



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

DÉBORA LAÍS RODRIGUES DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIACHO DAS PIABAS PARA O REUSO
AGRÍCOLA**

Campina Grande - PB

2020

DÉBORA LAÍS RODRIGUES DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIACHO DAS PIABAS PARA O REUSO
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadores: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura

Prof. Dr. Rui de Oliveira

Campina Grande - PB

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

DÉBORA LAÍS RODRIGUES DE MEDEIROS

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIACHO DAS PIABAS PARA O REUSO
AGRÍCOLA

Dissertação aprovada em 26 de junho de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA



Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Universidade Federal de Campina Grande
Orientadora



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba
Orientador



Profa. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues
Universidade Federal de Campina Grande
Examinadora Interna



Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa
Universidade Federal de Campina Grande
Examinadora externa

Campina Grande – PB
2020

M488a Medeiros, Débora Laís Rodrigues de.
 Análise da qualidade da água do riacho das piabas para o reuso agrícola / Débora Laís Rodrigues de Medeiros. – Campina Grande, 2020. 94 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
 "Orientação: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, Prof. Dr. Rui de Oliveira".
 Referências.

 1. Saneamento Ambiental. 2. Recursos Hídricos. 3. Bacia Urbana. 4. Sustentabilidade da Água. 5. Diretrizes Internacionais – Reuso de Água. I. Coura, Mônica de Amorim. II. Oliveira, Rui de. III. Título.

CDU 628:502.1(043)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar forças para iniciar essa jornada e iluminar meus caminhos.

A minha família, por sempre me apoiar e incentivar em todas as minhas decisões e me ajudar a chegar nesta etapa da vida.

A Renan Ítalo Leite Gurjão, presente de Deus em minha vida, por todo amor, carinho, compreensão, paciência e companheirismo em todos os momentos.

Aos amigos e colegas de laboratório, Iana Chaiene, Sinara Martins, Elis Gean, Francisco Costa, Lorena Rayssa, Lucas e João Pedro, por juntos enfrentarmos longas jornadas no laboratório, compartilhamos frustrações, mas também várias conversas e momentos engraçados.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e do Laboratório de Saneamento Ambiental, Aroldo, Tiquinho, Val, Cris, Savana e Igor, por todo o apoio nas atividades realizadas, por fazer os dias no laboratório serem mais animados.

A Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, por me auxiliar na carreira acadêmica, por todo o aprendizado na área de saneamento, por ser mais do que uma orientadora para mim, se tornou uma amiga e me deu lições para a vida toda.

Ao Prof. Dr. Rui de Oliveira, que me aceitou para coorientar, por me auxiliar nas aulas no laboratório com seu conhecimento profundo, por sua paciência, seus conselhos e, principalmente, bom humor.

A ONG Arrpia, por empreender esforços em prol da qualidade ambiental do Riacho das Piabas.

À Capes pelo auxílio financeiro concedido, e incentivo ao desenvolvimento técnico científico do país.

Por fim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram ou me acompanharam nessa jornada, o meu muito obrigado.

RESUMO

Nos países em desenvolvimento, devido à deficiência de saneamento, as águas residuárias não tratadas são lançadas irregularmente em corpos hídricos superficiais e em canais de drenagem. Nesses países, geralmente, o reuso agrícola não é regulamentado e é praticado de maneira indireta e não planejada, a jusante das contribuições clandestinas de esgotos, expondo a população e o meio ambiente aos riscos associados à água residuária sem tratamento. Este estudo objetivou analisar a qualidade da água do Riacho das Piabas, localizado no município de Campina Grande, estado da Paraíba, para o reuso agrícola, visando subsidiar estudos sobre a gestão do reuso de água de drenagem urbana. Foram monitorados indicadores físico-químicos e microbiológico de amostras de águas de drenagem de seis pontos distribuídos ao longo do riacho. Os resultados foram avaliados de acordo com padrões nacionais e diretrizes internacionais para o reuso agrícola. Também foram avaliados a capacidade de autodepuração ao longo do Riacho das Piabas, pelo modelo QUAL-UFMG, e os riscos associados à saúde, à segurança e ao meio ambiente em sua área de drenagem, com base na metodologia Failure Mode and Effects Analysis. Foi verificado que as águas estudadas não são adequadas para o reuso agrícola, requerendo ou tratamento ou diluição para a redução de carga orgânica, nutrientes, salinidade e indicadores fecais, mesmo nas áreas rurais, a jusante, onde sua qualidade é melhor, devido à autodepuração, em comparação com suas características, tipicamente de esgoto sanitário, nas áreas urbanas de montante. A avaliação de risco indicou que pontos localizados na zona urbana são críticos e, por isso, necessitam de intervenções em curto prazo, devendo ser priorizado o risco de poluição por matéria orgânica.

Palavras-chave: Bacia urbana. Sustentabilidade da água. Diretrizes internacionais para reuso de água. FMEA.

ABSTRACT

In developing countries, due to deficient sanitation, untreated wastewaters are discharged irregularly into surface water bodies and drainage channels. In these countries, agricultural reuse is generally not regulated and is practiced in an indirect and unplanned manner, downstream of clandestine sewage contributions, exposing both population and the environment to risks associated with untreated wastewater. This study aimed to analyze the water quality of Riacho das Piabas, located in the city of Campina Grande, state of Paraíba, for agricultural reuse, for subsidize studies on the management of urban drainage water reuse. Physicochemical and microbiological indicators of samples of drainage water from six points along the stream were monitored. Results were evaluated according to national standards and international guidelines for agricultural reuse. The self-purification capacity along the Riacho das Piabas was also evaluated using the QUAL-UFGM model, and the risks associated with health, safety and the environment in its drainage area based on the Failure Mode and Effects Analysis methodology. It was found that the studied waters are not suitable for agricultural reuse, requiring either treatment or dilution to reduce organic load, nutrients, salinity and faecal indicators, even in rural areas, downstream, where their quality is better, due to self-cleaning, compared to their characteristics, typically of sanitary sewage, in upstream urban areas. Risk assessment indicated that points located in urban areas are critical and, therefore, need short-term interventions, and the risk of pollution by organic matter should be prioritized.

Keywords: Urban basin. Water sustainability. International guidelines for water reuse. FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Estrutura metodológica da pesquisa.....	39
Figura 2 — Localização do município de Campina Grande	40
Figura 3 — Área de estudo.....	41
Figura 4 — Altitudes e declividades da sub-bacia C.....	42
Figura 5 — Queda d'água no Riacho das Piabas no bairro Monte Castelo	43
Figura 6 — Condições da infraestrutura do Riacho das Piabas	44
Figura 7 — Localização dos pontos amostrais.....	46
Figura 8 — Pontos amostrais.....	46
Figura 9 — Metodologia utilizada na determinação da vazão do Riacho das Piabas	49
Figura 10 — Metodologia utilizada na determinação da vazão das fontes pontuais de poluição	49
Figura 11 — Diagrama para a classificação da água para irrigação segundo a USSL.....	50
Figura 12 — Etapas da avaliação de risco.....	51
Figura 13 — Fontes de poluição pontual ao longo do Riacho das Piabas	53
Figura 14 — Variação espaço-temporal da temperatura ambiente e dos pontos amostrais	54
Figura 15 — Variação espaço-temporal da turbidez dos pontos amostrais	55
Figura 16 — Boxplot da CE para os pontos amostrais.....	56
Figura 17 — Boxplot do Cl ⁻ para os pontos amostrais.....	56
Figura 18 — Boxplot dos SDT para os pontos amostrais	57
Figura 19 — Boxplot do pH para os pontos amostrais.....	58
Figura 20 — Variação espaço-temporal do oxigênio dissolvido dos pontos amostrais.....	59
Figura 21 — Boxplot da DBO para os pontos amostrais	60
Figura 22 — Boxplot da DQO para os pontos amostrais	60
Figura 23 — Boxplot do NTK para os pontos amostrais	61
Figura 24 — Gráfico boxplot do nitrogênio amoniacal dos pontos amostrais.....	62
Figura 25 — Boxplot dos CTT para os pontos amostrais	63
Figura 26 — Classificação da água do Riacho das Piabas para irrigação segundo a USSL.....	64
Figura 27 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a Classe 3 da Resolução nº 357 do CONAMA	65
Figura 28 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a irrigação de culturas alimentícias.....	66

Figura 29 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a irrigação de culturas de alimentos processados ou não consumidas por humanos	66
Figura 30 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Na ⁺ para a irrigação por aspersão	67
Figura 31 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Cl ⁻ para a irrigação de superfície	67
Figura 32 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Cl ⁻ para a irrigação por aspersão	67
Figura 33 — Porcentagem de pontos em conformidade com o grau de restrição para o excesso de nitrogênio segundo FAO (1994)	68
Figura 34 — Perfis do OD e da DBO _u ao longo do Riacho das Piabas	70
Figura 35 — Desnível na calha do Riacho das Piabas	70
Figura 36 — Perfis do N-org e do N-NH ₃ ao longo do Riacho das Piabas	71
Figura 37 — Despejo de resíduos de construção próximo ao P5	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Padrão de qualidade para as classes de água de reuso segundo a NBR 13969/1997	24
Tabela 2 — Padrão de qualidade para o reuso de águas pluviais segundo a NBR 15527/2007	24
Tabela 3 — Padrão de qualidade para direto não potável segundo a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n°1	25
Tabela 4 — Padrão de qualidade para o reuso de águas cinzas segundo as leis municipais....	26
Tabela 5 — Parâmetros microbiológicos da Resolução n°75 para o reuso agrícola e florestal	26
Tabela 6 — Padrões de qualidade de água doce conforme classificação da Resolução n° 357 do CONAMA	27
Tabela 7 — Diretrizes de qualidade microbiológica para o reuso agrícola.....	29
Tabela 8 — Concentrações máximas de compostos químicos admissíveis no solo	29
Tabela 9 — Efeito da toxicidade iônica específica de sódio e cloreto na irrigação de superfície e por aspersão	30
Tabela 10 — Avaliação da água de irrigação para problemas diversos	31
Tabela 11 — Efeito da CE e dos SDT na salinidade.....	31
Tabela 12 — Diretrizes mínimas para o reuso agrícola	32
Tabela 13 — Classificação do risco	52
Tabela 14 — Valores médios para os indicadores das fontes pontuais de poluição	53
Tabela 15 — Resultado da ANOVA para a análise de temperatura	54
Tabela 16 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de temperatura.....	54
Tabela 17 — Resultado da ANOVA para a análise de turbidez	55
Tabela 18 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de turbidez.....	55
Tabela 19 — Resultado da ANOVA para as análises de CE, Cl ⁻ e SDT	57
Tabela 20 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de CE, Cl ⁻ e SDT.....	57
Tabela 21 — Resultado da ANOVA para a análise do pH	58
Tabela 22 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise do pH.....	58
Tabela 23 — Resultado da ANOVA para a análise do OD.....	59
Tabela 24 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise do OD	59
Tabela 25 — Resultado da ANOVA para as análises de DBO e DQO.....	60
Tabela 26 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de DBO e DQO	61

Tabela 27 — Resultado da ANOVA para as análises de NTK e N-NH ₃	62
Tabela 28 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de NTK e N-NH ₃	62
Tabela 29 — Resultado da ANOVA para a análise de CTT	63
Tabela 30 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de CTT.....	63
Tabela 31 — Dados de entrada do modelo e coeficientes de OD, DBO, N-org e N-NH ₃	68
Tabela 32 — Resultado da avaliação dos riscos.....	72
Tabela 33 — Faixa de valores médios para DBO, DQO e CTT para a água de drenagem de Campina Grande - PB.....	78
Tabela 34 — Resumo da estatística descritiva da temperatura (°C)	89
Tabela 35 — Resumo da estatística descritiva da condutividade elétrica (µS/cm).....	89
Tabela 36 — Resumo da estatística descritiva da turbidez (uT)	89
Tabela 37 — Resumo da estatística descritiva do potencial hidrogeniônico	89
Tabela 38 — Resumo da estatística descritiva do oxigênio dissolvido (mg/l).....	89
Tabela 39 — Resumo da estatística descritiva da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l).	90
Tabela 40 — Resumo da estatística descritiva da Demanda Química de Oxigênio (mg/l).....	90
Tabela 41 — Resumo da estatística descritiva do nitrogênio total Kjeldahl (mg/l).....	90
Tabela 42 — Resumo da estatística descritiva do nitrogênio amoniacal (mg/l)	90
Tabela 43 — Resumo da estatística descritiva do cloreto (mg/l)	90
Tabela 44 — Resumo da estatística descritiva dos sólidos dissolvidos totais (mg/l).....	91
Tabela 45 — Resumo da estatística descritiva dos coliformes termotolerantes (UFC/100mL)	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Categorias de reuso de água segundo a EPA.....	19
Quadro 2 — Legislações estaduais sobre o reuso de água	20
Quadro 3 — Legislações municipais sobre o reuso de água no Brasil.....	22
Quadro 4 — Classificação da água de reuso segundo a NBR 13969/1997.....	24
Quadro 5 — Destinação da água para fins agrícolas pela Resolução nº 357 do CONAMA ...	27
Quadro 6 — Métodos para a avaliação de riscos, vantagens e desvantagens	35
Quadro 7 — Detalhamento dos pontos de amostragem	45
Quadro 8 — Indicadores de qualidade da água e métodos utilizados	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Reuso de água: conceito, definições e aplicações	18
3.2	A institucionalização do reuso no Brasil	19
3.3	Padrões nacionais para a qualidade da água de reuso	23
3.3.1	Padrões de qualidade de água segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente para o reuso agrícola	26
3.4	Diretrizes internacionais para a qualidade de água para reuso agrícola	27
3.5	Modelagem da qualidade da água	32
3.6	Análise de risco associada ao reuso agrícola	33
3.6.1	Failure Mode and Effects Analysis	35
3.6.2	Método da United States Salinity Laboratory	36
3.6.3	Risco de salinidade	37
3.6.4	Risco de sodicidade	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1	Caracterização da área de estudo	39
4.1.1	Drenagem pluvial	41
4.1.2	Riacho das Piabas	42
4.2	Pontos de amostragem	44
4.3	Indicadores de qualidade de água	47
4.4	Amostragem e análises laboratoriais	47
4.5	Determinação da vazão do Riacho das Piabas e identificação de fontes pontuais de poluição	48
4.6	Análise estatística dos dados	49
4.7	Classificação da água para irrigação	50
4.8	Modelagem da autodepuração do Riacho das Piabas	50
4.9	Avaliação de Risco	51
5	RESULTADOS	53
5.1	Caracterização das fontes de poluição	53
5.2	Indicadores de qualidade da água nos pontos de amostragem do Riacho das Piabas	54

5.2.1	Temperatura	54
5.2.2	Turbidez	55
5.2.3	Condutividade elétrica, cloreto e sólidos dissolvidos totais.....	56
5.2.4	Potencial hidrogeniônico	58
5.2.5	Oxigênio dissolvido.....	58
5.2.6	Demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e relação DQO/DBO.....	59
5.2.7	Nitrogênio total kjeldahl e nitrogênio amoniacal	61
5.2.8	Coliformes termotolerantes	62
5.3	Classificação da água para irrigação	64
5.4	Avaliação da água segundo os padrões nacionais para reuso agrícola	64
5.5	Avaliação da água segundo as diretrizes internacionais para reuso agrícola	65
5.6	Capacidade de autodepuração do Riacho das Piabas	68
5.7	Avaliação do risco em áreas próximas do Riacho das Piabas.....	72
5.7.1	Perigos para a segurança pública	73
5.7.2	Perigos para a saúde pública	74
5.7.3	Perigos para o meio ambiente	75
6	DISCUSSÃO.....	77
7	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A — RESUMO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS INDICADORES ANALISADOS.....	89
	APÊNDICE B — FORMULÁRIO FMEA.....	92
	APÊNDICE C — TABELAS DE ESCORES DA AVALIAÇÃO DE RISCO.....	94

1 INTRODUÇÃO

Nos países em desenvolvimento, devido ao rápido crescimento populacional, ao aumento de áreas urbanas, e à escassez e precariedade do saneamento básico, grandes volumes de água residuária sem tratamento são lançados em corpos hídricos superficiais e em canais de drenagem, provocam a degradação da qualidade das águas e alteram a capacidade de ciclagem de nutrientes dos ecossistemas aquáticos (EPA, 2012; ENSINK *et al.*, 2010).

Embora o Brasil conte com sistemas de esgotamento sanitário, projetados como do tipo separador absoluto, em locais sem cobertura, esgotos *in natura*, lançados a céu aberto, escoam para os canais de drenagem e poluem as águas pluviais (CAMELO, 2019; CAMINHA, 2014; FREIRE *et al.*, 2014; HENRIQUES, 2014; ROCHA, 2018; VIDAL, 2019).

O reuso da água de drenagem urbana é uma forma de utilização sustentável dos recursos hídricos, principalmente em regiões áridas e semiáridas, em um cenário de aumento de demanda de água e mudanças climáticas (JACOBI; GRANDISOLI, 2017). Nessas regiões, a falta de água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Assim, os sistemas de gerenciamento de recursos hídricos buscam novas fontes para atender às demandas crescentes, especialmente dos setores doméstico, agrícola e industrial (HESPANHOL, 2008).

No Brasil, a região semiárida enfrentou uma seca severa, entre os anos de 2012 e 2017, que comprometeu o fornecimento de água em muitas cidades. Vários sistemas de abastecimento entraram em colapso ou foram submetidos a racionamento de água. Na Paraíba, em dezembro de 2014, Campina Grande e demais cidades e distritos abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa entraram no regime de racionamento de água (DEL GRANDE *et al.*, 2016). Como consequência houve um acréscimo na procura por novas fontes de água e o incentivo de práticas como o aproveitamento de água de chuva e a reutilização de águas servidas.

O reuso agrícola é uma prática comum em muitos países, como Espanha (JUANICO; SALGOT, 2008), Paquistão (ENSINK, 2006), Vietnã (TRANG *et al.*, 2007), Namíbia (MÜLLER; CORNEL, 2017) e Índia (ENSINK *et al.*, 2010; HOFSTEDT, 2005; STARKL *et al.*, 2015) e está associado a benefícios, como aumento da oferta de água, incremento de nutrientes na agricultura, redução do consumo de energia associada à produção, tratamento e distribuição de água, além de atenuação das cargas de nutrientes nos corpos hídricos receptores.

Entretanto, nos países em desenvolvimento, geralmente, o reuso agrícola não é regulamentado e é praticado de maneira indireta e não planejada, a jusante das contribuições clandestinas de esgotos. Segundo Hespanhol (2012), o reuso agrícola não planejado pode expor

a população aos perigos associados ao contato direto e indireto com a água residuária sem tratamento, além de representar risco para o meio ambiente devido ao acúmulo de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, no solo, além dos riscos de salinidade e sodicidade. As análises físico-químicas e microbiológicas das águas fornecem dados e informações, como os tipos de patógenos e sua quantidade, além da concentração de compostos tóxicos, importantes para a avaliação de risco para os seres humanos e o meio ambiente (WHO, 2006).

Alguns países possuem normas para a regulamentação do reuso agrícola, outros implementam diretrizes internacionais, como as da *World Health Organization* (WHO), *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) e regulamentos como os da *United States Environmental Protection Agency* (EPA), adaptando-as às condições locais. As diretrizes possuem caráter indicativo, fornecem uma estrutura abrangente para o monitoramento da qualidade microbiológica com enfoque epidemiológico, abrangem aspectos políticos e regulatórios e não devem ser confundidas com parâmetros de qualidade. Além disso, visam estabelecer um determinado nível de saúde pública associado a riscos identificados, fornecendo, assim, uma referência para o estabelecimento de padrões de qualidade nacionais ou regionais (HESPANHOL, 2003; MÜLLER & CORNEL, 2017).

No Brasil, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) regulamenta o reuso agrícola, através da Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Entretanto, esta resolução não recomenda padrões de qualidade para a água, mas estabelece que as características físico-químicas e microbiológicas deverão atender aos limites definidos na legislação pertinente. Assim, utiliza-se a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para avaliar a qualidade da água, de acordo com as classes de águas doces e salobras destinadas à irrigação de vários tipos de culturas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, a adequação para o reuso agrícola da água de drenagem do Riacho das Piabas, localizado em uma sub-bacia urbana no município de Campina Grande, estado da Paraíba, conforme os padrões nacionais e internacionais de qualidade da água para o reuso agrícola, além de estudar os riscos associados à saúde, à segurança pública e ao meio ambiente em áreas próximas do riacho, com base na metodologia *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Analisar a qualidade da água do Riacho das Piabas, localizado no município de Campina Grande – PB, para o reuso agrícola visando subsidiar estudos sobre a gestão do reuso de água de drenagem urbana.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as fontes de poluição ao longo do Riacho das Piabas para identificar os tipos de poluentes em potencial.
- Avaliar a qualidade da água do riacho, com base em análises físico-químicas e microbiológica, para comparar os resultados com recomendações e padrões internacionais e nacionais de qualidade de água para o reuso agrícola.
- Estudar a autodepuração do riacho para avaliar a capacidade natural de restauração de sua qualidade pelo modelo QUAL-UFMG que contempla a modelagem avançada do oxigênio dissolvido sob condições aeróbias e anaeróbias.
- Avaliar os riscos associados à saúde, à segurança pública e ao meio ambiente em áreas próximas do Riacho das Piabas com base na metodologia Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Reuso de água: conceito, definições e aplicações

Diante da necessidade de assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais, o reuso se torna indispensável para a economia dos recursos hídricos. Neste contexto, ele é associado a benefícios, como o aumento da oferta de água para abastecimento, incremento de nutrientes na produção agrícola, redução do consumo de energia associada à produção, tratamento e distribuição de água, além de atenuação das cargas de nutrientes nos corpos hídricos receptores.

A World Health Organization (WHO, 1973), define reuso direto como o uso planejado de águas residuárias tratadas para diversos propósitos, tais como recreação, uso industrial, recarga de aquíferos e uso potável; e define reuso indireto como sendo o reuso das águas residuárias, domésticas ou industriais, após sua diluição em águas superficiais ou subterrâneas. Também subdivide o reuso indireto em intencional, quando é decorrente do lançamento de esgotos a montante do ponto de captação da água superficial ou quando há planejamento para a recarga de aquífero para abastecimento; e em não intencional, quando do uso da água subterrânea que recebeu efluentes de tanques sépticos, água de infiltração de açudes poluídos e de lagoas de tratamento de esgotos.

A Environmental Protection Agency (EPA, 2012) considera o grau de exposição da população à água de reuso e classifica o reuso como potável, não potável restrito e não potável irrestrito, conforme o Quadro 1.

No Brasil, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução nº54, de 28 de novembro de 2005, no Art. 2º, define:

- I - Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - Reuso de água: utilização de água residuária;
- III - Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- IV - Reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

O CNRH considera, apenas, a definição de reuso direto, pois as águas residuárias, uma vez lançadas em corpos receptores, passam a ser consideradas recursos hídricos, de acordo com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. O CNRH, no Art. 3º da resolução supracitada, considera as seguintes modalidades para o reuso direto não potável:

I - Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - Reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Quadro 1 — Categorias de reuso de água segundo a EPA

Categorias		Definição
Reuso urbano	Irrestrito	Reuso de água para fins não potáveis em ambientes públicos.
	Restrito	Reuso de água para fins não potáveis em ambientes públicos onde o acesso da população é controlado ou restrito.
Reuso agrícola	Culturas alimentícias	Reuso de água para irrigação de culturas para consumo humano.
	Culturas de alimentos processados e não consumidos por humanos	Reuso de água para irrigação de culturas que serão processadas ou que não são para consumo humano.
Represamento	Irrestrito	Reuso de água em represas para fins recreativos.
	Restrito	Reuso de água em represas para atividades com restrição de contato físico.
Reuso ambiental		Reuso de água para criar, melhorar, manter ou aumentar a capacidade de corpos hídricos, incluindo terras úmidas (<i>wetlands</i>), habitats aquáticos ou ambientes lóticos.
Reuso industrial		Reuso de água na indústria, produção de energia e extração de combustíveis fósseis.
Recarga de aquífero		Reuso de água para recarga de aquífero para fins não potáveis.
Reuso potável	Indireto	Introdução da água de reuso para aumentar a capacidade de um corpo hídrico antes de uma barreira ambiental que margeia uma estação de tratamento de água.
	Direto	Introdução da água de reuso diretamente em uma estação de tratamento de água.

Fonte: Adaptado de EPA (2012)

3.2 A institucionalização do reuso no Brasil

O Brasil possui, basicamente, duas resoluções a respeito do reuso, ambas do CNRH, são elas: a Resolução nº54, já mencionada anteriormente; e a Resolução nº121, de 16 de dezembro de 2010, que estabelece diretrizes e critérios para o reuso direto não potável das modalidades agrícola e florestal e recomenda que as características físico-químicas e microbiológicas deverão atender aos limites definidos na legislação pertinente, além disso, os métodos de análise para determinação dos indicadores de qualidade das águas para lançamento no solo devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a referida matéria.

No país, doze estados apresentam normas específicas de reuso (Quadro 2).

Quadro 2 — Legislações estaduais sobre o reuso de água

Estado	Legislação estadual	
São Paulo	Decreto nº 48.138, de 7 de outubro de 2003	Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do estado de São Paulo.
	Decreto nº 61.180, de 20 de março de 2015	Institui o Programa Estadual de Fomento ao Uso Racional das Águas, destinado a prestar apoio financeiro a ações ambientais visando à conservação e ao uso racional da água.
	Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 29 de junho de 2017	Disciplina o reuso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.
Rio de Janeiro	Lei nº 6.034 de 08, de setembro de 2011	Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-rápidos, transportadoras e empresas de ônibus urbanos intermunicipais e interestaduais, localizados no estado do Rio de Janeiro, instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos.
	Lei nº 7.463, de 18 de outubro de 2016	Regulamenta os procedimentos para armazenamento de águas pluviais e águas cinzas para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública e dá outras providências.
Espírito Santo	Lei estadual nº 9.439, de 3 de maio de 2010	Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-jatos, transportadoras, empresas de ônibus e locadoras de veículos instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos.
	Lei nº 10.487, de 12 de janeiro de 2016	Dispõe sobre a prática do reuso de efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs, para fins industriais.
Rio Grande do Sul	Lei nº 13.063, de 12 de novembro de 2008	Institui o Programa Estadual de Irrigação - PRÓ-IRRIGAÇÃO/RS -, e dá outras providências.
Goiás	Lei nº 20.252, de 1 de agosto de 2018	Altera a Lei nº 16.209, de 17 de março de 2008, que dispõe sobre a captação e a reserva de água pluvial nos prédios construídos pelo Poder Público Estadual, e dá outras providências.
	Lei nº 17.128, de 18 de agosto de 2010	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de equipamento para tratamento e reutilização da água utilizada na lavagem de veículos.
Mato Grosso	Lei nº 10.446, de 3 de outubro de 2016	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de mecanismo de captação, armazenamento e conservação para reuso de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado e dá outras providências.
Distrito Federal	Lei nº 5.890, de 12 de junho de 2017	Estabelece diretrizes para as políticas públicas de reuso da água no Distrito Federal.
Bahia	Resolução CONERH nº 75, de 29 de julho de 2010	Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal.
Ceará	Lei nº 16.603, de 9 de julho de 2018	Dispõe sobre o reuso da água proveniente de aparelhos de ar condicionado no estado do Ceará.
	Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016	Dispõe sobre a política de reuso de água não potável no âmbito do estado do Ceará.
Pernambuco	Lei nº 14.572, de 27 de dezembro de 2011	Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do estado de Pernambuco e dá outras providências.
	Lei nº 15.630, de 29 de outubro de 2015	Torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água empregada na lavagem de veículos pelos estabelecimentos comerciais que prestem este serviço e dá outras providências.

Estado	Legislação estadual	
Amazonas	Lei nº 4.779, de 18 de janeiro de 2019	Dispõe sobre a utilização de águas da chuva por meio da implantação de sistema de captação pelos postos de serviços de lava-rápido, no âmbito do estado do Amazonas, e dá outras providências.
Tocantins	Lei nº 3.261, de 2 de agosto de 2017	Estabelece a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção.

Fonte: Autora (2020)

O estado de São Paulo foi pioneiro no desenvolvimento de normas para o reuso de água. Em 2003, a região enfrentou uma estiagem com índices pluviométricos abaixo das médias históricas dos últimos 70 anos. Assim, em 7 de outubro de 2003, o estado emitiu o Decreto nº 48.138 que instituiu medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água para os órgãos da administração pública do estado. Com o decreto, foi permitida a lavagem de ruas, calçadas, praças, pisos frios e área de lazer com a água de reuso.

Entre as legislações estaduais, apenas a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº1 do estado de São Paulo, a Lei nº7.463 do estado do Rio de Janeiro e a Resolução CONERH nº75 do estado da Bahia, estabelecem padrões de qualidade para a água de reuso.

No âmbito municipal, algumas capitais e municípios de grande porte detêm arcabouço legislativo (Quadro 3). No entanto, é importante enfatizar que a maioria das legislações municipais para reuso não estabelecem padrões de qualidade ou níveis de tratamento para a água.

Em algumas legislações municipais, a exemplo da Lei nº10.840, de 28 de agosto de 2015, de Belo Horizonte/MG, a Lei nº2.856, de 25 de julho de 2011, de Niterói/RJ, a Lei nº10.506, de 5 de agosto de 2008, de Porto Alegre/RS e a Lei nº6.317, de 29 de dezembro de 2017, de São Luís/MA, há referência à NBR 13969/1997. Outras, como a Lei Complementar nº567, de 4 de julho de 2016, de Florianópolis/SC, a Lei nº10.506, de 5 de agosto de 2008, de Porto Alegre/RS e a Lei nº9.511, de 15 de dezembro de 2014, de Goiânia/GO, remetem à NBR 15527/2007, quando se trata do reuso de águas pluviais.

Quadro 3 — Legislações municipais sobre o reuso de água no Brasil

Município	Legislação municipal	
São Paulo/SP	Decreto nº 47.731, de 28 de setembro de 2006	Regulamenta o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, instituído pela Lei nº 14.018, de 28 de junho de 2005.
	Lei nº 14.018, de 28 de junho de 2006	Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações e dá outras providências.
	Lei nº 16.174, de 22 de abril de 2015	Estabelece regramento e medidas para fomento ao reuso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático e revoga a Lei Municipal nº 13.309/2002, no âmbito do município de São Paulo e dá outras providências.
Campinas/SP	Lei nº 12.474, de 16 de janeiro de 2006	Cria o programa municipal de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações e dá outras providências.
Belo Horizonte/MG	Lei nº 10.840, de 28 de agosto de 2015	Dispõe sobre reuso de água em edificações públicas e privadas.
	Lei nº 10.975, de 22 de setembro de 2016	Cria o programa de reuso de água em postos de serviços e abastecimento de veículos e lava-rápidos no município e dá outras providências.
Juiz de Fora/MG	Lei nº 13.662, de 15 de fevereiro de 2018	Institui a Política Municipal de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e dá outras providências.
Rio de Janeiro/RJ	Lei Complementar nº 85, de 11 de dezembro de 2007	Dispõe sobre a obrigatoriedade de hotéis, motéis e similares possuírem sistema de reaproveitamento de água e dá outras providências.
	Lei nº 6.480, de 11 de janeiro de 2019	Dispõe sobre o reaproveitamento de água pluvial nas escolas públicas municipais e dá outras providências.
Niterói/RJ	Lei nº 2.630, de 7 de janeiro de 2009	Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública.
	Lei nº 2.856, de 25 de julho de 2011	Estende as obrigações da lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas.
São Gonçalo/RJ	Lei nº 348, de 3 de junho de 2011	Cria no âmbito do município de São Gonçalo, o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em órgãos públicos como escolas, hospitais, postos médicos e outros.
Vitória/ES	Lei nº 6.259, de 23 de dezembro de 2004	Dispõe sobre o reuso de água não potável e dá outras providências.
Florianópolis/SC	Lei nº 8.080, de 7 de dezembro de 2009	Institui programa municipal de conservação, uso racional e reuso da água em edificações e dá outras providências.
	Lei Complementar nº 567, de 4 de julho de 2016	Inclui os arts. 188a ao 188d na Lei Complementar nº 60, de 2000.
Palhoça/SC	Lei nº 4.631, de 27 de junho de 2018	Estabelece a política municipal de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais.
Maringá/PR	Lei nº 9.993, de 26 de maio de 2015	Cria o programa de reuso de água em postos de combustíveis e lava-rápidos no município de Maringá e dá outras providências.

Município	Legislação municipal	
Curitiba/PR	Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003	Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional da água nas edificações – PURAE.
Caxias Do Sul/RS	Lei nº 6.616, de 5 de dezembro de 2006	Institui, no município de Caxias do Sul, o programa municipal de conservação, reuso e uso racional da água.
Gramado/RS	Lei nº 3.677, de 15 de outubro de 2018	Cria o sistema de reuso de água de chuva no município de Gramado, para utilização não potável em condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, industriais, comerciais e prédios públicos.
Porto Alegre/RS	Lei nº 10.506, de 5 de agosto de 2008	Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.
Goiânia/GO	Lei nº 9.886, de 5 de setembro de 2016	Cria o Programa Municipal de Conscientização e Conservação para reuso da água proveniente de aparelhos de refrigeração ou aquecimento, nas edificações públicas e privadas, no âmbito do município de Goiânia.
	Lei nº 9.511, de 15 de dezembro de 2014	Estabelece regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem Urbana, e dá outras providências.
Cuiabá/MT	Lei nº 4.748, de 7 de março de 2005	Dispõe sobre o reuso da água das estações de tratamento de esgoto.
Maceió/AL	Lei nº 6.615, de 17 de abril de 2017	Cria o sistema de reuso de água de chuva no município de Maceió/AL, para utilização não potável em condomínios, clubes, conjuntos habitacionais, imóveis residenciais, industriais e comerciais e demais órgãos e entidades públicas.
São Luís/MA	Lei nº 6.317, de 29 de dezembro de 2017	Disciplina a utilização de águas pluviais e a reutilização da água cinza nas novas edificações no âmbito do município de São Luís, e dá outras providências.
João Pessoa/PB	Lei nº 12.166, de 15 de setembro de 2011	Cria o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, indústrias e comerciais no município de João Pessoa e dá outras providências.
Aracaju/SE	Lei nº 4.026, de 28 de abril de 2011	Cria o programa de reuso de água em postos de gasolina e lava-rápidos no município de Aracaju e dá outras providências.
Manaus/AM	Lei nº 1.192, de 31 de dezembro de 2007	Cria, no município de Manaus, o programa de tratamento e uso racional das águas nas edificações - PRO-ÁGUAS.

Fonte: Autora (2020)

3.3 Padrões nacionais para a qualidade da água de reuso

No Brasil, a maioria das legislações sobre o reuso - federais, estaduais e municipais - não definem padrões de qualidade ou estabelecem grau de tratamento para a água de reuso. No entanto, conferem responsabilidade para órgãos ou recomendam padrões definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 13969/1997 e da NBR 15527/2007.

A NBR 13969/1997 recomenda o reuso local para os esgotos tratados de origem essencialmente doméstica para diversas finalidades, exceto para consumo humano, e classifica a água de reuso conforme os usos preponderantes (Quadro 4). Além disso, estabelece padrões de qualidade e grau de tratamento para a água de reuso de acordo com a classificação (Tabela 1).

Quadro 4 — Classificação da água de reuso segundo a NBR 13969/1997

Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Nesse nível, serão geralmente necessários tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou lodo ativado por batelada) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou lodo ativado por batelada) seguido de filtração em leito de areia e desinfecção.
Classe 3	Reuso nas descargas dos vasos sanitários. Normalmente, as águas de enxague das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.
Classe 4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado de ABNT (1997)

Tabela 1 — Padrão de qualidade para as classes de água de reuso segundo a NBR 13969/1997

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez	uT	< 5	< 5	< 10	..
pH		6,0 a 8,0	..	..	..
Cloro residual	mg/l	0,5 a 1,5	< 0,5	..	..
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	< 200	< 500	< 500	< 5000
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	< 200	..	..	..
Oxigênio dissolvido	mg/l	..	..	..	> 2,0

Fonte: Adaptado de ABNT (1997)

Nota: Sinal convencional utilizado:

.. Não se aplica dado numérico.

Enquanto a NBR 15527/2007 fornece padrões de qualidade para as águas pluviais que serão reutilizadas para usos não potáveis mais restritivos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 — Padrão de qualidade para o reuso de águas pluviais segundo a NBR 15527/2007

Parâmetro	Unidade	Valor
Coliformes totais	NMP/100ml	Ausência em 100ml
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	Ausência em 100ml
Cloro residual livre*	mg/l	0,5 a 3,0
Turbidez	uT	< 5,0
Cor aparente	uH	< 15,0
pH		6,0 a 8,0

Fonte: Adaptado de ABNT (2007)

Notas:

*No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

A Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n°1 disciplina o reuso direto não potável de efluente de estações de tratamento de esgoto sanitário para fins urbanos no estado de São Paulo. Ela classifica o reuso quanto a restrição de uso, estabelece a análise de coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, *Escherichia coli* e ovos viáveis de *Ascaris sp.*, o que demonstra maior preocupação com aspectos epidemiológicos e com os efeitos para a saúde pública. Além disso, determina que as análises de razão de adsorção de sódio (RAS) e de condutividade elétrica (CE) sejam interpretadas em conjunto seguindo os critérios da FAO (1994) e EPA (2012), para avaliar os efeitos da sodicidade (Tabela 3).

Tabela 3 — Padrão de qualidade para reuso não potável segundo a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n°1

Padrão de qualidade		Categorias de reuso	
Parâmetro	Unidade de medida	Uso com restrição moderada ⁽¹⁾	Uso com restrição severa ⁽²⁾
pH		6 a 9	6 a 9
DBO _{5,20}	mg/l	≤ 10	≤ 30
Turbidez	UNT	≤ 2	..
Sólidos suspensos totais	mg/l	⁽¹⁾	< 30
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	Não detectável	< 200
Ovos de helmintos	Ovo/l	< 1	1
Cloro residual total	mg/l	< 1	< 1
Condutividade elétrica	dS/m	< 0,7	< 3,0
RAS	-	< 3	3 a 9
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	< 450	< 2.000
Cloreto	mg/l	< 106	< 350
Boro	mg/l	< 0,7	< 2,0
Tipo de tratamento		Tratamento secundário, desinfecção e filtração. Este tratamento não poderá ter níveis mensuráveis de patógenos.	Tratamento secundário, desinfecção e filtração.

Fonte: Adaptado de São Paulo (2017)

Notas:

⁽¹⁾ Irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros serviços públicos e privados, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos, lavagem de veículos e combate a incêndio.

⁽²⁾ Irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros serviços públicos e privados, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos e lavagem de veículos.

Sinal convencional utilizado:

.. Não se aplica dado numérico.

As leis municipais: Lei n°7.463, de 10 de outubro de 2016, do Rio de Janeiro, Lei n°10.840, de 28 de agosto de 2015, de Belo Horizonte/MG, Lei n°2.856, de 25 de julho de 2011, de Niterói/RJ e a Lei n°6.317, de 29 de dezembro de 2017, de São Luís/MA, estabelecem que as águas cinzas deverão atender aos padrões de reuso de acordo com a NBR 13969/1997 e, após tratamento, deverão obedecer aos padrões especificados na Tabela 4.

A Resolução n°75, de 29 de julho de 2010, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Bahia (CONERH) disciplina o reuso direto não potável para as modalidades

agrícola e florestal no estado da Bahia, é baseada nos padrões microbiológicos da WHO e classifica o reuso em relação à cultura irrigada (Tabela 5).

Tabela 4 — Padrão de qualidade para o reuso de águas cinzas segundo as leis municipais

Parâmetro	Unidade	Valor
Turbidez	uT	< 5
pH		6,0 a 9,0
Cor	uH	< 15
Cloro residual	mg/l	0,5 a 2,0
Coliformes totais	NMP/100ml	Ausência em 100 ml
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	Ausência em 100 ml
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	< 200
Oxigênio dissolvido	mg/l	> 2,0

Fonte: Adaptado de Rio de Janeiro (2016), Belo Horizonte (2015), Niterói (2011) e São Luís (2017)

Tabela 5 — Parâmetros microbiológicos da Resolução n°75 para o reuso agrícola e florestal

Indicadores	Unidade	Categoria A ⁽¹⁾	Categoria B ⁽²⁾
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1×10^3	1×10^4
Ovos de helmintos	NMP/100ml	1	1

Fonte: Bahia (2010)

Notas:

- (1) Irrigação, inclusive a hidropônica, de qualquer cultura incluindo produtos alimentícios consumidos crus.
- (2) Irrigação, inclusive a hidropônica, de produtos alimentícios não consumidos crus, produtos não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, cultivos usados em vegetação e recuperação de áreas degradadas.

3.3.1 Padrões de qualidade de água segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente para o reuso agrícola

No Brasil, embora a Lei n°11.445, de 5 de janeiro de 2007, determine que as coletas de esgotos e de águas pluviais sejam realizadas separadamente, na maioria dos municípios brasileiros, é comum o lançamento de efluentes não tratados ou de soluções individuais de tratamento nos canais de drenagem de água pluvial. Assim, as águas dos canais de drenagem, poluídas, se tornam parte integrante dos recursos hídricos do Território Nacional e passam a ser regulamentadas pela Lei n°9.433, de 8 de janeiro de 1997, que em seu art. 10, estabelece que as classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n°357, de 17 de março de 2005, classifica os corpos hídricos segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. Considerando o reuso para fins agrícolas, as águas doces podem ser destinadas à irrigação de vários tipos de culturas de acordo com sua classe, conforme Quadro 5. A resolução também estabelece padrões de qualidade para essas águas de acordo com a Tabela 6.

Quadro 5 — Destinação da água para fins agrícolas pela Resolução nº 357 do CONAMA

Classe 1	Águas destinadas à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
Classe 2	Águas destinadas à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.
Classe 3	Águas destinadas à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005)

Tabela 6 — Padrões de qualidade de água doce conforme classificação da Resolução nº 357 do CONAMA

Indicador	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
pH		6 a 9	6 a 9	6 a 9
Turbidez	uT	≤ 40	≤ 100	≤ 100
DBO	mg/l	≤ 3	≤ 5	≤ 10
OD	mg/l	≥ 6	≥ 5	≥ 4
SDT	mg/l	≤ 500	≤ 500	≤ 500
Fósforo total	mg/l	≤ 0,025	≤ 0,05	≤ 0,075
Nitrato	mg/l	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Nitrogênio amoniacal	mg/l	3,7 para pH = 7,5	3,7 para pH = 7,5	13,3 para pH ≤ 7,5
		2 para 7,5 < pH ≤ 8	2 para 7,5 < pH ≤ 8	5,6 para 7,5 < pH ≤ 8
		1 para 8 < pH ≤ 8,5	1 para 8 < pH ≤ 8,5	2,2 para 8 < pH ≤ 8,5
		0,5 para pH > 8,5	0,5 para pH > 8,5	1 para pH > 8,5
Cloreto	mg/l	≤ 250	≤ 250	≤ 250
C.TT.	NMP/100ml	≤ 200	≤ 1000	≤ 4000

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005)

3.4 Diretrizes internacionais para a qualidade de água para reuso agrícola

Alguns países possuem normas para a regulação do reuso de água, como a Austrália (EPHC; NHMRC; NRMCC, 2008), Panamá (MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS, 2000), outros implementam diretrizes internacionais como as da WHO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e EPA, e as adaptam às características locais. Elas são frequentemente utilizadas para o reuso agrícola, como nos estudos de Müller & Cornel (2017), Ensink *et al.* (2010), Ensink, Blumenthal e Brooker (2008) e Hofstedt (2005).

As diretrizes possuem caráter indicativo, fornecem medidas de proteção à saúde e uma estrutura abrangente para o monitoramento da qualidade microbiológica com enfoque epidemiológico, abrangem aspectos políticos e regulatórios e não devem ser confundidas com parâmetros de qualidade. Além disso, visam estabelecer um determinado nível de saúde pública associado a riscos identificados, fornecendo, assim, uma referência para o estabelecimento de

parâmetros de qualidade nacionais ou regionais (HESPANHOL, 2003; MÜLLER & CORNEL, 2017).

Para Jiménez *et al.* (2010), essas diretrizes compreendem as precárias condições do saneamento da maioria dos países em desenvolvimento, por isso sugerem uma abordagem de barreiras múltiplas para o cumprimento a longo prazo, além disso, preconizam que elas podem ser adaptadas a realidade local.

De acordo com a WHO (2006), as medidas de proteção à saúde para o reuso agrícola incluem a restrição para a irrigação e suas técnicas, observação quanto ao tempo de morte dos patógenos antes do consumo dos alimentos irrigados com águas residuárias, medidas para a preparação desses alimentos, controle da exposição humana e o tratamento das águas residuárias e verificação de sua qualidade através de análises microbiológicas.

Os indicadores microbiológicos geralmente são *E. coli* ou coliformes termotolerantes. Eles podem ser usados como indicadores razoavelmente confiáveis para patógenos bacterianos, uma vez que suas características de sobrevivência e taxas de remoção ou morte são semelhantes. Entretanto, têm suas limitações, pois sua ausência não indicará, necessariamente, a ausência de patógenos, por isso pode ser desejável incluir a análise de microrganismos mais resistentes, como *Acaris* (WHO, 1989; 2006). A Tabela 7 apresenta diretrizes de qualidade microbiológica para o reuso agrícola segundo os critérios da WHO.

Os solos irrigados com águas residuárias podem conter concentrações de poluentes orgânicos e inorgânicos que contaminam os seres humanos por várias vias. O escoamento superficial é uma dessas vias, pois transporta os poluentes para os corpos hídricos superficiais que podem ser utilizados para o abastecimento da população. Também, a infiltração das águas residuárias poluem as águas subterrâneas. Outra via de contaminação é pela cadeia alimentar, visto que o consumo de grãos, vegetais, raízes, tubérculos e frutas cultivados em solos irrigados com águas residuárias, além do consumo de animais que se alimentam de pastagem produzida nesses solos podem contaminar os seres humanos.

Segundo a WHO (2006), a cadeia alimentar é a principal via de transferência de poluentes nos solos contaminados para os seres humanos. Assim, a WHO definiu concentrações máximas admissíveis para um conjunto de poluentes orgânicos e inorgânicos no solo (Tabela 8).

Tabela 7 — Diretrizes de qualidade microbiológica para o reuso agrícola

Categoria	Condições de reuso	Grupo exposto	Nematoides intestinais (Média aritmética de ovos por litro)	Coliformes termotolerantes (Média geométrica por 100 ml)	Tratamento para atingir a qualidade microbiológica necessária
A	Irrigação de culturas que são consumidas cruas, campos esportivos, parques públicos	Trabalhadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1000	Uma série de lagoas de estabilização ou tratamento equivalente
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas que serão processadas, forrageiras, pastagens e árvores	Trabalhadores	≤ 1	Nenhum padrão recomendado	Retenção em lagoas de estabilização por 8-10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes termotolerantes
C	Irrigação localizada de culturas na categoria B se não houver exposição dos trabalhadores e do público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento, exigido pela tecnologia de irrigação, mas não menos do que a sedimentação primária

Fonte: Adaptado de WHO (2006)

Tabela 8 — Concentrações máximas de compostos químicos admissíveis no solo

Inorgânico	Concentração no solo (mg/kg)	Composto orgânico	Concentração no solo (mg/kg)
Antimônio	36	Aldrin	0,48
Arsênio	8	Benzeno	0,14
Bário	302	Clordano	3
Berílio	0,2	Clorobenzeno	211
Boro	1,7	Clorofómio	0,47
Cádmio	4	2,4-D	0,25
Flúor	635	DDT	1,54
Chumbo	84	Diclorobenzeno	15
Mercúrio	7	Dieldrina	0,17
Molibidênio	0,6	Dioxinas	0,00012
Níquel	107	Heptacoloro	0,18
Selênio	6	Hexaclorobenzeno	1,4
Prata	3	Lindano	12
Tálio	0,3	Metoxicloro	4,27
Vanádio	47	PAHs	16
		PCBs	0,89
		Pentaclorofenol	14
		Ftalato	13733
		Pireno	41
		Estireno	0,68
		2,4,5-T	3,82
		Tetracloroetano	1,25
		Tetracloroetileno	0,54
		Tolueno	12

Inorgânico	Concentração no solo (mg/kg)	Composto orgânico	Concentração no solo (mg/kg)
		Toxafeno	0,0013
		Tricloroetano	0,68

Fonte: Adaptado de WHO (2006)

A FAO (1994) avalia os efeitos do uso prolongado da água de irrigação no solo associados à toxicidade iônica específica, excesso de nitrogênio, água de irrigação com pH fora do intervalo recomendável, salinidade e sodicidade. A capacidade total de produção de todas as culturas, sem o uso de práticas especiais de gerenciamento, é assumida quando são irrigadas com água com valores iguais ou inferiores às faixas que conferem “nenhum grau de restrição de uso”, além de não causar problemas no solo ou lavoura. O grau de restrição de uso “leve a moderado” não indica que a água é inadequada para a irrigação, mas que pode haver uma limitação na escolha da cultura, ou ser necessário um gerenciamento especial para manter a capacidade total de produção. Entretanto, se a água apresentar grau de restrição de uso “severo”, pode afetar o solo e as culturas reduzindo seu rendimento, mesmo com um gerenciamento de cultivo projetado especialmente para lidar com água de baixa qualidade, um alto nível de habilidade de gerenciamento é essencial para uma produção aceitável.

A existência de concentrações elevadas de íons de sódio e cloreto na água de irrigação pode ser prejudicial para o rendimento de culturas sensíveis. O acúmulo desses íons nas folhas das plantas durante a transpiração causa danos que dependerão da concentração dos íons tóxicos, sensibilidade da cultura e a qualidade da água de irrigação. Em períodos de alta temperatura e baixa umidade, também ocorre a absorção desses íons diretamente pelas plantas através das folhas umedecidas durante a irrigação por aspersão. A Tabela 9 indica as faixas de valores dessas concentrações de acordo com o grau de restrição de uso da água para irrigação de superfície e por aspersão.

Tabela 9 — Efeito da toxicidade iônica específica de sódio e cloreto na irrigação de superfície e por aspersão

Tipo de irrigação	Indicador	Unidade	Grau de restrição de uso		
			Nenhum	Leve a moderado	Severo
Irrigação de superfície	Sódio (Na ⁺)	RAS	< 3	3 a 9	> 9
Irrigação por aspersão		meq/L	< 3	> 3	> 3
Irrigação de superfície	Cloreto (Cl ⁻)	meq/L	< 4	4 a 10	> 10
Irrigação por aspersão		meq/L	< 3	> 3	> 3

Fonte: Adaptado de FAO (1994)

O nitrogênio na água de irrigação pode ser benéfico para as culturas, pois é um macronutriente responsável pelos processos estruturais, sendo um dos principais componentes dos aminoácidos e das proteínas. No entanto, concentrações elevadas de nitrogênio podem resultar em crescimento excessivo para algumas culturas e perda de sua qualidade.

O pH da água de irrigação fora do intervalo recomendável pode acarretar problemas, como desequilíbrio nutricional nas culturas, alteração do pH do solo, corrosão excessiva dos equipamentos de irrigação. A Tabela 10 apresenta o intervalo normal para o pH, e as faixas de valores para a avaliação quanto ao excesso de nitrogênio.

A salinidade é o acúmulo de sais no solo que reduzem a disponibilidade de água para as plantas, pode ser avaliada pela análise de condutividade elétrica (CE) ou sólidos dissolvidos totais (SDT), conforme Tabela 11.

Tabela 10 — Avaliação da água de irrigação para problemas diversos

Indicador	Unidade	Grau de restrição de uso		
		Nenhum	Leve a moderado	Severo
Nitrogênio total kjeldahl	mg/l	< 5	5 a 30	> 30
pH		Intervalo normal 6,5 a 8,4		

Fonte: Adaptado de FAO (1994)

Tabela 11 — Efeito da CE e dos SDT na salinidade

Indicador	Unidade	Grau de restrição de uso		
		Nenhum	Leve a moderado	Severo
Condutividade elétrica	dS/m	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	< 450	450 a 2000	> 2000

Fonte: Adaptado de FAO (1994)

A sodicidade refere-se à redução da taxa de infiltração da água no solo decorrente da concentração elevada dos cátions de sódio em relação aos de cálcio e de magnésio. A avaliação do problema de infiltração é feita graficamente pela relação do RAS e da CE, conforme a Figura 11.

Com as crescentes demandas mundiais de água obrigando os gestores a considerar fontes hídricas não tradicionais para o abastecimento e com o crescimento significativo do reuso de água, a EPA desenvolveu diretrizes para o reuso que se tornaram referência mundial na implantação de sistemas de reuso, pois abordam novas aplicações e tecnologias de tratamento.

Nos Estados Unidos, cada estado tem regulamentos próprios acerca do reuso de água, padrões de qualidade para diversas modalidades e o tratamento mínimo requerido. A EPA reuniu estes padrões estaduais e recomendou diretrizes mínimas para as modalidades frequentes, como o reuso urbano, agrícola, represamento, reuso ambiental, industrial e reuso potável indireto. As diretrizes são aplicadas às águas residuárias domésticas provenientes de estações de tratamento de esgoto ou que contenham uma quantidade limitada de resíduos industriais. As diretrizes para o reuso agrícola são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 — Diretrizes mínimas para o reuso agrícola

Classificação	Indicadores	Unidade	Parâmetros
Culturas alimentícias	pH		6,0 - 9,0
	DBO _{5,20}	mg/l	≤ 10
	Turbidez ⁽¹⁾	NTU	≤ 2
	Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	Não detectável
	Cloro residual	mg/l	1
Culturas de alimentos processados e culturas não consumidas por humanos	pH		6,0 - 9,0
	DBO _{5,20}	mg/l	≤ 30
	Sólidos suspensos totais	mg/l	≤ 30
	Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	≤ 200
	Cloro residual	mg/l	1

Fonte: Adaptado de EPA (2012)

Notas:

⁽¹⁾ A turbidez não deve exceder o valor 5NTU a qualquer momento.

3.5 Modelagem da qualidade da água

A qualidade da água de um corpo hídrico varia de acordo com suas condições naturais e com fatores, como o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, escoamento superficial, lançamento de resíduos sólidos, despejos domésticos e industriais e aplicação de defensivos agrícolas no solo (VON SPERLING, 2014).

O lançamento de esgoto sanitário ou industrial pode causar danos à qualidade da água, pois o excesso de matéria orgânica promove a depleção do oxigênio dissolvido na água do corpo receptor durante os processos metabólicos de respiração e estabilização da matéria orgânica pelas bactérias heterotróficas aeróbias.

A autodepuração é um fenômeno natural de restauração da qualidade da água de um corpo hídrico, após o lançamento de efluentes, por meio da associação de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Durante o processo da autodepuração, as cargas poluidoras de origem orgânica são convertidas em compostos finais simples e estáveis como, por exemplo, gás carbônico e água.

A modelagem matemática da qualidade da água é uma ferramenta importante para a simulação dos processos de autodepuração de um corpo hídrico e permite a obtenção de dados e informações a respeito do seu estado, como subsídio à gestão dos recursos naturais. Existem vários modelos de qualidade da água que podem ser aplicados em rios, lagos e reservatórios, como, por exemplo, o modelo clássico de Streeter e Phelps, o *Enhanced Stream Water Quality Model* (QUAL2E), o QUAL-UFMG, entre outros.

O modelo clássico de Streeter e Phelps foi desenvolvido em 1925 com os dados do rio Ohio, nos Estados Unidos. Von Sperling (2014) destaca que, no Brasil, a maioria das simulações de oxigênio dissolvido é feita utilizando o modelo clássico por sua simplicidade conceitual e menor necessidade de parâmetros e dados de entrada. Entretanto, ele é válido apenas em condições estritamente aeróbias, em condições estacionárias em que os eventos não podem ser transientes ou variar com o tempo, em trechos com características uniformes como declividade, velocidade, profundidade e entrada ou saída de vazões.

O software de modelagem QUAL2-E, desenvolvido pela EPA em 1987, admite até quinze indicadores de qualidade, é aplicável para os estados estacionário ou dinâmico, permite a incorporação de descargas pontuais, tributários, captações, incrementos de vazão, poluentes relacionados às fontes difusas, modelar os efeitos dos dados meteorológicos sobre os indicadores e avaliar a variação de oxigênio dissolvido devido ao crescimento e respiração das algas (SINGH, 2016).

O modelo QUAL-UFMG é uma ferramenta simples para a modelagem da qualidade da água criado por Von Sperling. Tem como objetivo possibilitar a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no QUAL2-E, mas contém a simplificação de não incluir as algas e todas suas interrelações com os demais constituintes.

O modelo incorpora os fenômenos, mecanismos e processos interagentes no balanço do oxigênio dissolvido, modelando-os em condições de anaerobiose, considerando a sedimentação da matéria orgânica, o consumo de oxigênio dissolvido pela nitrificação e pelas cargas difusas externas e internas sem vazão que são a demanda do sedimento, fotossíntese e respiração (SALLA *et al.*, 2013).

O QUAL-UFMG permite a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, as frações de nitrogênio (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), e coliformes termotolerantes.

3.6 Análise de risco associada ao reuso agrícola

O reuso agrícola não planejado pode expor a população aos perigos associados ao contato com a água residuária não tratada, além disso, causa danos para o meio ambiente devido ao acúmulo de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, no solo, risco de salinidade e de sodicidade (HESPANHOL, 2002).

As análises físico-químicas e microbiológicas das águas são meios importantes para se obter dados para a avaliação de risco, como os tipos de patógenos e sua quantidade, além da

concentração de compostos tóxicos que podem contaminar os seres humanos e o meio ambiente (WHO, 2006).

Em vista disso, é importante estudar as consequências do reuso agrícola para a saúde da população e para o meio ambiente, assim como a importância do pré-tratamento da água, de forma a orientar a população e evitar danos à saúde pública. A análise de risco utiliza informações para estimar o risco e a magnitude de suas consequências para indivíduos ou populações, propriedades ou ambiente, em virtude de condições de perigo. É uma metodologia flexível e passível de ser aplicada em várias áreas do conhecimento, de maneira que pode ser adequada a diversas situações, considerando os eventos que se deseja prevenir ou controlar (NASCIMENTO, 2015; SÁNCHEZ, 2013).

Para o estudo da análise de risco é importante definir perigo e risco. O perigo pode ser definido como um efeito adverso inerente a uma determinada atividade ou circunstância que pode acarretar dano a algo ou alguém. O risco pode ser entendido como a quantificação da probabilidade da ocorrência desse perigo e a magnitude das consequências (SÁNCHEZ, 2013).

Segundo Nascimento (2015) a análise de risco é um processo abrangente e estruturado, constituído pelas etapas de avaliação do risco, gerenciamento do risco e comunicação do risco, desenvolvidas de forma integrada.

A avaliação de risco descreve os fatores, agentes ou situações que determinam a ocorrência do risco pela aplicação de um juízo de valor para quantificar e caracterizar os riscos, possibilitando uma melhor discussão sobre a importância destes e suas consequências sociais, econômicas e ambientais, além de fornecer um suporte técnico para a tomada de decisões sobre as incertezas (VIANA, 2010).

Existem vários métodos para a avaliação do risco, no entanto existem os métodos mais utilizados, entre eles: a Análise Preliminar de Riscos (APR), a Análise de Operabilidade e Perigos (HAZOP), o “WHAT – IF” ou “e se?” e o Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), suas vantagens e desvantagens são apresentadas no Quadro 6 (LUCENA, 2018; OGATA et al., 2016; VIDAL, 2019). O método utilizado para a realização desta pesquisa foi o FMEA que será descrito na seção seguinte.

Quadro 6 — Métodos para a avaliação de riscos, vantagens e desvantagens

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Análise Preliminar de Riscos (APR)	Fácil de executar, devido ao seu esquema metódico e baixo nível de pormenor. Permite revisões do projeto em tempo útil.	É desenvolvida numa fase inicial e pode faltar informação sobre todos os detalhes do projeto. Necessita de ser complementada por técnicas mais detalhadas e apuradas. Em sistemas bastante conhecidos, esta técnica pode ser evitada e partir-se diretamente para a aplicação de outras técnicas mais específicas.
Análise de Operabilidade e Perigos (HAZOP)	Fácil aplicação, muito aceito e padronizado e sem modelo matemático. Identifica as causas possíveis, os desvios, as suas consequências e as ações requeridas para obter a segurança do sistema	Consumo de tempo. Equipe multidisciplinar treinada. Conhecimento do processo Método demorado. Em projetos novos deve ser complementado com outros métodos. Necessita que o processo esteja bem detalhado.
“WHAT IF” ou “e se?”	Fácil aplicação e geral. Qualitativa, uso em projeto ou operações.	Vários “check lists”. Consumo de tempo.
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	Fácil aplicação. Modelo padronizado. Classificação de risco. Analisa subsistemas.	Examina falhas não perigosas. Demorada. Não considera falhas de modo comum ou combinação de falhas.

Fonte: Adaptado de Mendonça (2013 *apud* LUCENA, 2018)

3.6.1 Failure Mode and Effects Analysis

O FMEA é um método muito aplicado em várias áreas do conhecimento, inclusive na agricultura, é uma metodologia quali-quantitativa que visa avaliar o risco associado aos modos de falha, que são as maneiras com que os erros nos componentes, sistemas, projetos ou processos ocorrem e como eles se desenvolvem para gerar a falha (CARLSON, 2012). Assim, o efeito dos modos de falha é a sua manifestação em um sistema ou processo para que os gestores possam executar ações corretivas (OGATA et al., 2016).

Segundo Carlson (2012) o FMEA permite a análise de processos, produtos ou sistemas. O FMEA para processos concentra-se na fabricação ou montagem de um produto de forma segura. O FMEA para produtos visa analisar as deficiências da concepção do produto para garantir que seu uso seja seguro. O FMEA para sistemas analisa as deficiências relacionadas à segurança, interfaces ou interações entre subsistemas.

A metodologia FMEA pode ser estruturada em cinco etapas, conforme Toledo e Amaral (2006 *apud* VIDAL, 2019):

- A primeira etapa é a de planejamento em que se define o objeto de estudo, a equipe avaliadora, marca-se a reunião e preparam-se os documentos para a análise.
- Na segunda etapa ocorre a análise das falhas em potencial, juntamente com seus efeitos, causas, medidas mitigadoras e as tabelas de escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência que nortearão a decisão da equipe avaliadora.

- A terceira etapa é a reunião FMEA, em que ocorre a avaliação das falhas potenciais supracitadas, nela a equipe avaliadora entra em acordo sobre quais escores são mais representativos para cada perigo.
- As duas últimas etapas são caracterizadas pela melhoria no processo e a continuidade da análise, são relacionadas ao gerenciamento do risco, pois com o resultado das etapas anteriores serão promovidas melhorias contínuas no processo analisado.

3.6.2 Método da United States Salinity Laboratory

Dentre as metodologias existentes para avaliar a água de irrigação quanto a sodicidade e salinidade, uma das mais aceitas é a da United States Salinity Laboratory (USSL) que se baseia no RAS e na CE para avaliar o risco de sodicidade, e na CE para o risco de salinidade (FAO, 1994; VIDAL, 2019).

Segundo a USSL (1954), numa avaliação qualitativa, as águas para irrigação se dividem em quatro classes de salinidade (C1, C2, C3 e C4) à medida a CE aumenta com a concentração de sais, e quatro classes de sodicidade (S1, S2, S3 e S4) conforme o aumento do valor do RAS.

De acordo com o método, a água de salinidade baixa (C1) pode ser utilizada para irrigação da maioria dos tipos de culturas e na maioria dos solos, apresenta pouca probabilidade de desenvolver salinidade no solo, exceto em solos de permeabilidade extremamente baixa, a água de salinidade média (C2) pode ser utilizada se ocorrer uma quantidade moderada de lixiviação no solo, plantas com tolerância moderada aos sais podem ser irrigadas sem práticas especiais para controle da salinidade. A água com a salinidade alta (C3) não deve ser utilizada para aplicação em solos com pouca drenagem e, plantas com boa tolerância aos sais, devem ser selecionadas para o cultivo. Mesmo em solos com drenagem adequada, pode ser necessário um gerenciamento especial para o controle da salinidade. A água com salinidade muito alta (C4) não é adequada para irrigação em condições normais, mas pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias muito especiais, para isso os solos devem ser permeáveis, a drenagem deve ser adequada, a água de irrigação deve ser aplicada em excesso para proporcionar uma considerável lixiviação e as culturas muito tolerantes ao sal devem ser selecionadas. Água de salinidade extremamente alta (C5) são utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados.

O método ainda enfatiza que, a água com baixo teor de sódio (S1) pode ser usada para irrigação em quase todos os tipos de solos e culturas, apresenta pouco risco de desenvolvimento de níveis prejudiciais de sodicidade. No entanto, culturas sensíveis ao sódio podem acumular

concentrações prejudiciais de sódio. A água com médio teor de sódio (S2) apresentará um risco considerável de sódio em solos de textura fina com alta capacidade de troca de cátions, especialmente em condições de baixa lixiviação. Esta água pode ser usada em solos de textura grossa ou ricos em matéria orgânica e com alta permeabilidade. A água com alto teor de sódio (S3) pode produzir níveis perigosos de sodicidade na maioria dos solos e exigirá um gerenciamento especial, composto de boa drenagem, alta lixiviação e adições de matéria orgânica. A água com teor de sódio muito alto (S4) geralmente não é satisfatória para fins de irrigação, exceto com salinidade baixa e talvez média, onde a solução de cálcio ou o uso de gesso no solo pode viabilizar o uso dessa água.

3.6.3 Risco de salinidade

A salinidade é definida como uma expressão da concentração de sais dissolvidos numa determinada solução, ocorre quando os sais dissolvidos se acumulam na zona radicular da planta a uma concentração que a colheita não consegue extrair água suficiente da solução salina no solo, resultando em estresse hídrico por um período de tempo significativo e perda de seu rendimento (FAO, 1994).

Os sais que se acumularam de irrigações anteriores e se concentram abaixo da zona radicular da planta podem ser removidos pelo processo da lixiviação, que ocorre quando uma quantidade de água, além da necessária para a colheita, é utilizada e parte dela se infiltra no solo, diluindo e transportando os sais, reduzindo, assim, a salinidade do solo (FAO, 1994; PAGANINI, 2003; SILVA, 2011). A lixiviação é fundamental para o controle da salinidade, entretanto, se o solo apresentar baixa permeabilidade e a salinidade for muito alta a lixiviação poderá ser pouco eficiente, a quantidade de lixiviação necessária depende da qualidade da água de irrigação e da tolerância à salinidade da cultura cultivada (SILVA, 2011).

A FAO avalia a salinidade de acordo com a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e a condutividade elétrica (CE), e classifica a água cuja CE está abaixo de 0,7 dS/m e SDT abaixo de 450 mg/l como não restrita para o uso, por não apresentar problema relacionado à salinidade, enquanto aquelas com CE entre 0,7 e 3,0 dS/m e SDT entre 450 e 2000 mg/l possuem salinidade moderada com restrição leve a moderada, podendo ser necessárias técnicas de gestão especial para seu uso. Para águas com CE maior que 3,0 dS/m e SDT maior que 2000 mg/l o grau de restrição para seu uso é severo, pois essas águas conferem elevado risco de salinidade para o solo, as técnicas de gestão necessárias serão mais avançadas, e, em alguns casos, será preciso substituir o cultivo por outro que apresente maior tolerância à salinidade.

3.6.4 Risco de sodicidade

Concentrações de sódio superiores às de cálcio e de magnésio dificultam a infiltração da água no solo, acarretando em prejuízos para as culturas, devido a estes elementos atuarem no sentido de deslocar o sódio contido no solo, no processo conhecido como troca catiônica (DOMINATO, 2011).

Segundo Silva (2011), o cálcio contribui para a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo, enquanto o sódio é responsável por uma dispersão do material constituinte, que pode acarretar uma obstrução de poros e aumento da dificuldade de transporte de fluidos e o excesso de magnésio trocável no solo pode provocar uma deficiência de cálcio. As concentrações de sódio superiores às de cálcio em uma relação de 3:1 promovem a baixa infiltração de água no solo, isso ocorre devido à falta de cálcio suficiente para combater os efeitos dispersantes do sódio, o que resulta na dispersão das partículas do solo, obstrução e vedação dos poros na superfície e a degradação estrutural (FAO, 1994).

Silva (2011), afirma que alguns dos íons são capazes de interagir com as partículas do solo, promovendo a sua dispersão, e conseqüentemente uma obstrução dos poros. Essa ação diminui a permeabilidade do solo, dificultando a reposição de água no solo pela irrigação, o que pode promover escassez de água nas plantas e comprometer o rendimento de culturas. A relação utilizada para estimar a magnitude do risco de sodicidade é definida como a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e é dada pela Equação 1.

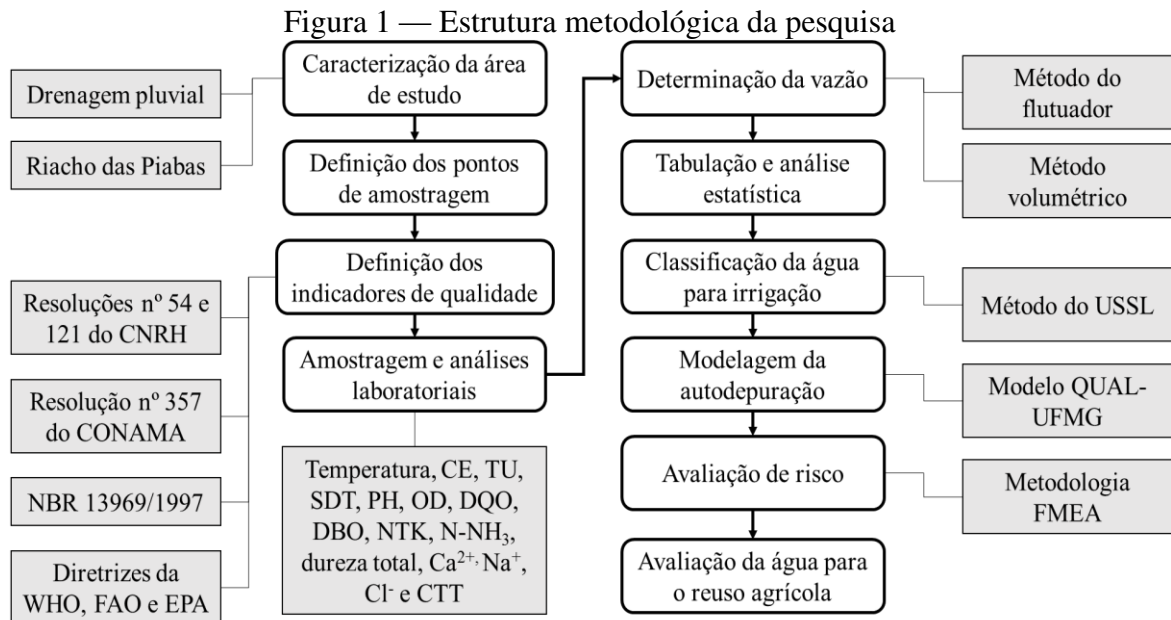
$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Em que:

- Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} : Correspondem aos valores das concentrações dos elementos (meq.l⁻¹).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a estrutura da metodologia utilizada na realização da presente pesquisa.

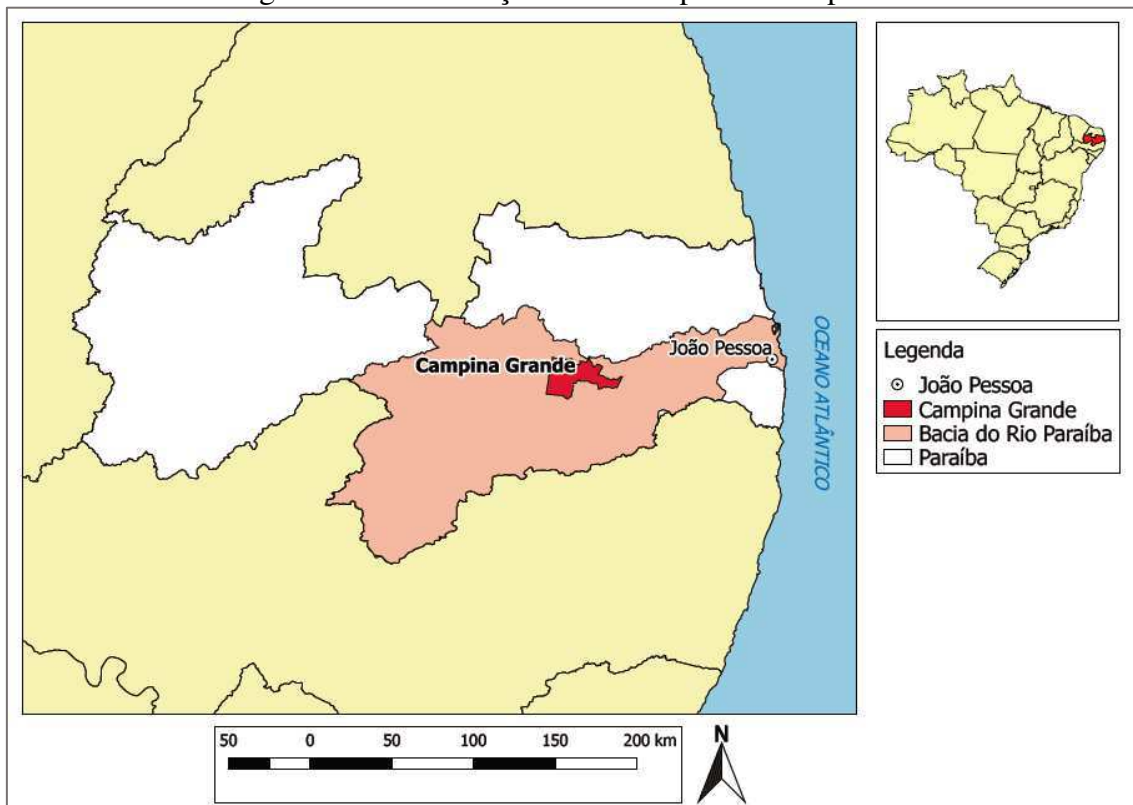


Fonte: Autora (2020)

4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Campina Grande, no Estado da Paraíba, cuja zona urbana, cidade de Campina Grande, dista 120 km da capital João Pessoa (Figura 2). O município situa-se no semiárido brasileiro, na Região do Agreste, a 7°13'50" de latitude Sul e a 35°52'52" de longitude Oeste. Ocupa 593.026 km² de área territorial, limita-se ao norte com os municípios de Lagoa Seca, Massaranduba, Pocinhos e Puxinanã, ao sul com Boqueirão, Caturité, Fagundes e Queimadas, ao leste com Riachão do Bacamarte e a oeste com Boa Vista. Segundo o Censo 2010, apresenta a segunda maior população do Estado, 385.213 habitantes, com densidade demográfica de 648,31 hab/km². De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a população estimada para 2019 era de 407.472 habitantes, dos quais 95% correspondiam aos moradores da zona urbana e 5% da zona rural.

Figura 2 — Localização do município de Campina Grande



Fonte: Autora (2020)

De acordo com Macedo, Guedes e Sousa (2011), as temperaturas do referido município são amenas durante todo o ano, variam entre 16 e 32 °C, com umidade relativa do ar em torno de 80% e precipitação média anual de 804,9 mm, com maiores volumes nos meses de março a julho e menores no trimestre de outubro a dezembro.

O município Campina Grande encontra-se nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Médio Paraíba (Figura 2). Os principais cursos de água são os rios Salgadinhos, Bodocongó, São Pedro, do Cruzeiro e Surrão, além dos riachos Logradouro, das Piabas, Marinho, Caieira, do Tronco e Cunha, todos com regime de escoamento intermitente (PMCG, 2014). O potencial de água subterrânea é reduzido devido à ocorrência de aquífero cristalino. A água que abastece Campina Grande é proveniente do açude Epitácio Pessoa, que atualmente também recebe as águas oriundas do Rio São Francisco. Esse reservatório possui capacidade de 466.525.964 m³ e está situado no município de Boqueirão, que dista 44 km de Campina Grande.

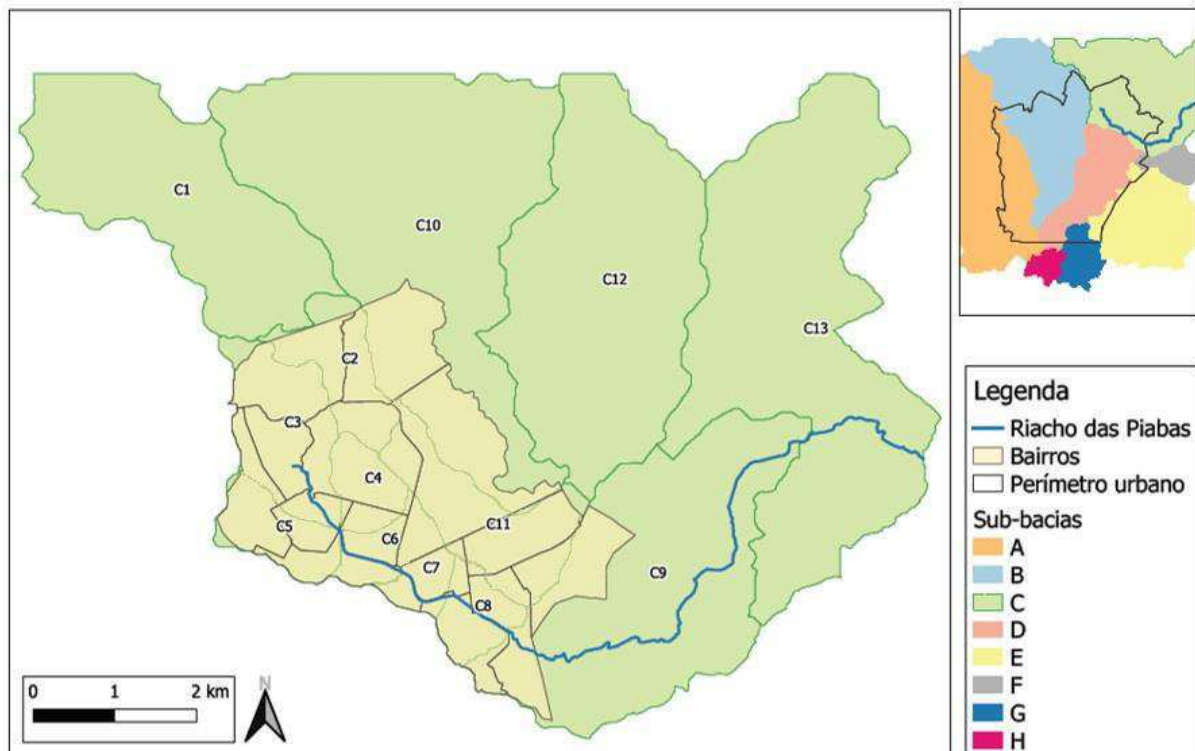
Os serviços de saneamento básico no município são realizados pela iniciativa pública, privada e companhias estatais. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário são de responsabilidade da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos estão divididos entre a Secretaria de Serviços Urbanos e Meio

Ambiente (SESUMA) e a empresa Light Engenharia que realiza serviço terceirizado. Em relação à drenagem urbana, a manutenção, gerenciamento, melhorias e ampliação do sistema ficam a cargo da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG).

4.1.1 Drenagem pluvial

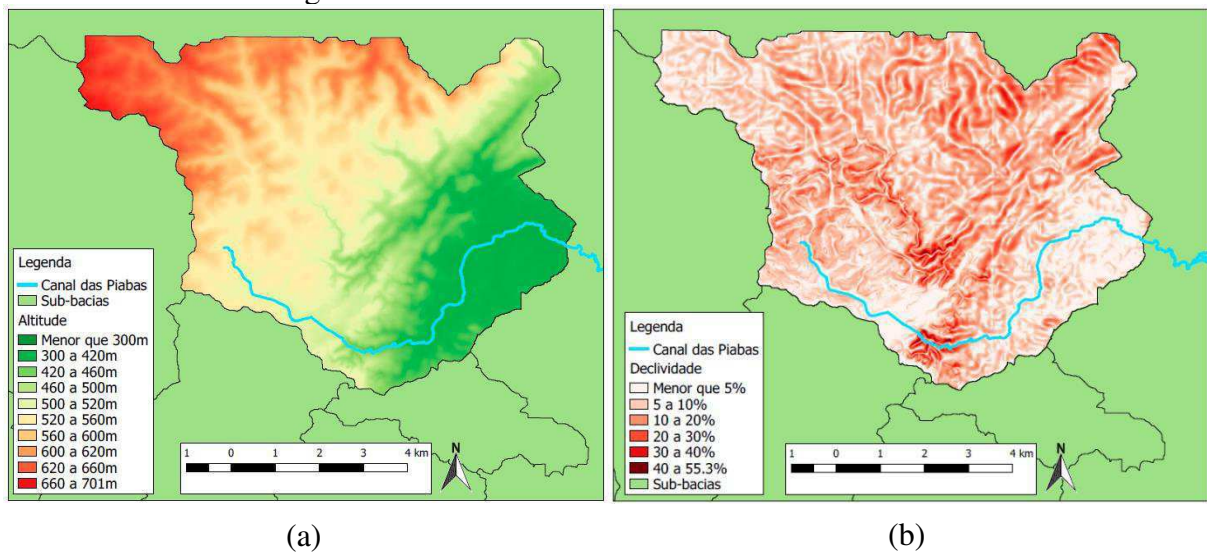
O limite territorial do município de Campina Grande se estende por oito sub-bacias de drenagem, denominadas A, B, C, D, E, F, G e H. A área de estudo é a sub-bacia C, também denominada sub-bacia do Riacho das Piabas, e compreende os bairros Monte Castelo, Castelo Branco, Jardim Tavares, José Pinheiro, Jardim Continental, Conceição, Alto Branco, Centro, Palmeira, Louzeiro, Nações, Lauritzen, Santo Antônio, e Nova Brasília, conforme Figura 3. A sub-bacia Riacho das Piabas é composta por 13 microbacias de drenagem, tem altitudes que variam entre 388 e 701 m (Figura 4.a), declividade entre 5% e 55,3% (Figura 4.b) e 50% de área impermeabilizada (TSUYUGUCHI, 2015).

Figura 3 — Área de estudo



Fonte: Autora (2020)

Figura 4 — Altitudes e declividades da sub-bacia C



Fonte: Autora (2020)

A drenagem da cidade de Campina Grande é constituída por sistemas de microdrenagem com bocas de lobo, sarjetas, poços de visitas, tubos de ligação e galerias, e por um sistema de macrodrenagem com canais trapezoidais, retangulares e parabólicos (FREIRE et al., 2014). Os principais canais que compõem o sistema de macrodrenagem são os riachos das Piabas, Bodocongó, Prado, São Januário e Santa Rosa (PMCG, 2014).

O crescimento rápido da cidade, de forma desordenada, e a impermeabilização das áreas das bacias de drenagem provocaram impactos na infraestrutura urbana, áreas submetidas a enchentes e enxurradas durante os eventos de chuvas excepcionais. (CPRM, 2013).

Em relação ao esgotamento sanitário, no Brasil é obrigatório que seja do tipo separador absoluto, cujo princípio é baseado na coleta dos esgotos em separado das águas pluviais. Entretanto, estudos realizados no sistema de drenagem de Campina Grande, comprovaram que há contribuição de esgoto sanitário para o sistema de águas pluviais, conforme Caminha (2014), Camelo (2019), Freire (2014), Henriques (2014), Vidal (2019).

4.1.2 Riacho das Piabas

O Riacho das Piabas possui 14,79 km de extensão dos quais 3,3 km estão na zona urbana do município de Campina Grande. Sua nascente encontra-se na Mata do Louzeiro e, a partir do bairro da Conceição, passa a ser revestido com concreto, seguindo assim pelos bairros, Lauritzen, Santo Antônio, Centro, José Pinheiro e Monte Castelo. Neste último volta a ser um riacho natural e segue ao encontro do Rio Bacamarte no município de Massaranduba. Após o bairro do Monte Castelo, existe um declive acentuado com formação de uma queda d'água e forte turbulência. Devido a isto, a região foi popularmente denominada Cachoeira (Figura 5).

Figura 5 — Queda d'água no Riacho das Piabas no bairro Monte Castelo



Fonte: Autora (2020)

Durante a estiagem, o riacho tem sua vazão reduzida (Figura 6.a), pois esta é uma característica dos rios temporários da região do semiárido brasileiro. Nesse período, os esgotos domésticos chegam a representar a totalidade da vazão do riacho (FREIRE, 2014). No entanto, na época chuvosa, o riacho recebe grande volume de água que, associado aos problemas de infraestrutura e manutenção, favorecem inundações e enchentes (CPRM, 2013). As Figuras 6.b a 6.c apresentam as condições mais relevantes de infraestrutura e manutenção do Riacho das Piabas.

Figura 6 — Condições da infraestrutura do Riacho das Piabas



(a)

(b)



(c)

(d)

Fonte: Autora (2020)

4.2 Pontos de amostragem

Para a escolha dos pontos de amostragem foram ponderadas as condições expressivas da real qualidade da água do riacho. Neste contexto, foi considerado como ponto inicial o ponto P1, localizado antes do revestimento de concreto do riacho onde havia criação de animais e construções irregulares. Os pontos P2 e P4 foram escolhidos por caracterizarem o encontro de várias microbacias recebendo grande contribuição de águas pluviais e de esgotos. O terceiro ponto, P3, foi escolhido a montante do desvio para o bairro José Pinheiro, local em que na época de chuva desaguam águas excedentes do açude Velho. O ponto P5 é localizado no término da

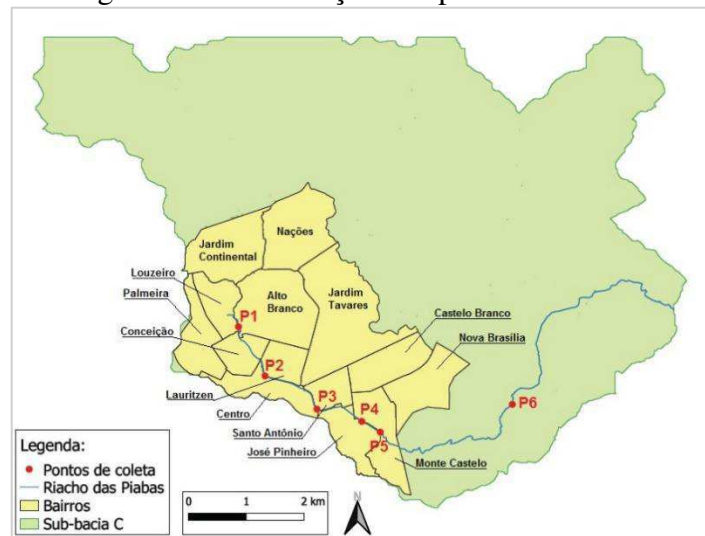
área construída do riacho, e local em que havia a presença de resíduos sólidos e criação de animais de sangue quente. O P6, o último ponto, é característico da zona rural, com extensiva criação de animais, irrigação de hortaliças e de pasto, local onde o riacho não apresentava mais revestimento de concreto. O Quadro 7 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos amostrais, suas localizações e descrição mais detalhada. A Figura 7 ilustra a localização dos pontos amostrais e as Figuras 8.a a 8.f ilustram as características dos pontos.

Quadro 7 — Detalhamento dos pontos de amostragem

Ponto	Bairro	Local	Coordenadas geográficas	Descrição
P1	Louzeiro	R. Gen. Newton Estilac Leal	35°53'13.31"O 7°12'27.18"S	Situado a montante da área construída do riacho, apresenta características naturais, lançamentos de esgotos, disposição de resíduos sólidos, construções irregulares e criação de animais. Área de drenagem: microbacia C3
P2	Centro	Rua Janúncio Ferreira	35°52'52.44"O 7°12'54.80"S	Apresenta revestimento artificial de concreto e oficinas mecânicas no entorno Área de contribuição: microbacias C3, C4, C5 e C6.
P3	Centro	Av. Janúncio Ferreira	35°52'30.88"O 7°13'10.86"S	Situado a montante do desvio para o bairro José Pinheiro, recebe contribuições das águas excedentes do Açude Velho durante eventos extremos de precipitação, apresenta revestimento artificial, lançamentos de esgotos e recebe as águas pluviais da Feira Central. Área de drenagem: microbacias C3, C4, C5, C6 e C7.
P4	Monte Castelo	Rua Senador Robert Kennedy	35°52'5.08"O 7°13'18.38"S	Apresenta revestimento artificial de concreto, disposição de resíduos sólidos e lançamento de esgotos. Área de drenagem: microbacias C3, C4, C5, C6, C7 e C8.
P5	Monte Castelo	Rua Senador Robert Kennedy	35°51'54.70"O 7°13'24.51"S	Situado a montante da cachoeira, apresenta revestimento artificial de concreto, disposição de resíduos sólidos, lançamento de esgotos, construções irregulares e criação de animais. Área de drenagem: microbacias C3, C4, C5, C6, C7 e C8.
P6		Zona rural do município de Campina Grande	35°50'40.04"O 7°13'9.35"S	Situado da zona rural, apresenta características naturais com vegetação em suas margens, criação de animais, irrigação de hortaliças e pasto. Área de drenagem: microbacias C3, C4, C5, C6, C7, C8 e C9.

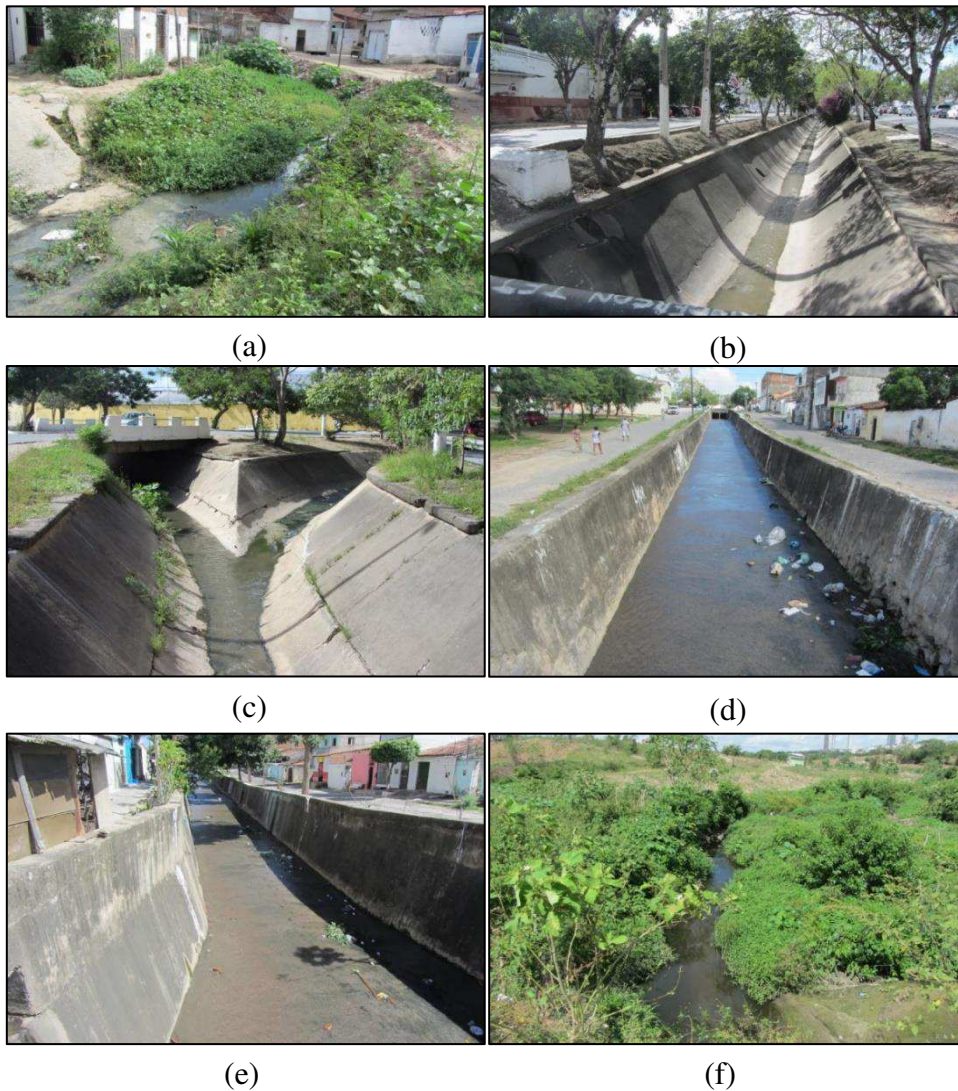
Fonte: Autora (2020)

Figura 7 — Localização dos pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Figura 8 — Pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

4.3 Indicadores de qualidade de água

A escolha dos indicadores de qualidade de água foi baseada nas Resoluções nº 54/2005 e nº 121/2010 do CNRH, na Resolução nº 357 do CONAMA, na NBR 13969/1997 e nas diretrizes internacionais como WHO (2006), FAO (1994) e EPA (2012), todas com referência ao reuso agrícola.

Com o objetivo de avaliar a capacidade natural de depuração da qualidade da água do riacho, comprometida por poluentes oriundos do lançamento de águas residuárias e disposição de resíduos sólidos, também foram considerados indicadores para a modelagem da qualidade da água de rios QUAL-UFMG (VON SPERLING, 2014).

4.4 Amostragem e análises laboratoriais

As amostras de água de drenagem do Riacho das Piabas foram coletadas semanalmente, pela manhã, entre 8 e 10 horas, de março e novembro de 2019 totalizando 30 campanhas. O dispositivo utilizado para a coleta consistiu em balde com corda acoplada e funil. Para as análises físico-químicas foram utilizados recipientes de 1.000 ml, à exceção do oxigênio dissolvido para o qual foi utilizado frasco de DBO de 300 ml. As amostras para a análise microbiológica foram colocadas em recipientes estéreis de 250 ml. O acondicionamento das amostras coletadas foi em caixas térmicas com gelo para manutenção da temperatura em torno de 4° C. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil e para o Laboratório de Engenharia Eletroquímica da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, ambos no campus sede da Universidade Federal de Campina Grande. O Quadro 8 apresenta os indicadores analisados, unidades e métodos utilizados; todos os métodos seguiram os procedimentos padrões estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2012).

Quadro 8 — Indicadores de qualidade da água e métodos utilizados

Indicadores	Unidade	Método
Características físicas		
Temperatura	°C	Termômetro
Condutividade elétrica	µS/cm	Condutivimétrico
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	Gravimétrico
Características químicas		
pH	-	Método instrumental com pHmetro
Oxigênio dissolvido	mg/l	Método de winkler
Demanda química de oxigênio	mg/l	Refluxação fechada do dicromato de potássio com determinação titulométrica

Indicadores	Unidade	Método
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/l	Diluição em frascos padrões de DBO com incubação a 20 °C durante 5 (cinco) dias
Nitrogênio total kjeldahl	mg/l	Titulométrico, após digestão semi-micro-kjeldahl
Nitrogênio amoniacal	mg/l	Titulométrico, após destilação
Dureza total	mgCaCO ₃ /l	Titulométrico com EDTA
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/l	Fotometria de chama
Sódio (Na ⁺)	mg/l	Fotometria de chama
Cloreto (Cl ⁻)	mg/l	Argentométrico
Características biológicas		
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	Membrana filtrante

Fonte: Autora (2020)

4.5 Determinação da vazão do Riacho das Piabas e identificação de fontes pontuais de poluição

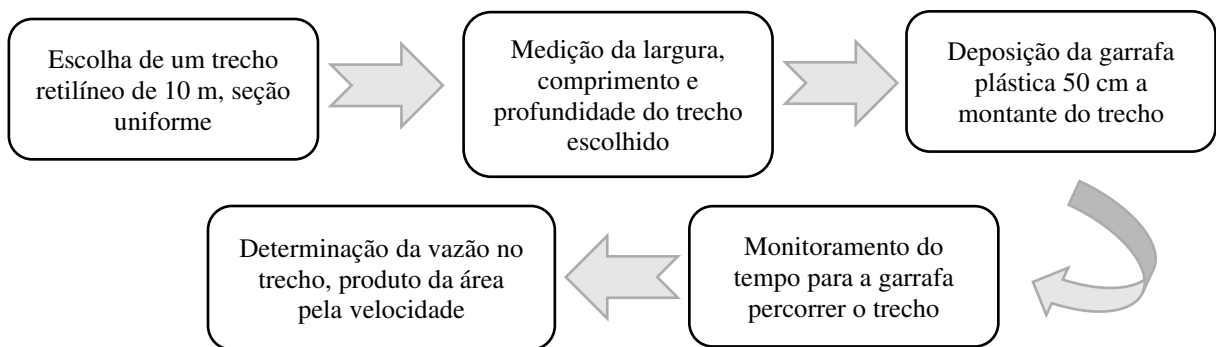
A vazão da água do Riacho das Piabas foi estimada por meio do método do flutuador, recomendado para cursos d'água pequenos, conforme Azevedo Neto (1998), nos dias 11/07/2019 e 30/08/2019 referentes ao período chuvoso, e nos dias 17/09/2019 e 22/10/2019, referentes ao período seco. As medições foram realizadas nos trechos entre os pontos P1 e P2, P2 e P3, e P4 e P5. Entre os pontos P3 e P4 não foi possível realizar a medição, porque nesse trecho o riacho passa a ser uma tubulação, assim como entre pontos P5 e P6 também não foi possível por ser um local inacessível.

Nas seções definidas para a medição de vazão foi escolhido um trecho longo e retilíneo para evitar curvas ao longo do riacho. Com o uso de uma trena, primeiro foi medida a largura do riacho, e em seguida o comprimento do trecho a ser percorrido pelo flutuador. Depois, foi medida a profundidade com uma régua de metal; pelo menos, foram realizadas três medidas em cada seção, uma no meio e duas nas laterais, com o objetivo de se obter uma profundidade média. Finalmente, foi estimada a velocidade média do riacho, com o auxílio de garrafas plásticas de 500ml, preenchidas com um volume de água suficiente para que flutuasse a meia seção. As garrafas foram soltas a cerca de meio metro antes do início do trecho a ser percorrido pelo flutuador a fim de adquirir velocidade constante suficiente e seguir conforme o fluxo de água do riacho. O tempo de percurso foi contado com o auxílio de um cronômetro. Esse processo foi repetido três vezes em cada seção. As etapas envolvidas na medição da vazão do Riacho das Piabas estão apresentadas na Figura 9.

Com as visitas técnicas, foram identificadas cinco fontes pontuais de poluição que contribuem para a vazão do Riacho das Piabas, entre elas, três viáveis para a medição vazão localizadas nos bairros Centro e Monte Castelo. Nessas fontes, foram realizadas as medições

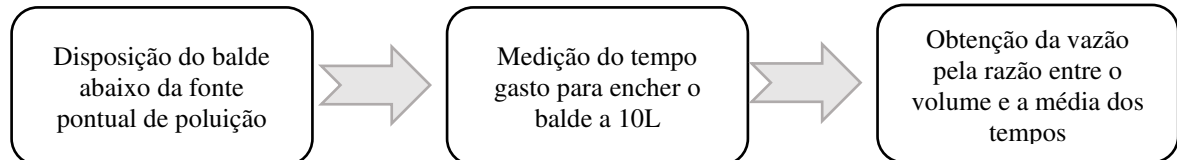
de vazão nos dias 11/07/2019, 30/08/2019, 17/09/2019 e 22/10/2019 pelo método volumétrico com o auxílio de um balde calibrado e um cronômetro, conforme Azevedo Neto (1998). O balde foi colocado abaixo da fonte de poluição para que enchesse até o volume de 10 L e o tempo de enchimento medido, esse procedimento foi repetido três vezes. Assim, foi determinada a vazão média das três medições para cada fonte de poluição. As etapas envolvidas na medição da vazão três fontes pontuais de poluição estão apresentadas na Figura 10.

Figura 9 — Metodologia utilizada na determinação da vazão do Riacho das Piabas



Fonte: Adaptado de Vidal (2019)

Figura 10 — Metodologia utilizada na determinação da vazão das fontes pontuais de poluição



Fonte: Autora (2020)

4.6 Análise estatística dos dados

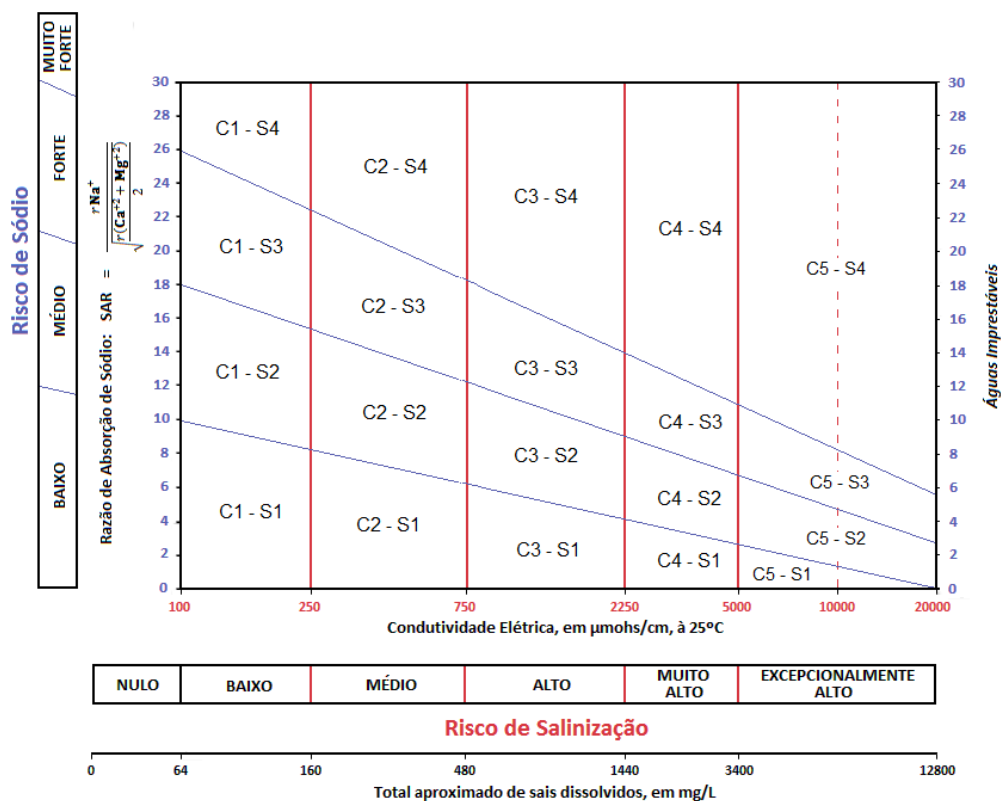
Inicialmente foi realizada a estatística descritiva (Apêndice A), com média, moda, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação. Em seguida foram gerados os gráficos *boxplots* e de distribuição espaço-tempo. Foram realizados os testes de normalidade pelos métodos Kolmogorov - Smirnov, Anderson - Darling, Shapiro – Wilk e Ryan – Joiner. Em todos os testes foi adotado o nível de significância de 0,05.

Em seguida, para todas as médias de dados de cada variável foi realizada a análise de variância ANOVA - fator único, com o nível de significância de 0,05, com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as médias. O teste de Tukey foi utilizado para mostrar onde ocorreram as diferenças significativas, também com um nível de significância de 0,05. Toda a análise estatística foi realizada com o programa Action Stat® na versão 3.3.2 *pugin* do software Excel 2016.

4.7 Classificação da água para irrigação

Para classificar a água do Riacho das Piabas para o uso na irrigação, quanto ao risco de sodicidade associado à infiltração e o risco de salinidade, foi utilizado o método da USSL (1954) que se baseia no RAS para quantificar o risco de sodicidade e CE para o risco de salinidade do solo, além de indicar esses valores em um diagrama com as oito categorias de água, conforme a Figura 11 (VIDAL, 2019). Este método foi executado através do software QualiGraf, desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Figura 11 — Diagrama para a classificação da água para irrigação segundo a USSL



Fonte: Adaptado de FUNCEME (2014)

4.8 Modelagem da autodepuração do Riacho das Piabas

Neste trabalho foi utilizado o modelo QUAL-UFMG que contempla a modelagem avançada do OD sob condições aeróbias e anaeróbias proposta por Gundelach e Castillo (1976). Esta modelagem incorpora em seu balanço o consumo de OD pela nitrificação, a sedimentação da matéria orgânica, além da desoxigenação e da reaeração atmosférica, já incluídas no modelo clássico de Streeter e Phelps.

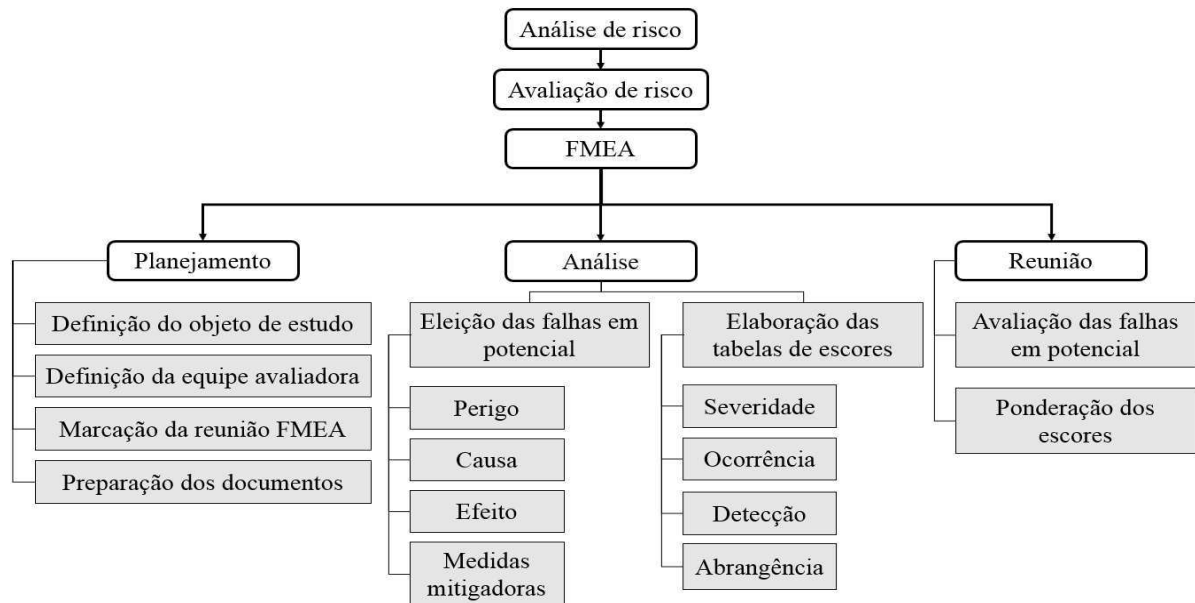
A modelagem não foi realizada na totalidade do riacho em estudo devido à impossibilidade de coleta de dados estruturais em alguns trechos. Dessa forma, ela foi realizada entre P1 e P2, P2 e P3, e P4 e P5.

Os dados de entrada do modelo, referentes à demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal para o Riacho das Piabas e para as fontes pontuais de poluição foram as médias dos resultados dos indicadores. Os dados estruturais de profundidade do nível d'água, largura do riacho, distância dos trechos e vazão do riacho foram obtidos por meio das medições de vazão já descritas. Os coeficientes para a demanda bioquímica de oxigênio e para o nitrogênio orgânico e amoniacal utilizados no modelo foram obtidos a partir de valores tabelados encontrados em Von Sperling (2014).

4.9 Avaliação de Risco

A avaliação de risco associada ao uso da água do Riacho das Piabas seguiu as etapas descritas no fluxograma (Figura 12).

Figura 12 — Etapas da avaliação de risco



Fonte: Autora (2020)

Embora a análise de risco seja dividida em três etapas: a avaliação de risco, o gerenciamento de risco e a comunicação de risco, neste trabalho foi realizada apenas a etapa de avaliação de risco pela metodologia FMEA.

O levantamento das falhas em potencial foi baseado nas visitas técnicas, registros fotográficos, dados de análises laboratoriais, relatórios do CPRM, legislações sobre o reuso agrícola, como as diretrizes da WHO (2006), da FAO (1994) e da EPA (2012), além das

Resoluções nº 54/2005 e nº 121/2010 do CNRH e da Resolução nº 357 do CONAMA. Assim, os perigos listados foram: quanto à segurança pública – inundações e movimento de massa; quanto à saúde pública – contrair doenças relacionadas ao saneamento básico e contrair doenças transmitidas por vetores; e quanto ao meio ambiente – poluição por matéria orgânica, salinização do solo e sodicidade do solo. Para a construção do formulário FMEA (Apêndice B), além dos perigos supracitados, foram considerados suas causas, efeitos e medidas mitigadoras.

Para a avaliação dos riscos, também foram elaboradas as tabelas de escores (Apêndice C), que abrangem os aspectos de severidade, ocorrência, detecção e abrangência. Todos os aspectos variam na escala de 1 a 3, sendo 1 para situações menos danosas, 2 para intermediárias e 3 para situações mais críticas.

A avaliação das falhas em potencial ocorreu mediante reuniões nos dias 12 e 19 de março de 2020. A equipe avaliadora foi composta por 5 especialistas da área de saneamento que receberam o formulário FMEA e as tabelas de escores para discussão e avaliação. O preenchimento do formulário foi baseado nos valores pré-determinados nas tabelas de escores, discutindo cada aspecto para cada perigo, até que um consenso foi definido.

Posteriormente, o risco (R) calculado pelo produto dos escores, foi classificado em desprezível, baixo, moderado, alto e crítico para se tornar uma informação mais representativa, conforme metodologia de Ogata *et al.* (2016). A Tabela 13 apresenta a classificação e a escala de cores indicada para cada classe.

Tabela 13 — Classificação do risco

Faixa de risco	Classificação
$1 < R \leq 12$	Desprezível
$12 < R \leq 22$	Baixo
$22 < R \leq 33$	Moderado
$33 < R \leq 43$	Alto
$43 < R \leq 54$	Crítico

Fonte: Adaptado de Ogata *et al.* (2016)

Nota:

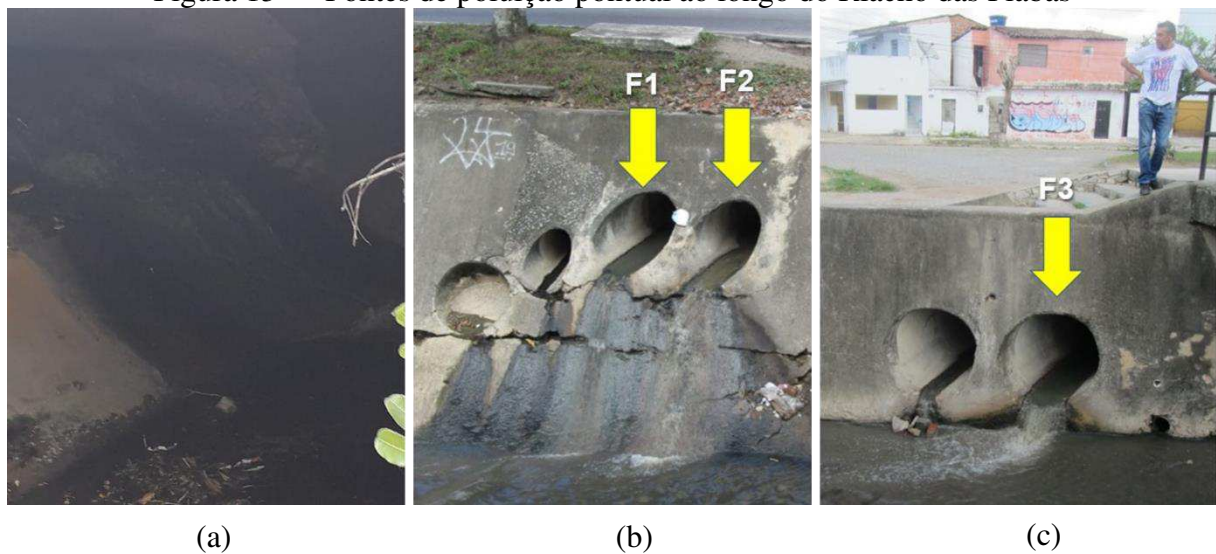
A classificação do risco é indicada pela escala de cores.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização das fontes de poluição

Com as visitas técnicas foram observadas cinco fontes pontuais, sendo uma a montante do ponto P2 no bairro Conceição, três localizadas a jusante do ponto P3 no bairro Centro (Figura 13.a), e duas a jusante do ponto P4 no bairro Monte Castelo (Figura 13.b). Das fontes observadas, foi possível coletar amostras de F1, F2 e F3. Para cada uma delas foram analisados os indicadores cujos resultados médios são apresentados na Tabela 14.

Figura 13 — Fontes de poluição pontual ao longo do Riacho das Piabas



Fonte: Autora (2020)

Tabela 14 — Valores médios para os indicadores das fontes pontuais de poluição

Indicadores	Unidade	Fonte 1	Fonte 2	Fonte 3
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/l	1	2	1
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	mg/l	288	296	294
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/l	499	464	472
Nitrogênio total kjeldahl (NTK)	mgN/l	77	78	67
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃)	mgN/l	32	34	47
Coliformes termotolerantes (CTT)	UFC/100ml	7,10E+06	6,84E+06	4,83E+06

Fonte: Autora (2020)

De acordo com a Tabela 14, os valores médios de OD variaram de 1 a 2 mg/l, a DBO de 288 a 294 mg/l, a DQO de 472 a 499 mg/l, o NTK de 67 a 78 mg/l e o N-NH₃ de 32 a 47 mg/l, sendo todos característicos de esgoto sanitário de concentração média, segundo Von Sperling (2014) e Jordão e Pessôa (2017). A relação DQO/DBO de 1,7 a 2,4 indica elevada fração de matéria orgânica biodegradável. As concentrações médias de CTT, da ordem de 10⁶ UFC/100ml, também foram características de esgoto sanitário médio.

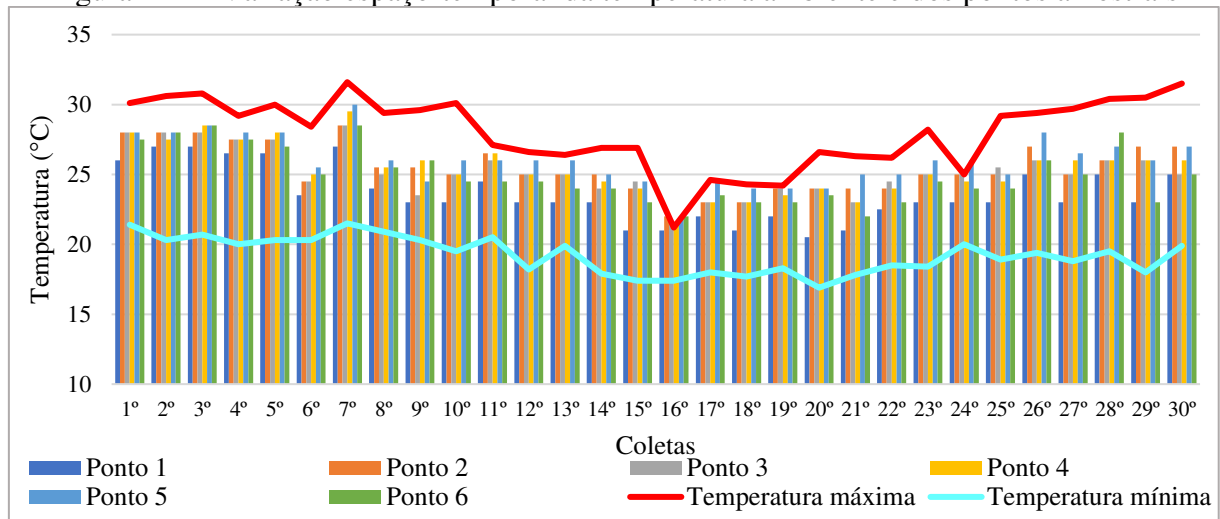
5.2 Indicadores de qualidade da água nos pontos de amostragem do Riacho das Piabas

5.2.1 Temperatura

Nos seis pontos analisados, a temperatura variou na faixa de 20 a 30°C (Figura 14 e Apêndice A). Comparando-se com a temperatura ambiente foi observado que todos os valores se apresentaram acima da mínima e, em grande parte do período de avaliação, abaixo da máxima. De maneira geral, constata-se que a temperatura da água de drenagem do Riacho das Piabas seguiu a tendência de variação da temperatura ambiente.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias (Tabela 15). O teste de Tukey (Tabela 16) apresentou dois grupos de médias estatisticamente diferentes, grupo 1, de maior média, composto pelos pontos P2, P3, P4 e P5, e o grupo 2, com o ponto P1.

Figura 14 — Variação espaço-temporal da temperatura ambiente e dos pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Tabela 15 — Resultado da ANOVA para a análise de temperatura

Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
Fator	5	98,0964987478333	19,6192997495667	6,16964332247869	2,74215E-05
Resíduos	173	550,135344827586	3,17997309148894		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 16 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de temperatura

Pontos	Média (°C)	Grupo 1	Grupo 2
Ponto 1	23,6		***
Ponto 2	25,48	***	
Ponto 3	25,22	***	
Ponto 4	25,24	***	
Ponto 5	26	***	
Ponto 6	24,92	***	

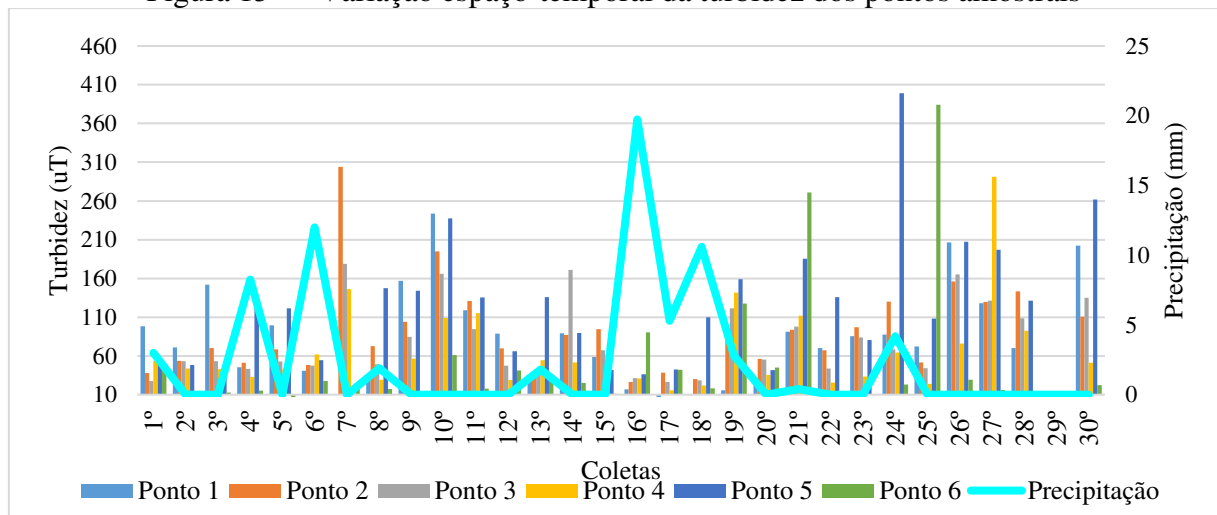
Fonte: Autora (2020)

5.2.2 Turbidez

Em todos os pontos analisados a turbidez (TU) variou na faixa de 50 a 122 uT (Apêndice A). Pela Figura 15, observa-se que durante os eventos intensos de precipitação, registrados nos dias 24 de abril de 2019, 8 de maio de 2019, 24 de julho de 2019, 31 de julho de 2019, 7 de agosto de 2019 e 18 de setembro de 2019, a turbidez foi reduzida o que pode ser justificado pela diluição promovida pela água da chuva.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias (Tabela 17). O teste de Tukey (Tabela 18), apresentou três grupos de médias estatisticamente diferentes, grupo 1 (P1, P2, P3 e P5), grupo 2 (P1, P2, P3 e P4) e grupo 3 (P4 e P6). O grupo 1 apresenta as maiores médias e é composto pelos pontos que recebem grande contribuição de lançamento de esgotos e despejo de resíduos sólidos.

Figura 15 — Variação espaço-temporal da turbidez dos pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Tabela 17 — Resultado da ANOVA para a análise de turbidez

Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
Fator	5	118233,9758	23646,79517	10,79824136	5,92836E-09
Resíduos	159	348190,0714	2189,874663		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 18 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de turbidez

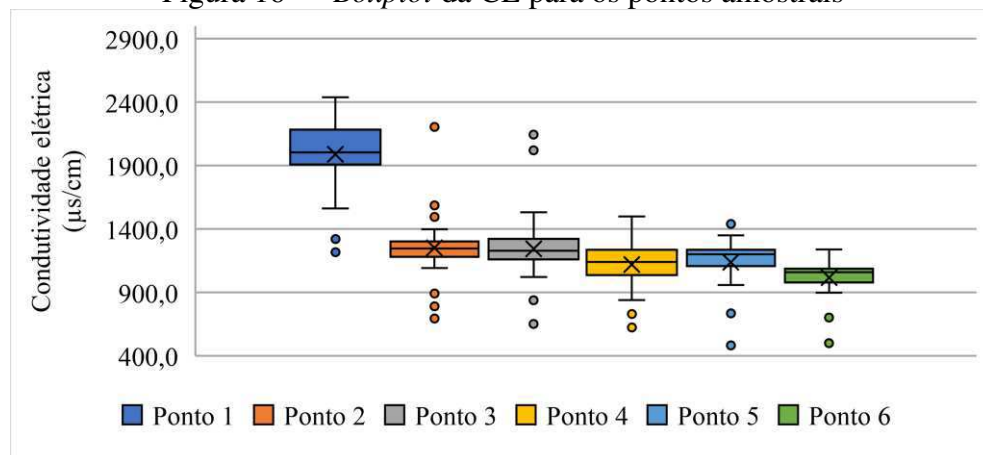
Pontos	Média (uT)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ponto 1	81	***	***	
Ponto 2	84	***	***	
Ponto 3	80	***	***	
Ponto 4	58		***	***
Ponto 5	113	***		
Ponto 6	23			***

Fonte: Autora (2020)

5.2.3 Condutividade elétrica, cloreto e sólidos dissolvidos totais

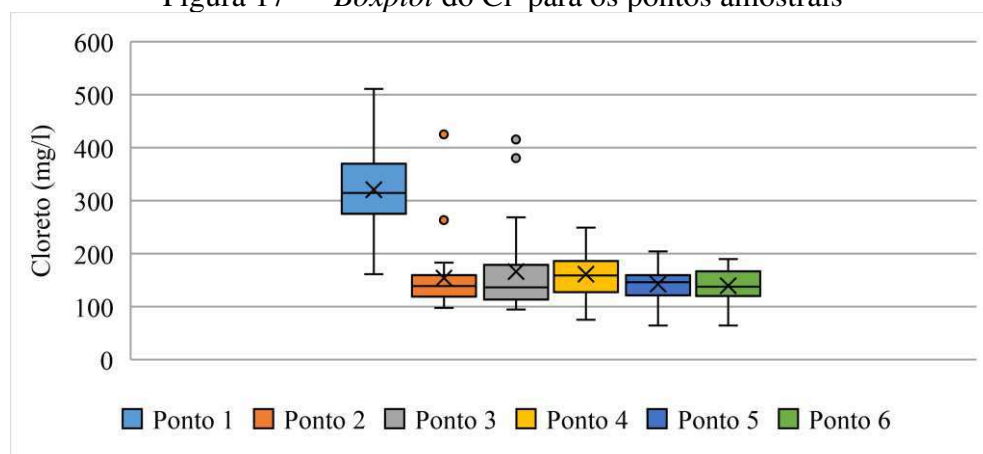
Em todo o período amostral, a condutividade elétrica (CE) variou de 483 a 2439 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o cloreto (Cl^-) de 64 a 511 mg/l e os sólidos totais dissolvidos (SDT) de 148 a 1850 mg/l (Figuras 16, 17 e 18, respectivamente). A maior vazão da água de drenagem resultante da fonte pontual de poluição a montante do ponto P2 proporcionou a variação na concentração de vários indicadores, incluindo os relatados neste parágrafo. Também é importante enfatizar que as maiores áreas de drenagem dos pontos a partir do P2, resultantes do maior número de microbacias, favoreceu a dispersão dessas concentrações. A partir desse ponto, observa-se que as médias dos três indicadores se mantêm com pequena variação, pois essas espécies não sofrem degradação.

Figura 16 — *Boxplot* da CE para os pontos amostrais

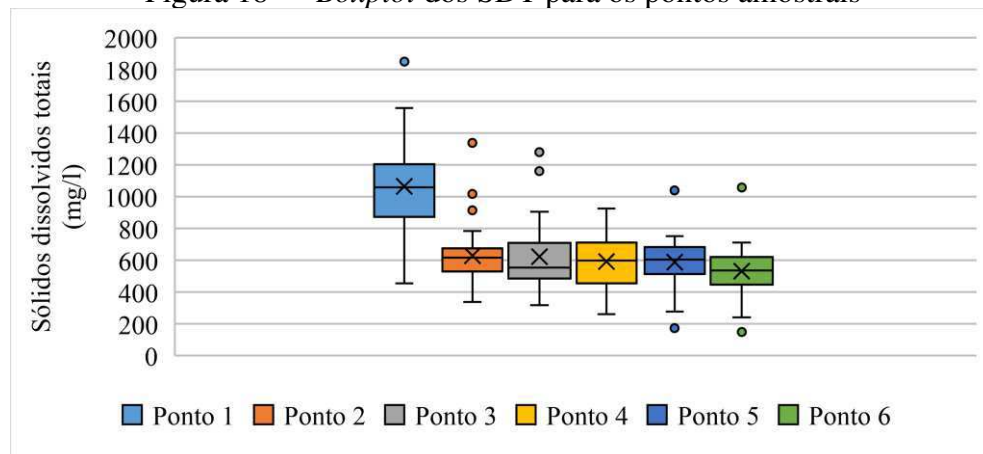


Fonte: Autora (2020)

Figura 17 — *Boxplot* do Cl^- para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Figura 18 — *Boxplot* dos SDT para os pontos amostrais

Fonte: Autora (2020)

A análise de variância, realizada sem os *outliers*, apresentou diferenças entre as médias para os três indicadores (Tabela 19). Em relação ao teste de Tukey (Tabela 20), que mostra onde ocorrem diferenças significativas entre as médias, observa-se que o ponto P1 se manteve isolado no grupo 1, com maior média, nos três indicadores, o que está em consonância com o argumento anteriormente relatado.

Tabela 19 — Resultado da ANOVA para as análises de CE, Cl⁻ e SDT

Indicador	Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
CE (μS/cm)	Fator	5	17098207,18	3419641,437	192,5520395	3,67118E-62
	Resíduos	145	2575137,66	17759,57007		
Cl ⁻ (mg/l)	Fator	5	771536,1156	154307,2231	67,57886512	1,60959E-38
	Resíduos	169	385888,7044	2283,365115		
SDT (mg/l)	Fator	5	4902454,32	980490,8641	29,5713814	8,86446E-21
	Resíduos	149	4940355,568	33156,74878		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 20 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de CE, Cl⁻ e SDT

Indicador	Pontos	Média	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
CE (μS/cm)	Ponto 1	2043	***		
	Ponto 2	1246		***	
	Ponto 3	1239		***	
	Ponto 4	1181		***	***
	Ponto 5	1170		***	
	Ponto 6	1067			
Cl ⁻ (mg/l)	Ponto 1	321	***		
	Ponto 2	136		***	
	Ponto 3	150		***	
	Ponto 4	161		***	
	Ponto 5	143		***	
	Ponto 6	139			***
SDT (mg/l)	Ponto 1	1036	***		
	Ponto 2	573		***	
	Ponto 3	576		***	
	Ponto 4	592		***	
	Ponto 5	587		***	
	Ponto 6	525			***

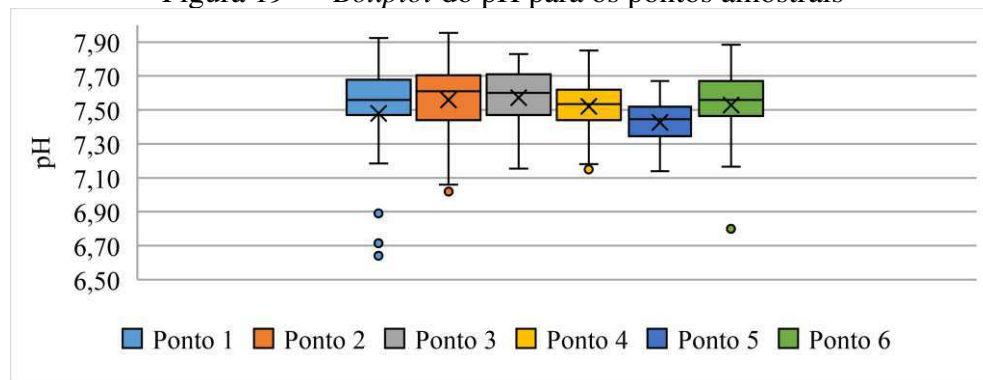
Fonte: Autora (2020)

5.2.4 Potencial hidrogeniônico

O pH apresentou médias entre 7,4 e 7,6 (Figura 19 e Apêndice A), caracterizando valores em torno do pH neutro.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias (Tabela 21). O teste de Tukey (Tabela 22) apresentou o grupo 1 composto pelos pontos P1, P4, P5 e P6 com maiores valores de pH, e o grupo 2, com P1, P2, P3, P4 e P6.

Figura 19 — *Boxplot* do pH para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Tabela 21 — Resultado da ANOVA para a análise do pH

Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
Fator	5	0,456213103132495	0,0912426206264989	2,74912209047957	2,06E-02
Resíduos	162	5,3767363016294	0,0331897302569716		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 22 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise do pH

Pontos	Média	Grupo 1	Grupo 2
Ponto 1	7,56	***	***
Ponto 2	7,58		***
Ponto 3	7,57		***
Ponto 4	7,53	***	***
Ponto 5	7,42	***	
Ponto 6	7,55	***	***

Fonte: Autora (2020)

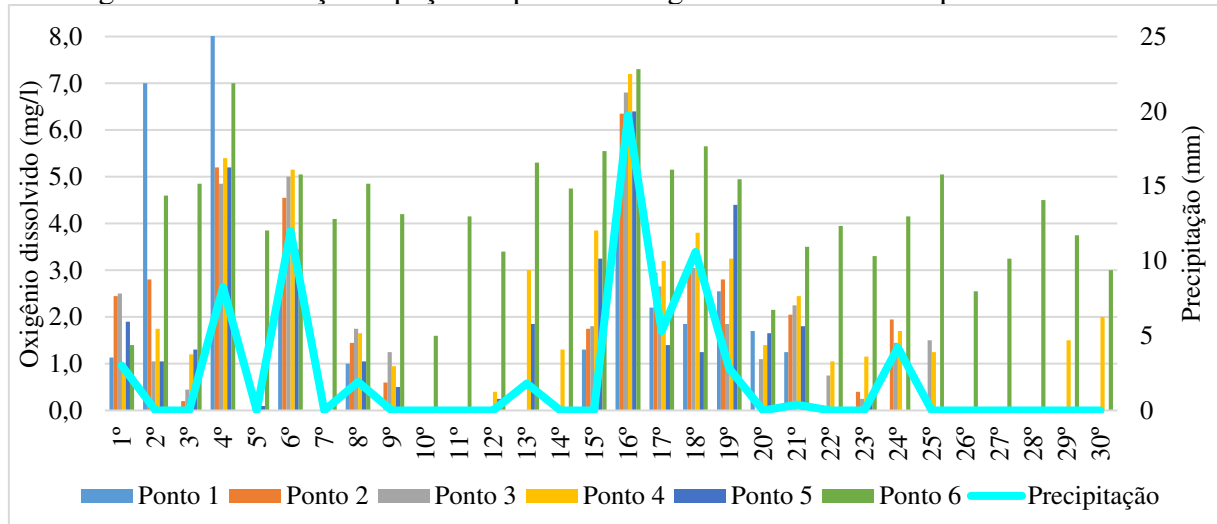
5.2.5 Oxigênio dissolvido

Os pontos P1, P2, P3, P4 e P5, durante o período de estiagem, não apresentaram OD, mostrando que grande parte do riacho se encontrava em anaerobiose, o que também foi evidenciado pelo odor da água durante as coletas. Entretanto, nos dias 27 de março de 2019, 24 de abril de 2019, 8 de maio de 2019, 22 de maio de 2019, 3 de julho de 2019, 24 de julho de 2019, 31 de julho de 2019, 7 de agosto de 2019, 14 de agosto de 2019 e 18 de setembro de 2019, em que ocorreram precipitações acima de 3 mm, todos eles apresentaram concentrações

de OD (Figura 20). É importante salientar que o P6 foi o único ponto que, tanto no período seco quanto no chuvoso, apresentou concentrações de OD que variaram de 1 a 7 mg/l.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias (Tabela 23). O teste de Tukey (Tabela 24) apresentou três grupos, o grupo 1 é composto pelo ponto P6, o qual apresentou maiores concentrações de OD devido à autodepuração, o grupo 2 pelo P2, P3, P4 e P5 e o grupo 3 pelo P1, P2, P3 e P5.

Figura 20 — Variação espaço-temporal do oxigênio dissolvido dos pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Tabela 23 — Resultado da ANOVA para a análise do OD

Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
Fator	5	259,666969075467	51,9333938150933	27,7299822323527	2,5471E-20
Resíduos	165	309,016064550265	1,87282463363797		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 24 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise do OD

Pontos	Média	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ponto 1	0,57			***
Ponto 2	1,33		***	***
Ponto 3	1,03		***	***
Ponto 4	1,68		***	
Ponto 5	0,91		***	***
Ponto 6	4,22	***		

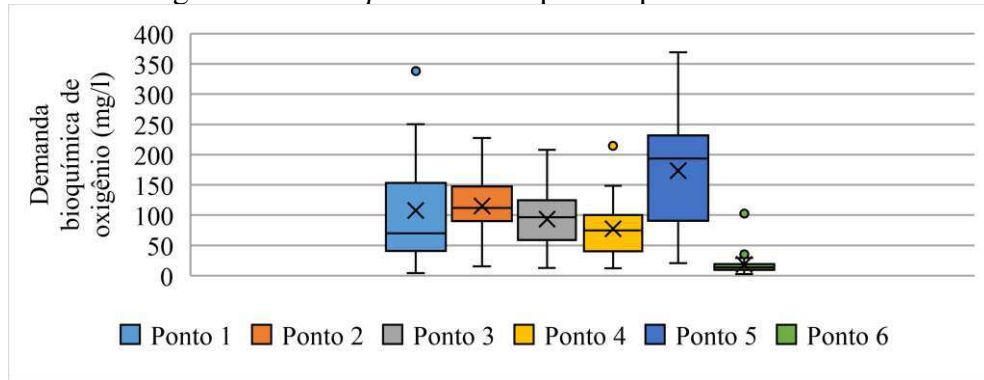
Fonte: Autora (2020)

5.2.6 Demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e relação DQO/DBO

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) variaram de 2 a 369 mg/l e de 29 a 744 mg/l, respectivamente (Figuras 21 e 22 e Apêndice A). Uma elevação na concentração de matéria orgânica, no P5, ocorreu devido a uma fonte pontual de poluição (F3) a jusante do P4. Com relação à DBO, à exceção do ponto P6, a água do Riacho

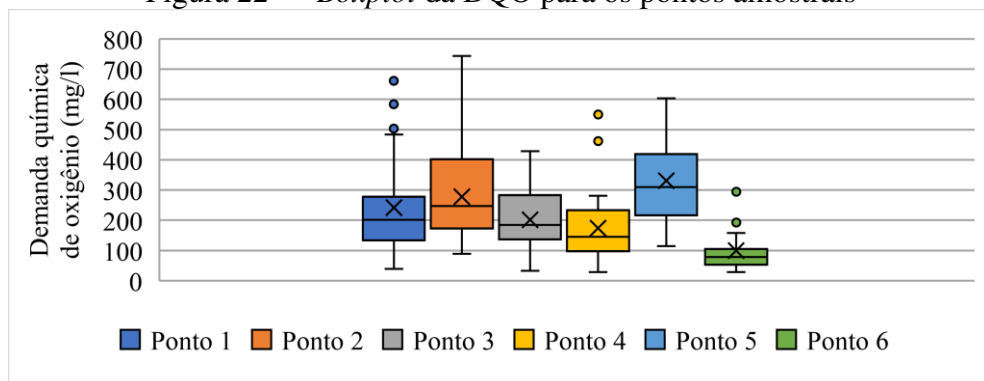
das Piabas apresentou características de esgoto sanitário de acordo com os critérios citados por Von Sperling (2014). No ponto P2, a DQO apresentou uma elevação que pode ser atribuída ao lançamento de água residuária provenientes da lavagem de postos de gasolina, fábricas e oficinas mecânicas na microbacia C5.

Figura 21 — *Boxplot* da DBO para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Figura 22 — *Boxplot* da DQO para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

As análises de matéria orgânica apresentaram diferenças significativas entre as médias (Tabela 25). Para o teste de Tukey, o comportamento da DBO foi semelhante ao da DQO; observa-se pela Tabela 26 que o grupo 1, de maior média, para os dois indicadores, incluiu o ponto P5, e o de menor média o P6. Com médias intermediárias estão os grupos 2 e 3, com os pontos P1, P2, P3 e P1, P3 e P4, respectivamente.

Tabela 25 — Resultado da ANOVA para as análises de DBO e DQO

Indicador	Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
DBO (mg/l)	Fator	5	377759,8595	75551,9719	21,56211729	1,74118E-16
	Resíduos	161	564131,4028	3503,921757		
DQO (mg/l)	Fator	5	1094585,214	218917,0429	15,28700118	2,93933E-12
	Resíduos	159	2276954,741	14320,47007		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 26 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de DBO e DQO

Indicador	Pontos	Média (mg/l)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
DBO (mg/l)	Ponto 1	99		***	***	
	Ponto 2	115		***		
	Ponto 3	94		***	***	
	Ponto 4	67			***	
	Ponto 5	173	***			
	Ponto 6	14				***
DQO (mg/l)	Ponto 1	215		***	***	
	Ponto 2	279	***	***		
	Ponto 3	199		***	***	
	Ponto 4	149			***	***
	Ponto 5	330	***			
	Ponto 6	75				***

Fonte: Autora (2020)

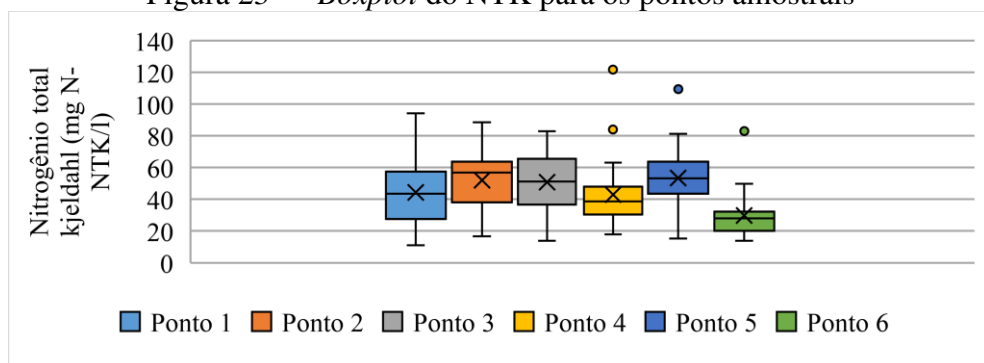
Para a relação DQO/DBO ocorreram valores elevados somente para o ponto P6, refletindo os mais baixos níveis de matéria orgânica biodegradável. De modo geral, nos outros pontos, mais impactados por esgotos sanitários, a média dessa relação se manteve entre 2 e 3.

5.2.7 Nitrogênio total kjeldahl e nitrogênio amoniacal

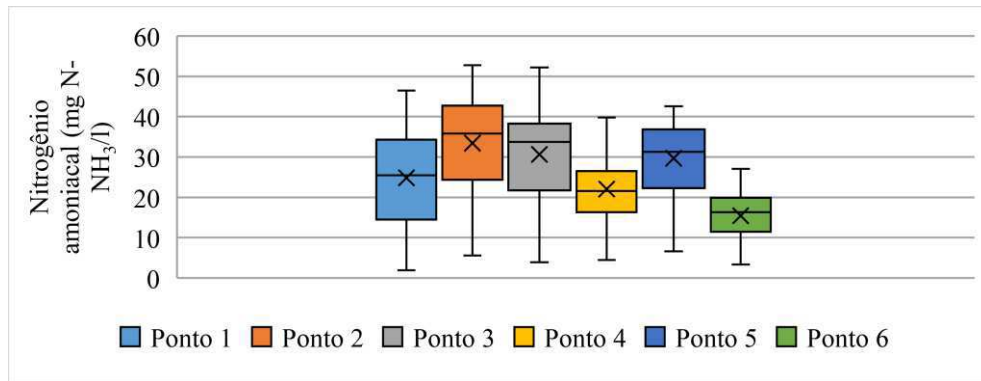
As médias de nitrogênio total kjeldahl (NTK) variaram de 30 a 53 mg/l e de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) de 15 a 33 mg/l (Figuras 23 e 24 e Apêndice A). O comportamento das formas de nitrogênio oscilou ao longo do riacho, principalmente, pelos mecanismos de oxidação, *stripping* de amônia e pelo lançamento pontual de águas residuárias (F1, F2 e F3). Entretanto, no P6, pelos motivos já explicados, o nitrogênio é muito menor do que em outros pontos, em todas as formas analisadas.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias, conforme Tabela 27. O teste de Tukey (Tabela 28) apresentou três grupos de médias estatisticamente diferentes para o NTK e quatro para o N-NH₃. Observa-se que em P4 e P6 as médias, para as duas formas de nitrogênio, são estatisticamente homogêneas.

Figura 23 — *Boxplot* do NTK para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Figura 24 — Gráfico *boxplot* do nitrogênio amoniacal dos pontos amostrais

Fonte: Autora (2020)

Tabela 27 — Resultado da ANOVA para as análises de NTK e N-NH₃

Indicador	Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
NTK	Fator	5	13817,38059	2763,476118	10,0169678	2,18289E-08
	Resíduos	165	45520,11833	275,879505		
N-NH ₃	Fator	5	6321,976667	1264,395333	11,97634692	6,33102E-10
	Resíduos	168	17736,49489	105,5743744		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 28 — Agrupamento do Teste de Tukey para as análises de NTK e N-NH₃

Indicador	Pontos	Média (mg/l)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
NTK	Ponto 1	44	***	***		
	Ponto 2	52	***			
	Ponto 3	51	***	***		
	Ponto 4	38		***	***	
	Ponto 5	53	***			
	Ponto 6	28				***
N-NH ₃	Ponto 1	25		***	***	
	Ponto 2	33	***			
	Ponto 3	31	***	***		
	Ponto 4	22			***	***
	Ponto 5	30	***	***	***	
	Ponto 6	15				***

Fonte: Autora (2020)

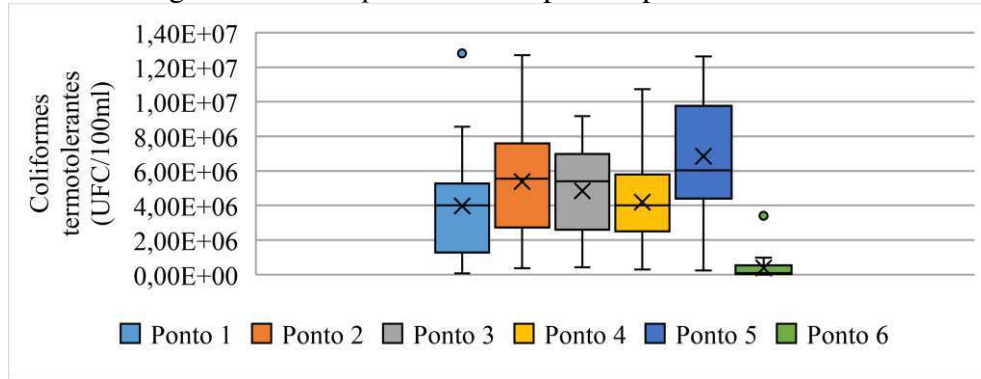
5.2.8 Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes (CTT) variaram de 10^3 a 10^7 UFC/100ml. Pela Figura 25, observa-se que os pontos de P1 a P5 apresentaram as médias na mesma ordem de potência (10^6) e o P6 a menor (10^5), comportamento análogo aos dos outros indicadores.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as médias, conforme Tabela 29. O teste de Tukey (Tabela 30) apresentou três grupos de médias estatisticamente diferentes, dos quais o grupo 1, de maior média, é composto pelos pontos que apresentam

lançamento de esgoto a montante e o grupo 3, de menor média, pelo P6, no qual a água se encontra com maior grau de depuração.

Figura 25 — *Boxplot* dos CTT para os pontos amostrais



Fonte: Autora (2020)

Tabela 29 — Resultado da ANOVA para a análise de CTT

Anova	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estatística F	P valor
Fator	5	6,64876E+14	1,32975E+14	18,42727199	1,90563E-14
Resíduos	161	1,16181E+15	7,21622E+12		

Fonte: Autora (2020)

Tabela 30 — Agrupamento do Teste de Tukey para a análise de CTT

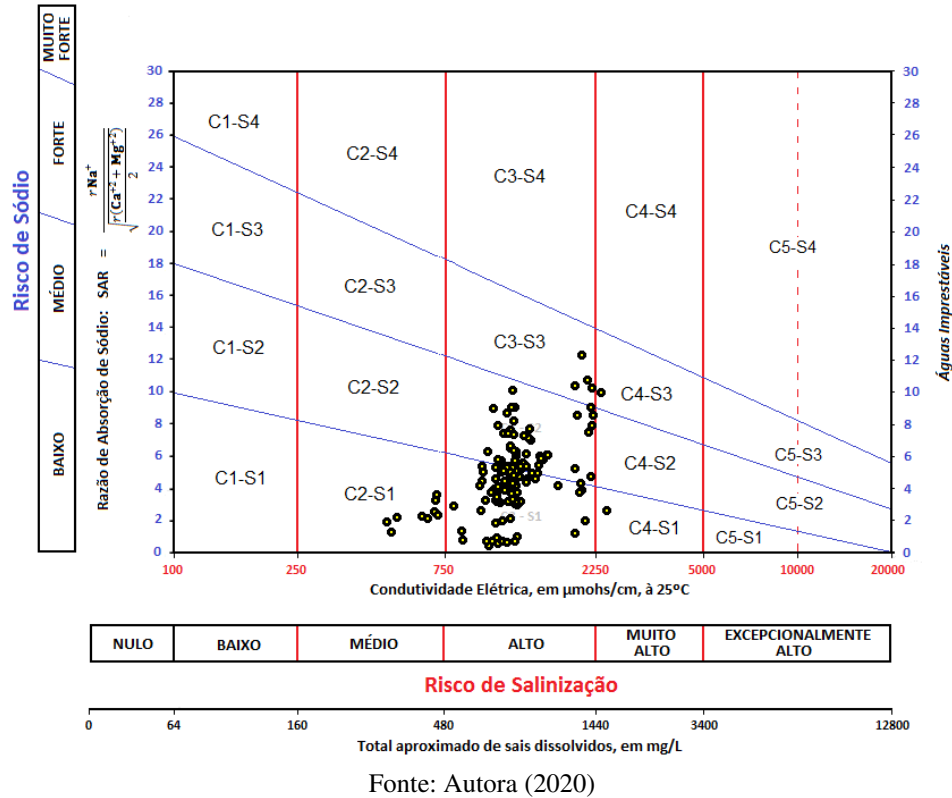
Pontos	Média (mg/l)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ponto 1	4E+06		***	
Ponto 2	5E+06	***	***	
Ponto 3	5E+06	***	***	
Ponto 4	4E+06		***	
Ponto 5	7E+06	***		
Ponto 6	3E+05			***

Fonte: Autora (2020)

5.3 Classificação da água para irrigação

A água do Riacho das Piabas, para os pontos estudados, enquadra-se na classe C3-S1, caracterizando-se com alta salinidade (C3) e fraca presença de sódio (S1), conforme Figura 26.

Figura 26 — Classificação da água do Riacho das Piabas para irrigação segundo a USSL



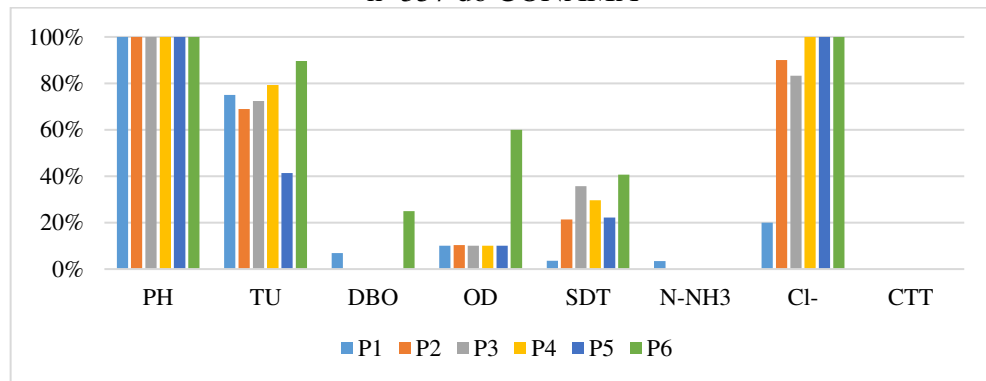
5.4 Avaliação da água segundo os padrões nacionais para reuso agrícola

Em relação à NBR 13969/1997, foi avaliada a adequação das águas do Riacho das Piabas para a classe 4, de acordo com a Tabela 1. Para o indicador OD, apenas o ponto P6 está em conformidade com 93% dos dados superiores a 2 mg/l, enquanto a conformidade dos dados dos outros pontos amostrais está abaixo de 31%. Com relação aos CTT, nenhum ponto amostral está em concordância, o P6 com 3,6% dos dados, e os outros pontos com 0% dos dados, necessitando de diluição para que atinja concentração aceitável, ou desinfecção.

Quanto a Resolução nº 357 do CONAMA, foi avaliada a concordância das águas para a classe 3 da água doce, de acordo com a Tabela 6. A proporção dos dados em conformidade com os parâmetros da classe 3 para a água doce é ilustrada na Figura 27. Foi verificado que para o pH os seis pontos estão em concordância com 100% dos dados. Em relação ao Cl⁻, os pontos P2, P3, P4, P5 e P6 estão em adequação com 90%, 83%, 100%, 100% e 100%, respectivamente. Para a TU, os pontos P1, P2, P3, P4 e P6 estão em conformidade com 75%, 69%, 72%, 79% e

90% dos dados, respectivamente. Para o OD apenas o ponto P6 está em conformidade com 60% dos dados. Para os indicadores DBO, SDT, N-NH₃ e CTT nenhum ponto está em conformidade com a classe 3. A avaliação da qualidade para as classes 1 e 2 de água doce não foi realizada, uma vez que são mais restritivas que a classe 3 e a água não está em conformidade com essa classe.

Figura 27 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a Classe 3 da Resolução n° 357 do CONAMA



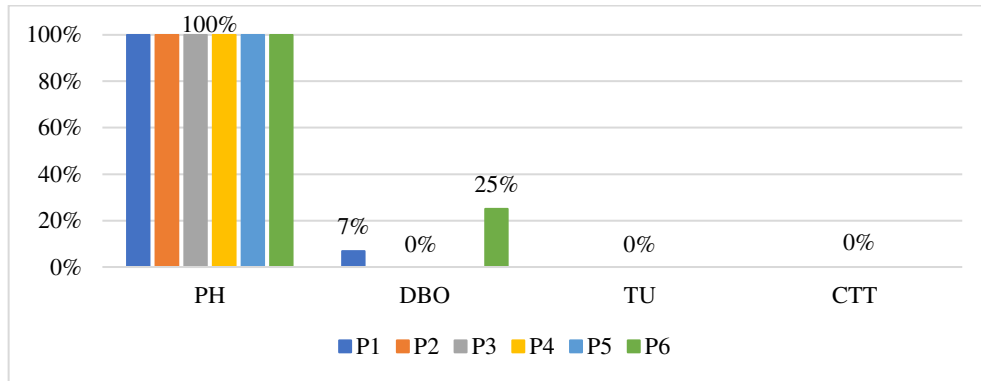
Fonte: Autora (2020)

5.5 Avaliação da água segundo as diretrizes internacionais para reuso agrícola

Avaliando a qualidade da água do Riacho das Piabas para as diretrizes da WHO (2006), conforme a Tabela 7, foi verificado que nenhum dos pontos amostrais está em consonância com a categoria A, necessitando de tratamento em uma série de lagoas de estabilização ou tratamento equivalente para atingir a qualidade microbiológica necessária. Contudo, nessa diretriz para a categoria B nenhum parâmetro é recomendado para os CTT, e para a C esse indicador não é aplicável.

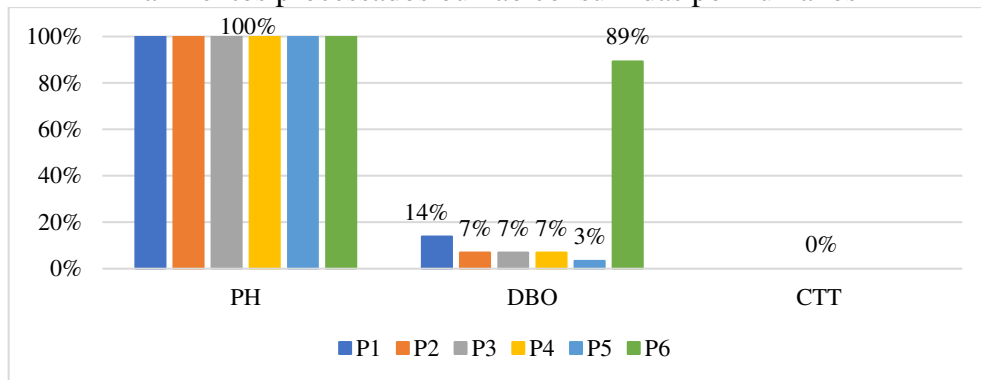
Em relação às diretrizes da EPA (2012) (Tabela 12), para a irrigação de culturas alimentícias (Figura 28) e de culturas de alimentos processados ou não consumidos por humanos (Figura 29), foi verificado que os seis pontos amostrais estão em consonância apenas com o pH, com 100% dos dados. O P6, no entanto, além do pH, está em consonância com a DBO com 89% dos dados (Figura 29). É importante esclarecer que os padrões de qualidade da EPA são mais restritivos, pois são atribuídos à água recuperada que é a água residuária doméstica tratada.

Figura 28 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a irrigação de culturas alimentícias



Fonte: Autora (2020)

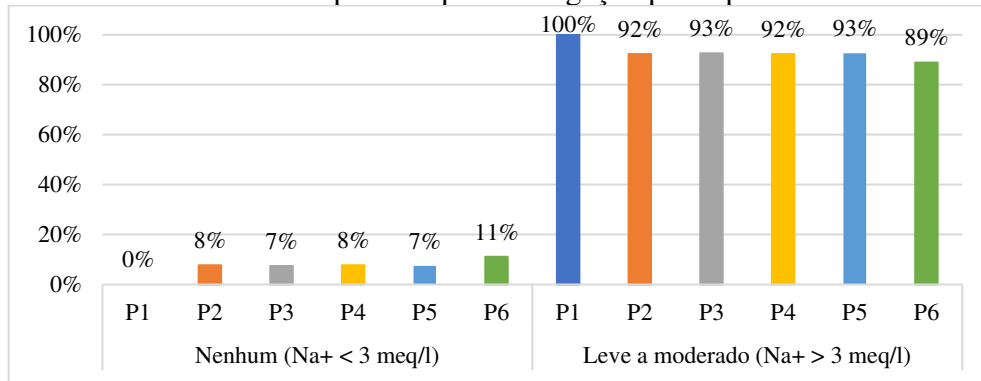
Figura 29 — Porcentagem de dados atendendo aos parâmetros para a irrigação de culturas de alimentos processados ou não consumidas por humanos



Fonte: Autora (2020)

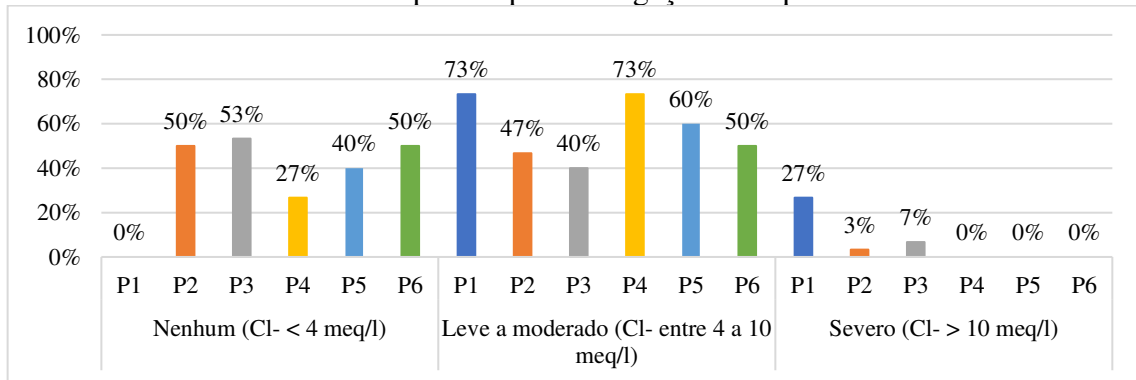
De acordo com as diretrizes da FAO (1994), foi avaliada que a classe C3-S1 (Figura 26) corresponde à água de irrigação com grau de restrição de uso “leve a moderado” para salinidade e sodicidade. Em relação à toxicidade por Na^+ , foi avaliado que, para a irrigação de superfície, a água do riacho apresenta grau de restrição de uso “leve a moderado” (Figura 26), também para a irrigação por aspersão (Figura 30). Em relação à toxicidade por Cl^- , para a irrigação de superfície (Figura 31) e por aspersão (Figura 32), foi avaliado que a água do riacho apresenta grau de restrição de uso “leve a moderado”. Em relação aos efeitos do pH, de acordo com a Figura 19, o valor do pH para os pontos amostrais se encontra no intervalo normal, de 6,5 a 8,4. No que refere aos efeitos pelo excesso de nitrogênio, as águas do riacho apresentam grau de restrição de uso “severo”, conforme Figura 33.

Figura 30 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Na⁺ para a irrigação por aspersão



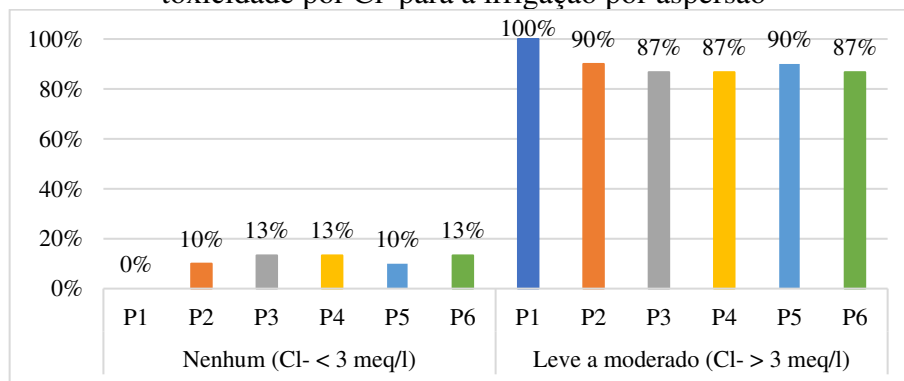
Fonte: Autora (2020)

Figura 31 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Cl⁻ para a irrigação de superfície



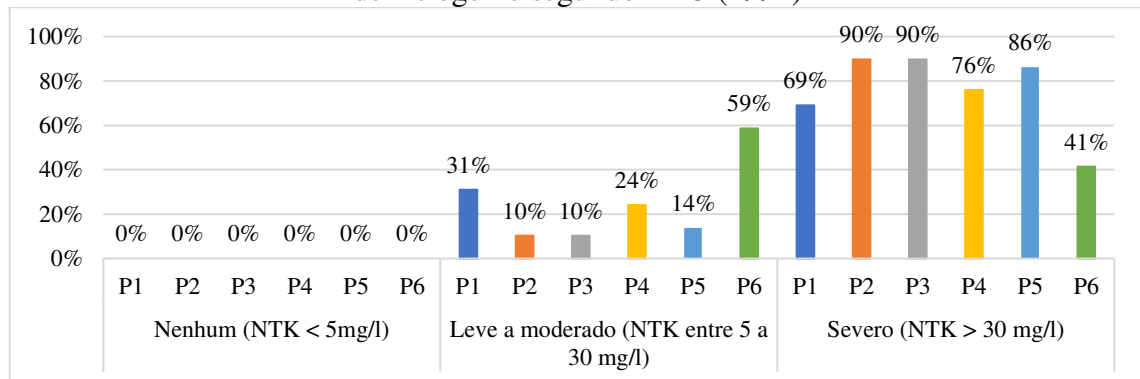
Fonte: Autora (2020)

Figura 32 — Porcentagem de dados em conformidade com o grau de restrição para a toxicidade por Cl⁻ para a irrigação por aspersão



Fonte: Autora (2020)

Figura 33 — Porcentagem de pontos em conformidade com o grau de restrição para o excesso de nitrogênio segundo FAO (1994)



Fonte: Autora (2020)

5.6 Capacidade de autodepuração do Riacho das Piabas

O estudo da autodepuração foi realizado nos trechos P1-P2, P2-P3 e P4-P5, não foi possível no trecho P3-P4, devido à cobertura desse trecho. Os dados de vazão foram obtidos no dia 22 de outubro de 2019 durante o período de estiagem. Os dados de entrada para o modelo são apresentados na Tabela 31 e são referentes aos valores médios das análises laboratoriais realizadas nos pontos P1, P2, P3 e P4 e na fonte F3. Os coeficientes usados no modelo foram retirados de Von Sperling (2014) e corrigidos para a temperatura média.

Tabela 31 — Dados de entrada do modelo e coeficientes de OD, DBO, N-org e N-NH₃

Trecho: pontos P1 a P2			
Dados do Riacho	Símbolo	Unidade	Valor
Vazão do riacho	Qr	m ³ /s	0,017
DBO5 do riacho	DBOr	mg/l	108
OD do riacho	ODr	mg/l	1
Nitrogênio orgânico do riacho	Norgr	mg/l	19
Nitrogênio amoniacal do riacho	Namonr	mg/l	25
Distância do trecho	D	km	1,18
Velocidade	V	m/s	0,33
Profundidade	H	m	0,27
Largura	B	m	1,80
OD de saturação	ODsat	mg/l	8,06
Coeficientes do modelo			
	Símbolo	Unidade	Valor
Coefficiente de desoxigenação	k1	1/d	0,47
Coefficiente de decomposição	kd	1/d	0,83
Coefficiente de remoção da DBO resultante	kr	1/d	1,05
Coefficiente de aeração	k2	1/d	0,40
Coefficiente de sedimentação da DBO	ks	1/d	0,22
Coefficiente de conversão de Norg-Namon	Korgamon	1/d	0,27
Coefficiente de conversão de Namon-Nnitrato	Kamonnitr	1/d	0,79
O ₂ equivalente à conversão de Namon-Nnitrato	O ₂ Namon	mgO ₂ /mgNamon oxid	4,15
Coefficiente de inibição da nitrificação por baixo OD	knitr	1/d	0,60
Trecho: pontos P2 a P3			
Dados do Riacho	Símbolo	Unidade	Valor
Vazão do riacho	Qr	m ³ /s	0,017
DBO5 do riacho	DBOr	mg/l	115
OD do riacho	ODr	mg/l	1

Dados do Riacho	Símbolo	Unidade	Valor
Nitrogênio orgânico do riacho	Norgr	mg/l	19
Nitrogênio amoniacal do riacho	Namonr	mg/l	33
Distância do trecho	D	km	0,91
Velocidade	V	m/s	0,33
Profundidade	H	m	0,27
Largura	B	m	1,80
OD de saturação	ODsat	mg/l	8,06
Coefficientes do modelo	Símbolo	Unidade	Valor
Coefficiente de desoxigenação	k1	1/d	0,47
Coefficiente de decomposição	kd	1/d	0,83
Coefficiente de remoção da DBO resultante	kr	1/d	1,05
Coefficiente de aeração	k2	1/d	0,40
Coefficiente de sedimentação da DBO	ks	1/d	0,22
Coefficiente de conversão de Norg-Namon	Korgamon	1/d	0,27
Coefficiente de conversão de Namon-Nnitrito	Kamonnitr	1/d	0,79
O ₂ equivalente à conversão de Namon-Nnitrito	O ₂ Namon	mgO ₂ /mgNamon oxid	4,15
Coefficiente de inibição da nitrificação por baixo OD	knitr	1/d	0,60
Trecho: pontos P4 a P5			
Dados do Riacho	Símbolo	Unidade	Valor
Vazão do riacho	Qr	m ³ /s	0,152
DBO5 do riacho	DBOr	mg/l	77
OD do riacho	ODr	mg/l	2
Nitrogênio orgânico do riacho	Norgr	mg/l	21
Nitrogênio amoniacal do riacho	Namonr	mg/l	22
Distância do trecho	D	km	0,37
Velocidade	V	m/s	0,86
Profundidade	H	m	0,04
Largura	B	m	4,28
OD de saturação	ODsat	mg/l	8,08
Dados da fonte pontual de poluição	Símbolo	Unidade	Valor
Vazão da fonte	Qe	m ³ /s	0,027
OD da fonte	ODE	mg/l	1
DBO5 da fonte	DBOe	mg/l	294
Nitrogênio orgânico da fonte	Norge	mg/l	20
Nitrogênio amoniacal da fonte	Namone	mg/l	47
Coefficientes do modelo	Símbolo	Unidade	Valor
Coefficiente de desoxigenação	k1	1/d	0,51
Coefficiente de decomposição	kd	1/d	0,89
Coefficiente de remoção da DBO resultante	kr	1/d	1,12
Coefficiente de aeração	k2	1/d	0,42
Coefficiente de sedimentação da DBO	ks	1/d	0,23
Coefficiente de conversão de Norg-Namon	Korgamon	1/d	0,29
Coefficiente de conversão de Namon-Nnitrito	Kamonnitr	1/d	0,90
O ₂ equivalente à conversão de Namon-Nnitrito	O ₂ Namon	mgO ₂ /mgNamon oxid	4,15
Coefficiente de inibição da nitrificação por baixo OD	knitr	1/d	0,60

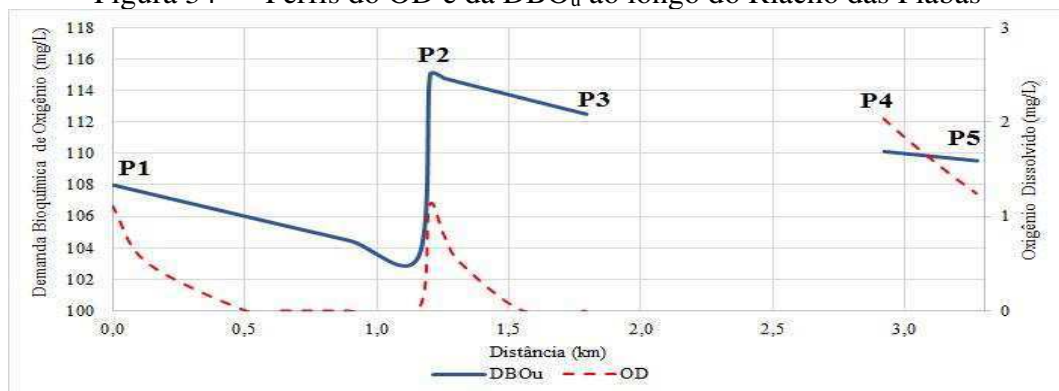
Fonte: Autora (2020)

Os resultados da modelagem da autodepuração ao longo do Riacho das Piabas são referentes aos trechos estudados que, juntos, envolveram 3,3 km de extensão. De acordo com a Figura 34, o trecho P1-P3 apresenta OD e DBO_u iniciais de 1 mg/l e 108 mg/l, respectivamente. Esses valores indicam que existem contribuições indevidas de esgoto a montante. Distante 3,27 km do P1, encontra-se o P5 com DBO_u elevada, igual a 173 mg/l, após receber todas as contribuições de esgoto a montante, resultando no consumo de oxigênio e seu consequente decréscimo. Foi verificado que, ao longo desse percurso, existem zonas de anaerobiose que

representam 1,5 km (45%) do total do trecho estudado, mas em alguns pontos ocorrem baixas concentrações de OD (1 a 2 mg/l), devido à pequenos desníveis na calha no riacho, conforme ilustrado na Figura 35.

Pela Figura 36 foram observados valores significativamente elevados dessas frações de nitrogênio na água do Riacho das Piabas devido à ocorrência de lançamentos de esgoto sanitário, podendo ser inferido um estágio de poluição recente. Verifica-se que, desde o P1, existem concentrações elevadas de nitrogênio, principalmente N-NH₃, o que indica a existência de contribuições de águas residuárias a montante. A partir do P2 ocorre uma tendência de aumento das concentrações de ambas as frações devido aos lançamentos frequentes de esgoto ao longo do riacho, até o P5.

Figura 34 — Perfis do OD e da DBO_u ao longo do Riacho das Piabas

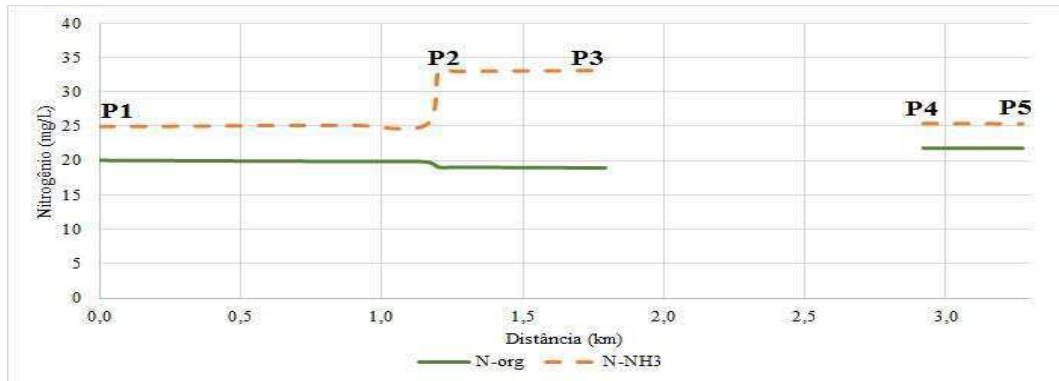


Fonte: Autora (2020)

Figura 35 — Desnível na calha do Riacho das Piabas



Fonte: Autora (2020)

Figura 36 — Perfis do N-org e do N-NH₃ ao longo do Riacho das Piabas

Fonte: Autora (2020)

5.7 Avaliação do risco em áreas próximas do Riacho das Piabas

A Tabela 32 apresenta o resumo da aplicação do FMEA para a avaliação dos riscos associados aos perigos selecionados, nos pontos de amostragem, ao longo do Riacho das Piabas. A escolha dos escores para cada perigo, para os aspectos de severidade, ocorrência, detecção e abrangência, segundo o consenso dos especialistas, é descrito nas seções seguintes.

Tabela 32 — Resultado da avaliação dos riscos

Ponto	Ponto 1					Ponto 2					Ponto 3					SP	
	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R		
Perigo																	
Inundação	3	2	2	2	24	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	16	42
Movimento de massa	3	1	2	2	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
Contrair doenças relacionadas ao saneamento básico	3	3	1	2	18	3	1	3	1	3	3	2	3	2	2	12	33
Contrair doenças transmitidas por vetores	3	3	1	2	18	3	1	3	2	6	3	1	3	2	6	6	30
Poluição por matéria orgânica	3	3	3	2	54	3	3	3	1	27	3	3	3	2	54	54	135
Salinização do solo	2	3	3	1	18	2	1	3	1	6	2	1	3	1	6	6	30
Sodicidade do solo	1	3	3	1	9	1	1	3	1	3	1	1	3	1	3	3	15
Somatório					153					48					98		
Ponto	Ponto 4					Ponto 5					Ponto 6					SG	
	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R		
Perigo																	
Inundação	3	2	2	2	24	2	2	2	2	16	1	1	2	1	2	2	84
Movimento de massa	1	1	1	1	1	3	1	2	2	12	1	1	2	1	2	2	29
Contrair doenças relacionadas ao saneamento básico	3	2	3	2	12	3	2	3	2	12	3	1	3	1	3	3	60
Contrair doenças transmitidas por vetores	3	3	3	2	18	3	3	3	2	18	3	1	3	1	3	3	69
Poluição por matéria orgânica	3	3	3	2	54	3	3	3	2	54	2	1	3	1	6	6	249
Salinização do solo	2	1	3	1	6	2	1	3	1	6	2	3	3	2	36	36	78
Sodicidade do solo	1	1	3	1	3	1	1	3	1	3	1	3	3	2	18	18	39
Somatório					118					121					70		

Fonte: Autora (2020)

Notas:

S: severidade, O: ocorrência, D: detecção, A: abrangência, R: risco, SP: soma parcial, SG: soma global.

Os riscos foram classificados conforme escala de cores descritas na Tabela 13.

5.7.1 Perigos para a segurança pública

Para o perigo de inundações, a severidade foi considerada 3 para os pontos P1 e P4, devido à grande quantidade de edificações na calha e margens do Riacho das Piabas, ao fluxo de pessoas nessas áreas, ao histórico de óbitos e, no P4 em particular, à grande velocidade de escoamento. P3 e P5 receberam escore 2 pois o riacho apresenta grande capacidade para o escoamento da água, entretanto é frequente o despejo de resíduos sólidos no P5 e o P3 recebe contribuição da água excedente do Açude Velho que aumenta a vazão significativamente. O escore 1 foi atribuído ao P2 porque, nesse ponto, o riacho apresenta boa infraestrutura e limpeza periódica, e para o P6 pois não há edificações nessa área. A ocorrência foi considerada 2 para P1, P3, P4 e P5, pois esses locais apresentam histórico de inundações no período de março a julho. Para os pontos P2 e P6, devido às boas condições de infraestrutura do P2, e à capacidade de infiltração no P6, foi atribuído escore 1. A detecção foi determinada 2 para todos os pontos, pois é necessária medição in loco com fluviômetro. A abrangência foi considerada 2 para P1, P3, P4 e P5, devido às condições do riacho nesses locais, pois a inundação ultrapassa as margens, enquanto no P2 e P6 não ultrapassa a calha e margens.

Quanto ao perigo de movimento de massa, para a severidade foi dado o escore 3 aos pontos P1 e P5 porque são locais com alta densidade demográfica. As áreas próximas ao P5 possuem inclinação maior que 50 graus, em média (CPRM, 2013), e durante as visitas técnicas foi observado o despejo de resíduo de construção civil compondo um aterro (Figura 37). O escore 1 foi atribuído aos pontos P2, P3 e P4, pois as áreas próximas são pavimentadas e pouco inclinadas, e ao P6 por não ser local habitado. Para o aspecto de ocorrência, todos os pontos receberam escore 1, pois não há histórico de movimento de massa nessas áreas. Quanto à detecção, foi atribuído escore 2 para os pontos P1, P5 e P6 por haver necessidade de medições in loco com piezômetro para analisar a estabilidade de taludes próximos, e nos pontos P2, P3 e P4 foi considerado o escore 1 pela melhor condição de infraestrutura nessas áreas, sendo necessárias somente inspeções regulares. A abrangência foi considerada 2 para os pontos P1 e P5 porque a movimentação de massa pode ocorrer na calha, margens e áreas próximas do riacho, enquanto para os pontos P2, P3, P4 e P6 foi atribuído o escore 1, pois o movimento de massa ocorre apenas na calha e margens do riacho.

Figura 37 — Despejo de resíduos de construção próximo ao P5



Fonte: Autora (2020)

5.7.2 Perigos para a saúde pública

Em relação ao perigo de contrair doenças relacionadas ao saneamento básico, para o aspecto severidade, todos os pontos receberam escore 3, pois caso alguém tenha contato com a água do Riacho das Piabas poderá desenvolver doenças que causem óbito ou invalidez. Quanto à ocorrência, o ponto P1 recebeu escore 3, pois o fluxo de pessoas dentro da calha e margens é frequente durante todo o ano. Aos pontos P3, P4 e P5 foi dado escore 2 porque o contato das pessoas com a água pode ocorrer durante inundação nos meses de março a julho, se a água ultrapassar as margens. Os pontos P2 e P6 receberam escore 1 pelo fluxo reduzido de pessoas, e pela boa condição de infraestrutura no P2. A detecção foi considerada 1 para todos os pontos, pois algumas doenças de veiculação hídrica são de notificação compulsória imediata, de acordo com a Portaria nº 204/2016 do Ministério da Saúde. Os escores para o aspecto abrangência foram considerados em consonância com o perigo de inundação. Então, para P1, P3, P4 e P5 foi atribuído escore 2, pois a inundação pode ultrapassar as margens, enquanto os pontos P2 e P6 receberam o escore 1, pois a inundação não ultrapassa a calha e margens.

Para o perigo de contrair doenças transmitidas por vetores, o aspecto severidade recebeu escore 3 para todos os pontos, pois caso alguém tenha contato com algum vetor, seja picado por inseto contaminado, ou venha a ingerir alimento contaminado por vetor, poderá desenvolver doenças que causem óbito ou invalidez. Em relação à ocorrência, os pontos P1, P4 e P5 receberam escore 3, porque as áreas próximas do riacho são densamente habitadas, enquanto aos outros (P2, P3 e P6) foi atribuído escore 1, porque há poucas habitações próximas. A detecção foi considerada 1 para todos os pontos, pois algumas doenças transmitidas por vetores são de notificação compulsória imediata, de acordo com a Portaria nº 204/2016 do Ministério da Saúde. A abrangência foi considerada 2 para os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 porque pode

afetar moradores que se localizam na calha, margens do riacho, áreas próximas e as pessoas que transitam nessas áreas, e o P6 recebeu escore 1, pois não há habitações nessas áreas.

5.7.3 Perigos para o meio ambiente

Quanto ao perigo de poluição por matéria orgânica, para o aspecto severidade, foi considerado para os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 o escore 3, pois os valores médios de OD e DBO são inferiores a 2 mg/L e superiores a 30 mg/L, respectivamente. O ponto P6 recebeu escore 1, pois os valores médios de OD estão entre 2 e 5 mg/L e de DBO entre 10 a 30 mg/L. A ocorrência foi considerada 3 para os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 porque o lançamento de água residuária nesses pontos é frequente, no entanto, o P6 recebeu escore 1 porque o lançamento de água residuária é raro. Para a detecção, foi considerado para todos os pontos o escore 3, pois é necessária a aplicação de métodos laboratoriais e modelos de previsão para a poluição. Para o aspecto abrangência, foi dado o escore 2 para os pontos P1, P3, P4 e P5, pois a poluição por matéria orgânica afeta calha, margens do riacho e áreas próximas em caso de inundação, e para os pontos P2 e P6 foi dado o escore 1, pois afeta apenas calha e margens.

Em relação ao perigo de salinização do solo, a severidade foi considerada 2 para todos os pontos porque a maioria dos valores são da classe C3. Para a ocorrência, foi dado o escore 3 para os pontos P1 e P6 porque neles o riacho apresenta cobertura natural permitindo o contato direto da água com o solo no leito, e porque as áreas próximas ao P6 são irrigadas com a água do riacho. Enquanto os pontos P2, P3, P4 e P5 receberam escore 1 para a ocorrência, pois a salinização dessas áreas pode ocorrer, apenas, durante inundações. A detecção foi considerada 3 para todos os pontos, pois é necessária a aplicação de métodos laboratoriais e modelos de previsão para a salinização do solo. Quanto ao aspecto abrangência, para o P6 foi dado o escore 2, porque a irrigação afeta também as áreas próximas, enquanto os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 receberam escore 1, pois apenas calha e margens são afetadas.

Para o perigo de sodicidade do solo a severidade foi considerada 1 para todos os pontos porque a maioria dos valores são da classe S1. Para a ocorrência, foi dado o escore 3 para os pontos P1 e P6 porque neles o riacho apresenta cobertura natural, permitindo a infiltração da água no solo, e as áreas próximas ao P6 são irrigadas com a água do riacho, enquanto os pontos P2, P3, P4 e P5 receberam escore 1, pois a sodicidade do solo ocorre durante inundações. A detecção foi considerada 3 para todos os pontos, pois é necessária a aplicação de métodos laboratoriais e modelos de previsão para a sodicidade do solo. Quanto ao aspecto abrangência,

para o P6 foi dado o escore 2 porque a irrigação afeta também as áreas próximas, enquanto os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 receberam escore 1, pois apenas calha e margens são afetadas.

Também foi observado que os pontos P1, P3, P4 e P5 detêm os maiores valores de somatório de risco (R): 153, 98, 118 e 121, respectivamente, e apresentam risco crítico de poluição por matéria orgânica devido ao lançamento de águas residuárias nesses pontos. O P6 apresentou risco alto de salinização do solo devido a irrigação das áreas próximas com a água Riacho das Piabas, a qual é classificada como C3-S1.

Além disso, pelo somatório global (SG) foi avaliado que, em relação aos riscos para o meio ambiente, a poluição por matéria orgânica é mais influente, com 249 de somatório, indicando que o lançamento de água residuária no sistema de drenagem impacta na qualidade da água do Riacho das Piabas e confere risco para as áreas próximas, necessitando de medidas de gerenciamento para a redução da poluição ao longo do riacho.

6 DISCUSSÃO

Nos países em desenvolvimento, os corpos hídricos superficiais são poluídos pelo lançamento irregular de águas residuárias, a jusante das contribuições de esgoto, suas águas são reutilizadas de forma indireta e não planejada para fins agrícolas, expondo a população e o meio ambiente aos riscos associados ao uso das águas residuárias sem tratamento.

Nesse contexto, o reuso agrícola planejado surge como uma alternativa para promover economia de água de melhor qualidade, incremento de nutrientes na produção agrícola e redução de suas cargas nos corpos hídricos receptores, entre outras vantagens. Mas, torna-se fundamental considerar as diretrizes básicas que irão nortear a prática do reuso, as quais devem visar a preservação da saúde da população e a boa qualidade do meio ambiente.

É importante diferenciar o reuso não planejado de águas residuárias a jusante de seu lançamento, devido à precariedade do saneamento básico, do reuso planejado dessas águas em razão de escassez hídrica. Enquanto o primeiro tipo se refere ao reuso indireto, não intencional, que ocorre quando as águas residuárias sem tratamento são lançadas em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos e utilizadas novamente a jusante, de forma diluída, o segundo caracteriza-se pelo reuso direto, planejado e deliberado de esgotos tratados, para fins potáveis, como a recarga de aquífero, e não potáveis, como irrigação e uso industrial (WHO, 1973).

A prática do reuso agrícola pode contribuir com benefícios socioeconômicos, mas também representar desafios para as instituições e riscos que exigem abordagens de gestão diferentes, com estudos epidemiológicos, microbiológicos e de proteção ambiental, com ênfase na eutrofização, salinização, sodicidade, efeitos de compostos orgânicos e inorgânicos no solo, considerando várias diretrizes.

Embora o reuso planejado das águas residuárias seja realidade em países com condições de pagar pelo tratamento dessas águas, a maioria dos países em desenvolvimento, devido a questões socioeconômicas e políticas, provavelmente continuará a utilizar as águas residuárias diluídas em corpos hídricos, enquanto o esgotamento sanitário e o descarte adequado de resíduos sólidos urbanos não conseguirem acompanhar o ritmo de crescimento da população urbana (JIMÉNEZ et al., 2010). Essa desigualdade contribui para que as diretrizes internacionais se tornem difíceis de serem aplicadas em todos os países do mundo.

Apesar dos sistemas de esgotamento sanitário e de drenagem nos municípios brasileiros serem do tipo separador absoluto, a qualidade da água de drenagem em regiões desprovidas da universalização dos serviços de saneamento básico é comprometida por poluentes e

contaminantes diversos, sendo essa a realidade do Riacho das Piabas, no município de Campina Grande.

Com o tempo, os trechos do Riacho das Piabas localizados na zona urbana se tornaram canalizados e sofreram impactos antrópicos. O uso inadequado do solo mediante a destruição da mata ciliar, derrubada de árvores, disposição de resíduos sólidos urbanos, instalação de olarias e fábricas de couro, construções irregulares nas margens e em áreas próximas ao riacho, precárias condições de infraestrutura em alguns trechos são exemplos de problemas vivenciados pela população que, na maioria dos casos, é também sua causadora (LEAL, 2013). Entretanto, a jusante da zona urbana, o riacho retorna às suas características naturais e essas áreas resguardam um modo de vida rural que ainda resiste à urbanização.

Esta pesquisa foi motivada pelo atual cenário em que se encontra o Riacho das Piabas, exemplo de tantos cursos de água brasileiros que, com o tempo, foram descaracterizados e degradados, representando perigos para a população e o meio ambiente.

Nesta pesquisa, foi verificada a poluição da água de drenagem do Riacho das Piabas por esgotos sanitários, confirmando as conclusões de Freire (2014), que caracterizou essas águas como esgoto doméstico fraco e encontrou valores médios de indicadores de poluição similares aos desta pesquisa, conforme Tabela 33. De fato, como mostrado na Tabela 33, essa situação é típica do sistema urbano de macrodrenagem de Campina Grande, conforme verificado por Henriques (2014) e Vidal (2019) que, estudando as águas do Canal do Prado, um outro riacho urbano de Campina Grande, observaram características típicas de esgoto sanitário, variando de concentrações fracas a fortes. Tudo isso parece indicar a ocorrência de interconexões indesejáveis entre o sistema de drenagem de águas pluviais e o sistema de esgotamento sanitário nas áreas de drenagem da cidade, o que é típico de países em desenvolvimento, particularmente o Brasil.

Tabela 33 — Faixa de valores médios para DBO, DQO e CTT para a água de drenagem de Campina Grande - PB

Indicador	Unidade	Freire (2014), área de estudo: Riacho das Piabas	Henriques (2014), área de estudo: Canal do Prado	Vidal (2019), área de estudo: Canal do Prado
DBO	mg/l	81 a 158	29 a 296	56 a 405
DQO	mg/l	180 a 299	115 a 776	145 a 693
NTK	mg/l	..	..	36 a 107
N-NH ₃	mg/l	..	..	20 a 47
CTT	UFC/100ml	10 ⁵ a 10 ⁶	10 ⁵ a 10 ⁷	10 ⁶

Fonte: Adaptado de Freire (2014), Henriques (2014), Vidal (2019)

Nota: Sinal convencional utilizado:

.. Não se aplica dado numérico.

Nos eventos de precipitação acima de 3 mm, foi observado que, devido à diluição, a qualidade da água melhora significativamente, tendo esse fato sido, também, constatado por Freire (2014) e Vidal (2019).

De acordo com os padrões nacionais (NBR 13969/1997 e Resolução nº 357 do CONAMA), a água do Riacho das Piabas não é adequada para o reuso agrícola, necessitando de tratamento para a redução da DBO, N-NH₃ e CTT. Embora, no Brasil, o reuso agrícola seja regulamentado pela Resolução nº 121 do CNRH, que não recomenda padrões de qualidade para a água, mas atribui essa responsabilidade à legislação pertinente, a maioria das legislações estaduais e municipais, citadas nos Quadros 2 e 3, indicam os padrões de qualidade da NBR 13969/1997, NBR 15527/2007, Resolução nº 357 do CONAMA e das diretrizes internacionais da WHO, FAO e EPA. É importante salientar que a Resolução nº 357 do CONAMA trata do enquadramento dos corpos de água superficiais, e não do reuso de água residuária. A NBR 13969/1997, por sua vez, se refere aos procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de tanques sépticos e à disposição final dos efluentes líquidos, entretanto, recomenda o reuso do esgoto como uma das alternativas para a disposição final dos efluentes.

Em relação às diretrizes internacionais, a água do Riacho das Piabas é enquadrada nas categorias B e C da WHO (2006), sendo adequada para a irrigação de culturas de cereais, culturas processadas, forrageiras, pastagens e árvores, após tratamento em lagoas de estabilização com tempo de detenção de 8 a 10 dias, ou tratamento equivalente, para remoção de CTT, a fim de atingir a qualidade microbiológica necessária. De acordo com a EPA (2012), a água do riacho não é adequada para irrigação de culturas alimentícias e de alimentos processados e culturas não consumidas por humanos. É importante esclarecer que os padrões de qualidade da EPA são mais restritivos, pois são atribuídos à água recuperada que é a água residuária doméstica tratada.

Quanto ao uso prolongado da água do Riacho das Piabas para a irrigação, segundo a FAO (1994), esta apresenta grau de restrição de uso “leve a moderado” para a salinidade, sodicidade e toxicidade iônica por Na⁺ e Cl⁻ para a irrigação de superfície e por aspersão; apresenta grau de restrição “severo” para o excesso de nitrogênio. Assim, para sua utilização são necessárias medidas de gerenciamento, tais como a instalação de um sistema de drenagem, incluindo poços, canais e drenos, além de manter um fluxo descendente de água na superfície com o objetivo de promover a lixiviação adequada para o controle da salinidade. É importante enfatizar que o monitoramento da qualidade da água de irrigação é necessário para garantir a saúde da população e evitar a deterioração da qualidade do solo, plantas, dos corpos hídricos e dos sistemas de irrigação.

Em relação à modelagem da autodepuração no Riacho das Piabas, esta não foi completa devido à impossibilidade de coleta de dados nos trechos P3 a P4 e P5 a P6. Contudo, foi possível representar o estado de anaerobiose causado pelo lançamento de águas residuárias, e verificar que o Riacho das Piabas, ao longo do seu percurso na zona urbana, não apresenta capacidade de autodepuração suficiente para os despejos irregulares de esgoto.

Quanto à avaliação de risco pela metodologia FMEA, foi possível analisar que os pontos P1, P3, P4 e P5 são críticos para o risco de poluição por matéria orgânica, e que o P6 apresenta risco alto para salinização do solo. Pela associação dos riscos individuais com o risco total, foi avaliado que o risco para o meio ambiente de poluição por matéria orgânica é mais significativo, causando um agravamento no estado da qualidade da água do Riacho das Piabas e aumento de seu potencial de causar efeitos nocivos à saúde humana, necessitando de medidas de gerenciamento em curto prazo para mitigar tais efeitos prejudiciais.

7 CONCLUSÃO

Os resultados permitem tirar as seguintes conclusões:

- Existem fontes pontuais de poluição por matéria orgânica ao longo do Riacho das Piabas e elas apresentam características de esgoto sanitário, mas também podem conter esgotos industriais.
- Com base nos padrões nacionais e internacionais para o reuso agrícola, avalia-se que a qualidade da água do Riacho das Piabas não é adequada para tal fim, pois necessita de diluição ou tratamento para a redução da matéria orgânica, nutrientes e indicadores fecais.
- O Riacho das Piabas não apresenta capacidade de autodepuração suficiente ao longo da zona urbana devido aos lançamentos de águas residuárias causando condições de anaerobiose. Contudo, as precipitações intensas e a aeração da cachoeira favorecem o aumento das concentrações de OD.
- A avaliação de risco pela metodologia FMEA indicou os pontos P1, P3, P4 e P5 como críticos, por isso necessitam de intervenções a curto prazo, e ao risco de poluição por matéria orgânica deve ser dado maior prioridade.

REFERÊNCIAS

- AMAZONAS. Lei nº 4.779, de 18 de janeiro de 2019. Dispõe sobre a utilização de águas da chuva por meio da implantação de sistema de captação pelos postos de serviços de lava-rápido, no âmbito do Estado do Amazonas, e dá outras providências. 18 jan. 2019.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, D. C.: APHA, AWWA, WEF, 2012.
- ARACAJU. Lei nº 4.026, de 28 de abril de 2011. Cria o programa de reuso de água em postos de gasolina e lava-rápidos no município de Aracaju e dá outras providências. 28 abr. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15527**: Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- AZEVEDO NETO, J. M. DE. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA., 1998.
- BAHIA. Resolução CONERH nº 75, de 29 de julho de 2010. Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal. 29 jul. 2010.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 10.840, de 28 de agosto de 2015. Dispõe sobre reuso de água em edificações públicas e privadas. 28 ago. 2015.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 10.975, de 22 de setembro de 2016. Cria o programa de reuso de água em postos de serviços e abastecimento de veículos e lava-rápidos no município e dá outras providências. 22 set. 2016.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. 5 jan. 2007, p. 3.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de jan. de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- CAMELO, S. M. **Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) —Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.
- CAMINHA, M. J. **Degradação da qualidade da água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de Campina Grande - Paraíba**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- CAMPINAS. Lei nº 12.474, de 16 de janeiro de 2006. Cria o programa municipal de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações e dá outras providências. 16 jan. 2006.

- CARLSON, C. S. **Effective FMEAs**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- CAXIAS DO SUL. Lei nº 6.616, de 5 de dezembro de 2006. Institui, no município de Caxias do Sul, o programa municipal de conservação, reuso e uso racional da água. 5 dez. 2006.
- CEARÁ. Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016. Dispõe sobre a política de reuso de água não potável no âmbito do Estado do Ceará. 20 jun. 2016.
- CEARÁ. Lei nº 16.603, de 9 de julho de 2018. Dispõe sobre o reuso da água proveniente de aparelhos de ar condicionado no estado do Ceará. 9 jul. 2018.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direito não potável de água, e dá outras providências. 28 nov. 2005.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. 16 dez. 2010.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 17 mar. 2005, p. 58–63.
- CUIABÁ. Lei nº 4.748, de 7 de março de 2005. Dispõe sobre o reuso da água das estações de tratamento de esgoto. 7 mar. 2005.
- CURITIBA. Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003. Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional da água nas edificações – PURAE. 18 set. 2003.
- DEL GRANDE, M. H. et al. A percepção de usuários sobre os impactos do racionamento de água em suas rotinas domiciliares. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 165–184, 2016.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 5.890, de 16 de junho de 2017. Estabelece diretrizes para as políticas públicas de reuso da água no Distrito Federal. 16 jun. 2017.
- DOMINATO, D. T. **Tratamento de efluente anaeróbio: Condicionamento em filtro de areia visando lançamento e reuso**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.
- ENSINK, J. H. J. *et al.* Sewage disposal in the Musi-River, India: water quality remediation through irrigation infrastructure. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 24, n. 1, p. 65–77, 1 jun. 2010.
- ENSINK, J. H. J.; BLUMENTHAL, U. J.; BROOKER, S. Wastewater Quality and the Risk of Intestinal Nematode Infection in Sewage Farming Families in Hyderabad, India. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 79, n. 4, p. 561–567, 2008.
- ENVIRONMENT PROTECTION AND HERITAGE COUNCIL (EPHC); NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL (NHMRC); NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERIAL COUNCIL (NRMCC). **Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks (phase 2): Augmentation of drinking water supplies**. Canberra: Biotext Pty Ltd, 2008.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Guidelines for water reuse**. Washington: EPA; USAID, 2012.

ESPÍRITO SANTO. Lei nº 9.439, de 3 de maio de 2010. Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-jatos, transportadoras, empresas de ônibus e locadoras de veículos instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos. 3 maio 2010.

ESPÍRITO SANTO. Lei nº 10.487, de 12 de janeiro de 2016. Dispõe sobre a prática do reuso de efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs para fins industriais. 12 jan. 2016.

FLORIANÓPOLIS. Lei nº 8.080, de 7 de dezembro de 2009. Institui programa municipal de conservação, uso racional e reuso da água em edificações e dá outras providências. 7 dez. 2009.

FLORIANÓPOLIS. Lei Complementar nº 567, de 4 de julho de 2016. Inclui os arts. 188a ao 188d na Lei Complementar nº 60, de 2000. 4 jul. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Water quality for agriculture. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, v. 29, n. 1, p. 1–192, 1994.

FREIRE, J. R. P. et al. Análise do sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande - estudo de caso do Canal das Piabas. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4034–4043, 18 dez. 2014.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Tutorial do programa QualiGraf**. [s.l.] FUNCEME, 2014.

GOIÂNIA. Lei nº 9.511, de 15 de dezembro de 2014. Estabelece regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem Urbana, e dá outras providências. 15 dez. 2014.

GOIÂNIA. Lei nº 9.886, de 5 de setembro de 2016. Cria o Programa Municipal de Conscientização e Conservação para reuso da água proveniente de aparelhos de refrigeração ou aquecimento, nas edificações públicas e privadas, no âmbito do Município de Goiânia. 5 set. 2016.

GOIÁS. Lei nº 17.128, de 14 de setembro de 2010. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de equipamento para tratamento e reutilização da água utilizada na lavagem de veículos. 14 set. 2010.

GOIÁS. Lei nº 20.252, de 1 de agosto de 2018. Altera a Lei nº 16.209, de 17 de março de 2008, que dispõe sobre a captação e a reserva de água pluvial nos prédios construídos pelo Poder Público Estadual, e dá outras providências. 1 ago. 2018.

GRAMADO. Lei nº 3.677, de 15 de outubro de 2018. Cria o sistema de reuso de água de chuva no Município de Gramado, para utilização não potável em condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, industriais, comerciais e prédios públicos. 15 out. 2018.

GUNDELACH, J. M.; CASTILLO, J. E. Natural stream purification under anaerobic conditions. **Journal of the water pollution control federation**, v. 48, n. 7, p. 1753–1758, jul. 1976.

HENRIQUES, J. A. **Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do Prado, Campina Grande-PB**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

HESPANHOL, I. Saúde pública e reuso agrícola de esgotos e biossólidos. In: **Reuso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131–158, 2008.

HOFSTEDT, C. **Wastewater use in agriculture in Andhra Pradesh, India. An evaluation of irrigation water quality in reference to associated health risks**. [s.l.] Department of soil sciences, Swedish university of agricultural sciences, Uppsala, 2005.

IBGE. **IBGE | Brasil em Síntese | Paraíba | Campina Grande | Panorama**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

JIMÉNEZ, B. et al. Wastewater, sludge and excreta use in developing countries: an overview. In: **Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries**. London. Sterling, VA: IWMI, 2010. p. 4–27.

JOÃO PESSOA. Lei nº 12.166, de 15 de setembro de 2011. Cria o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, indústrias e comerciais dentro de João Pessoa e dá outras providências. 15 set. 2011.

JUIZ DE FORA. Lei nº 13.662, de 15 de fevereiro de 2018. Institui a Política Municipal de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e dá outras providências. 15 fev. 2018.

LUCENA, D. V. **Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural de Campina Grande - PB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. D. S.; SOUSA, F. DE A. S. Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande/PB. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, n. 0, 2011.

MACEIÓ. Lei nº 6.615, de 17 de abril de 2017. Cria o sistema de reuso de água de chuva no município de Maceió/AL, para utilização não potável em condomínios, clubes, conjuntos habitacionais, imóveis residenciais, industriais e comerciais e demais órgãos e entidades públicas. 17 abr. 2017.

MANAUS. Lei nº 1.192, de 31 de dezembro de 2007. Cria, no município de Manaus, o programa de tratamento e uso racional das águas nas edificações - PRO-ÁGUAS. 31 dez. 2007.

MARINGÁ. Lei nº 9.993, de 26 de maio de 2015. Cria o programa de reuso de água em postos de combustíveis e lava-rápidos no município de Maringá e dá outras providências. 26 maio 2015.

MATO GROSSO. Lei nº 10.446, de 3 de outubro de 2016. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de mecanismo de captação, armazenamento e conservação para reuso de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado e dá outras providências. 3 out. 2016.

MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS (PANAMÁ). Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000. Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales. . 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). Portaria nº204, de 17 de fevereiro de 2016. Define a Lista Nacional de Notificação Compulsória de doenças, agravos e eventos de saúde pública nos serviços de saúde públicos e privados em todo o território nacional, nos termos do anexo, e dá outras providências. 17 fev. 2016.

MÜLLER, K.; CORNEL, P. Setting water quality criteria for agricultural water reuse purposes. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 7, n. 2, p. 121–135, jun. 2017.

NASCIMENTO, E. M. N. **Avaliação de risco de exploração e beneficiamento de quartzito em Várzea – PB**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) — Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

NITERÓI. Lei nº 2.630, de 7 de janeiro de 2009. Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública. 7 jan. 2009.

NITERÓI. Lei nº 2.856, de 25 de julho de 2011. Estende as obrigações da lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. 25 jul. 2011.

OGATA, I. S. et al. Avaliação de risco à saúde associada à qualidade da água para consumo humano em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 40, p. 1–15, 2016.

PAGANINI, W. DA S. Reuso de água na agricultura. In: **Reuso de Água**. Barueru, SP: Manole, 2003. p. 339–402.

PALHOÇA. Lei nº 4.631, de 27 de junho de 2018. Estabelece a política municipal de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais. 27 jun. 2018.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.572, de 27 de dezembro de 2011. Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências. 27 dez. 2011.

PERNAMBUCO. Lei nº 15.630, de 29 de outubro de 2015. Torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água empregada na lavagem de veículos pelos estabelecimentos comerciais que prestem este serviço e dá outras providências. 29 out. 2015.

PHELPS, E. B.; STREETER, H. W. **A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River**. [s.l.] U.S. Department of Health, Education, & Welfare, 1958. Disponível em: <<http://udspace.udel.edu/handle/19716/1590>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

PORTO ALEGRE. Lei nº 10.506, de 5 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. 5 ago. 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE (PMCG). **Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande**, abr. 2014.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Lei nº 6.034, de 9 de setembro de 2011. Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-rápidos, transportadoras e empresas de ônibus urbanos intermunicipais e interestaduais, localizados no Estado do Rio de Janeiro, instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos. 9 set. 2011.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Lei nº 7.463, de 24 de outubro de 2016. Regulamenta os procedimentos para armazenamento de águas pluviais e águas cinzas para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública e dá outras providências. 24 out. 2016.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Lei Complementar nº 85, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a obrigatoriedade de hotéis, motéis e similares possuírem sistema de reaproveitamento de água e dá outras providências. 11 dez. 2007.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Lei nº 6.480, de 11 de janeiro de 2019. Dispõe sobre o reaproveitamento de água pluvial nas escolas públicas municipais e dá outras providências. 11 jan. 2019.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 13.063, de 12 de novembro de 2008. Institui o Programa Estadual de Irrigação - PRÓ-IRRIGAÇÃO/RS -, e dá outras providências. 12 nov. 2008.

SALLA, M. R. *et al.* Estudo da autodepuração do rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do rio Dourados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 105–114, jun. 2013.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SÃO GONÇALO. Lei nº 348, de 3 de junho de 2011. Cria no âmbito do município de São Gonçalo, o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em órgãos públicos como escolas, hospitais, postos médicos e outros. 3 jun. 2011.

SÃO LUÍS. Lei nº 6.317, de 29 de dezembro de 2017. Disciplina a utilização de águas pluviais e a reutilização da água cinza nas novas edificações no âmbito do município e São Luís, e dá outras providências. 29 dez. 2017.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto nº 48.138, de 7 de outubro de 2003. Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo. 7 out. 2003.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto nº 61.180, de 20 de março de 2015. Institui o Programa Estadual de Fomento ao Uso Racional das Águas, destinado a prestar apoio financeiro a ações ambientais visando à conservação e ao uso racional da água. 20 mar. 2015.

SÃO PAULO (ESTADO). Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 29 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. 29 jun. 2017, Sec. 1, p. 41–42.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). Decreto nº 47.731, de 28 de setembro de 2006. Regulamenta o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, instituído pela Lei nº 14.018, de 28 de junho de 2005. 28 set. 2006.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). Lei nº 16.174, de 22 de abril de 2015. Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático e revoga a Lei Municipal nº 13.309/2002, no âmbito do Município de São Paulo e dá outras providências. 22 abr. 2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Campina Grande, Paraíba**. Campina Grande: CPRM, abr. 2013. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19740>>. Acesso em: 17 fev. 2019.

SILVA, S. T. B. **Uso urbano não potável de água de lagoas do sistema de drenagem de Natal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SINGH, S. K. Application of Qual2e Model for River Water Quality Modelling. **International Journal of Advance Research and Innovation**, v. 4, n. 2, p. 5, 2016.

TOCANTINS. Lei nº 3.261, de 2 de agosto de 2017. Estabelece a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. 2 ago. 2017.

TSUYUGUCHI, B. B. **Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY (USSL). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D. C.: United States Department of Agriculture, 1954.

VIANA, D. DE B. **Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: Uma proposta metodológica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Planejamento Energético) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VIDAL, I. C. DE A. **Avaliação da poluição difusa no sistema de macrodrenagem de Campina Grande - PB**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

VITÓRIA. Lei nº 6.259, de 23 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o reuso de água não potável e dá outras providências. 23 dez. 2004.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 7

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and health safeguards**. 517. In: REPORT OF A WHO MEETING OF EXPERTS. Geneva: World Health Organization, 1973. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41032/WHO_TRS_517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture: report of a WHO Scientific Group**. Geneva: World Health Organization, 1989. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39401/WHO_TRS_778.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 jan. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Wastewater use in agriculture**. Geneva: FAO; UNEP; WHO, 2006. v. 2

**APÊNDICE A — RESUMO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS INDICADORES
ANALISADOS**

Tabela 34 — Resumo da estatística descritiva da temperatura (°C)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	23	25	25	25	26	25
Moda	23	25	25	26	26	23
Desvio padrão	1,95	1,69	1,71	1,83	1,70	1,93
Coefficiente de variação	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
Máximo	27	28	28	29	30	28
Mínimo	20	22	21	21	22	22
Nº de dados	30	30	30	30	30	30

Tabela 35 — Resumo da estatística descritiva da condutividade elétrica (µS/cm)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	1989	1252	1244	1119	1136	1015
Moda	2190	1218	-	-	1234	1086
Desvio padrão	282,52	258,42	301,15	213,26	193,96	174,97
Coefficiente de variação	0,14	0,21	0,24	0,19	0,17	0,17
Máximo	2439	2205	2145	1498	1440	1238
Mínimo	1218	693	652	625	483	500
Nº de dados	29	29	29	29	29	29

Tabela 36 — Resumo da estatística descritiva da turbidez (uT)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	86	91	80	66	122	50
Moda	-	-	-	-	-	-
Desvio padrão	61,40	58,22	47,72	56,27	84,27	84,07
Coefficiente de variação	0,71	0,64	0,60	0,85	0,69	1,65
Máximo	243	304	179	291	399	384
Mínimo	5	26	26	15	11	6
Nº de dados	28	29	29	29	29	29

Tabela 37 — Resumo da estatística descritiva do potencial hidrogeniônico

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	7,5	7,6	7,6	7,5	7,4	7,5
Moda	7,6	-	7,6	7,5	-	7,7
Desvio padrão	0,34	0,23	0,18	0,15	0,13	0,21
Coefficiente de variação	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Máximo	7,9	7,9	7,8	7,8	7,7	7,9
Mínimo	6,6	7,0	7,1	7,1	7,1	6,8
Nº de dados	29	29	29	29	29	29

Tabela 38 — Resumo da estatística descritiva do oxigênio dissolvido (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	1	1	1	2	1	4
Moda	0	0	0	0	0	5
Desvio padrão	2,06	1,79	1,72	1,81	1,71	1,35
Coefficiente de variação	1,76	1,35	1,27	0,97	1,38	0,32

Máximo	8	6	7	7	6	7
Mínimo	0	0	0	0	0	1
Nº de dados	30	29	30	30	30	30

Tabela 39 — Resumo da estatística descritiva da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	108	115	94	77	173	18
Moda	-	-	-	-	-	14
Desvio padrão	91,87	51,75	46,31	51,63	87,96	18,35
Coefficiente de variação	0,85	0,45	0,49	0,67	0,51	1,00
Máximo	338	227	208	226	369	103
Mínimo	4	15	13	12	20	2
Nº de dados	29	29	29	29	29	28

Tabela 40 — Resumo da estatística descritiva da Demanda Química de Oxigênio (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	243	279	199	174	329	100
Moda	-	-	-	-	-	-
Desvio padrão	163,06	162,44	108,33	114,35	149,80	73,48
Coefficiente de variação	0,67	0,58	0,54	0,66	0,45	0,73
Máximo	661	744	429	550	604	318
Mínimo	39	89	33	29	115	29
Nº de dados	30	30	30	30	30	29

Tabela 41 — Resumo da estatística descritiva do nitrogênio total Kjeldahl (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	44	52	51	43	53	30
Moda	18	-	34	36	43	30
Desvio padrão	22,36	16,40	17,57	20,54	18,71	13,52
Coefficiente de variação	0,50	0,32	0,35	0,48	0,35	0,46
Máximo	94	89	83	122	109	83
Mínimo	11	17	14	18	15	14
Nº de dados	29	29	29	29	29	29

Tabela 42 — Resumo da estatística descritiva do nitrogênio amoniacal (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	25	33	31	22	30	15
Moda	-	-	-	28	-	20
Desvio padrão	12,80	12,49	11,84	7,88	8,89	5,69
Coefficiente de variação	0,52	0,37	0,39	0,36	0,30	0,37
Máximo	46	53	52	40	43	27
Mínimo	2	6	4	4	7	3
Nº de dados	29	29	29	29	29	29

Tabela 43 — Resumo da estatística descritiva do cloreto (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	321	154	166	161	142	139
Moda	294	97	112	249	159	135
Desvio padrão	81,27	64,84	78,21	44,53	31,52	32,85
Coefficiente de variação	0,25	0,42	0,47	0,28	0,22	0,24
Máximo	511	425	416	249	204	190
Mínimo	161	97	94	75	64	64
Nº de dados	30	30	30	30	30	30

Tabela 44 — Resumo da estatística descritiva dos sólidos dissolvidos totais (mg/l)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	1065	628	622	591	588	531
Moda	-	565	-	-	-	-
Desvio padrão	318,84	207,68	224,68	186,49	193,62	177,38
Coefficiente de variação	0,30	0,33	0,36	0,38	0,39	0,39
Máximo	1850	1338	1280	925	1065	1057
Mínimo	455	337	318	260	173	148
Nº de dados	28	28	28	27	27	27

Tabela 45 — Resumo da estatística descritiva dos coliformes termotolerantes (UFC/100mL)

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	3,98E+06	5,39E+06	4,85E+06	4,19E+06	6,85E+06	3,85E+05
Moda	3,33E+06	7,60E+06	6,20E+06	5,80E+06	4,83E+06	-
Desvio padrão	2,94E+06	2,99E+06	2,69E+06	2,34E+06	3,55E+06	6,63E+05
Coefficiente de variação	0,74	0,56	0,55	0,56	0,52	1,72
Máximo	1,28E+07	1,27E+07	9,17E+06	1,07E+07	1,26E+07	3,40E+06
Mínimo	6,87E+04	3,67E+05	4,33E+05	2,90E+05	2,33E+05	3,33E+03
Nº de dados	28	28	28	28	28	28

APÊNDICE B — FORMULÁRIO FMEA

Perigos para a segurança pública			
Perigo	Causa	Efeito	Medidas mitigadoras
Inundação	Precipitações intensas, aumento da impermeabilização da bacia de drenagem, obstrução da calha do riacho retendo a água.	Danos materiais e psicológicos, traumas, óbitos.	Limpeza periódica do sistema de drenagem, incentivo ao desenvolvimento de áreas verdes, remoção de construções em locais irregulares (na calha e margens do riacho), instalação de rede coletora de esgoto em áreas desprovidas, sistema de alerta.
Movimento de massa	Perda da estabilidade dos taludes pela saturação devido a precipitações intensas.	Danos materiais e psicológicos, traumas e óbitos.	Remoção de construções em locais irregulares (na calha e margens do riacho), obras de contenção nas margens, sistema de alerta.
Perigos para a saúde pública			
Perigo	Causa	Efeito	Medidas mitigadoras
Contrair doenças relacionadas ao saneamento básico	Contato com a água contaminada por resíduos líquidos e sólidos.	Sintomas que causem incômodo, mal-estar, icterícia, náusea, diarreia, vômito, cólica abdominal, febre, prostração e/ou que dificultem a realização de atividades ocupacionais ou causem invalidez e óbito.	Operação e manutenção eficientes dos sistemas de saneamento básico, controle de interconexões dos sistemas, promoção de programas de educação sanitária e ambiental.
Contrair doenças transmitidas por vetores	Contato com vetores, picada de insetos vetores que se desenvolvem na água e ingestão de alimentos contaminados por vetores.	Sintomas que causem incômodo, mal-estar, icterícia, náusea, diarreia, vômito, cólica abdominal, febre, prostração e/ou que dificultem a realização de atividades ocupacionais ou causem invalidez e óbito.	Operação e manutenção eficientes dos sistemas de saneamento básico, controle de interconexões dos sistemas, promoção de programas de educação sanitária e ambiental, melhoria da habitação, utilização de telas e mosquiteiros, evitar o armazenamento de criadouros e utilização de repelente.
Perigos para o meio ambiente			
Perigo	Causa	Efeito	Medidas mitigadoras
Poluição por matéria orgânica	Lançamento de água residuária e resíduos sólidos no sistema de drenagem.	Depleção do oxigênio dissolvido, condições sépticas da água, poluição do solo devido a inundação.	Monitoramento da qualidade da água de drenagem, instalação de rede coletora de esgoto em áreas desprovidas, adoção de soluções para redução da matéria orgânica nas fontes de poluição.
Salinização do solo	Acúmulo de sais no solo irrigado com água residuária.	Degradação física do solo, redução da capacidade da planta de absorver água do solo, baixo rendimento da colheita.	Lixiviação do solo de forma controlada, diluição ou tratamento da água de irrigação para a redução de sais.

Sodicidade do solo	Irrigação do solo com água com concentração elevada de sódio.	Degradação física do solo, redução da infiltração da água no solo, redução do acúmulo de água no solo para a planta, baixo rendimento da colheita.					Lixiviação do solo de forma controlada, diluição ou tratamento da água de irrigação para a redução de sais.										
Ponto		Ponto 1					Ponto 2					Ponto 3					SP
Perigo		S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	
Inundação																	
Movimento de massa																	
Contrair doenças relacionadas ao saneamento básico																	
Contrair doenças transmitidas por vetores																	
Poluição por matéria orgânica																	
Salinização do solo																	
Sodicidade do solo																	
Somatório																	
Ponto		Ponto 4					Ponto 5					Ponto 6					SG
Perigo		S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	S	O	D	A	R	
Inundação																	
Movimento de massa																	
Contrair doenças relacionadas ao saneamento básico																	
Contrair doenças transmitidas por vetores																	
Poluição por matéria orgânica																	
Salinização do solo																	
Sodicidade do solo																	
Somatório																	

APÊNDICE C — TABELAS DE ESCORES DA AVALIAÇÃO DE RISCO

Escores para os perigos para a segurança pública

Escores para o aspecto de **severidade**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Causa danos materiais.	1
Moderado	Causa danos materiais, psicológicos e traumas.	2
Alto	Causa danos materiais e psicológicos, traumas e óbitos.	3

Escores para o aspecto de **ocorrência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Ocorre raramente.	1
Moderado	Ocorre sazonalmente.	2
Alto	Ocorre ao longo do ano.	3

Escores para o aspecto de **detecção**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Necessidade de inspeções regulares.	1
Moderado	Necessidade de medições <i>in loco</i> .	2
Alto	Aplicação de modelos de previsão.	3

Escores para o aspecto **abrangência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Afeta construções e seus moradores que se localizam na calha ou margens do riacho, e as pessoas que transitam nessas áreas.	1
Moderado	Afeta construções e seus moradores que se localizam na calha, margens do riacho e áreas próximas, e as pessoas que transitam nessas áreas.	2
Alto	Afeta construções e seus moradores que se localizam na sub-bacia e as pessoas que transitam por sua extensão.	3

Escores para os perigos para a saúde pública

Escores para o aspecto de **severidade**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Causar sintomas que não dificultem a realização de atividades ocupacionais e de lazer.	1
Moderado	Causar sintomas que dificultem a realização de atividades ocupacionais e de lazer.	2
Alto	Causar óbito ou invalidez.	3

Escores para o aspecto de **ocorrência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Ocorrências raras.	1
Moderado	Ocorre sazonalmente.	2
Alto	Ocorre ao longo do ano.	3

Escores para o aspecto de **detecção**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Não necessita de notificação compulsória imediata.	1
Moderado	Necessidade de notificação compulsória semanal.	2
Alto	Necessita de notificação compulsória.	3

Escores para o aspecto **abrangência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Afeta moradores que se localizam na calha ou margens do riacho, e as pessoas que transitam nessas áreas.	1
Moderado	Afeta moradores que se localizam na calha, margens do riacho e áreas próximas, e as pessoas que transitam nessas áreas.	2
Alto	Afeta moradores que se localizam na sub-bacia e as pessoas que transitam por sua extensão.	3

Escores para os perigos para o meio ambiente

Escores para o aspecto de **severidade** para o perigo de salinidade do solo

Grau	Situação	Escore
Baixo	Classes C1 e C2.	1
Moderado	Classe C3.	2
Alto	Classes C4 e C5.	3

Escores para o aspecto de **severidade** para o perigo de sodicidade do solo

Grau	Situação	Escore
Baixo	Classe S1.	1
Moderado	Classe S2.	2
Alto	Classe S3 e S4.	3

Escores para o aspecto de **severidade** para o perigo poluição da água por matéria orgânica

Grau	Situação	Escore
Baixo	OD: ≥ 5 mg/L e DBO: ≤ 10 mg/L.	1
Moderado	OD: 2 a 5 mg/L e DBO: 30 a 10 mg/L.	2
Alto	OD: ≤ 2 mg/L e DBO: ≥ 30 mg/L.	3

Escores para o aspecto de **ocorrência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Ocorrências raras.	1
Moderado	Ocorre sazonalmente.	2
Alto	Ocorre ao longo do ano.	3

Escores para o aspecto de **detecção**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Necessidade de inspeções regulares.	1
Moderado	Necessidade de medições <i>in loco</i> .	2

Alto	Aplicação de métodos laboratoriais e modelos de previsão.	3
------	---	---

Escores para o aspecto **abrangência**

Grau	Situação	Escore
Baixo	Afeta calha ou margens do riacho.	1
Moderado	Afeta calha, margens do riacho e áreas próximas	2
Alto	Afeta toda a extensão da sub-bacia.	3