

Avaliação de riscos à saúde humana por compostos orgânicos voláteis em posto de combustível em Santa Maria/RS

Assessment of risks to human health due to volatile organic compounds at a gas station in Santa Maria/RS

Douglas Antunes De Oliveira Medeiros¹; Franciéle Schwanck²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul - Brasil, goga051@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul - Brasil, franschwanck@gmail.com

Recebido:

06 de novembro de 2024

Recebido no formato de revisão:

26 de fevereiro de 2025

Aceito:

26 de fevereiro de 2025

Disponível online:

23 de abril de 2025

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Risco à saúde.

Compostos orgânicos.

Água subterrânea.

Solo.

Keywords:

Risk assessment.

Organic compounds.

Groundwater.

Soil.

RESUMO

A quantificação de riscos carcinogênicos e não carcinogênicos foi avaliada com base em dados de uma investigação detalhada na área em que opera um posto revendedor de combustível na cidade de Santa Maria (Rio Grande do Sul). A partir da delimitação das plumas de contaminação avaliou-se a exposição à vapores orgânicos voláteis. Para realização da avaliação foram utilizadas as planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Os cenários avaliados para os receptores foram a inalação de vapores gerados a partir do solo ou água subterrânea, a ingestão e o contato dérmico com a água subterrânea contaminada. Os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos foram calculados e verificou-se valores abaixo de 1 para risco não carcinogênicos e abaixo de 10⁻⁵ para riscos carcinogênicos para ambos os cenários e receptores.

ABSTRACT

The quantification of carcinogenic and non-carcinogenic risks was assessed based on data from a specific investigation in the area where a commercial gas station operates in Santa Maria (Rio Grande do Sul). Exposure to volatile organic vapors was assessed based on the delimitation of the contamination plumes. Spreadsheets for risk assessment in contaminated areas under investigation by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) were used to perform the assessment. The projects assessed for the receptors were inhalation of vapors generated from soil or groundwater, ingestion, and thermal contact with contaminated groundwater. The carcinogenic and non-carcinogenic risks were calculated, and values were calculated below 1 for non-carcinogenic risk and below 10⁻⁵ for carcinogenic risks for both scenarios and receptors.

<https://doi.org/10.14295/ras.v39i1.30293>



1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui mais de 40 mil postos revendedores de combustível (ANP, 2021). A grande maioria dos estabelecimentos utiliza o sistema de armazenamento de combustíveis de forma subterrânea devido à falta de espaço e a necessidade de proteção contra fatores externos causadores de combustão.

Os acidentes ambientais são muitas vezes decorrentes de vazamentos destes tanques. Segundo Júnior e Pasqualetto (2008) a ocorrência dos acidentes está relacionada com a corrosão dos tanques e liberação de combustíveis (gasolina, diesel ou etanol) a partir do vazamento, representando riscos de explosões, contaminação do lençol freático e solo e, ainda mais agravante, risco à saúde humana.

Desde 2002, por meio do Ministério da Saúde, iniciou-se a aplicação da metodologia desenvolvida pela ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) para avaliação de risco à saúde humana em algumas áreas pilotos (Ministério da Saúde, 2010). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no ano de 2007, elaborou planilhas para avaliação de riscos em áreas contaminadas, com base na metodologia de análise de riscos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos descrita no documento *Risk Assessment Guidance for Superfund – RAGS*. A Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM), por meio da Diretriz Técnica N° 003/2021, estabeleceu procedimentos para licenciamento ambiental de áreas suspeitas ou com potencial de contaminação ou contaminadas. A diretriz técnica estabelece a avaliação de risco à saúde humana como uma etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, devendo ser utilizadas as planilhas da CETESB. No presente trabalho será apresentada a avaliação de risco à saúde humana, com base em dados disponíveis de uma investigação detalhada de contaminação realizada em um posto de combustível com histórico ambiental de gerenciamento de área contaminadas desde o ano de 2002, localizado no município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo é um posto de gasolina, localizado no município de Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A geologia da área é formada pelas rochas sedimentares da Formação Santa Maria, coberta por depósitos sedimentares Quaternários. O local está inserido no Sistema Aquífero Santa Maria (CPRM, 2016), onde as águas deste sistema se encontram em arenitos grossos a conglomeráticos na base com lamitos avermelhados, siltitos e arenitos finos a médios no topo.

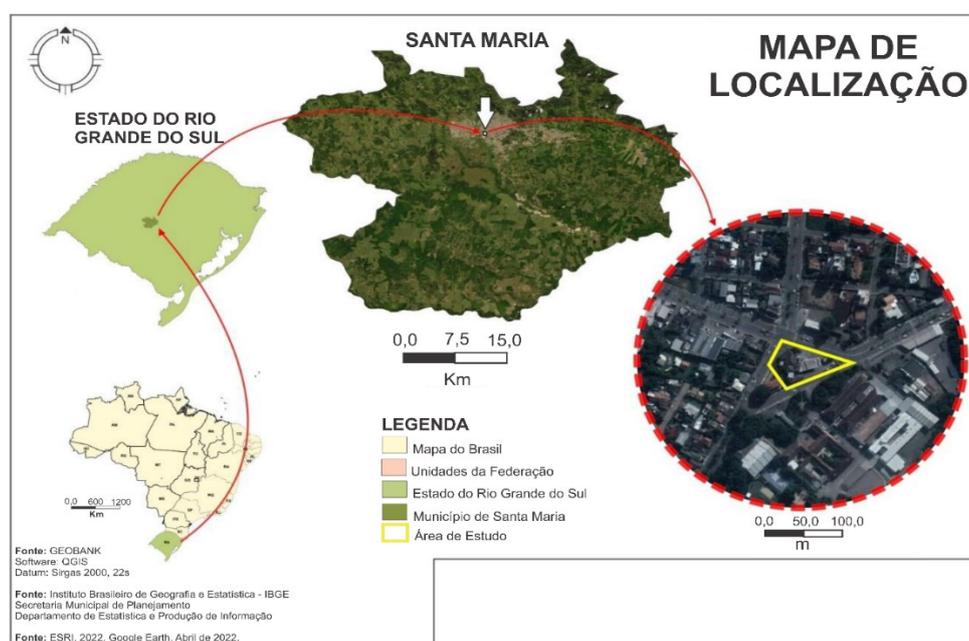


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Relatório de investigação detalhada (TECNOHIDRO, 2022).

O posto de gasolina opera no local com 2 tanques subterrâneos bipartidos com capacidade 30 m³ cada. Além da atividade de abastecimento de veículos automotores, o empreendimento realiza troca de óleo e lavagem de veículos. Em um círculo com raio de 100 metros a partir do centro do empreendimento, há presença de áreas comerciais e residências.

2.2. Histórico ambiental

Segundo informações obtidas do relatório de diagnóstico Ambiental (Servmar, 2002), antes de 2010, existiam seis tanques de armazenamento subterrâneos de combustíveis com capacidade de 15.000 litros, um filtro de abastecimento e sete bombas de abastecimento. No ano de 2001, foi solicitada pela FEPAM, uma avaliação na área do posto com objetivo de determinar possíveis contaminações do solo e das águas subterrâneas causada por hidrocarbonetos.

Entre setembro de 2003 e setembro de 2005, foram realizadas campanhas de monitoramento ambiental. A partir de coleta e análise de amostras de água subterrânea foi constatado a presença de benzeno em amostra coletada em um dos poços de monitoramento. Posteriormente também foi verificada a presença de benzo(a) antraceno, naftaleno e xilenos.

No ano de 2010, foram removidos 06 tanques e em setembro do mesmo ano iniciou-se uma tentativa de remediação na área através do uso de sistema de extração multifásico (MPE). A intervenção durou 28 meses e durante a última campanha de amostragem foi constatado que 05 pontos ainda apresentavam concentração de hidrocarbonetos acima do limite praticado pela Lista Holandesa.

No final de 2013 foi realizada a investigação ambiental na área com avaliação de risco à saúde humana. No total foram coletadas 21 amostras de água subterrânea e 10 amostras de solo analisadas para os parâmetros: hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) e BTEX, além das análises físico-químicas das amostras. A avaliação de risco à saúde humana concluiu, que tanto o solo quanto a água subterrânea apresentaram, em pelo menos um dos cenários descritos, risco a saúde humana. Com isso, foram recomendadas medidas de intervenção até que as metas descritas fossem atingidas.

Em 2022 uma nova investigação detalhada foi realizada com objetivo de coletar amostras de solo para análise química e mecânica e instalação de poços de monitoramento. Os parâmetros definidos para análise foram: PAH e BTEX. Em relação às amostras de solo, houve detecção de Tolueno, Etilbenzeno e Xileno Total acima dos valores de referência (CONAMA 420/2009) em um dos furos de sondagem. Entre as amostras de água, houve presença de Benzeno acima dos valores de intervenção (VI) estabelecidos na resolução CONAMA N° 420 em 11 poços de monitoramento.

2.3. Coleta de amostras

A coleta de amostras de solo foi realizada durante a perfuração das sondagens. Para o procedimento foi seguido a norma ABNT NBR 15.492:2007 (Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – procedimentos). As amostras foram coletadas em frascos de âmbar acondicionadas em recipientes térmicos, com temperatura inferior a 4°C. A amostragem de água subterrânea seguiu os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 15.847:2010 (Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de baixa vazão – *Low Flow*). Foram coletadas 34 amostras de água subterrânea. As análises de solo e água foram realizadas em laboratório certificado seguindo as normas e padrões internacionais.

2.4. Análise de risco

A quantificação do risco para um dado receptor é realizada com objetivo de estabelecer uma probabilidade adicional de desenvolvimento de câncer, ou de efeitos não cancerígenos agudos, subcrônico ou crônico, como resultado da exposição a uma determinada substância química (CETESB, 2021).

A caracterização do risco envolve todas as informações obtidas no levantamento de dados, avaliação de exposição e análise de toxicidade e dose-resposta, de forma integrada, de maneira a estabelecer uma estimativa numérica dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos (CETESB, 2021).

O risco à saúde humana, associado às substâncias químicas de interesse (SQIs) identificadas nas amostras de água subterrânea da área, foi avaliado para cada cenário de exposição válido e hipotético, considerando-se as condições da "exposição máxima considerada razoável" (*reasonable maximum exposure* – RME).

Os cálculos para Quantificação do Risco desenvolvidos para a área de interesse foram realizados com a utilização da Planilha CETESB, disponível no site do órgão (<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>), com base no Banco de Dados toxicológicos e físico-químicos para as (SQIs), presentes na mesma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Concentrações no ponto de exposição

Os locais mais prováveis de ocorrer a exposição dos receptores identificados às SQIs são nomeados pontos de exposição (PDE). Nestes pontos de exposição faz-se necessário medir ou estimar a quantidade de uma SQI, presente no meio físico (CETESB, 2021). Na Tabela 1, estão destacados os resultados de máxima concentração dos contaminantes estudados.

Tabela 1 – Máximas concentrações observadas.

Substância	Meio Físico	Ponto de Monitoramento	Concentração Observada	M.C.L.	Unidade
Benzeno	Água Subterrânea	Poço de monitoramento	186,00	5,00	µg/L
Etilbenzeno	Solo	Sondagem (1,8m)	91,625	600,00	mg/Kg
Tolueno	Solo	Sondagem (1,8m)	119,789	14000,00	mg/Kg
Xileno	Solo	Sondagem (1,8m)	388,773	3200,00	mg/Kg

3.2. Quantificação do risco

Os cálculos para Quantificação do Risco desenvolvidos para a área de interesse foram realizados com a utilização da Planilha CETESB, disponível no site do órgão, com base no Banco de Dados toxicológicos e físico-químicos para as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs), presentes na mesma.

Assim, considera-se risco aceitável carcinogênico (RAC) o valor de 10^{-5} e risco aceitável não carcinogênico (RANC) o valor de 1. A situação de risco foi estabelecida em casos da obtenção de valores superiores ao RAC e RANC em um cenário único como para um cenário de somatório por unidade de exposição ou somatório por compostos em cada unidade de exposição.

3.2.1. Unidade de exposição 1

Considerando cenários hipotéticos de exposição associados à UE-01 (área da atividade de posto de gasolina) para Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno e Xilenos, a Tabela 2 apresenta os resultados de cálculo de risco carcinogênico e a Tabela 3 apresenta os resultados de efeitos não carcinogênicos. Os receptores considerados foram:

1. Trabalhadores comerciais e industriais sob a fonte (inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes abertos);
2. Futuros trabalhadores em obra civil sob a fonte (contato dérmico e inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes abertos).

A somatória dos riscos por cenários de exposição (HQ), bem como o Índice de periculosidade (HI) total da área para os contaminantes dissolvidos na água subterrânea não excederam o RANC de 1,0 e RAC de 10^{-5} , em nenhum dos cenários avaliados. Desta maneira, exclui-se a possibilidade de riscos carcinogênicos e não carcinogênicos em um cenário de concentrações atuais ou em um cenário futuro de diminuição das concentrações.

Tabela 2 – Risco Carcinogênico para solo e água subterrânea contaminados.

Substância Química de Interesse (SQI)	Concentração máxima no ponto de exposição (mg/kg)	Cenário 1 (Trabalhador Comercial)	Cenário 2 (Trabalhador em obras civis)
Inalação de Compostos no Solo Contaminado em Ambientes Abertos			
Etilbenzeno	91,625	$4,10 \times 10^{-7}$	$1,34 \times 10^{-7}$
Inalação de Compostos na Água Subterrânea Contaminada em Ambientes Abertos			
Benzeno	0,186	$5,57 \times 10^{-9}$	$2,60 \times 10^{-10}$
Contato Dérmico com a Água Subterrânea Contaminada			
Benzeno	0,186		$5,45 \times 10^{-7}$

Tabela 3 – Risco não Carcinogênico para solo e água subterrânea contaminados.

Substância Química de Interesse (SQI)	Concentração máxima no ponto de exposição (mg/kg)	Cenário 1 (Trabalhador Comercial)		Cenário 2 (Trabalhador em obras civis)	
		HQ	HI	HQ	HI
Inalação de Compostos no Solo Contaminado em Ambientes Abertos					
Etilbenzeno	91,625		0,02197	0,0061477920	0,26402
Tolueno	119,79	0,0001345476		0,0028592578	
Xilenos	388,77	0,0218332300		0,2550166140	
Inalação de Compostos na Água Subterrânea Contaminada em Ambientes Abertos					
Benzeno	0,186	0,00007	0,00007	0,0001272	0,0001272
Contato Dérmico com a Água Subterrânea Contaminada					
Benzeno	0,186			0,28333	0,28333

3.2.2. Unidade de exposição 2

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados consolidados de cálculo do risco carcinogênico e não carcinogênico para os cenários hipotéticos de exposição na Unidade de Exposição 02, para o benzeno. Para essa unidade foram considerados receptores residenciais com os seguintes cenários:

1. Inalação de vapores em ambientes fechados, a partir de vapores originados da água subterrânea impactada;
2. Ingestão da água subterrânea.

Tabela 4 – Risco Carcinogênico para solo e água subterrânea contaminados.

Substância Química de Interesse (SQI)	Concentração máxima no ponto de exposição (mg/kg)	Cenário 1 (Residente urbano - criança)	Cenário 2 (Residente urbano - adulto)
Ingestão de Água Subterrânea Contaminada			
Benzeno	0,186	$1,25 \times 10^{-11}$	$4,66 \times 10^{-11}$
Inalação de Vapores em Ambientes Fechados a partir da Água Subterrânea Contaminada			
Benzeno	0,186	$5,57 \times 10^{-9}$	$2,60 \times 10^{-10}$
Contato Dérmico com a Água Subterrânea Contaminada			
Benzeno	0,186	$1,10 \times 10^{-12}$	$1,96 \times 10^{-12}$

A avaliação individual e o somatório dos riscos por cenários de exposição da área para água subterrânea, não apresentou resultados maiores que 1,0 para RANC e 10^{-5} para RAC para todos os cenários de exposição considerados, para crianças e adultos. Neste caso, exclui-se a possibilidade de riscos carcinogênicos e não carcinogênicos com as concentrações observadas.

Tabela 5 – Risco não Carcinogênico para água subterrânea contaminada.

Substância Química de Interesse (SQI)	Concentração máxima no ponto de exposição (mg/kg)	Cenário 1 (Residente urbano - criança)		Cenário 2 (Residente urbano - adulto)	
		HQ	HI	HQ	HI
Ingestão de Água Subterrânea Contaminada					
Benzeno	0,186	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Inalação de Vapores em Ambientes Fechados a partir da Água Subterrânea Contaminada					
Benzeno	0,186	5,57 x 10 ⁻⁹		2,60 x 10 ⁻¹⁰	
Contato Dérmico com a Água Subterrânea Contaminada					
Benzeno	0,186	0,00000	0,00000	2,19 x 10 ⁻⁸	2,19 x 10 ⁻⁸

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, a área de interesse é passível de ser classificada como Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação. É possível concluir que não houve quantificação de riscos à saúde humana acima de valores aceitáveis de riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para nenhum dos cenários avaliados.

Contudo, as planilhas CETESB são modelos matemáticos, que embora tenham sido aprovadas por diversos profissionais da área de gerenciamento de áreas contaminadas, servem de apoio na tomada de decisões. Neste caso, o conhecimento do meio físico local e o acompanhamento contínuo da área se tornam importante no controle e proteção do meio ambiente e da saúde humana local.

O local possui um histórico de gerenciamento de contaminação desde 2002, com campanhas de monitoramento, outras investigações ambientais e análises de riscos à saúde. Neste contexto, destaca-se a importância do monitoramento ambiental de áreas utilizadas por postos de combustíveis, inclusive áreas desativadas que possam conter passivos ambientais como tanques subterrâneos desativados e mantidos no local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. *Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento* – Métodos de Purga. NBR 15.847-2010. Brasil, 2010.

ABNT. *Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental* – Procedimento. NBR 15.492-2007. Brasil, 2007.

ANP. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis*. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.8.2020.tde-20042021-161655>

CETESB. *Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areascontaminadas/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

GLOEDEN, E.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. R. S. (Orgs). *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. 3 ed. São Paulo: CETESB, 2021. <https://doi.org/10.11606/t.44.1999.tde-12022015-152823>

CETESB. *Planilhas para Avaliação de Risco*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-paraavaliacao/>. Acesso em: 05 set. 2022.

CONAMA. Resolução CONAMA no 420, de 28 de dezembro de 2009. *Diário Oficial da União*, Brasília: 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.3.2006.tde-05092006-141310>.

CPRM. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750,000*. Ministério das Minas e Energia: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2016. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/10301/2/Geologico_MDT.pdf Acesso em: 06 de julho de 2022.

FEPAM. *Diretriz técnica nº 003/2021*. DOI: <https://doi.org/10.51859/amplla.cam2256-27>

JERÔNIMO JÚNIOR, J.; PASQUALETTO, A. Contaminação ambiental movida por postos retalhistas de combustíveis. Goiânia: Serviço Online PUC Goiás, 2008. Disponível em:
<https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/7074/material/CONTAMINA%C3%87%C3%83O%20AMBIENTAL%20POR....pdf> Acesso em: 06 de julho de 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos*. Brasília: Departamento de vigilância em saúde ambiental e saúde do trabalhador, 2010. DOI:
<https://doi.org/10.56041/9786599841835-3>

SERVMAR. *Diagnóstico Ambiental Preliminar*. [S. l.]: Texaco Brasil Ltda, 2002.

TECNOHIDRO. *Investigação detalhada*. [S. l.]: 2022.