

---

# Reunião CTOC

## 04/01/2021

Considerações Técnicas

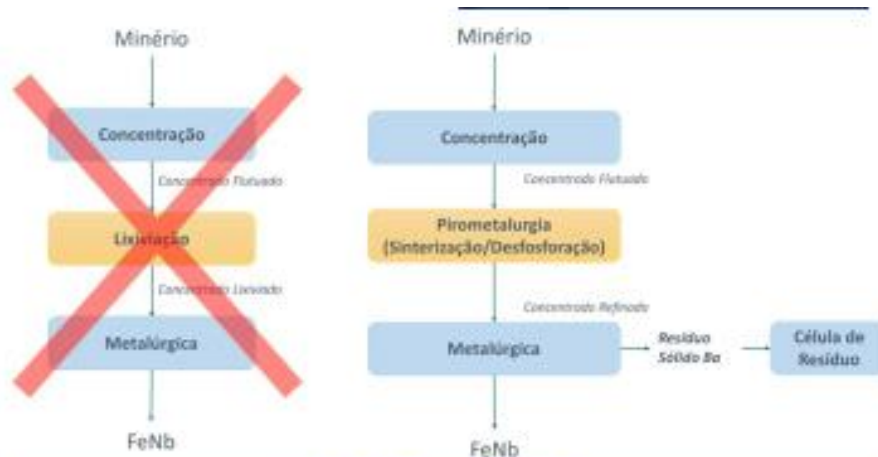
# Objetivos

- Apresentação do contexto técnico da remediação.
- Explicar a lógica dos próximos passos da remediação.
- Sob a ótica dos princípios da precaução e prevenção, evidenciar a importância da contenção hidráulica e, portanto, do deferimento da renovação/complementação da outorga de bombeamento de águas subterrâneas.

# Tópicos

- Origem da Contaminação
- Evolução da Remediação
  - Águas Subterrâneas
  - Águas Superficiais
- Próximos Passos da Remediação
  - Estabilização dos Centros de Massa
  - Seleção da Alternativa de Tratamento
  - Isolamento de Fonte Remanescente
  - Potenciais Efeitos Colaterais
  - Cronograma PRAC
- Considerações Finais

## Origem da Contaminação



**2000 - 2002**

**Substituição de rota processual  
com disposição em Células de  
Resíduo (sólidos)**

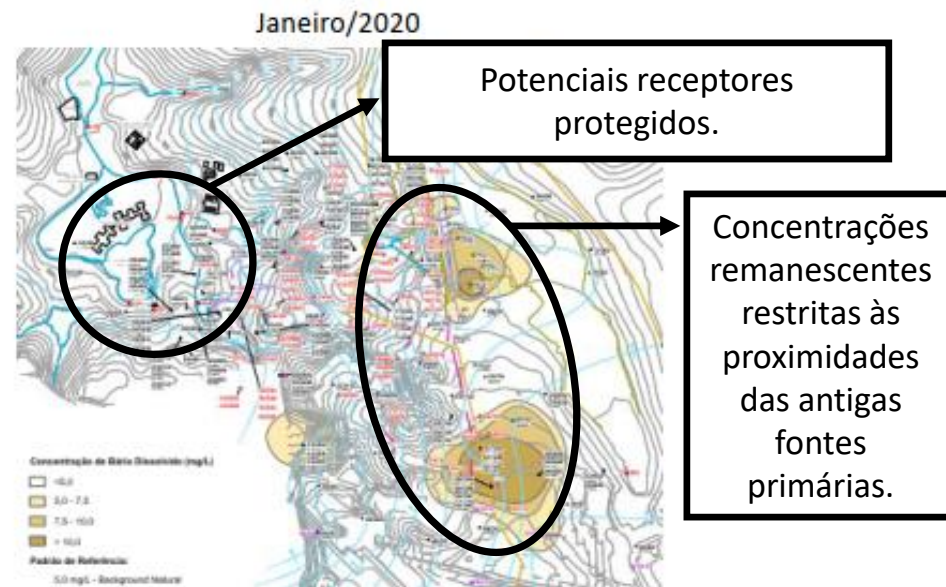
O processo que envolvia o descarte de cloreto de bário solúvel foi substituído, impossibilitando a recarga de fontes primárias.

# Evolução da Remediação – Águas Subterrâneas

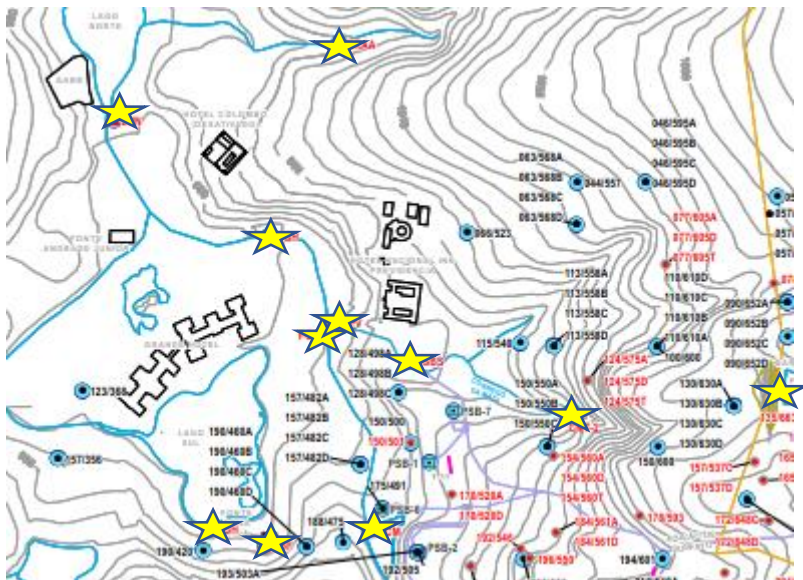
## Resultados Obtidos

Área Inicial (1985) ~1.800.000 m<sup>2</sup>  
Área Atual (2020) ~200.000 m<sup>2</sup>  
~90% de redução

Houve redução da área de ocorrência, propiciando a mudança da escala espacial da remediação, bem como a proteção dos receptores aplicáveis.



# Evolução da Remediação – Águas Superficiais

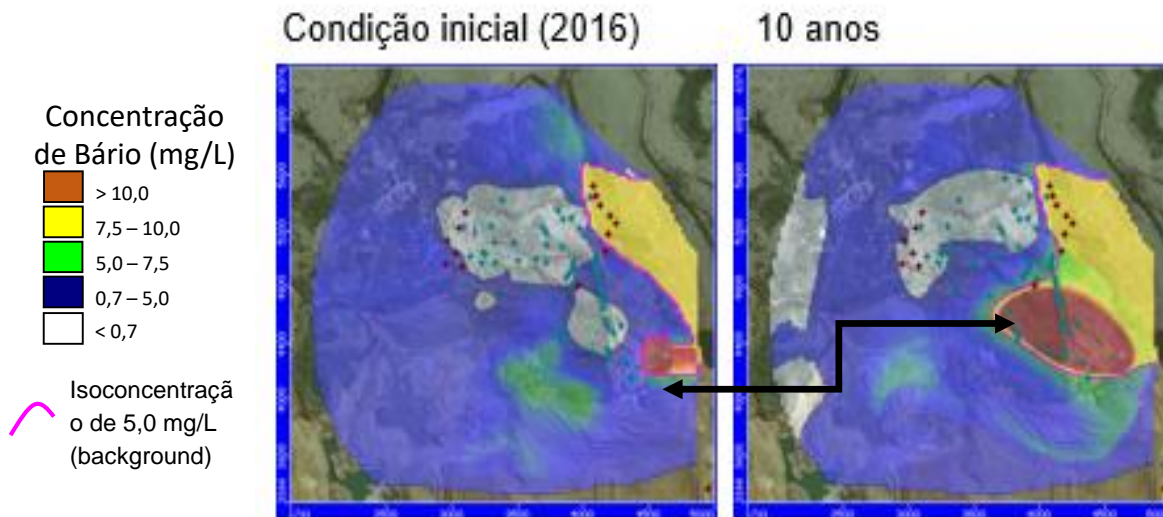


★ Ponto de Amostragem de Águas Superficiais

Ponto Amostrado	Parâmetro		Bário Dissolvido	Sulfato
	Unidade		mg/L	
	LQ		0,010	0,50
	Identificação da Amostra	Data da Coleta	Resultado	
BCM	003-BCM-AF-130120	13/01/2020	3,217	10,74
CGH	008-CGH-AF-130120	13/01/2020	1,540	31,32
CMT-2	011-CMT-2-AF-130120	13/01/2020	0,084	163,43
DBF	004-DBF-AF-130120	13/01/2020	1,579	1,62
DSBS	001-DSBS-AF-130120	13/01/2020	0,222	77,93
DSBS (Réplica)	002-DSBS-AF-130120	13/01/2020	0,221	75,72
FLL	012-FLL-AF-130120	13/01/2020	0,774	5,18
HPV	010-HPV-AF-130120	13/01/2020	0,401	76,73
LGH	005-LGH-AF-130120	13/01/2020	2,266	1,23
LHN	006-LHN-AF-130120	13/01/2020	1,903	25,42
NRAA	007-NRAA-AF-130120	13/01/2020	1,393	2,73
PGH	009-PGH-AF-130120	13/01/2020	3,169	10,97

Todas as amostras de águas superficiais estão enquadradas para o background natural (5 mg/l) de bário (alvo da remediação) e para a referência aplicável (250 mg/l – COPAM 01/2008 – água doce classe 2) ao sulfato (traçador da remediação).

## Próximos Passos da Remediação – Estabilização dos Centros de Massa



A modelagem de transporte aponta para potencial expansão da pluma de bário, na hipótese de não existir contenção à jusante dos centros de massa remanescentes. Por isso, respeitando o princípio da prevenção, essencialmente se buscando a manutenção da condição de proteção dos potenciais receptores, bem como evitar a reincidência de contaminação em regiões já remediadas, a estratégia de remediação proposta contempla sistemas para contenção hidráulica, os quais, adicionalmente, removem massa, promovendo a gradual recuperação do cenário ambiental.

# Próximos Passos da Remediação – Estabilização dos Centros de Massa

## Por que o bombeamento e tratamento? (P&T)

- Garante o controle dos teores remanescentes, evitando que contaminem áreas já remediadas e/ou que descarreguem nos receptores aplicáveis.
- Promove a gradual melhoria do cenário ambiental, de modo que, de acordo com os estudos atuais, dentro de 10 anos, os teores remanescentes não mais caracterizarão riscos aos receptores aplicáveis, mesmo para cenário sem mitigação.
- Gera conhecimento sobre eventuais caminhos preferencias para fluxo mássico nas proximidades dos centros de massa, o que pode subsidiar a futura aplicação, cirúrgica e segura, de técnicas complementares mais incisivas, visando a potencial aceleração do processo.
- Apresenta potenciais efeitos colaterais reversíveis, mais facilmente projetados, monitorados e, caso necessário, mitigados.



# Próximos Passos da Remediação – Estabilização dos Centros de Massa

## Por que o bombeamento e tratamento? (P&T)

- Considerando-se profundidades alvo superiores a 50 m, bem como o contexto geológico de um domo carbonático, a imediata aplicação de técnicas mais agressivas pode ser pouco eficiente e, eventualmente, agravar o cenário por meio da expansão forçada da área contaminada, hoje já reduzida. Isso, seria reflexo da elevação do gradiente hidráulico, bem como do impacto que soluções remediadoras poderiam causar sobre a eficácia dos poços de bombeamento que, nas atuais condições, necessariamente estarão localizados imediatamente à jusante de pontos de infiltração.
- Considerando-se que os receptores pertinentes estão protegidos, considerando-se também que no atual cenário não existem restrições de uso a terceiros e ainda que o horizonte atualmente estimado para operação da remediação é muito inferior à vida útil do empreendimento, a imediata assunção de maiores riscos, buscando aceleração, não é justificável. Entende-se, assim, que o plano de remediação apresentado seja mais seguro, atendendo, em primeiro lugar, ao princípio da precaução. Ressalta-se que a constante busca de soluções que venham a se mostrar mais eficazes, enquanto seguras, é parte do compromisso assumido junto às autoridades ambientais.

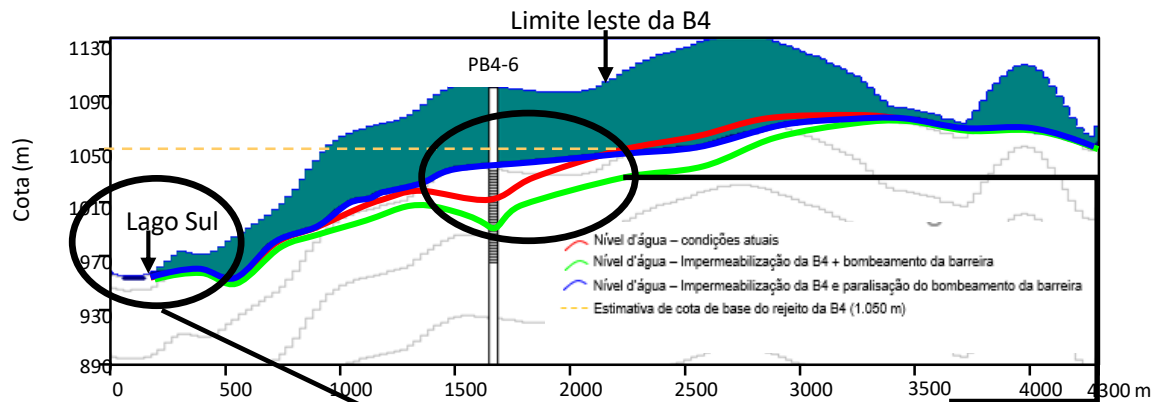
# Próximos Passos da Remediação – Seleção da Alternativa de Tratamento

Ensaio realizados nas Universidades de Hull e Nottingham avaliaram as soluções remediadoras a seguir:

- Aeração – Alternativa 1 – **Não foi eficaz no abatimento do bário.**
- Precipitação com Carbonato de Sódio – Alternativa 2 – **Eficaz no abatimento do bário, mas com potencial aumento do pH e consequente precipitação de hidróxidos de metais. Com a neutralização do pH, o bário pode ser novamente solubilizado em forma dissolvida.**
- Adsorção com Nanopartículas de Ferro Zero Valente – Alternativa 3 – **Baixa eficácia no abatimento do bário.**
- Precipitação com Sulfato de Sódio – Alternativa 4 – **Eficaz no abatimento do bário, com determinação de dosagem ótima de 0,5 g/l. A barita, mineral resultante desta reação, é natural da região e estável em diferentes condições de pH.**

Concluiu-se, portanto, que a utilização do sulfato de sódio nas dosagens ótimas determinadas pelos ensaios foi a alternativa técnica que se mostrou mais vantajosa em relação às opções apresentadas levando em conta a eficiência de remoção de bário nas águas do site, a aplicabilidade em escala e aspectos ambientais.

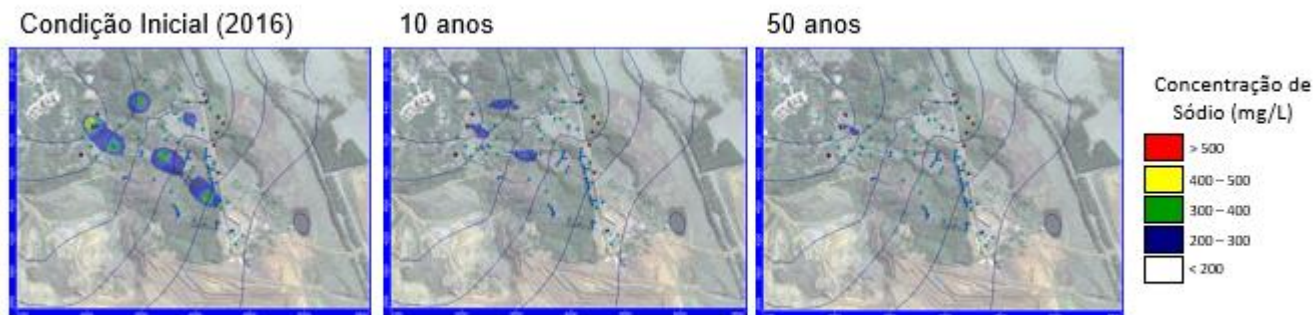
## Próximos Passos da Remediação – Isolamento da Fonte Remanescente



A modelagem projeta que as ações tomadas não devem impactar cargas hidráulicas na margem oposta do córrego Baritina. Isso indica baixo potencial de impacto na fonte Dona Beja.

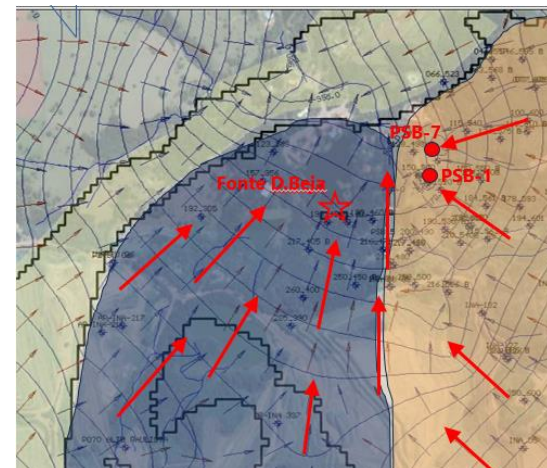
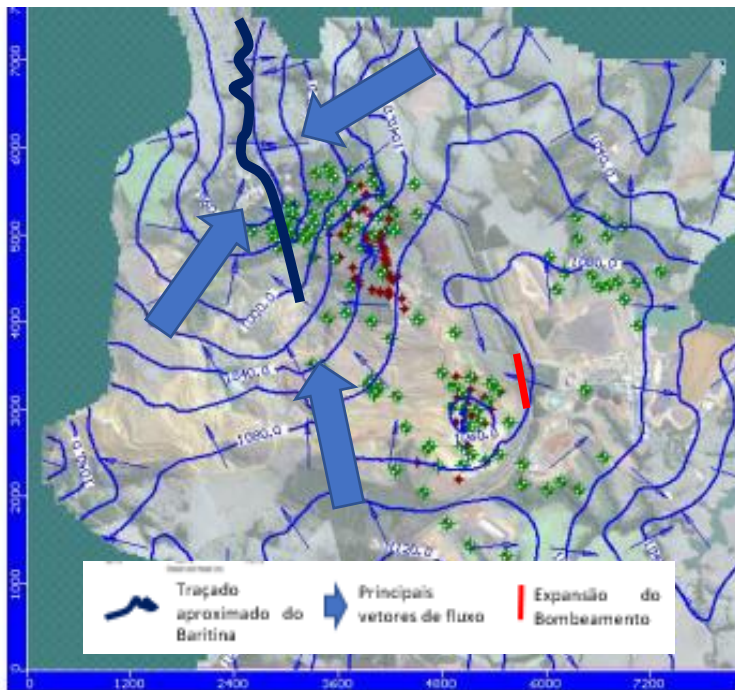
A impermeabilização da B4, conjugada à continuidade do bombeamento, proporcionará o rebaixamento local do nível d'água, evitando que as águas subterrâneas tenham contato com a base do rejeito, extinguindo esta fonte remanescente.

## Próximos Passos da Remediação – Potenciais Efeitos Colaterais



A transição da estratégia de remediação, que deixa de promover a injeção de sulfato de sódio e foca na contenção hidráulica, deve proporcionar a redução de teores residuais dos remediadores, os quais constituirão plumas sem a capacidade de deslocamento, em contínua contração. Deste modo, as mesmas não representarão riscos potenciais para os receptores aplicáveis.

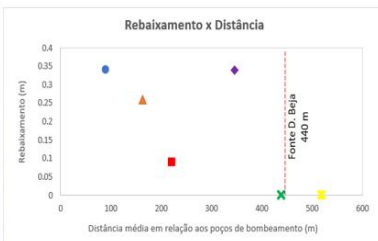
## Próximos Passos da Remediação – Potenciais Efeitos Colaterais



(Modelo Hidrogeológico – Gomes, 2017)

A expansão do bombeamento, em relação à situação atual, terá impacto restrito frente à dinâmica de fluxo do domo, especialmente na margem oposta do Baritina, que atua como zona de descarga para o aquífero que migra no alterito marrom.

# Próximos Passos da Remediação – Potenciais Efeitos Colaterais

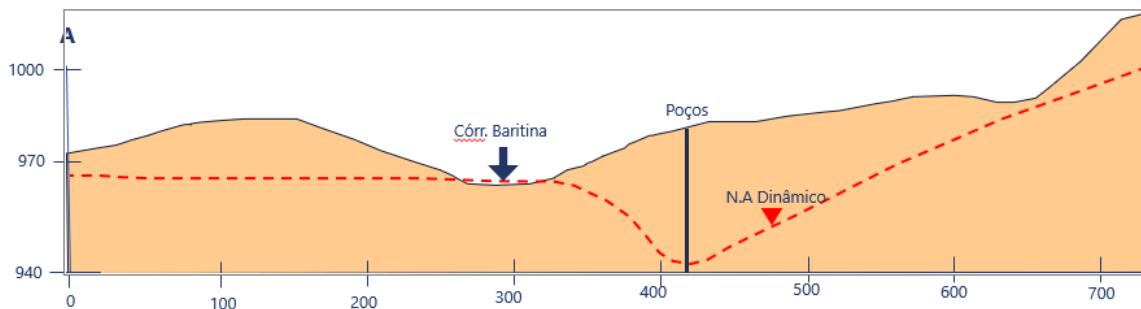


150/500 ●  
157/482 ▲  
175/491 ▼  
190/460 ◆  
216/460 ×  
190/420 \*

Pré-Teste



Pós-Teste

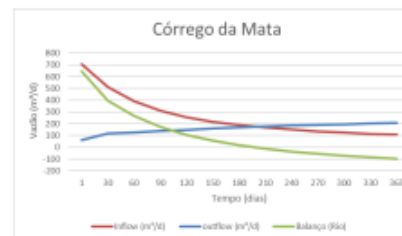
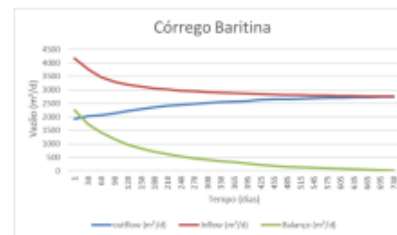


**B** Ensaio de aquífero, com duração de 1440 min, contemplando o bombeamento dos poços PBS-01 e 07, nas vazões de outorga, e acompanhamento de 6 poços de observação equipados com transdutores de pressão, com leituras a cada minuto. Os resultados são consistentes com o modelo hidrogeológico, indicando a baixa influência na margem oposta do Baritina.



# Próximos Passos da Remediação – Potenciais Efeitos Colaterais

- **Córrego Baritina:** aproximadamente 2 anos após o início do bombeamento das barreiras é esperado que o déficit hídrico atinja cerca de 93 m<sup>3</sup>/h;
- **Córrego da Mata:** aproximadamente 1 ano após o início é esperado que o déficit hídrico atinja 30 m<sup>3</sup>/h;
- **Córrego a norte (ponto de coleta NRAA):** não é esperado impacto sobre esse córrego.

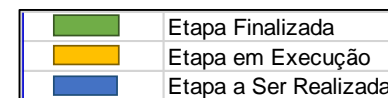


Os impactos foram simulados para situação limite, incluindo o bombeamento dos poços PBS-02 e 03, para contenção emergencial. De qualquer forma, o início do bombeamento adicional ocorrerá de forma escalonada, de modo que os eventuais impactos possam ser monitorados e, se necessário, mitigados prontamente. Aqui, é importante destacar que a infraestrutura para mitigação, que envolve a reintrodução de águas tratadas, já está pronta e operante, portanto, o tempo de resposta, em caso de necessidade, será imediato. Caso o início escalonado indique a possibilidade de impactos não previstos, tal fato será de imediato comunicado e endereçado, conforme condicionante 7 do parecer IGAM.

## Próximos Passos da Remediação – Cronograma PRAC



O cronograma do PRAC foi acordado junto às autoridades competentes. Sua evolução é periodicamente reportada/discutida junto às mesmas.





## Considerações Finais

- O processo de remediação empregado foi bem sucedido, tendo proporcionado o abatimento das concentrações de bário, bem como a redução de sua distribuição espacial.
- A transição da estratégia de remediação reflete esta evolução, sendo que, neste momento, é possível empregar o bombeamento focado, que proverá controle dos riscos potenciais, bem como a melhoria contínua do cenário ambiental, substituindo a infiltração de remediadores no aquífero, com efeitos colaterais gerenciáveis, reversíveis e menos intensos frente às alternativas disponíveis.
- De qualquer modo, alternativas de remediação mais eficazes devem ser constantemente procuradas e, caso sejam detectadas opções viáveis, especialmente em termos de escalabilidade e segurança, deverão ser aplicadas.
- Independentemente desta ativa procura por alternativas mais eficazes, as contenções hidráulicas ora propostas devem ser mantidas/implementadas, visto seu imprescindível papel no controle da potencial dispersão dos centros de massa residuais e de seus consequentes desdobramentos, a saber:
  - Nova contaminação de setores já remediados.
  - Potencial impacto aos receptores aplicáveis.

# Obrigado!



*Formerly Geoklock*

## **EBP Brasil**

**Victor Vanin Sewaybricker**  
**Avenida das Nações Unidas**  
**14261, Ala A1, 16º Andar**  
**São Paulo, SP, Brasil**

Telefone +55 11 4081 7922

Celular +55 11 98451 0576

[victor.vanin@ebpbrasil.com.br](mailto:victor.vanin@ebpbrasil.com.br)

[www.ebpbrasil.com.br](http://www.ebpbrasil.com.br)