

**Diagnóstico ambiental e aplicação da análise de risco de um tributário do rio Poxim,  
Sergipe-Brasil**

**Environmental diagnosis and application of the risk analysis of a tributary of the Poxim  
River, Sergipe-Brazil**

**Diagnóstico ambiental y aplicación de análisis de riesgo de un afluente del río Poxim,  
Sergipe-Brasil**

Recebido: 04/11/2020 | Revisado: 08/11/2020 | Aceito: 11/11/2020 | Publicado: 15/11/2020

**Lúcio Vinícius Aragão Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6487-1134>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [lucioviniaragao@hotmail.com](mailto:lucioviniaragao@hotmail.com)

**Bruno Santos Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5668-6070>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [bruffno@ufs.br](mailto:bruffno@ufs.br)

**Resumo**

A forma de uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, em Sergipe, afeta a condição da qualidade de suas águas devido ao intenso processo de urbanização da região. Fatores como, crescimento populacional desordenado, habitações construídas às margens dos leitos, desmatamento e a falta de serviços de esgotamento sanitário adequado têm levado a degradação acentuada desse manancial. A análise de risco é um método de cálculo que avalia as alterações provocadas pelas diversas atividades antropogênicas a um determinado sistema por meio da integração de variáveis representadas dentro de linhas de evidências, permitindo desse modo valorar o risco para um ecossistema. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o grau de degradação, identificar possíveis fatores de contaminação hídrica e analisar o risco existente em um tributário do Rio Poxim em São Cristóvão, Sergipe. Foram definidos para a aplicação da metodologia três pontos amostrais deste afluente além da utilização de valores da Resolução CONAMA n° 357/2005 para a referência normativa. Os resultados obtidos mostraram que as alterações identificadas se relacionam com os usos antrópicos que ocorrem ao longo do riacho. Foram valoradas a linha de evidência química, que variou entre baixo e médio risco, e a linha ecológica estimada como de altíssimo risco. Com a integração

das linhas, o valor do risco variou de alto a altíssimo, significando que a sub-bacia hidrográfica necessita de medidas emergenciais de recuperação.

**Palavras-chave:** Análise de risco; Bacia hidrográfica; Impactos ambientais.

### **Abstract**

The land use and occupation in the Poxim river hydrographic sub-basin, in Sergipe, affects the condition of its water quality due to the intense urbanization process in the region. Factors such as disordered population growth, housing built on the banks of the beds, deforestation and the lack of adequate sewage services have led to degradation of this source. The risk analysis is a calculation method that assesses the changes caused by the various anthropogenic activities to a specified system through the integration of variables represented within lines of evidence, thus allowing the risk to be valued for one ecosystem. In this context, the objective of this work was to evaluate the degree of degradation, to identify possible factors of water contamination and to analyze the risk existing in a tributary of the Poxim river in São Cristóvão, Sergipe. For the application of the methodology, three sampling points of this tributary were defined in addition to the use of values from CONAMA Resolution nº 357/2005 as the normative reference. The results obtained showed that the alterations identified are related to the anthropic uses that occur along the stream. The chemical evidence line, which varied between low and medium risk, and the ecological line, estimated to be of very high risk, were valued. With the integration of the lines, the risk value ranged from high to very high, meaning that the hydrographic sub-basin needs emergency recovery measures.

**Keywords:** Risk analysis; River basin; Environmental impacts.

### **Resumen**

La forma de uso y ocupación del suelo en la subcuenca hidrográfica del río Poxim, en Sergipe, afecta el estado de la calidad de sus aguas debido al intenso proceso de urbanización de la región. Factores como el crecimiento desordenado de la población, la construcción de viviendas en las riberas de los cauces, la deforestación y la falta de servicios de alcantarillado adecuados han llevado a la marcada degradación de esta fuente. El análisis de riesgo es un método de cálculo que evalúa los cambios provocados por las diversas actividades antropogénicas a un sistema dado mediante la integración de variables representadas dentro de líneas de evidencia, permitiendo así valorar el riesgo para un ecosistema. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el grado de degradación, identificar posibles factores de

contaminación del agua y analizar el riesgo existente en un afluente del río Poxim en São Cristóvão, Sergipe. Se definieron tres puntos de muestreo de este afluente para la aplicación de la metodología, además del uso de los valores de la Resolución CONAMA n° 357/2005 como referencia normativa. Los resultados obtenidos mostraron que las alteraciones identificadas están relacionadas con los usos antrópicos que se dan a lo largo del arroyo. Se valoró la línea de evidencia química, que variaba entre riesgo bajo y medio, y la línea ecológica, estimadas de muy alto riesgo. Con la integración de las líneas, el valor de riesgo varió de alto a muy alto, lo que significa que la subcuenca hidrográfica necesita de medidas de recuperación de emergencia.

**Palabras clave:** Análisis de riesgos; Cuenca hidrográfica; Impactos ambientales.

## 1. Introdução

A maior parte dos recursos hídricos disponíveis no mundo está sujeita a processos de degradação, uma vez que o homem vem utilizando-os de diferentes formas e para diferentes fins. A falta de cuidado na utilização dos recursos hídricos pode gerar muitos efeitos negativos ao meio ambiente, como o lançamento de efluente doméstico e industrial que podem causar erosão das áreas de entorno e perda da biota e prejuízo a saúde humana (Fatma, 1998). Nesses ambientes, os organismos aquáticos podem ser expostos a agentes químicos e dessa contaminação podem surgir alterações na biodiversidade aquática, resultando na desestruturação dos ambientes físicos, da dinâmica química e das comunidades biológicas (Callisto, Moretti & Goulart, 2001; Costa et al., 2008).

Nesse contexto, surge a necessidade de mecanismos de gestão ambiental para identificar os potenciais riscos ambientais, os quais compreendem um conjunto de medições ambientais associadas às diversas operações poluidoras (Petry et al., 2011). Os instrumentos de gerenciamento de riscos ambientais podem servir como ferramentas para auxiliar na caracterização e consequente minimização dos impactos ambientais de uma dada região. Eles evidenciam o comprometimento da saúde dos seres vivos e a qualidade do meio ambiente decorrentes das atividades poluidoras do homem. Os resultados dos parâmetros de qualidade da água foram utilizados de forma a contribuir como a ferramenta de Análise de Risco, que segundo Jensen et al. (2006) trata-se de uma ferramenta técnica que calcula a chance de efeitos ecológicos adversos ocorrerem em ecossistemas a partir de processos de coleta, organização e análise de dados ambientais, possibilitando a avaliação de impactos causados pelas diversas atividades antrópicas. A metodologia utilizada nessa técnica foi adaptada para

ter como principal fator de análise o cálculo da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos a um determinado sistema, levando em consideração os parâmetros físico-químicos que fornecem um indicativo consolidado da contaminação e vulnerabilidade ambiental. Uma análise foi constituída por linhas de evidências avaliadas para valorar os riscos químicos, que descreveu quais substâncias químicas e a que concentrações o ambiente está exposto e a ecológica, que avaliou de maneira qualitativa e quantitativa as características limnológicas do ecossistema (Long & Chapman, 1985). Estas linhas de análises têm sido empregadas em alguns estudos para estimar os riscos em determinados sistemas demonstrando seu potencial (Ferraz, 2008; Niemeyer et al., 2010; Sanchez, 2012; Ribeiro et al., 2018; Pagliarini et al., 2019).

Assim, este trabalho analisou alguns parâmetros de qualidade da água em amostras coletadas ao longo de um dos afluentes do rio Poxim em São Cristóvão, Sergipe, Brasil, com o intuito de avaliar o grau de degradação pela contribuição da poluição difusa e pontual que ocorrem em um determinado trecho deste riacho, e com isso, valorar os riscos como forma de identificar a vulnerabilidade do corpo hídrico em questão, avaliando as diversas atividades antrópicas realizadas localmente.

## **2. Metodologia**

A abordagem metodológica utilizada neste estudo foi do tipo quali-quantitativo. Foram utilizadas como base, visitas de campo, para coleta de amostras, determinações numéricas para análises laboratoriais e para indicadores (linhas de evidências), sendo esta última estimada a partir da obra de Jensen et al. (2006).

### **2.1 Área de estudo**

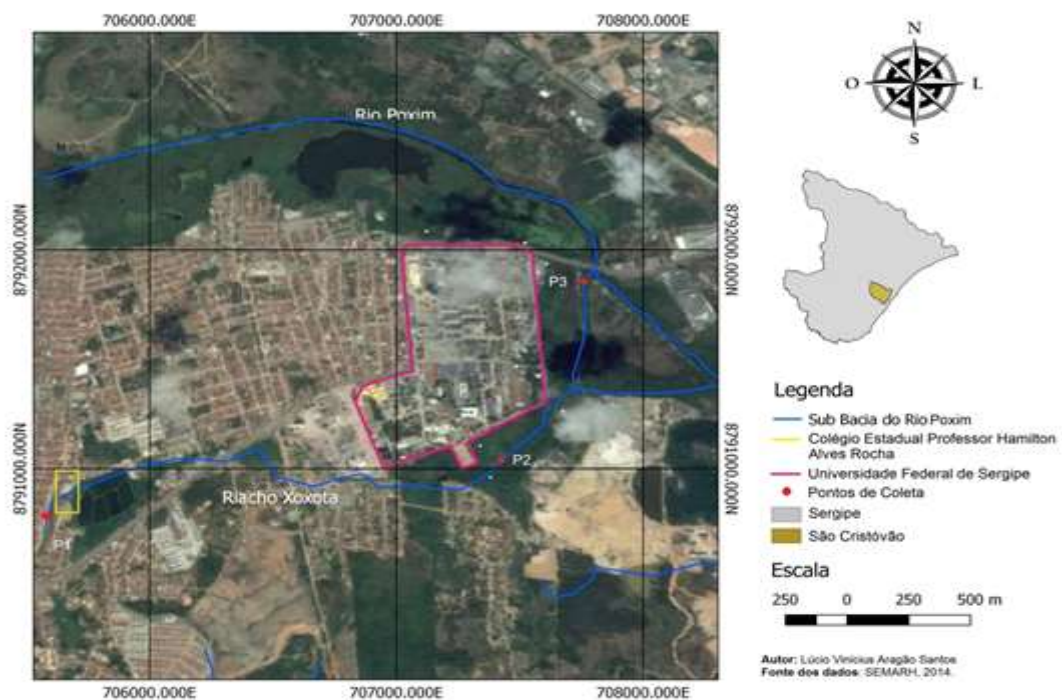
A área selecionada para este estudo foi um dos tributários afluentes do rio Poxim classificado seguindo as exigências da Resolução CONAMA nº 357 como água doce classe 2 (Figura 1). Mais especificamente, o estudo concentrou atenção em três pontos deste riacho (P1, P2 e P3), os quais são influenciados pelas interações locais urbanas do município de São Cristóvão, em Sergipe.

Esse corpo d'água pertence a sub-bacia hidrográfica do rio Poxim e encontra-se na porção urbana do estado de Sergipe, ele nasce nas proximidades do Conjunto Eduardo Gomes, o qual foi assentado no processo de metropolização de São Cristóvão, existindo desde

a década de 80 do século passado. Esse riacho possui uma extensão de aproximadamente 4 km.

A área da nascente desse riacho sofre grandes influências antrópicas devido ao grau de urbanização a qual o bairro passou nos últimos anos. Destaca-se na localidade a presença de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-Rosa Elze), que é operada pela Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), e a qual recebe os esgotos dos bairros residenciais locais (Rosa Elze e Eduardo Gomes) e os lançam tratados no curso de água avaliado neste estudo. A ETE-Rosa Elze é constituída de cinco lagoas de estabilização em série: duas lagoas facultativas seguidas de três lagoas de maturação. Além da ETE, outros pontos de aporte para a poluição no riacho são o lançamento in natura de efluentes residenciais provenientes das construções habitacionais posicionadas às margens do corpo hídrico, e o descarte de resíduos sólidos por parte da população, que utilizam de forma permanente ou ocasional as áreas do entorno. Ao longo do riacho é possível observar alternâncias entre áreas desmatadas, aglomerados populacionais e pontos de aparente preservação natural das margens.

**Figura 1.** Localização do riacho de estudo com destaque para os pontos de coleta.



Fonte: Autores.

O riacho em estudo contorna os limites da Universidade Federal de Sergipe (Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos), a qual lança um aporte hídrico diário de águas residuais tratadas da ordem de aproximadamente 5 L/s oriundas de sua estação de

tratamento de efluentes (ETE-UFS), a qual está localizada na parte interna do campus. A ETE-UFS desde 2015 está funcionando com um sistema de tratamento biológico anaeróbio do tipo fluxo ascendente (DAFA), um tratamento aeróbio do tipo valo de oxidação e um tanque de contato para desinfecção.

Após margear o campus, as águas do riacho se juntam com as águas do rio Poxim e então seguem o seu fluxo até o rio Sergipe e em seguida ao oceano Atlântico.

## 2.2 Desenho experimental

A estimativa de risco utilizado neste estudo foi baseada na obra de Jensen et al. (2006) com devidas adaptações. Esta metodologia define um valor de risco para determinado ponto de amostragem, gerando um valor final entre 0 e 1, sendo o risco classificado como baixo quando é valorado entre 0,000 e 0,250; médio entre 0,251 e 0,500; alto entre 0,501 e 0,750 e altíssimo entre 0,751 e 1,000. É importante mencionar que os dados químicos avaliados tomaram como base os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 – água doce.

As amostras foram coletadas no dia 24 de julho de 2018, no período entre às 14h 30min e às 15h 30min nas localizações geográficas: P1 – Lat. 8790968; Long. 706185; P2 – Lat. 8791385; Long. 707862; P3 – Lat. 8791863; Long. 707947. Vale destacar que o dia da coleta e no dia anterior não houveram precipitações atmosféricas que pudessem influenciar em efeitos de diluição aos locais amostrais. As amostras de água foram coletadas por meio de frascos plásticos em um total de 18 litros (6L para cada ponto), as quais foram mantidas sob resfriamento (4 °C). A medida de turbidez foi analisada em equipamento digital modelo TU 2016 da Lutron. Os valores de sólidos (totais, fixos e voláteis), DBO, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, fósforo total, sulfatos e metais (Ferro, Manganês, Mercúrio, Zinco e Cobre) foram determinados seguindo como descrito no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

## 2.3 Linhas de Evidências

Uma linha de fundamentação foi utilizada como ferramenta principal para determinação do valor do risco deste trabalho. Os parâmetros avaliados para a composição deste estudo foram: (i) LoE-Química: Mercúrio, cobre, ferro, manganês e zinco; (ii) LoE-Ecológica: DBO, SST, SSF, SSV, pH, turbidez, nitritos, sulfatos, nitratos, nitrogênio

amoniaco e fósforo total.

Este trabalho utilizou valores da resolução CONAMA nº 357/2005 (classe 2 – água doce) como o ponto de referência normativa livre de contaminação, que recebeu a denominação fictícia de ponto P4, a fim de, garantir aos cálculos os resultados esperados. Com o intuito de valoração dos parâmetros dentro de critérios de relevância ao estudo foi aplicado um peso de 0,7 (70%) a todos os valores dos parâmetros do ponto 4 (P4), essa consideração permitiu reduzir incertezas dos dados.

### 2.3.1 Linha de Evidência Química (LoE – Química)

Para a LoE Química também foram considerados ajustes nos dados, assim, visando dar maior confiabilidade, foi aplicada uma análise da relevância das variáveis a partir de um escalonamento, de forma que as variáveis com maior grau de incerteza possuíam menor peso. Assim, o peso máximo de 1,0 foi atribuído aos metais cobre e mercúrio, e o peso de 0,5 foi atribuído aos metais ferro, manganês e zinco, devido ao menor impacto ambiental que a incidência desses elementos causam ao meio aquático (Piveli & Kato, 2006). A partir dos valores determinados e dos valores considerados como referência para cada contaminante (CONAMA nº 357/2005), as seguintes fórmulas para a quantificação dos riscos para a LoE Química foram:

1) Cálculo de R3 para cada contaminante:  $R3 = \frac{R1}{R2}$

Onde R1 = concentração de cada substância por elemento e R2 = valores de referência para os contaminantes

2) Cálculo do risco para cada contaminante:  $R4 = 1 - \frac{1}{1+R3}$

3) Correção do valor em relação ao ponto de referência:  $R5 = \frac{R4 - R4_{Ref}}{1 - R4_{Ref}}$

4) Com o valor corrigido para cada substância, e sendo n o número de variáveis, calculou-se o risco combinado para todos os contaminantes:

$$R6 = 1 - ((1 - R5)_1 \times (1 - R5)_2 \times (1 - R5)_3 \times \dots \times (1 - R5)_n)$$

Onde, R3 = pressão tóxica de cada substância por elemento;

Com os valores calculados de risco para cada variável, um único valor de risco para esta linha de evidência foi determinado conforme:

1) Cálculo dos valores de  $R1 = \log(1-X)$ ; onde X é o valor de risco associado à pressão tóxica e à concentração tóxica;

2) Cálculo das médias (R2) dos valores obtidos no passo 1;

3) Os valores obtidos no passo 2 foram transformados utilizando:  $R3 = 1 - 10^{R2}$ . Onde R2 são os valores obtidos no passo 2 e R3 representa o risco integrado.

### 2.3.2 Linha de Evidência Ecológica (LoE – Ecológica)

Para o cálculo desta linha de evidência os parâmetros utilizados se referem a dados limnológicos. Uma sequência de cálculos foi realizada para o escalonamento em um único valor seguindo as etapas:

1) Cálculo de R2 para cada parâmetro:  $R2 = \frac{R1}{Ref}$

Onde R1 = valor de cada parâmetro.

2) Cálculo dos valores absolutos dos logaritmos do passo 1:  $R3 = ABS(\log R2)$

3) Cálculo dos valores de R4 pelo somatório negativo de todos os valores do passo 2:

$$R4 = - \sum R3$$

4) Definição do número de parâmetros (N) para cada ponto de coleta:  $R5 = N$ ;

5) O risco integrado (R6) é calculado com os valores obtidos no passo 4, conforme:

$$R6 = 1 - 10^{\left(\frac{R4}{R5}\right)}$$



### 2.3.3 Integração das Linhas de Evidência

Para o cálculo do risco de varredura, foram integradas as linhas de evidência química e ecológica. O resultado final da análise de forma a se obter um valor único para o risco existente no ponto amostral estudado foi realizado de acordo com os seguintes passos:

1) Cálculo dos valores de  $R1 = \log(1-X)$ , onde X é o valor de risco (associado a cada linha de evidência);

2) Cálculo das médias aritméticas ponderadas (R2) dos valores obtidos para R1 para cada LoE;

3) Transformação dos valores obtidos para R2 por meio de:  $R3 = 1 - 10^{R2}$

Onde R2 onde representa o risco integrado final para cada ponto amostral.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Diagnóstico

Após uma investigação visual do local de coleta das amostras foi possível obter uma percepção da situação de ocupação e do estado de preservação do corpo hídrico em estudo. Verificou-se a existência de locais sem planejamento ocupacional, com diversas construções domiciliares e comerciais irregulares que contribuem de alguma maneira para a qualidade do riacho. Em princípio, essas edificações aparentam não estar conectadas com a rede pública de esgotamento sanitário ou possuir um tratamento adequado do efluente gerado, que acabam sendo despejados in natura no riacho estudado. Além disso, foi identificado o lançamento de resíduos sólidos de diferentes composições e dimensões no corpo hídrico pelos próprios residentes.

A área de estudo foi avaliada com a presença de domicílios com esgotos a céu aberto estimada entre 40-50%, sendo classificada como área de elevado potencial para acometimento deste efluente nos corpos hídricos da bacia hidrográfica. A Tabela 1 apresenta os resultados analíticos de cada parâmetro para as Linhas de Evidência para cada ponto amostral.

**Tabela 1.** Resultados analíticos dos parâmetros analisados nas amostras de água nos três pontos de amostragem e valores de padrão de qualidade de água CONAMA nº 357/05, valores para rio classe 2.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>CONAMA 357/05</b>
<b>LoE - Química</b>					
<b>Ferro</b>	mg/L	1,58	0,70	0,70	0,30
<b>Zinco</b>	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,18
<b>Cobre</b>	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,009
<b>Mercúrio</b>	mg/L	0,0010	0,0020	0,0020	0,0002
<b>Manganês</b>	mg/L	0,040	<0,019	<0,019	0,100
<b>LoE - Ecológica</b>					
<b>Nitrato</b>	mg/L	0,08	0,12	0,15	10,00
<b>Nitrito</b>	mg/L	0,21	0,29	0,27	1,00
<b>N- Amoniacal</b>	mg/L	0,07	1,46	1,07	3,70
<b>Fósforo Total</b>	mg/L	0,73	1,11	1,19	0,05
<b>Sulfatos</b>	mg/L	41,7	51,2	49,0	250,0
<b>SST</b>	mg/L	54,55	13,25	16,55	500,00
<b>SSF</b>	mg/L	32,80	2,75	5,20	500,00
<b>SSV</b>	mg/L	21,75	10,50	11,35	500,00
<b>DBO</b>	mg/L	35,6	19,2	19,7	5,0
<b>pH</b>	-	7,48	7,33	7,11	7,50
<b>Turbidez</b>	UNT	47,45	16,44	13,29	100,00

Fonte: Autores.

Em relação à concentração de metais em corpos hídricos, sua presença está essencialmente associada a despejos de indústrias, como as metalúrgicas, no entanto, a contribuição natural também pode ocorrer devido à dissolução do minério nos lençóis freáticos, ou devido ao carreamento do solo ou processo de erosão das margens nos períodos de chuva. Os resultados da determinação de metais indicaram uma contribuição de aporte acima dos valores de referência da Resolução CONAMA nº 357/05, apenas para dois

parâmetros ferro e mercúrio, nos três pontos amostrais estudados. Porém, com valores pouco relevantes. Uma explicação para isso deve-se tanto a inexistência de indústrias na região, quanto ao fato desse riacho está localizado na parte urbanizada da sub-bacia do Poxim e possuir no seu entorno pouquíssima ou nenhuma influência de atividades agrícolas. Sendo assim, nessa parcela de metais, não foi observada uma contribuição com efeito negativo à qualidade da água. No entanto, vale ressaltar que o metal ferro foi o mais abundante, com valores encontrados nos três pontos amostrais muito superiores aos demais metais analisados. Uma vez que, a quantidade de ferro nas águas se dá por meio do carregamento dos solos e a existência de processos de erosões nas margens. Apesar de não ser considerado um elemento tóxico o ferro traz inúmeros problemas para o abastecimento público da água. Ele é capaz de modificar a cor e o sabor da água, ocasionando manchas em roupas e utensílios sanitários (Piveli & Kato, 2006).

Outro parâmetro que pode ser destacado é o mercúrio. Isso se deve, possivelmente, pela proximidade dos laboratórios de química da Universidade Federal de Sergipe, que podem influenciar com a utilização desse metal em muitas de suas atividades de pesquisa e graduação.

Os valores de pH encontrados neste trabalho, ficaram entre 6,0 e 9,0, se enquadrando nos padrões de Classe 2, conforme a resolução CONAMA nº 357/05. Esse parâmetro uma vez alterado pode aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados. Além de afetar o metabolismo dessas espécies aquáticas.

Os valores de turbidez e sólidos não foram excedidos em nenhum dos pontos e logo possuindo pouca interferência na qualidade da água. Segundo Braga et al. (2005) valores elevados desses parâmetros, podem influenciar de forma negativa a fotossíntese no meio aquático, uma vez que dificultam a passagem da luz. Vale ressaltar, que no ponto P1 os valores tanto de turbidez quanto de sólidos foram maiores que os dos pontos P2 e P3, esse fato pode ser associado ao efeito de diluição existente com a contribuição das descargas proveniente da ETE-UFS.

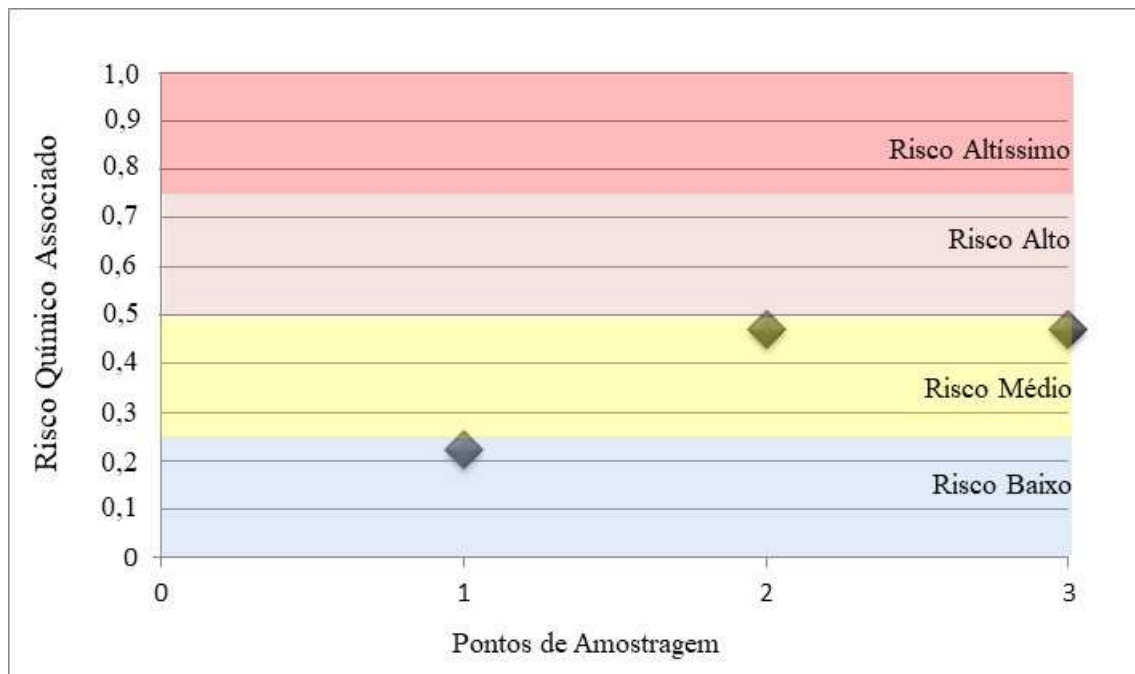
A DBO apresentou resultados acima do permitido pela resolução CONAMA nº 357/05 nos três pontos estudados, indicando que esse ambiente está sofrendo forte degradação antrópica, como consequência a um corpo hídrico natural pode-se citar a redução na concentração de oxigênio dissolvido além de desencadear processos anaeróbicos e consequentes maus cheiros, perda da biota aquática, entre outros efeitos negativos. Verifica-se que o ponto a montante da ETE-UFS (P1) encontra-se mais impactado com carga orgânica

dos que os de jusante (P2 e P3), o que poderia ser explicado pela maior presença de residências ao redor do ponto P1 e pelo efeito de diluição das águas do riacho nos pontos P2 e P3 pelo aporte de efluente tratado vindos da estação.

### 3.2 Linha de Evidência Química

A Figura 2 apresenta os resultados para análise de risco na linha de evidência química obtida a partir da integração dos dados de concentração dos cinco metais nos três pontos de estudo.

**Figura 2.** Análise de risco químico para os três pontos amostrais coletados no riacho.



Fonte: Autores.

Como pode ser observado pela Figura 2, em nenhum dos pontos avaliados, o valor do risco esteve acima de 0,5 (risco médio), demonstrando que os locais não são afetados de forma pronunciada pelos metais estudados. No entanto, verifica-se que a ETE- UFS contribui, ainda que pouco, para elevar a degradação relacionada às variáveis químicas.

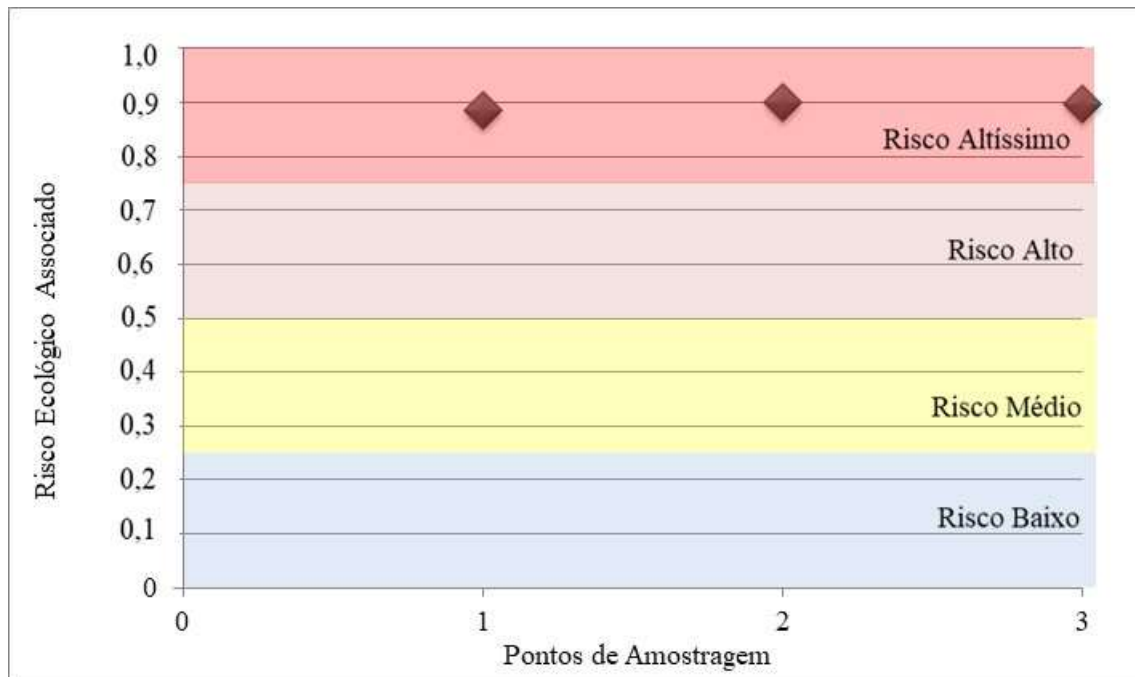
A sub-bacia do rio Poxim tem seu curso principal localizado tanto em áreas de regiões metropolitanas quanto em áreas de regiões agrícolas. Sendo que, o riacho estudado encontra-se no trecho urbanizado da sub-bacia. É sabido que, o aumento de metais nos recursos hídricos se dá por meio de fontes como efluentes domésticos, industriais e a carga difusa,

principalmente, agrícola. Logo, o fato de os riscos químicos nos pontos P1, P2 e P3 terem sido estimados dentro da classificação de risco baixo deve-se, possivelmente, ao fato de que, esses pontos estão sofrendo apenas de influências de assentamentos humanos e não agropastoris.

### 3.3 Linha de Evidência Ecológica

A Figura 3 apresenta os resultados para análise de risco na linha de evidencia ecológica obtida a partir da integração dos dados de concentração dos onze parâmetros limnológicos nos três pontos de estudo.

**Figura 3.** Análise de risco ecológico para os três pontos amostrais coletados no riacho.



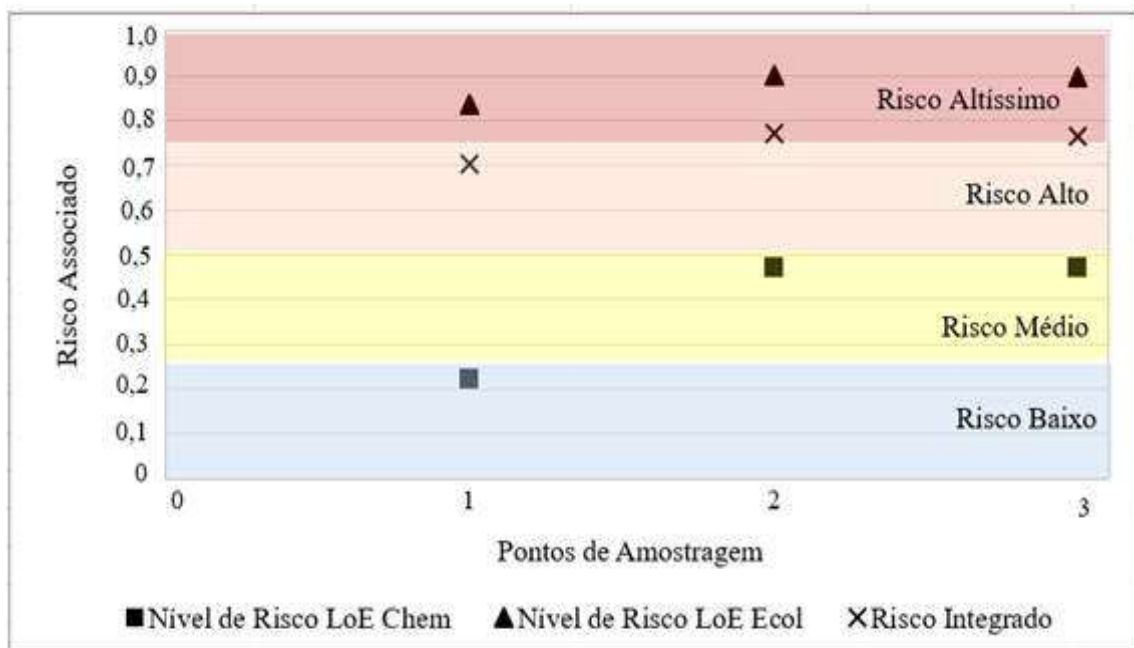
Fonte: Autores.

Como pode ser observado pela Figura 3, em todos os pontos avaliados, o valor do risco esteve acima de 0,75 (risco altíssimo), demonstrando que os locais estão sendo bastante afetados pelos parâmetros limnológicos estudados. A proximidade dos riscos valorados indica que independentemente do local de avaliação, as contribuições, ainda que diferentes, estão impactando de forma igual na estimativa do risco.

### 3.4 Integração das Linhas de Evidência (Varredura)

Na integração das linhas de evidência (Figura 4), ao comparar os três pontos amostrais, nota-se que, o efeito menor do risco associado à linha de evidência química teve uma influência para reduzir a classificação final do risco integrado. Assim, a valoração de varredura resultou em uma classificação de risco nos limites de alto a altíssimo para riacho estudado, o que mostra que esse trecho é fortemente influenciado por atividades antrópicas de efeitos negativos sobre o corpo hídrico. Apenas um ponto da linha de evidência química foi classificado como de baixo risco, embora dois dos cinco parâmetros avaliados tenham sido mensurados fora dos padrões da CONAMA nº 357/05

**Figura 4.** Análise de risco integrado para os três pontos amostrais coletados no riacho.



Fonte: Autores.

A linha de evidência com maior risco integrado foi a ecológica seguida pela química. Como resultado da consolidação dos dados, verifica-se a severidade de estressores sobre o ecossistema aquático, em destaque ao aglomerado populacional de área urbana, o qual contribui significativamente para a perda da qualidade das águas desta bacia em estudo.

#### 4. Considerações Finais

A metodologia utilizada para a quantificação do risco demonstrou-se eficaz na valoração do grau de degradação do corpo hídrico em estudo, e também eficiente para identificar fatores que podem contribuir para influenciar na qualidade ambiental. Após avaliação do compartimento água de três pontos amostrais ao longo do riacho foi possível chegar a algumas conclusões. As linhas de evidência utilizadas são complementares e importantes para a verificação da qualidade da água, nesse sentido, através da Análise de Risco foi possível observar que o ambiente encontra-se degradado ao longo do seu percurso, possivelmente por contaminações domésticas. Foi possível verificar que a pressão ambiental química se manifesta com menor impacto sobre o risco final. Contudo, os dados obtidos neste estudo podem servir como base para o início de ações locais regulatórias dos órgãos de controle e fiscalização ambiental. Outro ponto a destacar é a importância da caracterização de campo, que promove um melhor entendimento da degradação ambiental através da identificação de estressores que causam a poluição do sistema avaliado.

Em termos de trabalhos futuros, seria interessante melhorar a identificação ao longo do tempo dos pontos que levam a degradação do corpo hídrico. Ou seja, realizar um estudo espaço temporal sobre o assunto abordado, com coletas em diferentes meses do ano, principalmente nos períodos de seca e chuvoso.

#### Referências

American Public Health Association. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (17a ed.). Washington, DC: APHA.

Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., de Barros, M. T. L., Spencer, M. Porto, M. Nucci, N., Eiger, S. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. Pearson Prentice Hall. São Paulo.

Callisto, M., Moretti, M., & Goulart, M. (2001). Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6(1), 71-82.

Costa, C. R., Olivi, P., Botta, C. M. R., & Espindola, E. L. G. (2008). A Toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Química Nova*, 31(7), 1820-1830. doi:10.1590/S0100-40422008000700038.

Fatma – Fundação do meio ambiente de Santa Catarina. (1998). *Relevância de parâmetros de qualidade das águas aplicados a águas correntes. Parte I: Características gerais, nutrientes, elementos-traços e substâncias nocivas inorgânicas, características biológicas*. Florianópolis, ES, Brasil.

Ferraz, A. P. (2008). *Avaliação de risco ecológico para o rio Monjolinho (São Carlos/SP)*. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

Jensen, J., Mesman, M., Bierkens, J., Loibner, A., Rutgers, M., Bogolte, T., Hartnik, T. (2006). *Ecological Risk Assessment of Contaminated land-Decision support for site specific investigations*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.

Long, E. R., & Chapman, P. M. (1985). A sediment quality triad: measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. *Marine Pollution Bulletin*, 16(10), 405-415.

Niemeyer, J. C., Moreira-Santos, M., Nogueira, M. A., Carvalho, G. M., Ribeiro, R., Da Silva, E. M., Souza, J. P. (2010). Environmental risk assessment of metal-contaminated area in the Tropics. Tier I: screening phase. *Journal of Soils and Sediments*, 10(8), 1557-1571. doi: 10.1007/s11368-010-0255-x.

Pagliarini, É. C., Oliveira, V. B. D. M., & Espindola, E. L. G. (2019). Aplicação da Análise de Risco Ecológico (ARE) para Avaliação de Impactos em Ecossistemas Aquáticos Naturais. *Ambiente & Sociedade*, 22. doi:10.1590/1809-4422asoc0292r2vu1911ao.

Petry, P., Rodrigues, S. T., Ramos Neto, M. B., Matsumoto, M. H., Kimura, G., Becker, M., Rebolledo, P., Araújo, A., Oliveira, B. C., Soares, M. S., Oliveira, M. G., Guimarães, J. (2011). Análise de risco ecológico da Bacia do rio Paraguai: Argentina, Bolívia, Brasil e Paraguai. *The Nature Conservancy*.



Piveli, R. P., & Kato, M. T. (2006). *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo.

Ribeiro, N. B., Formiga-Johnsson, R. M., & Martins, M. S. (2018). Risco ecológico da Bacia Hidrográfica Lagos São João, RJ. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(3), 447-458. doi: 10.1590/s1413-41522018160564.

Sanchez, A. L. (2012). *Análise de risco ecológico para o diagnóstico de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos continentais tropicais* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. Recuperado de: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-20042012-153101/publico/DissertacaoSanchezAndreLuisCorrig.pdf>.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Lúcio Vinícius Aragão Santos – 40%

Bruno Santos Souza – 60%