

---

**PHA-3523**

**TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS**

**AULA I – APRESENTAÇÃO E CONCEITOS**

José Carlos Mierzwa  
Rachel Biancalana Costa

# REFERÊNCIAS

- FIESP/CIESP – Áreas contaminadas: Informações básicas. Novembro de 2014 (<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/cartilha-areas-contaminadas-2014/attachment/areas-contaminadas-informacoes-basicas/>);
- CETESB – Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. CETESB. GTZ. 2ª Edição. 2001 (<http://200.144.0.248/DOWNLOAD/CERTIFICADOS/AC2019/Manual%20Cetesb%20Completo.pdf>);
- IPT – Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. 1ª Edição revisada. Org. Sandra Lúcia de Moraes; Cláudia Echevengúá Teixeira; Alexandre Magno de Souza Maximiano. São Paulo, 2014 ([https://www.ipt.br/download.php?filename=1159-Guia\\_\\_\\_Gerenciamento\\_de\\_Areas\\_Contaminadas\\_\\_\\_1a\\_edicao\\_revisada.pdf](https://www.ipt.br/download.php?filename=1159-Guia___Gerenciamento_de_Areas_Contaminadas___1a_edicao_revisada.pdf));
- EPA – Cleaning up the nation's waste sites. Markets and technology trends. EPA 542-R-04-015. September 2004 (<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30006113.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000008%5C30006113.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>)

# REVISÃO DE CONCEITOS DEFINIÇÕES

## ■ Contaminação

- “Presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico” (definição [CONAMA 420/2009](#))

# REVISÃO DE CONCEITOS DEFINIÇÕES

- Contaminação
  - “Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico” (definição CONAMA 420/2009)
- Bens a proteger
  - Saúde e bem-estar da população
  - Fauna e flora
  - Qualidade do solo, das águas e do ar
  - Interesses de proteção à natureza/paisagem
  - Ordenação territorial e planejamento regional e urbano
  - Segurança e ordem pública

# REVISÃO DE CONCEITOS DEFINIÇÕES

## ■ Contaminação

- “Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico” (definição CONAMA 420/2009)
- “Área contaminada é um local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que ali foram depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.”

## CAUSAS DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO

- Disposição de resíduos no solo sem a devida proteção;
- Tanques de armazenagem subterrâneos ou superficiais, sem bacias de contenção;
- Aplicação de insumos e outros defensivos agrícolas;
- Pilhas de minério, rejeitos e outros materiais;

# CAUSAS DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO

- Barragem de rejeitos de áreas de mineração;
- Áreas industriais em geral;
- Vazamentos de tubulações subterrâneas, oleodutos, rede de esgoto, etc.;
- Drenagem superficial de áreas industriais;
- Universidades e Centros de Pesquisa;
- Etc...

## IMPLICAÇÕES DA EXISTÊNCIA DE AC

- Comprometem a qualidade do solo e da água subterrânea;
- Pode resultar na emissão de poluentes para atmosfera ou ambiente construído;
- A contaminação pode se propagar para outras regiões e contaminar corpos hídricos superficiais;
- O cultivo de determinadas espécies no local pode resultar no acúmulo de poluentes e contaminação dos consumidores.

# RELEVÂNCIA DAS ÁREAS CONTAMINADAS NO PLANEJAMENTO URBANO

- Alteração do padrão de uso e ocupação do solo:
  - Expansão urbana;
  - Transformação de áreas de uso industrial ou agrícola em áreas urbanas;
  - Exposição da população à diversos poluentes;
    - Água contaminada;
    - Emissão de gases



Fonte: Saniplan Engenharia e Serviços Ambientais  
([www.saniplancom.br](http://www.saniplancom.br))



<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/ri1105201001.htm>



<http://teachingsofmerlin.wordpress.com/tag/mine-tailings/>

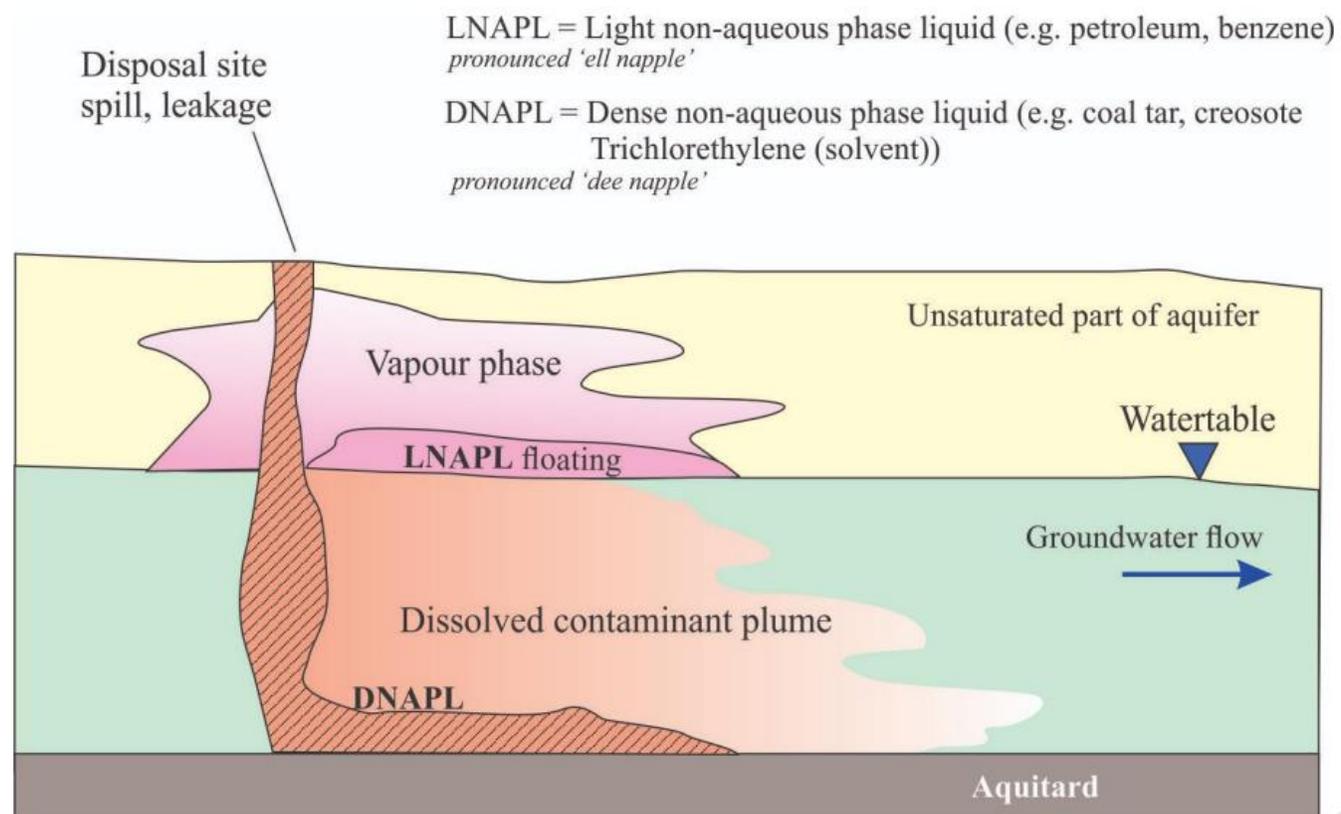


<http://illinois.edu/blog/view/789/52217?displayType=month&displayMonth=201104>

## TIPOS DE CONTAMINANTES

- Solventes orgânicos, combustíveis e óleos lubrificantes
  - Lavanderias à seco, postos de combustível, refinarias de petróleo, indústrias diversas, usinas termelétricas, etc.
- Os solventes orgânicos podem ser classificados de acordo com sua densidade
  - Fase líquida não aquosa densa (DNAPL, na sigla em inglês)
  - Fase líquida não aquosa leve (LNAPL, na sigla em inglês)

# TIPOS DE CONTAMINANTES



Contaminantes orgânicos podem ser classificados em função de sua densidade

## TIPOS DE CONTAMINANTES

- Podem ainda ser encontradas as seguintes classificações
  - Compostos orgânicos voláteis;
  - Compostos orgânicos semivoláteis;
  - Compostos orgânicos halogenados
  - BTEX (Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno, Xileno)
  - Hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH na sigla em inglês)
- Contaminantes inorgânicos
  - Metais pesados - Arsênio, chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg)

# TIPOS DE CONTAMINANTES

- Podem ainda ser encontradas as seguintes classificações

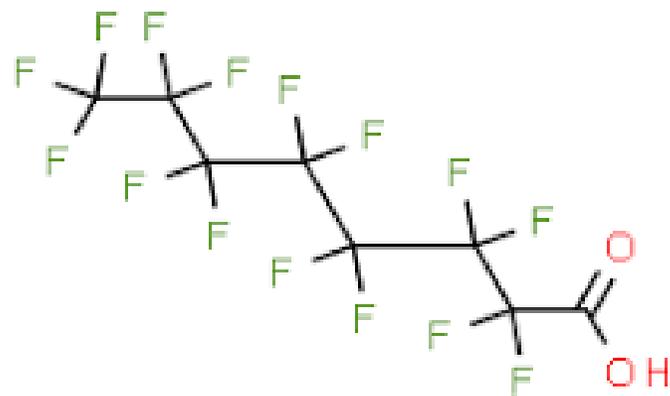
- Compo

- Compo

- Compo

- BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno)

- Hidroca



io, Xileno)

; (TPH na sigla em inglês)

- Contami **Ácido perfluorooctanoico**

- Metais pesados - Arsênio, chumbo (Pb), Cádmio (Cd)



**Poluentes emergentes**  
(ex: PFOA)

# TIPOS DE CONTAMINANTES

COMPOSTO	MASSA ESPECÍFICA (g/cm <sup>3</sup> )	SOLUBILIDADE EM ÁGUA [mg/L (TEMPERATURA °C)]
<b>LNAPL</b>		
Acetona	0,79	Infinita
Benzeno	0,88	1.780 (20)
Etilbenzeno	0,87	140 (15), 152 (20)
Cloreto de vinila	0,91	1,1 (25)
Metiletilcetona	0,81	353 (10)
Tolueno	0,87	470 (16), 515 (20)
p-Xileno	0,86	198

COMPOSTO	MASSA ESPECÍFICA (g/cm <sup>3</sup> )	SOLUBILIDADE EM ÁGUA [mg/L (TEMPERATURA °C)]
<b>DNAPL</b>		
Tetracloroeto de carbono	1,59	800 (20), 1.160 (25)
Clorofórmio	1,48	8.000 (20), 9.300 (25)
Cloreto de metileno	1,33	20.000 (20), 16.700 (25)
Clorobenzeno	1,11	500 (20), 488 (30)
Hexaclorobenzeno	1,60	0,11 (24)
Cloreto de etileno	1,24	9.200 (0), 8.690 (20)
1,1,1-Tricloroetano	1,34	4.400 (20)
1,1,2-Tricloroetano	1,44	4.500 (20)
Tricloroetileno	1,46	1.100 (25)
Tetracloroetileno	1,62	150 (25)
Fenol	1,07	82.000 (15)
2-Clorofenol	1,26	28.500 (20)
Pentaclorofenol	1,98	5 (0), 14 (20)
Naftaleno	1,03	32 (25)

# REVISÃO DE CONCEITOS

## TIPOS DE CONTAMINANTES

POSIÇÃO	COMPOSTO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO
1	Tricloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
2	Chumbo	Gasolina, mineração, manufatura
3	Tetracloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
4	Benzeno	Gasolina, manufatura
5	Tolueno	Gasolina, manufatura
6	Cromo	Chapeamento de metal
7	Cloreto de metileno	Desengraxantes, solventes, removedores
8	Zinco	Manufatura, mineração
9	1,1,1-Tricloroetano	Limpeza de plástico e metal
10	Arsênio	Mineração, manufatura
11	Clorofórmio	Solventes
12	1,1-Dicloroetano	Desengraxantes, solventes
13	1,2-Dicloroetano, trans-	Subproduto de 1,1,1-Tricloroetano
14	Cádmio	Mineração, chapeamento
15	Manganês	Manufatura, mineração
16	Cobre	Manufatura, mineração
17	1,1-Dicloroetano	Manufatura
18	Cloreto de vinil	Manufatura de plásticos
19	Bário	Manufatura, produção de energia
20	1,2-Dicloroetano	Desengraxantes, removedores

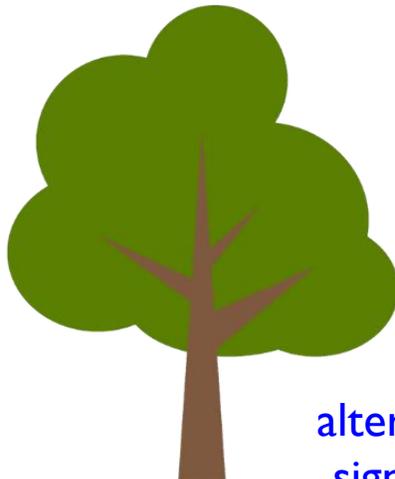
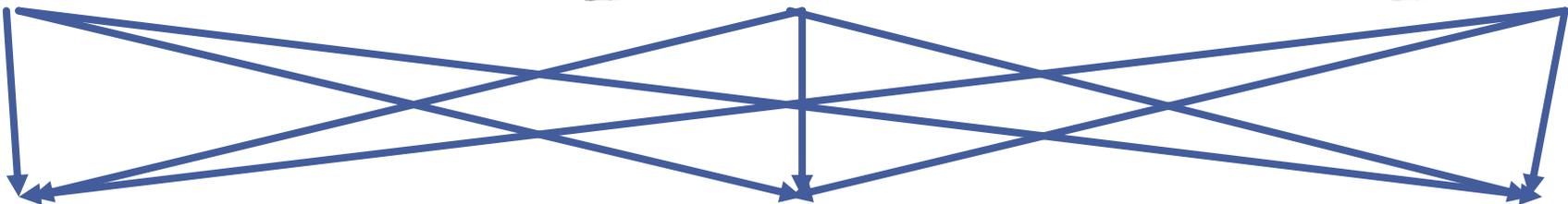
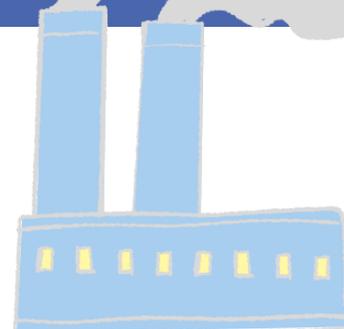
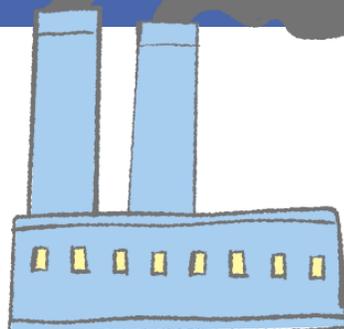
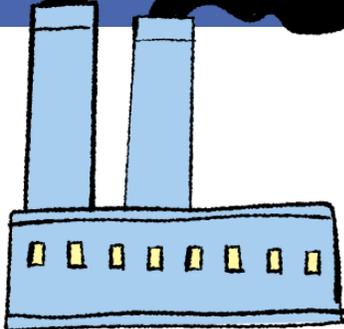
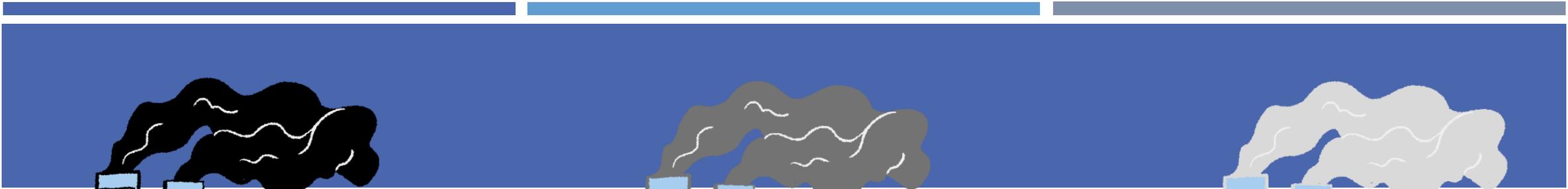
Poluentes orgânicos

Poluentes inorgânicos

## NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

A partir de qual concentração/nível de poluente no solo há restrição de uso ou risco para a saúde humana ou flora/fauna?

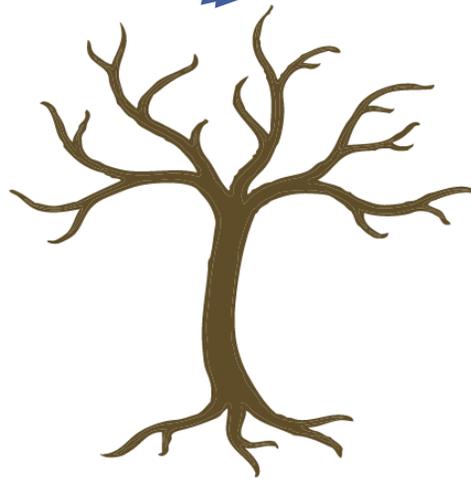
○ que significa “restrição do recurso ambiental” na definição de contaminação?



Ideal  
alteração não  
significativa



Admissível = f (PQ)



## NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

A partir de qual concentração/nível de poluente no solo há restrição de uso ou risco para a saúde humana ou flora/fauna?

○ que significa “restrição do recurso ambiental” na definição de contaminação?

Os padrões de qualidade estabelecem os limites admissíveis para as alterações sobre o meio provocadas pelas atividades humanas.

# LEGISLAÇÕES OU NORMAS DE INTERESSE

- **Conama 420/2009**
  - Principais funções do solo
  - Termos e definições
  - Valores orientadores de referência de qualidade, prevenção e de investigação
  - Ações de prevenção e controle da qualidade do solo
  - Diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas
  - Classificação de áreas em relação ao seu grau de contaminação

## LEGISLAÇÕES OU NORMAS DE INTERESSE

- Estado de SP
  - Lei Estadual SP no 13.577/09
    - “Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para proteção da qualidade do solo e de gerenciamento de áreas contaminadas
  - Decreto no 59.263/2013
    - Regulamenta a Lei 13.577/09
  - DD 125/21 (Cetesb)
- Normas ABNT (NBR 15515-1,2011)

# NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

- Em nível federal:
  - [Conama 420/2009](#)
- Em nível estadual:
  - [Decisão de diretoria 125/2021 \(Cetesb\)](#)

Áreas contaminadas



Há introdução de substâncias ou resíduos no meio

≠

Áreas degradadas



Termo utilizado para impactos não-relacionados à introdução de substâncias, como erosão, desertificação, arenização



# REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Recuperação do subsolo e das águas subterrâneas



Limpeza total  
(*clean up*)

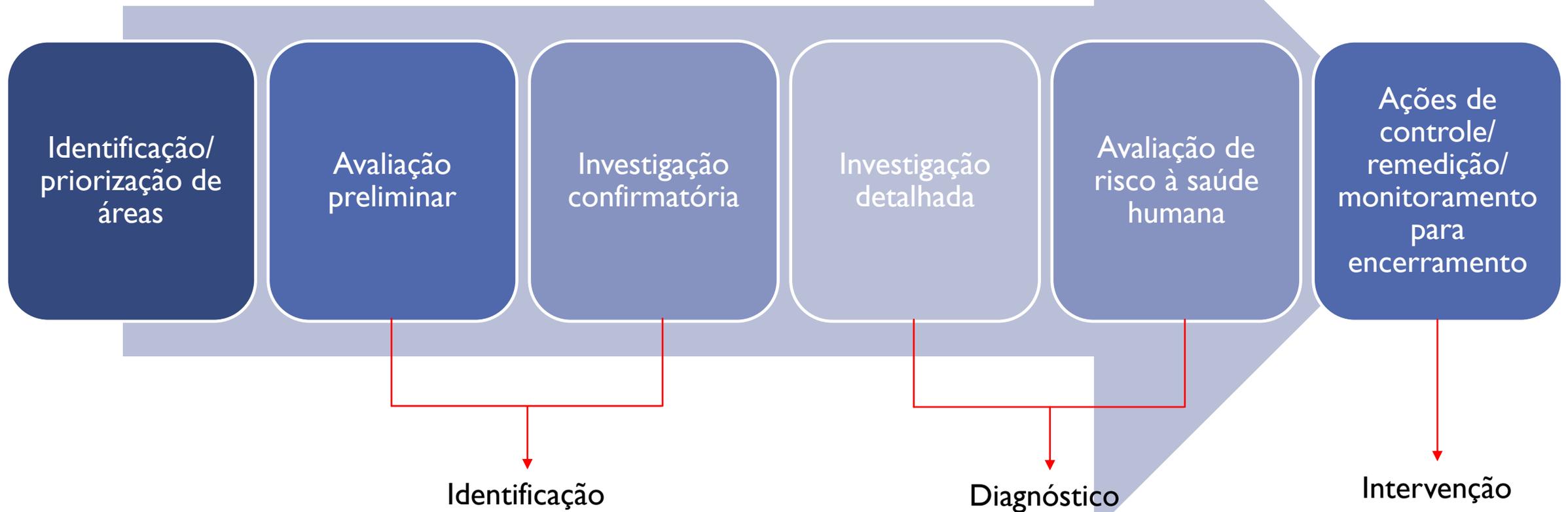


Diminuição do  
impacto para limites aceitáveis

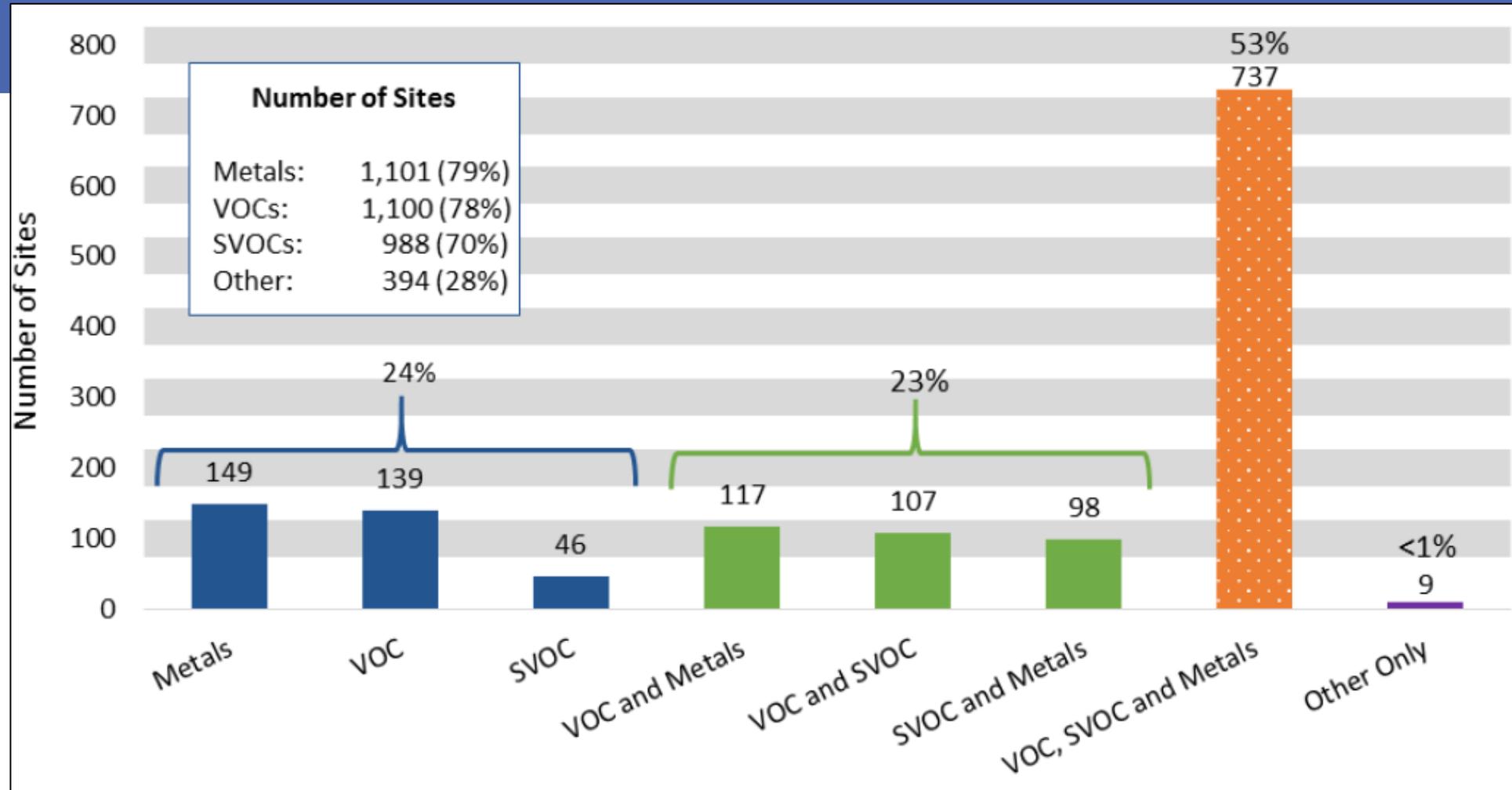
# GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS (GAC)

## ETAPAS

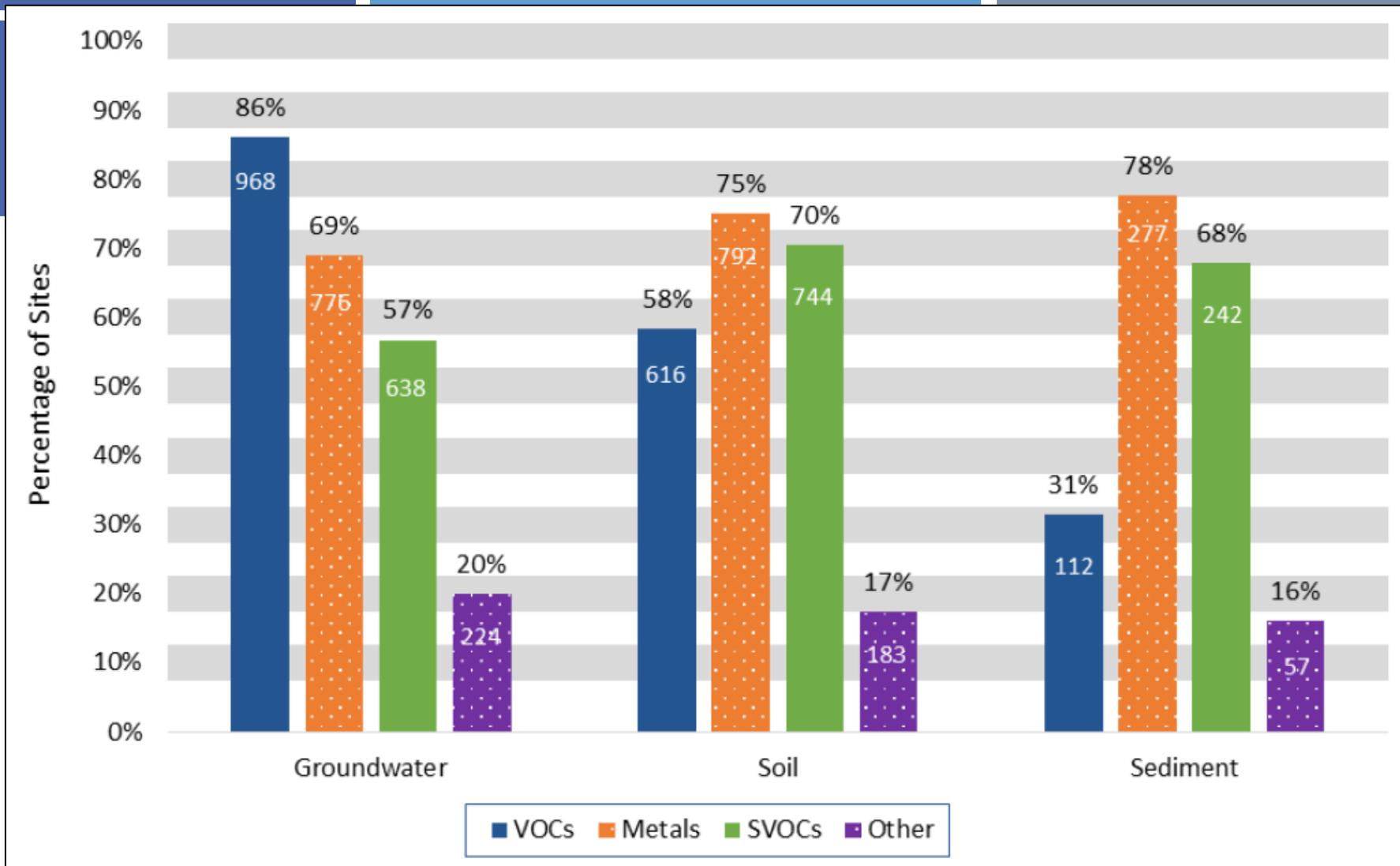
Próxima aula!



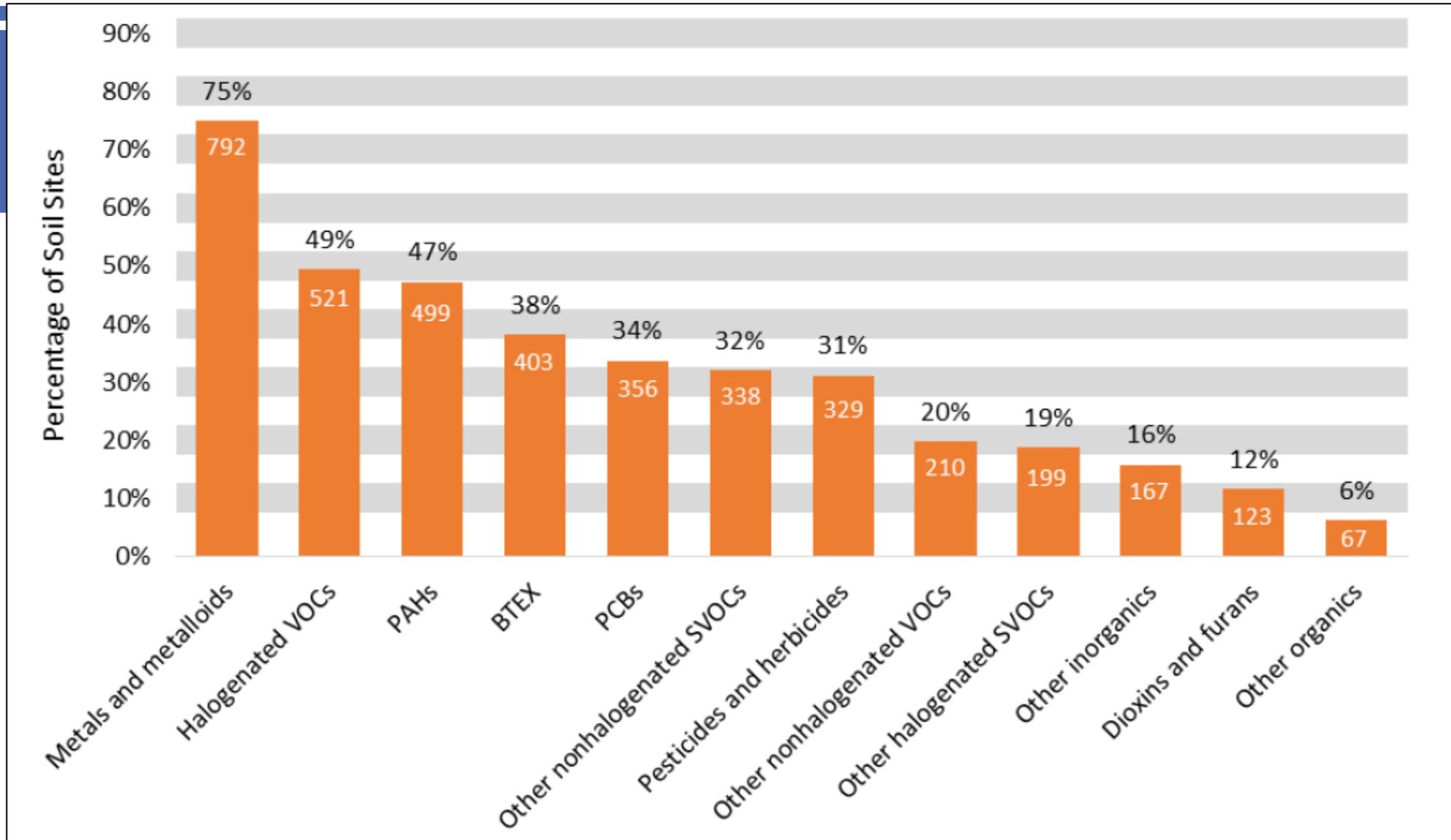
# CONTEXTUALIZAÇÃO



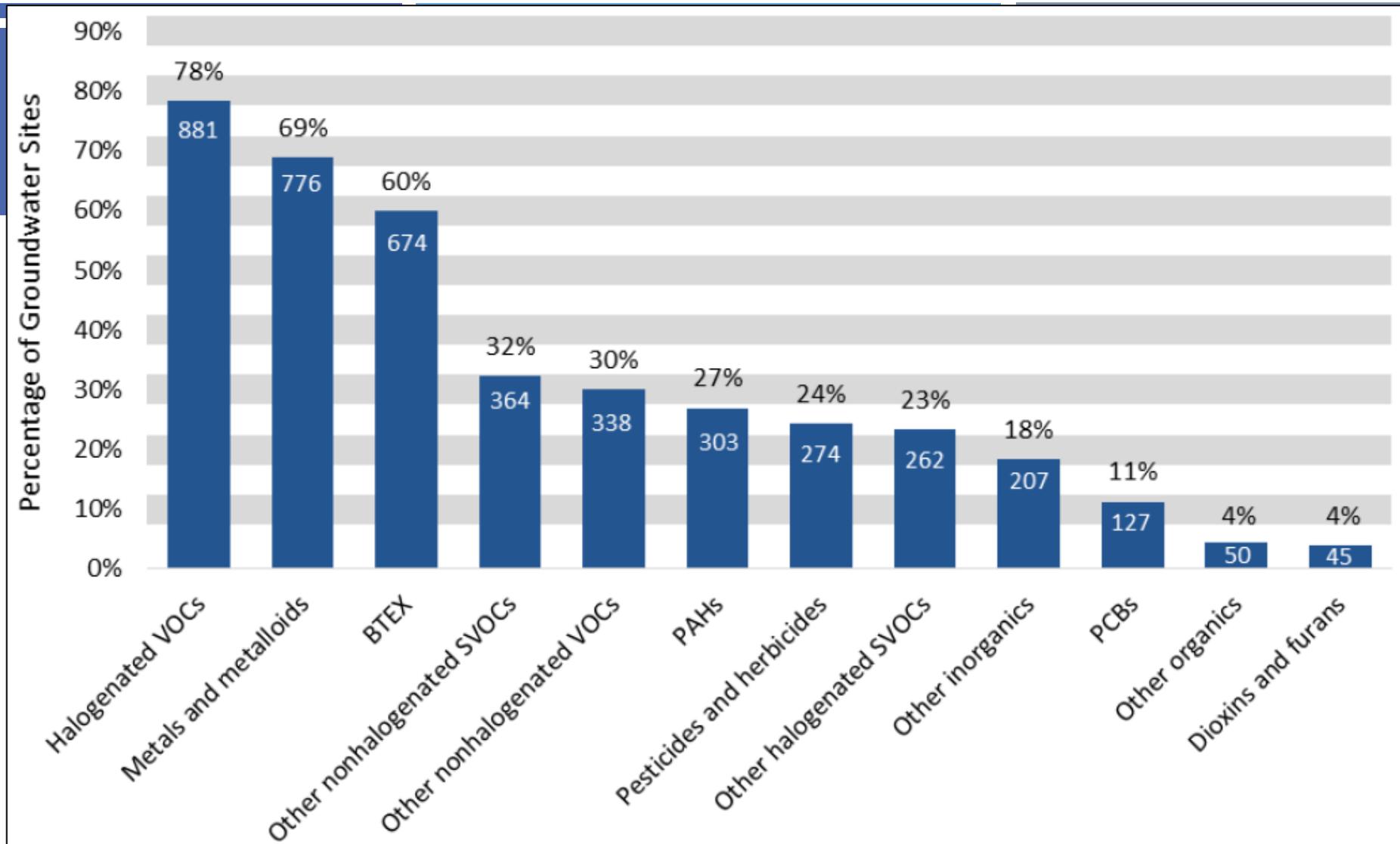
Frequência dos principais grupos de contaminantes na lista prioritária de áreas contaminadas nos EUA (EPA 542-R-17-001, 2017)



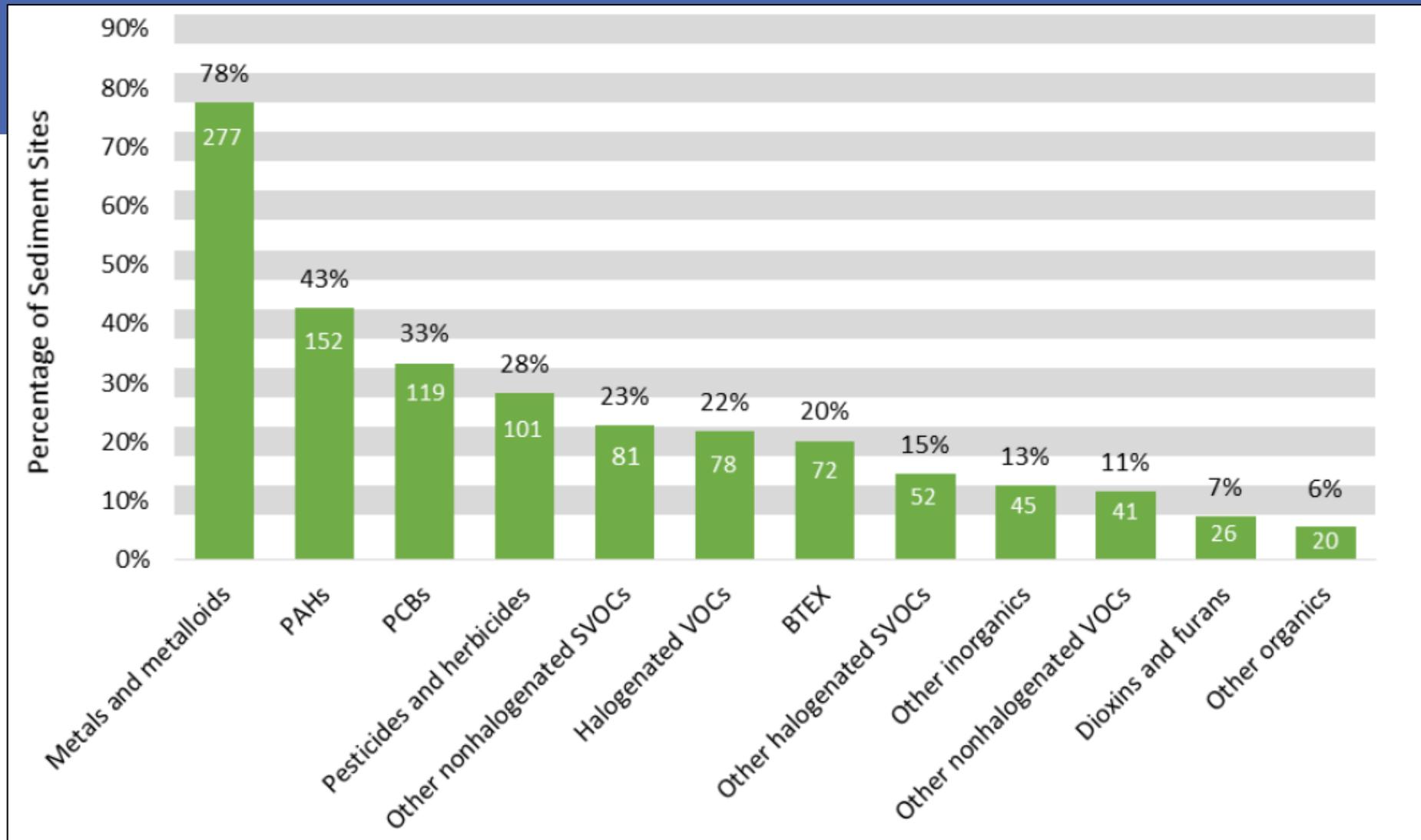
**Distribuição dos contaminantes de interesse em função do meio onde estão presentes nos EUA (EPA 542-R-17-001, 2017)**



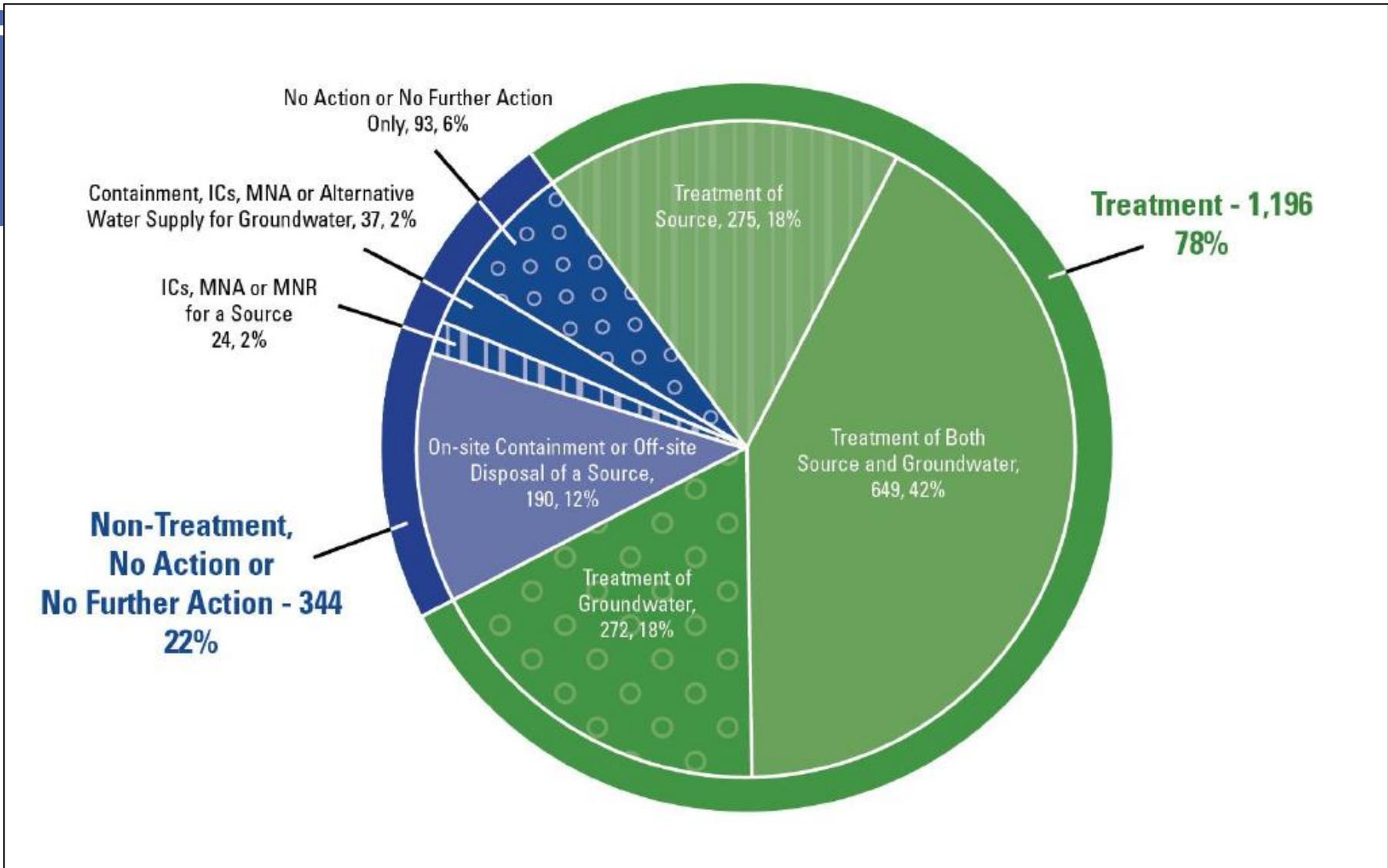
**Distribuição dos contaminantes de interesse presentes no solo (EPA 542-R-17-001, 2017)**



**Distribuição dos contaminantes de interesse presentes na água subterrânea  
(EPA 542-R-17-001, 2017)**



**Distribuição dos contaminantes de interesse presentes em sedimentos**  
(EPA 542-R-17-001, 2017)

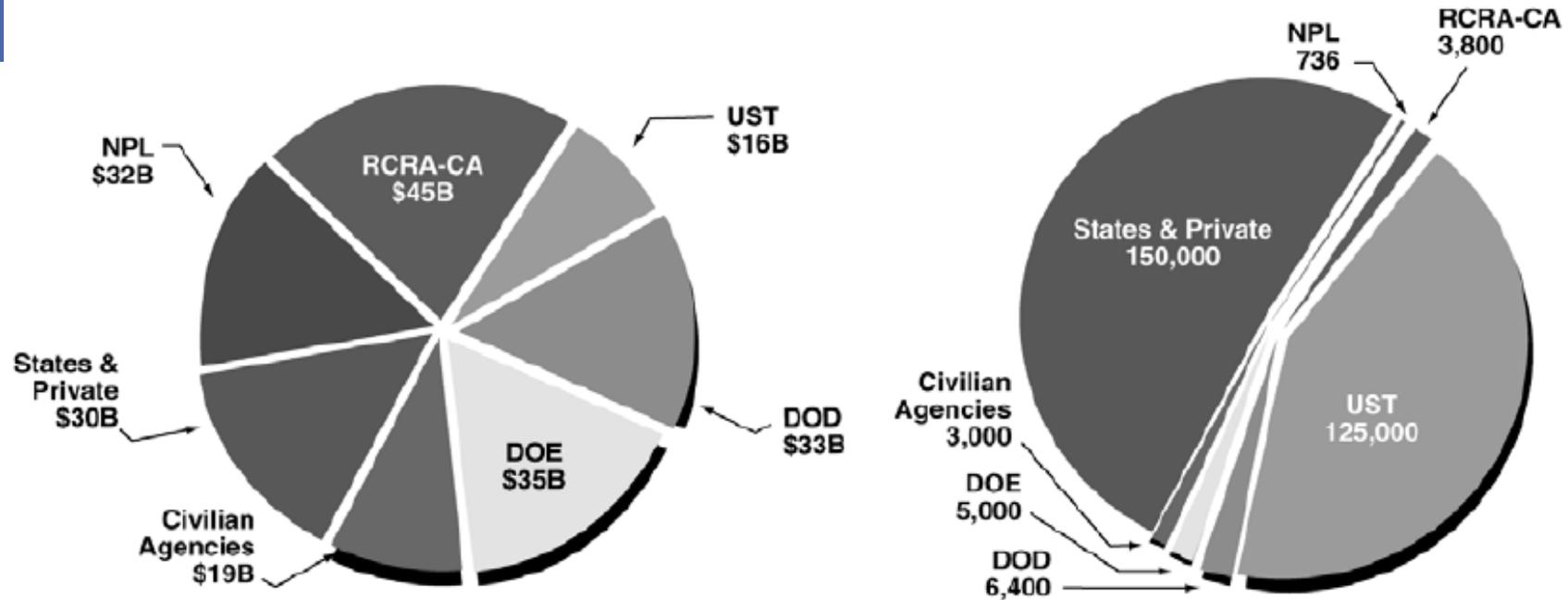


**Ações de remediação adotadas nos locais sob responsabilidade do Superfundo nos EUA (EPA 542-R-17-001, 2017)**

## Estimated Number of Hazardous Waste Sites and Cleanup Costs: 2004-2033

**Total = \$209 Billion**

**Total Sites = 294,000**



These estimates are derived from judgements regarding the most likely scenarios within a range of estimates. The estimates described in the report, include a number of assumptions such as the average cleanup cost per site, number of new site discoveries, and future additions to the NPL.

NPL: National Priorities List, or Superfund; RCRA-CA: Resource Conservation and Recovery Act Corrective Action program; UST: Underground Storage Tanks; DOD: Department of Defense; DOE: Department of Energy; Civilian Agencies: non-DOD and non-DOE federal agencies; and State & Private: state mandatory, voluntary, and brownfields sites, and private sites.

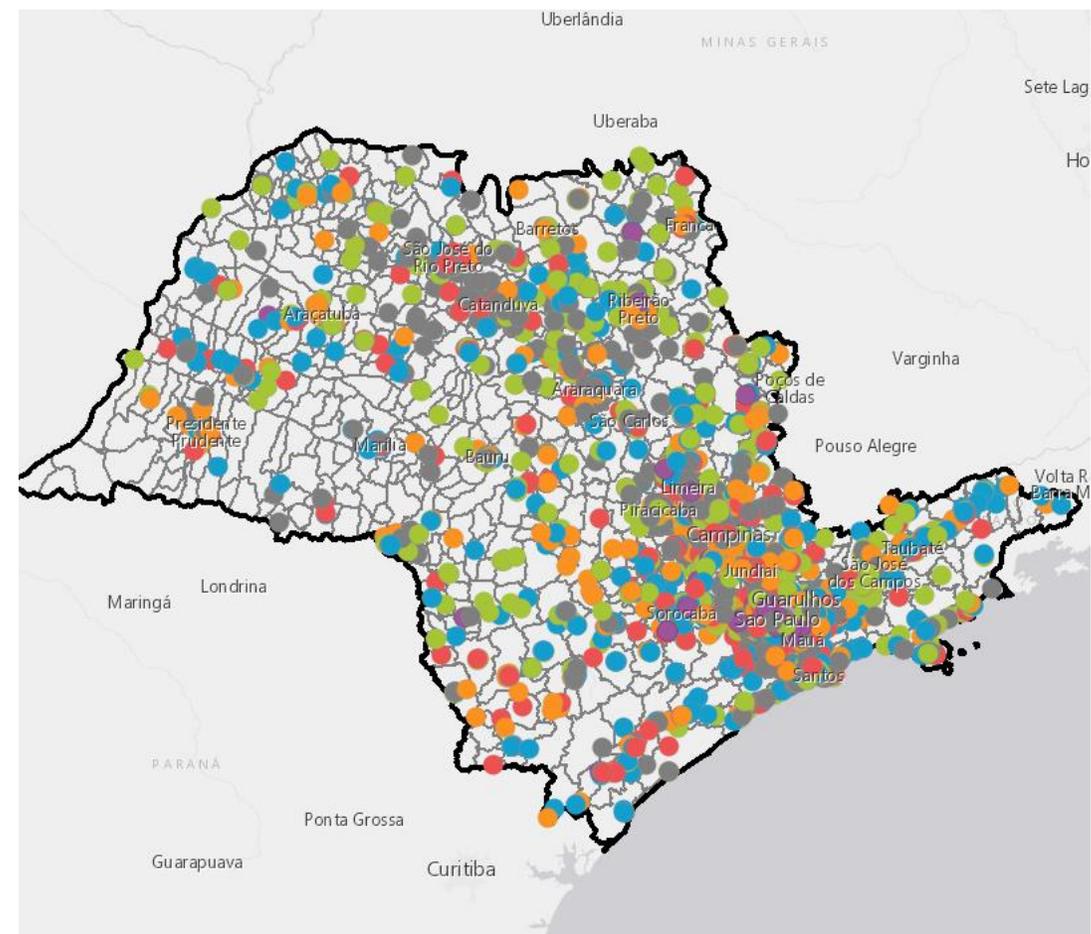
Totals may not add due to rounding.

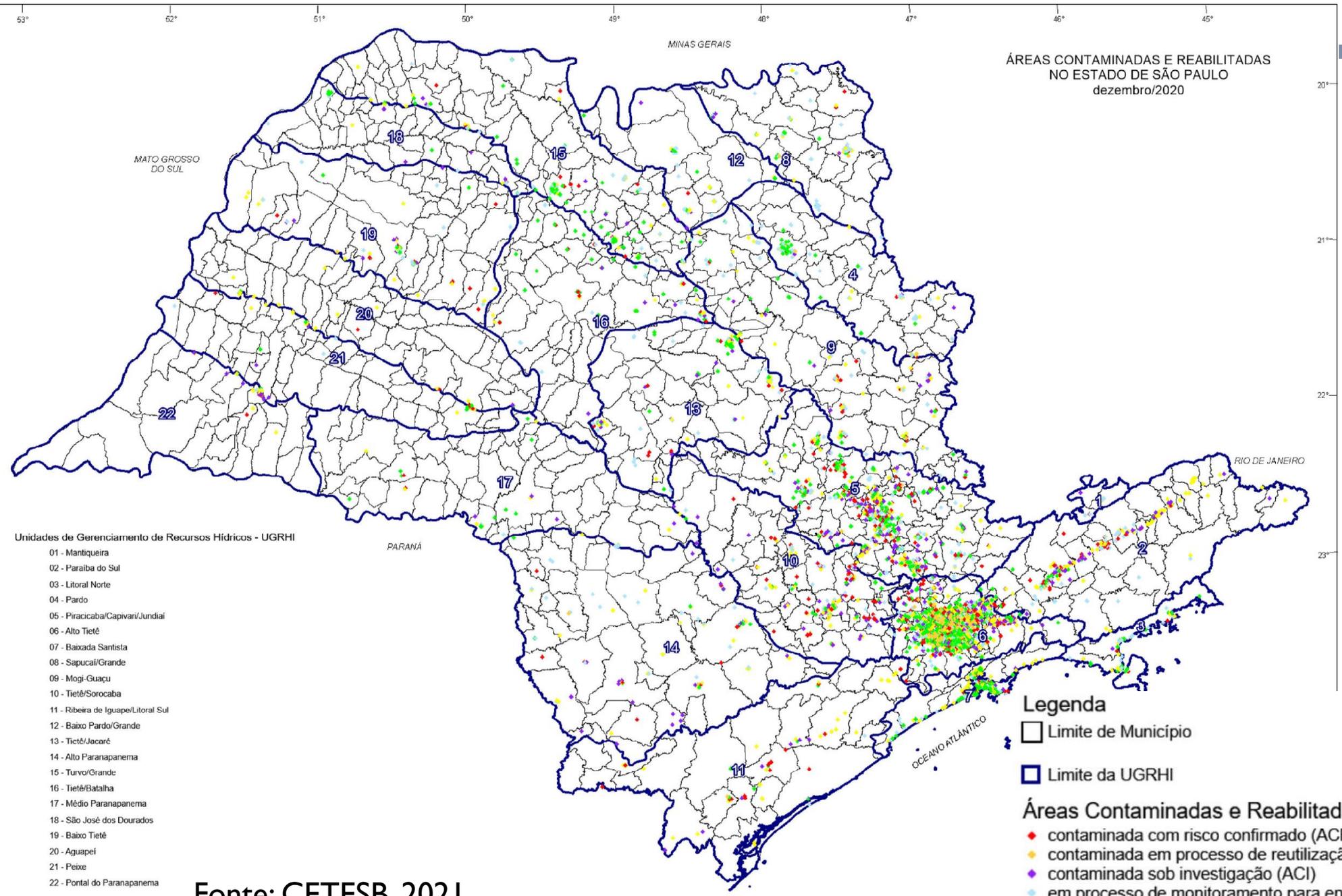
(Fonte: EPA 542-R-04-015, 2004)

## Empreendimentos

### Classificação

- Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR)
- Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe)
- Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME)
- Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi)
- Área Contaminada sob Investigação (ACI)
- Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu)
- Outro





ÁREAS CONTAMINADAS E REABILITADAS  
NO ESTADO DE SÃO PAULO  
dezembro/2020

Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI

- 01 - Mantiqueira
- 02 - Paraíba do Sul
- 03 - Litoral Norte
- 04 - Pardo
- 05 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí
- 06 - Alto Tietê
- 07 - Baixada Santista
- 08 - Sapucaí/Grande
- 09 - Mogi-Guaçu
- 10 - Tietê/Sorocaba
- 11 - Ribeira de Iguape/Litoral Sul
- 12 - Baixo Pardo/Grande
- 13 - Tietê/Jacaré
- 14 - Alto Paranapanema
- 15 - Turvo/Grande
- 16 - Tietê/Batalha
- 17 - Médio Paranapanema
- 18 - São José dos Dourados
- 19 - Baixo Tietê
- 20 - Aguapeí
- 21 - Peixe
- 22 - Pontal do Paranapanema

Legenda

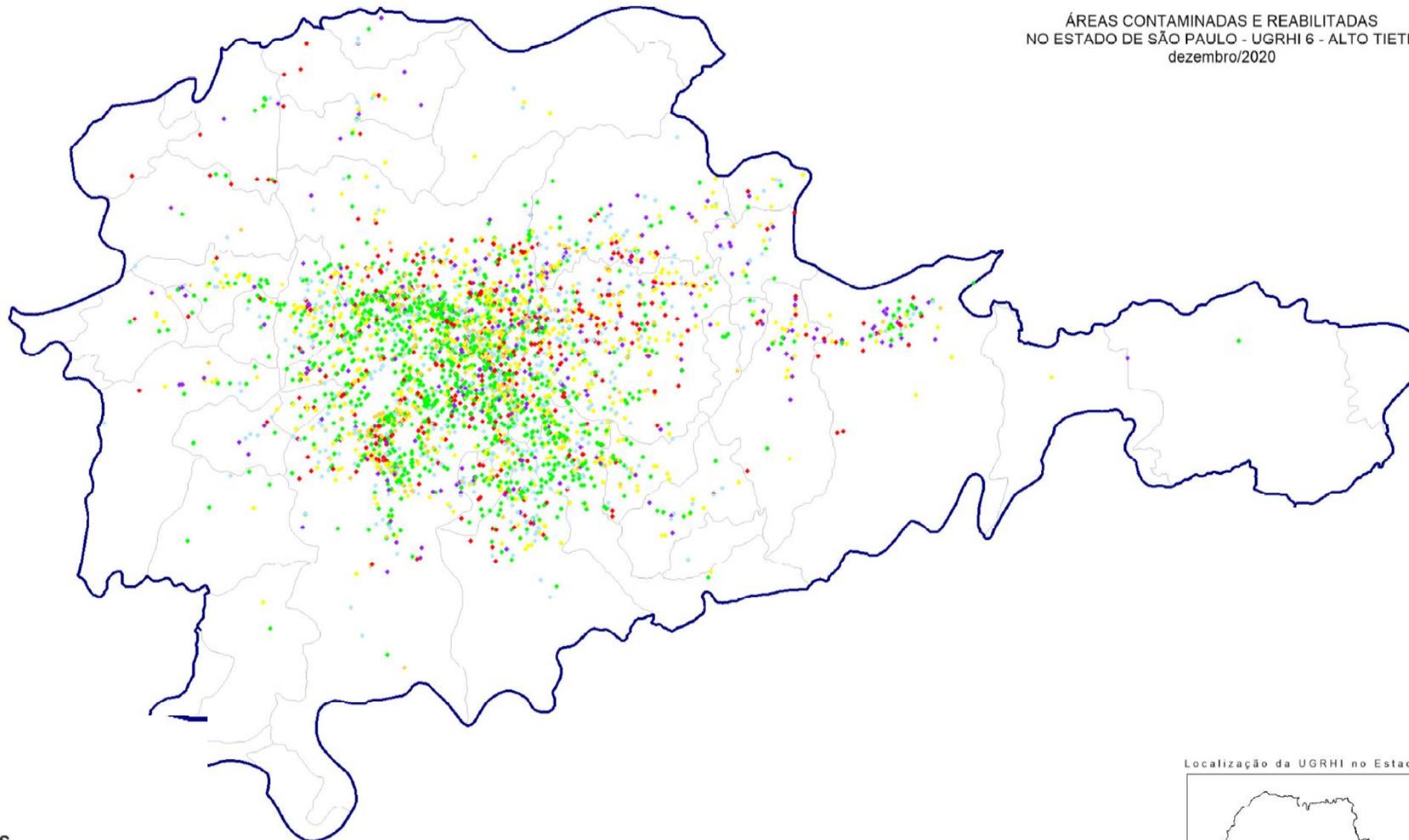
- Limite de Município
- Limite da UGRHI

Áreas Contaminadas e Reabilitadas

- contaminada com risco confirmado (ACRi) (780)
- contaminada em processo de reutilização (ACRu) (285)
- contaminada sob investigação (ACI) (635)
- em processo de monitoramento para encerramento (AME) (1369)
- em processo de remediação (ACRe) (1463)
- reabilitada para o uso declarado (AR) (1902)

Fonte: CETESB, 2021

ÁREAS CONTAMINADAS E REABILITADAS  
NO ESTADO DE SÃO PAULO - UGRHI 6 - ALTO TIETÊ  
dezembro/2020



Legenda

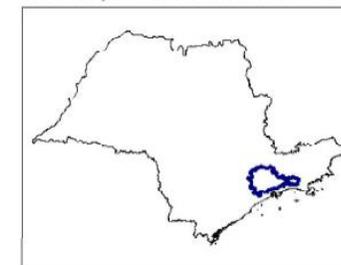
□ Limite de município

▣ Limite da UGRHI

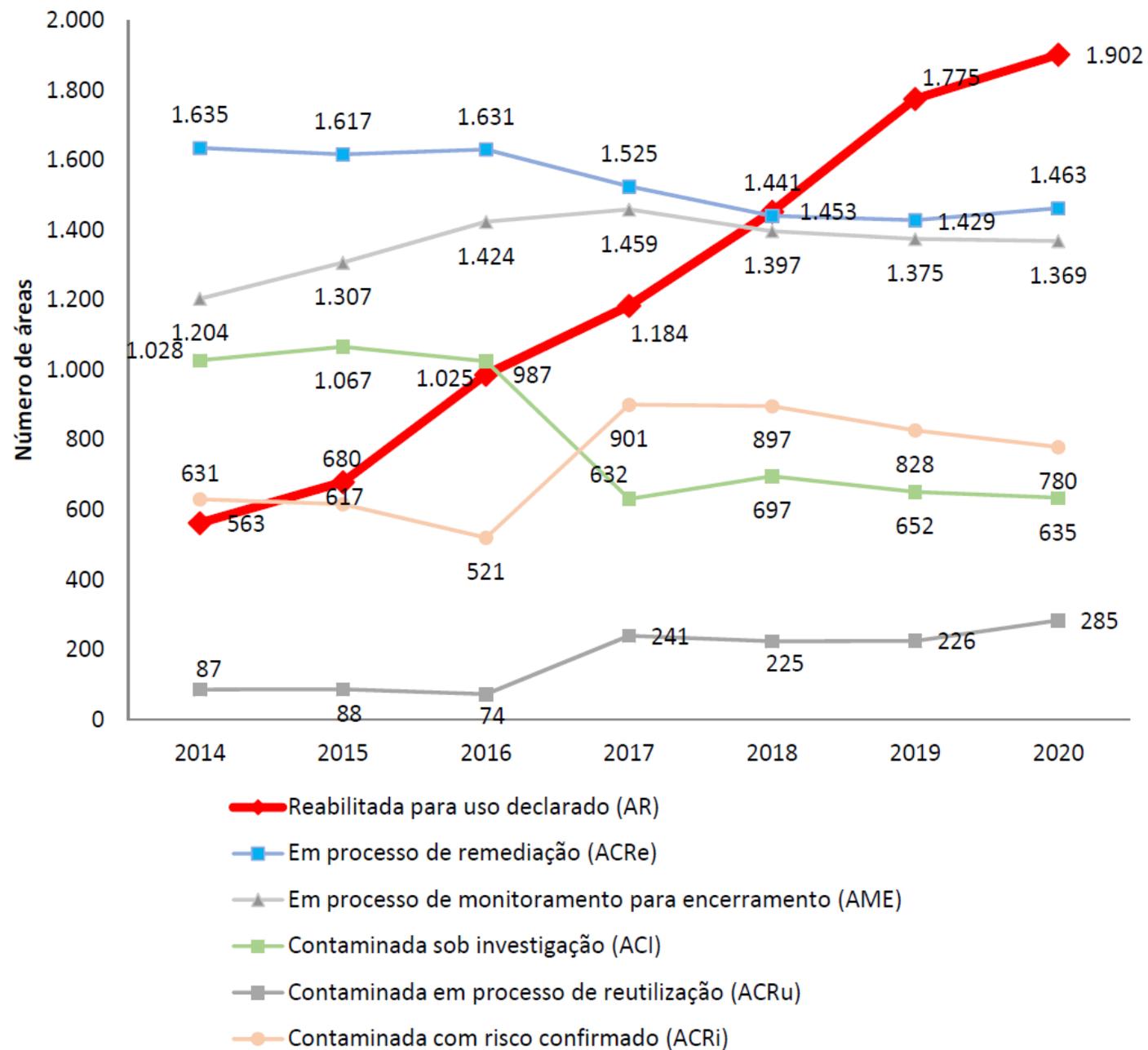
Áreas Contaminadas e Reabilitadas

◆ contaminada com risco confirmado (ACRi)	(414)
◆ contaminada em processo de reutilização (ACRu)	(248)
◆ contaminada sob investigação (ACI)	(271)
◆ em processo de monitoramento para encerramento (AME)	(645)
◆ em processo de remediação (ACRe)	(729)
◆ reabilitada para o uso declarado (AR)	(1209)

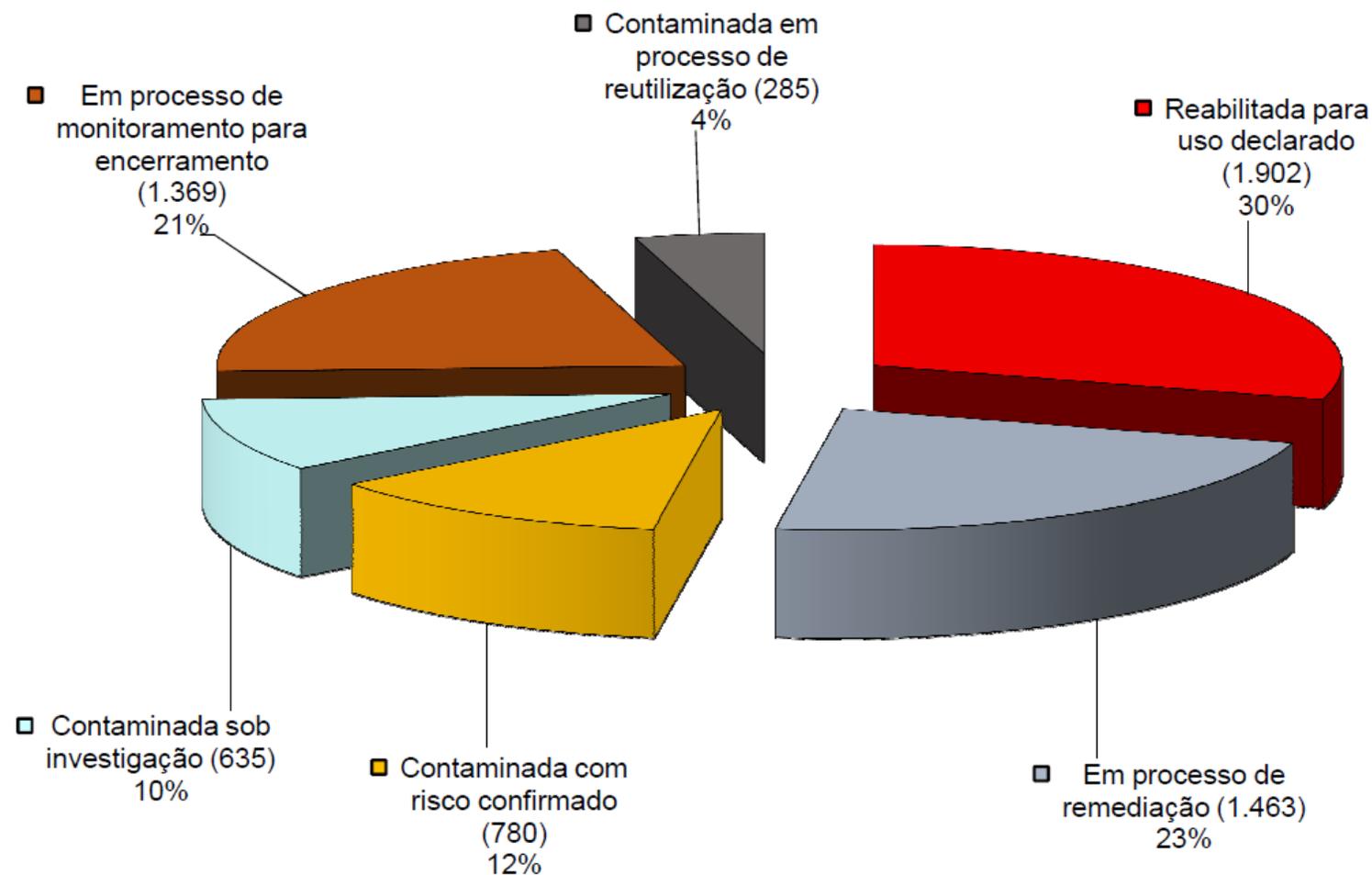
Localização da UGRHI no Estado



## Evolução da classificação das áreas cadastradas

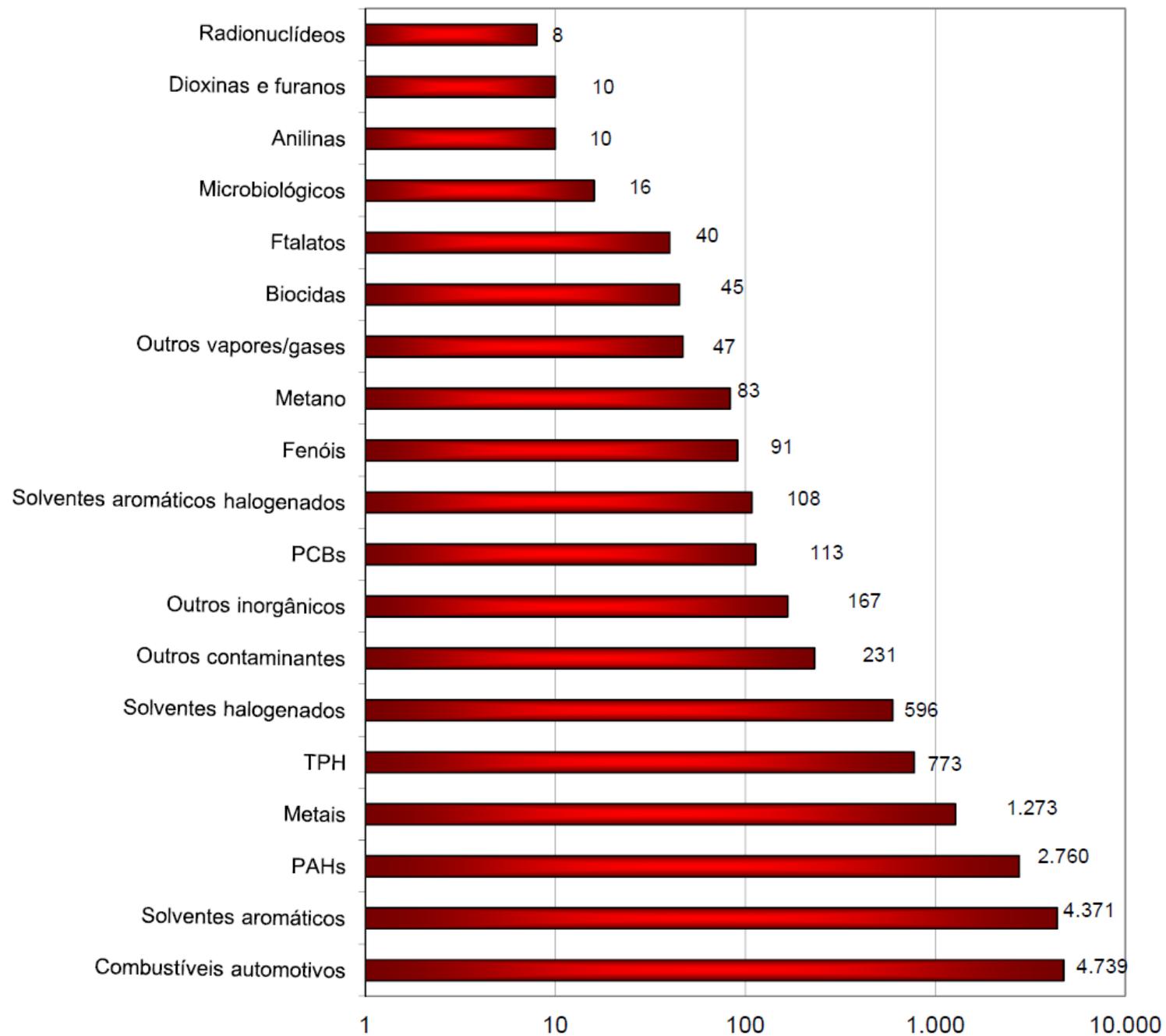


## Distribuição das áreas cadastradas quanto a classificação dezembro 2020



**Áreas contaminadas no Estado de São Paulo (CETESB, 2021)**

**Áreas Cadastradas**  
**Constatações de grupos de contaminantes - dezembro de 2020**

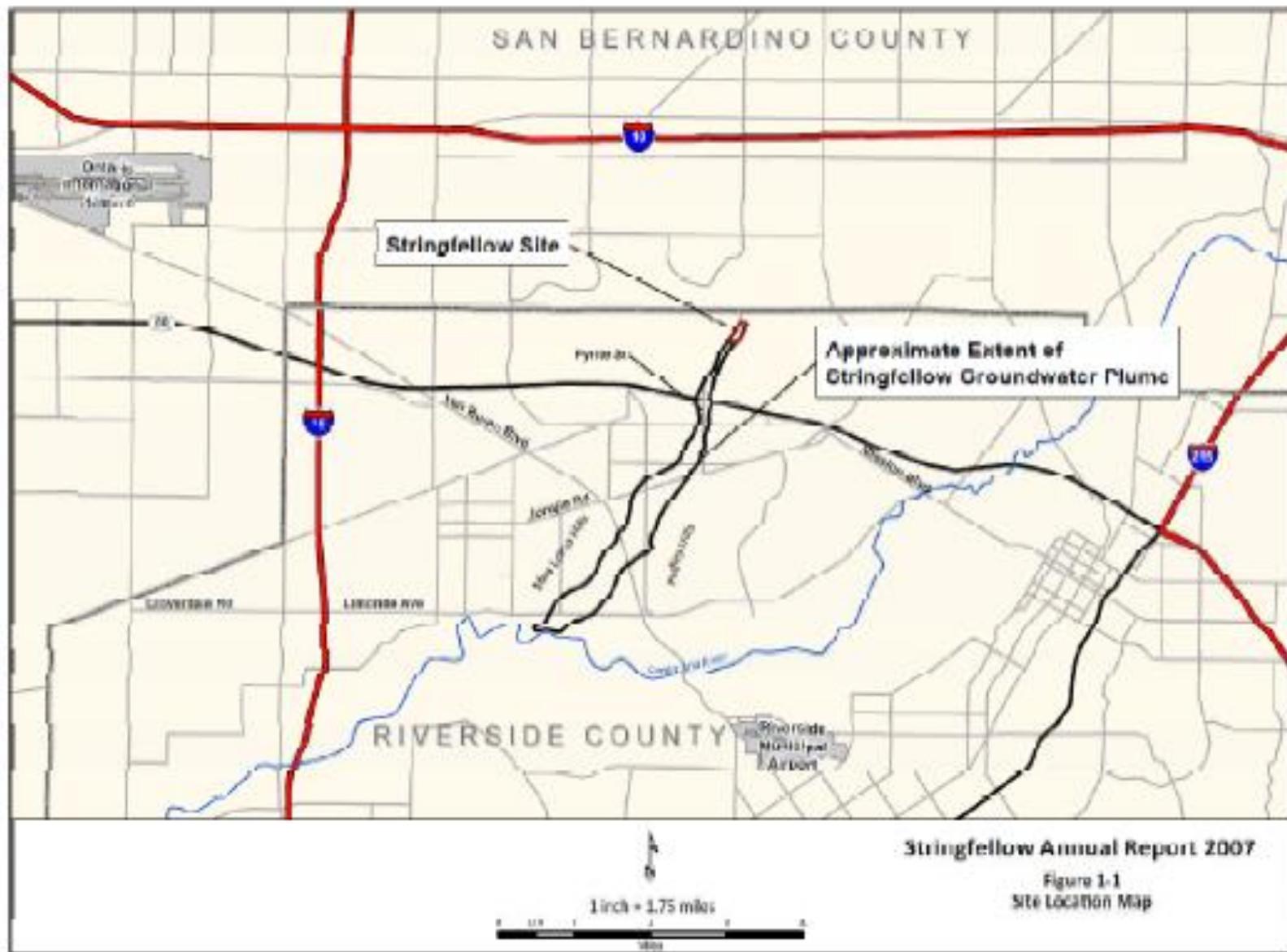


# IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

- Guia para avaliação do potencial de contaminação em imóveis:
- (<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/contamina%E7%E3o-em-im%F3veis---guia/12-contaminacaoemimoveis>);
- Manual de gerenciamento de áreas contaminadas:
- (<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7-manual>).

---

# ESTUDO DE CASO STRINGFELLOW DISPOSAL SITE (RIVERSIDE – CALIFÓRNIA)



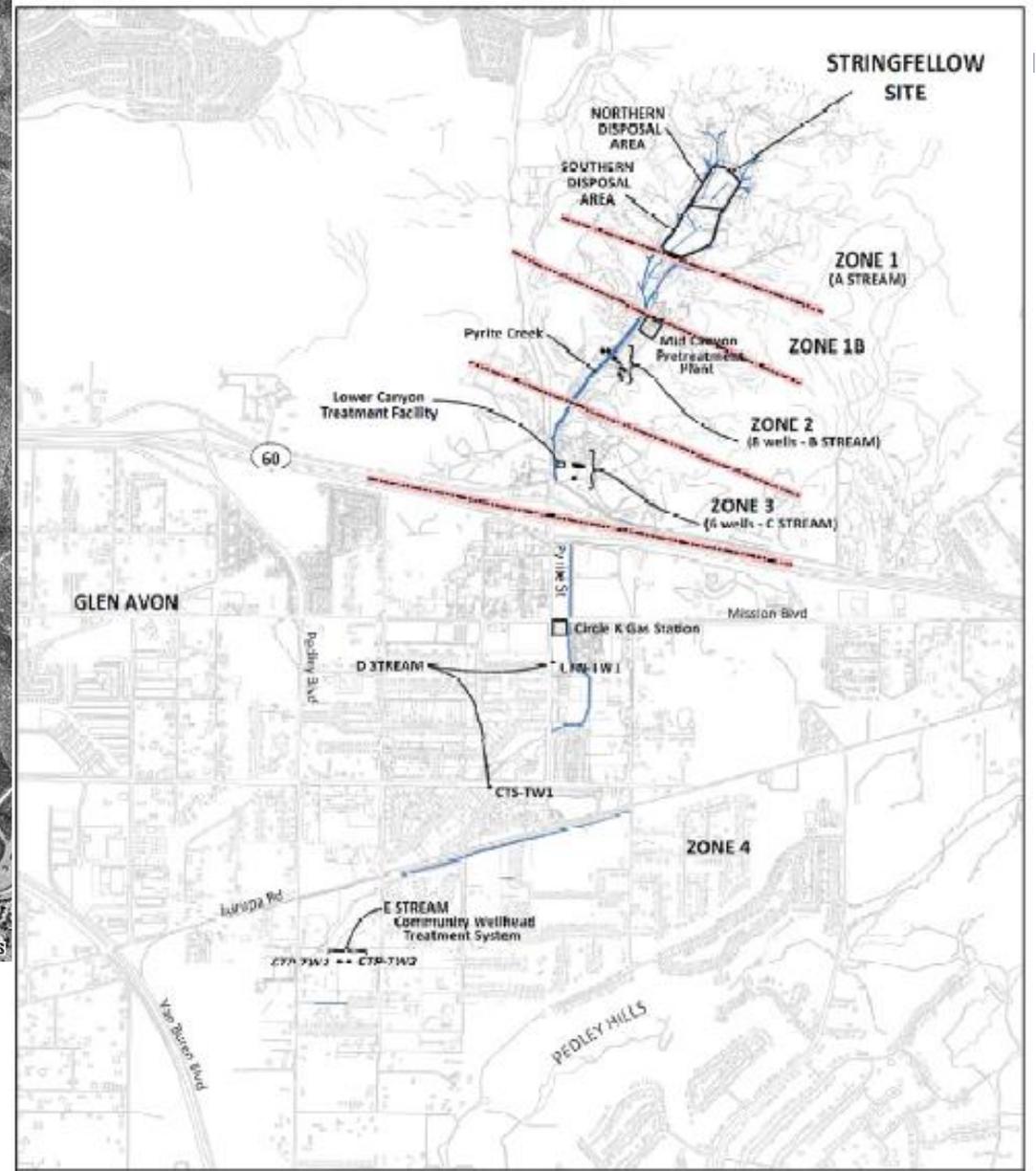


Imagem ampliada do local de disposição

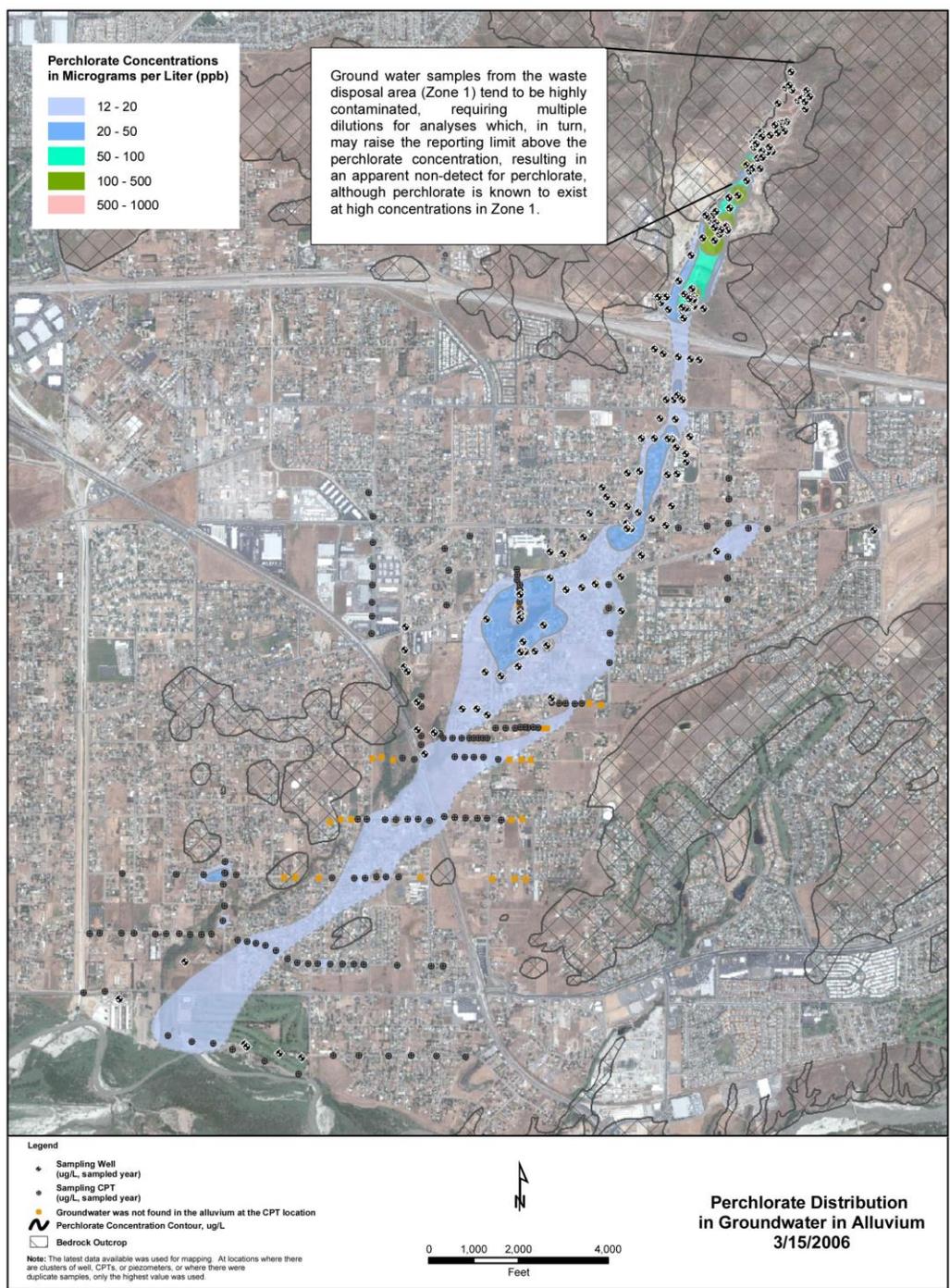


Figure 8. Stringfellow Pretreatment Plant (PTP) Process Flow Diagram (as of 2007)

Source: Tetra Tech, Inc., 2010

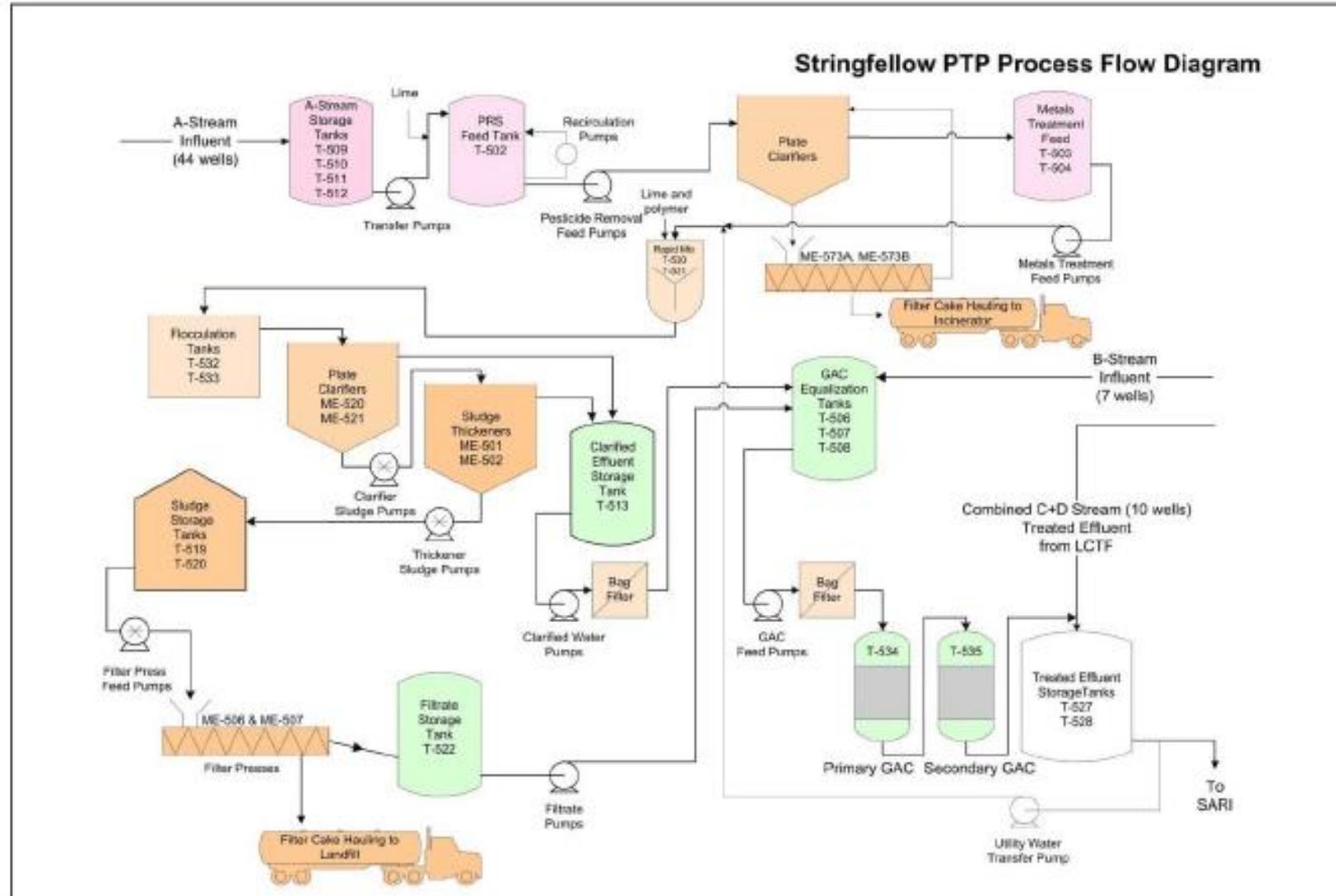


Figure 9. Stringfellow Lower Canyon Treatment Facility (LCTF) Flow Diagram

Source: Tetra Tech, Inc., 2010

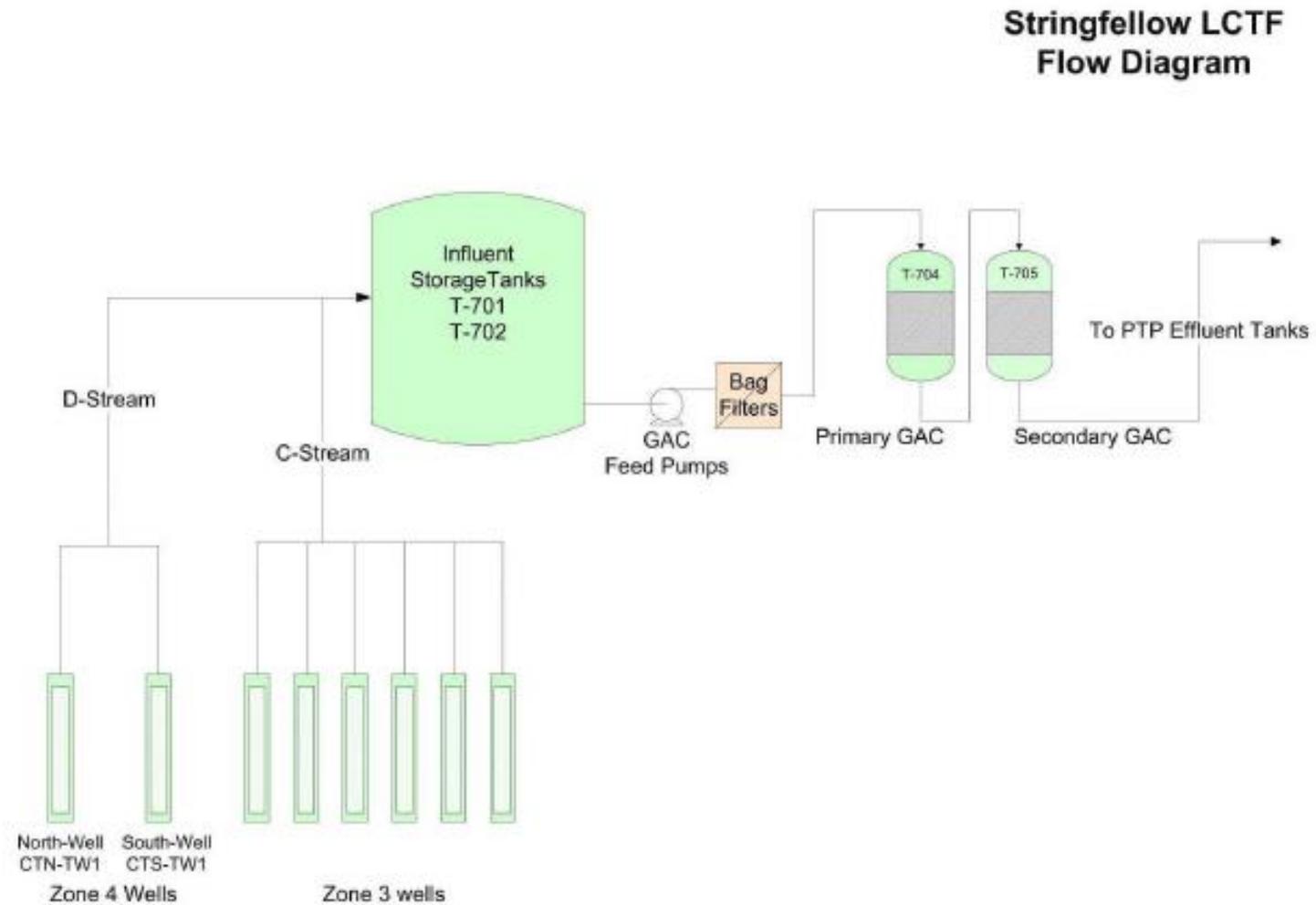
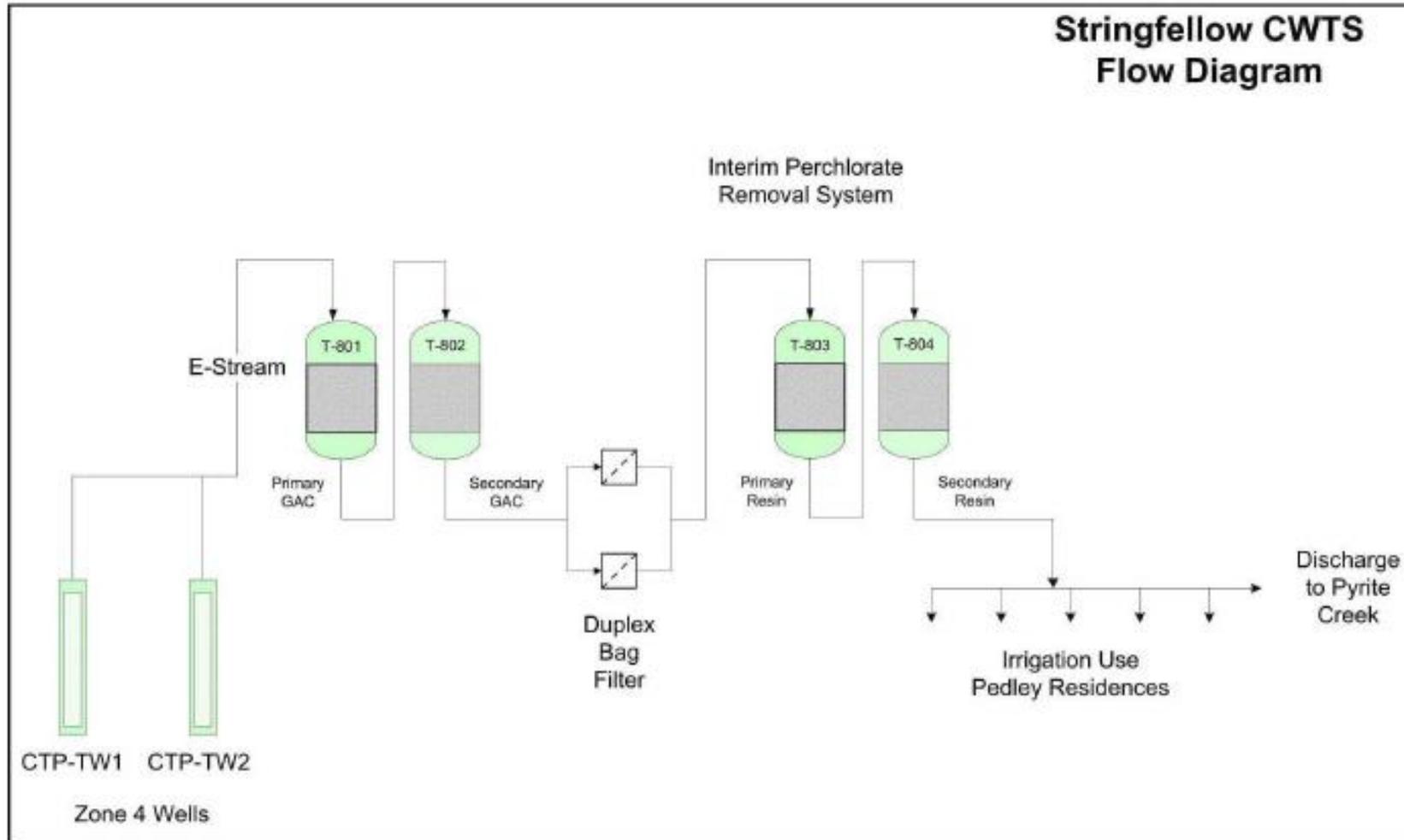


Figure 10. Stringfellow Community Wellhead Treatment System (CWTS) Flow Diagram

Source: Tetra Tech, Inc., 2010



# Histórico do processo de remediação

<b>Milestone</b>	<b>Date(s)</b>
Initial Assessment Completed	01/01/1972
Proposed to the National Priorities List	12/30/1982
Finalized on the National Priorities List	09/08/1983
Remedial Investigation Started	07/22/1983
Remedy Selected	07/22/1983
Remedial Action Started	05/21/1981
Construction Completed	Not Yet Achieved
Deleted from National Priorities List	Not Yet Achieved
Most Recent Five-Year Review	09/15/2016
Site Ready for Reuse and Redevelopment	Not Yet Achieved

Fonte/: <https://cumulis.epa.gov/supercpad/SiteProfiles/index.cfm?fuseaction=second.schedule&id=0902680#Schedule>