

## MÉTODO DE AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA BASEADO NA MEDIÇÃO DE BIOMARCADORES MOLECULARES

MARIANA CAVALCANTI NASCIMENTO<sup>1</sup>; ANTÔNIO DUARTE PAGANO<sup>2</sup>; LUANA FERREIRA VIANA DOS REIS<sup>2</sup>; TONY LEANDRO REZENDE DA SILVEIRA<sup>2</sup>; VINICIUS FARIAS CAMPOS<sup>2</sup>; MARIANA HÄRTER REMIÃO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [marianacbiotec@gmail.com](mailto:marianacbiotec@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [antionioduartepagano@gmail.com](mailto:antionioduartepagano@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [luanafvreis@gmail.com](mailto:luanafvreis@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [silveira.tlr@gmail.com](mailto:silveira.tlr@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [fariascampos@gmail.com](mailto:fariascampos@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [mariana.remiao@ufpel.edu.br](mailto:mariana.remiao@ufpel.edu.br)

### 1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A poluição química é um fator majoritário para a crise da natureza, estando associada a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (LANDRIGAN, P.J., & FULLER, R., 2015). Ainda, a exposição a poluentes químicos impacta negativamente a saúde única, causando 9 milhões de mortes anuais (WHO, 2024). Com o agravamento deste problema, o uso de tecnologias inovadoras para monitoramento se torna essencial para identificar de forma precisa e sensível substâncias tóxicas no ambiente. Nesse contexto, o zebrafish (*Danio rerio*), com cerca de 70% de similaridade genética com humanos, destaca-se como um modelo translacional relevante em ecotoxicologia. Seus resultados permitem extrapolações para potenciais impactos na saúde humana, oferecendo uma visão detalhada dos riscos ambientais (GARCIA et al., 2016)

Esse trabalho descreve uma invenção inovadora e sensível para avaliação ecotoxicológica, utilizando biomarcadores moleculares em peixes teleósteos. O método foi desenvolvido e patenteado para aprimorar a detecção de efeitos subletais de poluentes ambientais, aplicável tanto a amostras de água coletadas de ecossistemas quanto a compostos químicos industriais e contaminantes emergentes. O painel de biomarcadores inclui genes como *cyp1a*, *gstp1*, *hsp70*, *mt2*, *nrf2*, *sod1* e *il1b*, além de microRNAs como *dre-miR-144*, *dre-miR-125b-5p*, *dre-miR-122*, *dre-miR-155* e *dre-miR-30b*. A quantificação é realizada em zebrafish adultos do sexo masculino, expostos ou não a contaminantes, permitindo uma análise precisa da toxicidade.

### 2. ANÁLISE DE MERCADO

Monitoramentos precisos são essenciais para garantir que empresas cumpram as leis ambientais ao liberar efluentes. Técnicas químicas e bacteriológicas, como o Índice de Qualidade da Água (IQA), monitoram aspectos como oxigênio dissolvido, pH e coliformes, mas têm limitações ao não captarem os efeitos biológicos da poluição (MCKNIGHT ET AL., 2012). Os testes de toxicidade da ABNT e da OECD, que medem mortalidade e reprodução em peixes e algas, também enfrentam restrições por focarem apenas em efeitos extremos (SCHUIJT ET AL., 2021).

Para superar essas limitações, biomarcadores surgem como uma abordagem mais precisa e rápida para identificar alterações biológicas antes de

efeitos letais. Esse método, patenteado, é mais sensível na detecção de poluentes, facilita a conformidade regulatória e oferece uma análise detalhada de impactos ambientais subletais.

O público-alvo da tecnologia abrange quatro segmentos principais. O primeiro é composto por indústrias e empresas dos setores químico e farmacêutico, que precisam de métodos precisos para avaliar a toxicidade de novos produtos e compostos. O segundo grupo inclui empresas de saneamento e órgãos reguladores, que monitoram a qualidade da água e os efeitos de poluentes em ecossistemas aquáticos. O terceiro segmento engloba empresas geradoras de efluentes ambientais, que utilizam a tecnologia para avaliar a eficácia dos processos de remediação e a redução da toxicidade dos efluentes. Por último, consultores ambientais, que atendem clientes na área de toxicologia e biotecnologia ambiental, podem usar o método para fornecer análises detalhadas e soluções personalizadas.

O potencial de mercado para a tecnologia proposta é significativo, abrangendo indústrias químicas, farmacêuticas, de saneamento e empresas geradoras de efluentes. O TAM (mercado total disponível) inclui o setor global de biotecnologia ambiental e monitoramento da qualidade da água, avaliado em bilhões de dólares. O SAM (mercado disponível atendível) foca em empresas que necessitam de testes ecotoxicológicos avançados, como as que desenvolvem novos produtos químicos ou monitoram a saúde ambiental. O SOM (mercado obtido) será representado pela capacidade de penetração inicial em empresas de médio e grande porte, que demandam soluções inovadoras e precisas para avaliação de toxicidade.

### **3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO**

O projeto pretende gerar receita através da prestação de serviços especializados na análise da qualidade da água. A análise ecotoxicológica baseada no método proposto pode ser oferecida como um serviço B2B (business-to-business), onde empresas químicas, farmacêuticas, de saneamento e geradoras de efluentes contratam a empresa detentora da tecnologia para realizar testes de toxicidade em seus produtos e processos. Esse modelo permite que as empresas terceirizem a avaliação da toxicidade e eficácia de suas soluções, garantindo conformidade regulatória e segurança ambiental, sem precisar investir em infraestrutura própria para testes. Além disso, o método pode ser licenciado para empresas que desejam incorporar a tecnologia em suas operações.

Ao realizar a cotação de valores para reagentes e serviços, é essencial considerar não apenas o custo dos insumos laboratoriais, mas também o valor agregado pela prestação do serviço e a expertise da equipe envolvida. Para atender diferentes necessidades, a proposta inclui três opções de planos. O Plano Basic é ideal para análises iniciais ou clientes com orçamento reduzido, incluindo a análise de cinco biomarcadores, dois tipos de tecidos e um relatório simplificado com suporte básico. Já o Plano Premium oferece sete biomarcadores, três tecidos e assessoria personalizada com reuniões virtuais, além da extração de material genético e um laudo técnico assinado por especialistas. Para clientes que buscam uma análise detalhada, o Plano Ultra inclui doze biomarcadores, cinco tecidos,

reuniões extensas e um relatório completo, além da coleta in situ e extração genética. Comparado a outras empresas do setor e considerando os altos custos envolvidos em análises de biologia molecular, os valores oferecidos são bastante competitivos, pois garantem uma relação custo-benefício atrativa, oferecendo alta qualidade a preços acessíveis.

Atualmente, um membro do nosso grupo é sócio da empresa Ciclo Biotecnologia Ambiental que está incubada na cidade de Pelotas, o que proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento inicial das atividades. Uma parceria essencial foi firmada com a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), por meio do programa Conectar e dos laboratórios da instituição, o que foi fundamental para o avanço do projeto. A longo prazo, há planos de expandir os serviços para outras localidades, de acordo com a demanda e a viabilidade técnica. A expansão poderá incluir a abertura de filiais ou a realização de parcerias com instituições e empresas em diferentes regiões.

A sinergia entre o grupo de pesquisa e a startup fortalece tanto a inovação científica quanto a aplicação prática, resultando em um impacto significativo na economia circular e no desenvolvimento sustentável. A colaboração é um exemplo de como a parceria entre academia e setor privado pode gerar soluções inovadoras para os desafios ambientais atuais. O grupo também está em processo de obtenção de patente para proteger este método, o que garantirá exclusividade na utilização da tecnologia no mercado, permitindo sua comercialização e, eventualmente, sua aplicação em mercados internacionais, abrindo novas oportunidades de exploração.

Em termos de desenvolvimento, o projeto já realizou um primeiro teste utilizando amostras de água coletadas em áreas afetadas por enchentes, com resultados ainda em fase de análise. Esse teste inicial é parte fundamental para validar o método proposto e garantir que ele atenda aos requisitos técnicos necessários para ser implementado em larga escala. Com base nisso, estima-se que o projeto se encontra no nível TRL 4, indicando que o método já foi validado em ambiente laboratorial.

O principal desafio a ser enfrentado será fazer com que esse método de análise seja aceito como um padrão regulamentado. Para isso, será necessário obter a aprovação de órgãos reguladores e garantir que o método esteja em conformidade com a legislação vigente. Esse processo pode envolver ajustes no protocolo e a necessidade de novas avaliações para garantir sua aceitação pelas autoridades competentes.

#### **4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO**

A patente proposta introduz um método inovador para avaliar os efeitos subletais de poluentes ambientais, com impactos significativos tanto sociais quanto ambientais. Socialmente, a técnica aprimora a proteção da saúde pública ao permitir a detecção precoce de danos em organismos aquáticos. Isso ajuda a prevenir a exposição a substâncias prejudiciais que, a longo prazo, podem afetar a cadeia alimentar e a saúde humana. Além disso, o método promove práticas empresariais responsáveis e facilita a conformidade com normas ambientais rigorosas. Ambientalmente, a patente oferece uma análise mais detalhada dos impactos subletais nos ecossistemas aquáticos e melhora a eficácia das estações

de tratamento de efluentes, contribuindo para a preservação da biodiversidade e a redução da poluição. As análises genômicas e as questões ambientais estão ganhando crescente destaque, o que torna a proposta apresentada altamente promissora como um método válido para a análise da qualidade da água no futuro. Acreditamos que, à medida que a comunidade começar a observar os resultados mais sensíveis e detalhados fornecidos pelo nosso método em comparação com os métodos tradicionais, haverá um aumento significativo na demanda por esse tipo de análise.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia inovadora utiliza biomarcadores moleculares em zebrafish para detectar efeitos subletais de poluentes, superando técnicas tradicionais e oferecendo uma análise precisa dos impactos ambientais. Com qPCR, essa abordagem facilita o cumprimento de regulamentações e protege o meio ambiente, promovendo práticas empresariais mais sustentáveis e eficientes.

Este é o momento ideal para que investidores, reguladores e parceiros se juntem a essa iniciativa revolucionária. O método proposto oferece não apenas benefícios competitivos, mas também abre novas oportunidades de mercado em um setor em crescimento. Ao unir forças, podemos impulsionar essa tecnologia e promover um futuro mais responsável e sustentável para o meio ambiente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LANDRIGAN, P.J.; FULLER, R. Global health and environmental pollution. *International Journal of Public Health*, v.60, p.761-762, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Disponível em: <https://www.unep.org/interactives/beat-pollution/#>. Acessado em: 26 set. 2024.

GARCIA, G.R.; NOYES, P.D.; TANGUAY, R.L. Advancements in zebrafish applications for 21st century toxicology. *Pharmacology & Therapeutics*, v.161, p.11-21, 2016.

MCKNIGHT, U.S.; RASMUSSEN, J.J.; KRONVANG, B.; BJERG, P.L.; BINNING, P.J. Integrated assessment of the impact of chemical stressors on surface water ecosystems. *Science of the Total Environment*, v.427-428, p.319-331, 2012.

SCHUIJT, L.M.; PENG, F.J.; VAN DEN BERG, S.J.P.; DINGEMANS, M.M.L.; VAN DEN BRINK, P.J. (Eco)toxicological tests for assessing impacts of chemical stress to aquatic ecosystems: facts, challenges, and future. *Science of the Total Environment*, v.795, p.148776, 2021.