5	54	30
JULHO	18,2	13	260,7	53	26
AGOSTO	20,3	13	264,3	70	25
SETEMBRO	22,1	49	213,5	87	54
OUTUBRO	22,2	158	179,7	95	95
NOVEMBRO	22	204	161,8	93	93
DEZEMBRO	21,7	297	145	95	95
TOTAL	18,6	1.474	2.461	973	842

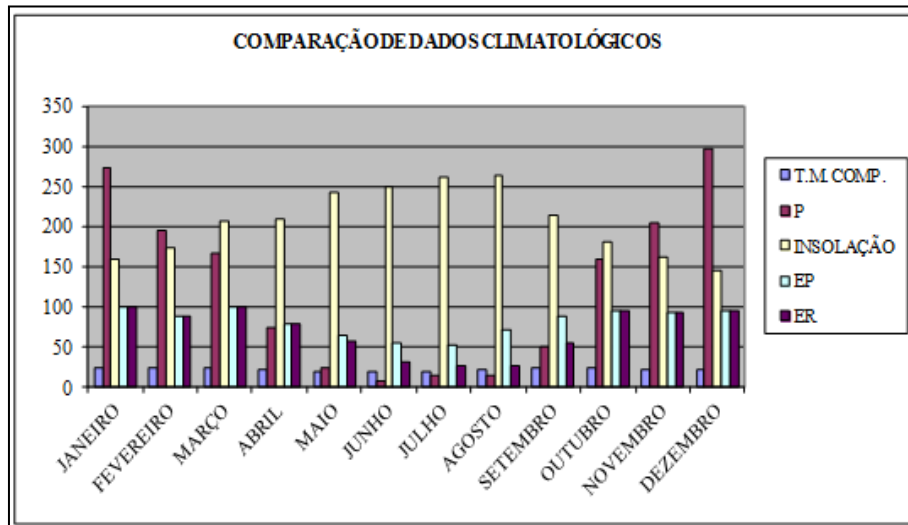


Figura 6. Dados Climatológicos.

A representação gráfica da evapotranspiração potencial mensal é vista no gráfico da Figura 7 a seguir.

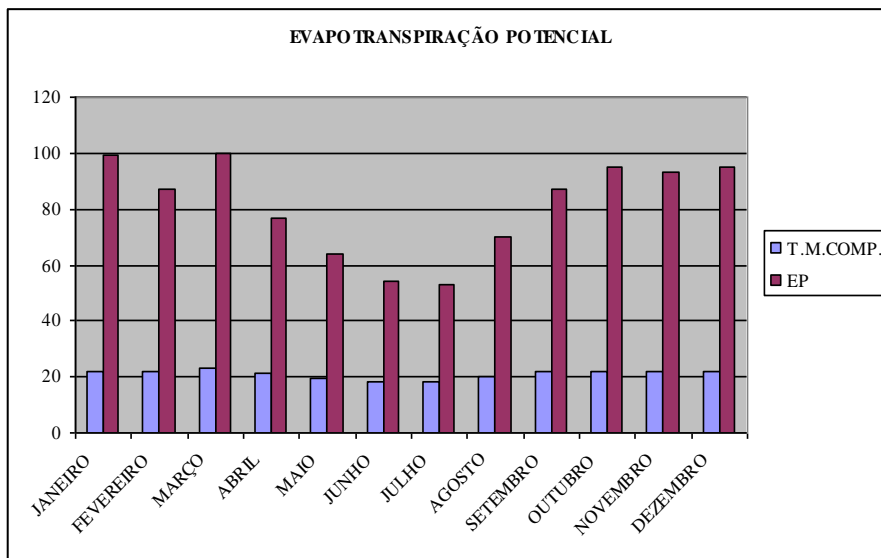


Figura 7. Evapotranspiração potencial.

O gráfico das temperaturas mostra que, no período de 1961 a 1990, as temperaturas máximas e mínimas tiveram médias anuais de 27,8°C e 16,3°C, respectivamente.

A temperatura média máxima do primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março), ficou em 28,9°C, enquanto que no período compreendido entre os meses de abril a agosto foi de 26,8°C, inclusive durante a estação de inverno.

A temperatura média compensada anual foi de 21,1°C, sendo que a temperatura média compensada do mês mais frio foi de 18,2°C e a temperatura média do mês mais quente foi de 29,5°C.

Com estes dados é possível evidenciar que a amplitude térmica anual entre o mês mais frio (18,2°C) e o mês mais quente (29,5°C), foi de 11,3°C, mostrando considerável variabilidade térmica na região.

Tabela 4. Dados Médios das Temperaturas.

MESES	T. MÉDIA COMPENSADA (°C)	TEMP. MÉDIA MÁXIMA (°C)	TEMP. MÉDIA MINÍMA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)
JANEIRO	22,1	27,9	18,3	78,3
FEVEREIRO	22,2	29,4	18,3	76,9
MARÇO	22,9	29,5	18	78,8
ABRIL	21,2	27,7	17,2	74,3
MAIO	19,7	26,7	14,4	69,1
JUNHO	18,5	26	12,7	63,8
JULHO	18,2	25,8	12,5	59,2
AGOSTO	20,3	28	14,1	51,8
SETEMBRO	22,1	29,1	16,3	55,3
OUTUBRO	22,2	28,5	17,6	66,5
NOVEMBRO	22	27,7	18	75
DEZEMBRO	21,7	27,2	18,2	79,8

A umidade relativa do ar varia entre 51,8% no inverno/primavera a 79,8% na primavera/verão, mostrando uma média anual de 69,1%. Esses dados mostram que a umidade relativa do ar varia de forma inversa com a temperatura durante o dia, tendendo a ser mais baixa durante o início da tarde e mais elevada durante a noite, evidenciando a inter-relação de umidade relativa e temperatura.

Os maiores índices pluviométricos coincidem com a maior umidade atmosférica. A quantidade de vapor d'água presente no ar é fator preponderante para a indicação da capacidade potencial da atmosfera em produzir precipitação. Somando-se a isso, ressalta-se o fato de o vapor d'água ter a capacidade de absorver radiação solar, funcionando como regulador térmico, exercendo efeito também na temperatura do ar, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 8 a seguir.

A Tabela 4, anteriormente apresentada, mostra as variações anuais da temperatura e a umidade relativa do ar no mesmo período e a Figura 8 mostra as variações anuais da temperatura.

3.5.1 Tipo do Clima

O diagrama Ombrotérmico de Gaussen & Bagnodls (1957) define o tipo climático da região, delimitando o período chuvoso e seco a partir de valores médios mensais de temperatura e precipitação. A Figura 8 mostra este diagrama para a região em estudo.

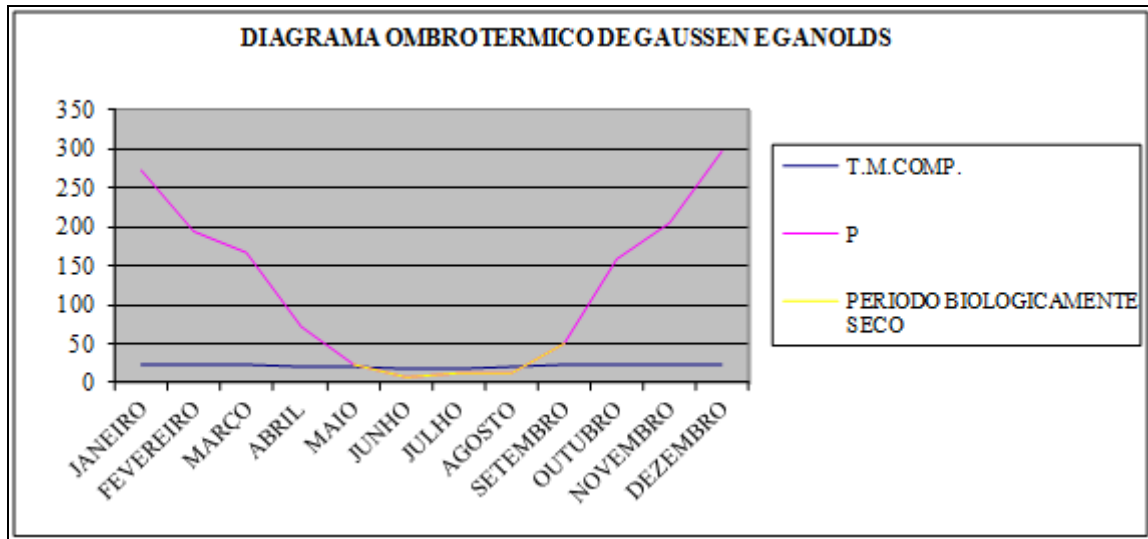


Figura 8. Diagrama Ombrotérmico.

A região do Alto Paranaíba, com base nos dados da estação climatológica de Patos de Minas, encontra-se em uma faixa de transição entre os climas quentes das latitudes baixas e os climas frios das latitudes médias. Segundo a classificação de Köppen (1918), o clima predominante da região enquadra-se no tipo Aw, clima tropical chuvoso, com inverno seco, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, comportando seis meses com precipitação, em média, inferior a 60 mm.

Através da classificação de Köppen é possível destacar três variáveis climáticas para a região:

- os dados anuais de temperatura caracterizam a zona climática mesotérmica, já que a temperatura média compensada do mês mais frio é inferior a 18°C;
- a temperatura média compensada do mês mais quente é superior a 22°C;
- observa-se um predomínio de seca no inverno com pouca precipitação.

O modelo de Köppen, apesar de sistêmico, não alcança completamente seus objetivos, uma vez que não consegue identificar características mais específicas do clima para o qual se propõe.

É nesse sentido que a metodologia de Thornthwaite (1955) ganha extrema relevância, visto que permite comparar a quantidade de água da chuva recebida com a quantidade perdida pela evapotranspiração. Esse método utiliza os índices climáticos de umidade, aridez e eficiência térmica, para a determinação da deficiência da umidade armazenada na zona das raízes, do excedente de água sujeito à percolação, e da evapotranspiração real das plantas, sendo que o resultado da análise representa o ciclo hidrológico da região estudada.

A Tabela 5, a seguir, apresenta os dados do balanço hídrico para o município de Varjão de Minas, de acordo com metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955).

Tabela 5. Dados do balanço hídrico.

BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO MODELO DE THORNTHWAITE (1955)										
MESES DO ANO	T.M. COMP.	EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	N.A.	ARM. (mm)	ALT	ER. (mm)	DEF. (mm)	EXC. (mm)
JAN.	22,1	273	99	174		100	0	99	0	174
FEV.	22,2	194	87	107		100	0	87	0	107
MARÇO	22,9	166	100	66		100	0	100	0	66
ABRIL.	21,2	73	77	-4		96	-4	77	0	0
MAIO	19,7	24	64	-40	-4	64	-32	56	8	0
JUNHO	18,5	6	54	-47	-44	40	-25	30	22	0
JULHO	18,2	13	53	-40	-91	27	-14	26	26	0
AGOSTO	20,3	13	70	-57	-131	15	-12	25	45	0
SET.	22,1	49	87	-38	-188	10	-5	54	33	0
OUT.	22,2	158	95	63	-226	73	63	95	0	0
NOV.	22	204	93	111		100	26	93	0	84
DEZ.	21,7	297	95	202		100	0	95	0	202
V.ANUAL	18,6	1.474	973	497			0	842	136	632

P-EP – Precipitação menos evapotranspiração potencial.

N.A – Negativo acumulado

ARM – Armazenamento na zona das raízes

ALTER – É o armazenamento do mês em questão menos o armazenamento do mês anterior = Alteração.

ER – Evapotranspiração real

DEF – É sempre representado pelo valor de EP-ER – Deficiência hídrica do solo

EXC – Excedente hídrico no solo.

mm = milímetro(s)

Para definição e classificação do clima da região onde está inserida a área do projeto, segundo modelo proposto por Thornthwaite, devem ser observados os seguintes critérios:

$$\text{Índice de umidade efetiva (Im)} = \frac{(100 \times \text{exc}) - (60 \times \text{def})}{\text{EP}}$$

$$= (100 \times 632) - (60 \times 136) / 973 = 56,6\%$$

De acordo com a metodologia utilizada neste trabalho, o valor do índice de umidade encontrado, 56,6%, indica que o clima da região do empreendimento é úmido (B³).

Outro índice que foi calculado para a região é o “Índice de Aridez” (Ia) que mostra a adequação sazonal da umidade.

$$Ia = \frac{100 \times \text{def}}{\text{EP}}$$

$$\text{Equação: } 100 \times 136 / 973 = 16,7\%$$

Esse resultado para o “Índice de Aridez” vem confirmar a classificação do clima da região como sendo úmido com déficit hídrico moderado no inverno (w).

Índice de eficiência térmica anual (ET): representa os valores da evapotranspiração potencial em (cm) = ET = 97,3cm - classificação do tipo B’3 – Mesotérmico.

Índice de concentração térmica no verão (CETv):

$$\text{CETv} = \frac{\text{EP}(\text{dez, jan e fev})}{\text{ET}(\text{Total de EP})} \times 100 = 29,4\%$$

O **CETv** no verão avalia a distribuição do índice térmico no decorrer do ano. Segundo Thornthwaite (1955), existe uma relação entre o **CETv** e o índice de eficiência térmica anual, **ET**. Para a região, os índices demonstram que no verão a eficiência térmica foi de 29,3% classificado como sendo do tipo “a”, concentração abaixo de 48%. Esse índice mostra que, apesar do verão ser mais quente e úmido do que as outras estações há um equilíbrio térmico ao longo do ano, como mostra a Figura 9.

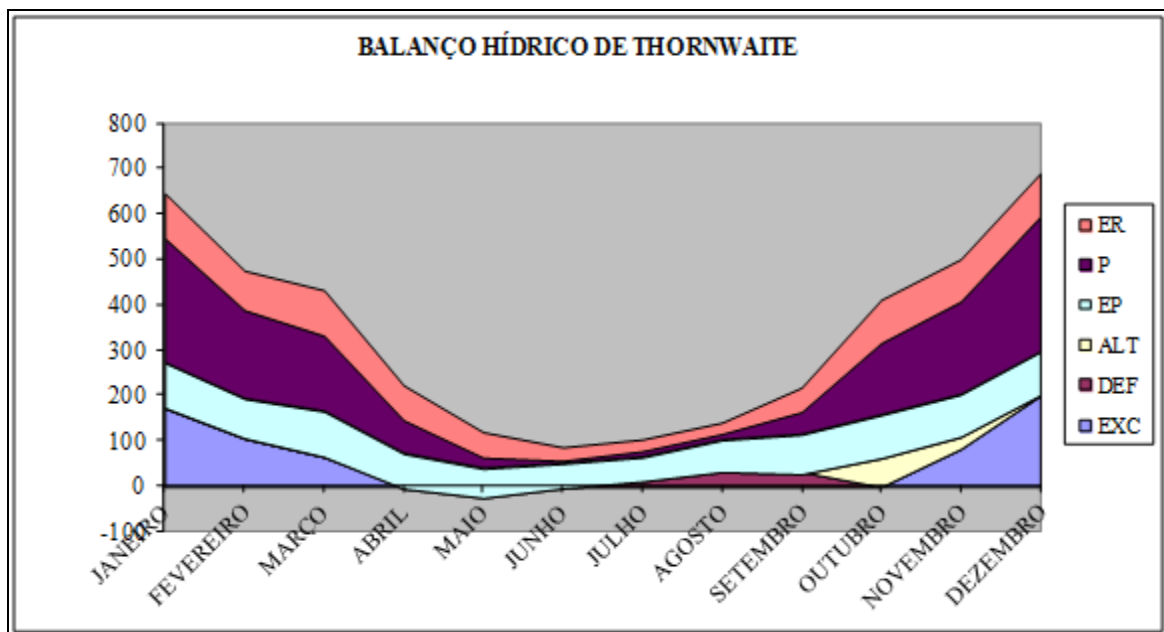


Figura 9. Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather.

Neste contexto, a metodologia usada para a análise climatológica conclui que o clima do município de Varjão de Minas, tomando por base os dados coletados em Patos de Minas, enquadra-se no tipo “**Clima úmido mesotérmico com déficit hídrico moderado de inverno**”. Em função da eficiência térmica, o tipo climático foi caracterizado como mesotérmico ou terceiro mesotérmico, com concentração térmica no verão na ordem de 29,4%. A simbologia que representa a tipologia climática é definida como B2wB’3^a, como mostra a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6. Classificação Climática, segundo W.C. Thornthwaite (1955).

Estação Patos de Minas– Período 1961/1990

Índice Efetivo de umidade	56%
Índice de aridez	16,7%
Índice de eficiência térmica	97,3
Concentração térmica no verão	29,4%
Fórmula climática	B2wB'3a = B2 – Clima úmido – w = déficit moderado de inverno – B'3 = Terceiro Mesotérmico – EP em cm com valor superior a 85,5 e inferior a 99,7 – a – concentração térmica no verão em (%) abaixo de 48,0

Resumindo, pode-se afirmar que a análise dos dados climatológicos indica que a região onde se localiza a mina de calcário da Ultracal, município de Varjão de Minas, mostra o balanço hídrico caracterizado por chuvas abundantes no verão e com moderada deficiência no inverno. Este regime, somado a uma boa capacidade de infiltração do meio aquífero poroso, garante que a relação rio-aquífero mantém as vazões mínimas durante o ano para os cursos d'água.

3.6 Geologia Regional

A Mineração de calcário de propriedade da Ultracal tem seu registro legal no DNPM sob o número 830.704/1979. No contexto geológico a mineração está inserida na porção centro sul do Cráton do São Francisco, onde afloram rochas metapelíticas do Grupo Bambuí.

A contextualização do arcabouço geológico da área fica no domínio denominado Cráton do São Francisco. Este segmento crustal compõe parte do Escudo Atlântico, localizado na porção centro-leste da Plataforma Sul-Americana. O cráton do São Francisco foi individualizado como uma unidade geotectônica por Almeida (1977), cujos traçados limítrofes foram redefinidos por Alkmim *et al.* (1993) e Alkmim (2004). As faixas de dobramento adjacentes ao Cráton do São Francisco representam o registro dos terrenos acrescidos às bordas do referido cráton através das colisões diacrônicas do ciclo Brasileiro e foram designadas da seguinte forma: Araçuaí (Província Mantiqueira, Almeida, 1977), Brasília (Província Tocantins, Almeida, 1977), Rio Preto (Província Tocantins, Inda *et al.*, 1984), Riacho do Pontal e Sergipana (Província Borborema, Brito-Neves, 1979). A Figura 10 mostra o mapa simplificado do cráton do São Francisco, segundo Alkmim, 2004.

O embasamento do Cráton São Francisco é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto grau (gnaisses, granitóides e granulitos) de idade arqueana, associações do tipo granito greenstone e cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas, assim como rochas plutônicas com grande variedade composicional, expostos no extremo sul do cráton (Cinturão Mineiro) e na porção nordeste, no estado da Bahia (Teixeira *et al.* 2000).

Capeando esta unidade geotectônica ocorrem rochas relacionadas a Bacia São Francisco, que ocupam quase todo o segmento de orientação meridiana do cráton e cobrem uma área de cerca de 500.000 km² da bacia hidrográfica homônima nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. As maiores unidades litoestratigráficas aflorantes são: o Supergrupo Espinhaço de idade paleo/mesoproterozóica; o Supergrupo São Francisco de idade neoproterozóica; o Grupo Santa Fé de idade permo-carbonífera; e os sedimentos cretácicos dos grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia, como ilustra a coluna estratigráfica da Figura 11 (Alkmim & Martins-Neto, 2001).

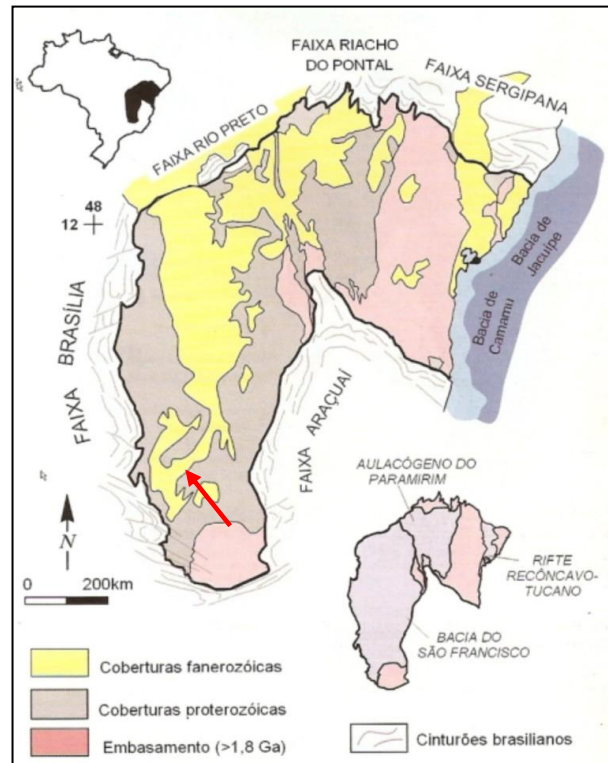


Figura 10. Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco (Alkmim, 2004). A seta vermelha representa a localização aproximada da região da Mina Ultracal.

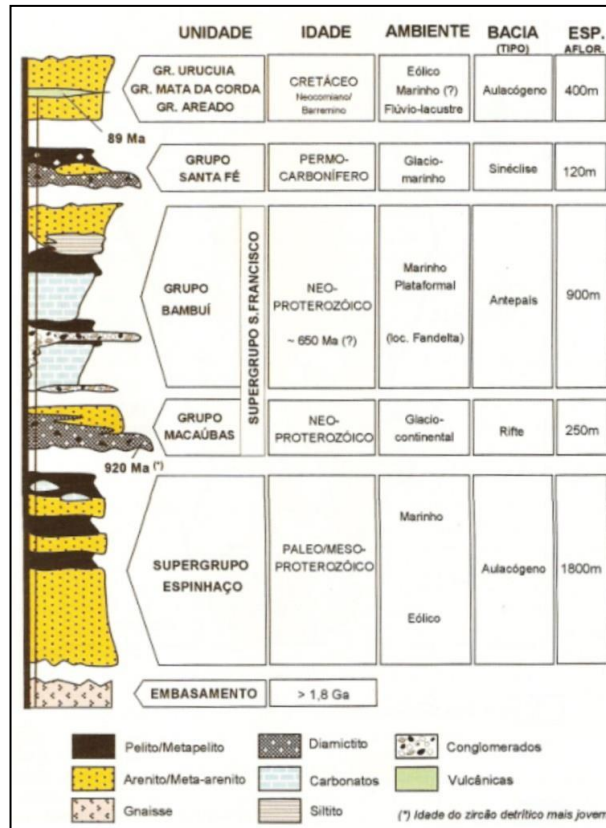


Figura 11. Coluna estratigráfica simplificada da Bacia do São Francisco (Alkmim & Martins-Neto, 2001).

3.6.1 Estratigrafia

O mapa geológico da Figura 12, da folha Serra das Almas (Martins *et al.* 2011), onde está inserida a mina da Ultracal, mostra rochas que correspondem às unidades estratigráficas do Grupo Bambuí, Grupo Areado, Grupo Mata da Corda e Coberturas Cenozoicas.

Grupo Bambuí – Neoproterozoico

Segundo Dardenne (1978), o Grupo Bambuí é dividido em 6 Formações: Fm. Jequitaí, Fm. Sete Lagoas, Fm. Serra de Santa Helena, Fm. Lagoa do Jacaré, Fm. Serra da Saudade e Fm. Três Marias.

Na base ocorre a Fm. Jequitaí constituída por conglomerado polimítico, que localmente repousa em discordância sobre o embasamento cristalino. Em seguida, no empilhamento, aparece a Fm. Sete Lagoas composta de rochas calcárias laminadas a maciças, com características de retrabalhamento, subordinadamente ocorrem metapelitos calcíticos ou não. A Fm. Serra de Santa Helena sobrepõe a Fm. Sete Lagoas representada por ritmitos silto-argilosos cinza-esverdeados, contendo laminação plano-paralela. A coluna continua com a Fm. Lagoa do Jacaré onde ocorrem calcários oolíticos, cinzas e microcristalinos com intercalações de níveis de siltito e margas. No topo, fechando a estratigrafia do grupo, ocorre a Fm. Três Marias composta por arcóseos e siltitos verde escuro.

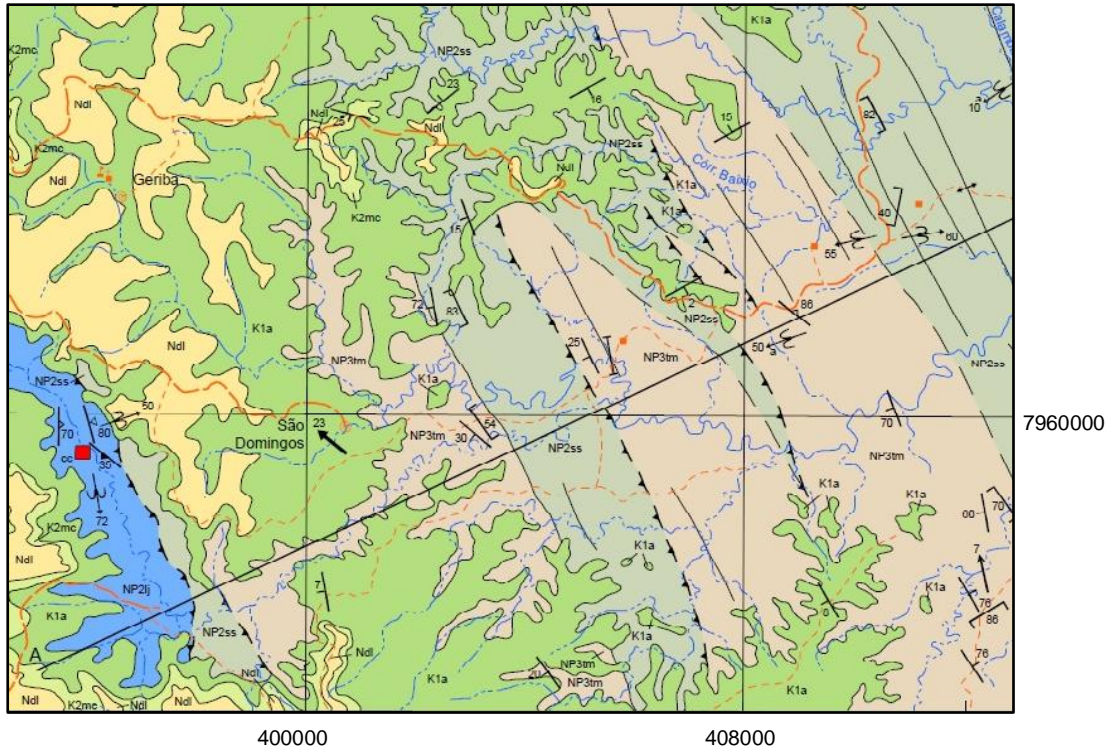


Figura 12. Mapa geológico folha Serra das Almas (Adaptado de Martins et al. 2011). NP2j (Fm. Lagoa do Jacaré); NP2ss (Fm. Serra da Saudade); NP3tm (Fm. Três Marias); K1a (Gr. Areado); K2mc (Gr. Mata da Corda).

Sedimentos Cretáceos: Grupos Areado e Mata da Corda

Grupo Areado: Nesta unidade, formalizada por Campos & Dardenne (1997), tem-se, da base para o topo, as seguintes formações: Abaeté, Quiricó e Três Barras. A Fm. Abaeté é constituída principalmente por conglomerados, os quais apresentam distintas fácies de acordo com sua localização na bacia. Sobre estes conglomerados ocorre a Fm. Quiricó, composta predominantemente por sedimentos pelíticos, subordinadamente se tem intercalações de arenitos. No topo, ocorre a Fm. Três Barras, composta por arenitos com fácies distintas, assim como os conglomerados da Fm. Abaeté (Campos & Dardenne, 1997; Sgarbi *et al.* 2001).

Mata da Corda: O Grupo Mata da Corda é composto pelas formações Patos e Capacete (Campos & Dardenne, 1997). A Formação Patos é constituída por rochas vulcânicas e subvulcânicas de afinidade kamafugítica e kimberlítica, que compõem, juntamente com os complexos carbonatíticos de Serra Negra e Catalão, os condutos vulcânicos do Alto Paranaíba. Subordinadamente ocorrem rochas vulcanoclásticas. A Formação Capacete é composta por rochas piroclásticas e epiclásticas, representadas principalmente por aglomerados, lapilitos, tufos, conglomerados e arenitos, cuja espessura pode alcançar até 130 m. (Sgarbi *et al.* 2001).

Coberturas Cenozóicas – Terciários- Quaternários

São representadas pelas carapaças lateríticas que sustentam as chapadas presentes na região e pelos depósitos aluvionares, coluvionares e eluvionares. Nestas coberturas os litotipos são: conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos, depositados principalmente em tálus, posicionados em meia encosta das chapadas, planícies aluvionares de inundação e canais de drenagem atuais.

3.6.2 Compartimentação Estrutural do Cráton São Francisco

Alkmim & Martins-Neto (2001) dividiram o cráton em três compartimentos estruturais de acordo com o acervo estrutural encontrado nas rochas pré-cambrianas da bacia São Francisco (Figura 13). O compartimento oeste abrange a zona externa das faixas Brasília e Rio Preto, o compartimento leste corresponde à zona externa da faixa Araçuaí e o compartimento central tem como característica as unidades pré-cambrianas praticamente indeformadas.

A área de estudo, destacada na figura a seguir, pertence ao domínio oeste, que é caracterizado como um cinturão de dobramentos e cavalgamentos rasos de orientação preferencial segundo NNW-SSE, com vergência para ENE. As estruturas dominantes formam um típico cinturão epidérmico de antepaís, envolvendo dobras de todas as escalas, falhas de empurrão com transporte tectônico para E, e sistema de transcorrências dextrais de orientação NE-SW (Alkmim & Martins-Neto, 2001).

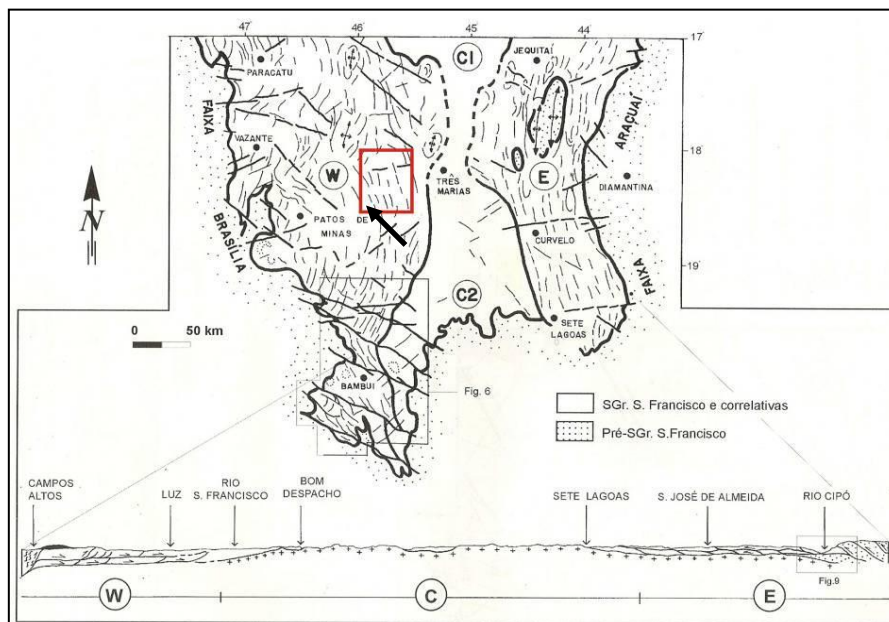


Figura 13. Mapa estrutural das unidades pré-cambrianas na porção sul da Bacia do São Francisco. compartimento oeste(W), compartimento central(C), compartimento leste(E) (Alkmim & Martins-Neto, 2001). O retângulo vermelho corresponde a folha Serra das Almas e a seta verde a localização aproximada da mina da Ultracal.

3.7 Hidrogeologia Regional (Sistemas Aquíferos Regionais)

A individualização das unidades hidrogeológicas que ocorrem na região de Varjão de Minas teve por base a análise dos dados geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Com estas informações, foi possível identificar duas categorias de sistemas aquíferos que possuem uma distribuição regional e que se diferenciam quanto à estrutura física, ao modo de ocorrência de depósitos, às condições de circulação da água e aos parâmetros hidráulicos. São eles:

- Aquíferos granulares ou porosos, instalados em sedimentos aluvionares, coberturas terciárias, sedimentos cretáceos dos Grupos Areado e Mata da Corda, além da camada de regolito;
- Aquíferos cárstico fissurado desenvolvidos em rochas pelíticas e carbonatadas do Supergrupo Bambuí (Formações Lagoa de Jacaré e Serra de Santa Helena).

A distribuição geográfica dos sistemas aquíferos regionais, mapeados com os grandes traços estruturais, encontram-se representados sobre a imagem do google, apresentada na Figura 14, cuja escala gráfica encontra-se discriminada na figura. Ainda, a Tabela 7 apresentada a seguir resume as características geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos da região. Na figura os aquífero granular foi agrupado e denominado coberturas cretáceas, devido a maior extensão areal deste meio.

Tabela 7. Sistemas aquíferos da bacia do ribeirão Andrade.

SISTEMA AQUÍFERO	TIPO AQUÍFERO	LITOLOGIA PREDOMINANTE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
Granular	Aluvial	Areias, Argilas e Cascalho	Aluviões
	Coberturas Detríticas	Coberturas eluvio-coluviais laterizadas, solos argilo-arenosos ou areno-argiloso avermelhado	Coberturas Detríticas Terciária
	Sedimentos Cretáceos	Arenitos puros a argilosos, argilitos e conglomerados e	Cretáceo indiviso (Grupos Areado e Mata da Corda)
Cárstico-fissurado Gr Bambuí	Carbonático (cárstico)	Calcários, Calcoarenitos, Calsilitos	Grupo Bambuí (Formação Lagoa do Jacaré),

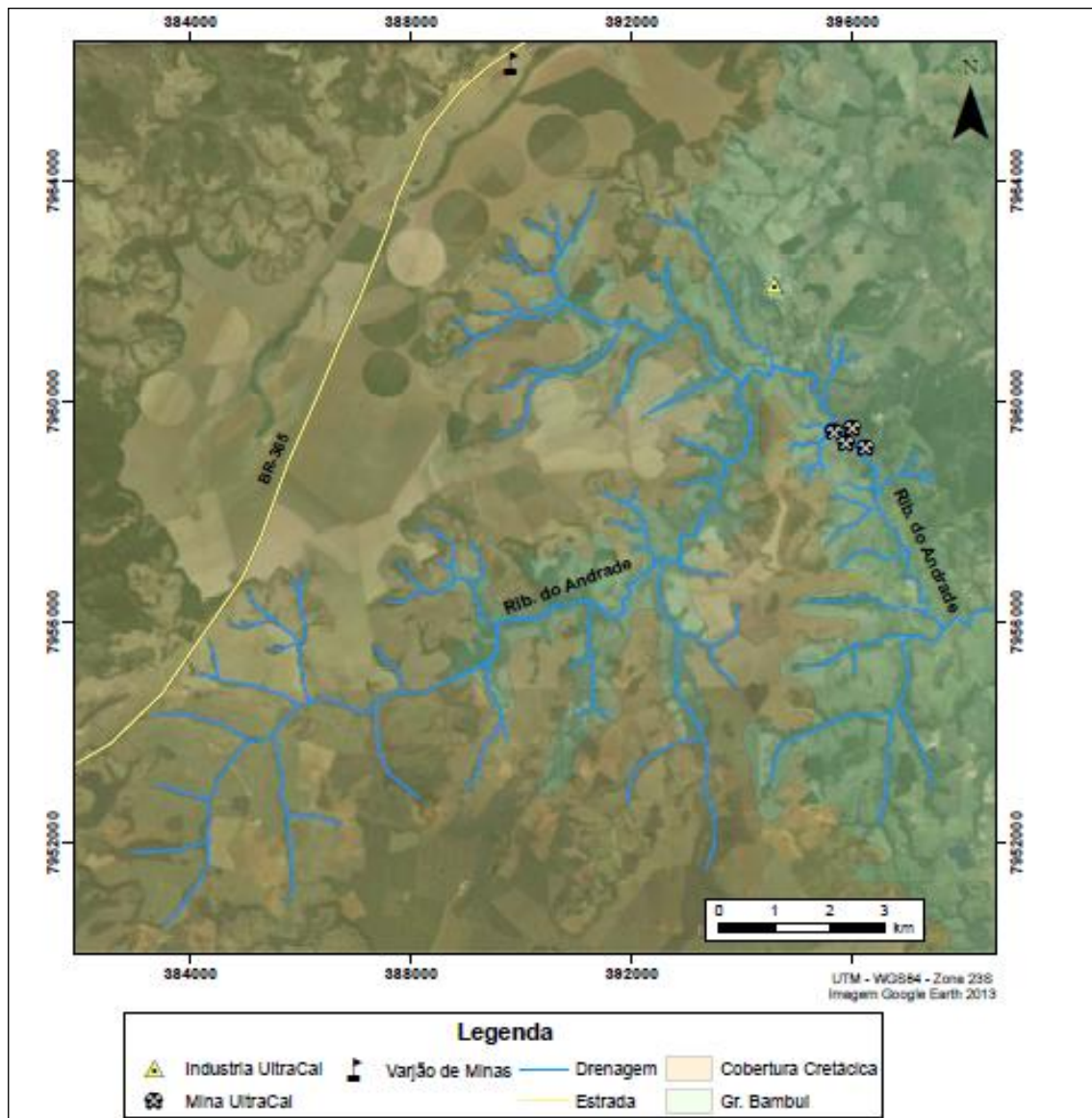


Figura 14. Distribuição geográfica dos sistemas aquíferos mapeados na região da Mina Ultracal.

3.7.1 Aquíferos Granulares ou Porosos

O aquífero granular descrito na região apresenta uma grande expressão e importância em seu sistema hídrico. As rochas de idade cretácica, representadas pelos arenitos do grupo Areado e pelitos e arenitos do Grupo Mata da Corda, são mais expressivas em área e espessura. Completam este sistema aquífero os sedimentos cenozoicos, coberturas aluviais e colúvies, solos e o manto de alteração das rochas metassedimentares. O aquífero granular ocupa as áreas de chapadas da região, desempenhando um papel fundamental na manutenção do caudal dos cursos d'água no período seco do ano hidrológico. Na área em tela esta unidade compõe a área de recarga da bacia do ribeirão Andrade.

De forma geral, esse sistema funciona como um aquífero de natureza granular livre, tendo como característica uma alta heterogeneidade em seu comportamento hidrogeológico, apresentando alta porosidade e elevada permeabilidade nas porções onde predominam sedimentos arenosos, o que confere a essa porção do aquífero uma boa potencialidade para captação de água subterrânea (condutividade hidráulica entre 1 e 10^{-3} cm/s). Já nas porções onde predominam as frações areno-siltosas ou areno-argilosas, esse sistema mostra característica de aquífero de aquífero (condutividade hidráulica entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s). Entretanto, mesmo na condição de aquífero, esse sistema se constitui na principal fonte de recarga das rochas fissuradas sotopostas, captando as águas de chuvas e transmitindo-as de forma lenta, porém contínua, minimizando os efeitos das perdas provocadas pelo escoamento superficial e pela evaporação.

Outra característica geral dessa unidade aquífera é o seu potencial de vulnerabilidade aos efeitos dos agentes poluidores, especialmente nas zonas mais superficiais. Essa vulnerabilidade será tanto maior quanto mais elevada for a participação de areias em uma composição. As argilas diminuem a permeabilidade e, com isso, aumentam o poder de depuração biológica das águas durante o percurso subterrâneo.

No que se refere à recarga, o sistema aquífero poroso é alimentado diretamente pela infiltração vertical das águas pluviais. Constitui uma exceção aos aquíferos aluvionares, que recebem água do rio na época das chuvas, causada pela inversão da direção do fluxo devido à carga hidráulica.

Em termos de produtividade, este meio aquífero apresenta baixa produtividade em toda a região. Como exemplo, têm-se dois poços construídos pela Copasa na sede do município de Varjão de Minas que apresentaram vazões muito baixas. A utilização das águas subterrâneas deste aquífero é feita por meio de captações singelas, poços rasos, popularmente conhecidos como cisternas ou cacimbas. Normalmente, tais captações são usadas para suprir pequenas demandas domésticas ou para dessedentação animal, quase sempre na zona rural ou em periferia de pequenos núcleos urbanos.

Aquífero Aluvial

O sistema aquífero granular de natureza aluvial apresenta uma expressão reduzida na área de estudo. Aparece em pequenas planícies fluviais do ribeirão Andrade e em pequenos tributários, como o caso da região conhecida como brejinho, localizada na parte norte do corpo 5. Estes sedimentos são constituídos por sedimentos fluviais inconsolidados de granulometria fina predominantemente arenosos, com lentes de silte e argila, além de camadas de seixos na base.

Aquíferos em Coberturas Detríticas e Mantos de Alteração

Esse sistema constitui os aquíferos superficiais associados ao manto de alteração das rochas (regolitos, elúvios e colúvios) e aos depósitos de cobertura detríticos lateríticos. O manto de alteração das rochas pelíticas-carbonatadas do Grupo Bambuí ocorre de modo generalizado por toda região, constituindo-se numa importante fonte de recarga das rochas fissuradas subjacentes, pois atua como um meio de captação da água precipitada em toda a superfície permeável (ou semipermeável). Vale ressaltar que o manto de alteração desenvolvido sobre os calcários possui um coeficiente de infiltração muito maior do que o manto desenvolvido sobre as rochas cenozoicas e cretáceas.

As coberturas detríticas e detríticas-lateríticas apresentam uma pequena expressão superficial na bacia, restringindo-se a pequenas áreas de chapadões. Essas coberturas correspondem a depósitos detríticos-lateríticos onde a mineralogia e espessura dessas coberturas são muito variáveis e guardam íntima relação com a litologia de origem e as condições climáticas atuantes. A Foto 3 mostra a morfologia característica de afloramento das coberturas lateríticas no alto das chapadas da região.



Foto 3. Afloramento de cobertura lateríticas em Chapadas.

Aquíferos em Rochas Cretáceas

Sobre os sedimentos detríticos dos Grupos Areado e Mata da Corda desenvolve-se um sistema aquífero de natureza granular, que se assenta diretamente sobre as rochas pelíticas carbonatadas do Grupo Bambuí. O Grupo Areado é construído por paraconglomerados polimíticos na base, seguidos por arenitos conglomeráticos e arenitos espessos róseos a amarelados. Subordinadamente são observados siltitos e folhelhos. As ocorrências dos litotipos do Grupo Areado estão localizadas a oeste-noroeste da mina da Ultracal, distribuindo-se por toda a área de recarga do ribeirão Andrade.

O Grupo Mata da Corda apresenta litotipos de alto grau de imaturidade composicional e textural. Predominam rochas arcoseanas, constituídas por quartzo, argilo-minerais e óxidos. A base desta sequência é formada por um pacote de siltito com intercalações arenosas dispersas, de coloração avermelhada intensa, apresentando laminação plano-paralela, estratificação cruzada de baixo ângulo e estrutura maciça (Foto 4). É sobreposto por arenito de granulometria areia fina a média, com silte, mostrando estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte a tangenciais de baixo ângulo. A coloração varia desde avermelhada intensa a arroxeada de tonalidade média, ambas “cortadas” por zonas esbranquiçadas. A sequência é finalizada por um pacote de arenito de coloração esbranquiçada. A composição e a textura são relativamente homogêneas, quando comparadas com os litotipos subjacentes. A granulometria varia entre areia fina a média, com grãos subarredondados a arredondados.



Foto 4. Afloramento do Grupo Mata da Corda – afloramento localizado nas proximidades da mineração da Ultracal.

O comportamento hidrogeológico do sistema aquífero em sedimentos cretáceos mostra porosidade primária e alta permeabilidade onde predominam as fácies areníticas. Entretanto, onde predominam argilas e siltes, como acontece no Grupo Mata da Corda (Foto 5), o comportamento é de um aquífero, ou seja, baixa permeabilidade. No geral, os dois meios apresentam-se onde o limite superior do aquífero fica delimitado pela própria superfície freática. Em alguns locais, esse aquífero está confinado devido à presença de intercalações argilosas nos arenitos sob a forma de cunhas ou lentes. Normalmente, os níveis d’água subterrânea são profundos, com fluxo preferencial segundo a componente vertical descendente. Em razão da grande capacidade de infiltração das coberturas arenosas, os solos apresentam déficit de umidade durante a maior parte do ano.

A espessura dos aquíferos instalados nos arenitos cretácicos é bastante variável. Observando as cotas das chapadas e os pontos de afloramento próximo a mina da Ultracal, é possível estimar que a espessura do pacote dos Grupos Areados e Mata da Corda pode atingir 300 metros.

A recarga dos aquíferos granulares se verifica a partir das infiltrações de água de chuva por toda a superfície das chapadas, que correspondem às áreas de afloramento das formações cretáceas. As principais áreas de descarga localizam-se no sopé das elevações junto ao contato com o substrato impermeável do Grupo Bambuí. Cabe destacar a importância desses aquíferos como reguladores das vazões dos rios da região, contribuindo para a manutenção de seus fluxos de base durante o período seco do ano.

Em termos de produtividade os poços inventariados neste sistema aquífero mostram grande variabilidade. Como exemplo, podemos citar dois poços praticamente secos construídos pela Copasa, um em Varjão de Minas e outro em Presidente Olegário, que atingiu a vazão específica de 11,110 m³/h/m. A porosidade eficaz é da ordem de 0,10, valor comumente observado para areias finas, arenitos e depósitos similares (CETEC,1981).



Foto 5. Área embrejada no contato dos arenitos e pelitos do Grupo Mata da Corda, nascente intermitente que reduz o volume de água no período seco do ano.

Aquíferos Fissurados ou Fraturados

O sistema aquífero fissurado ou fraturado está distribuído em cerca de 40% da área da bacia hidrográfica do ribeirão Andrade, quando considerada a sua porção da bacia localizada a montante da Mineração Ultracal, (Figura 14). Este sistema aquífero está instalado sobre os metassedimentos calcíferos (calcários, dolomitos e calciluditos) da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí, que em termos hidrogeológico constitui o sistema cárstico-fissurado.

A principal característica deste aquífero está na ausência de porosidade primária, o que determina uma grande anisotropia e heterogeneidade na circulação e no armazenamento da água subterrânea, que está restrita às discontinuidades geradas pelos eventos tectônicos. potencializados pelo efeito da dissolução das rochas calcíticas que ocorre devido a ação da água que percola por estas rochas. Neste sentido, observa-se uma grande variação no comportamento do aquífero, que varia lateralmente e em profundidade. Lateralmente, a variação do sistema aquífero se deve ao grau de fraturamento e de interligação entre as discontinuidades estruturais. Em profundidade, a diferenciação ocorre em função de uma rápida diminuição da permeabilidade, em razão das dificuldades impostas às interconexões entre fraturas, devido ao natural aumento das pressões com a profundidade. Alguns estudos sobre o desenvolvimento de aquíferos cárstico-fraturados no norte de Minas Gerais indicam que as carstificações raramente ocorrem abaixo de 100 metros.

No que se refere à alimentação, fluxo e descarga natural nos sistemas cárstico-fissurados tem-se a recarga feita diretamente pela infiltração das águas pluviais, que ocorrem, predominantemente, de forma indireta com as águas de chuva, que infiltram no meio poroso (manto de alteração, coberturas detríticas e arenitos cretácicos) e passam gradativamente para o subleito fendilhado. Outro processo é por infiltração direta nas discontinuidades das rochas, especialmente em leitos de drenagens naturais. Entretanto, esta última situação é menos frequente, em vista que as fissuras são localizadas e não possuem conexões hidráulicas de grandes extensões. A descarga desse sistema ocorre em formas de surgências pontuais, difusas, em áreas embrejadas ou diretamente na drenagem superficial, que representam o nível de base local e regional.

Na análise regional, observa-se que as grandes discontinuidades controlam as drenagens de primeira ordem regional e guardam uma relação direta com os eventos tectônicos. Ou seja, as discontinuidades na direção SW – NE representam o último evento que atuou sobre as rochas do Grupo Bambuí e assume natureza descompressiva. Tais discontinuidades constituem as principais zonas de circulação de água subterrânea na região, controlando as calhas de drenagem do rio Abaeté e o ribeirão Andrade, na maioria de seu curso. Vale ressaltar que na área da mineração da Ultracal esta observação não se aplica, pois o ribeirão Andrade está controlado pelas discontinuidades NW – SE que representam uma família de fratura paralela à foliação das rochas da Formação Lagoa do Jacaré, este modelo pode ser visto nos sistemas de drenagem que se observa na Figura 14 já apresentada.

O comportamento hidrogeológico do sistema aquífero cárstico-fissurado é influenciado pelos eventos tectônicos que atuaram sobre as unidades rochosas e pelas variações litológicas do calcário, margas e rochas pelíticas. Ressaltando que, nos locais onde os efeitos da dissolução das rochas calcíferas estão presentes, aumenta significativamente a capacidade de armazenamento desses aquíferos. Assim, a complexidade representada pelas intercalações de litotipos, a ação dos eventos tectônicos e a dissolução das camadas carbonáticas, levam o sistema aquífero cárstico-fissurado e cárstico a assumir características e potencialidades muito variadas, que refletem diretamente na produção dos poços construídos nestes meios aquíferos.

Na região de Varjão de Minas, segundo dados do SIAGAS/CPRM, existem dois poços tubulares que estão captando neste aquífero, ambos localizados no município de Presidente Olegário. Tais poços oferecem uma boa produtividade com vazão estabilizada de 51,4 e 28,8 m³/h respectivamente, estes mesmo poços tubulares apresentam vazão específica considerada alta, de 2,475 e 0,874 m³/h/m.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA MINA DE CALCÁRIO ULTRACAL

4.1 Geologia local

As unidades estratigráficas mapeadas no entorno dos corpos da mina da Ultracal estão representadas no mapa geológico local, Anexo 1. A Figura 15 apresenta o mapa geológico local simplificado. As rochas aflorantes na área da mina consistem em calcários da Fm. Lagoa do Jacaré do Gr. Bambuí. Além dos calcários, ocorrem, na porção oeste da área estudada, rochas cretáceas relacionadas aos grupos Areado e Mata da Corda, que são capeadas por uma cobertura laterítica, típica da região do Alto Paranaíba. Fechando a estratigrafia, ocorrem coberturas terciárias/quaternárias representadas por depósitos coluvionares e aluvionares.

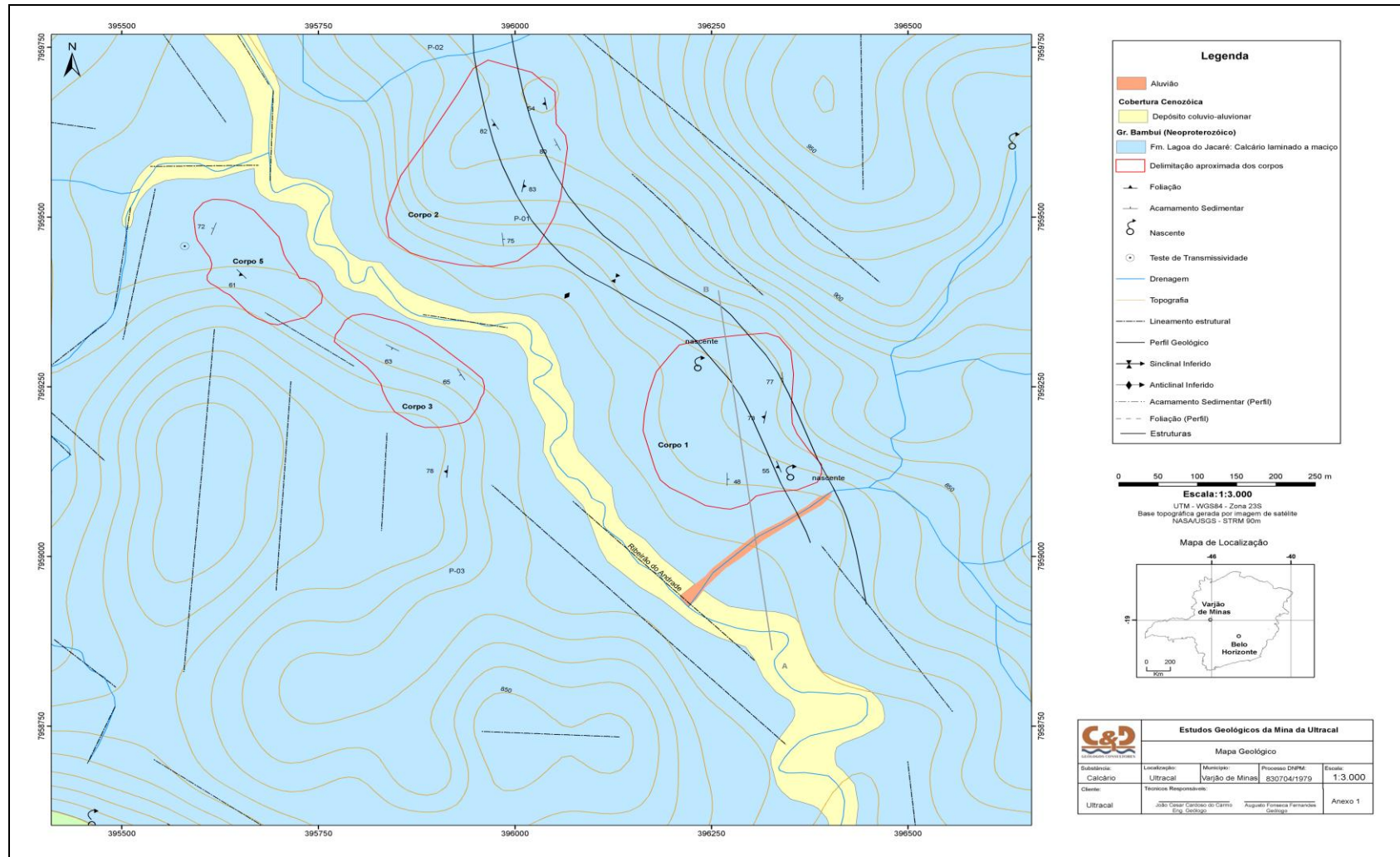


Figura 15. Mapa geológico simplificado da região estudada ao entorno dos corpos da mina da Ultrafaca.

4.1.1 Unidades Estratigráficas

Formação Lagoa do Jacaré

Abrange quase toda a superfície mapeada e constitui o corpo de calcário lavrado. As melhores exposições destas rochas estão nas frentes de lavra, corpos 1, 2, 3 e 5, além do corpo 4, onde não há atividade de mineração (Foto 6). No restante da área, a rocha calcária está recoberta por um solo argilo-arenoso residual ou por coberturas coluvionares não delimitadas no mapa geológico (Figura 15).

Os corpos lavrados pela Ultracal são compostos por dois tipos de calcários. Um tipo é o calcário laminado cinza esverdeado, com intercalações pelíticas milimétricas que podem chegar até 2 cm (Foto 7). Este tipo de calcário ou calcilutito laminado ocorre predominantemente nos corpos 1 e 2. O outro tipo de calcário é maciço micrítico cinza escuro (Foto 8), o qual pode ser encontrado nos corpos 3, 4 e 5. Esta variação composicional observada é refletida diretamente na composição química dos calcários explorados. Nos corpos 3 e 5, o calcário é puro e possui concentração de “CaCO₃” acima de 40%, enquanto que o calcilutito, encontrado nos corpos 1 e 2, mostram o teor de Cálcio de 35%, (análises cedidas pela Ultracal). O teor de Cálcio, em primeiro lugar, determina o uso da rocha: sendo que os corpos 3 e 5 são destinados à correção de solo e ração animal, enquanto o material dos corpos 1 e 2 são destinados à produção de agregado para uso direto na construção civil.

Ambos os calcários frequentemente são cortados por veios centimétricos de calcita e também podem conter cristais de fluorita e galena.



Foto 6. Vista panorâmica dos Corpos 1, 2 e 4 da mina da Ultracal.

As fotos 7 e 8, a seguir, mostram afloramentos do calcário, movimentados e maciços, na área do corpo 1.



Foto 7. Calcário laminado com intercalações pelíticas (Corpo 1).



Foto 8. Calcário maciço (Corpo 1).

Cobertura Cretácea Indivisa

As rochas cretáceas formam as chapadas em forma de mesa, que se destacam na topografia da região, como a chapada que pode ser visualizada a sudeste da mina (Foto 9). Tais rochas são relacionadas aos Grupos Areado e Mata da Corda e foram agrupadas para a interpretação hidrogeológica, pois apresentam o mesmo comportamento hidrodinâmico, no mapa geológico foram denominadas rochas cretáceas indivisas.

No geral, os sedimentos cretáceos são constituídos por arenitos avermelhados, mal selecionados e impuros, de granulometria que varia de silte a areia grossa. Os grãos de quartzo são subarredondos a subangulosos com baixa esfericidade. Também foram observados grãos de óxidos e de feldspatos caulinizados, ou mesmo película de óxido de ferro cobrindo os grãos de quartzo. Os arenitos às vezes são mais puros, podendo migrar para uma grauvasca, de coloração principalmente rósea, com intercalações milimétricas a centimétricas de níveis pelíticos. Tais grauvascas assumem coloração bege a marrom escuro (Foto 10). O arenito também é encontrado frequentemente silicificado, na forma de blocos “in situ”, ou pouco transportado, ocorrendo ao longo das encostas das chapadas. Secundariamente, ocorrem lentes de conglomerado matriz suportado, onde se observou apenas clastos de arenito envoltos por uma matriz areno-siltosa (Foto 11).



Foto 9. Vista da chapada formada pelas rochas cretáceas, a sudeste do corpo 5.



Foto 10. Arenito com intercalações centimétricas de níveis pelíticos.



Foto 11. Lente de conglomerado matriz suportado. Detalhe foto da direita de clasto arredondado de arenito.

Cobertura Detrito-laterítica

Constitui uma carapaça laterítica que ocorre capeando as rochas cretáceas. A espessura desta camada pode atingir até 15 m (Foto 12). Tal litologia é constituída de um agregado de óxidos e quartzo que ocorrem em forma de seixos arredondados (Foto 13) e selados por uma matriz ferruginosa. Apresenta-se de duas formas: detritica com contribuição de fragmentos de arenito, e quartzo com marcas de transporte e erosão, comumente mostra-se inconsolidada. Na segunda forma de ocorrência, apresenta-se maciça sem fragmentos de rocha, formando uma cobertura laterítica *in situ*.



Foto 12. Camada de carapaça com cerca de 10 m de espessura que cobre o topo da chapada a sudeste da mina da Ultracal – área das nascentes do ribeirão Andrade.



Foto 13. Blocos de carapaça detrítica com morfologia arredondada formada pelos agregados de óxidos.

Cobertura Colúvio-aluvionar

Ocorre principalmente nas encostas das chapadas na forma de depósito de tálus ou ao longo do curso do ribeirão Andrade, como mostra o mapa geológico (Anexo 1 e Figura 15). Compõe-se de terraços aluvionares e coluvionares gerados desde o Pleistoceno até o presente.

As coberturas colúvies são constituídas por conglomerados, arenitos e siltitos líticos, sempre inconsolidados. Os conglomerados apresentam matriz arenoso-argilosa, com clastos predominantemente de arenitos, derivados da cobertura cretácea. Podem conter clastos de calcário).

As aluviões são pouco potentes na área de estudo distribuindo-se ao longo da rede de drenagem, em especial ao longo do ribeirão Andrade. A composição das aluviões é de sedimentos clásticos finos (areia e silte), tendo em vista que os rios possuem uma área de drenagem majoritariamente constituída por rochas cretáceas e calcárias do Grupo Bambuí.



Foto 14. Canal de drenagem com aluvião arenoso, afluente do ribeirão Andrade.

4.1.2 Geologia Estrutural

O acervo estrutural das rochas da região foi gerado durante a orogênese brasileira datada da idade Neoproterozoico, quando houve o amalgamento do supercontinente Gondwana através da colisão do Cráton do São Francisco com outros paleocontinentes (e.g. Amazônia e Paranapanema). Tal evento gerou as faixas móveis de falhamentos e dobramentos como a Faixa Brasília, que envolvem todo o cráton, que por sua vez também afetou as rochas da bacia do São Francisco, que recobrem o embasamento do cráton.

A análise da geologia estrutural da região partiu de duas frentes de estudos, com objetivos de identificar as macro e micros lineações estruturais: primeiramente foram analisados os registros tectônicos em fotografias aéreas, na escala 1:60.000 voo USAF/DNPM e imagens de satélite, onde foram identificados os grandes lineamentos estruturais. Nesta interpretação, observa-se que as direções se agrupam em 4 famílias: N-S (azul), E-W (amarelo), NE-SW (roxo), NW-SE (vermelho) (Figura 16). Nas imagens aéreas os lineamentos mais persistentes estão nas direções E-W e NW-SE que encaixam a rede de drenagem em seus trechos controlados, enquanto que as famílias de lineamentos N-S e NE-SW ocorrem em menor densidade.

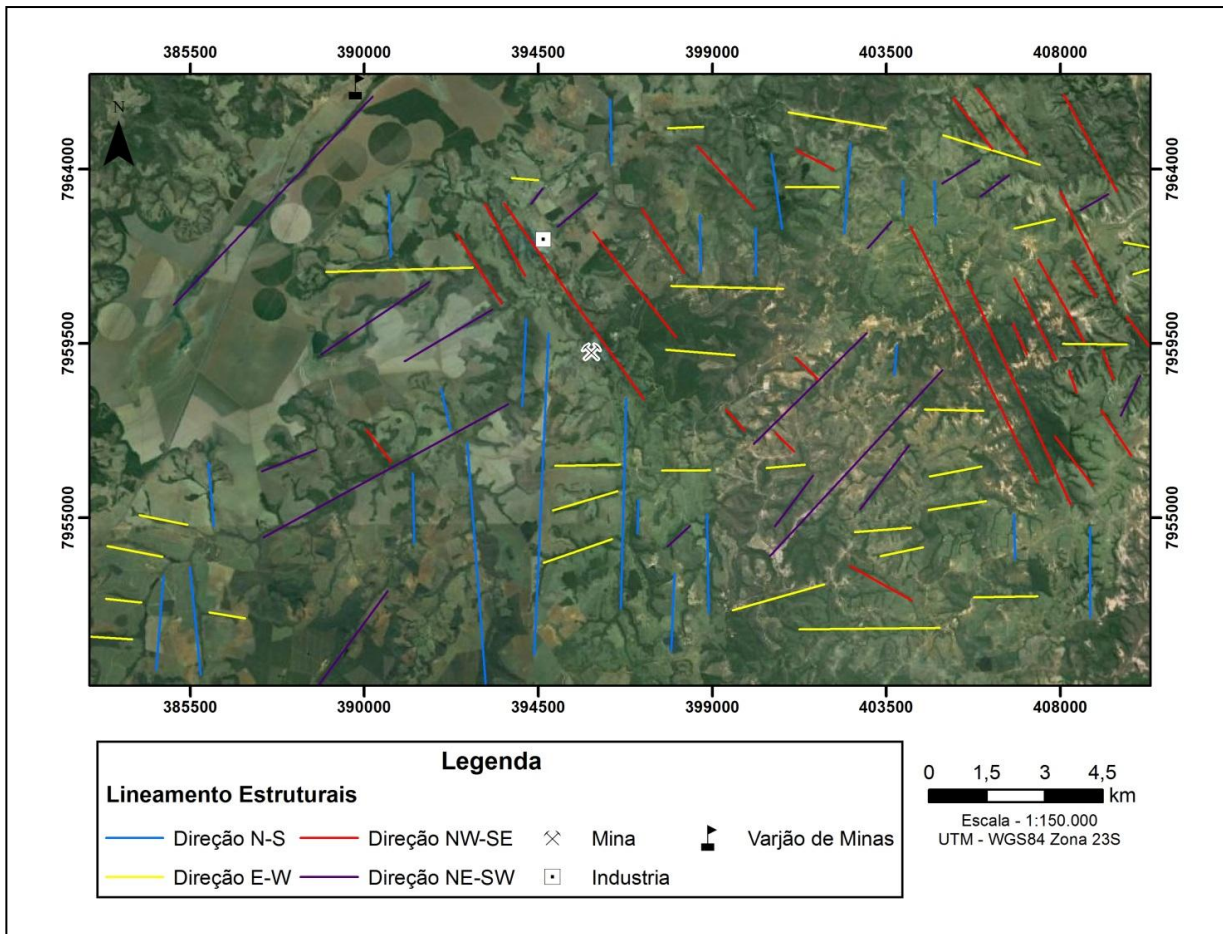


Figura 16. Imagem de satélite do Google Earth, com os principais lineamentos estruturais.

No trabalho de levantamento de detalhe pode-se concluir que as lineações estruturais foram geradas em um único evento deformacional progressivo que pôde ser dividido em três fases deformacionais.

A primeira fase é de natureza deformacional (F_1), quando deu-se a geração de dobras suaves a isoclinais vergentes para ENE, com plano axial subvertical mergulhando em torno de 75° para WSW e eixo N-S. As dobras D_1 apresentam, principalmente, morfologia circular a chevron (Foto 15), com comprimento de onda centimétrico a decamétrico. Ainda, é possível identificar que são formadas por deslizamento intra-estratal, não ocorrendo espessamento ou encurtamento dos flancos e das charneiras, estas dobras são do tipo "IC" de Ramsay (1967). O estereograma de polos de medidas do acamamento sedimentar (Figura 17A) mostra uma guirlanda que configura uma dobra assimétrica vergente para ENE e com eixo N-S, o que representa deste modo as dobras D_1 . A atitude máxima encontrada para o acamamento fica em torno de $242/71$. Os eixos de D_1 apresentam direção N-S com caimento preferencialmente para N, como demonstra o estereograma da Figura 17B.

No Plano axial destas dobras ocorre uma foliação S_1 , subparalela ao bandamento composicional (Figura 17C), evidenciada principalmente pelos níveis pelíticos intercalados aos calcários. Nestas camadas observam-se uma clivagem ardosiana formada pela orientação principal das plaquetas de micas brancas, possivelmente geradas através de processos de dissolução por pressão em um domínio dúctil-rúptil. A foliação apresenta atitude máxima de 265/76.

A Segunda fase deformacional (F_2) é pouco marcada nas rochas regionais, porém é observada em alguns pontos de afloramento na área da Ultracal. Nesta fase pode-se observar as dobras D_1 e, conseqüentemente, a foliação S_1 redobras por dobras (D_2) suaves (Foto 16), em um possível domínio rúptil-dúctil. Esta superposição de dobras, possivelmente classificadas como dobras do tipo 3 de Ramsay (1967), apresentam eixo D_2 paralelo a direção do plano axial das dobras D_1 . Nesta fase, também geram-se iam as falhas de empurrão de baixo ângulo de direção NW-SE, que sobrepõe porções crustais composta pelas rochas do Gr. Bambuí na forma de escamas rasas, com transporte tectônico para NE.



Foto 15. Dobras D_1 fechadas, de morfologia circular e plano axial subvertical (Corpo 2).

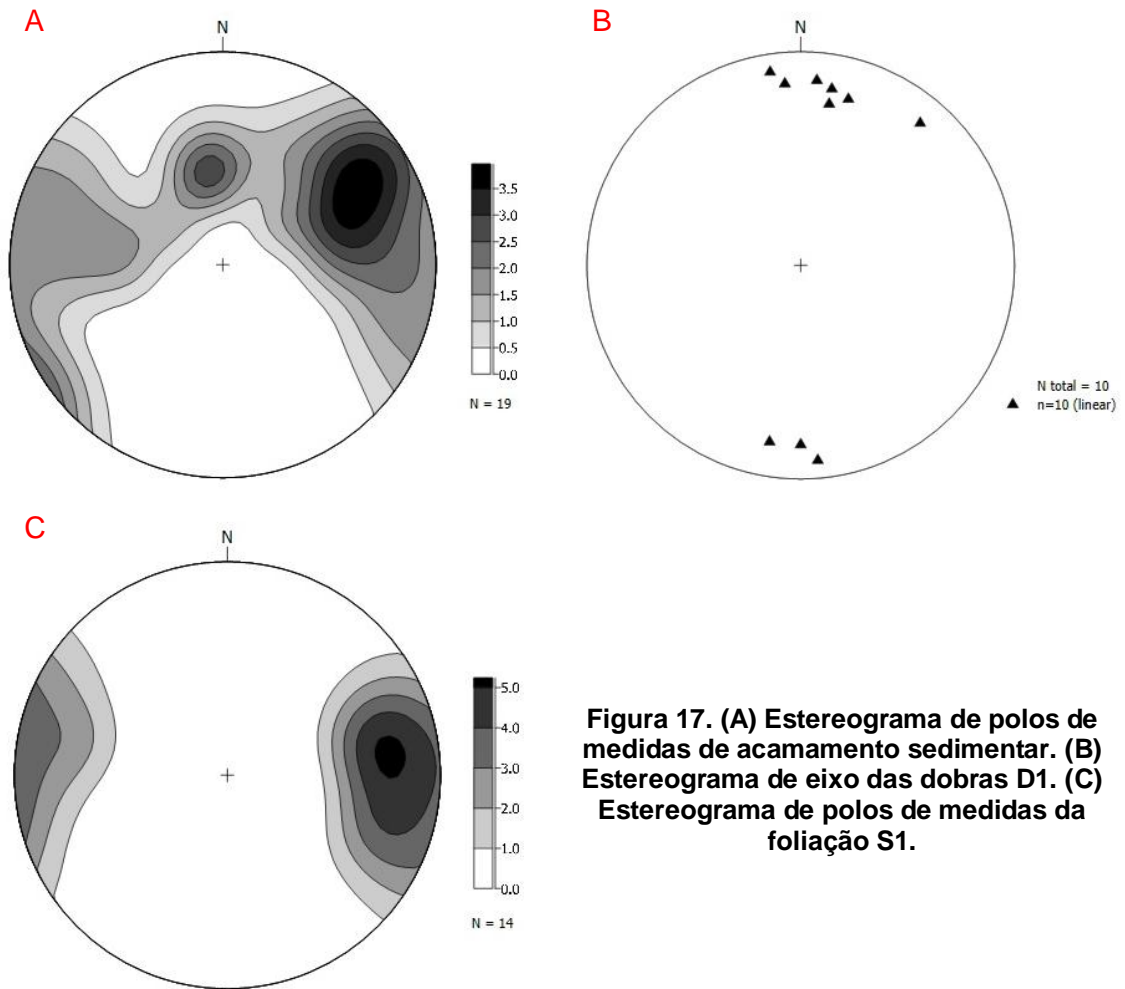


Figura 17. (A) Estereograma de polos de medidas de acamamento sedimentar. (B) Estereograma de eixo das dobras D1. (C) Estereograma de polos de medidas da foliação S1.



Foto 16. Dobras D1 fechadas a isoclinais com foliação S1, plano axial, ambos redobrados pelas dobras D2 (Corpo 2).

Na terceira e última fase (F_3) deformacional ocorre a geração das famílias de fraturas (Foto 17) num domínio exclusivamente rúptil. Tais famílias apresentam três direções principais: N–S, E–W e NW–SE. As fraturas de direção N–S e E–W apresentam mergulho subvertical e subhorizontal, com duplo mergulho em ambos os casos. A família de fraturas de direção NW–SE exibe mergulho principalmente sub-vertical, em torno de 50 a 85° preferencialmente para SW, mas também apresenta mergulho para NE em alto ângulo. A fratura de direção NW–SE possui a mesma direção do acamamento sedimentar, que também coincide com a direção da foliação S_1 . Este sistema de fratura é persistente na área e apresenta-se como o principal conduto de percolação de água. Também observou-se circulação de água, em menor proporção, nos planos de direção E–W com mergulho sub-horizontal. Os estereogramas de rosetas, da Figura 17, mostram que as direções das três famílias de fraturas observadas em campo (E–W, N–S e NW–SE) coincidem com as direções de lineamento que aparecem nas imagens aéreas, constituindo este sistema na última geração do evento brasileiro que atuou sobre estas rochas. Neste padrão, as discontinuidades NW–SE assumem a mesma direção dos planos de foliação, devido ao alívio de tensão produzido pelo desconfinamento crustal.



Foto 17. Famílias de fraturas persistentes e contínuas presente no calcário (Corpo 1).

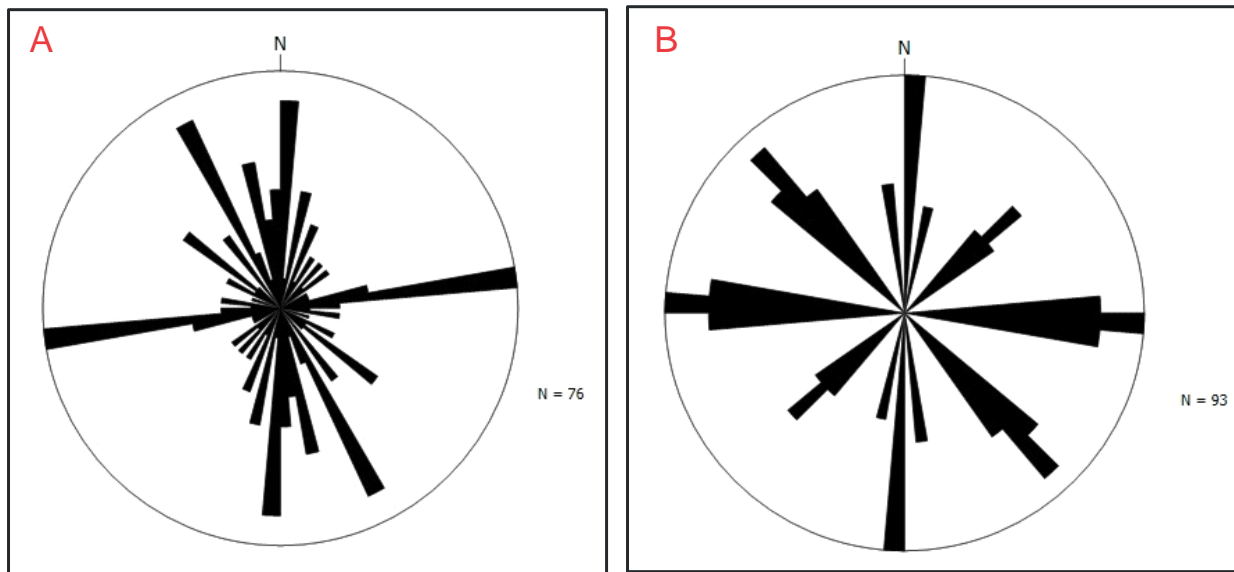


Figura 18. (A) Diagrama de rosetas de medidas da direção das principais famílias de fratura. (B) Diagrama de rosetas de medidas de direção dos principais lineamentos estruturais.

O acervo estrutural encontrado pode ser sintetizado (Tabela 8) deste modo como sendo constituído em um único evento deformacional, que foi dividido em três fases deformacionais. Na primeira fase gerou-se a foliação S_1 plano axial das dobras D_1 de atitude máxima de 265/76. Na segunda fase ocorreu a formação das dobras D_2 e falhas de empurrão com transporte para NE. Na última fase originou-se as três famílias de fratura principais de direções N-S, E-W e NW-SE, sendo esta última subparalela ao acamamento sedimentar e a foliação S_1 .

Tabela 8. Síntese do acervo estrutural da região da mina da Ultracal.

EVENTO BRASILIANO	
FASE	ACERVO ESTRUTURAL
F ₁	Dobras D_1 suaves a isoclinais, de eixo N-S e foliação S_1 plano axial e paralela ao acamamento, atitude máxima de 265/76.
F ₂	Falhas de empurrão direção NW-SE de baixo ângulo, com transporte tectônico para NE. Dobras suaves D_2 .
F ₃	Famílias de fraturas com três direções principais N-S, E-W e NW-SE

4.2 Geologia Estrutural e sua Relação com a Hidrogeologia Local

Na área da mina o levantamento das discontinuidades geológicas levou à definição das famílias de fraturas existentes e a inter-relação com o controle do fluxo da água subterrânea e superficial.

A análise das discontinuidades mostra uma família de fraturas com atitude de $N20^{\circ} - 30^{\circ}W$ /subvertical, associada a movimento rúptil. Esta família de fraturas é paralela ao bandamento composicional e a foliação S_1 , associadas à fase F_3 , a qual controla a calha do ribeirão do Andrade, na área da mina da Ultracal. Nestes planos de fratura, pode-se observar nos corpos 1, 3 e 5, a presença de material de preenchimento devido ao percolação de água (Foto 17), consistindo desta maneira, na principal direção de circulação de água subterrânea da área.

No corpo 1, a percolação ao longo das discontinuidades $N20^{\circ} - 30^{\circ}W$ /subvertical, é menor do que nos corpos 3 e 5, o que pode ser explicado pela sua posição topográfica atual, que ainda encontra-se acima da superfície potenciométrica, o gera um fluxo menor de água aflorante nesta discontinuidades. Neste corpo, a parede sul da mina, observa-se uma área encharcada que representa a infiltração das águas da aluvião do córrego da sede que percola por uma zona de material muito quebrado, zona de cisalhamento que está posicionada na direção $N20^{\circ} - 30^{\circ}W$ /subvertical (Foto 18).



Foto 18. Zona de Percolação de Água Subterrânea, Corpo 1.

Secundariamente, a circulação das águas subterrâneas também é influenciada pelas famílias de fratura N-S e E-W, que controlam a direção da calha do afluyente do ribeirão Andrade (córregos da sede e brejinho).

Em resumo, o controle hidrogeológico é condicionado pelas feições estruturais como já mencionado, onde o fluxo da água subterrânea ocorre em três direções principais, NW-SE, N-S e E-W.

4.3 Metodologia de Lavra e Beneficiamento

O calcário lavrado no “Corpo 1”, objeto deste estudo, é destinado à produção de agregado de emprego direto na construção civil (brita), visto que a rocha não atende as especificações químicas exigidas para o emprego como ração animal ou corretivo de solo. A metodologia de lavra utilizada pela Ultracal é desenvolvida a céu aberto, em cava. Onde inicia pelo decapeamento do solo, seguido pelo desmonte da rocha, por meio do uso de explosivos, formando bancadas padronizadas.

Na primeira etapa da operação de lavra, desenvolvimento, é feito o decapeamento da jazida, com a utilização de escavadeira hidráulica com carregamento direto em caminhões basculantes convencionais, que o transportarão para o depósito de estéril.

A bancada em solo tem altura média de 10m, ângulo de face de 65°, e berma intermediária no contato solo/rocha de 5m de largura. Essa berma de 5m é adotada para todos os bancos em todas as frentes de lavra na Mineração Ultracal.

A preparação do desmonte do minério consiste na abertura dos furos para carregamento de explosivos, com utilização de carreta perfuratriz pneumática.

A bancada em rocha terá altura média de 10m, ângulo de face de 75°. As rampas de acesso, tanto em solo como em rocha terão declividade máxima de 10% e 10 m de largura.

Após o desmonte os blocos de rochas são retomados por retroescavadeira e colocados em caminhões basculantes, para transporte até a unidade de beneficiamento, onde o calcário é britado, rebitado, classificado. Conforme ressaltado anteriormente a matéria-prima do corpo 1 é destinada exclusivamente para agregado de emprego direto na construção civil.

O produto final (no caso, a brita), nas especificações convencionais, é estocado em lotes, antes de ser direcionado ao consumidor final.

5 HIDROGEOLOGIA LOCAL – TIPOS DE AQUÍFEROS

Na área da mina de Calcário da Ultracal pode-se definir dois sistemas aquíferos: granular ou poroso, desenvolvido nos sedimentos cretáceos, aluviões, coluviões, depósito de tálus e manto de regolito; e cárstico-fissurado, instalado nas rochas pelíticas- carbonatadas da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí.

A Tabela 9 a seguir resume as características hidrogeológicas dos meios aquíferos mapeados na área:

Tabela 9. Característica dos sistemas aquíferos locais.

SISTEMAS AQUÍFEROS	FORMAÇÃO	LITOLÓGIAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
Granular	Aluviões	Areia, Argila, Cascalho de origem aluvial	<p>Aquífero de natureza granular livre, tendo como característica uma alta heterogeneidade em seu comportamento hidrogeológico, apresentando alta porosidade e elevada permeabilidade nas porções onde predominam sedimentos arenosos. O valor do coeficiente de permeabilidade para os arenitos $k= 6,70 \times 10^{-2}$ cm/s, manto de regolito dos calcários. $k= 6,40 \times 10^{-2}$ cm/s e coberturas detríticas $k= 3,80 \times 10^{-3}$ cm/s. Poços do município de Presidente Olegário apresentam em rochas Grupo Mata da Corda vazão específica entre 2,888 e 11,11 m³/h/m (SIAGAS/CPRM).</p>
	Coberturas detríticas, Colúvios, Talus e Regolito	Argila, silte como produto de decomposição de rochas pelíticas – regolito em rocha calcária.	
	Grupos Areado e Mata da Corda	Arenitos avermelhados, paraconglomerados polimiticos, arcóseos arroxeados.	
Cárstico-Fissurado	Formação Lagoa do Jacaré – Grupo Bambuí	Calcários puros, calcários com níveis de siltitos, calcilutidos laminados	<p>Aquífero fissurado com porosidade desenvolvida por efeito de eventos tectônicos e pela dissolução do carbonato de cálcio das rochas calcárias o que gera aquíferos descontínuos. Localmente as forma cársticas que controlam as águas subterrâneas são pouco desenvolvidas. Um único poço encontrado neste sistema apresenta vazão específica de 2,475 m³/h/m.</p>

5.1 Aquífero Granular

O sistema aquífero granular ou poroso está sotoposto as rochas neoproterozoicas da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí. Este sistema está instalado num conjunto de rochas sedimentares depositadas desde o Cretáceo até o Quaternário recente. Ainda, inclui-se neste sistema aquífero o manto de regolito (rocha alterada e solo), que apresenta uma distribuição regional contornando quase toda a superfície de relevo regional.

Este sistema funciona como uma importante fonte de recarga do aquífero cárstico-fissurado subjacente, pois atua como um meio de captação da água precipitada, diminuindo a perda por escoamento e minimizando os efeitos da evaporação.

No sistema granular, o meio aquífero mais importante, sob o ponto de vista hidrogeológico, está instalado nos sedimentos cretáceos dos Grupos Areados e Mata da Corda que se distribuem nas áreas de chapada, a exemplo da chapada localizada a SW-NW da Ultracal, onde estão as nascentes do ribeirão Andrade. Este ribeirão, em termos hidrológicos, representa o nível de base local sendo um afluente do rio Abaeté (nível de base regional).

A Foto 19 mostra uma visão local do aquífero granular instalado nos sedimentos cretáceos e quaternário/terciários. Na parte alta, acima da linha branca tracejada, afloram coberturas lateríticas (terciárias), entre as linhas branca e vermelha afloram os arenitos da Formação Mata Areado, e na parte baixa da foto, aparecem as coberturas coluvionares e depósitos de tálus (quaternário). As coberturas coluvionares são de pequena expressão na área.



Foto 19. Vista do sistema aquífero granular na área de nascente do ribeirão Andrade

A unidade aquífera instalada nos arenitos representa o sistema aquífero granular de maior expressão na área de estudo. Sob o ponto de vista litológico, este sistema está instalado num conjunto de rochas sedimentares, constituído por conglomerados arenosos na base, seguidos por arenitos conglomeráticos e arenitos finos róseos a amarelados. Subordinadamente são observados camadas de siltitos.

O comportamento hidrogeológico do sistema aquífero em arenitos cretácicos mostra porosidade primária, característica de aquífero livre ou gravitacional, onde o limite superior do aquífero fica delimitado pela própria superfície freática. Em alguns locais esse aquífero está confinado devido à presença de intercalações argilosas nos arenitos sob a forma de cunhas ou lentes. Normalmente os níveis d'água subterrânea são profundos, com fluxo preferencial segundo a componente vertical descendente. Em razão da grande capacidade de infiltração das coberturas arenosas, os solos apresentam déficit de umidade durante a maior parte do ano.

As aluviões apresentam uma pequena distribuição na área de estudo, restringindo a pequenas manchas ao longo da calha do ribeirão Andrade e do córrego Brejinho. A constituição básica são sedimentos arenosos finos, produto de erosão das rochas cretáceas e carbonáticas com uma espessura média estimada inferior a 10 metros.

A unidade aquífera granular associada ao manto de alteração das rochas calcárias e cretáceas apresenta espessura bastante variada, atingindo, na área da mina, cerca de 20 metros, conforme visto nos taludes da mina. Apresenta uma composição argilo arenosa.

Em termos hidrodinâmico, o manto de alteração, desenvolvido sobre as coberturas lateríticas, apresenta baixo coeficiente de permeabilidade $k=0,05$ m/dia. Já nos solos em rochas calcárias o valor encontrado é mais significativo $k = 0,92$ m/dia. Porém, os poços tubulares inventariados na região mostram que estes arenitos não apresentam boa produtividade.

Para este sistema não foi calculado de forma direta os parâmetros hidrodinâmicos. Entretanto, tomando por base a granulometria dos sedimentos, é possível estimar que a condutividade hidráulica fique em torno de $1,00 \times 10^{-2}$ cm/s e a porosidade entre 10% e 20% (Rebouças, 2006).

A recarga dos aquíferos granulares em arenitos e coberturas lateríticas, que estão posicionados em cotas mais elevadas, se verifica a partir das infiltrações de água de chuva por toda a superfície das chapadas, que correspondem às áreas de afloramento das formações cretáceas. As principais áreas de descarga localizam-se no sopé das elevações, junto ao contato com o substrato impermeável do Grupo Bambuí. Cabe destacar a importância desses aquíferos como reguladores das vazões dos rios da região, contribuindo para a manutenção de seus fluxos de base durante o período seco do ano. A porosidade eficaz é da ordem de 0,10, valor comumente observado para areias finas, arenitos e depósitos similares (CETEC, 1981). Já nas aluviões, a recarga se processa diretamente pela infiltração das águas meteóricas ou por infiltrações laterais provenientes dos cursos d'água nos períodos de cheias. Os exutórios do aquífero, associados às rochas areníticas e aos regolitos, também contribuem na alimentação das aluviões.

No mapa hidrogeológico local (Anexo 2), os aquíferos em rochas decompostas foram omitidos de modo a se permitir a visualização dos sistemas profundos.

5.2 Aquífero Carstico - Fissurado

O sistema aquífero do tipo cárstico–fissurado tem expressão regional e desenvolve-se em rochas calcárias e pelíticas da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí.

Litologicamente, o sistema é composto por rochas de baixo grau de metamorfismo, onde calcários, por vezes, se intercalam com camadas de siltitos. Os calcários, assim denominados genericamente, são compostos por calcarenitos muito finos, calcilutitos e calcários oolíticos, com variados teores de cálcio e magnésio, assumindo muitas vezes o caráter de calcários dolomíticos e muito raramente o caráter de dolomitos típicos. Quando intemperizadas, estas rochas assumem coloração creme a avermelhada, e o solo é tipicamente vermelho escuro.

Quando frescas, tais rochas têm invariavelmente cor cinza, com predomínio de tons mais escuros, apresentam alternância de bancos compactos e maciços com corpos laminados devido à presença de níveis pelíticos, comumente contêm calcita preenchendo fraturas e mais raramente galena e fluorita.

Este sistema tem característica de aquífero livre a semiconfinado com distribuição restrita às discontinuidades estruturais existentes que, com o efeito da dissolução do carbonato de cálcio, aumentam os condutos subterrâneos. Na área da mina as principais direções de discontinuidade são apresentadas na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10. Principais direções de descontinuidade na área da mina.

FASE	DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS
F ₁	Dobras D ₁ suaves a isoclinais, de eixo N-S e foliação S1 plano axial e paralela ao acamamento, atitude máxima de 265/76.
F ₂	Falhas de empurrão direção NW-SE de baixo ângulo, com transporte tectônico para NE. Dobras suaves D ₂ .
F ₃	Famílias de fraturas com três direções principais N-S, E-W e NW-SE

No corpo 1 a família de fratura mais presente tem atitude variando entre N20°-30°W/subvertical. Esta família de fraturas é paralela ao bandamento composicional e a foliação S₁, encontrando-se associada à fase F₃, que constitui um regime tectônico rúptil. Esta lineação controla parcialmente a calha do ribeirão Andrade. Nestes planos de fratura observa-se a presença de material de água percolando, consistindo desta maneira na principal direção de circulação de água subterrânea da área, conforme mostra a Foto 18, anteriormente apresentada

Secundariamente, a circulação das águas subterrâneas também é influenciada pelas famílias de fratura N-S e E-W, que controlam a direção da calha do afluente do ribeirão Andrade, córrego da sede que passa a sul do corpo 1.

De modo geral, o sistema fraturado caracteriza-se pela ausência de espaços intergranulares na rocha e a água encontra-se armazenada em zonas de descontinuidades do maciço rochoso representadas por fissuras, fraturas, juntas e falhas. Trata-se de um meio heterogêneo, anisotrópico e muitas vezes descontínuo, geralmente de baixa permeabilidade secundária. Entretanto, diante da presença de calcário, o potencial hidrogeológico é aumentado devido à dissolução das rochas calcárias. Porém, vale comentar que na bacia do ribeirão Andrade mapeada, não foram encontradas formas geomorfológicas que caracterizam a presença de estruturas cársticas de circulação das águas subterrâneas.

6 INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

O inventário hidrogeológico executado no âmbito deste trabalho constou de duas fases: a primeira catalogando os poços da região no banco de dados da CPRM/SIAGAS, adotando o critério de selecionar poços existentes nos municípios que contornam a área da mineração da Ultracal. A pesquisa foi feita no dia 12 de agosto de 2015, onde foram encontradas 77 captações nos três municípios, Varjão de Minas (17), São Gonçalo do Abaeté (17) e Presidente Olegário (44). A segunda fase do inventário foi feita em campo, percorrendo a área rural e inventariando as captações na bacia do ribeirão Andrade em sua porção de montante em relação à área de estudo.

As Figuras 19 e 20 mostram o mapa com a distribuição de captações de água subterrânea e a situação destas captações. Os dados são compilados do banco de dados da CPRM abrangendo os municípios limítrofes com a área de estudo.

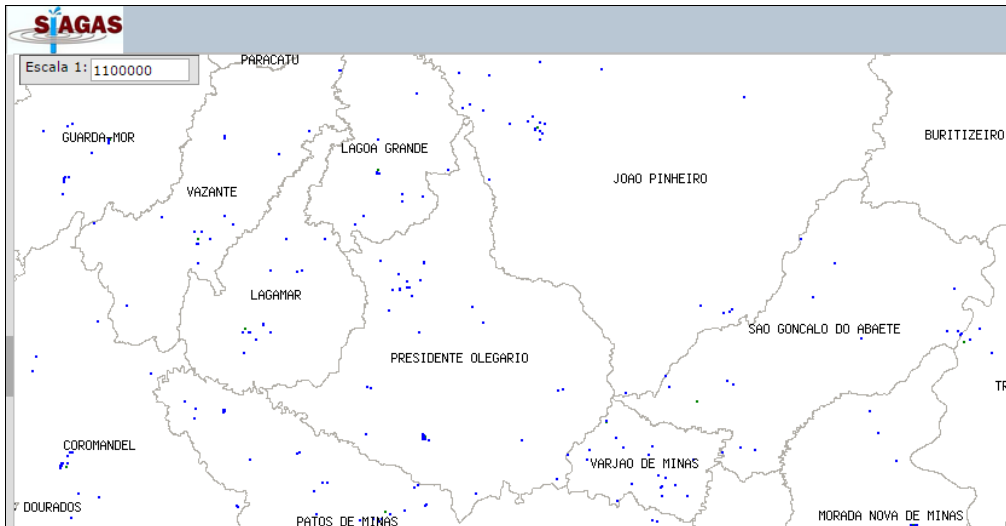


Figura 19. Captações de Água Subterrâneas (SIAGAS/CPRM ago/2015).

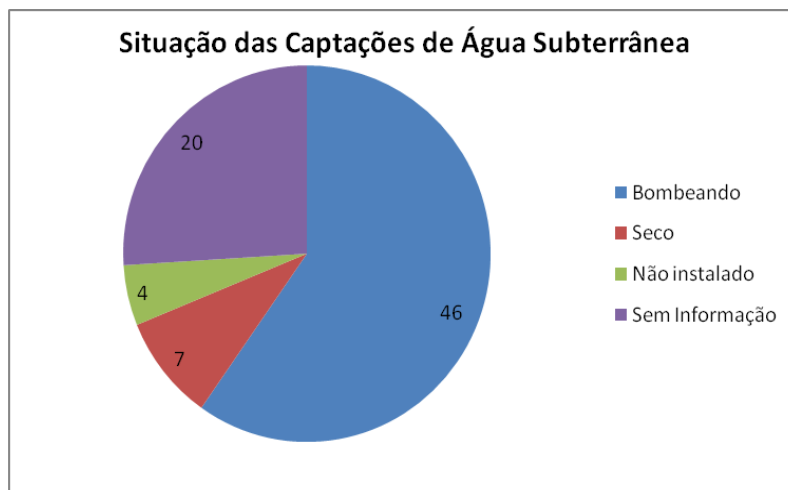


Figura 20. Situação das Captações Inventariadas.

As captações inventariadas no banco de dados da CPRM mostram que a região apresenta captações de produtividade bastante heterogêneas, no geral com boa produtividade. A princípio, a heterogeneidade pode representar o comportamento dos diferentes aquíferos regionais. A tabela a seguir apresenta o comportamento hidrogeológico dos poços cadastrados;

Tabela 11. Dados dos poços Inventariados.

Parâmetros	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão específica m ³ /h/m	Vazão estabilizada m ³ /h
Mínimo	12,5	0,0	4,33	0,046	0,46
Média	111	9,78	38,77	2,15	15,35
Máximo	270	46	96,12	11,11	51,44

Na fase de inventário de campo foram cadastrados quatro nascentes no entorno da mineração, todas são captadas e utilizadas pela própria mineração. Tais nascentes são surgências no domínio das rochas cretáceas, sempre no contato de uma camada permeável, no caso arenitos, com camada impermeável, siltitos e argilitos. Os trabalhos constaram de determinação das coordenadas UTM, descrição e classificação do ponto. Estes pontos estão locados no mapa hidrogeológico local e constam da Tabela 12 apresentada a seguir:

Tabela 12. Localização dos pontos inventariados no entorno da Ultracal.

Captação	Coordenadas		Uso	Vazão	Vazão captada	Processo de outorga
	Lat	Long		L/s	L/s	
Capt 01	396821	7960619	Oficina e restaurante	3,0	0,5	01940/2009
Capt 02	396928	7960054	Humano	2,0	0,5	013019/2013
Capt 03	396633	7959624	Sede da fazenda	2,5	0,5	013017/2013
Capt 04	395009	7962298	Indústria	4,0	0,5	013018/2013

Os poços inventariados no banco de dados da CPRM/SIAGAS estão na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** seguinte, ressaltando que os poços que não trazem informações geológicas, hidrodinâmica ou mesmo perfil construtivo não constam da tabela.

A Foto 20 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir caracterizam as nascentes inventariadas no interior da poligonal que delimita o processo mineral da Ultracal, 830.704/1979.



Foto 20. Nascentes que abastece a oficina e a mina.



Foto 21. Nascentes que formam o córrego da sede e abastecem a casa da fazenda.

7 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE – COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

Ensaio de permeabilidade foram apresentados no relatório hidrogeológico que estudou os corpos 3 e 5, já protocolizados na Supram/CO. Este estudo teve como objetivo determinar o coeficiente de transmissividade em três pontos do entorno da mineração. Portanto, os dados levantados também se aplicam ao corpo 1.

Os testes de infiltração investigaram o domínio das coberturas terciárias (P01), a camada de solo desenvolvida sobre o minério lavrável (P02) e o as rochas cretáceas do Grupo Mata da Corda (P03).

Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 13, onde se observa que os coeficientes de permeabilidade do poço 02 e 03 são significativamente mais elevados do que o resultado determinado no poço 01. Ou seja, o solo desenvolvido em rochas calcárias possui uma permeabilidade semelhante a encontrada nos solos desenvolvidos sobre as rochas cretáceas, o que permite concluir que a infiltração é alta, gerando condições de recarga dos aquíferos subjacentes. Já na área de ocorrência das coberturas terciárias, que recobrem a Formação Mata da Corda, a permeabilidade é muito menor, fazendo com que a infiltração nesta área seja considerada muito baixa, aproximando-se de um aquitardo (permeabilidade ou condutividade hidráulica entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s).

Tabela 13. Resultados dos Ensaio de Permeabilidade.

Poço	Profundidade (cm)	Altura coluna d'água - h (cm)	Permeabilidade		Observação
			cm/s	m/dia	
01	35,00	32,50	$3,80 \times 10^{-3}$	0,05	Coberturas Terceária
02	39,00	39,00	$6,40 \times 10^{-2}$	0,92	Solo em calcário
03	50,00	50,00	$6,70 \times 10^{-2}$	0,96	Arenitos e siltitos cretáceos

8 HIDROQUÍMICA

No caso da água subterrânea as análises foram executadas pelo laboratório da Água e Terra Planejamento Ambiental, durante a elaboração do EIA/RIMA na Mineração contemplando os seguintes pontos:

- captação/Mina = abastece a área de apoio à mina (restaurante/ oficina);
- captação/Industria que abastece o escritório e unidade de beneficiamento (britagem e moagem).

A Tabela 14 a seguir apresenta os resultados determinados para os parâmetros analisados para as duas captações subterrâneas na área da Ultracal.

Tabela 14. Parâmetros analisados – Águas subterrâneas.

Ensaio	Unidade	Captação Indústria	Captação Mina	VMP
Alumínio	mg/L	0,141	<0,100	0,2
Cloro Residual	mg/L	<0,4	<0,4	0,5 a 2,0
Cor Aparente	mgPt/L	30	10	15,0
Detergentes MBAS	mg/L	<0,050	<0,050	0,5
Dureza Total	mg/L	125	53	500
Ferro Total	mg/L	<0,100	<0,100	0,30
Manganês Total	mg/L	<0,100	<0,100	0,100
pH	-	6,99	7,60	6,0 a 9,5
Sódio	mg/L	0,341	0,588	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	126	27	1000
Sulfato Total	mg/L	30,45	3,62	250
Temperatura da Amostra	°C	7,30	17,2	-
Turbidez	UNT	8,87	2,29	5,0

O resultado mostra que as águas captadas nas duas nascentes pela Ultracal tem composição condizentes com as rochas pelas quais a água circula, arenitos cretácicos e calcários da Formação Lagoa do Jacaré. Vale destacar:

- o pH é neutro tendendo a alcalino, mostrando influências das rochas areníticas e das rochas carbonáticas com menor tempo de contato. Águas em que a circulação é restrita aos arenitos tendem a ter o pH ácido;
- os valores de dureza, 125 e 53 mg/L de CaCO₃, indicam águas brandas, confirmando que o contato água subterrânea com rochas calcárias ainda é pequeno nas captações amostradas;

- o teor de sólidos totais dissolvidos, 126 e 27 mg/L, é mais um elemento que indica águas com pequeno tempo de residência no meio aquífero.

9 RELAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

Analisar a relação entre as águas subterrâneas e superficiais é importante neste tipo de estudo, para buscar subsídios que irão embasar as discussões sobre os impactos que o rebaixamento do sistema aquífero local poderá causar sobre os recursos hídricos da região. Neste tipo de estudo, parte-se da premissa de que todos os cursos d'água da região, sem exceção, recebem contribuição de águas provenientes dos sistemas aquíferos durante todo o ano hidrológico.

O sistema aquífero granular, instalado nos arenitos cretácicos e nas coberturas terciárias, é responsável pelo maior aporte de água subterrânea da rede de drenagem da região. Neste sistema, os pontos de descarga (fontes difusas e ressurgências) estão situados em cotas mais altas do que a lâmina d'água dos rios, e não há comunicação direta entre aquífero e rio. Nesta condição, o rio não alimenta o aquífero e recebe contribuição durante todo o ano hidrológico.

As aluviões, que na área de estudo são de pequena expressão, fazem uma conexão direta com a rede de drenagem superficial. Nos períodos de águas altas, os rios alimentam o aquífero, e na época de águas baixas, as aluviões restituem as águas à rede de drenagem.

Os aquíferos fissurados também não estão em conexão direta com a rede de drenagem. Os pontos de descarga subterrânea (surgências pontuais ou difusas), a exemplo do aquífero cretácico, estão situados em cotas mais elevadas em relação ao leito natural das drenagens e, praticamente, não ocorrem situações de comunicação direta entre o rio e o aquífero.

Neste trabalho a estimativa dos volumes de restituição das águas subterrâneas aos rios foi efetuada por meio da análise dos hidrogramas e determinação da curva de esgotamento.

9.1 Separação do escoamento superficial e subterrâneo

Basicamente, a metodologia utilizada para a determinação do volume de água restituído aos rios pelos sistemas aquíferos parte da decomposição do hidrograma gerado para o ribeirão Andrade. Para a determinação das vazões no ribeirão Andrade, que não dispõe de estação fluviométrica, a metodologia utilizada parte da transferência de dados da estação fluviométrica 42840000/ Veredas, cujos dados estão disponíveis no site da ANA, HIDROWEB. Esta estação foi escolhida tendo em vista a semelhança das bacias em termos de aspectos geológicos, hidrogeológicos, topográficos e do uso e ocupação do solo.

Diante destas observações, a separação das componentes superficial e subterrânea do escoamento foi feita pelo método de Barnes, descrito por Custódio e Llamas (1976). Utilizando hidrogramas construídos para três anos hidrológicos que representam períodos extremos de muita chuva (1981/1982), ano seco (2009/2010) e um ano médio (1990/19910). Os hidrogramas estão apresentados no Anexo 4. A Figura 21 a seguir mostra a área considerada no estudo hidrológico.

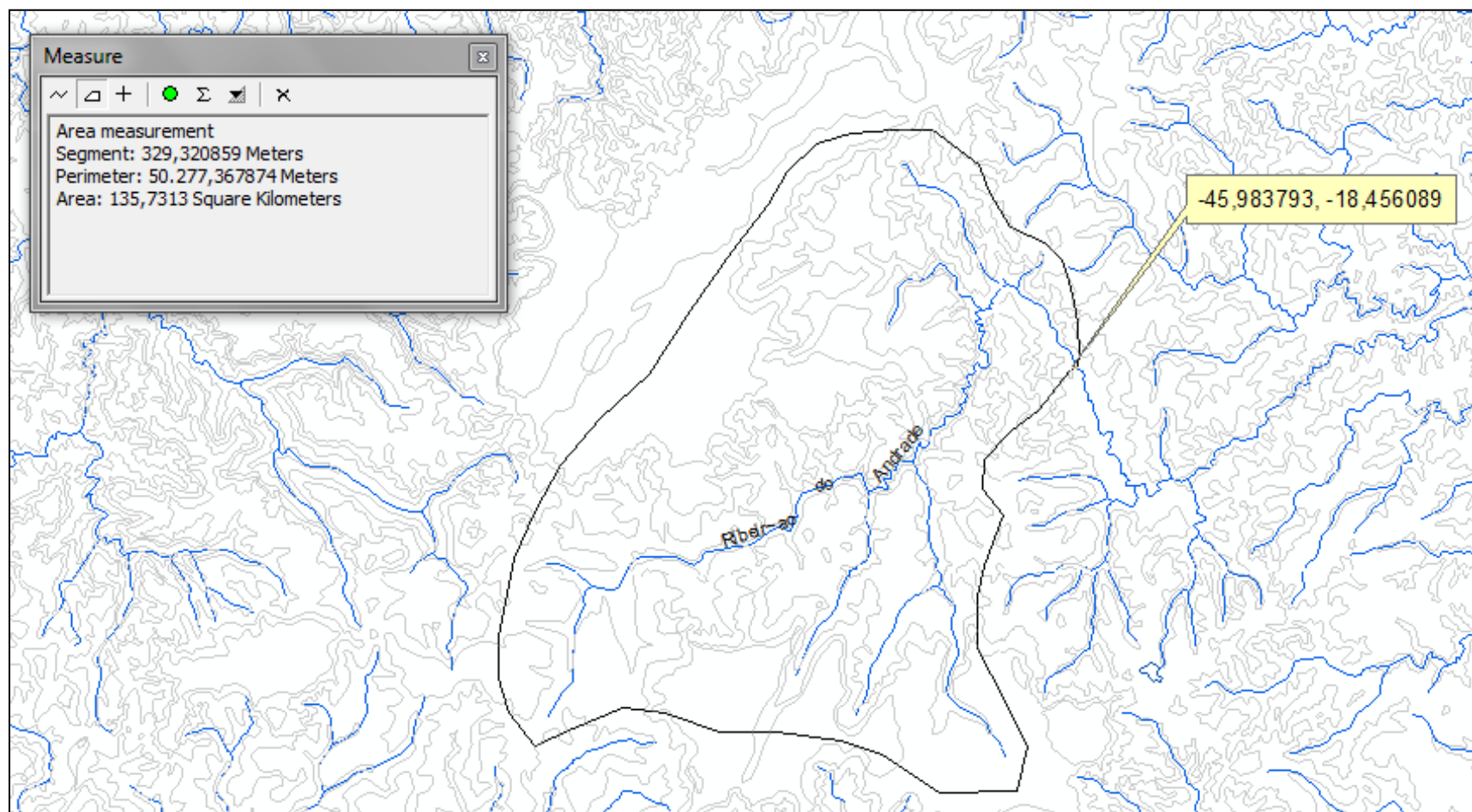


Figura 21. Mapa da bacia de contribuição do ribeirão Andrade..

9.2 Coeficiente de Esgotamento

Para aplicação da metodologia é necessário calcular o coeficiente de esgotamento " α ", do rio. Seu cálculo pode ser estimado pelo método matemático desenvolvido pela equação de Maillet, conforme descrita em CASTANY, 1971.

A equação de Maillet se escreve:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Onde:

Q_t = vazão em um instante qualquer do esgotamento, em m^3/s ;

Q_0 = vazão do início do esgotamento, em m^3/s ;

α = coeficiente de recessão;

t = tempo de recessão em dias; e

$e = 2,71828$.

Desenvolvendo a equação tem-se que:

$$\log Q_t = \log Q_0 - (\alpha \log e) t;$$

$$\alpha = (\log Q_0 - \log Q_t) / 0,4343 t$$

Os valores encontrados para a série de dados utilizada na bacia do ribeirão Andrade são apresentados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15. Valores encontrados para a série de dados utilizada na bacia do ribeirão Andrade.

PERÍODO	2009/2010	1981/1982	1990/1991
Pluviometria	seco	chuvoso	médio
Coeficiente de esgotamento (dia^{-1})	0,0063	0,0049	0,0037

O coeficiente de recessão reflete a capacidade de armazenamento do sistema aquífero regional, ou seja, áreas de maior capacidade de armazenamento terão coeficiente de esgotamento mais baixo. Desta forma, os valores encontrados com o estudo na bacia do ribeirão Andrade apresentam coerência com a hidrogeologia local, pois os baixos valores indicam alta capacidade de infiltração e armazenamento do sistema aquífero granular que domina toda área a montante da mineração Ultracal.

9.3 Capacidade de Armazenamento Subterrâneo

Outro parâmetro que os estudos das vazões fluviométricas permitem é a definição da capacidade de armazenamento subterrâneo (V_0) em uma bacia, que teoricamente é equivalente às suas reservas reguladoras. Esta conceituação encontra base nos trabalhos de Castany (1975), que define "capacidade de armazenamento como o volume de água livre armazenado em uma seção dos aquíferos limitada por dois níveis piezométricos extremos, mínimo e máximo da superfície piezométrica, ao longo de um período considerado".

A determinação da capacidade de armazenamento foi calculada com base no estudo das curvas de esgotamento, segundo a equação de Maillet (CASTANY, 1971), que pode ser expressa da seguinte forma:

$$V_0 = 86.400 (Q_0/\alpha)$$

sendo:

V_0 = capacidade de armazenamento, em m^3 ;

Q_0 = Vazão do rio no início do esgotamento em m^3 /dia; e

α = coeficiente de esgotamento.

A capacidade de armazenamento (V_0) estima o volume de água subterrânea armazenado no instante t_0 , acima do nível de base, ou seja, a reserva reguladora ou renovável.

Para a área de estudo, o valor da capacidade de armazenamento (V_0) assume os seguintes valores para:

Ano com Pluviometria média = $3,13E+07 m^3$ /ano

Ano com Pluviometria baixa (ano seco) = $1,27E+07 m^3$ /ano

Ano com Pluviometria Alta (ano Chuvoso) = $3,51E+07 m^3$ /ano

Com estes dados de decomposição do hidrograma é possível calcular a produtividade da bacia em $L/s/km^2$. Para isso, considera-se a relação entre volume da contribuição subterrânea e a área de drenagem, este número varia em função do volume de chuvas no período. A Tabela 16 resume os principais parâmetros hidrogeológicos da área em estudo.

Com os dados apresentados na Tabela 16 é possível fazer algumas considerações sobre o comportamento hidrogeológico da bacia do ribeirão Andrade:

- o percentual do escoamento subterrâneo em relação ao total fica em torno de 58% no ano seco e 49% no ano mais chuvoso;
- a descarga subterrânea específica, em $L/s/km^2$, que representa um índice de produtividade de água subterrânea, apresenta, no ano seco, 4,1 $L/s/km$, no ano úmido 131 $L/s/km^2$, e no ano com pluviometria média, em torno de 8,62 $L/s/km^2$. Estes valores indicam que a bacia do ribeirão Andrade apresenta uma boa reserva de água subterrânea dos sistemas aquíferos, principalmente o granular em arenitos, que tem alta capacidade de armazenar águas pluviais;
- o valor calculado do coeficiente de esgotamento na bacia do ribeirão Andrade é baixo, indicando uma alta capacidade de infiltração e armazenamento dos sistemas aquíferos locais. Este dado é muito coerente, tendo em vista a predominância de ocorrência dos arenitos dos Grupos Areado e Mata da Corda, e mesmo os solos em calcários que possuem alto coeficiente de infiltração e por consequência grande capacidade de armazenamento.

Em resumo, o estudo do esgotamento da bacia do ribeirão Andrade mostra uma alta capacidade de infiltração e armazenamento do conjunto dos sistemas aquíferos que ocupam a bacia. Essas condições aparecem, sobretudo, nos baixos valores dos coeficientes de esgotamento e nos altos percentuais de águas subterrâneas na composição do deflúvio total. Ainda, o índice pluviométrico da região, que nos estudos hidrológicos, elaborados para uma série de 10 anos, ficou num patamar de 1.400 mm/ano, pode ser considerado alto, o que colabora para dar a região uma boa disponibilidade hídrica.

Tabela 16. Deflúvios, Coeficiente de Esgotamento e Capacidade de Armazenamento.

Período	Área de Drenagem Km ²	Período	Deflúvios					Capacidade de armazenamento (V ₀)	Coeficiente de Esgotamento α(dia ⁻¹)
			Total	Subterrâneo	Superficial	Subterrâneo/ Total	Subterrâneo Especifico		
			(m ³ /ano)	(m ³ /ano)	(m ³ /ano)	%	L/s/Km ²		
Seco	136	2009/2010	4,20 x 10 ⁷	2,44 x 10 ⁷	1,76 x 10 ⁷	58,13	4,1	1,27 x 10 ⁷	0,063
Medio	136	1990/1991	7,75 x 10 ⁷	4,04 x 10 ⁷	3,70 x 10 ⁷	52,18	8,62	3,13 x 10 ⁷	0,0037
Umido	136	1981/1982	1,20 x 10 ⁸	5,51 x 10 ⁸	5,66 x 10 ⁸	49,00	131,96	3,51 x 10 ⁸	0,0049

10 MODELO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

O modelo hidrogeológico conceitual elaborado para a região da Mina de calcário da Ultracal de Varjão de Minas, teve por base a integração dos dados geológicos, geotectônicos, geomorfológicos, hidroquímicos, hidrológicos e hidrogeológicos levantados na compilação bibliográfica e detalhados ao longo dos trabalhos de campo. Outro ponto considerado neste capítulo é que os estudos permitiram concluir que a circulação das águas subterrâneas fica restrita à bacia hidrográfica do ribeirão Andrade, ou seja, não existe nenhuma evidência de transposição das águas subterrâneas entre bacias adjacentes.

No geral, é possível afirmar que a hidrogeologia local possibilita uma interpretação onde a alimentação do sistema subterrâneo é feita pelas águas de chuva, que infiltram diretamente no meio poroso localizado a montante da mineração. Isso ocorre principalmente na chapada cujos litotipos dominantes são os arenitos cretácicos, onde estão as principais nascentes do ribeirão Andrade, onde ocorrem os sedimentos areno-argilosos dos Grupos Mata da Corda e Areado.

O fluxo subterrâneo local assume o sentido da calha do ribeirão Andrade, que regionalmente converge as águas subterrânea e superficiais para o rio Abaeté, que faz o nível de base regional. Os sistemas aquíferos, granular e cárstico-fissurado, apresentam uma interação, onde as unidades superiores alimentam as unidades sotopostas.

Os aquíferos granulares, ou superiores, são formados por litotipos sedimentares constituídos de arenitos cretácicos, coberturas detríticas terciárias, pequenas manchas aluvionares quaternárias e o manto de intemperismo dos metassedimentos neoproterozoicos do grupo Bambuí.

Os arenitos são friáveis, com uma granulometria fina e bem homogênea, apresentam camadas siltosas intercaladas e a superfície piezométrica tem uma grande variação ao longo do ano hidrológico. Trata-se de um aquífero livre, normalmente apresentando elevadas taxas de infiltração e transmissividade. Na bacia em estudo, este meio ocorre nas chapadas, como o pode ser visto nas porções oeste e noroeste da Mina de calcário da Ultracal.

O meio aquífero instalado nas coberturas detríticas e no manto de alteração das rochas metasedimentares, nas áreas próximas à Ultracal, apresenta pequena espessura, sendo constituído por areias de granulometria fina a média, por vezes argilosas, além de siltes. As coberturas detríticas ocupam um nível topográfico que varia entre 800 e 1000 metros, recobrando as rochas cretáceas, arenitos e siltitos dos Grupos Mata da Corda e Areado. Neste patamar, observam-se superfícies planas a levemente onduladas que facilitam a infiltração das águas de chuva. As aluviões são pouco expressivas na área limitando a sua ocorrência na calha dos córregos da Sede e Brejinho e numa planície de inundação do ribeirão Andrade, localizada a montante mina de calcário.

Em termos hidrodinâmicos, o aquífero granular possui características de aquífero livre, com um comportamento que nas coberturas detríticas se aproxima de um aquífero confinado ($K = 0,05$ m/dia). Já no manto de alteração das rochas calcárias e nos sedimentos cretáceos, observa-se um aumento significativo do coeficiente de permeabilidade $0,92$ m/dia e $0,96$ m/dia, respectivamente.

A recarga deste meio ocorre, predominantemente, nas áreas topograficamente mais elevadas, conhecidas como chapadas. Essa morfologia é representada por superfícies tabulares com ausência ou mínima drenagem superficial. Indicativo da elevada taxa de infiltração, sendo as direções de fluxo, predominantemente, ao longo da componente vertical, descendente. A descarga do meio ocorre alimentando os aquíferos fissurados subjacentes, e nas nascentes que surgem nas bordas das chapadas, com exceção das aluviões que alimentam diretamente a rede de drenagem superficial.

Os aquíferos profundos são desenvolvidos ao longo das discontinuidades estruturais e foram desenvolvidos pela tectônica de empurrão e de transcorrência que atuaram sobre os metassedimentos da Formação Lagoa do Jacaré. Essa característica torna esse meio hidrogeológico fortemente heterogêneo e anisotrópico. Na zona saturada do meio fissurado, direções do fluxo subterrâneo são controladas pelas discontinuidades, que normalmente condicionam as formas orientadas dos principais acidentes topográficos e influenciam diretamente no desenvolvimento da rede hidrográfica regional. O fluxo subterrâneo na área da mina tende ao ribeirão Andrade, e o fluxo mais profundo e de percurso mais longo assume uma componente descendente até o nível de base regional que é o rio Abaeté.

Nesta situação, o desenvolvimento da mina de calcário no corpo 1 ainda não interfere no escoamento do ribeirão Andrade. Neste momento observa-se uma pequena infiltração das águas do córrego da Sede para o interior da cava. Neste caso, as águas infiltram pelas fraturas geradas na tectônica rúptil, N20° – 30° W no paredão sul da referida cava.

A Figura 22 apresenta o perfil geológico que corta o corpo 1 e mostra as cotas atuais da piso de lavra e a posição projetada para superfície potenciométrica na região do corpo 1.

Em resumo, o corpo 1 encontra-se acima da superfície potenciométrica local e a projeção de avanço da cava nos próximos 5 anos ainda não atinge o topo do aquífero. As águas que hoje drenam para o interior da cava são provenientes, em maior volume, das chuvas. A contribuição subterrânea vem da infiltração das águas do córrego da Sede que se infiltram num zona de cisalhamento de atitude N20° – 30° W e de outras surgências, que comumente aparecem na época chuvosa do ano, que se tratam de água do escoamento hipodérmico do ciclo hidrológico.

Na operação de lavra, a água, quando necessário, é bombeada diretamente para o ribeirão Andrade sem nenhum tipo de uso, vale ressaltar que o bombeamento é feito para atender as exigências da central de beneficiamento que adota um sistema de britagem e peneiramento à seco, portanto, não deve conter umidade sob pena de reduzir a eficiência do sistema.

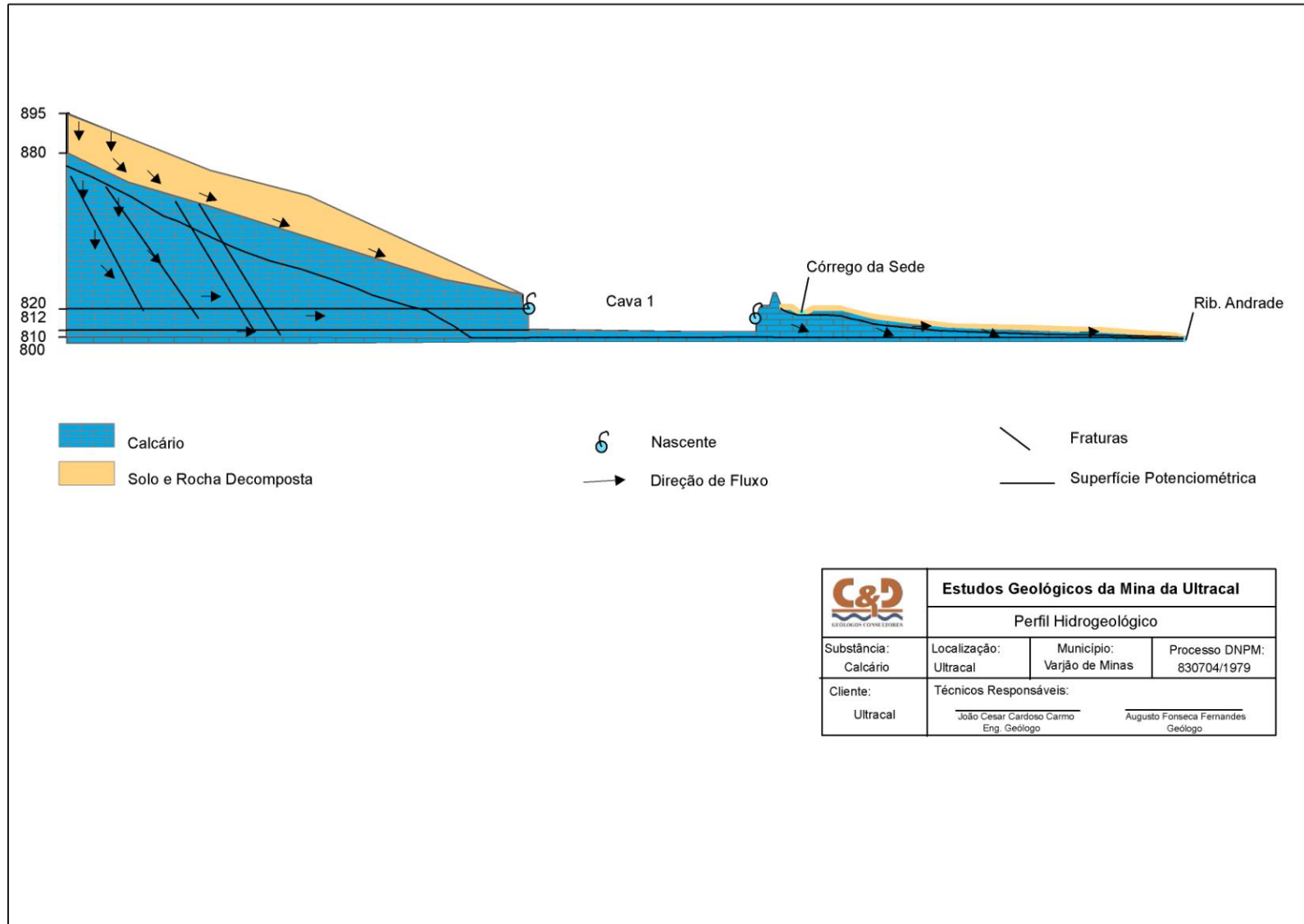


Figura 22. Perfil Hidrogeológico - Corpo 1.

11 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO REBAIXAMENTO NA CAVA 03 E 05

As águas subterrâneas que afloram na cava 01 formam um pequeno lago na porção sul do corpo de calcário. Neste local, quando necessário, o sistema de bombeamento lança toda a água para fora da cava, diretamente para o leito do ribeirão Andrade, a jusante da montante da referidas cava. O sistema de bombeamento é composto de dois conjuntos de moto bombas sobre uma balsa flutuante, tendo o óleo diesel como elemento propulsor. Cada conjunto de bombas tem a capacidade para bombear 240 m³/hora e funcionam em média 4 horas/dia na semana (segunda a sexta feira). Nos meses de chuva este tempo aumenta devido a contribuição da pluviometria. Com esse dado, estima-se que o volume de bombeamento das cavas 03 e 05 é um total médio de 480 m³/dia.

O piso atual da cava (cota 813 m) está projetado para atingir a cota 786 nos próximos 6 anos, quando o pit das cavas irá atingir cota abaixo do leito do ribeirão Andrade (cota 790 m). Entretanto, todos os estudos atuais não evidenciam que o ribeirão Andrade possui uma conexão direta com as cavas. Isto é explicado pelo caráter compacto da rocha e pelo fato de que não se observa nos taludes das cavas um sistema de fraturas capaz de ligar a descontinuidade, que controla a calha do ribeirão, com as cavas. Esta afirmação é possível visto que, na parede da cava que fica em contato com a calha do ribeirão, são poucos pontos de surgência de água subterrânea.

Com isso, possíveis impactos do desaguamento são de baixa magnitude, tendo em vista que o volume de água que entra na mina, oriundas do córrego Brejinho e ribeirão Andrade, é pequeno, e não observando variação dos volumes que correm por estas drenagens, nas posições de montante e jusante da mina. Ainda, com exceção da água utilizada na umidificação das estradas, toda a água que aflora nas cavas é bombeada para o ribeirão Andrade. A possibilidade de contaminação das águas superficiais é acompanhada pela Ultracal, com análises periódicas, e fica restrita à presença de óleo diesel de vazamento da unidade de bombeamento.

Neste contexto, o rebaixamento na região das cavas 03 e 05 não irá provocar alterações significativas no regime de circulação e armazenamento das águas subterrâneas na área de influência. Ainda não existem nascentes ou captações que poderiam sofrer a redução em sua vazão. Esta mesma consideração pode ser feita quanto à qualidade da água, pois o minério é inerte e não libera substâncias com possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. De qualquer forma, visando inclusive comprovar o modelo ao longo da vida útil da mineração, será proposto um programa de monitoramento, que contemple a qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas no entorno das cavas 03 e 05. Para as demais cavas não existem evidências técnicas que indiquem a necessidade de monitorar as interferências nas águas superficiais e subterrâneas nos próximos 6 anos conforme planejamento de lavra estabelecido pelo empresa.

12 PROGRAMA DE MONITORAMENTO

Nos estudos hidrogeológicos executados para os corpos 3 e 5 foram indicados a adoção de implantar um programa de monitoramento que contemple o acompanhamento do comportamento das águas subterrâneas na mineração. Para o corpo 1, o único monitoramento necessário seria o acompanhamento da vazão do ribeirão Andrade antes e depois de passar pela área minerada para isso deve-se :

- instalar duas réguas para medição de vazão do ribeirão Andrade, a serem implantadas a montante e jusante da mineração.

Os dados gerados no programa de monitoramento serão essenciais para a confirmação ou reformatação do modelo hidrogeológico definido neste trabalho, pois darão condições para tomada de medidas mitigadoras para corrigir possíveis impactos, caso venham ocorrer, ao longo da evolução das operações de lavra.

13 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo hidrogeológico conceitual, elaborado tendo por base as características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e climáticas, mostra um padrão relativamente simples de recarga, circulação e armazenamento das águas subterrâneas que ocorrem no entorno da mineração de calcário da Ultracal.

Os estudos hidrogeológicos não indicam impactos ao meio ambiente decorrente do rebaixamento ou deságue da cava desenvolvida no corpo 1. O volume de água que é bombeado para rebaixar o nível de água é pequeno e toda água que entra na cava retorna ao seu curso natural, no caso, o ribeirão Andrade. No meio aquífero, o rebaixamento pouco interfere. O sistema granular de melhor potencial está a montante da área da mineração. Com isso, o sistema granular que poderá ter uma pequena redução de água fica restrito às aluviões.

No caso do sistema cárstico fissurado, os estudos não indicam qualquer tipo de impacto. Na área não foi encontrada nenhuma estrutura que indique forma cárstica que controle as águas subterrâneas. Ou seja, onde a alimentação do sistema fendilhado é feito diretamente pelas águas de chuvas e pelo sistema granular sobrejacente, e, em seguida, esta água segue por descontinuidades estruturais em direção ao nível de base regional, no caso o rio Abaeté.

Assim, os estudos hidrogeológicos não conseguiram detectar impactos ao meio ambiente decorrente do bombeamento do pequeno volume de água que aflora na cava. Desta forma, não há porque se preocupar com o comprometimento da disponibilidade hídrica local, tanto subterrânea quando superficial. Mesmo assim, considerando a importância do tema, foi indicada a implantação de um programa de monitoramento, englobando os aspectos quantitativos das águas superficiais e subterrâneas, como forma de acompanhar a evolução do comportamento dos recursos hídricos diante da atividade de lavra. Dando condições de segurança à empresa e ao órgão ambiental de que o modelo hidrogeológico construído para esta área se mantém coerente ao longo dos anos.

Belo Horizonte, 20 de agosto de 2015.

João César Cardoso do Carmo
Eng. Geólogo – CREA/MG 29.184-D

14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alkimim, F.F. 2004. O que faz de um cráton um cratón? O Cratón do São Francisco e as revelações Almedianas ao delimita-lo. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B. (orgs.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 17-35.

Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A. 2001. A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos. In: Pinto C.P. & Martins-Neto M.A (eds.). A Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. SBG/MG, p. 9-30.

Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 7(4):349-364.

Campos, J.E.G. & Dardenne, M.A. 1997. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. Rev. Bras. Geoc. 27(3): 269-282.

CETEC – Determinação do Funcionamento Hidráulico dos Aqüíferos, Através de Parâmetros Químicos. Relatório Final. Sec. Estado Cienc. e Tecnol., Belo Horizonte, MG, 1983.

CETEC – Estudos Integrados de Recursos Naturais. Da Bacia do São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE Relatório Final. Sec. Estado Cienc. e Tecnol., Belo Horizonte, MG, 1984.

CARMO, JCC & COSTA, P.C.G – Captações de Água Subterrânea – Capítulo 9º do Livro Abastecimento de Água para consumo Humano – DESA/UFMG – 2006.

COSTA, W.D. – 1980 – A Hidrogeologia do Cristalino à Luz da Mecânica das Rochas. Anais do 10 Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, ABAS, Recife, PE, p. 375-383.

CPRM/CODEMIG/UFMG – Programa Mapeamento Geológico do estado de Minas Geras – Projeto Alto Paranaíba – Folha de Serra das Almas, escala 1:100.000, 2008

CPRM – Sistema de Informações de água Subterrânea – SIAGAS.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. – 1976 – Hidrogeologia Subterrânea. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, Espanha, 2359p. 2v.

Dardenne, M.A. 1978c. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG 30º Cong. Bras. Geol. Recife, 1978. Anais, v. 2, p. 597-602.

Martins, M. S., Lopes, T.C., Martins, F.R., Loureiro, R., Sena, R.T. & Pedrosa-Soares, A.C. 2011. Folha Serra das Almas, Projeto Alto Paranaíba, CODEMIG/UFMG.

Ramsay, J.G. 1967. Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill Book Company, New York, 568p.

Sgarbi, G.N.C., Sgarbi P.B.A., Campos, J.E.G., Dardenne, MA. & Penha U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O registro fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: Pinto, C.P. & Martins-Neto, M.A (eds.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, SBG/MG, p. 93-138.

CETEC – Determinação do Funcionamento Hidráulico dos Aquíferos, Através de Parâmetros Químicos. Relatório Final. Sec. Estado Cienc. e Tecnol., Belo Horizonte, MG, 1983.

CETEC – Estudos Integrados de Recursos Naturais. Da Bacia do São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE Relatório Final. Sec. Estado Cienc. e Tecnol., Belo Horizonte, MG, 1984.

CARMO, JCC & COSTA, P.C.G – Captações de Água Subterrânea – Capítulo 9º do Livro Abastecimento de Água para consumo Humano – DESA/UFMG – 2006.

COSTA, W.D. – 1980 – A Hidrogeologia do Cristalino à Luz da Mecânica das Rochas. Anais do 10 Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, ABAS, Recife, PE, p. 375-383.

CODEMIG/UFMG – Programa Mapeamento Geológico do estado de Minas Gerais – Projeto Alto Paranaíba – Folha de Serra das Almas, escala 1:100.000, 2008

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. – 1976 – Hidrogeologia Subterrânea. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, Espanha, 2359p. 2v.

CPRM/CODEMIG/UFMG – 2011 – Programa de Mapeamento Geológico do estado de Minas Gerais Projeto Alto Paranaíba – Folha Serra Das Almas. Escala 1:100.000

SOUZA, S.M.T. et al. – 1993 – Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais. COPASA / HIDROSISTEMAS, Belo Horizonte, MG.