

Finalização do Software ARSH – Avaliação de Risco à Saúde Humana

GUSTAVO STRELOW KOPERECK¹;
TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA³

¹Universidade Federal de Pelotas – gskopereck@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – tirzahsiqueira@hotmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

O software ARSH - Avaliação de Risco à Saúde Humana é uma ferramenta gratuita desenvolvida na linguagem Python, destinada à avaliação quantitativa de riscos à saúde humana decorrentes da exposição a substâncias químicas presentes em áreas contaminadas. O programa foi concebido com finalidade de ser acessível ao público-geral, contendo diversos manuais de como o utilizar. Além disso, ele pode ser usado para o suporte de pesquisas científicas, atividades de ensino em sala de aula e elaboração de artigos técnicos na área de ciências ambientais e engenharia.

Primeiramente, o ARSH opera por meio de uma interface gráfica de usuário, o que permite uma interação intuitiva e acessível para usuários, com a opção de selecionar os cenários de exposição, meios de contaminação, seleção dos receptores, alterar os parâmetros de exposição e meio físico, entre outras possibilidades. A arquitetura do software está organizada em três níveis de análise, cuja complexidade e detalhamento crescem progressivamente. O Nível 1 corresponde à avaliação mais simplificada, baseada na metodologia RBCA (*Risk Based Corrective Action*), conforme preconizado pela ASTM International (2015). Neste nível, os cálculos de dose e de caracterização de risco são realizados de forma determinística, utilizando valores pontuais para os parâmetros de entrada. O Nível 2 utiliza os dados do nível 1 e incorpora fatores de atenuação natural (DAF - *Dilution Attenuation Factor*), permitindo considerar os processos de transporte e atenuação de contaminantes no meio físico por meio de modelos matemáticos, como a equação de Domenico em regime permanente e transiente e o modelo gaussiano tridimensional. Já o Nível 3 constitui o diferencial do ARSH, pois implementa uma análise probabilística mediante o método de Monte Carlo. Neste nível, os parâmetros de entrada podem ser modelados segundo diferentes distribuições de probabilidade, possibilitando a quantificação da incerteza associada aos resultados da avaliação de risco. A aplicação de técnicas probabilísticas é recomendada por órgãos ambientais internacionais como a United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Além disso, o software conta com um banco de dados integrado contendo propriedades toxicológicas e físico-químicas de diversos contaminantes, o que reduz significativamente o tempo de preparação dos dados de entrada, e também conta com a possibilidade de exportar os resultados em formato de planilha Excel, conferindo reprodutibilidade às análises, importante para a produção acadêmica e científica.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo do software ARSH é composto predominantemente por estudantes de graduação e pós-graduação, órgãos públicos como a Fundação

Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), pesquisadores e docentes vinculados a programas e cursos nas áreas de Engenharia Ambiental e Sanitária e afins. Uma parcela desse público possui restrições orçamentárias para a aquisição de licenças de softwares comerciais, o que torna a gratuidade do ARSH um fator determinante para a sua adoção. Adicionalmente, profissionais de empresas de consultoria ambiental de pequeno e médio porte, que buscam alternativas de custo reduzido para análises preliminares, também podem ser beneficiados pela ferramenta.

No cenário brasileiro, os principais concorrentes do ARSH são as planilhas eletrônicas de avaliação de risco da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), amplamente utilizadas como referência em estudos de gerenciamento de áreas contaminadas no país. Essas planilhas são distribuídas gratuitamente e oferecem funcionalidades equivalentes aos Níveis 1 e 2 de avaliação de risco; contudo, não disponibilizam ferramentas para análise probabilística (Nível 3), o que limita sua aplicação a avaliações determinísticas. No âmbito internacional, softwares como o RISC5, RBCA Tool Kit e o BP RISC são opções consolidadas no mercado que oferecem funcionalidades de análise probabilística; porém, são softwares comerciais com custos de licenciamento significativos, tornando-os inacessíveis para grande parte da comunidade acadêmica.

O possível mercado do ARSH pode ser considerado como o conjunto de todos os profissionais, estudantes e pesquisadores que realizam avaliações de risco à saúde humana em áreas contaminadas, concentrando-se nos grupos de pesquisa e programas de pós-graduação brasileiros que já utilizam as planilhas da CETESB e que se beneficiariam da migração para uma ferramenta mais completa.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Por tratar-se de uma inovação social e acadêmica, o software ARSH não adota um modelo de negócios voltado à geração de receita financeira direta e, atualmente, o software não possui propriedade intelectual registrada na forma de patente ou registro. O desenvolvimento do ARSH seguiu um processo iterativo e incremental ao longo de 6 anos (2020 - 2026), sendo o período mais recente (2025-2026) focado na implementação e correção do nível 3, ajustes de bugs, erros lógicos e interface, exportação dos dados para o excel e testes. Os testes de validação foram conduzidos comparando os resultados do ARSH com aqueles obtidos pelas planilhas da CETESB e pela literatura técnica de referência.

Os principais desafios e riscos associados ao projeto incluem: a manutenção e atualização contínua do banco de dados toxicológicos, uma vez que valores de referência são periodicamente revisados por agências como a USEPA e a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); a dependência da comunidade acadêmica para a validação extensiva dos resultados em diferentes cenários; a necessidade de compatibilidade com diferentes sistemas operacionais e resoluções de tela, considerando que o software atualmente utiliza layouts baseados em posicionamento relativo; e o risco de obsolescência tecnológica das bibliotecas utilizadas (Tkinter, NumPy, Matplotlib), que pode exigir refatorações futuras do código. As estratégias de mitigação incluem a estruturação de um ciclo periódico de atualização do banco de dados, a criação de uma comunidade de usuários para reporte de bugs e validação colaborativa e a adoção de boas práticas de documentação e modularização do código, que já se encontram parcialmente implementadas na arquitetura atual do projeto.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

O principal impacto do ARSH é de natureza ambiental e educacional, pois disponibiliza gratuitamente uma ferramenta que contempla os três níveis de avaliação de risco, destacando-se, em particular, a implementação do Nível 3 de avaliação: até o presente momento, não há no Brasil um software gratuito e de código nacional que ofereça a análise probabilística de risco à saúde humana por meio de simulação de Monte Carlo, que é essencial para a quantificação das incertezas nos parâmetros de exposição e meio-físico, aumentando a robustez dos resultados da ferramenta, permitindo que estudantes, pesquisadores e profissionais realizem avaliações mais precisas associadas à exposição a contaminantes em áreas degradadas, contribuindo para decisões de gerenciamento ambiental mais fundamentadas. No âmbito social, o ARSH democratiza o acesso a uma metodologia restrita a softwares comerciais de alto custo, beneficiando especialmente universidades públicas e instituições com recursos limitados, onde pode ser adotado como ferramenta didática em disciplinas de graduação e pós-graduação.

5. CONCLUSÕES

Desenvolvido ao longo de seis anos e validado por comparação com as planilhas da CETESB e com a literatura de referência, o ARSH demonstrou resultados consistentes que atestam a confiabilidade dos seus módulos de cálculo. Diante do exposto, convida-se a comunidade acadêmica, órgãos ambientais e agências de fomento a conhecer e adotar o ARSH em atividades de ensino e pesquisa. A colaboração de usuários no reporte de inconsistências e no desenvolvimento de novas funcionalidades é importante para a manutenção e evolução contínua do projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministério da Saúde. **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-ambiental/arsh>. Acesso em: 31 ago. 2026.

CETESB. **Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação**. Versão 3.03, 24 de março de 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>. Acesso em: 31 ago. 2026.