

O QUE FAZER DIANTE DE UM ABANDONO NÃO ESPERADO DE UMA MINA DE CARVÃO? BOMBEAR OU NÃO A ÁGUA DE SUBSOLO?

Marcio ZANUZ¹; Jair Carlos KOPPE²; Antonio Silvio Jornada KREBS³; Roberto ROMANO NETO⁴

¹Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina – SIECESC, marcio.zanuz@satc.edu.br; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, jkoppe@ufrgs.br; ³Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina – SATC, antonio.krebs@satc.edu.br; ⁴Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina – SATC, roberto.romano@satc.edu.br

RESUMO

Apesar dos avanços verificados nas últimas décadas com relação aos métodos e atendimento à legislação ambiental, o abandono de áreas mineradas ainda pode ser verificado nos dias de hoje, contribuindo negativamente para o meio ambiente e a imagem do setor, além de suscitar dúvidas às comunidades vizinhas que passam a temer pela sua saúde e segurança. Este foi o caso em um recente abandono de uma mina subterrânea de carvão, a UM II – Verdinho, localizada no município de Forquilha, sul do estado de Santa Catarina. Este fato causou perplexidade, tendo forte repercussão na mídia local e nacional, que acreditava que uma catástrofe ambiental era iminente.

Esta situação levou o Ministério Público Federal a intervir e determinar a manutenção das condições de bombeamento das águas do subsolo, bem como o seu tratamento em superfície, objetivando a remoção de todos os equipamentos e de eventuais substâncias poluentes ainda presentes no interior da mina.

Mais tarde, o Ministério Público do Trabalho interveio e proibiu o acesso dos trabalhadores no interior da mina, face sua precária condição de segurança, o que inviabilizou a manutenção do bombeamento que vinha sendo realizado por um grupo de trabalhadores que permanecia no local e acessava diariamente o subsolo.

O presente trabalho discute, em detalhes, qual das alternativas - se a manutenção do bombeamento ou se permitir a inundação da mina – é a melhor alternativa para o correto fechamento daquela mina.

O resultado do estudo mostrou que a abordagem que prevê a inundação do subsolo é a melhor alternativa para o fechamento da mina, uma vez que isto irá cessar a geração de drenagem ácida a partir das águas subterrâneas. A quantidade de poluentes presentes em subsolo é desprezível, sendo desnecessária a sua remoção. Finalmente, o estudo mostra que o melhor em termos ambientais e de saúde e segurança é focar nos trabalhos de recuperação das antigas instalações em superfície.

Palavras-chave: Mineração de carvão, hidrogeologia, drenagem ácida, monitoramento

ABSTRACT

Despite the fact that major improvements to close adequately mines and to reduce environmental impacts were made since 1980s, abandoned mine sites continue to affect negatively the environment and pose health risks to neighboring populations in many countries. This is the case of a recent abandonment of an underground coalmine in southern Brazil. The case caused perplexity and resulted in a strong reaction from the local and national media suggesting that a major environmental catastrophe was imminent.

This situation lead the Federal Public Ministry to intervene and to determine to maintain the pumping of mine waters with aims to allow for the removal of all underground equipment and any pollutants elements.

Later, the Labor Court, in turn, intervened demanding the suspension of operations and cancellation of pumping in understanding that the operation was unsafe and putting workers at risk.

The present paper discusses in details whether maintaining the pumping or allowing the flooding of the mine are the best alternatives for the closure of the site.

The results of the study showed that the most appropriate approach is to allow the mine-flooding stopping the generation of acid mine drainage. The pollutants would not be enough to promote significant contamination of groundwater and its removal would not be necessary.

Key-Words: Coal mining, hydrogeology, acid mine drainage, monitoring

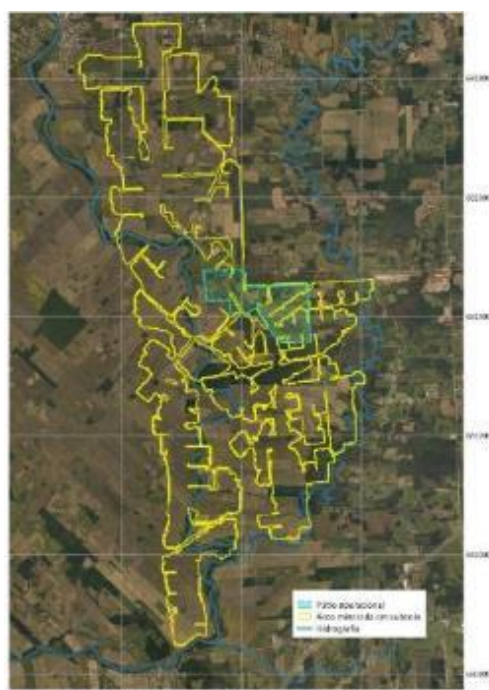
1 INTRODUÇÃO

A UM II – Verdinho ou Mina do Verdinho, como ficou conhecida, era um empreendimento pertencente a Carbonífera Criciúma S/A em cujas instalações era feita a extração de carvão de subsolo da camada Barro Branco e o seu beneficiamento em superfície. Ficava localizada no Bairro Ouro Negro, no município de Forquilha, sul do Estado de Santa Catarina (Figura 1). A partir de 2015 a Mina do Verdinho passou a apresentar declínio em sua produção em função da exaustão da jazida, até que, em novembro daquele ano, não houve mais entrega de carvão por parte da Carbonífera Criciúma ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. O declínio econômico da empresa passou a ser mais evidente a partir do segundo semestre de 2014, quando começou a atrasar salários e fornecedores, culminando. Em 2015 a mina exauriu por completo e, em fevereiro de 2016, foi constatado o seu abandono. Alguns trabalhadores permaneceram no local, na esperança de conseguirem resgatar algum equipamento para venda e, dessa forma, arrecadar algum recurso para se ressarcirem dos salários atrasados. Eles se organizaram e passaram a manter, de forma precária, alguns dos serviços essenciais de uma mina subterrânea, acessando diariamente o subsolo. Um dos serviços mantidos nessa condição foi o bombeamento das águas geradas em subsolo. Na superfície, apenas o serviço de vigilância e alguns de manutenção eram realizados. Dessa forma, toda a água bombeada do subsolo circulava pelo sistema de drenagem superficial e era despejada diretamente no rio Sangão sem nenhum tipo de tratamento.

Após ficar ciente da situação, o Ministério Público Federal (MPF), com base em relatórios de sua assessoria técnica e do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), propôs uma Ação Civil Pública em desfavor da União, o Estado de Santa Catarina, os municípios de Criciúma e Forquilha, o IBAMA, a FATMA, o DNPM, a

Carbonífera Criciúma e seus sócios, a COOPERA e a Tractebel (atual ENGIE).

Figura 1 – UM II – Verdinho: contorno da área minerada em subsolo e do pátio operacional.



Fonte: do autor (2017), sobre base SDS (2012).

A sentença foi publicada em 21/03/2016, tendo sido condenados os réus a diferentes obrigações:

- Carbonífera Criciúma, seus sócios e Engie: reparar a “barragem” de rejeitos, evitar o alagamento da mina, remover do subsolo todo material tóxico, tratar os efluentes da mina e quitar os débitos com o fornecedor de energia elétrica (COOPERA);
- COOPERA: de manter o fornecimento de energia, mesmo que as dívidas não fossem quitadas;

- Demais réus: foram condenados subsidiariamente.

2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

A decisão de se manter o bombeamento das águas de subsolo da Mina do Verdinho foi tomada a pedido do MPF por que, segundo este, haveria a possibilidade de resgate de máquinas ou equipamentos cujo valor residual poderia ser revertido para quitação, ainda que parcial, de débitos trabalhistas ou ambientais. Também foi argumentado que haveria o risco de existir em subsolo substâncias contaminantes, inclusive ASCAREL no interior dos transformadores elétricos, e que, em contato com a água, ocorreria uma grande contaminação dos aquíferos. Além disso, o MPF justificava a drenagem do subsolo como necessária para que fossem realizadas obras de compartimentação das galerias mineradas, através da construção de diques que, segundo sua avaliação, diminuiriam o fluxo de águas no subsolo.

Diante disso, a ENGIE contratou o Centro Tecnológico da SATC para que fosse conduzida uma avaliação da situação para saber da real necessidade de ser mantido o bombeamento, uma vez que esta operação, além de ser onerosa e representar um risco à segurança dos envolvidos, não encontrava convicção de eficácia dentre os técnicos do setor carbonífero.

A primeira providência foi reunir informações relativas ao banco de dados geológico da empresa, bem como quaisquer outras que pudessem auxiliar no estudo.

Também foi realizada a digitalização do contorno minerado da UM II – Verdinho, bem como dos pilares que estavam indicados no mapa geral de subsolo da empresa. À esta base, foram incorporados os contornos minerados da Mina 3 e da Mina João Sônego, disponíveis no SIECESC. Para o modelo digital do terreno (MDT), foi utilizada a base disponibilizada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDS), datada de 2012, disponível na SATC.

Com base em todas as informações, foi definida a área de estudo e geradas informações sobre a camada de carvão, do sistema aquífero profundo e freático, do maciço rochoso compreendido entre este e o aquífero freático, bem

como a natureza e espessura da camada argilosa que capeia o aquífero freático.

2.1 VISTORIA EM SUBSOLO

Em julho de 2016 foi feita uma vistoria técnica no subsolo da Mina do Verdinho com a presença de técnicos do setor carbonífero, de um representante da Engie e de um representante dos mineiros que permaneciam na UM II – Verdinho.

Foram vistoriadas a estação de bombeamento junto ao poço de serviço e ventilação, o eixo SEII até a zona de inundação na região sul da mina e o acesso ao pé do plano inclinado. Nas instalações de bombeamento foi verificado que a mina se encontrava em processo de alagamento, visto que o déficit entre a demanda de bombeamento e a capacidade instalada naquele momento era de, aproximadamente, 150 m³/h. Enquanto operava, a mina possuía uma capacidade de bombeamento superior a 500 m³/h. Um aspecto importante a ser considerado é o ingresso de água por gotejamento de teto na porção sul, local onde as cotas da lapa eram mais baixas, o que acelerava o enchimento neste setor mina. No deslocamento feito à porção sul da mina, através da galeria SW 1 do Eixo SE II, foi possível chegar até o travessão 49. A partir deste ponto, pôde-se visualizar dois travessões à frente, o nível da água de alagamento, o que impediu a continuidade do reconhecimento, ratificando a informação que já se dispunha naquele momento de que o nível d'água já cobria a maior parte do plano de falha. Esta condição, aliada ao fato de o bombeamento não ter capacidade suficiente para atender a toda a mina, fez com que toda a porção sul, incluindo o bloco minerado com recuperação de pilares, já se encontrasse alagada entre as cotas -150 e -200 m, condição observada há mais de um ano.

O setor NW da mina encontrava-se confinado por barragens e represas que, sem manutenção, permitiam a passagem de água por transbordamento ou mesmo por uma ruptura. Como não havia mais acesso a essa área, a manutenção dessas estruturas deixou de ser feita, colocando o pessoal que estava trabalhando em subsolo numa condição de alto risco, pois uma eventual ruptura de uma das barragens significaria o alagamento súbito da porção sul mina. Esse fato mostrou a evidente condição de insegurança da mina pois, para o caso da necessidade do seu abandono imediato, além das condições precárias decorrentes da falta de

manutenção da gaiola do poço de serviço e de sua estrutura, verificou-se as péssimas condições de acesso ao pé do plano inclinado, que se constituía na outra opção de saída da mina. O acesso ao pé do plano ocorria em galerias com existência de blocos desarticulados do teto imediato e piso irregular com passagem ao lado do silo de carvão que se encontrava totalmente inundado, tornando praticamente inviável sua utilização como saída de emergência ou como via de acesso para resgate.

As obstruções verificadas nas galerias da Mina do Verdinho também

2.2 VISTORIA NO PÁTIO OPERACIONAL

A infraestrutura de superfície da Mina do Verdinho compreendia uma área total de aproximadamente 70 ha, sobre a qual estavam instalados o pátio de apoio, a usina de beneficiamento, o de estocagem, as bacias de acumulação e de decantação e a área dos depósitos de rejeitos finos e grossos. A Figura 2 mostra uma visão panorâmica atualizada do pátio operacional. Foram geradas ortofotos obtidas a partir de um voo de um VANT realizado em agosto de 2016. O imageamento e o geoprocessamento das imagens foram feitos por técnicos do CTCL.

Dentro do pátio operacional localizava-se também o escritório dos técnicos, almoxarifado, carpintaria, oficinas, balança, depósito de materiais diversos, subestações de energia elétrica, estação de tratamento de água – ETA, estação de tratamento de efluentes – ETE, estações de bombeamento, plano inclinado, poço de ventilação, poço de acesso. O controle das águas de percolação pluviométrica e infiltrações dos depósitos de rejeitos era feito em circuito fechado por sistema de drenagens periféricas e canal de retorno até uma bacia de captação onde a água era aduzida à usina de beneficiamento. Além dessas estruturas de apoio direto à mineração e controle ambiental, na Mina do Verdinho havia as instalações da indústria de carvão ativado CARBOTRAT, próximo à usina de beneficiamento, e da indústria de pigmentos, situada ao lado dos depósitos de rejeitos.

Figura 2 – Pátio operacional da UM II – Verdinho.



Fonte: Ortofoto SATC (2016) sobreposta à imagem SDS (2012).

2.3 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA

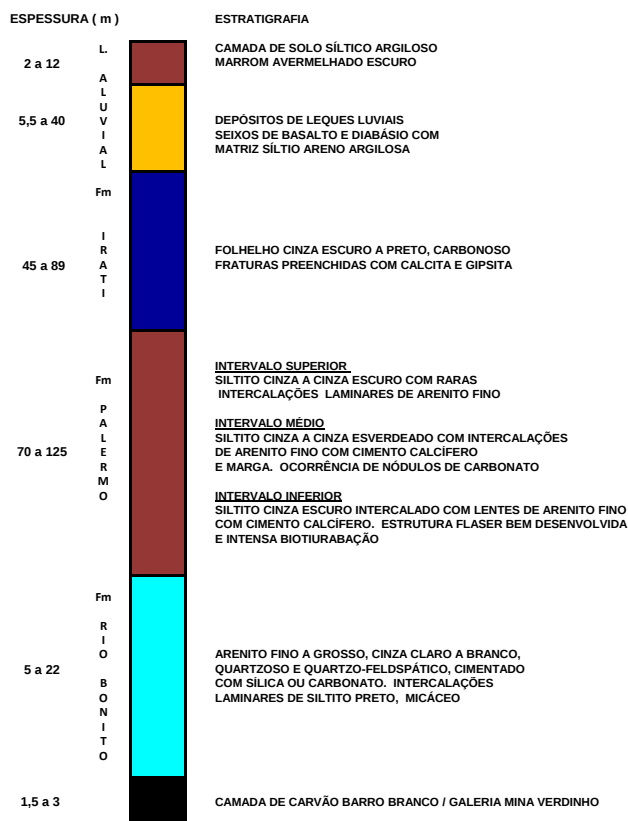
Na área onde está situada a Mina do Verdinho a geologia regional é representada por uma sequência de rochas sedimentares e efusivas básicas e intermediárias que constituem a borda leste da Bacia do Paraná, cujo embasamento é composto por rochas plutônicas de composição granítica tardi a pós-tectônicas, não aflorantes.

No contexto geológico local afloram apenas os depósitos de leques aluviais que constituem a cobertura cenozóica da sequência de rochas sedimentares representada pelas Formações Irati, Palermo e Rio Bonito. O perfil geológico-estratigráfico local está representado na Figura 3.

No estudo da Mina do Verdinho cabe destaque para a Formação Serra Geral, a qual ocorre em todo o perfil geológico, principalmente, preenchendo a falha Mãe Luzia e falhas subordinadas associadas, posicionando-se essas últimas ora de forma discordante, constituindo diques de diabásio, ora como intrusões concordantes, absorvendo total ou em parte a camada de carvão Barro Branco. Apresenta importante influência na hidrogeologia local, à medida que ora atua como barreira hidrogeológica ao fluxo das águas subterrâneas ora como meio fraturado para a sua transmissão e recarga do sistema aquífero local.

Outro importante destaque deve ser dado aos Depósitos de Leques Aluviais, os quais possuem grande distribuição aflorando em todo o perímetro da Mina Verdinho, sendo identificada em todos os furos de sondagem exploratória.

Figura 3 - Perfil geológico da Mina Verdinho.



Fonte: Krebs (2004).

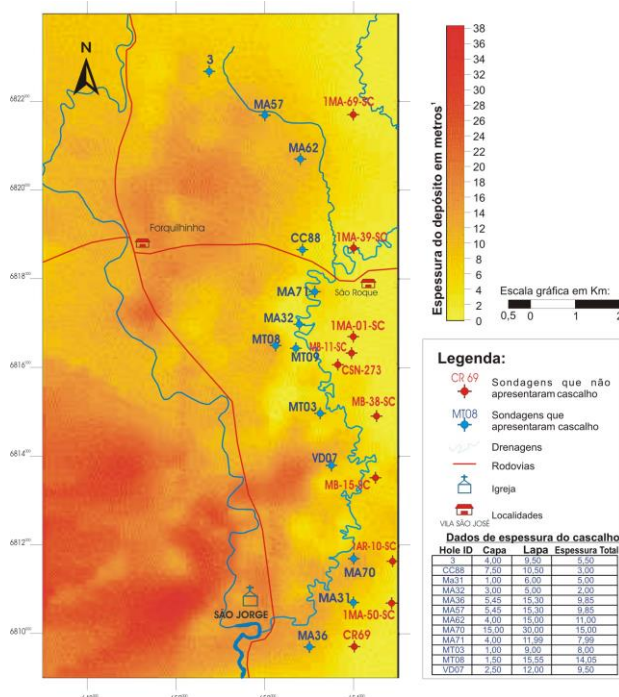
São constituídos por duas sequências distintas: uma inferior, formada quase que exclusivamente por material grosso, grânulos, seixos, cascalhos e blocos (que constitui o intervalo aquífero), e outra superior, de natureza arenosa-argilosa.

Litologicamente, estes depósitos são formados por grânulos, seixos, cascalhos e blocos de rochas basálticas e, subordinadamente, areníticas ou pelíticas, com ou sem matriz arenosa. Estes conglomerados são clastos suportados e, de uma maneira geral, possuem pouca ou nenhuma matriz, o que confere a eles um alto valor de permeabilidade. A geometria das camadas é lenticular. Porém, em nível de afloramentos apresentam uma forma aproximadamente tabular.

Com relação à espessura e aos limites deste intervalo inferior, a análise dos perfis litológicos dos furos de sonda, realizados para a pesquisa de carvão pela CPRM e pela Carbonífera Criciúma, permitiram verificar que a espessura diminui gradativamente até 5,5 m nas proximidades do rio

Sangão, que corresponde ao limite leste destes depósitos (Figura 4).

Figura 4 – Distribuição dos leques aluviais na sub-bacia dos rios Mãe Luzia e Sangão.



Fonte: Krebs (2004).

A sequência superior (cobertura dos leques) é constituída por camadas de material, predominantemente, argiloso que se intercalam com camadas de material siltico-argiloso. Geralmente apresenta cor cinza-escuro a cinza-amarelado. A alternância de tonalidades evidencia a laminação fina plano-paralela. As maiores espessuras dessa sequência estão posicionadas na margem esquerda do rio Sangão na posição distal da calha estrutural.

2.4 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA-ESTRUTURAL

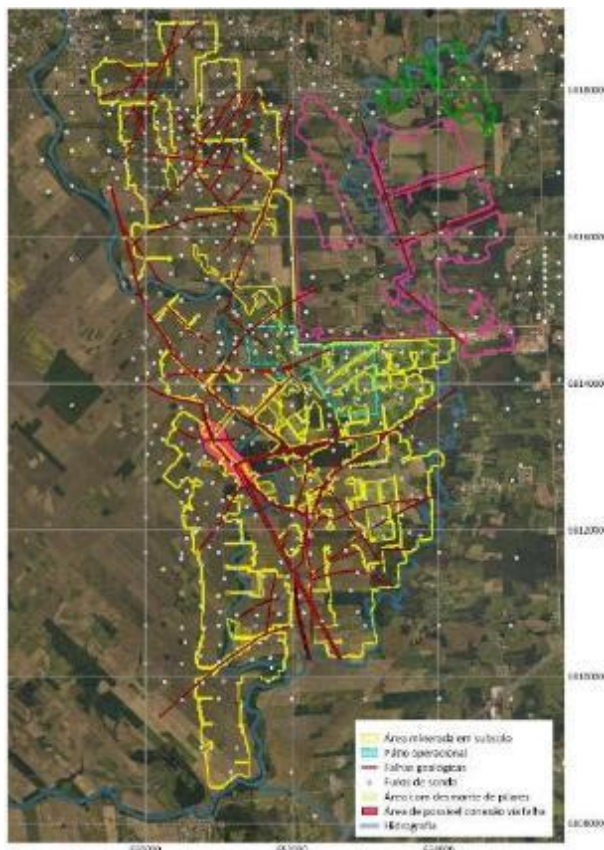
As principais feições estruturais presentes na Mina do Verdinho são as falhas diretas, ocorrendo também dobras abertas controladas por falhas.

As falhas com direções próximas de N-S e E-W estão preenchidas com diques e soleiras de diabásio.

Junto aos planos de falhas, são comuns pequenos *drags*, *slicken sides* e *slicken lines*, que indicam o movimento relativo dos blocos.

As principais direções de falhamentos são N05°-30°W e N70°-85°W e N60°-75°E e as direções secundárias são próximas de N30°-45°E (Figura 5).

Figura 5 – Principais falhas geológicas presentes na Mina do Verdinho.



Fonte: Do autor (2017), sobre base SDS (2012).

Faz parte do sistema N05°-30°W a denominada Falha Mãe Luzia, que secciona diagonalmente toda a área da Mina do Verdinho com rejeito vertical de 20 metros, separando-a em dois blocos estruturais sendo que o bloco posicionado a nordeste é mais alto que o bloco sudoeste e do sistema N 60°-75°E a denominada Falha São Gabriel que também secciona toda a área da mina com rejeitos de 5 a 10 metros separando dois blocos, sendo o posicionado a Sudeste mais alto que o bloco Noroeste.

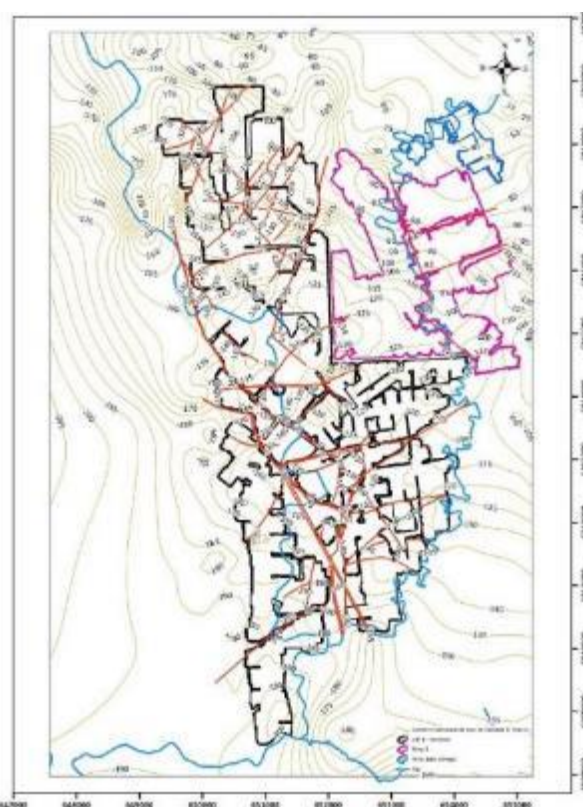
Estes dois sistemas de falhas principais se interceptam e conferem à área da mina uma forma de mosaico irregular e que o sistema com direção N050-300W se prolonga por grande distância (dezenas de km) e encaixa cursos d'água importantes como o rio Mãe Luzia e trecho do rio

São Bento. Mostram também que a Falha São Gabriel na área da mina possui direção muito próxima de E-W e, na medida que se prolonga para leste, isto é, em direção ao rio Sangão, vai adquirindo direção N 60°-75°E.

As observações realizadas em subsolo da Mina do Verdinho, indicam que a Falha São Gabriel é mais jovem e secciona a Falha Mãe Luzia.

Com relação às intrusões de diabásio presentes que afloram no subsolo da Mina Verdinho, constatou-se que as mesmas se posicionam, principalmente, ao longo das falhas N050-300W (Falha Mãe Luzia) e das falhas com direção próximas de E-W (Falha São Gabriel). Do ponto de vista hidrogeológico, ambos sistemas são muito importantes porque constituem locais preferenciais para infiltração de água para o interior da mina.

Figura 6 – Contorno estrutural da lapa da camada Barro Branco na Mina do Verdinho.



Fonte: Do autor (2016).

2.5 HIDROGEOLOGIA

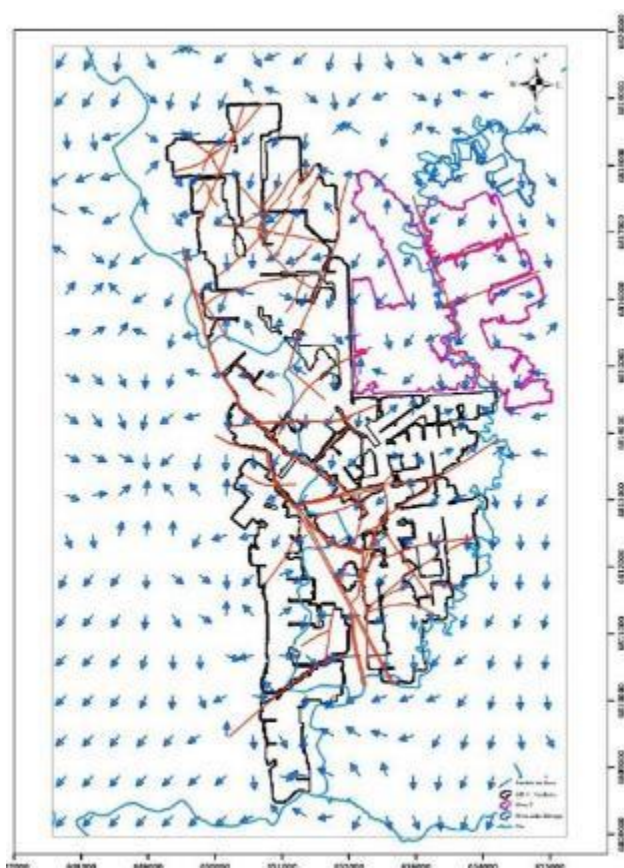
Aquífero profundo: de acordo com Krebs (2004), a Formação Rio Bonito possui múltiplos intervalos aquíferos relacionados geneticamente aos

diferentes intervalos estratigráficos presentes nesta formação, constituídos preferencialmente por camadas arenosas. No caso da UM II – Verdinho, o aquífero profundo está relacionado ao espesso pacote de rochas areníticas posicionados estratigraficamente acima da camada de carvão Barro Branco, com espessura média de aproximadamente 20 m.

Este sistema aquífero possui porosidade intergranular, é extenso, com geometria tabular ou lenticular e com regime de fluxo confinado.

O sentido de fluxo das águas do aquífero profundo é controlado pela geometria da lapa da camada Barro Branco e se processa para sul – sudoeste, conforme indica a Figura 7.

Figura 7 – Sentido de fluxo do aquífero profundo.



Fonte: do autor (2016).

Onde a Formação Rio Bonito é capeada pelas demais formações geológicas presentes na área, a recarga se processa por drenança a partir das camadas que constituem a cobertura deste sistema aquífero.

As observações no subsolo da mina, demonstraram que a recarga se processa também a partir de algumas falhas abertas, com ou sem diques encaixados que seccionam a sequência gondânica. Verificou-se que, de uma maneira geral, as grandes falhas com direções próximas de N-S ou E-W, encaixam diques de diabásio. Devido ao resfriamento rápido destes corpos ígneos, ocorre um intenso fendilhamento na direção perpendicular ao comprimento do dique. Este sistema de fraturas, bem como as paredes laterais do dique, constituem caminhos preferenciais para a infiltração de água a partir da superfície do terreno, ou a partir dos intervalos aquíferos relacionados às formações geológicas sobrepostas.

Através do estudo geológico-estrutural da área e da correlação entre as assinaturas geoquímicas das diversas águas analisadas (KREBS e POSSA, 2007), pode-se verificar que tanto o rio Mãe Luzia como o rio Sangão, localmente, contribuem para a recarga deste sistema aquífero, principalmente junto aos locais onde os referidos cursos de água são seccionados por falhas de caráter distensionais.

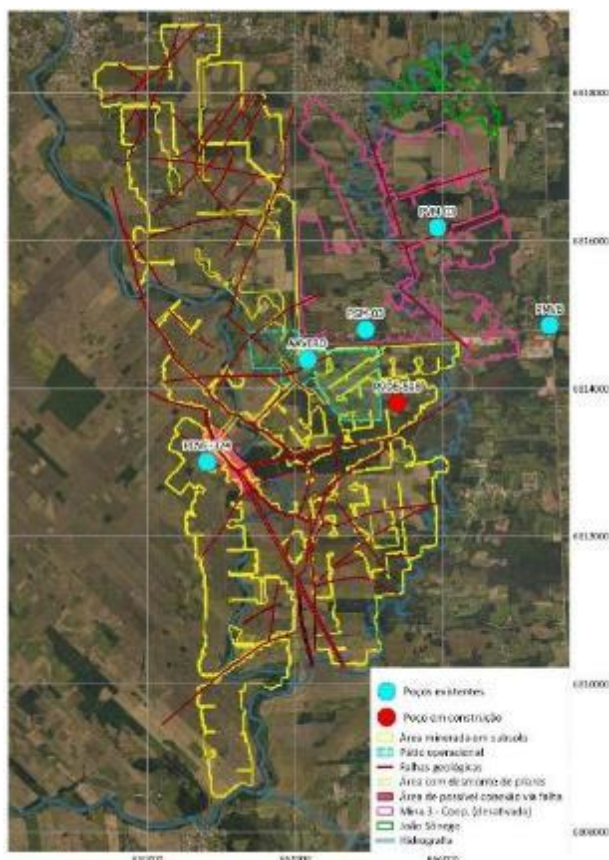
As verificações de subsolo, bem como dos mapas de controle de lavra em subsuperfície, mostram que parte das galerias da Mina Verdinho, lavradas em épocas passadas e posicionadas nos blocos altos situados à leste da Falha Mãe Luzia, encontram-se hoje cheias de água. O modelo hidrogeológico proposto, considerando-se área de recarga, área de circulação e área de descarga, indica que estas galerias antigas também contribuem para a recarga do aquífero.

Os mapas de controle de lavra em subsolo mostraram também que os furos de sonda que porventura não estejam concretados também contribuem para a recarga do aquífero. No desenvolvimento da lavra na porção leste da UM II, em alguns painéis, a lavra foi realizada com a recuperação de pilares. Nesta mesma porção, ocorreram processos de subsidência, o que ocasionou a fuga de água de superfície e, conseqüentemente percolação de água para o interior das galerias. Do ponto de vista hidrogeológico, constatou-se que nestes locais ocorre conexão vertical entre os dois sistemas aquíferos.

A determinação da cota potenciométrica de equilíbrio do sistema aquífero profundo em área

minerada em subsolo, ou seja, aquela indicativa do cenário após a inundação completa da Mina do Verdinho, foi obtida a partir de medidas de nível da água realizadas nos poços de ventilação e serviço de outra unidade mineira limítrofe denominada Mina 3, da Cooperminas, e no poço de ventilação da Mina B, da Nova Próspera (Figura 8).

Figura 8 - Localização dos poços de ventilação e serviço da Mina 3 e de ventilação da Mina B e poços de monitoramento hídrico subterrâneo.



Fonte: do autor (2017), sobre base SDS (2012).

Recentemente, também foi adicionado à malha o PVDE-324, antigo furo de descida de cabo elétrico ao subsolo que foi restituído através de sondagem e sobre o qual foi construído um novo poço de monitoramento, cujo objetivo é monitorar o enchimento da mina a partir do pé do plano da Falha Mãe Luzia. Além desse, também está sendo construído um poço de monitoramento próximo ao antigo wetland da empresa, sendo o objetivo deste o de monitorar o aquífero na área onde ocorreu a extração de carvão com a recuperação de pilares. Este último ponto recebeu o nome de PVDE-59B por ficar localizado ao lado do antigo furo de descida de

cabo elétrico PVDE-59, que não pode ser aproveitado. A Tabela 1 mostra as coordenadas e cotas dos poços utilizados no monitoramento.

Nas unidades mineiras do entorno não houve recuo de pilares e também não há pontos com surgências de água subterrânea na superfície. A Mina 3 foi desenvolvida pela Cooperminas entre 1990 e 2011 e a Mina B foi operada pela Companhia Siderúrgica Nacional no período de 1983 a 1989.

Os referidos poços de ventilação e serviço que conectam a superfície diretamente com galerias em subsolo, encontram-se tamponados. No entanto, foram deixados orifícios para monitoramento.

Tabela 1 – Poços utilizados no monitoramento do aquífero profundo da Mina do Verdinho.

Sigla	Descrição	UTM_E UTM_N Cota
AAVERD	Poço de Acesso e Ventilação da Mina Verdinho	652.164,08 6.814.391,15 19,53
PDVE-324	Poço de descida de cabo elétrico	650.804,71 6.813.009,46 15,61
PSM-03	Poço de Serviço da Mina 3	652.953,38 6.814.798,81 18,10
PMVB	Poço de Ventilação da Mina B	655.441,93 6.814.857,38 22,25
PVM-03	Poço de Ventilação da Mina 3	653.925,41 6.816.180,64 18,49
PVDE-59B	Poço de descida de cabo elétrico (em construção)	653.382,29 6.813.809,06 ND

Fonte: do autor (2017)

Até o momento, foram realizadas 43 medições de nível nos poços de monitoramento. Entretanto, as medições do PVDE-324 da 1ª a 31ª campanhas foram desprezadas, pois constatou-se que o furo de sonda estava obstruído e a medição que vinha sendo executada ali representava, na verdade, o nível onde a sonda não conseguia ultrapassar blocos que obstruíam o furo. Em função disso, foi feita a retificação do furo de sonda e instalado novo revestimento, o que permitiu a sua reintegração à malha a partir da 32ª campanha. Na

Tabela 2 estão as medições realizadas até o momento.

Os pontos PVDE-324, AAVERD e PVDE-549B são os que medem diretamente a variação do nível potenciométrico da Mina do Verdinho em função do seu enchimento, enquanto os demais (PSM-03, PVM-03 e PMV-B) servem referência, uma vez que indicam os níveis potenciais máximos

das minas exauridas do entorno, já completamente inundadas. Neste contexto, percebe-se que o nível potenciométrico mais próximo da superfície é aquele medido junto ao poço de ventilação da Mina B.

Tabela 2 – Monitoramento do enchimento da Mina do Verdinho.

		PDVE-324	AAVERD	PSM-03	PVM-03	PMV-B
Cota ref. (m) →		15,612	19,534	18,103	18,489	22,248
Campanha	Data	Cota Potenciométrica (m)				
1ª	26/09/2016	ND	-120,46	-13,61	-11,81	4,79
2ª	27/09/2016	ND	-120,45	-13,67	-12,18	4,81
3ª	28/09/2016	ND	-120,45	-13,65	-11,84	4,73
4ª	29/09/2016	ND	-120,45	-13,68	-11,88	4,70
5ª	30/09/2016	ND	-120,46	-13,72	-11,88	4,76
6ª	03/10/2016	ND	-120,43	-13,66	-11,85	4,74
7ª	04/10/2016	ND	-120,43	-13,66	-15,85	4,74
8ª	05/10/2016	ND	-120,42	-14,03	-11,92	4,79
9ª	06/10/2016	ND	-120,43	-13,70	-11,90	4,72
10ª	07/10/2016	ND	-120,42	-13,67	-11,87	4,71
11ª	10/10/2016	ND	-120,41	-13,87	-12,06	4,72
12ª	11/10/2016	ND	-120,44	-13,84	-12,03	4,75
13ª	13/10/2016	ND	-120,41	-13,87	-11,95	4,81
14ª	14/10/2016	ND	-120,41	-13,87	-12,06	6,74
15ª	17/10/2016	ND	-120,41	-13,90	-12,39	4,81
16ª	18/10/2016	ND	-120,41	-13,91	-12,10	4,98
17ª	19/10/2016	ND	-117,47	-11,87	-12,05	4,60
18ª	20/10/2016	ND	-120,43	-13,80	-11,99	5,51
19ª	21/10/2016	ND	-120,41	-13,77	-11,96	5,60
20ª	24/10/2016	ND	-120,43	-13,54	-11,72	5,86
21ª	25/10/2016	ND	-120,44	-13,53	-11,72	5,89
22ª	03/11/2016	ND	-120,44	-13,18	-11,39	5,95
23ª	11/11/2016	ND	-120,42	-13,11	-11,31	5,73
24ª	18/11/2016	ND	-120,43	-13,65	-11,46	5,52
25ª	25/11/2016	ND	-120,29	-13,96	-11,57	5,34
26ª	02/12/2016	ND	-120,39	-14,00	-11,81	5,10
27ª	09/12/2016	ND	-120,38	-13,76	-11,67	5,78
28ª	16/12/2016	ND	-120,39	-13,96	-12,79	1,94
29ª	22/12/2016	ND	-120,37	-13,80	-12,64	1,88
30ª	28/12/2016	ND	-120,38	-13,68	-11,44	5,61
31ª	03/01/2017	ND	-120,37	-13,70	-11,48	5,93
32ª	11/01/2017	-163,02	-120,37	-13,09	-10,87	7,39
33ª	18/01/2017	-163,00	-120,35	-11,49	-10,26	7,42
34ª	27/01/2017	-155,93	-120,35	-12,40	-10,17	7,27
35ª	03/02/2017	-151,35	-120,34	-12,41	-10,18	7,47
36ª	09/02/2017	-149,28	-120,34	-12,23	-10,01	7,44
37ª	16/02/2017	-147,11	-120,34	-11,85	-9,62	7,44
38ª	23/02/2017	-145,36	-120,34	-12,30	-10,08	6,50
39ª	01/03/2017	-143,34	-120,33	-12,51	-10,27	6,85
40ª	09/03/2017	-141,53	-120,34	-12,88	-10,64	6,67
41ª	16/03/2017	-140,24	-120,34	-12,95	-10,71	6,60
42ª	23/03/2017	-138,98	-120,34	-13,26	-11,03	6,29
43ª	30/03/2017	-137,19	-120,34	-13,51	-10,30	6,11

Fonte: SATC/CTCL (2016), modificado pelo autor (2017).

Outra informação relevante trazida pelos resultados obtidos até o momento é a variação observada junto ao pé do plano da Falha Mãe Luzia, medido pelo PVDE-324 (bloco baixo), cujo nível potenciométrico já aumentou quase 26 metros, mostrando que a parte sul da mina já está completamente inundada. Um fato que pode estar relacionado à súbita elevação do nível neste ponto é o rompimento de uma ou mais barragens de subsolo que eram utilizadas durante a operação para acumulação da água bombeada desde as cotas

mais inferiores da mina. Como dito anteriormente, durante a vistoria realizada em subsolo, já havia sido constatado que ao menos uma dessas barragens estava com problema, podendo vir a romper.

Apesar de relevante, esta variação de nível ainda não foi percebida no ponto de monitoramento AAVERD, no poço de acesso e ventilação, que mede o nível potenciométrico onde a lapa da camada Barro Branco possui as cotas mais elevadas da mina.

Aquífero freático: este sistema aquífero está geneticamente relacionado aos depósitos rudáceos que constituem os leques aluviais. A leste, sua área de ocorrência é limitada aproximadamente pelo curso do rio Sangão e ao sul, à medida que se aproxima da linha de costa, estes leques aluviais são cobertos pelos depósitos arenosos de origem marinha e retrabalhamento eólico.

Os depósitos de leques aluviais são constituídos por duas sequências distintas: uma inferior, formada quase que exclusivamente por material grosso, grânulos, seixos, cascalhos e blocos (que constitui o intervalo aquífero); e outra superior, de natureza areno-argilosa.

O modelo hidrogeológico, estabelecido a partir das características de relevo, características granulométricas, mudanças litológicas, variações de permeabilidade, e pelo fato desta porção atuar como uma imensa área de descarga, sugere tratar-se de um aquífero com porosidade intergranular extenso, com regime de fluxo livre ou confinado e nível estático próximo à superfície.

A recarga se processa de maneira direta a partir das precipitações através dos próprios depósitos de leques ou de seus solos residuais, e de maneira indireta, pela infiltração de água nas encostas e deslocamento para as planícies onde se encontram os leques, isto é, no sentido do declive hidráulico. Constatou-se também que ocorre recarga de maneira artificial, através do bombeamento de água do rio Mãe Luzia para as áreas dos leques onde ocorrem cultivo de arroz irrigado, prática bastante comum na região da Mina Verdinho. Este fato é preocupante porque medidas de pH e condutividade da água de alguns poços escavados indicam que existem locais relativamente distantes do leito do referido rio ou de pilhas de rejeito piritosos, onde as águas deste sistema aquífero já apresentam indícios de contaminação.

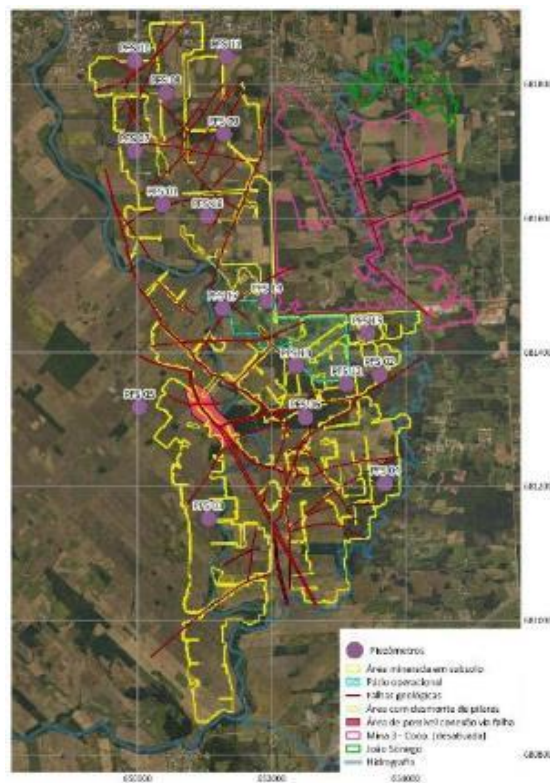
A leitura do mapa de controle de lavra, bem como verificações de superfície e interpretação de fotos aéreas, sugere que as falhas Mãe Luzia, São Gabriel e outras falhas secundárias destas duas principais, encaixam trechos do rio Mãe Luzia, principalmente no setor sul da mina. Verificações de subsolo indicam que as referidas falhas servem como caminhos preferenciais para as águas deste sistema.

A Carbonífera Criciúma possuía na Mina do Verdinho uma malha de 17 piezômetros para

monitoramento do aquífero freático. Nos dados disponibilizados, constam dados relativos às campanhas realizadas de 2003 a 2010. A Figura 9 mostra a localização dos piezômetros que monitoravam o aquífero freático na UM II – Verdinho.

De acordo com o banco de dados de monitoramento que foi fornecido, o piezômetro PFS 02, situado nas proximidades da margem direita do rio Sangão, apresentou valores baixos para pH na maioria das campanhas realizadas. Os baixos valores deste parâmetro observados nesse piezômetro sugerem que em épocas de precipitações prolongadas e, conseqüentemente extravasamento do leito do rio Sangão, ocorre contribuição do referido rio para a recarga do aquífero freático. Sabe-se que de uma maneira geral, tanto o rio Mãe Luzia quanto o rio Sangão apresentam carácter efluente, ou seja, recebem água do aquífero freático. Porém, em períodos de precipitações prolongadas, que provocam a elevação do nível das águas destes rios, os mesmos comportam-se como rios influentes, ou seja, contribuem para a recarga do aquífero freático.

Figura 9 – Malha de monitoramento do aquífero freático da Mina do Verdinho.



Fonte: do autor (2017).

Cabe salientar que tanto o rio Sangão quanto o rio Mãe Luzia na porção onde situa-se a UM II – Verdinho já apresentam suas águas contaminadas por antigas áreas impactadas pela mineração de carvão em épocas passadas, já amplamente estudadas em função da ACP nº 93.8000.533-4, Sentença nº 2000.72.04.002543-9.

Da mesma forma, constatou-se que o monitoramento do PFS 12, situado nas proximidades do canal periférico que conduz a drenagem ácida gerada no pátio operacional, também demonstrou que a água do aquífero freático neste local (proximidades do canal periférico) é de má qualidade.

A leitura da

Tabela 3 indica que a água deste aquífero é boa, mesmo naqueles locais afetados por subsidência, onde pode estar havendo conexão vertical entre o aquífero freático e o aquífero profundo.

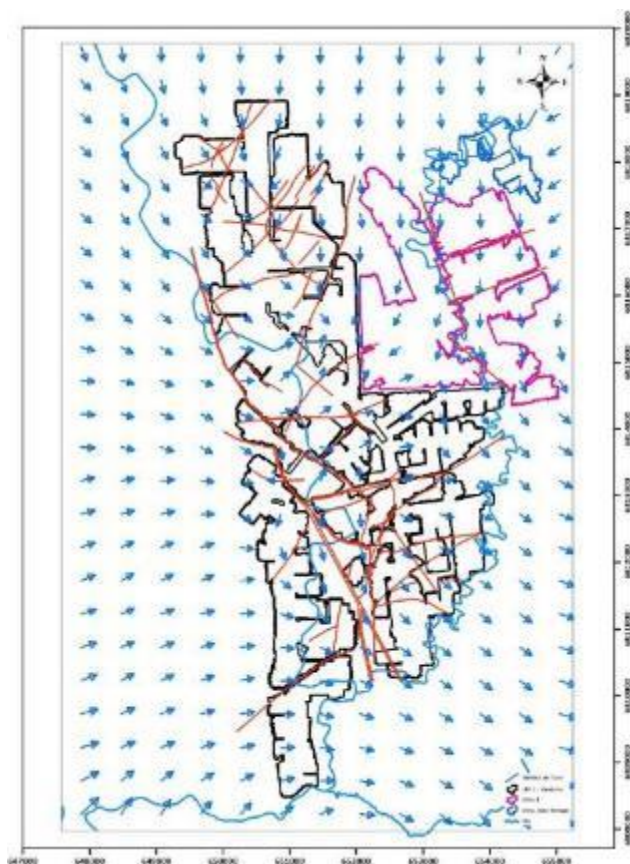
Com relação ao sentido de fluxo do aquífero freático, sabe-se que ele é controlado pela geometria da superfície do terreno. De qualquer forma, tendo em vista que a Carbonífera Criciúma implantou uma rede de monitoramento estrategicamente distribuída, decidiu-se elaborar um mapa potenciométrico, com dados obtidos a uma mesma data, cujo resultado é apresentado na Figura 10. A leitura do referido mapa mostra que o sentido de fluxo das águas do aquífero freático se processa para sul-sudeste. Mostra também que nas proximidades do rio Mãe Luzia o fluxo do aquífero freático se processa em sentido desse, evidenciado, neste trecho, o caráter efluente deste rio.

Tabela 3 – Síntese dos resultados de monitoramento do aquífero freático realizado pela Carbonífera Criciúma de 2003 a 2010.

Piez	UTM E	UTM N	Cota Boca [m]	pH max	pH min	pH med	Acid Max [mg/L]	Acid Min [mg/L]	Acid Med [mg/L]	Nível Med [m]
PFS 01	650.422,38	6.816.251,05	21,25	6,00	4,40	5,32	115,20	1,00	27,00	17,79
PFS 02	653.657,12	6.813.712,85	18,05	5,90	3,90	5,10	92,50	3,40	37,20	11,72
PFS 03	651.106,55	6.811.564,68	14,20	7,20	5,60	6,30	92,60	2,70	28,30	13,39
PFS 04	653.738,91	6.812.088,81	10,93	7,30	6,00	6,82	54,10	2,21	13,65	10,29
PFS 05	650.079,00	6.813.225,00	16,45	7,50	5,90	6,71	55,10	2,70	10,60	15,40
PFS 06	652.550,82	6.813.074,35	16,02	7,10	5,60	6,30	62,20	3,00	20,90	15,29
PFS 07	650.007,16	6.817.045,95	21,45	7,00	5,70	6,10	74,50	1,80	21,70	20,43
PFS 08	60.470,86	6.817.912,86	23,22	7,00	6,00	6,50	44,40	2,70	15,90	20,73
PFS 09	651.336,23	6.817.301,93	22,56	6,90	5,60	6,20	86,60	4,10	18,20	20,95
PFS 10	650.008,30	6.818.397,12	25,07	7,30	5,80	6,70	42,30	3,70	11,85	23,95
PFS 11	651.369,95	6.818.453,29	13,27	6,90	5,50	6,60	40,80	3,20	25,70	24,34
PFS 12	653.164,40	6.813.569,88	13,27	6,70	2,80	3,15	440,70	35,40	325,55	12,41
PFS 13	652.409,76	6.813.839,47	16,91	7,50	4,00	7,10	506,00	8,30	17,00	14,78
PFS 14	651.979,85	6.814.810,53	18,64	6,90	6,10	6,60	87,30	6,60	51,00	14,94
PFS 15	653.475,20	6.814.327,97	15,52	7,10	6,10	6,50	66,20	3,70	40,95	13,69
PFS 16	651.094,36	6.816.072,52	20,38	7,20	7,10	7,20	90,60	85,20	89,00	15,05
PFS 17	651.319,22	6.814.700,30	17,63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fonte: do autor (2016).

Figura 10 – Sentido de fluxo do aquífero freático.



Fonte: do autor (2016).

3 AVALIAÇÃO QUANTO A SEGURANÇA DO TRABALHADOR

3.1 POÇO, PLANO E INFRAESTRUTURA DE SUBSOLO

Como descrito anteriormente, as estruturas que eram utilizadas para o acesso ao subsolo eram um plano inclinado, com cerca de 515 m de extensão, e dois poços, um de acesso de materiais e de pessoal, equipado com gaiola e guincho, e outro onde estava instalado o exaustor do sistema de ventilação da mina. Este último, inclusive, era utilizado também como saída de emergência.

O DNPM tem exigido das empresas que operam minas em subsolo estruturas próprias para situações de emergência nas quais os trabalhadores possam permanecer em segurança em subsolo até serem resgatados. Para atender a esta exigência, todas as minas de carvão em subsolo possuem hoje câmaras de refúgio, as quais são equipadas com oxigênio, kits de primeiros socorros, água potável, comida e banheiro. Algumas delas, inclusive,

contam com furos de sonda que ligam a câmara até a superfície, e suas dimensões permitem que sejam levadas água, comida e medicamentos desde a superfície até o subsolo.

Durante a vistoria realizada em 15 de julho de 2016, descrita anteriormente, nenhuma estrutura de apoio semelhante pode ser identificada nesta unidade mineira. Além disso, já naquela ocasião, as condições de acesso via poço ou plano já eram muito prejudicadas tendo em vista a avançada deterioração da infraestrutura dos mesmos, devido à falta de manutenção.

Um dos maiores cuidados que se deve ter é com relação às condições da gaiola de acesso de pessoal ao subsolo, tanto em sua própria estrutura, como também de seu cabo e guincho. Quando uma mina utiliza este sistema para acesso ao subsolo, existe uma série de requisitos a serem seguidos, principalmente relacionados a ações preventivas de segurança. No acesso do pessoal para a realização da vistoria, foi verificado que a gaiola não possuía os portões de segurança em um dos lados e no outro um deles estava emperrado, sendo impossível fechá-lo. Segundo informações do Sr. Emerson, era feita somente uma vistoria expedita pelos próprios funcionários que ainda estavam na mina, tendo em vista que a empresa não possui mais condições de fazer uma adequada manutenção deste equipamento (Figura 11 e Figura 12).

Outro aspecto importante com relação à segurança é o fato de que as sinalizações de subsolo também já estavam nitidamente prejudicadas, principalmente aquelas que indicavam o trajeto da saída de emergência (Figura 13). Além disso, o caminho a ser percorrido neste trajeto estava muito obstruído, o que dificultaria uma eventual operação de resgate.

Figura 11 - Torre da gaiola da UM II – Verdinho.



Fonte: do autor (2016).

Figura 12 - Gaiola do poço de acesso.



Fonte: do autor (2016).

Figura 13 - A sinalização de subsolo não estava de acordo com o exigido pelas normas de segurança.



Fonte: do autor (2016).

3.2 BARRAGENS DE SUBSOLO

6.2 BARRAGENS DE SUBSOLO

O sistema de drenagem de subsolo da UM II – Verdinho contava com barragens de acúmulo de água construídas com a finalidade de segmentar o circuito de bombeamento, facilitando a operação, além de reduzir custos e viabilizar as ações de manutenção.

Durante a vistoria foi identificado um fluxo intenso de água correndo por sobre a lapa da camada de carvão em uma galeria paralela à mestra em sentido sul. Também durante a vistoria foi identificada a origem deste fluxo, que era uma dessas barragens (Figura 14). Ao explicar o fato para os técnicos que eram funcionários da Carbonífera Criciúma, foi feito o alerta por parte deles de que esta água, muito provavelmente, era oriunda de uma dessas barragens, situada no bloco norte (alto) e que já deve estar completamente cheia e, conseqüentemente, transbordando, além de

oferecer risco de rompimento em função de problemas em sua estrutura.

O maior problema verificado nesta situação é a possibilidade de ocorrer um rompimento súbito desta barragem, com conseqüente enchimento das galerias, o que colocaria em risco os trabalhadores que eventualmente estivessem neste setor da mina. A Figura 15 mostra o volume d'água oriunda desta barragem indo em sentido sul.

Figura 14 – Barragem que integrava o sistema de drenagem de subsolo da UM II – Verdinho.



Fonte: do autor (2016).

Figura 15 – Fluxo de água oriunda da barragem do bloco norte em sentido sul.



Fonte: do autor (2016).

3.3 SEGURANÇA ESTRUTURAL

Outro aspecto a ser considerado é com relação à segurança estrutural da mina, uma vez que os procedimentos tradicionais de verificação do teto e paredes, incluindo parafusos, escoramentos e monitoramento de convergência, não estavam mais sendo realizados da forma e frequência recomendadas.

Desta forma, procedimentos simples, porém fundamentais, como reaperto de parafusos de teto ou abatimento de choco (rochas soltas no teto e parede) ficaram prejudicados, colocando em risco

quem passava pelas galerias. Também se percebeu grande quantidade de material de caimento acumulado nas galerias adjacentes à principal (Figura 16).

Figura 16 – Galeria com material de caimento acumulado.



Fonte: do autor (2016).

A questão estrutural da mina também tem forte apelo quando se trata de áreas já alagadas, as quais existe a demanda judicial de se reestabelecer a drenagem para acessá-las. O esvaziamento dessas galerias afetaria o novo equilíbrio de forças estabelecido após o enchimento, podendo desencadear processos de desprendimento de blocos de rocha da camada de carvão e das encaixantes que tiveram suas descontinuidades preenchidas com água.

O esvaziamento de uma galeria pode desencadear problemas de colapso do teto imediato e principal da mina em função de um fenômeno conhecido como “efeito sifão”, onde, ao se remover a água, cria-se um empuxo que atua na desestabilização de blocos de rochas.

O processo de esvaziamento e re-escoramento é uma operação onerosa que, quando realizada, deve ser feita de forma cuidadosa e por equipe experiente, devendo ser evitada esta operação em extensões muito grandes.

4 AVALIAÇÃO QUANTO AOS RISCOS PELO FECHAMENTO E INUNDAÇÃO DA MINA

4.1 SURGÊNCIA DE ÁGUA EM SUPERFÍCIE

Para avaliar a possibilidade de surgência de água oriunda do subsolo em superfície foram considerados os aspectos geológicos, estruturais e

hidrogeológicos de toda a área da Mina Verdinho e seu entorno. Também foram considerados os dados de monitoramento do aquífero freático disponibilizados pela empresa, o qual compreende o período de 2003 a 2010.

As informações do banco de dados disponibilizados pela empresa permitiram a elaboração de mapa do contorno estrutural da lapa da camada Barro Branco, mapa potenciométrico do aquífero profundo, mapa de contorno estrutural da base dos depósitos de leques aluviais (aquífero freático), mapa de cobertura dos leques aluviais (aquífero freático). Para o modelo numérico do terreno, foi utilizada a base da SDS de 2012.

A partir do cruzamento dos referidos mapas, foi feita a modelagem geológica e hidrogeológica, cuja representação é apresentada através de três seções (Figura 17), que abrangem todos os setores desta unidade mineira, principalmente aqueles onde há maior risco de conexão vertical entre subsolo e superfície.

A seção A (Figura 18) contempla o bloco alto, situado a norte e o bloco baixo, situado a sul, na porção onde não foi praticada a recuperação de pilar. Também intercepta as principais falhas (Mãe Luzia e São Gabriel) que seccionam o maciço rochoso neste local.

A seção B (Figura 19) também inicia na área da Mina 3 estendendo-se para sul, acompanhando o eixo SE I e seus painéis, onde a lavra foi realizada com a recuperação de pilares.

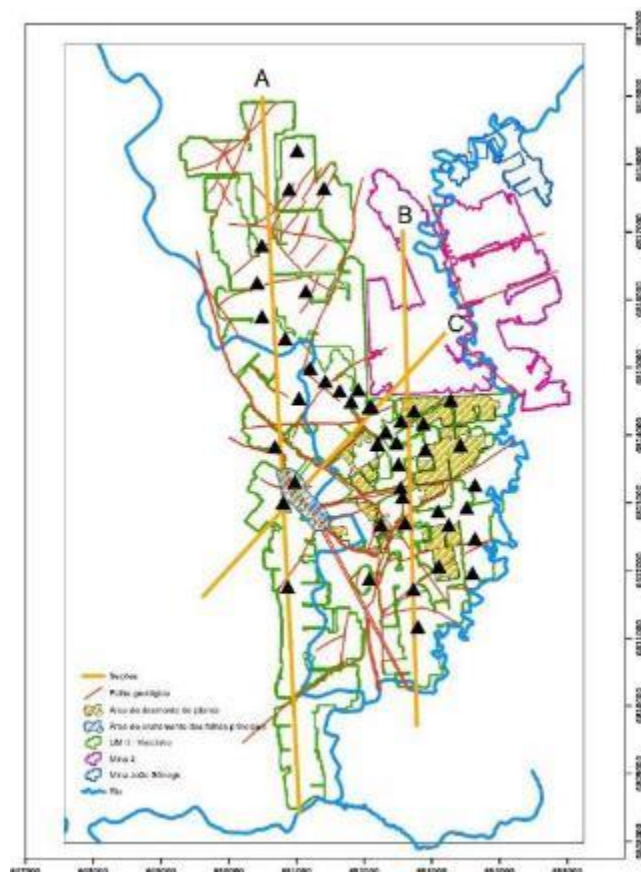
A seção C (Figura 20) secciona a área minerada do Verdinho de nordeste a sudoeste, interceptando perpendicularmente a Falha Mãe Luzia, que se constitui na principal feição estrutural desta mina.

Em todas as seções foi indicado o nível potenciométrico do aquífero profundo medido no poço de ventilação da Mina B, que foi considerado como cota potenciométrica de referência para se avaliar se haveria ou não surgência.

A interpretação das seções permite verificar que, pontualmente, o nível potenciométrico do aquífero profundo poderá interceptar o nível estratigráfico do aquífero freático, principalmente na área de intersecção das falhas São Gabriel e Mãe Luzia, nos furos de sonda utilizados para levar cabos elétricos para energização do subsolo e nas áreas onde houve a recuperação de pilares.

Contudo, mesmo nesses locais, o modelo mostra claramente que não haverá surgência de água do subsolo em superfície.

Figura 17 – Localização das seções geológicas e hidrogeológicas.



Fonte: do autor (2016).

Figura 18 – Seção A.

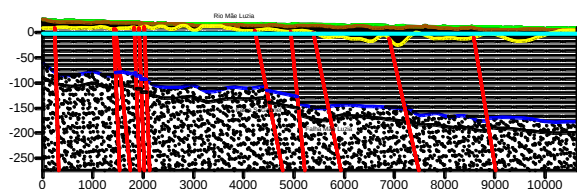


Figura 19 – Seção B.

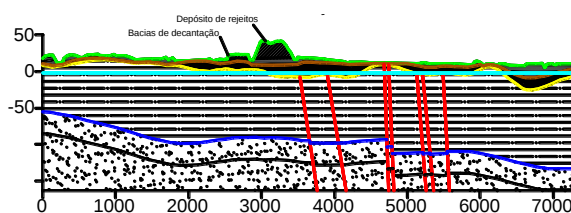
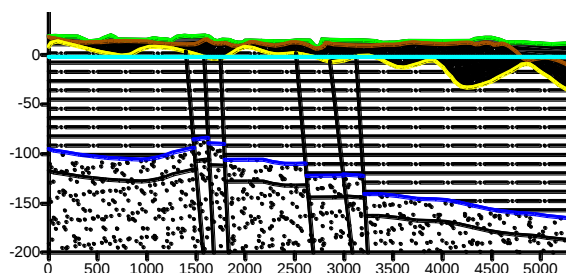


Figura 20 – Seção C.



4.2 RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUIFEROS

A qualidade da água subterrânea após a inundação da mina Verdinho pode ser avaliada a partir das características físico-químicas da água da Mina B, fechada há 27 anos.

Os resultados das análises feitas com a amostra coletada na Mina B com parâmetros físico-químicos pH, acidez, Fe, Al, Mn e sulfato indicam qualidade de água semelhante a encontrada no poço PMAPAR10 (Tabela 4) que monitora a qualidade da água do Aquífero Rio Bonito em área não minerada no subsolo e está situado no mesmo contexto hidrogeológico da Mina Verdinho. Isso ocorre por que há uma redução nas reações de oxidação dos minerais sulfetados que compõem o perfil litológico e, por consequência, a formação de drenagem ácida à medida da inundação da mina.

Tabela 4 - Resultados de monitoramento de águas subterrâneas na região da Mina Verdinho.

Local Amostrado	Data	Classificação Hidrogeológica	pH	Acidez (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
Mina B	22/08/16	Sistema aquífero local conectado	7,00	11,00	236,90	0,33	0,14	0,24
Poço monitor PMAPAR10	30/11/15	Aquífero Rio Bonito (profundo)	7,70	12,49	23,84	0,11	0,02	n.d.
Poço monitor PMLAAR02B	23/11/15	Aquífero de Leques aluviais (freático)	7,00	28,92	18,72	6,71	0,55	n.d.
Resolução CONAMA 396/2008			x	x	250,00	0,30	0,10	0,20

Fonte: SATC/CTCL (2016) e 10º Relatório de Indicadores Ambientais (GTA,2016). n.d. = não detectado.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, a água coletada na Mina B pode ser classificada como água de aquífero Classe 3, ou seja, embora com alteração por atividades antrópicas, não é necessário tratamento em função dessas alterações, podendo exigir tratamento adequado devido as suas características hidrogeoquímicas naturais.

No que se refere à eventual conexão das águas de inundação da Mina Verdinho no aquífero de leques aluviais, utiliza-se como referência os indicadores de qualidade da água do poço monitor do GTA PMLAAR02B (ACP nº 93.8000.533-4, Sentença nº 2000.72.04.002543-9) situado à jusante dos depósitos de rejeitos (Figura 8) comparando-os com os obtidos na análise da água coletada no poço da Mina B. Os resultados demonstram que mesmo que haja ampliação da conexão entre os aquíferos profundo e freático, já ocorrida nas áreas com recuperação de pilares, não haverá comprometimento da qualidade da água do aquífero de leques aluviais (Tabela 4).

Com relação a possibilidade de compartimentação nas áreas antigas das porções NW e SE, com o objetivo da execução de obras de isolamento e impermeabilização, esta possibilidade já havia sido estudada no passado pelos técnicos da própria Carbonífera Criciúma. Entretanto, foi considerado tecnicamente inviável pela incompetência geomecânica das rochas encaixantes, atestada por estudos realizados em 1985 pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

Os referidos equipamentos são representados por estruturas de correias transportadoras, bancadas com ferramentas e materiais inservíveis, pequenas peças de reposição, tubulações, motores, painéis, comandos e transformadores elétricos, além de perfuratrizes de teto e frente, cujo valor monetário não justifica os elevados riscos para a segurança pessoal constatados na ocasião da vistoria técnica ou ainda numa eventual hipótese da retomada do bombeamento.

Com base nos estudos conduzidos, aliado ao amplo conhecimento que os técnicos do setor carbonífero da região possuem, conclui-se que:

5 CONCLUSÕES

As questões relacionadas com a insegurança da mina verificados em subsolo superam qualquer justificativa de manutenção do bombeamento para resgate dos equipamentos, até mesmo porque a grande maioria deles encontravam-se inacessíveis, em setores já inundados da mina.

- A melhor alternativa para a UM II – Verdinho é não retomada da operação de bombeamento de água do subsolo, tampouco religar o fornecimento de energia elétrica ao subsolo;
- Deve ser executado o fechamento das estruturas de acesso ao subsolo da mina, os quais são os poços de acesso e ventilação e o plano inclinado, bem como os furos de sonda que porventura ainda não tenham sido

tamponados, em especial aqueles utilizados para a energização da mina a partir da superfície;

- iii. Continuar o monitoramento da evolução do enchimento da mina através da observação da cota do nível potenciométrico do aquífero profundo utilizando-se os furos recomendados, além dos pontos localizados nas minas limítrofes, já utilizados na modelagem deste estudo e;
- iv. Proceder às etapas de fechamento de mina, conforme preconiza a legislação mineral e ambiental aplicável, em especial as orientações da NRM 20, que trata da Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras, instituída através da Portaria DNPM 237/2001.

6 REFERÊNCIAS

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 13 p. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/res39608.pdf. Acesso em: 18 jul. 2013.

BRASIL. **10º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais**. Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2016. 230 p.

KREBS, A.S.J. 2004. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC**. Florianópolis. UFSC. 376p. (Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia).

MACHADO, J.L.F. 1997. **Mapa hidrogeológico escala 1:250.000 da Folha de Criciúma**. Porto Alegre: CPRM.

FOLHA SH-22. Porto Alegre e parte das Folhas SH-21. Uruguaiana e SI-22. **Lagoa Mirim: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE., 1996. 796p. 6 mapas (Levantamento de Recursos Minerais, v.33).

DIAS, A. de A. 1995. **Geologia do Município de Criciúma, SC**. Porto Alegre. CPRM. 1v.(Série Cartas, v. 23). (Programa de Informações Básicas para gestão Territorial de Santa Catarina).

KREBS, A.S.J. & NOSSE, E. O.1998. **Potencial hidrogeológico do município de Criciúma**. Porto Alegre: CPRM. (Série Cartas Temáticas – Porto Alegre, v. 24). (Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina).

MENESES, L.A.P. **Avaliação do monitoramento de poços piezométricos em áreas de mineração UMII – CCS.A. – Criciúma – Santa Catarina**. UFRGS – Departamento de Engenharia de Minas- DEMIM. 2008.

KREBS, A.S.J; POSSA, M. V. 2007. **Estudo geológico - hidrogeológico da lavra subterrânea**. CETEM – MCT . 239p.