

**2º Workshop Paranaense sobre Áreas Contaminadas**  
Aplicação de Ferramenta de Alta Resolução para  
Delimitação de Alvo de Remediação  
**Henrieth Oliveira**

**GEOKLOCK**

A company of **EBP**

## ROTEIRO

---

- Contextualização do Caso
- Diagnóstico Complementar – Ferramentas Tradicionais
- Investigação com Ferramenta de Alta Resolução
- Conclusões



## Contextualização do Caso

## CONTEXTUALIZAÇÃO DO CASO

---

- *Site* Antigo
- Contaminação por compostos halogenados
- Hidrogeologia complexa
- Remediação tradicional: **P&T**



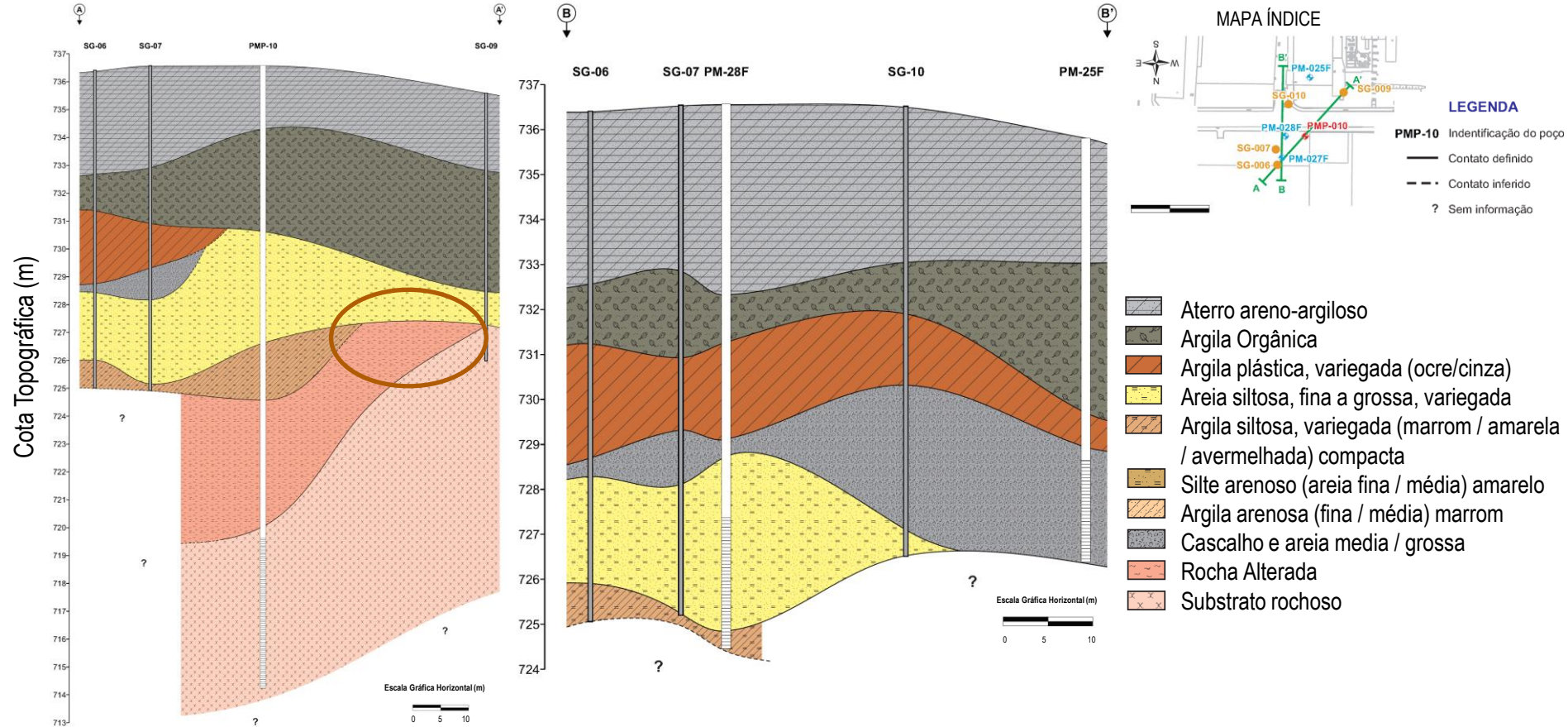
---

## Diagnóstico Complementar – Ferramentas Tradicionais

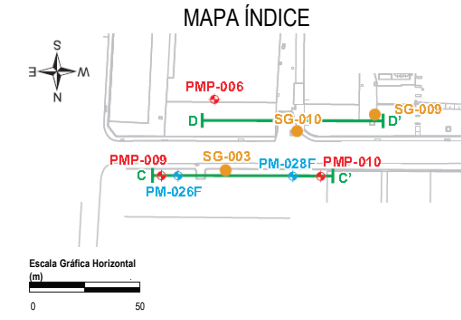
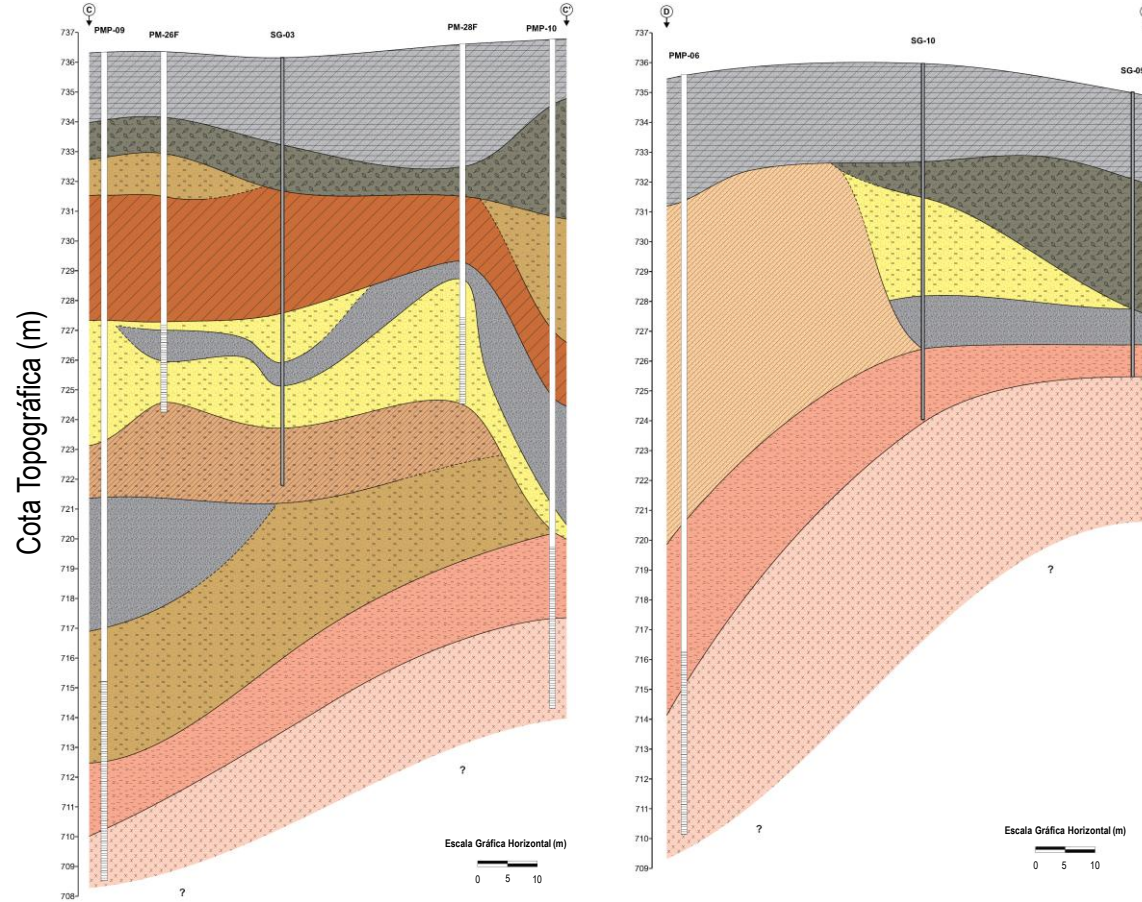
---



## DIAGNÓSTICO COMPLEMENTAR – FERRAMENTAS TRADICIONAIS



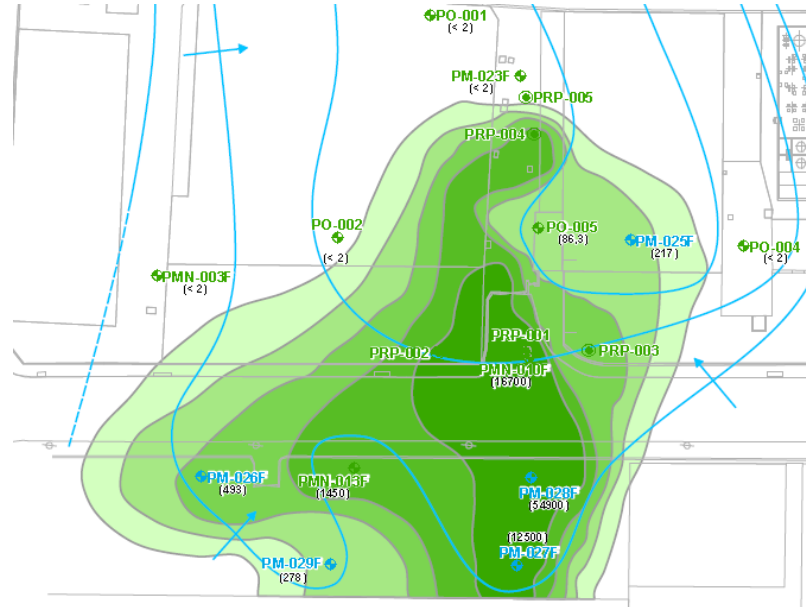
## DIAGNÓSTICO COMPLEMENTAR – FERRAMENTAS TRADICIONAIS



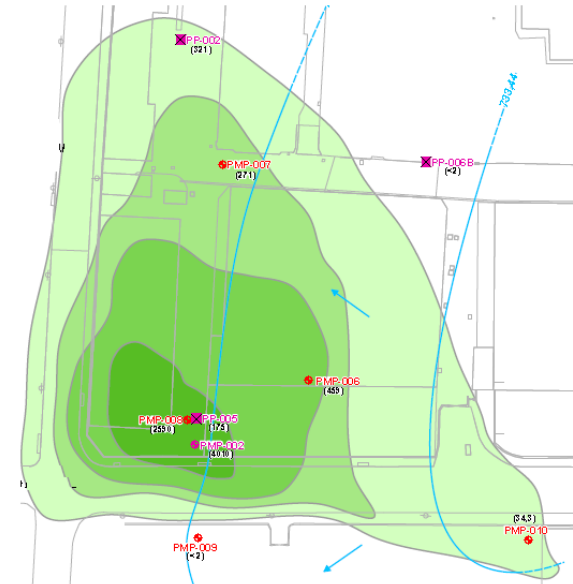
- LEGENDA**
- PMP-10** Identificação do poço
  - Contato definido
  - - - Contato inferido
  - ? Sem informação
- Aterro areno-argiloso
  - Argila Orgânica
  - Argila plástica, variegada (ocre/cinza)
  - Areia siltosa, fina a grossa, variegada
  - Argila siltosa, variegada (marrom / amarela / avermelhada) compacta
  - Silte arenoso (areia fina / média) amarelo
  - Argila arenosa (fina / média) marrom
  - Cascalho e areia media / grossa
  - Rocha Alterada
  - Substrato rochoso

## DIAGNÓSTICO COMPLEMENTAR – FERRAMENTAS TRADICIONAIS

### Aq. Semiconfinado (paleocanal)



### Aq. Cristalino





## DIAGNÓSTICO COMPLEMENTAR – FERRAMENTAS TRADICIONAIS

---

### Ferramentas Tradicionais:

- Diagnóstico efetivo para refinamento do modelo conceitual
- Importante para atestar a eficiência hidráulica da medida de intervenção em operação

Limitado para definição do  
volume alvo de intervenção  
para saneamento das  
fontes secundárias



**Aplicação de Ferramenta  
de Alta Resolução!**



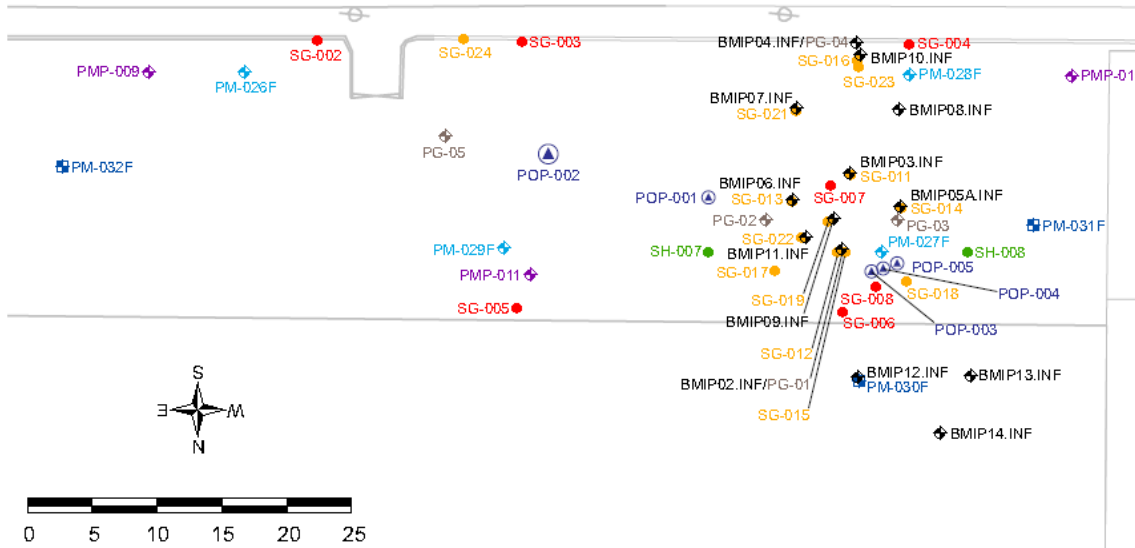
---

## Investigação com Ferramenta de Alta Resolução

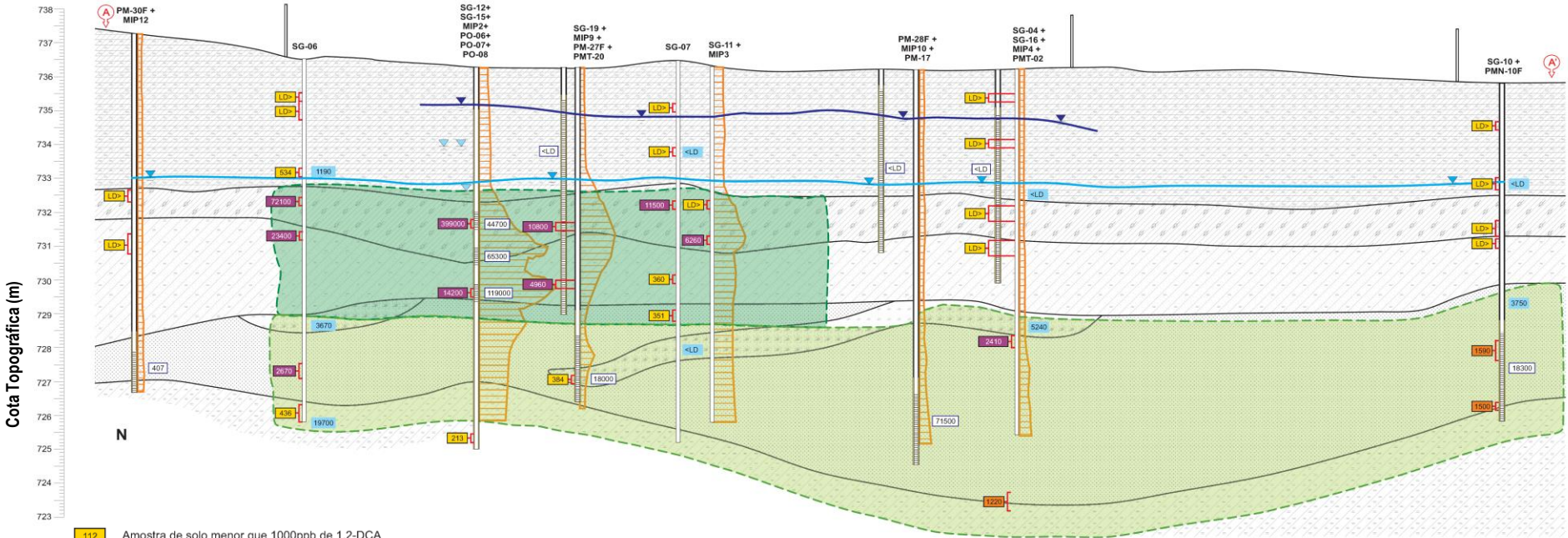
---

## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO

### Zona Alvo de Investigação



## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO

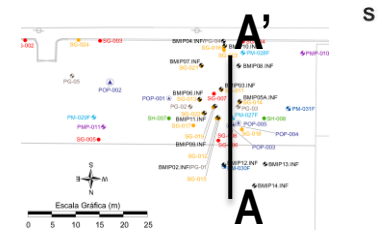


Cota Topográfica (m)

- 112 Amostra de solo menor que 1000ppb de 1,2-DCA
- 1500 Amostra de solo entre 1000-2000ppb de 1,2-DCA
- 2670 Amostra de solo maior que 2000ppb de 1,2-DCA
- 566 Amostra de água de sondagem GEOPROBE. Resultado de 1,2-DCA em ppb
- 112 Amostra de água de poço de monitoramento. Resultado de 1,2-DCA em ppb
- |— Intervalo amostrado
- |— Superfície potenciométrica do aquífero semi-confinado (m)
- |— Superfície potenciométrica do aquífero suspenso
- |— Nivel d'água - Zona de Fonte Secundária.

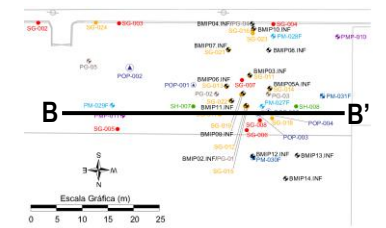
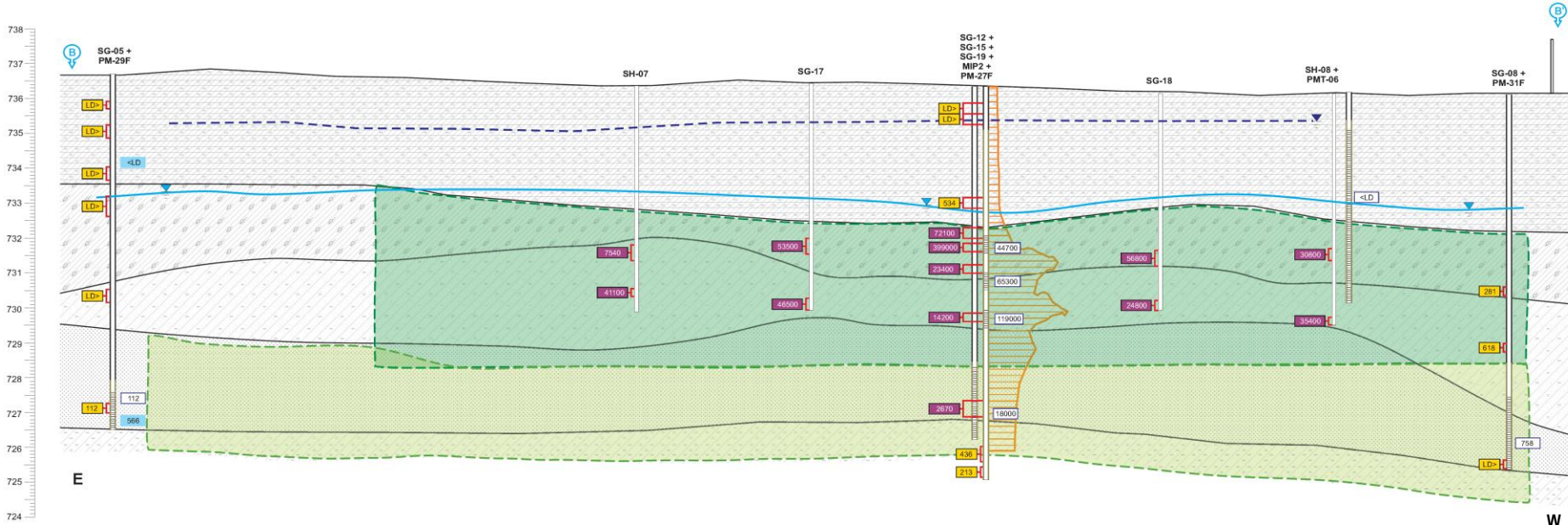
- |— Nivel freático (m)
- Contato definido
- Contato inferido
- |— Resposta MIP do sensor XSD (1cm=35500µV)
- Área de intervenção no Aquífero livre (meta 2000ppb de 1,2-DCA)
- Área de intervenção no Aquífero semi-confinado (meta 850ppb de 1,2-DCA)

- Aterro areno-argiloso
- Argila Orgânica
- Argila plástica, variegada (ocre/cinza)
- Areia silto-argilosa
- Cascalho
- Silte/Argila compacta

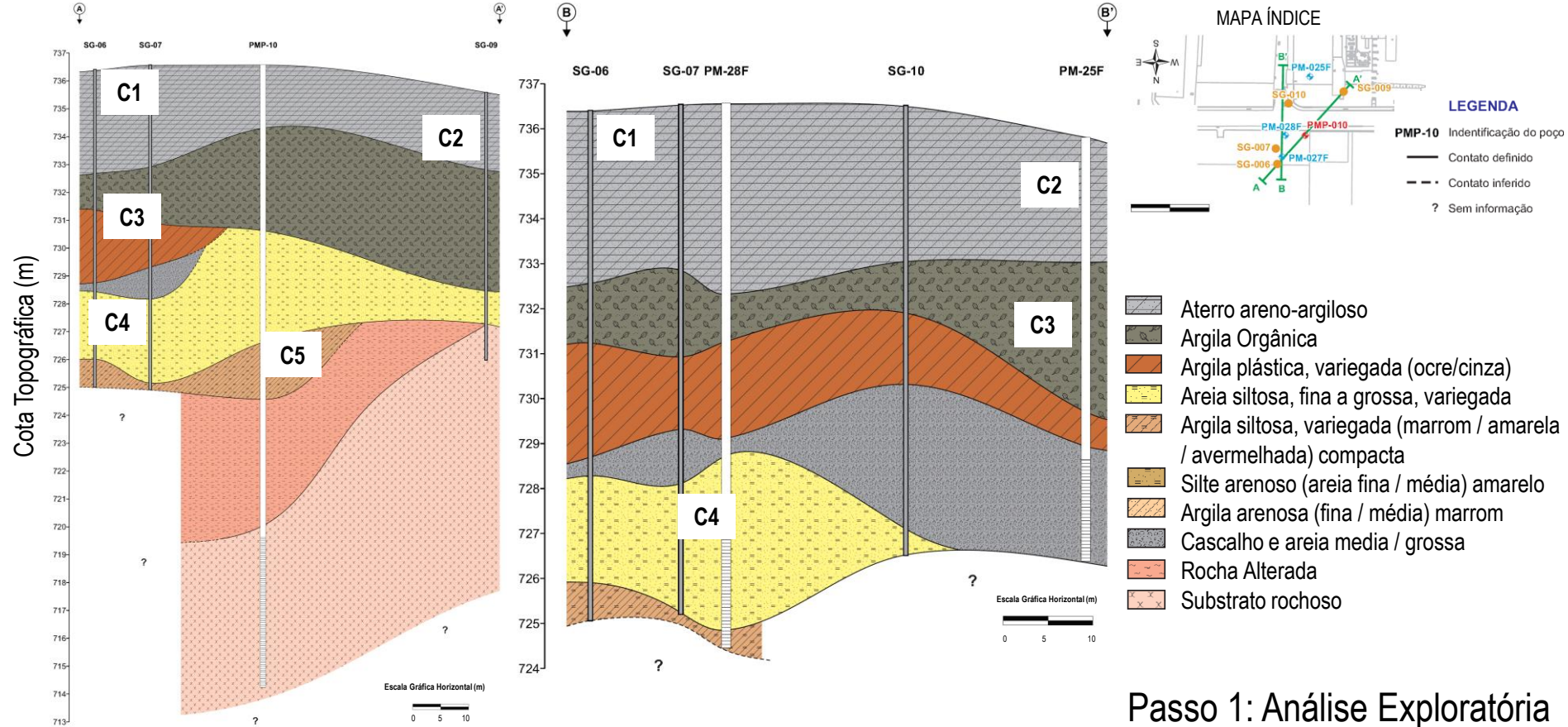




## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO



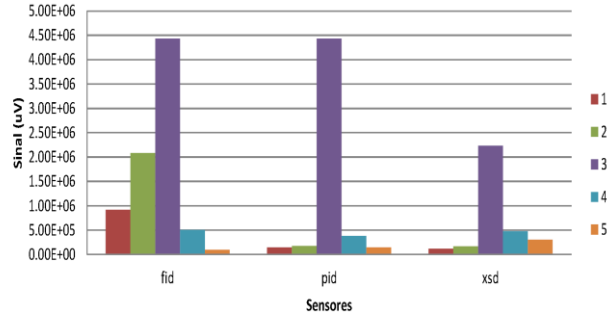
## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO



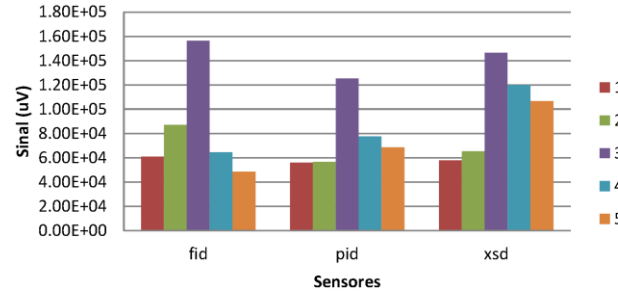
Passo 1: Análise Exploratória

## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO

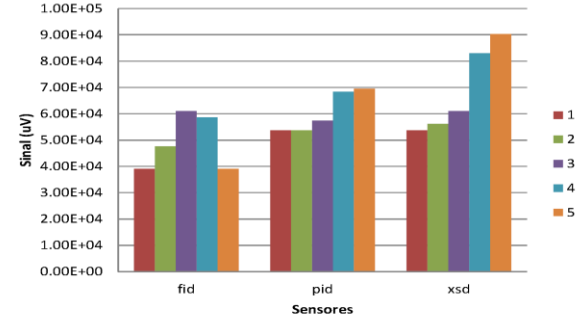
Sensores FID, PID e XSD - Sinais Máximos Por Horizonte Hidrogeológico



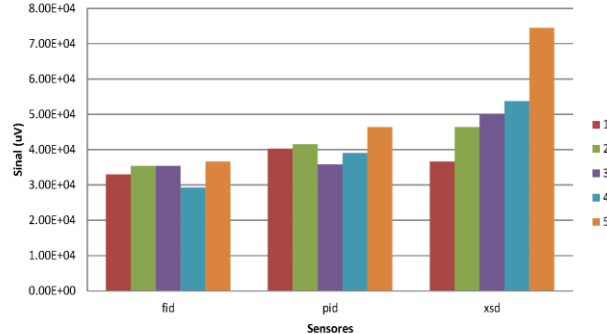
Sensores FID, PID e XSD - Média dos Sinais Por Horizonte Hidrogeológico



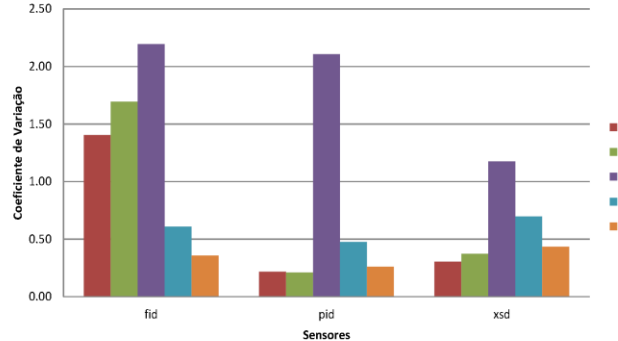
Sensores FID, PID e XSD - Mediana dos Sinais Por Horizonte Hidrogeológico



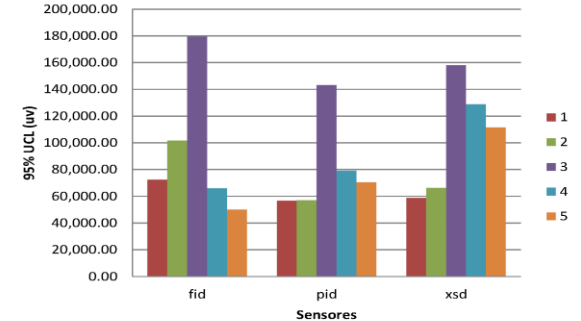
Sensores FID, PID e XSD - Sinais Mínimos Por Horizonte Hidrogeológico



Sensores FID, PID e XSD Coeficiente de Variação Por Horizonte Hidrogeológico



Sensores FID, PID e XSD - 95% UCL Por Horizonte Hidrogeológico



## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO

$$IGWSRS = C_{gw} \left\{ (K_{oc} f_{oc}) + \frac{\theta_w + \theta_a H'}{\rho_b} \right\} DAF$$

*IGWSRS* = Impact-to-ground water soil remediation standard (mg/kg)

$C_{gw}$  = Ground Water Quality Criterion (mg/L)

$f_{oc}$  = organic carbon content of soil (kg/kg)

$K_d$  = soil-water partition coefficient (L/kg)

$\theta_w$  = water-filled soil porosity ( $L_{water}/L_{soil}$ )

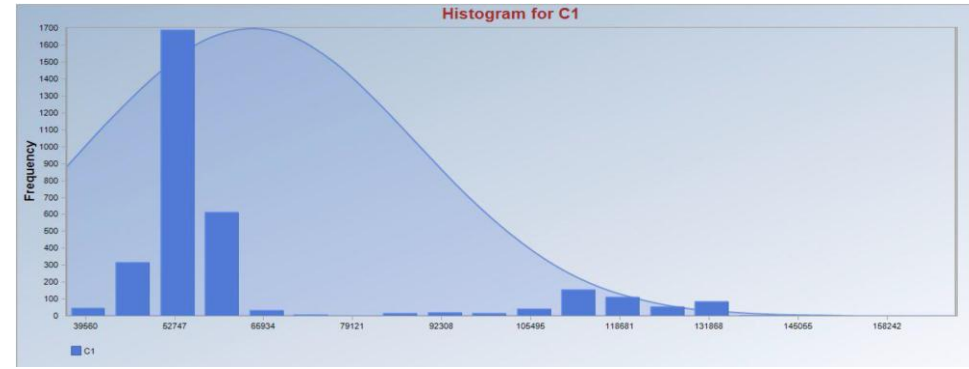
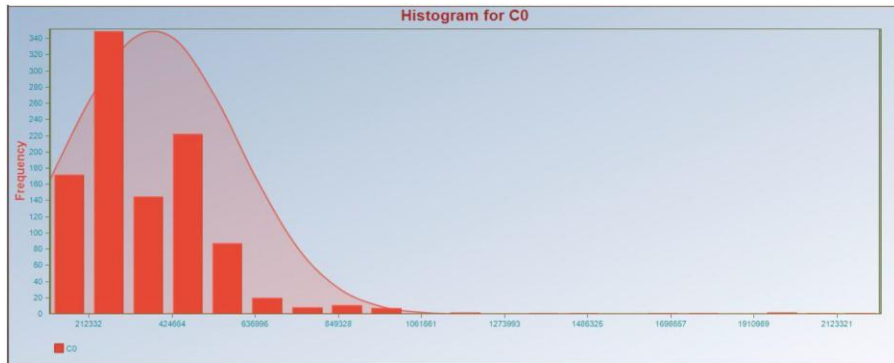
$\theta_a$  = air-filled soil porosity ( $L_{air}/L_{soil}$ )

$H'$  = Henry's law constant (dimensionless)

$\rho_b$  = dry soil bulk density (kg/L)

*DAF* = dilution-attenuation factor

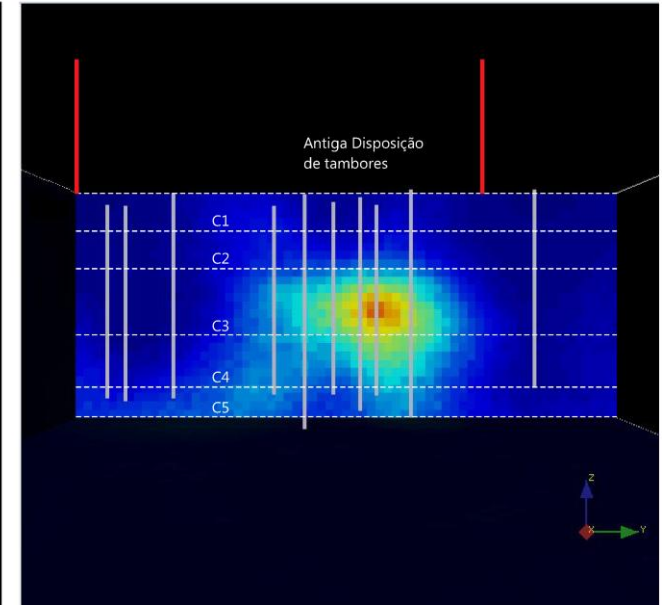
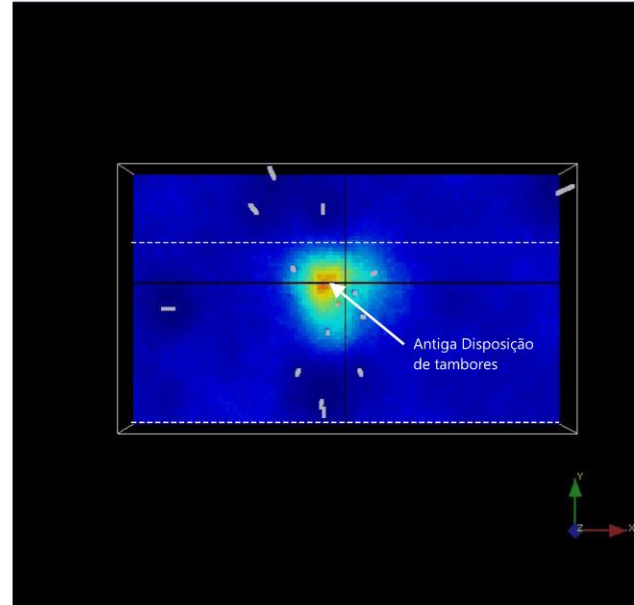
TEORES DE CORTE			
VALOR (uV)	PARÂMETRO	RAZÃO	RESTRITIVIDADE
64.992	95% UCL dos sinais em zona abaixo da meta	Trata-se do corte mais conservador, pois assume o valor que não foi superado pela média dos sinais em 2000 simulações randômicas	Muito elevada
111.111	Sinal mínimo em zona acima da meta	Assume que sinais superiores ao mínimo observado na zona acima da meta já seriam indícios de concentrações de 1,2-Dicloroetano desenquadradas	Elevada
151.404	Média dos percentis 5% e 95%	Assume que sinais superiores à média computada entre os 5% menores da zona acima da meta e os 5% maiores da zona abaixo da meta representariam indício de contaminação por 1,2-Dicloroetano superior à meta para solo	Balanceda



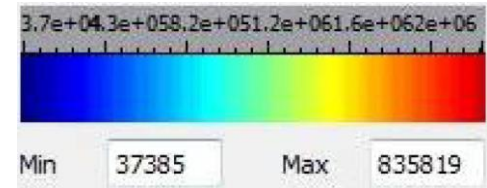


## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO

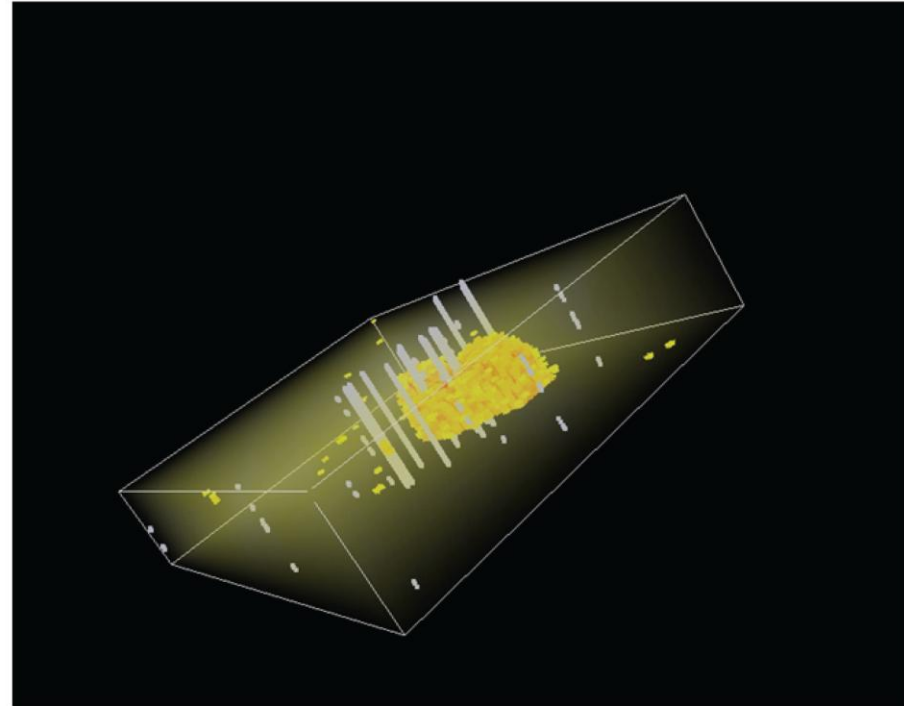
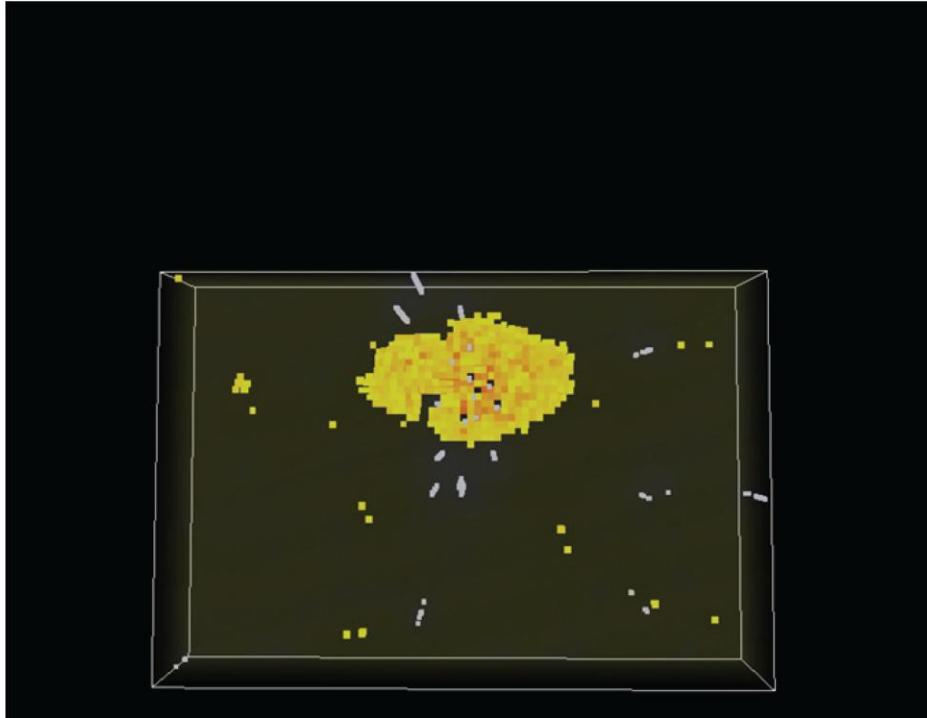
Resultado da simulação de 100 cenários equiprováveis a partir da variável “sinais XSD”



PASSO 2- SIMULAÇÃO SEQUENCIAL GAUSSIANA



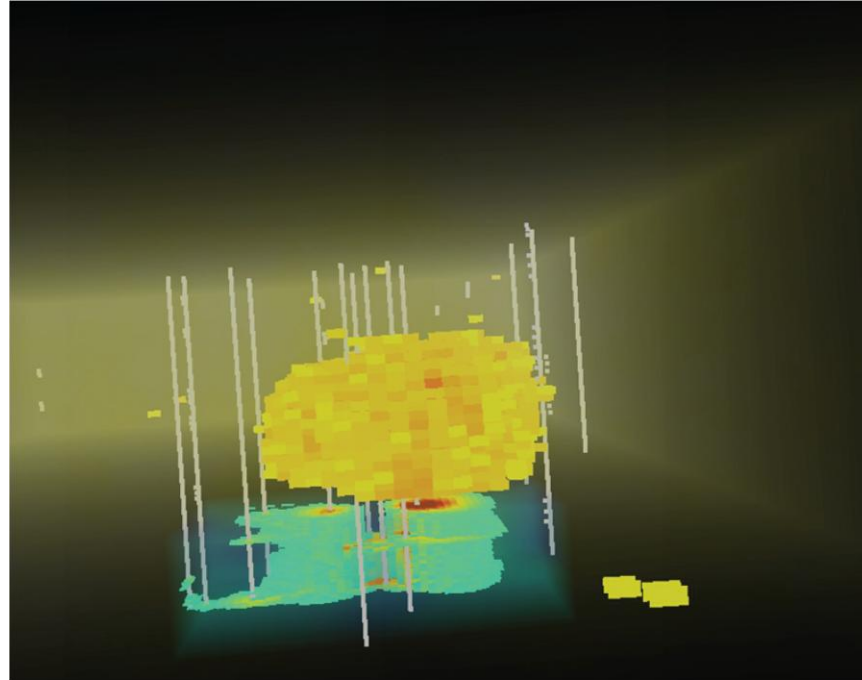
## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO



PASSO 3 – SIMULAÇÃO SEQUENCIAL DA INDICATRIZ

Resultado da simulação de 100  
cenários equiprováveis

## INVESTIGAÇÃO COM FERRAMENTA DE ALTA RESOLUÇÃO



PASSO 4 – RECARGA MÁSSICA DA ARGILA ORGÂNICA (FONTE SECUNDÁRIA) P/ O PALEOCANAL



---

# CONCLUSÕES

---



## CONCLUSÕES

---

- Estudo detalhado do volume de fonte secundária
- Estimativa do Grau de incerteza relacionado ao mapeamento efetuado
- Redução em 70% do volume alvo de remediação em relação ao estimado via diagnóstico tradicional



**Obrigada!**

[henrieth.oliveira@geoklock.com.br](mailto:henrieth.oliveira@geoklock.com.br)

Compromisso com o Meio Ambiente

**GE●KLOCK**

A company of **EBP** ©

[geoklock.com.br](http://geoklock.com.br)