

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Andreia Cristiane Teodoro¹ (andreiateodoro@cetrel.com.br), Anna Laura Silva¹, Luana Duarte Prates, Natália de Andrade Santiago, Calvin Iost¹ e Marcela Nishimoto¹

Resumo

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas é um processo complexo que envolve diversas etapas, entre as quais se destaca a Avaliação de Risco à Saúde Humana. Essa avaliação tem como objetivo identificar potenciais riscos para receptores potencialmente expostos na área e em seu entorno, considerando as diferentes vias de exposição, além de calcular as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs). Para aprimorar a padronização das informações, reduzir o tratamento manual dos dados e integrar ferramentas digitais, foi desenvolvido o ARSH Digital, um dashboard criado no *Power BI* e integrado a um banco de dados. O *dashboard* padroniza informações, automatiza cálculos de Riscos e CMAs, assim como permite visualizações interativas, destacando pontos críticos. Com o suporte do dashboard, as equipes técnicas podem interpretar os dados de forma mais ágil, segura e eficiente,

possibilitando as tomadas de decisões estratégicas de modo rápido e tecnicamente embasado.

Palavras-chaves: Gerenciamento de Áreas Contaminadas, Avaliação de Risco à Saúde Humana, integração de dados, *Power BI*, banco de dados

Abstract

The contaminated sites management is a complex process that involves several stages, among which the Human Health Risk Assessment stands out. This assessment aims to identify potential risks to receptors that may be exposed within the area and its surroundings, considering various exposure pathways, as well as to calculate the Maximum Acceptable Concentrations. To enhance information standardization, increase reliability in data acquisition, reduce manual data handling and integrate digital tools, the ARSH Digital was developed, a dashboard built in Power BI and integra-

¹. Cetrel S/A

ted with a database. The dashboard standardizes information, automates the calculation of risks and Maximum Acceptable Concentrations and provides interactive visualizations that highlight critical points. With the support of this tool, technical teams can interpret data more quickly, safely and efficiently, enabling rapid and technically sound strategic decision-making.

Key-words: *Contaminated Site Management, Human Health Risk Assessment, Data Integration, Power BI, Database*

1. Introdução

O gerenciamento de áreas contaminadas constitui um dos principais desafios ambientais enfrentados no Brasil nas últimas décadas. A expansão urbana desordenada, o crescimento industrial e o uso inadequado do solo resultaram em um número crescente de locais com potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Nesse contexto, políticas públicas e instrumentos normativos vêm sendo aprimorados, com o objetivo de garantir a identificação, o monitoramento e a reabilitação dessas áreas, de forma a assegurar a proteção dos receptores expostos e do meio ambiente (BRASIL, 2009; CETESB, 2025).

O procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas (GAC) é composto por um conjunto de etapas sequenciais e correlacionadas, voltadas à identificação, investigação e reabilitação das áreas. Cada uma dessas etapas demanda coleta, análise, validação e integração de informações de natureza diversa — geológica, hidrogeológica, química, toxicológica e de uso e ocupação do solo — cuja confiabilidade e agilidade são essenciais para

a tomada de decisão ao longo de todo o processo. Assim, a integração e padronização dos dados é fundamental para garantir a representatividade das informações e refletir adequadamente a realidade da área avaliada (USEPA, 1989; ASTM, 2015).

Apesar dos avanços regulatórios dos últimos anos, a etapa de avaliação de risco à saúde humana (ARSH) ainda enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados à gestão, integração e interpretação dos dados necessários à sua execução. A ARSH constitui uma etapa fundamental no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, pois permite estimar a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos à saúde decorrentes da exposição a contaminantes (ABNT, 2013). Contudo, sua aplicação requer o processamento de grandes volumes de informações — químicas, ambientais e toxicológicas —, além de cálculos complexos e interpretações multidisciplinares. Essa complexidade, aliada à falta de padronização de procedimentos e à limitação de ferramentas acessíveis, frequentemente dificulta a realização de análises consistentes e reprodutíveis, o que pode comprometer a confiabilidade dos resultados e a tomada de decisão.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas ao suporte das etapas de avaliação de risco tem se mostrado uma estratégia promissora. Em especial, o uso de dashboards interativos oferece novas possibilidades para a sistematização e visualização dos dados, permitindo uma abordagem mais ágil, transparente e reprodutível (KAPLAN E HAENLEIN, 2019). Este trabalho apresenta a implementação de um dashboard de avaliação de risco à saúde humana – ARSH Digital,

elaborado pela equipe da Cetrel, para facilitar a seleção e validação dos dados de entrada, bem como a análise e interpretação dos resultados obtidos. A ferramenta proposta gera tabelas e figuras automaticamente, contribuindo para o aprimoramento do processo de avaliação e para a melhoria da comunicação dos resultados entre técnicos, gestores e demais *stakeholders*.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e implementar uma solução tecnológica, denominada ARSH Digital, para otimizar e automatizar o processo de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) no contexto do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), visando aumentar a agilidade, a padronização, sistematização das informações e reprodutibilidade dos resultados, fornecendo suporte à interpretação dos dados e à tomada de decisão técnica. Para atingir tais objetivos foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Integração da plataforma de *business intelligence* (*Power BI*) ao banco de dados corporativo (EQulS), permitindo a gestão e o acesso centralizado às informações de solo e água subterrânea.
- Mapeamento e implementação no *Power BI* as fórmulas e metodologias de cálculo de Risco (carcinogênico e não carcinogênico) e das Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs), em conformidade com as planilhas oficiais da CETESB.
- Automatização a geração de cálculos de risco e CMAs, reduzindo a necessidade de tratamento manual extensivo dos dados e reduzindo o tempo de análise.

- Desenvolvimento de visualizações interativas, incluindo tabelas, gráficos e mapas, para apoiar a identificação de pontos críticos e facilitar a interpretação espacial e temporal dos resultados.
- Validar a acurácia e a reprodutibilidade da ferramenta, comparando os resultados gerados pelo ARSH Digital com os obtidos através dos métodos tradicionais, como as planilhas de Avaliação de Risco (CETESB, 2023).

3. Material e Métodos

A equipe técnica idealizadora do projeto, desenvolveu o dashboard ARSH Digital por meio do *software Power BI (Microsoft Corporation)*. A utilização dos dados ocorreu de forma integrada com o banco de dados corporativo, a qual utiliza o *software EQulS Professional (EarthSoft Inc.)*. Menciona-se que os dados utilizados como exemplos no presente artigo são fictícios, de modo a evitar a divulgação de informações confidenciais. O que inibe apresentação de informações confidenciais.

Embora o desenvolvimento da ferramenta digital tenha sido realizado utilizando-se um *software* (EQulS), pertencente a uma instituição reconhecida, é importante ressaltar que empresas que não dispõem desse recurso também podem utilizar a ARSH Digital. Sabe-se que existem empresas que possuem outros *softwares* de gerenciamento de banco de dados disponíveis no mercado, enquanto outras ainda não dispõem de um banco de dados. Para essas últimas recomenda-se como primeira etapa que os dados sejam armazenados em local apropriado, seguro, de forma planejada e padronizada.

Após o estabelecimento das ferramentas

digitais e a integração do banco de dados com o *Power BI*, a etapa seguinte consistiu na implementação dos modelos de cálculo para a Avaliação de Risco, cujas fórmulas encontram-se integralmente disponibilizadas no *site* da CETESB – Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB (CETESB, 2023).

O processo de implantação consistiu na interpretação e estruturação da lógica de cálculo descrita na documentação pública acima mencionada, considerando todos os cenários, vias de exposição e matrizes solo e água subterrânea. Esta implementação, aderente à metodologia oficial,

abrangeu o risco carcinogênico e não carcinogênico (Figura 01), bem como das Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) (Figura 02)

Somente após a etapa de interpretação e estruturação da lógica de cálculo teve início a fase de estruturação e desenvolvimento do dashboard. Nessa fase, estruturou-se o banco de dados de formato relacional, garantindo a coerência entre as diferentes tabelas e assegurando que informações essenciais às campanhas realizadas, como identificações dos pontos de amostragem, resultados dos parâmetros e monitoramento dos níveis de água

Figure 01 is a screenshot of an Excel spreadsheet titled "RISCO CARCINOGENICO E NÃO CARCINOGENICO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL". The spreadsheet is organized into several columns: DATA (28/10/2025), IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA (ARSH Digital), CONTAMINANTE (CETESB logo), EFEITO, and a large table for risk calculation. The table has sub-headers for RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO and RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO, with further sub-headers for AMBIENTES ABERTOS, AMBIENTES FECHADOS, and CONTATO DERMICO. The bottom of the spreadsheet shows a navigation bar with tabs for CENÁRIOS, SQR, Meio Físico, PDE, PDE Ar, Risco Solo, CETESBRisk-v3.03-TrabComInd-Mar, Risco Ar, CMA Solo, CMA AS, and CMA. The formula bar at the top shows a complex IF statement: `=SE(CENÁRIOS!\$H\$19=VERDADEIRO;SE(PM.1="";"-";SE(OU(Sf.in.1="";Sf.in.1="";Sf.in.1=0;Cf.ArAquaSub.Abe.1="");"-";(Cf.ArAquaSub.Abe.1\*IF.ASub.Ina.Abe.a.c\*Sf.in.1))))";"-")`.

Figura 01 – Estrutura do modelo de cálculo para risco carcinogênico e não carcinogênico. Fonte: CETESB, 2023

Figure 02 is a screenshot of an Excel spreadsheet titled "CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL". The spreadsheet is organized into several columns: DATA (28/10/2025), IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA (ARSH Digital), CONTAMINANTE (CETESB logo), EFEITO, and a large table for CMA calculation. The table has sub-headers for NO PONTO DE EXPOSIÇÃO and NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UMA DISTANCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO, with further sub-headers for AMBIENTES ABERTOS, AMBIENTES FECHADOS, and CONTATO DERMICO. The bottom of the spreadsheet shows a navigation bar with tabs for CENÁRIOS, SQR, Meio Físico, PDE, PDE Ar, Risco Solo, CETESBRisk-v3.03-TrabComInd-Mar, Risco Ar, CMA Solo, CMA AS, and CMA. The formula bar at the top shows a complex IF statement: `=SE(CENÁRIOS!\$H\$19=VERDADEIRO;SE(PM.1="";"-";SE(OU(Sf.in.1="";Sf.in.1="";Sf.in.1=0;FT!\$R\$8="";"-";SE(ERROS(TR/(FT!\$R\$8\*IF.ASub.Ina.Abe.a.c\*Sf.in.1))))";"-";(TR/(FT!\$R\$8\*IF.ASub.Ina.Abe.a.c\*Sf.in.1))))";"-")`.

Figura 02 – Estrutura do modelo de cálculo para CMA - matriz água subterrânea. Fonte: CETESB, 2023

estivessem corretamente vinculadas. Com a base de dados estruturada, a etapa seguinte consistiu na implementação das fórmulas modelos de cálculos no ambiente do *Power BI*, utilizando-se a linguagem M do *Power Query* e *DAX (Data Analysis Expressions)*. Essa configuração possibilitou a automatização dos cálculos dos riscos e das CMAs, garantindo a reprodutibilidade dos resultados originalmente obtidos nas planilhas de Avaliação de Risco da CETESB (2023).

Paralelamente, foi desenvolvida a modelagem visual do dashboard, com a definição de abas de relatórios que proporcionam a visualização integrada dos resultados. Entre as abas dos relatórios, destacam-se aquelas que apresentam os cálculos de risco e CMAs, os cenários e vias de exposição, a identificação de concentrações superiores aos valores de referência e a distribuição espacial dos parâmetros nas matrizes de solo e água subterrânea. A disposição dos elementos visuais foi planejada de modo a facilitar a interpretação dos dados, promovendo uma navegação intuitiva e analítica. Por fim, foram configurados filtros dinâmicos e recursos interativos para a seleção de parâmetros específicos, áreas de estudo ou períodos de monitoramento. Essa interatividade torna a ferramenta mais flexível e adaptável às necessidades de diferentes usuários, além de favorecer uma análise mais detalhada dos resultados.

A etapa de validação técnica, conduzida com base na comparação entre os resultados do *Power BI* e os cálculos manuais com as planilhas CETESB, foi realizada por meio da comparação entre as análises realizadas no dashboard e na planilha oficial da CETESB. Aproximadamente 100 testes foram

conduzidos, utilizando-se diferentes parâmetros nas matrizes solo e água subterrânea. Os resultados obtidos foram consistentes entre si, desconsideradas diferenças pontuais associadas a critérios de arredondamento. Os testes foram conduzidos por diferentes equipes, com o intuito de se identificar eventuais dificuldades de uso e aplicabilidade da ferramenta por perfis distintos de usuários.

4. Resultados e Discussão

Com base nos objetivos estabelecidos, os resultados obtidos passam a ser apresentados por meio das Figuras 03 e 04.

A Figura 03 corresponde à aba do relatório que reúne as saídas de dados após a seleção dos parâmetros essenciais para elaboração da Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH).

Os elementos indicados na Figura 03 representam: A) escolha do cenário, vias de exposição, SQL, nível de água, dados do meio físico e fator de atenuação, mantendo-se a possibilidade de inserção manual dos dados ou utilizar os valores *default*, assim como ocorre nas planilhas oficiais da CETESB; B) selecionar entre as matrizes solo ou água subterrânea; C) selecionar entre verificar o cálculo do Risco ou das CMAs; D) visualização dos valores calculados para os cenários existentes dentro e fora da área que está sendo avaliada, apesar de não indicado na imagem, os valores reportados para as CMAs, assim como ocorre nas Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB, são reportados em mg/l para matriz água subterrânea e mg/kg para matriz solo; E) escolha da via de exposição – inalação em ambientes abertos ou fechados, contato dérmico e ingestão – dentro ou fora da área; F) escolha do período de monito-

ramento; G) avaliar a situação dos poços de monitoramento ou de algum grupo específico; H) visualização espacial dos poços de monitoramento e a situação dos mesmos em relação à ARSH realizada, poços com concentrações inferiores aos valores do Risco ou às CMA calculadas são representados por bolhas verdes, enquanto pontos com concentrações superiores são representados por bolhas vermelhas. Quanto maior a bolha, seja ela verde (abaixo da CMA e/ou risco calculado) ou vermelha (acima da CMA e/ou risco calculado), maior a concentração identificada para o parâmetro analisado; I) visualização do nome do poço; e J) tabela contendo os valo-

res das concentrações obtidas no período, com indicação se estão acima (box em vermelho) ou abaixo (box em verde) dos valores de Risco ou das CMA calculadas; K) extração dos valores calculados para o Risco ou CMA.

A Figura 04 apresenta a aba do relatório que contempla a extração dos dados calculados (Item K da Figura 03), sendo possível extrair simultaneamente os valores calculados dentro e fora da área avaliada.

Com o intuito de facilitar o uso das informações, as abas dos relatórios podem ser extraídas em formatos compatíveis com *PowerPoint* e/ou *PDF*, preservando-se a qualidade original das imagens.

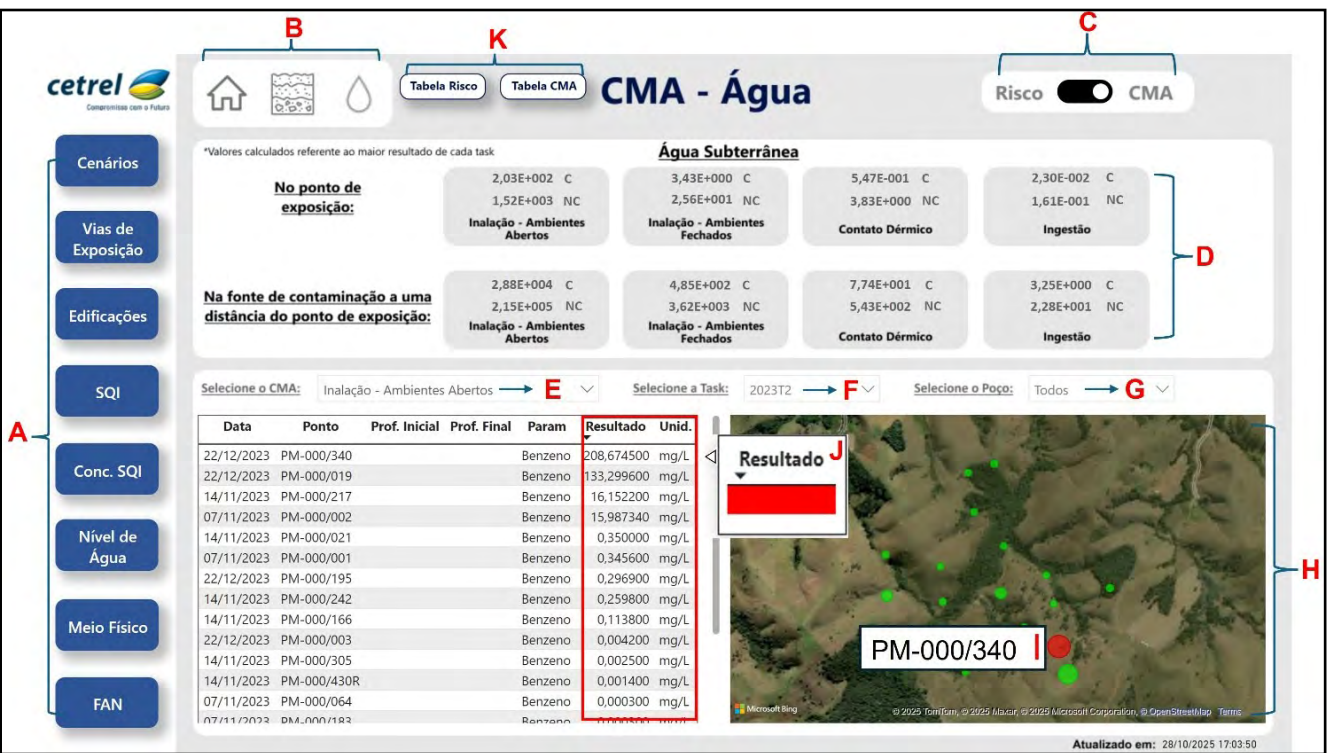


Figura 03: Visualização da aba do relatório (matriz água subterrânea, cálculo das CMAS).
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

CMA - ÁGUA											
Benzeno											
CMA											
Composto	In. Amb. Abe. C	In. Amb. Abe. NC	In. Amb. Fec. C	In. Amb. Fec. NC	Cont. Derm. C	Cont. Derm. NC	Ingestão C	Ingestão NC	In. Amb. Abe. Fora C	In. Amb. Abe. Fora NC	In. Amb. Fec. Fora C
Benzeno	2,03E+002	1,52E+003	3,43E+000	2,56E+001	5,47E-001	3,83E+000	2,30E-002	1,61E-001	2,88E+004	2,15E+005	4,85E+002

Figura 04: Visualização da tabela de resultados obtidos dentro e fora da área avaliada.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Embora o envio formal da Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) continue sendo realizado por meio do preenchimento das planilhas oficiais da CETESB, a obtenção ágil de informações estratégicas — seja para mitigar riscos, seja para propor a definição de novos escopos de investigação — representa um fator primordial dentro do processo de gerenciamento de áreas contaminadas. Com a utilização do dashboard ARSH Digital, a avaliação de risco pode ser realizada imediatamente após a inserção dos resultados no banco de dados, reduzindo substancialmente o tempo destinado ao tratamento e à compilação manual das informações.

Essa agilidade operacional permite direcionar o tempo antes destinado à preparação e organização das bases de dados a atividades de maior valor técnico, como a validação dos resultados, a interpretação crítica das informações e a geração de *insights* que subsidiem a tomada de decisão. A ferramenta, portanto, não substitui a análise técnica dos profissionais qualificados responsáveis pela avaliação, mas a complementa ao integrar dados de maneira sistemática. Ressalta-se, contudo, que a interpretação especializada dos resultados por parte desses profissionais permanece indispensável, uma vez que o dashboard atua como meio de otimização e integração de informações ao processo analítico e não como substituto do julgamento técnico necessário à condução da Avaliação de Risco à Saúde Humana.

5. Conclusões

O ARSH Digital evidencia o potencial das soluções digitais para otimizar a Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) no contexto do Geren-

ciamento de Áreas Contaminadas, automatizando cálculos complexos e integrando informações provenientes de diferentes matrizes de dados. A utilização de ferramentas de *business intelligence* proporcionou maior agilidade na análise, padronização dos resultados e melhor visualização das informações.

É importante destacar que o ARSH Digital não substitui a avaliação técnica realizada por profissionais qualificados, mas atua como um instrumento de apoio que otimiza o fluxo de trabalho e amplia a capacidade analítica das equipes envolvidas. Além disso, o modelo desenvolvido é adaptável a diferentes realidades institucionais, podendo ser implementado por empresas que utilizem outros sistemas de banco de dados ou que possuam estrutura interna para armazenamento e gestão das informações.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Cetrel S/A pelo apoio institucional e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento do ARSH Digital. Agradecem também a Rízia Miranda Aguiar e Vitor Di Girolamo Cortegrosso pelo constante apoio, empenho e melhorias sugeridas e implementadas.

7. Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16.209: 2013. Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013

ASTM. ASTM E1739-95: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Estados Unidos da América, p. 1-36, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CO-

NAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de dezembro 2009.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Planilhas de Avaliação de Risco. 2023. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>. Acesso em: 20 out. 2025.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 3ª. ed. São Paulo: CETESB, 2025.

EARTHISOFT, INC. *EQulS Professional* [software]. Boulder, CO: EarthSoft, 2023. Disponível em: <https://www.earthsoft.com/>. Acesso em: 28 out. 2025.

KAPLAN, A. M.; HAENLEIN, M. Rulers of the world, unite! The challenges and opportunities of big data. *Business Horizons*, v. 62, n. 1, p. 37–50, 2019.

Microsoft Corporation. *Power BI* [software]. Redmond: Microsoft, 2023. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/>. Acesso em: 28 out. 2025.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002. 1989. Disponível em <http://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>.

MAIS TECNOLOGIA PARA MEDIR, MAPEAR E CONFIAR

HI98194

Medidor Portátil Profissional
À Prova d'Água Multiparâmetro para
pH/EC/OD



LANÇAMENTO! HI98294

Medidor Multiparâmetro Portátil para
pH/EC/ ISE/Turbidez/OD, Capa
Emborrachada e GPS



LANÇAMENTO! HI98394

Medidor Portátil Multiparâmetro pH/EC/ISE/
Turbidez/OD. Sonda de Registro Autônomo,
Capa Emborrachada e GPS



PARÂMETROS MEDIDOS:

pH, ORP, Condutividade, TDS, Turbidez,
Oxigênio Dissolvido, ISE, Salinidade, Sigma da Água do Mar,
Resistividade, Pressão Atmosférica e Temperatura

EXCLUSIVO!



Os medidores e todos os acessórios são
fornecidos em uma maleta robusta
desenvolvida para proteger o seu
equipamento.