



**INSTITUTO
FEDERAL**
Pernambuco

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO**

Campus Cabo de Santo Agostinho

Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária

GIVALDO JOSÉ DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIRAPAMA:
influência da indústria sucroalcooleira e impactos da utilização no processo
produtivo de uma indústria alimentícia**

Cabo de Santo Agostinho

2025

GIVALDO JOSÉ DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIRAPAMA:
influência da indústria sucroalcooleira e impactos da utilização no processo
produtivo de uma indústria alimentícia**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Cabo de Santo Agostinho, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Oliveira de Melo

Coorientadora: Profa. Dra. Edilândia Farias Dantas

Cabo de Santo Agostinho

2025



Autorizamos a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico para fins de ensino e pesquisa desde que citada a fonte. Este documento está licenciado com uma Licença Creative Commons -Atribuição Não Comercial 4.0 Internacional.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do IFPE – *Campus* Cabo de Santo Agostinho

S586a Silva, Givaldo José da

Avaliação da qualidade das águas na bacia do Rio Pirapama: influência da indústria sucroalcooleira e impactos da utilização no processo produtivo de uma indústria alimentícia / Givaldo José da Silva .– Cabo de Santo Agostinho: O Autor, 2025.
59 f.: il.

Orientador: Prof^o Dr^o Rogério Oliveira de Melo; Prof^o Dr^o Edilândia Farias Dantas.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Campus Cabo de Santo Agostinho.

1.Contaminação. 2.Impactos ambientais. 3. Índice de qualidade da água. 4. Vinhaça.
I. Melo, Rogério Oliveira de. II. Dantas, Edilândia Farias. III. Título.

CDD 628.161

GIVALDO JOSÉ DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIRAPAMA:
influência da indústria sucroalcooleira e impactos da utilização no processo
produtivo de uma indústria alimentícia**

Trabalho aprovado. Cabo de Santo Agostinho, 13 de março de 2025.

Rogério Oliveira de Melo

Edilândia Farias Dantas

Roseana Florentino da Costa Pereira

Sávio Henrique de Barros Holanda

Cabo de Santo Agostinho
2025

Dedico à minha querida mãe (*in memoriam*).
Nas ondas do tempo, sua paixão pela vida e
sua coragem continuam a inspirar-me.

AGRADECIMENTOS

A jornada para a conclusão deste trabalho foi repleta de desafios, aprendizados e conquistas, e não poderia ter sido percorrida sem o apoio e incentivo de pessoas especiais, às quais expresso a minha gratidão.

Aos meus pais, Luiz José da Silva e, em especial, à minha mãe Luzinete Francisca da Silva (*in memoriam*), que, com amor e dedicação, me ensinaram os valores da perseverança e da honestidade. Mãe, sua memória continua sendo minha fonte de força e inspiração. Aos meus filhos, Gabriel Vinícius e Andrew Guilherme, razão do meu empenho e motivação diária. Que este trabalho sirva de exemplo para que nunca deixem de sonhar e lutar pelos seus objetivos.

À minha esposa, Nucrecia Araújo da Silva, pelo amor, paciência e apoio incondicional em cada momento desta caminhada. Sua presença foi essencial para que eu superasse os desafios e seguisse em frente.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, professor Rogério Oliveira, pela dedicação, paciência e valiosas orientações ao longo desta jornada. Sua disposição em compartilhar conhecimento foi fundamental para a construção deste trabalho.

À minha coorientadora, professora Edilândia Dantas, agradeço imensamente pelo apoio, pelas sugestões enriquecedoras e pelo incentivo constante. Sua orientação contribuiu significativamente para o aprimoramento deste estudo.

Ao meu colega de trabalho, André Silva, pelo incentivo e parceria ao longo dessa trajetória, sempre disposto a compartilhar conhecimento e experiências.

Aos companheiros da universidade que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho: Andrelane Alves, Fabricio Aniceto e Edvaldo Neto, pelo auxílio, pelas trocas de ideias e pelo apoio inestimável.

A todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado, meu sincero obrigado.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

A agricultura brasileira possui um papel de destaque no cenário mundial, sendo o maior produtor e exportador de açúcar e segundo de etanol (a partir da cana-de-açúcar). Esse processo produtivo tem como subproduto a vinhaça, um composto líquido formado por água, matéria orgânica e minerais (principalmente potássio) que possui alto valor fertilizante e alto poder poluente. Em Pernambuco, a aplicação inadequada de vinhaça na bacia do rio Pirapama tem gerado preocupações tanto do ponto de vista ambiental quanto industrial. Além disso, esse cenário pode interferir nos processos das indústrias locais que dependem do rio para captação de água, como nas indústrias de alimentos e bebidas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do lançamento da vinhaça, subproduto da indústria sucroalcooleira, na rede hidrográfica da bacia do rio Pirapama e suas implicações na captação de água no processo produtivo de uma indústria alimentícia no Cabo de Santo Agostinho/PE. Para analisar a qualidade da água do rio Pirapama, foram utilizados dados de amostragens bimestrais das águas superficiais de três estações de monitoramento (PP-20, PP-42 e PP-68), disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), referentes aos anos de 2021 e 2022, os mais recentes disponíveis. Para análise dos parâmetros, foi determinado o Índice de Qualidade da Água (IQA), que incorpora as seguintes variáveis: temperatura; pH; oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio DBO; coliformes termotolerantes; nitrogênio total; fósforo total; turbidez; e sólidos totais. Além disso, para correlacionar a qualidade da água do rio Pirapama com os indicadores de produção da indústria alimentícia, foram obtidos dados semestrais dos anos de 2023 e 2024 sobre os parâmetros de qualidade da água utilizada pela empresa, tanto da água bruta quanto da água tratada, incluindo os possíveis impactos da qualidade da água na produção. Os resultados do IQA variaram entre 14 (péssima) a 64 (boa), com valores mais baixos em períodos secos, embora o menor índice tenha sido registrado em um período chuvoso na estação PP-20. Os principais parâmetros responsáveis pelo enquadramento em classes de baixa qualidade foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. A baixa ocupação humana nas proximidades das estações sugere que as cargas poluentes são provenientes, principalmente, da atividade agroindustrial. Para a indústria alimentícia, o odor foi o principal indicativo da presença de vinhaça na água bruta, alterando, também, parâmetros como turbidez, condutividade elétrica e cor. A estação de tratamento de água da indústria alimentícia não possui capacidade suficiente para tratar água com altas cargas orgânicas da vinhaça, promovendo alterações em parâmetros como cor, turbidez e manganês, que comprometem o padrão de qualidade do seu processo produtivo. Quando há contaminação, a indústria recorre ao abastecimento público, gerando custos mais elevados com a gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, o estudo destaca a necessidade de um controle rigoroso sobre os efluentes gerados pela indústria sucroalcooleira e ressalta o impacto da degradação da qualidade da água nas indústrias locais que dependem de água em condições adequadas para seus processos produtivos.

Palavras-chave: Contaminação. Impactos Ambientais. Índice de Qualidade da Água. Vinhaça.

ABSTRACT

Brazilian agriculture plays a prominent role in the global scenario, being the largest producer and exporter of sugar and the second-largest producer of ethanol (from sugarcane). This production process generates a byproduct called vinasse, a liquid compound formed by water, organic matter, and minerals (mainly potassium), which has high fertilizing value and high polluting potential. In Pernambuco, the improper application of vinasse in the Pirapama River basin has raised concerns from both environmental and industrial perspectives. Moreover, this scenario may interfere with the processes of local industries that rely on the river for water extraction, such as the food and beverage industries. Thus, the objective of this study was to evaluate the impact of vinasse discharge, a byproduct of the sugar-alcohol industry, on the hydrographic network of the Pirapama River basin and its implications for water intake in the production process of a food industry in Cabo de Santo Agostinho/PE. To analyze the water quality of the Pirapama River, data from bimonthly water sampling from three monitoring stations (PP-20, PP-42, and PP-68), provided by the State Environmental Agency (CPRH), for the years 2021 and 2022, the most recent available, were used. The Water Quality Index (WQI) was determined to analyze the parameters, which incorporates the following variables: temperature, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD), thermotolerant coliforms, total nitrogen, total phosphorus, turbidity and total solids. Additionally, to correlate the water quality of the Pirapama River with the production indicators of the food industry, semiannual data for the years 2023 and 2024 were obtained regarding the water quality parameters used by the company, both for raw and treated water, including the potential impacts of water quality on production. The IQA results ranged from 14 (poor) to 64 (good), with lower values observed during dry periods, although the lowest index was recorded during a rainy period at the PP-20 station. The main parameters responsible for the low-quality classifications were dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, and thermotolerant coliforms. The low human occupation near the monitoring stations suggests that the pollutant loads mainly come from agroindustrial activities. For the food industry, odor was the main indicator of vinasse presence in raw water, affecting, also, parameters such as turbidity, electrical conductivity, and color. The food industry's water treatment station does not have sufficient capacity to treat water with high organic loads from vinasse, leading to changes in parameters such as color, turbidity, and manganese, which compromise the quality standard of its production process. When contamination occurs, the industry resorts to public water supply, resulting in higher costs for water resource management. In this context, the study highlights the need for strict control over the effluents generated by the sugar and alcohol industry and emphasizes the impact of water quality degradation on local industries that rely on water in suitable conditions for their production processes.

Keywords: Contamination. Environmental Impacts. Water Quality Index. Stillage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo produtivo da cana-de-açúcar.....	27
Figura 2 – Lagoa com vinhaça no Cabo de Santo Agostinho/PE.....	28
Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica do rio Pirapama	31
Figura 4 – Diagrama unifilar da bacia do rio Pirapama.....	35
Figura 5 – Distribuição geográfica das indústrias sucroalcooleiras e estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Pirapama.....	40
Figura 6 – Variação do IQA em pontos da bacia do rio Pirapama entre 2021 e 2022.....	41
Figura 7 – Local de captação de água da indústria alimentícia no rio Pirapama.....	44
Figura 8 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em junho de 2023.....	45
Figura 9 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em dezembro de 2023.....	46
Figura 10 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em junho de 2024.....	47
Figura 11 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em dezembro de 2024.....	48
Figura 12 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em junho de 2023.....	50
Figura 13 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em dezembro de 2023.....	50
Figura 14 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em junho de 2024.....	51
Figura 15 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em dezembro de 2024.....	51
Figura 16 – Comparação entre amostras de água bruta e tratada em dia de contaminação por vinhaça.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da vinhaça a partir da fermentação de diferentes mostos.....	29
Tabela 2 – Estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Pirapama.....	37
Tabela 3 – Pesos dos parâmetros relacionados ao IQA.....	38
Tabela 4 – Valores de IQA obtidos nas estações de monitoramento.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
As	Clima tropical quente e úmido
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Ca ⁺²	Íon Cálcio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de tratamento de água
GL-2	Grupo 2 das bacias de pequenos rios litorâneos
IET	Índice do Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade da Água
K ⁺	Potássio
Mg ⁺²	Íon Magnésio
Mn	Manganês
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
O ²	Gás Oxigênio
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
PP	Pirapama
ppm	Partes por milhão
qi	Qualidade do i-ésimo parâmetro
r	Correlação de Pearson
RMR	Região Metropolitana do Recife
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
uC	Unidades de Cor
UP	Unidade de Planejamento
uT	Unidades de Turbidez
wi	Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	24
1.1 OBJETIVOS	25
1.1.1 Objetivo Geral	25
1.1.2 Objetivos Específicos	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA	26
2.2 SUBPRODUTOS DA FABRICAÇÃO DE ÁLCOOL E AÇÚCAR	28
2.3 HIDROGRAFIA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO	30
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS	32
3 METODOLOGIA	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	36
4 RESULTADOS E ANÁLISE	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – Parâmetros de qualidade da água da bacia do rio Pirapama nas estações de monitoramento avaliadas nos anos de 2021 e 2022.	65
APÊNDICE B – Parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho).	66
APÊNDICE C – Parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho).	69

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos agroindustriais tem sido, há muito tempo, um grande desafio devido às crescentes preocupações com o meio ambiente. Com relação aos efluentes (líquidos gerados após um processo industrial, seja de origem residual de processos, limpeza ou resfriamento), as consequências do descarte inadequado e indiscriminado resultam em sérios problemas de poluição, uma vez que cada tipo de efluente industrial possui características específicas que podem impactar negativamente o meio ambiente (Sousa, 2018).

De acordo com Sousa (2018), o Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, possuindo, atualmente, cerca de 430 usinas operantes, as quais adotam novas tecnologias desde o plantio até a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. Esse processo produtivo tem como subproduto a vinhaça, também conhecida como vinhoto, um efluente de destilarias com alto valor fertilizante e também de alto poder poluente (Larsen Filho *et al.*, 2024).

Em Pernambuco, a aplicação inadequada de vinhaça na bacia do rio Pirapama tem gerado preocupações tanto do ponto de vista ambiental quanto industrial. As altas concentrações de matéria orgânica presentes na vinhaça provocam a eutrofização das águas, reduzindo sua qualidade e afetando a vida aquática (Masquio *et al.*, 2023). Além disso, esse cenário pode interferir nos processos das indústrias locais que dependem do rio para captação de água, como nas indústrias de alimentos e bebidas, que, conforme destacado por Monteiro *et al.* (2023), necessitam de água de boa qualidade em seus processos produtivos.

Embora esse resíduo possa ser reaproveitado, como na melhoria da fertilidade do solo por meio da fertirrigação (Paula; Bassetti, 2022), as grandes quantidades de vinhaça aplicadas podem modificar as propriedades do solo e ser lixiviadas, resultando em impactos negativos na qualidade das águas subterrâneas e superficiais (Melo, 2024).

Nessa perspectiva, serão analisados os impactos do descarte inadequado de vinhaça na bacia do rio Pirapama, destacando as consequências para o meio ambiente e como isso afeta diretamente as indústrias locais. Dessa forma, o estudo apresenta os desafios enfrentados diante da degradação dos recursos hídricos,

especialmente no que se refere à captação de água para o processo produtivo de uma indústria alimentícia inserida na bacia hidrográfica em estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto do lançamento da vinhaça, subproduto da indústria sucroalcooleira, na rede hidrográfica da bacia do rio Pirapama e suas implicações na captação de água no processo produtivo de uma indústria alimentícia no Cabo de Santo Agostinho/PE.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais fontes de descarte de vinhaça na bacia hidrográfica do rio Pirapama;
- Analisar os parâmetros de qualidade da água afetados pelo descarte inadequado de vinhaça;
- Correlacionar os dados de qualidade da água com os indicadores de produção de uma indústria alimentícia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria Sucroalcooleira

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar, representando cerca de 20,3% da produção e 48,0% do comércio mundial do produto (Moura, 2022). No setor do etanol, o país ocupa a segunda posição entre os maiores produtores mundiais, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, o maior produtor, consumidor e exportador do biocombustível no mundo (Milanez; Souza; Mancuso, 2018). Segundo Mazier Junior (2023), a produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar no território brasileiro está concentrada no Sudeste do país, enquanto a região Nordeste possui 10% da área cultivada, responde por 7% da cana-de-açúcar, 8% do açúcar e 5% do etanol produzidos no país.

O setor sucroalcooleiro é uma das cadeias produtivas mais importantes para a economia brasileira. De acordo com Sousa *et al.* (2012), as indústrias sucroalcooleiras do Brasil ocupam uma posição de destaque, desempenhando papéis fundamentais na economia ao gerar empregos e renda. Referente aos produtos, o setor tem se destacado principalmente pela produção e comercialização de açúcar, insumo com alta demanda internacional (Melo, 2024), além de fornecer produtos e subprodutos essenciais para o dia a dia, como açúcar, álcool, energia elétrica, entre outros.

Devido ao potencial de expansão e adaptabilidade em áreas edafoclimáticas distintas, a cana-de-açúcar vem ganhando cada vez mais espaço no país. Apesar disso, o setor produtivo de açúcar e etanol do Nordeste se recupera lentamente da última crise climática e mercadológica, mas ainda persistem graves problemas como a baixa produtividade e dificuldades financeiras das unidades produtivas (Vidal, 2020).

A queda na produção de etanol no Nordeste entre as safras 2014/15 e 2016/17 foi resultante de diversos fatores: menor área plantada com cana-de-açúcar, baixa produtividade agrícola e do maior direcionamento da cana para produção de açúcar que passou a remunerar melhor (Vidal, 2021).

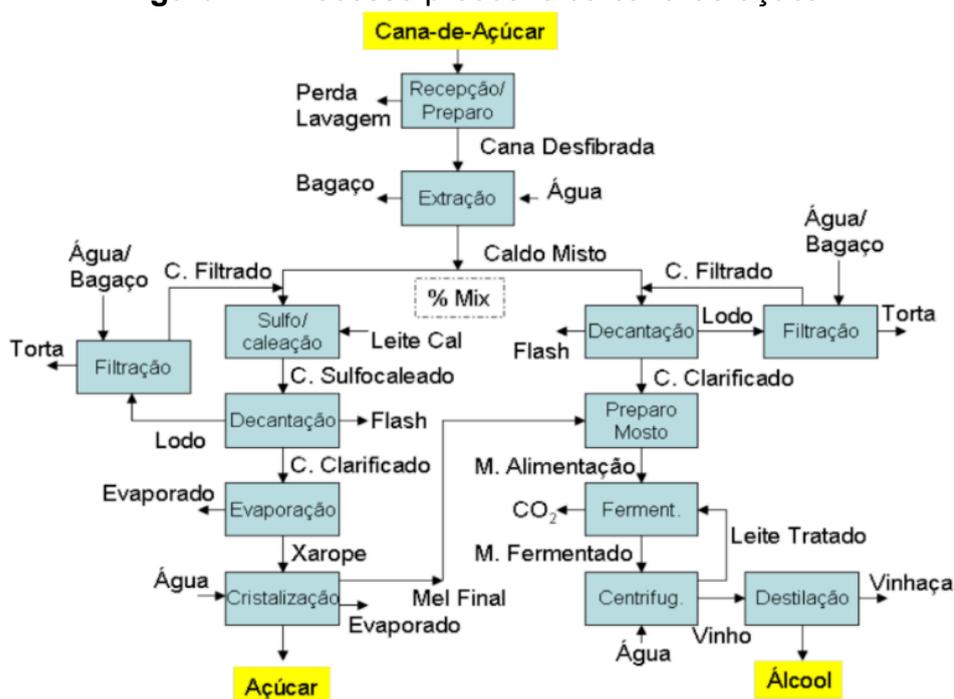
A partir da safra 2017/18, a produção de etanol no Nordeste voltou a crescer, os sucessivos aumentos no preço da gasolina no mercado interno impulsionaram a

produção de etanol em todo o país. A produção de álcool no Nordeste é menos concentrada que a de açúcar, sendo os maiores produtores regionais: Paraíba; Pernambuco; e Alagoas. A Bahia e o Maranhão também possuem um volume de produção relevante (Vidal, 2021).

Conforme Vidal (2020), esse declínio pode-se associar a limitada modernização das unidades industriais no Nordeste, que tem ampliado a diferença em produtividade e eficiência em relação ao Centro-Sul. A adoção de tecnologias avançadas e a implementação de uma gestão eficiente são condições essenciais para que o setor sucroenergético nordestino se torne mais competitivo em comparação com outras regiões produtoras de açúcar e etanol no Brasil.

A fabricação de açúcar a partir da cana-de-açúcar é um processo industrial que começa com a recepção e pesagem da matéria-prima nas usinas, onde a cana é inspecionada para verificar sua qualidade e teor de sacarose (Figura 1). Em seguida, a cana é lavada para remover impurezas, como terra e folhas, e passa por equipamentos que a picam e desfibram, facilitando a extração do caldo. A extração ocorre em moendas ou difusores, onde a cana é esmagada para separar o caldo do bagaço, que posteriormente é utilizado como fonte de energia para a cogeração de vapor e eletricidade (Alves, 2021).

Figura 1 – Processo produtivo da cana-de-açúcar.



Fonte: Teixeira Junior (2015).

2.2 Subprodutos da fabricação de álcool e açúcar

No processo de produção de etanol, alguns resíduos são gerados (Figura 2). A vinhaça é a que recebe a maior atenção devido às suas propriedades físico-químicas e por se tratar de um resíduo altamente poluidor (Laime *et al.*, 2011; Fuess; Zaiat, 2018).

De acordo com Moraes, Zaiat e Bonomi (2015), a vinhaça (também conhecida como vinhoto, restilo, calda ou garapão) é um subproduto da destilação de biomassa para a produção de etanol, a partir de culturas de açúcar (beterraba e cana), culturas de amido (milho, trigo, arroz e mandioca) e material celulósico (resíduos de colheita, bagaço e madeira) e o que mais se destaca em quantidade e capacidade poluidora.

Figura 2 – Lagoa com vinhaça no Cabo de Santo Agostinho/PE.



Fonte: Própria do autor.

Ludovice (1997) define a vinhaça como efluente composto de 93% de água e 7% de sólidos; desses sólidos, cerca de 75% são matéria orgânica, formada de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} e sua graduação alcoólica não é superior a $0,03^\circ GL$. De acordo com o meio utilizado para fermentação do etanol (mosto), a vinhaça apresenta diferentes características, como apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 – Características da vinhaça a partir da fermentação de diferentes mostos.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Mosto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/l O ²)	25000	6000 - 16500	19800
DQO (mg/l O ²)	650000	15000 - 33000	45000
Sólidos totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/l)	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/l)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/l N)	450 - 1610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/l P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l K ₂ O)	3740 - 7830	1200 - 2100	3340 - 4600
Cálcio (mg/l CaO)	450 - 5180	130 - 1540	1330 - 4570
Magnésio (mg/l MgO)	420 - 1520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/l SO ₄)	6400	600 - 760	3700 - 3730
Carbono (mg/l C)	11200 - 22900	5700 - 13400	8700 - 12100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria Orgânica (mg/l)	63400	19500	3800
Substâncias redutoras (mg/l)	9500	7900	8300

Fonte: Marques (2006).

Silva, Griebeler e Borges (2007) e Pedrosa *et al.* (2015) relatam que dos efluentes líquidos da indústria sucroenergética, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora, apresentando demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variando de 20.000 a 35.000 mg/L, onde a quantidade despejada pelas usinas varia de 10 a 16 litros de vinhaça por litro de etanol, dependendo das condições de produção e sai dos aparelhos de destilação em média de 85 a 90 °C.

Até o final dos anos 70, volumes crescentes de vinhaça eram lançados nos mananciais. Os lançamentos eram de caráter sazonal, de acordo com o ciclo da produção de etanol, afetando a autorregulação e a autorreprodução dos ecossistemas (Corazza, 2006).

Atualmente, as principais alternativas para a destinação da vinhaça de cana-de-açúcar incluem sua reciclagem na fermentação, uso na fertirrigação, concentração por evaporação, produção de leveduras, geração de energia e fabricação de ração animal (Silva, 2011). Entre essas opções, a fertirrigação

continua sendo a tecnologia mais amplamente utilizada, destacando-se como uma prática que pode substituir parcialmente a adubação mineral (Melo, 2024).

A aplicação da vinhaça no solo agrícola do estado de São Paulo, por meio da fertirrigação, foi regulamentada pela Norma Técnica P4.231, publicada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 2015. Essa norma estabelece critérios e procedimentos específicos para o armazenamento, transporte e uso da vinhaça gerada no processamento da cana-de-açúcar pela indústria sucroalcooleira (CETESB, 2015).

Apesar disso, Mendonça (2023) ressalta que, a longo prazo, o uso da vinhaça no solo pode comprometer tanto a capacidade produtiva do solo quanto a produtividade das lavouras, além de impactar negativamente a qualidade dos corpos d'água adjacentes. Dentre os efeitos adversos citados pela autora, destacam-se a salinização e sodificação do solo, sobrecarga orgânica, superfertilização e a acidificação do solo e da água.

Nesse contexto, a vinhaça é amplamente reconhecida como um resíduo de alto risco ambiental, com um potencial poluidor aproximadamente cem vezes superior ao do esgoto doméstico (Melo, 2024). Estudos de Gunkel *et al.* (2007) identificaram impactos como a salinização da água no rio Ipojuca, em Pernambuco, decorrentes da contaminação por vinhaça, observando uma pequena redução no pH de 6,7 para 6,0.

2.3 Hidrografia do Cabo de Santo Agostinho

A bacia do rio Pirapama destaca-se na hidrografia do município do Cabo de Santo Agostinho/PE. Situada na porção centro-sul da Região Metropolitana do Recife e da Zona da Mata pernambucana, a bacia é composta por 12 sub-bacias, presentes em parte de sete municípios, sendo que 57,2% de sua área está situada no território do Cabo de Santo Agostinho (Gama, 2003).

Como ilustra a Figura 3, a bacia integra a Unidade de Planejamento (UP) Hídrico – Metropolitana Sul, anteriormente denominada Grupo 2 das bacias de pequenos rios litorâneos de Pernambuco (GL-2), e abrange os municípios de Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca e Moreno, na RMR, além de

Vitória de Santo Antão, Escada e Pombos, localizados na Zona da Mata (APAC, 2024).

Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica do rio Pirapama.



Fonte: Pessoa Neto (2023).

A nascente do rio Pirapama está localizada no município de Pombos, na Zona da Mata Sul de Pernambuco. Com regime perene, o rio percorre cerca de 80 km até desaguar no rio Jaboatão, entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho (Gama, 2003). O rio Pirapama destaca-se na UP Metropolitana Sul, tendo como principais afluentes, pela margem esquerda, os rios Araribe, Cajabuçu, arroio Dois Rios e Gurjaú, enquanto pela margem direita se destacam os riachos Camuçari, Alegria, Utinga de Cima e Santa Amélia (APAC, 2024; CPRH, 2024). Dentre seus afluentes, destaca-se o rio Gurjaú, fundamental para o abastecimento de água da região.

A principal demanda de água na bacia é destinada ao abastecimento humano, sendo suprida pelas barragens de Pirapama e Gurjaú, que atendem a demanda local e o abastecimento de parte da RMR (Pessoa Neto, 2023). Segundo

Viana *et al.* (2018), a bacia é amplamente ocupada por atividades agrícolas, com presença significativa da atividade industrial e residencial, além da geração de energia elétrica por pequenas centrais hidrelétricas.

De acordo com a CPRH (2024), a atividade industrial é um setor produtivo relevante na região, com foco em diversos segmentos, como: química; sucroalcooleira; bebidas; minerais não-metálicos; mecânica; produtos alimentares; têxtil; plásticos; e borracha.

2.4 Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental é definido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

Nesse contexto, entende-se que a vinhaça é um resíduo líquido com elevada carga orgânica que apresenta alto potencial poluidor devido à sua característica, que inclui elevados teores de material orgânico biodegradável, potássio e outros nutrientes (Sousa, 2014). Embora possua potencial para ser utilizada como fertilizante na agricultura, seu descarte inadequado pode causar graves impactos ambientais, especialmente nos recursos hídricos (Mendonça, 2023).

De acordo com Freire e Cortez (2000), a contaminação dos corpos d'água pela vinhaça ocorre principalmente devido ao seu elevado potencial de DBO, que pode levar à depleção do oxigênio dissolvido (OD) na água, afetando negativamente a fauna aquática. Além disso, o excesso de nutrientes pode desencadear processos de eutrofização, estimulando o crescimento descontrolado de algas e micro-organismos, comprometendo a qualidade da água, a biodiversidade local e provocando alterações significativas nas comunidades planctônicas (Santos, 2019).

Verma e Dalala (1976) investigaram a sobrevivência de duas espécies de peixes expostas à vinhaça diluída em diferentes temperaturas e níveis de pH. Os

resultados mostraram que diferentes concentrações da substância causaram a mortalidade de 50% dos peixes no experimento em 96 horas. Da mesma forma, Ferreira, Chang e Soto (2018) identificaram que a aplicação de elevadas doses de vinhaça (400 a 800 m³) reduziu a condutividade hidráulica saturada e a capacidade de retenção de água no solo, intensificando a lixiviação e, conseqüentemente, aumentando as concentrações de carbono orgânico total.

Além disso, Marinho *et al.* (2014), com o objetivo de avaliar a toxicidade da vinhaça para a fauna aquática em corpos d'água, expuseram tilápias a diferentes níveis de diluição desse resíduo. Os resultados indicaram que a vinhaça provocou alterações significativas no fígado dos peixes, evidenciando um alto potencial tóxico, dependendo da dose de exposição.

Fuess e Garcia (2014) relataram a ação corrosiva da vinhaça e seu alto potencial de contaminação das águas superficiais. Estudos conduzidos por Gunkel *et al.* (2007) no rio Ipojuca, no nordeste do Brasil, identificaram que a fertirrigação das plantações de cana-de-açúcar é uma das principais fontes de contaminação do rio, resultando no aumento da temperatura da água, acidificação, maior turbidez e redução dos níveis de oxigênio. Desse modo, os autores concluíram que é essencial desenvolver métodos sustentáveis de cultivo da cana-de-açúcar, além de tecnologias para a redução de resíduos e processos de reciclagem da água, a fim de proteger os recursos hídricos da região.

Nesse contexto, com o objetivo de regulamentar o uso da vinhaça e minimizar seus impactos ambientais, a Norma Técnica P 4.231/2015 estabelece diretrizes para o seu aproveitamento agrícola, garantindo que sua aplicação no solo ocorra de forma controlada e sustentável (CETESB, 2015). Essa norma define limites de aplicação, restrições em relação à proximidade de corpos hídricos e direcionamentos para evitar a contaminação do lençol freático. Além disso, preconiza a necessidade de monitoramento periódico da qualidade da água em regiões próximas à aplicação da vinhaça, garantindo a proteção dos ecossistemas aquáticos (CETESB, 2015).

Diante desse cenário, os indicadores de qualidade da água são essenciais para a avaliação e monitoramento das condições dos corpos hídricos, sendo classificados em físico-químicos e microbiológicos (Tavares, 2021; Pereira Filho *et al.*, 2024). Assim, parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos são

utilizados para avaliar as condições da água e detectar potenciais riscos à saúde pública e ao meio ambiente (Coelho, 2017). Entre os principais parâmetros monitorados, destacam-se a turbidez, o pH, a demanda bioquímica de oxigênio DBO, os níveis de oxigênio dissolvido, os metais pesados, como chumbo e mercúrio, e a presença de coliformes fecais (Haddad, 2007).

Para a análise integrada da qualidade da água, um dos métodos mais utilizados é o Índice de Qualidade da Água (IQA), que combina diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos em um único valor numérico, permitindo a classificação da água em categorias que variam de ótima a péssima (Araújo, 2023). O IQA auxilia na gestão dos recursos hídricos, orientando ações de preservação e recuperação ambiental, além de fornecer subsídios para a regulamentação de padrões de qualidade da água para consumo humano e outros usos (Terra, 2024).

Assim, a legislação brasileira estabelece diretrizes para a qualidade da água por meio da Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que trata da classificação dos corpos hídricos, do seu enquadramento ambiental e dos padrões para o lançamento de efluentes (Brasil, 2005).

Quanto a bacia do Pirapama, Dias, Barros e Souza (2010) indicam que diversos fatores contribuem para sua poluição, entre os quais se destacam a fertirrigação com vinhaça nas plantações de cana-de-açúcar, que afeta direta ou indiretamente os mananciais da região, além das descargas diretas de vinhaça nos corpos d'água provenientes de usinas sucroalcooleiras. Em virtude disso, os mananciais da bacia do rio Pirapama apresentam altos índices de poluentes, com as fontes agroindustriais responsáveis por 93,7% da carga poluidora da bacia (CPRH, 2024).

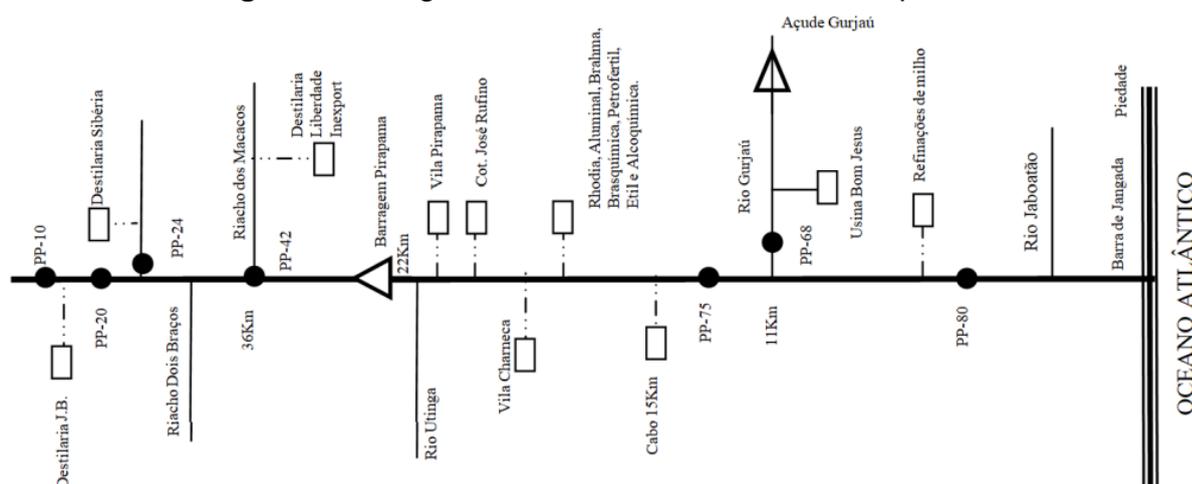
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Pirapama está situada na porção centro-sul da Região Metropolitana do Recife (RMR) e na Zona da Mata pernambucana, compreendendo as coordenadas geográficas entre as latitudes 8° 07'29" e 8° 21'00" S e longitudes 34° 56'20" e 35° 23' 13" W (Viana *et al.*, 2018).

A Figura 4 apresenta o diagrama unifilar do rio Pirapama, sendo possível notar a diversidade de indústrias inseridas na bacia.

Figura 4 – Diagrama unifilar da bacia do rio Pirapama.



Fonte: CPRH (2024).

A bacia possui uma área de drenagem de 600,01 km², com o rio principal apresentando uma extensão de aproximadamente 80 km, cuja foz está localizada no estuário do rio Jaboatão.

O clima da região é classificado como As' (tropical quente e úmido), com temperaturas médias mensais entre 26°C e 28°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm, apresentando um regime de chuvas bem definido, com um período seco de setembro a fevereiro e um período chuvoso de março a agosto (Viana *et al.*, 2018; Pessoa Neto, 2023).

Sobre a geomorfologia, o relevo é caracterizado pelo modelado cristalino, apresentando morros e colinas arredondadas, com uma altitude máxima de 537,3 m (Pessoa Neto, 2023). Conforme Viana *et al.* (2018), os solos predominantes na região são os argissolos, latossolos e gleissolos.

A bacia enfrenta pressões crescentes em razão das atividades agroindustriais, em especial do setor sucroalcooleiro, que é predominante na região. O descarte inadequado de vinhaça, subproduto da produção de etanol, tem gerado impactos significativos na qualidade das águas da bacia. Estudos indicam que práticas como a fertirrigação mal planejada e as descargas diretas em cursos d'água contribuem para a elevação dos níveis de poluentes, afetando os usos múltiplos dos recursos hídricos (Ferreira; Chang; Soto, 2018; Fialho *et al.*, 2019).

Dentre as tipologias industriais, encontra-se a indústria alimentícia em estudo, localizada no município do Cabo de Santo Agostinho, que enfrenta constantes interrupções na captação de água do rio Pirapama devido à contaminação por vinhaça. Para garantir a confidencialidade das informações da empresa, todos os dados fornecidos foram tratados de forma sigilosa.

A indústria em estudo é uma empresa multinacional de grande porte especializada no processamento e refino de alimentos à base de milho, com uma capacidade de moagem de 500 toneladas por dia. Seus produtos são amplamente utilizados nos setores alimentícios e farmacêuticos. Nesse contexto, a qualidade da água desempenha um papel crucial para a indústria em questão, pois influencia diretamente a eficiência dos processos produtivos, a segurança alimentar e a qualidade do produto final (Simensato; Bueno, 2019).

3.2 Coleta e Análise de Dados

Para uma análise mais ampla sobre a qualidade dos recursos hídricos do rio Pirapama e avaliação da possibilidade de influência das atividades desenvolvidas em sua bacia de drenagem, principalmente aquelas relacionadas ao setor sucroalcooleiro, foram utilizados os dados mais recentes (anos de 2021 e 2022) fornecidos pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco. Esses dados foram coletados do Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco (CPRH,

2024), que disponibiliza informações de amostragens bimestrais das águas superficiais. Os pontos de amostragem da bacia são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Pirapama.

Estação	Corpo d'água	Localidade	Coordenadas
PP-10	Rio Pirapama	Vitória de Santo Antão	-8,226947222; -35,31666944
PP-20	Rio Pirapama	Vitória de Santo Antão	-8,242316667; -35,26508889
PP-24	Riacho da Destilaria Sibéria	Vitória de Santo Antão	-8,272258333; -35,23723889
PP-42	Rio Pirapama	Cabo de Santo Agostinho	-8,283366667; -35,15973333
PP-68	Rio Gurjaú	Cabo de Santo Agostinho	-8,256488889; -35,01501389
PP-75	Rio Pirapama	Cabo de Santo Agostinho	-8,268352778; -35,00737778
PP-80	Rio Pirapama	Cabo de Santo Agostinho	-8,260888889; -34,98832778

Fonte: CPRH (2024).

Das sete estações de monitoramento distribuídas na bacia, apenas três (PP-20, PP-42 e PP-68) possuíam análises realizadas no período de 2021 e 2022. O monitoramento das demais estações foi suspenso temporariamente.

Para análise integrada dos parâmetros avaliados, foi determinado o Índice de Qualidade da Água (IQA). A partir de um estudo realizado em 1970 pela “*National Sanitation Foundation*” dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas, que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público.

A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada uma delas, segundo uma escala de valores “rating”. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostas, somente nove foram selecionadas. Para estas, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com seu estado ou condição.

Para a determinação do IQA (Equação 1), as variáveis consideradas foram: temperatura; pH; oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio DBO; coliformes termotolerantes; nitrogênio total; fósforo total; turbidez; e sólidos totais.

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (1)$$

onde:

IQA - Índice de Qualidade da Água, um número entre 0 e 100;

qi - qualidade do *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

wi - peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n wi = 1$$

n - número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Os valores dos parâmetros utilizados na determinação do IQA, provenientes da CPRH (2024), estão presentes no Apêndice A.

Para a execução do cálculo, foram considerados os pesos de cada parâmetro (Tabela 3), de acordo com o estabelecido pela CETESB (2013). Os valores de IQA foram classificados em: ótima ($79 < IQA \leq 100$); boa ($51 < IQA \leq 79$); regular ($36 < IQA \leq 51$); ruim ($19 < IQA \leq 36$); e péssima ($IQA \leq 19$).

Tabela 3 – Pesos dos parâmetros relacionados ao IQA.

Parâmetro	Unidade	Peso (<i>wi</i>)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	0,15
pH	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg O2/L	0,10
Nitrogênio Total	mg/L	0,10
Fósforo Total	mg/L	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	uT	0,08
Sólidos Totais	mg/L	0,08
Oxigênio Dissolvido	%	0,17

Fonte: CETESB (2013).

De maneira adicional, para investigar possíveis correlações entre os indicadores de qualidade da água do rio Pirapama e os indicadores de produção da indústria alimentícia, foram obtidos dados sobre os parâmetros de qualidade da água utilizados pela indústria analisada.

Na indústria em estudo, as amostras de água para análise são coletadas de forma horária, diariamente, acompanhando o regime contínuo de operação da planta de produção. Os dados coletados abrangem o período de 2023 e 2024, selecionado para representar adequadamente a sazonalidade recente das variações nos parâmetros avaliados. Dado o grande volume de informações disponíveis para o período considerado, foram selecionados os resultados das análises realizadas às 13:00h de cada dia dos meses de junho e dezembro.

Os parâmetros de qualidade selecionados foram aqueles diretamente impactados pelo lançamento da vinhaça no rio Pirapama e monitorados pela indústria alimentícia durante a captação de água bruta, incluindo: vazão; pH; odor; cor; turbidez, manganês; e condutividade elétrica. Além disso, também foram coletados parâmetros da água na saída da estação de tratamento de água (ETA) da indústria, após a etapa da cloração, que incluem: turbidez; cor; pH; cloro; fluoreto; e manganês (Mn).

Para verificar a correlação linear entre os dias de contaminação por vinhaça e os dias de precipitação, foi utilizado o método da correlação de Pearson (r). Os dados de precipitação foram obtidos da estação pluviométrica Cabo (Pirapama - 603), com base na série histórica disponibilizada pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2025).

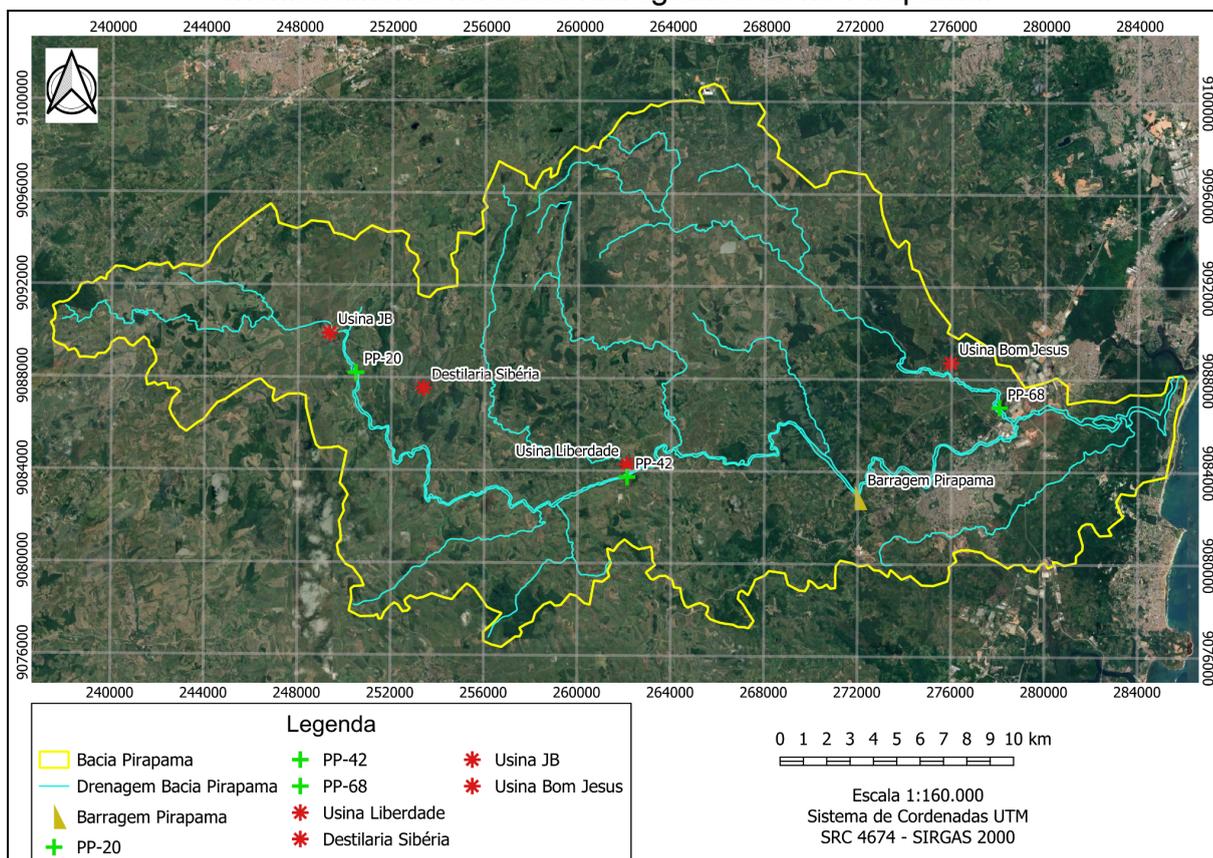
Como parte da proposta do estudo, também foram levantadas informações sobre o volume de água captado, o período de captação e os impactos da qualidade da água na produção. Esses dados incluíram a necessidade de tratamentos adicionais, o uso de fontes complementares de abastecimento e os volumes totais utilizados no processo produtivo durante os períodos em que a captação direta no rio Pirapama foi suspensa.

Para organização, tratamento e geração de produtos de interpretação dos dados, foram utilizadas ferramentas do editor de planilhas Microsoft Excel.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da análise da distribuição geográfica de elementos que possuem relação com o trabalho, foi possível identificar quatro usinas principais na bacia do rio Pirapama (Figura 5). A proximidade dessas unidades aos corpos hídricos da bacia sugere a importância de um controle rigoroso dos efluentes gerados, especialmente devido à elevada carga orgânica da vinhaça, que pode comprometer a qualidade da água e os usos múltiplos desse recurso, incluindo o abastecimento público e industrial.

Figura 5 – Distribuição geográfica das indústrias sucroalcooleiras e estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Pirapama.

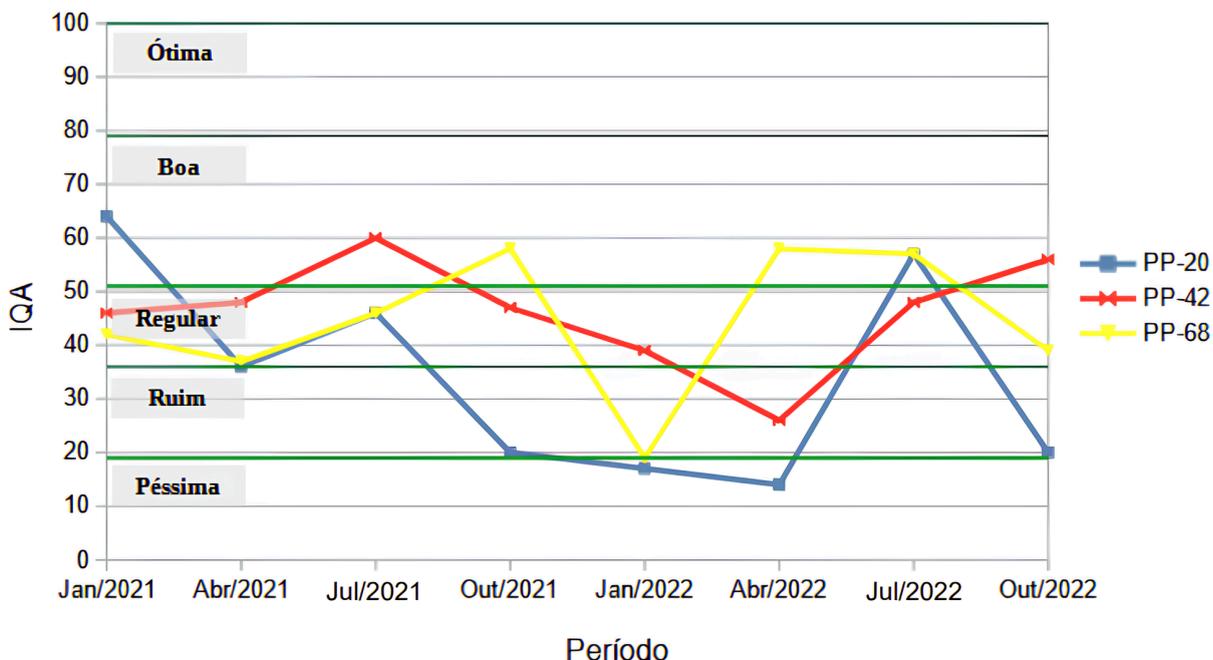


Fonte: Própria do autor baseado em CPRH (2024).

Os Índices de Qualidade da Água determinados (para todas estações e datas avaliadas) apresentaram valores de variando entre 14 e 64. Os resultados revelaram que 70,8% dos valores situam-se no intervalo de $36 < IQA \leq 79$, indicando, predominantemente, uma classificação no mínimo regular de qualidade da água,

como ilustra a Figura 6. Nessa mesma análise, 29,2% dos valores apresentaram um IQA que permite o enquadramento dentro da classe BOA.

Figura 6 – Variação do IQA em pontos da bacia do rio Pirapama entre 2021 e 2022.



Fonte: Própria do autor (2025).

Apesar do melhor IQA ter sido registrado na estação PP-20, em janeiro de 2021, esse ponto apresentou comprometimento da qualidade da água ao longo de grande parte do período analisado, principalmente nos meses de outubro de 2021 e 2022 (período seco), janeiro/2022 (período seco) e, especialmente, em abril/2022 (período chuvoso). Nos meses mencionados, foi observada uma elevada presença de matéria orgânica, evidenciada pelos altos valores de DBO e pelas condições anóxicas da água, fatores que estão provavelmente associados ao lançamento de efluentes da agroindústria canavieira, provenientes da Destilaria JB, localizada a montante da estação PP-20 (CPRH, 2024). Outro aspecto relevante é que o curso do rio Pirapama atravessa o interior do complexo industrial do Cabo de Santo Agostinho.

A estação PP-42, por sua vez, demonstrou menor flutuação na qualidade da água, mantendo-se nas categorias boa e regular ao longo de quase todo período analisado. Embora o IQA da estação PP-68 tenha indicado qualidade péssima

somente em janeiro/2022, variando entre boa e regular nos demais meses, os dados da CPRH (2024) revelam que a água apresentou condições de qualidade classificadas como moderadamente comprometida a muito poluída no período analisado. De acordo com a CPRH (2024), as condições de qualidade ruins levam em consideração o lançamento de esgoto de origem doméstica, atividade agroindustrial e industrial.

Além disso, o Índice do Estado Trófico (IET) da estação PP-68 indicou comprometimento em abril/2021, julho/2022 e outubro/2022, evidenciando episódios de eutrofização do rio (CPRH, 2024). Conforme apontam Maia e Nunes (2024), o IET classifica os corpos d'água em diferentes níveis tróficos, ou seja, avalia a qualidade da água em função do enriquecimento por nutrientes e seus efeitos, como o crescimento excessivo de algas ou a proliferação de macrófitas aquáticas, sendo calculado pela CPRH (2024) com base nos resultados de Clorofila a.

Assim, considerando a baixa ocupação humana a montante da estação PP-68, é possível indicar que as cargas poluentes são provenientes em grande maioria da atividade agroindustrial, que realiza a aplicação da vinhaça para fertirrigação do solo. No entanto, de acordo com Leão *et al.* (2022), quando esse processo não é conduzido de forma adequada, pode ocorrer a lixiviação de compostos orgânicos e nutrientes para corpos hídricos, contribuindo para o aumento da carga de matéria orgânica e para o processo de eutrofização.

Em julho de 2022, as estações PP-20 e PP-68 apresentaram valores similares. Essa observação pode indicar uma homogeneização na qualidade da água ao longo da bacia, possivelmente causada por um maior volume de chuvas que reduziu a diferença na concentração de poluentes entre as áreas monitoradas. O comportamento evidenciado é atípico em relação aos demais meses, nos quais a variação entre as estações é mais perceptível.

Os resultados indicam uma forte influência das áreas urbanas, agroindustriais e industriais na degradação da água do rio Pirapama, que desde a estação PP-20, próximo à sua nascente, já apresenta condições de qualidade consideradas RUIM a PÉSSIMA. Os principais parâmetros responsáveis pelo enquadramento nessas classes foram OD, DBO e coliformes termotolerantes, resultado semelhante ao encontrado por Moreira (2007) na bacia do rio Jaboatão, em Pernambuco.

No período analisado, 12 medições foram realizadas na estação seca (janeiro e outubro), com os Índices de Qualidade da Água variando de 17 a 64, e outras 12 medições na estação chuvosa (abril e julho), com valores entre 14 e 60 (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de IQA obtidos nas estações de monitoramento.

Data	PP-20	PP-42	PP-68	Período
janeiro/21	64	46	42	Seco
abril/21	36	48	37	Chuvoso
julho/21	46	60	46	Chuvoso
outubro/21	20	47	58	Seco
janeiro/22	17	39	19	Seco
abril/22	14	26	58	Chuvoso
julho/22	57	48	57	Chuvoso
outubro/22	20	56	39	Seco

Fonte: Própria do autor (2025).

A análise do IQA revelou que os valores tendem a ser mais baixos em alguns períodos secos, como em janeiro e outubro de 2022, indicando uma piora na qualidade da água nesses meses. Por outro lado, durante os períodos chuvosos (abril e julho de 2021 e 2022), há uma tendência de melhora nos índices, possivelmente devido ao maior volume de água que dilui os poluentes.

No entanto, essa relação não é constante em todos os pontos de monitoramento. Na estação PP-20, o menor valor de IQA (14 – Classe PÉSSIMA) foi verificado em período chuvoso (abril de 2022 – mês que apresentou a maior precipitação acumulada, com 165,1 mm), enquanto o maior valor de IQA (64 – Classe BOA) foi verificado em período seco (janeiro de 2021 – mês que apresentou a menor precipitação acumulada, com apenas 15,1 mm). A estação PP-42 também apresentou seu IQA mais baixo (26 – Classe RUIM) no período chuvoso de abril de 2022. Em PP-68, o segundo pior índice (IQA – 37, classificado como REGULAR) foi registrado em janeiro de 2021, mês que apresentou a maior precipitação acumulada de todos os registros (492,2 mm).

Contando apenas com a base de informação da CPRH (2024), a limitação da coleta de dados a apenas três estações, no período correspondente ao último relatório, dificulta a representatividade dos resultados e a avaliação abrangente da

qualidade da água ao longo da bacia. A escolha por parte da agência fiscalizadora dessas estações de monitoramento, pode estar associada à proximidade das usinas e destilarias, já que representam potenciais lançadores de efluentes, podendo influenciar na qualidade dos corpos hídricos receptores, reforçando a necessidade de um monitoramento contínuo e ampliado (Ismael; Rocha, 2019).

A indústria alimentícia, também local das análises deste trabalho, realiza sua captação de água (Figura 7) a jusante da estação PP-68, podendo enfrentar diversos desafios relacionados à captação e ao tratamento da água. A frequente possibilidade de contaminação por efluentes lançados a montante do ponto de captação exige, segundo Gasparotto *et al.* (2019), o monitoramento contínuo e a adoção de estratégias de gestão ambiental eficazes para mitigar os impactos da atividade agroindustrial sobre o recurso hídrico.

Figura 7 – Local de captação de água da indústria alimentícia no rio Pirapama.



Fonte: Própria do autor (2025).

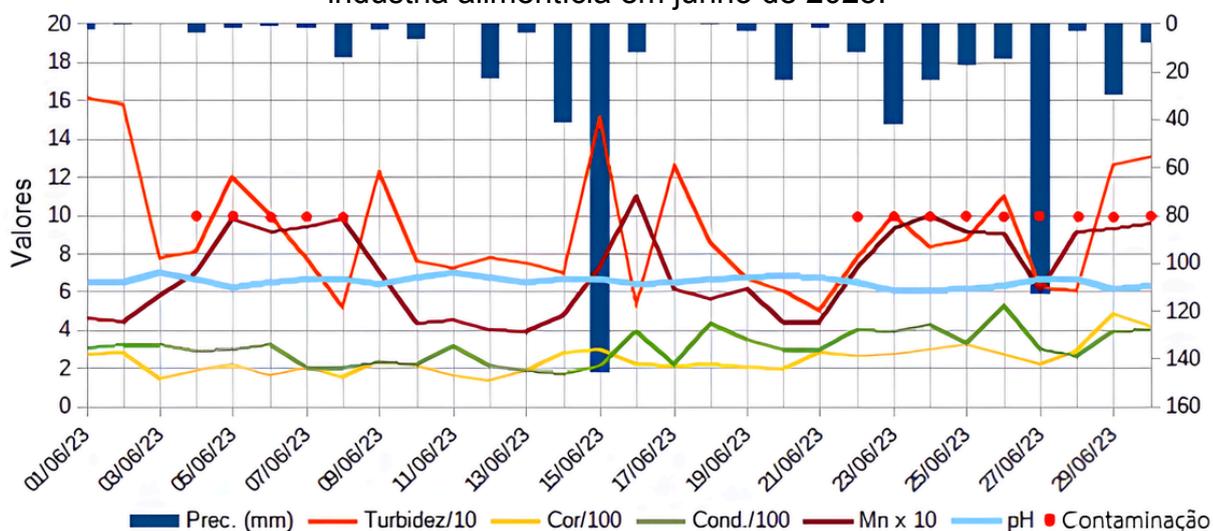
Considerando os parâmetros avaliados pela indústria alimentícia em estudo, o odor se destaca como o principal indicador da presença de vinhaça na água bruta captada. Em dias em que o odor foi registrado como não conforme, observou-se alterações consistentes em outros parâmetros físico-químicos, indicando a correlação entre a detecção olfativa e a contaminação por vinhaça no rio.

As Figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam as dinâmicas dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho). Para viabilizar a apresentação de todos os parâmetros em um único gráfico, os valores foram ajustados da seguinte maneira: Turbidez – divididos por 10; Cor – divididos por 100; Condutividade – divididos por

100; e Manganês – multiplicados por 10. Os valores dos parâmetros sem ajustes são apresentados no Apêndice B.

Em junho de 2023, durante o período chuvoso, os dias de contaminação por vinhaça resultaram, principalmente, em alterações nos parâmetros de manganês e turbidez (Figura 8). Além disso, é importante destacar o aumento da turbidez observado no dia 15 de junho de 2023, o dia mais chuvoso do mês, que não apresentou relação direta com os dias identificados de contaminação por vinhaça.

Figura 8 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em junho de 2023.

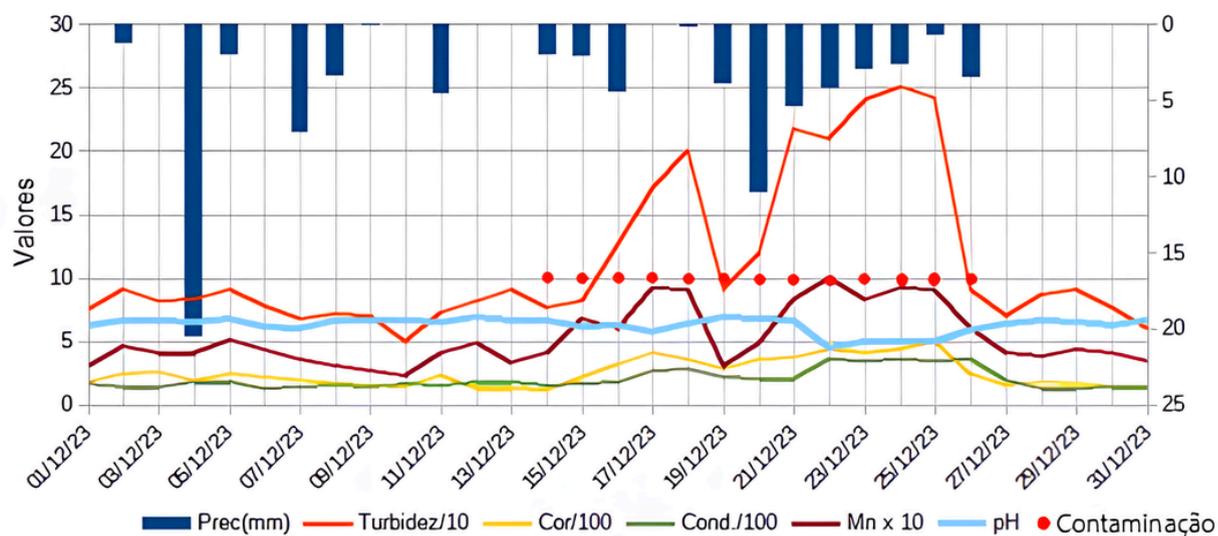


Fonte: Própria do autor (2025).

De acordo com Roloff (2006), a presença excessiva de manganês na água de captação da indústria alimentícia pode, por exemplo, interferir nas características organolépticas dos produtos, como sabor e cor, e, em casos mais graves, pode até induzir reações químicas indesejadas, como obstrução de canalização. Essa situação provoca uma diminuição na qualidade dos alimentos produzidos e a insatisfação dos consumidores.

No mês de dezembro de 2023 (Figura 9), correspondente ao período seco, a turbidez apresentou maiores alterações nos dias de contaminação. A elevação da turbidez está associada à presença de partículas em suspensão oriundas da vinhaça (Trevisoli, 2010), que requer o uso de tecnologias mais avançadas e produtos químicos específicos para o tratamento da água, implicando em custos adicionais para a indústria alimentícia.

Figura 9 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em dezembro de 2023.

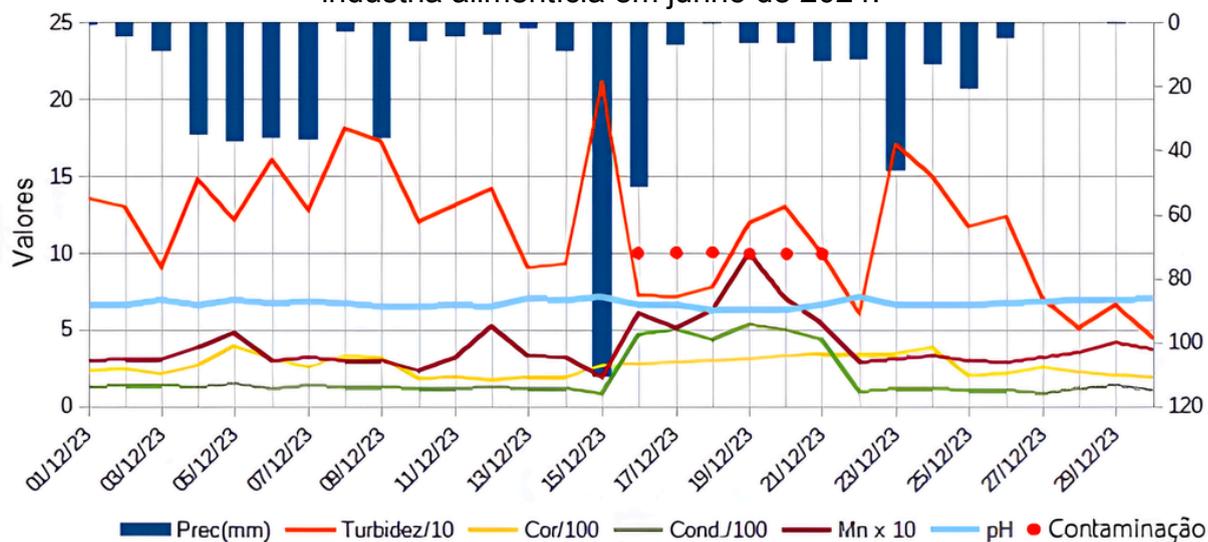


Fonte: Própria do autor (2025).

Além disso, a análise do pH demonstrou variações em função da presença de vinhaça, com valores reduzidos em períodos de contaminação. A vinhaça, em virtude de sua composição rica em ácidos orgânicos, provoca a acidificação dos corpos hídricos (Mendonça, 2023), reduzindo o pH para valores próximos a 4,5 em dezembro de 2023. Na estação de tratamento de água, essa acidificação pode afetar negativamente os coagulantes e floculantes utilizados na remoção de impurezas, tornando o processo de floculação e decantação menos eficientes.

Durante os dias identificados com contaminação por vinhaça em junho de 2024, destacam-se as alterações dos parâmetros de condutividade elétrica, manganês e cor. Por meio da Figura 10 é perceptível que as alterações da turbidez estão fortemente associadas ao período chuvoso, quando é comum o aumento de sólidos em suspensão na água. Por outro lado, o aumento da condutividade, do manganês e da cor pode ser diretamente relacionado à presença da vinhaça, que contém compostos orgânicos e minerais que, quando liberados no corpo hídrico, alteram as características químicas e físicas da água (Cardoso, 2021).

Figura 10 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em junho de 2024.

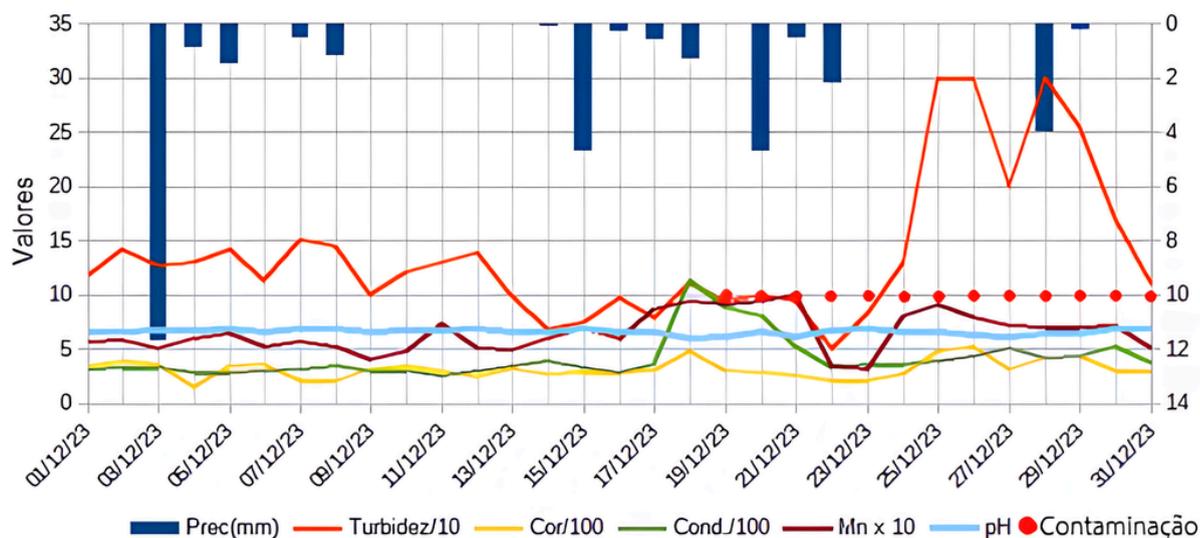


Fonte: Própria do autor (2025).

O aumento da condutividade elétrica reflete o acréscimo de sais solúveis presentes na vinhaça, o que pode impactar na qualidade da água, tornando-a mais difícil de tratar. Além disso, o aumento da cor da água é um indicativo de presença de matéria orgânica dissolvida, que pode dificultar o processo de desinfecção, como a cloração, e exigir tratamentos adicionais para garantir a potabilidade da água, essencial para o processo produtivo da indústria alimentícia.

Em dezembro de 2024 (Figura 11), assim como no período seco anterior analisado, o parâmetro mais alterado durante a contaminação por vinhaça foi a turbidez. Esse aumento na turbidez reflete a elevação na concentração de partículas em suspensão, consequência direta da adição de vinhaça ao corpo hídrico.

Figura 11 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em dezembro de 2024.



Fonte: Própria do autor (2025).

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos da indústria alimentícia em diferentes períodos sazonais revelou uma correlação de Pearson de -0,14 entre a ocorrência de precipitação e a contaminação por vinhaça, indicando uma correlação negativa e muito fraca (Vieira *et al.*, 2023). Esse resultado indica que a presença de vinhaça nos corpos hídricos não está diretamente relacionada ao escoamento superficial em períodos chuvosos, mas sim aos despejos diretos e contínuos das usinas sucroalcooleiras.

Apesar disso, Silva, Griebeler e Borges (2007) destacam que eventos de precipitação podem agravar a dispersão de vinhaça e contaminar as águas superficiais, evidenciando a necessidade de monitoramento constante em áreas sujeitas ao descarte desses efluentes industriais (Carrilho; Labuto; Kamogawa, 2016).

No caso da indústria alimentícia, a estação de tratamento de água abrange as etapas: mistura com químicos; decantação; filtro com caixa de areia; filtro com carvão ativado; reservatório; e cloração. Quando a água bruta chega à ETA contaminada por vinhaça, são necessários procedimentos específicos para sua remoção, devido à alta carga orgânica, ao pH reduzido, à coloração escura e ao odor característico desse efluente.

Inicialmente, a vazão de tratamento é reduzida de 100 m³/h para 75 m³/h, a fim de permitir um maior tempo de detenção hidráulica (TDH) e otimizar as etapas do

processo. De acordo com a NBR 12.216/1992 (ABNT, 1992), o TDH refere-se à relação entre o volume útil e a vazão da ETA, ou seja, representa o tempo médio que a água permanece nas unidades de tratamento, influenciando diretamente a eficiência dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na remoção de impurezas.

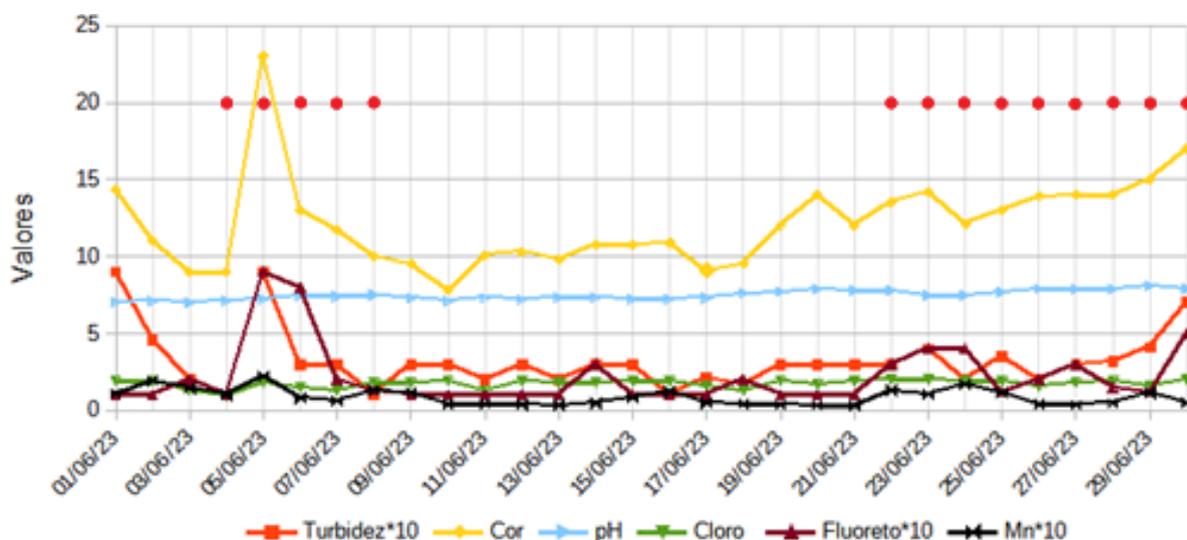
Paralelamente, as frequências das análises da qualidade da água são intensificadas, avaliando-se parâmetros como pH, condutividade, turbidez, cor e odor. Além disso, são realizados ensaios de floculação (*Jar Test*) para determinar a dosagem ideal de produtos químicos, incluindo polímeros, coagulantes e agentes oxidantes.

Diante da acidez elevada da vinhaça, há a necessidade de adição de agentes alcalinizantes, como a soda cáustica, para ajustar o pH e favorecer a remoção de contaminantes. A coagulação é intensificada com o aumento da dosagem de sulfato de alumínio e polímeros, promovendo a formação de flocos sedimentáveis que facilitam a remoção da matéria orgânica. Simultaneamente, a aplicação de cloro é ampliada tanto para controle do odor quanto para a oxidação do manganês presente na água. Para melhorar a eficiência do tratamento, os filtros de areia passam por retrolavagem frequente, enquanto os filtros de carvão ativado são isolados e regenerados a cada quatro horas, visando a remoção do odor residual.

A remoção do manganês, por sua vez, exige medidas adicionais, uma vez que esse metal permanece solúvel em condições ácidas. Assim, além da oxidação química por cloro ou hipoclorito de sódio, realiza-se a correção do pH para valores entre 8 e 9, faixa na qual a remoção do manganês por oxidação se torna mais eficiente. Após a identificação do término da contaminação, estabelece-se um prazo de 4 a 5 horas para a limpeza completa do sistema, tempo correspondente ao período de detenção hidráulica da água na ETA da indústria alimentícia.

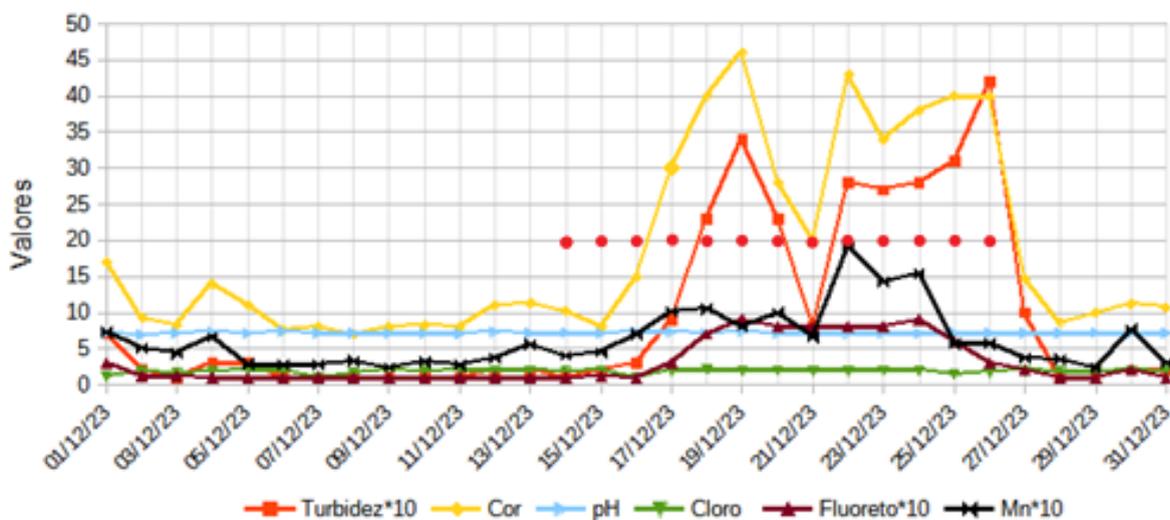
As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam as dinâmicas dos parâmetros de qualidade da água após o tratamento pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho). Para viabilizar a apresentação de todos os parâmetros em um único gráfico, os valores foram ajustados da seguinte maneira: Turbidez – multiplicados por 10; Fluoreto – multiplicados por 10; e Manganês – multiplicados por 10. Os valores dos parâmetros sem ajustes são apresentados no Apêndice C.

Figura 12 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em junho de 2023.



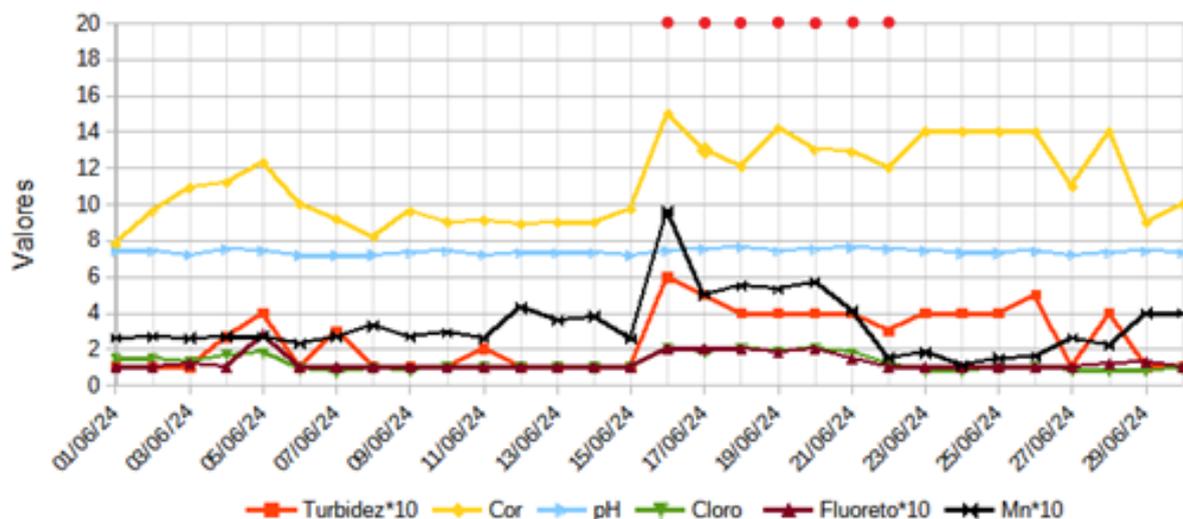
Fonte: Própria do autor (2025). Nota: Os pontos em vermelho representam os dias com contaminação de vinhaça.

Figura 13 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em dezembro de 2023.



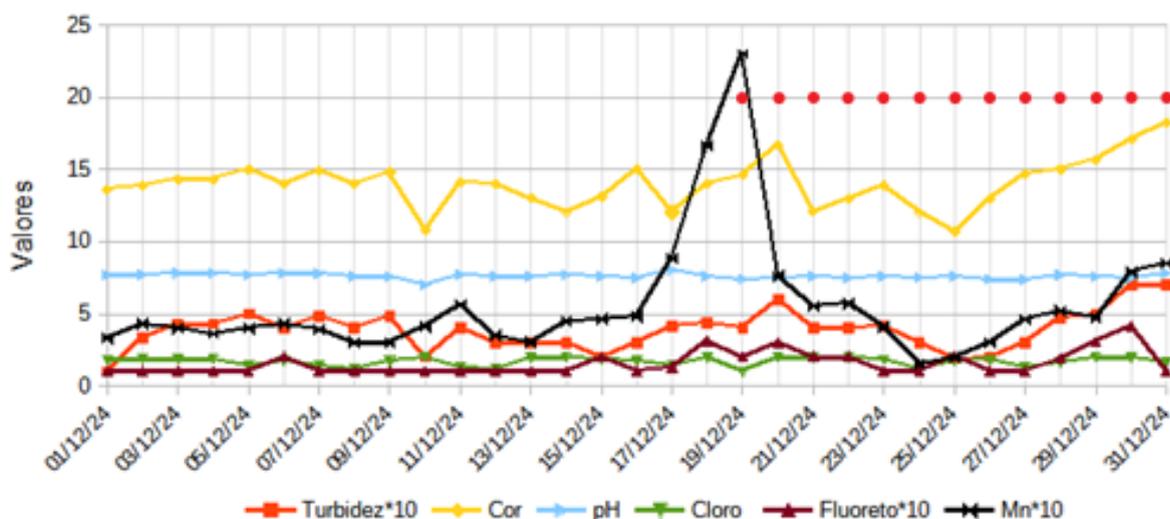
Fonte: Própria do autor (2025). Nota: Os pontos em vermelho representam os dias com contaminação de vinhaça.

Figura 14 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em junho de 2024.



Fonte: Própria do autor (2025). Nota: Os pontos em vermelho representam os dias com contaminação de vinhaça.

Figura 15 – Dinâmica dos parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em dezembro de 2024.



Fonte: Própria do autor (2025). Nota: Os pontos em vermelho representam os dias com contaminação de vinhaça.

De maneira geral, foi notado que, mesmo após o tratamento, os parâmetros de cor, turbidez e manganês apresentaram maiores variações entre os dias com e sem contaminação de vinhaça, tanto no período seco (dezembro) quanto no período chuvoso (junho). Essa ocorrência demonstra que a ETA da indústria alimentícia não possui capacidade suficiente para tratar água com altas cargas orgânicas,

evidenciando o impacto do efluente agroindustrial na dinâmica dos usos múltiplos da água na bacia hidrográfica do rio Pirapama (Dias; Barros; Souza, 2010).

As normas internas da empresa estabelecem os seguintes padrões de qualidade da água: turbidez ($<0,5$ uT); cor (< 15 uC); pH (6,0 a 9,0); cloro (0,8 a 2,0 ppm); fluoreto ($< 1,5$ ppm); e manganês ($< 0,050$ ppm). Nesse contexto, foi observado que a cor, a turbidez e o manganês também foram os parâmetros que mais frequentemente ultrapassam os limites estabelecidos, comprometendo a qualidade da água utilizada pela indústria alimentícia em seu processo produtivo. A Figura 16 apresenta amostras de água bruta e tratada em um dia de contaminação por vinhaça, evidenciando a remoção de cor no processo de tratamento.

Figura 16 – Comparação entre amostras de água bruta e tratada em dia de contaminação por vinhaça.



Fonte: Própria do autor (2025).

Conforme destacado por Simensato e Bueno (2019), a água de abastecimento incorporada ao produto final exige rigorosos padrões de potabilidade para evitar contaminações. Além disso, a presença de contaminantes microbiológicos, como coliformes termotolerantes, pode comprometer a segurança alimentar, conforme evidenciado por Volkweis *et al.* (2015). Assim, é fundamental que as indústrias adotem sistemas eficientes de monitoramento e tratamento da água, bem como explorem alternativas para o abastecimento.

Nos casos em que a contaminação por vinhaça é detectada, a indústria em estudo recorre ao fornecimento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), uma vez que a ETA da indústria apresenta limitações estruturais que comprometem a capacidade de tratamento desse tipo de poluente. Além disso, há um aumento da dosagem de cloro tanto na pré-cloração quanto na pós-cloração, visando assegurar a eliminação de contaminantes e garantir a qualidade final da água para uso no processo produtivo.

Como a ETA da indústria alimentícia não foi projetada para lidar com contaminações severas por vinhaça, a captação interna precisa ser interrompida, tornando necessário o fornecimento de água pela Compesa. Em condições normais de operação, o consumo médio de água da indústria é de 1.950 m³/dia. No entanto, durante os períodos de contaminação, esse volume é reduzido para 1.200 m³/dia, sendo totalmente suprido pela rede pública de abastecimento.

Essa mudança representa um impacto financeiro expressivo, visto que o custo médio da água tratada internamente é de R\$ 2,80/m³, enquanto a tarifa da Compesa é de R\$ 19,00/m³. Considerando o mês de dezembro de 2024 como exemplo, no qual ocorreram 13 dias de contaminação por vinhaça, o custo total com água foi estimado em R\$ 394.680,00. Em contraste, em um cenário sem contaminação, esse valor seria de aproximadamente R\$ 169.260,00 no mês, evidenciando um aumento nas despesas operacionais devido à necessidade de abastecimento externo.

A contaminação da água bruta por vinhaça demanda um tratamento mais rigoroso, exigindo ajustes nos processos para remover a alta carga orgânica, corrigir o pH e eliminar compostos que afetam a cor, a turbidez e o odor. Um dos impactos financeiros está associado à elevação do consumo de produtos químicos, como soda cáustica para ajuste de pH, sulfato de alumínio e polímeros para coagulação e floculação, além do aumento da demanda por cloro para oxidação de compostos orgânicos e controle de odor.

Além disso, surgem restrições no uso da água tratada internamente mesmo após o processo de tratamento, devido à possibilidade de comprometer a qualidade dos produtos finais. Isso pode resultar em produtos com características alteradas, como sabor, cor e textura, afetando diretamente a aceitação pelos consumidores e a conformidade com os padrões de qualidade exigidos. Como consequência, a indústria pode enfrentar a necessidade de retrabalho, desperdício de produtos ou

até mesmo o risco de contaminação cruzada, situação que prejudica ainda mais a eficiência operacional e a reputação da marca (Simensato; Bueno, 2019).

Esses procedimentos evidenciam a complexidade do tratamento da água contaminada por vinhaça e a importância de um monitoramento rigoroso para mitigar os impactos na qualidade da água e na segurança sanitária na indústria alimentícia, tornando necessários ajustes adicionais nos sistemas de tratamento para assegurar o cumprimento dos padrões exigidos para uso na produção.

Para mitigar os impactos da vinhaça na bacia do rio Pirapama, a adoção de práticas racionais de fertirrigação, considerando a capacidade do solo e recomendações técnicas, pode reduzir a contaminação do recurso hídrico (Pereira; Alquini; Gunther, 2009). Além disso, de acordo com Mendonça (2023), o investimento em tecnologias de tratamento da vinhaça, como biodigestão anaeróbia e filtração avançada, é essencial para minimizar sua carga poluente e reduzir impactos nos usos múltiplos da água.

Paralelamente, a capacitação técnica de agricultores e profissionais do setor sucroalcooleiro sobre boas práticas ambientais é fundamental para promover o uso sustentável da vinhaça, conciliando produção agrícola e conservação dos recursos hídricos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o impacto do lançamento da vinhaça na rede hidrográfica da bacia do rio Pirapama e suas implicações na captação de água para uma indústria alimentícia no Cabo de Santo Agostinho/PE. Nesse sentido, a pesquisa foi fundamentada na análise da qualidade da água da bacia, considerando os efeitos decorrentes da atividade agroindustrial no corpo hídrico e nos processos produtivos da indústria alimentícia em estudo.

Com base nos resultados obtidos, foi observado que altas cargas poluentes, majoritariamente originadas da atividade agroindustrial, impactaram os Índices de Qualidade da Água do rio Pirapama, resultando em classificações que variaram entre 14 (péssima) e 64 (boa), com predominância de valores na categoria regular.

A análise do IQA também revelou uma tendência de valores mais baixos nos períodos secos, no entanto, o pior índice (14) foi registrado durante o período chuvoso, evidenciando que a contaminação ocorre ao longo de todo o ano. A presença de vinhaça nos corpos hídricos não está diretamente associada ao escoamento superficial em períodos chuvosos, mas sim aos despejos diretos e contínuos pelas usinas sucroalcooleiras.

Os parâmetros revelaram que a contaminação por vinhaça impacta a qualidade da água utilizada pela indústria alimentícia, afetando parâmetros como turbidez, condutividade elétrica, manganês e cor, especialmente em períodos secos. Esse impacto decorre dos despejos contínuos das usinas sucroalcooleiras, e não do escoamento superficial em períodos chuvosos. Além dos desafios técnicos, os custos operacionais se elevam devido ao maior uso de produtos químicos e à necessidade de água fornecida pela Compesa.

Os resultados apresentados neste trabalho proporcionam uma visão clara sobre a interação entre a atividade industrial e a qualidade ambiental. Além disso, fornecem um diagnóstico da qualidade da água em trechos do rio Pirapama, podendo contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade dos recursos hídricos da região, bem como para incentivar a adoção de práticas sustentáveis por parte das agroindústrias.

Entretanto, este estudo apresenta algumas limitações, como a indisponibilidade de dados recentes para todas as estações de monitoramento da bacia do rio Pirapama, o que restringiu a abrangência da análise. Além disso, o período de coleta de dados pode não refletir completamente as variações sazonais que influenciam a qualidade da água na bacia, especialmente no que se refere aos impactos enfrentados pela indústria alimentícia.

Em vista disso, sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas com a ampliação da rede de monitoramento da qualidade da água ao longo da bacia do rio Pirapama, incluindo um maior número de estações e a análise de um período mais extenso, de modo a abranger diferentes sazonalidades. Ademais, é importante investigar alternativas para o tratamento de água da indústria alimentícia em questão, com ênfase na redução dos custos operacionais durante os períodos de contaminação por vinhaça, garantindo maior eficiência no processo e conformidade com os padrões de qualidade exigidos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. ABNT: Rio de Janeiro, 1992.

ALVES, L. R. Filtração e microfiltração na produção de açúcar comercial sem tratamento químico. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, [s. l.], v. 8, p. e021022, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/444>. Acesso em: 5 mar. 2025.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas - GL-2**. Recife: APAC, 2024. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-gl-2/185-bacias-hidrograficas-gl-2/223-gl-2>. Acesso em: 08 dez. 2024.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Pluviométrico**. Recife: APAC, 2025. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 23 fev. 2025.

ARAÚJO, C. R. A. **Índice de qualidade de efluente com ponderação de variáveis por método objetivo**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75844>. Acesso em: 05 mar. 2025.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005, n. 53, Seção 1, p. 58-63. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 05 mar. 2025.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 de fevereiro de 1986, p. 2548-2549. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 05 mar. 2025.

CARDOSO, E. N. L. **Impactos da aplicação da vinhaça por longo período em solos de textura argilosa e arenosa**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/f8efa47e-5988-49f6-a2d4-5a1a55e27dd7>. Acesso em: 05 mar. 2025.

CARRILHO, E. N. V. M.; LABUTO, G.; KAMOGAWA, M. Y. Chapter 2 - Destination of Vinasse, a Residue From Alcohol Industry: Resource Recovery and Prevention of Pollution. **Environmental Materials and Waste**, [s. l.], 2016, p. 21-43. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128038376000020>. Acesso em: 05 mar. 2025.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **IQA - Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2024.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinhaca_-Critérios-e-procedimentos-para-aplicacao-no-solo-agricola-3a-Ed-2a-VERSAO.pdf. Acesso em: 05 mar. 2025.

COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M.; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A.; SOTERO-MARTINS, A. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/q6YqwDvZ5ctjNMYs3fzD8bg/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 mar. 2025.

CORAZZA, R. I. Impactos ambientais da vinhaça: Controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação? *In*: CONGRESSO DA SOBER, 44., 2006, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/147314/?v=pdf>. Acesso em: 05 mar. 2025.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente. **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2024. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/monitoramento-ambiental/qualidade-da-agua/bacias-hidrograficas/relatorio-bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

DIAS, T. F.; BARROS, H. O. M.; SOUZA, W. J. Cobrança pelo uso da água: visões a partir dos membros do comitê de bacia hidrográfica do rio Pirapama - Pernambuco. **Revista Alcance**, [s. l.], v. 17, n. 4, 2010. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/ra/article/view/1401>. Acesso em: 05 mar. 2025.

FERREIRA, T. M.; CHANG, H. K.; SOTO, M. A. A. Avaliação da aplicação de vinhaça em solo arenoso da Formação Rio Claro. **Águas Subterrâneas**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 354-363, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29208>. Acesso em: 05 mar. 2025.

FIALHO, M. L.; CARNEIRO, A. P. C.; REIS, K. P.; CAMPOS, O. N.; FRANCO, M. V. O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol –

poluição ambiental. **Intr@Ciência Revista Científica**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190312105011.pdf. Acesso em: 05 mar. 2025.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. 1 ed. [S. l.]: Editora Agropecuária, 2000. 203 p.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 145, p. 210-229, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479714003351>. Acesso em: 05 mar. 2025.

FUESS, L. T.; ZAIAT, M. Economics of anaerobic digestion for processing sugarcane vinasse: Applying sensitivity analysis to increase process profitability in diversified biogas applications. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 115, p. 2-37, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017302501>. Acesso em: 05 mar. 2025.

GAMA, A. M. C. F. **Avaliação da agenda 21 da bacia hidrográfica do Rio Pirapama**. 2003. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6733>. Acesso em: 05 mar. 2025.

GASPAROTTO, F.; SILVA, M. T.; WATANABE, A. Y. M.; MARTINS, G. M.; SILVA, C. N.; SCHMIDT FILHO, E. Setor sucroenergético e estratégias microbiológicas para mitigação dos impactos ambientais da aplicação da vinhaça. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2019. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.001.0020>. Acesso em: 05 mar. 2025.

GUNKEL, G.; KOSMOL, J.; SOBRAL, M.; ROHN, H.; MONTENEGRO, S.; AURELIANO, J. Sugar Cane Industry as a Source of Water Pollution – Case Study on the Situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, [s. l.], v. 180, p. 261–269, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-006-9268-x>. Acesso em: 05 mar. 2025.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7LBML5>. Acesso em: 05 mar. 2025.

ISMAEL, L. L.; ROCHA, E. M. R. Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 24, n. 12, 2019. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csc/a/nTYj769VkwST6JSCnPYnWZG/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 05 mar. 2025.

LAIME, E. M.; FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, D. C. S.; FREIRE, E. A. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, [s. l.], v. 5, n. 3, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.0000/rtcab.v5i3.260>. Acesso em: 05 mar. 2025.

LARSON FILHO, L.; OLIVEIRA, G. A.; MARQUES, L. G.; SANTOS JUNIOR, J. A.; ALVES, J. S.; MEDRANO, M. C. F.; SILVA, K. H.; ARAÚJO, L. A. Potencial da vinhaça como biofertilizante e fonte de geração de energia renovável do tipo biogás. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, [s. l.], v. 22, n. 6, e5126. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-067>. Acesso em: 05 mar. 2025.

LEÃO, D. A.; BOLZANI, H. R.; OLIVEIRA, D. L. A.; POMPEI, C. M. R. Lixiviação de nutrientes e alteração das propriedades químicas de solos submetidos à aplicação de vinhaça associada à torta de filtro. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 421-436, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/45204>. Acesso em: 05 mar. 2025.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/124215>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MAIA, M. R. R.; NUNES, A. B. A. Utilização de métodos para a avaliação do índice de estado trófico de um açude no semiárido cearense. **Revista DAE**, São Paulo, v. 72, n. 246, p. 01-11, 2024. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/artigo/2248-Utilizacao-de-metodos-para-a-avaliacao-do-estado-trofico-de-um-acude-no-semiarido-cearense>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MARINHO, J. F. U.; CORREIA, J. E.; MARCATO, A. C. C.; PEDRO-ESCHER, J.; FONTANETTI, C. S. Sugar cane vinasse in water bodies: impact assessed by liver histopathology in tilapia. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [s. l.], v. 110, p. 239-245, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.010>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V. *et al.* (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-375.

MAZIER JUNIOR, H. **Modelagem dinâmica do processo de geração, armazenamento e distribuição de vinhaça em uma unidade sucroenergética**. 2023. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2023. Disponível em: <https://bdtd.uftm.edu.br/handle/123456789/1515>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MASQUIO, E. B.; SANTO, G. S. E.; FERNANDES, G. V.; DUTRA, G. P. D. **Extração e determinação do potássio presente na vinhaça utilizando tetrafenilborado de sódio e cromatografia de troca-iônica**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) - ETEC Professor Armando José Farinazzo, Fernandópolis, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/17894>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MENDONÇA, N. F. **Avaliação dos impactos ambientais associados à inserção do sistema de biodigestão anaeróbia ao processamento da vinhaça em biorrefinarias de cana-de-açúcar**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-17042023-081931/pt-br.php>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MELO, S. R. P. **Índice de qualidade das águas (IQA) em bacias hidrográficas sob aplicação de vinhaça**. 2024. Dissertação (Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4510>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MILANEZ, A. Y.; SOUZA, J. A. P.; MANCUSO, R. V. Panoramas setoriais 2030: sucroenergético. *In: Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p. 107-121. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14245>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MONTEIRO, V. N.; NERES, I.; VIANA, L.; SANTOS, L. Redução de consumo de água em cervejarias: importância da implementação de um programa de gestão de águas em indústria cervejeira. **Apoena**, [s. l.], v. 6, p. 404-422. Disponível em: <https://publicacoes.unijorge.com.br/apoena/article/view/390>. Acesso em: 01 mar. 2025.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 44, p. 888-903, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115000337>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da Bacia do Rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5640>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MOURA, L. M. **Estudo Teórico da Viabilidade Energética e Econômica a Partir da Conversão de Vinhaça a Biogás Produzida no Brasil**. 2022. Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/33611>. Acesso em: 05 mar. 2025.

PAULA, R. C.; BASSETTI, F. J. Alternativas sustentáveis ao uso da vinhaça: uma revisão. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 186-197, 2022. Disponível em:

<https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/7014/3691>. Acesso em: 01 mar. 2025.

PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; ALBUQUERQUE, P. H. S.; CUNHA, A. C. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.197-201, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xxFnjd4gsqKgvzNStrQjicS/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PEREIRA FILHO, M. D.; ARAÚJO, M. S. F.; NÓBREGA, A. R. S.; LIMA, M. G. M.; PINTO, Y. M. F.; COSTA, M. V. P.; SABOYA, L. M. F.; SILVA, A. A. R. Indicadores de qualidade de água de efluente urbano para uso na irrigação. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 683–693, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-038>. Acesso em: 05 mar. 2025.

PEREIRA, M. C.; ALQUINI, F.; GUNTHER, W. M. R. Fertirrigação com vinhaça, aspectos técnicos, ambientais e normativos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: ABRHidro, 2009. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10869>. Acesso em: 21 mar. 2025.

PESSOA NETO, A. G. Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Pirapama, em Pernambuco. **Geoconexões**, [s. l.], v. 1, n. 15, 2023. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/14786>. Acesso em: 05 mar. 2025.

ROLOFF, T. C. Efeitos da não aplicação do controle de qualidade da água nas indústrias alimentícias. **Revista de Saúde e Biologia**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2006. Disponível em: <http://68.183.29.147/revista/index.php/sabios/article/view/15>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SANTOS, G. A. M. **Comunidades zooplancônicas em um gradiente de vinhaça**. 2019. Monografia (Graduação em Gestão e Análise Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/20691>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SILVA, G. A. **Avaliação das tecnologias de disposição de vinhaça de cana-de-açúcar quanto ao aspecto de desenvolvimento ambiental e econômico**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.britems/8f8f036a-c79f-44dd-a7bc-2e443fef2aca>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 108-114, jan. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vxTJ6yw3YP7bsCx7qC3Qcdj/?lang=pt>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SIMENSATO, L. A.; BUENO, S. M. Importância da qualidade da água na indústria de alimentos. **Revista Científica Unilago**, São José do Rio Preto, v. 1, n.1, 2019.

Disponível em:

<https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/204>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOUSA, C. M. **Avaliação dos impactos gerados pela vinhaça bruta e após ajuste de ph, em representantes da fauna edáfica**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/158310>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SOUSA, E. A. F. **Simulador do reator UASB para conversão de vinhaça em biogás**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2014. Disponível em: <https://bdtd.ufm.edu.br/handle/tede/186>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SOUSA, T. B.; HERRERA, V. E.; TAROCO, D.; BELOTTI, C.; MIYABARA, R. N. Os impactos da adoção da produção mais limpa como estratégia de gestão ambiental em uma indústria sucroalcooleira. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ENEGEP, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Thales-Sousa/publication/326274591_OS_IMPACTOS_DA_ADOCAO_DA_PRODUCAO MAIS LIMPA COMO ESTRATEGIA DE GESTAO AMBIENTAL EM UMA INDUSTRIA SUCROALCOOLEIRA/links/5b43e80eaca2728a0d689937/OS-IMPACTOS-DA-ADOCADO-DA-PRODUCAO-MAIS-LIMPA-COMO-ESTRATEGIA-DE-GESTAO-AMBIENTAL-EM-UMA-INDUSTRIA-SUCROALCOOLEIRA.pdf. Acesso em: 05 mar. 2025.

VIANA, J. F. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; SILVA, R. M.; SOUSA, W. S. Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama-PE utilizando o modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 155-172, 2018. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1709>. Acesso em: 05 mar. 2025.

TAVARES, L. R.; GOMES, J. P. A.; PERMANHE, G.; OLIVEIRA, F. S. Práticas agroecológicas na preservação dos recursos hídricos: como os macroinvertebrados bentônicos respondem às alterações de qualidade da água. *In*: Souza, M. N (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Canoas: Mérida Publishers, 2021, cap. 7, p. 276-302. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353818118_Praticas_agroecologicas_na_preservacao_dos_recursos_hidricos_como_os_macroinvertebrados_bentonicos_respondem_as_alteracoes_de_qualidade_da_agua. Acesso em: 05 mar. 2025.

TERRA, J. V. F. A.; OLIVEIRA, V. P. S.; NUNES, C. R. O.; ARAÚJO, T. M. R. Análise de qualidade de água no município de São João da Barra-RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 36–47, 2024. Disponível em:

<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/23418>. Acesso em: 05 mar. 2025.

TEIXEIRA JUNIOR, J. C. **Roteiro de Estudo: Operações Unitárias na Produção de Açúcar e Álcool**, 2015. Disponível em: <https://docslide.com.br/documents/operacoes-unitarias-na-producao-de-acucar-e-alc-ool-rev21.html>. Acesso em: 06 dez. 2024.

TREVISOLI, A. M. S. **Estudo experimental da microfiltração tangencial com membrana cerâmica aplicada na clarificação da vinhaça**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-17122010-080637/>. Acesso em: 05 mar. 2025.

VERMA, S. R.; DALALA, R. C. Toxicity of distillery wastes to *Puntius sophore* (HAM.) and *Mystus Vittatus* (BLOCH) (Pisces, Cyprinidae, Bagridae) Part 3: Bioassay studies and TLM determination. **Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica**, [s. l.], v. 4, 534–547, 1976. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Toxicity-of-distillery-wastes-to-Puntius-sophore-3%3A-Verma-Dalela/427b184bdb9740124434e47597f8c2f7f8f6ca78>. Acesso em: 05 mar. 2025.

VIDAL, F. **Produção e mercado de etanol**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1196>. Acesso em: 05 mar. 2025.

VIDAL, M. F. **Açúcar: cenário mundial e situação de produção no brasil e no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/765>. Acesso em: 05 mar. 2025.

VIEIRA, V. C.; COSTA, C. T. F.; TAVARES, P. R. L.; SOUZA, R. B. Investigação da qualidade das águas situadas nas nascentes da Chapada do Araripe através da análise de correlação entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos. **Revista Científica Multidisciplinar**, [s. l.], v. 4, n. 9, p. e494118, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i9.4118. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4118>. Acesso em: 23 fev. 2025.

VOLKWEIS, D. S. H.; LAZZARETTI, J.; BOITA, E. R. F.; BENETTI, F. Microbiological quality water used in food production in the municipality of family agribusinesses Constantina/RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s. l.], v. 19, p. 18–26, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19182>. Acesso em: 05 mar. 2025.

APÊNDICE A – Parâmetros de qualidade da água da bacia do rio Pirapama nas estações de monitoramento avaliadas nos anos de 2021 e 2022.

Parâmetro	jan/21	abr/21	jul/21	out/21	jan/22	abr/22	jul/22	out/22
PP-20								
C. F. (NMP/100mL)	450	92000*	11000*	>160000*	>160000*	>160000*	7900*	>160000*
pH	6,81	6,96	6,99	6,89	6,19	5,75	7,18	6,75
DBO (mg O ₂ /L)	1,8	10,8*	1,39	187,98*	173,39*	665,94*	0,95	46,31*
N. T. (mg/L)	0,346	0,13	0,207	0,13	0,13	0,13	0,186	0,13
P. T. (mg/L)	0,045	0,31	0,146	0,253	0,284	0,38	0,055	0,249
Temp. (°C)	30	24	23	22	27	27	27	28
Turbidez (uT)	10	20	30	25	74	790*	35,8	120*
Sólidos T. (mg/L)	77	152	137	191	415	1428	178	264
OD (mg O ₂ /L)	5,89	2,5*	6,4	0*	0*	0,1*	7,07	2,04*
OD (% sat.)	78	30	75	0	0	1	127	23
Pluviometria ¹ (mm)	15,1	118,5**	75,5**	30,7	104,1	165,1**	158,8**	27,7
PP-42								
C. F. (NMP/100mL)	13000*	22000*	6300*	92000*	13000*	92000*	13000*	3800*
pH	7,15	7,28	7,23	7,22	7,04	6,92	7,28	7,02
DBO (mg O ₂ /L)	1,8	1,2	0,78	3,38	6,85*	53,32*	0,6	2,31
N. T. (mg/L)	0,402	0,13	0,186	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
P. T. (mg/L)	0,073	0,25	0,062	0,155	0,169	0,751	0,03	0,099
Temp. (°C)	28	25	29	24	26	28	27	28
Turbidez (uT)	10	15	25	15	21	40	35,6	25
Sólidos T. (mg/L)	94	102	89	79	148	167	140	114
OD (mg O ₂ /L)	5,89	6,9	7,37	6,57	3,49*	4,08*	7	5,85
OD (% sat.)	75	84	96	78	43	52	126	75
Pluviometria ² (mm)	93,6	494,2**	265,2**	60	216,8	164,3**	296,8**	69,9
PP-68								
C. F. (NMP/100mL)	180	35000*	4900*	680	>160000*	200	2700*	11000*
pH	6,6	6,78	6,67	6,74	6,44	6,82	6,99	6,67
DBO (mg O ₂ /L)	13,95*	4,2	1,86	1,72	26,21*	5,55*	0,92	5,86*
N. T. (mg/L)	0,13	0,22	0,218	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
P. T. (mg/L)	0,198	0,36	0,16	0,19	0,362	0,741	0,126	0,27
Temp. (°C)	30	24	25	25	27	28	28	28
Turbidez (uT)	30	50	200*	20	120*	50	67,6	20
Sólidos T. (mg/L)	1125	139	89	67	236	66	148	95
OD (mg O ₂ /L)	1*	4,1*	6,2	4,93*	0,53*	5,65	6,69	3,71*
OD (% sat.)	13	49	75	60	7	72	122	48
Pluviometria ² (mm)	93,6	494,2**	265,2**	60	216,8	164,3**	296,8**	69,9

Fonte: CPRH (2024). Nota: C.F. - Coliformes Termotolerantes; N.T. = Nitrogênio Total (dado pela soma de Nitrato e Nitrito); P.T. - Fósforo Total; *Parâmetros em desacordo com os padrões de águas doces Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05; **Período Chuvoso; ¹ - Fonte APAC, Estação IPA (26) em Vitória de Santo Antão; ² - Fonte APAC, Estação Barragem de Gurjaú (26) em Cabo de Santo Agostinho.

APÊNDICE B – Parâmetros de qualidade da água bruta captada pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho).

Data	pH	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Manganês (mg/L)	Odor*
Junho/2023						
01/06/2023	6,5	161	273	307	0,457	Ok
02/06/2023	6,5	158	279	320	0,441	Ok
03/06/2023	7,0	77	140	320	0,580	Ok
04/06/2023	6,6	81	188	290	0,700	Não ok
05/06/2023	6,2	120	220	300	0,977	Não ok
06/06/2023	6,5	100	160	320	0,910	Não ok
07/06/2023	6,6	77	205	200	0,940	Não ok
08/06/2023	6,6	52	148	199	0,981	Não ok
09/06/2023	6,4	123	238	231	0,706	Ok
10/06/2023	6,7	76	210	220	0,430	Ok
11/06/2023	7,0	72	157	310	0,450	Ok
12/06/2023	6,7	77	137	210	0,400	Ok
13/06/2023	6,5	75	188	185	0,390	Ok
14/06/2023	6,6	70	280	170	0,477	Ok
15/06/2023	6,6	151	293	210	0,730	Ok
16/06/2023	6,4	53	221	391	1,100	Ok
17/06/2023	6,5	126	207	216	0,610	Ok
18/06/2023	6,6	85	220	431	0,563	Ok
19/06/2023	6,7	66	200	350	0,610	Ok
20/06/2023	6,8	60	197	299	0,440	Ok
21/06/2023	6,7	50	280	295	0,443	Ok
22/06/2023	6,5	77	265	400	0,720	Não ok
23/06/2023	6,0	100	273	393	0,930	Não ok
24/06/2023	6,0	83	293	421	0,992	Não ok
25/06/2023	6,1	87	326	330	0,910	Não ok
26/06/2023	6,3	110	269	530	0,900	Não ok
27/06/2023	6,6	62	220	300	0,600	Não ok
28/06/2023	6,6	60	290	260	0,910	Não ok
29/06/2023	6,1	126	480	390	0,925	Não ok
30/06/2023	6,3	130	415	395	0,950	Não ok
Dezembro/2023						
01/12/2023	6,3	75	180	163	0,301	Ok
02/12/2023	6,6	90	238	138	0,461	Ok
03/12/2023	6,6	82	249	139	0,411	Ok
04/12/2023	6,5	83	194	180	0,400	Ok
05/12/2023	6,7	90	240	170	0,510	Ok
06/12/2023	6,1	78	216	130	0,431	Ok
07/12/2023	6,0	68	188	135	0,361	Ok
08/12/2023	6,6	71	160	145	0,300	Ok
09/12/2023	6,6	70	150	140	0,270	Ok
10/12/2023	6,6	50	140	160	0,230	Ok
11/12/2023	6,5	73	226	147	0,411	Ok
12/12/2023	6,9	82	127	170	0,480	Ok
13/12/2023	6,6	90	130	174	0,325	Ok
14/12/2023	6,6	77	117	150	0,403	Não ok
15/12/2023	6,1	81	218	165	0,673	Não ok
16/12/2023	6,2	127	320	179	0,595	Não ok
17/12/2023	5,7	170	410	260	0,920	Não ok
18/12/2023	6,4	200	350	284	0,900	Não ok
19/12/2023	6,9	90	280	210	0,300	Não ok
20/12/2023	6,7	120	357	195	0,482	Não ok

21/12/2023	6,6	217	371	200	0,831	Não ok
22/12/2023	4,5	210	430	350	0,998	Não ok
23/12/2023	4,9	240	400	336	0,830	Não ok
24/12/2023	5,0	250	435	354	0,914	Não ok
25/12/2023	4,9	241	490	340	0,910	Não ok
26/12/2023	5,8	90	244	360	0,600	Não ok
27/12/2023	6,4	70	150	190	0,408	Ok
28/12/2023	6,6	87	181	130	0,378	Ok
29/12/2023	6,5	90	160	124	0,431	Ok
30/12/2023	6,3	77	133	138	0,410	Ok
31/12/2023	6,6	60	141	135	0,339	Ok
Junho/2024						
01/06/2024	6,6	135	230	128	0,300	Ok
02/06/2024	6,6	130	245	138	0,310	Ok
03/06/2024	6,9	90	208	131	0,310	Ok
04/06/2024	6,6	148	261	130	0,381	Ok
05/06/2024	6,9	121	393	149	0,481	Ok
06/06/2024	6,7	161	302	120	0,301	Ok
07/06/2024	6,8	128	258	141	0,321	Ok
08/06/2024	6,7	181	323	121	0,300	Ok
09/06/2024	6,5	173	312	130	0,298	Ok
10/06/2024	6,5	120	180	120	0,234	Ok
11/06/2024	6,6	131	188	120	0,320	Ok
12/06/2024	6,5	142	173	129	0,520	Ok
13/06/2024	7,0	90	192	111	0,330	Ok
14/06/2024	6,9	93	190	111	0,320	Ok
15/06/2024	7,1	211	260	78	0,190	Ok
16/06/2024	6,6	72	270	470	0,600	Não ok
17/06/2024	6,6	71	280	497	0,510	Não ok
18/06/2024	6,3	78	291	431	0,631	Não ok
19/06/2024	6,3	119	310	526	1,000	Não ok
20/06/2024	6,3	130	329	501	0,701	Não ok
21/06/2024	6,6	100	336	431	0,536	Não ok
22/06/2024	7,1	61	343	97	0,282	Ok
23/06/2024	6,6	170	340	118	0,311	Ok
24/06/2024	6,6	150	380	120	0,331	Ok
25/06/2024	6,6	117	199	99	0,300	Ok
26/06/2024	6,7	123	212	105	0,288	Ok
27/06/2024	6,8	70	250	80	0,320	Ok
28/06/2024	6,9	51	221	110	0,350	Ok
29/06/2024	6,9	66	200	132	0,410	Ok
30/06/2024	7,0	44	185	106	0,370	Ok
Dezembro/2024						
01/12/2024	6,6	118	347	317	0,561	Ok
02/12/2024	6,6	141	378	324	0,578	Ok
03/12/2024	6,7	127	361	328	0,500	Ok
04/12/2024	6,7	130	151	281	0,591	Ok
05/12/2024	6,8	141	338	281	0,631	Ok
06/12/2024	6,6	113	350	301	0,520	Ok
07/12/2024	6,8	150	200	310	0,570	Ok
08/12/2024	6,9	144	200	340	0,520	Ok
09/12/2024	6,6	100	310	300	0,399	Ok
10/12/2024	6,7	121	338	293	0,470	Ok
11/12/2024	6,7	129	301	251	0,731	Ok
12/12/2024	6,8	138	240	302	0,510	Ok
13/12/2024	6,6	98	310	334	0,490	Ok
14/12/2024	6,6	68	261	380	0,590	Ok

15/12/2024	6,8	74	287	330	0,681	Ok
16/12/2024	6,6	97	282	277	0,600	Ok
17/12/2024	6,5	79	290	360	0,855	Ok
18/12/2024	6,0	110	481	1138	0,931	Ok
19/12/2024	6,1	93	300	880	0,900	Não ok
20/12/2024	6,6	100	273	808	0,931	Não ok
21/12/2024	6,1	93	243	518	1,000	Não ok
22/12/2024	6,7	50	200	330	0,340	Não ok
23/12/2024	6,9	82	198	360	0,307	Não ok
24/12/2024	6,6	130	270	360	0,800	Não ok
25/12/2024	6,5	300	470	390	0,900	Não ok
26/12/2024	6,3	300	518	431	0,780	Não ok
27/12/2024	6,1	200	313	510	0,710	Não ok
28/12/2024	6,4	300	410	420	0,700	Não ok
29/12/2024	6,4	255	425	435	0,702	Não ok
30/12/2024	6,9	170	300	513	0,713	Não ok
31/12/2024	6,9	110	297	370	0,510	Não ok

Nota: *O termo "ok" se refere ao dia sem contaminação da água por vinhaça, enquanto o termo "não ok" representa o dia com contaminação da água por vinhaça.

APÊNDICE C – Parâmetros de qualidade da água tratada pela indústria alimentícia em períodos secos (dezembro) e chuvosos (junho).

Data	Turbidez (uT)	Cor (uC)	pH	Cloro (ppm)	Fluoreto (ppm)	Manganês (ppm)	Odor*
Junho/2023							
01/06/2023	0,90	14,3	7,0	1,9	0,10	0,107	Ok
02/06/2023	0,46	11,0	7,1	1,9	0,10	0,192	Ok
03/06/2023	0,20	9,0	7,0	1,3	0,20	0,142	Ok
04/06/2023	0,10	9,0	7,1	0,9	0,10	0,100	Não ok
05/06/2023	0,90	23,0	7,2	1,8	0,90	0,220	Não ok
06/06/2023	0,30	13,0	7,4	1,5	0,80	0,080	Não ok
07/06/2023	0,30	11,7	7,4	1,3	0,20	0,062	Não ok
08/06/2023	0,10	10,0	7,5	1,8	0,13	0,130	Não ok
09/06/2023	0,30	9,5	7,3	1,8	0,10	0,116	Ok
10/06/2023	0,30	7,8	7,1	1,9	0,10	0,041	Ok
11/06/2023	0,20	10,1	7,3	1,3	0,10	0,043	Ok
12/06/2023	0,30	10,3	7,2	1,9	0,10	0,037	Ok
13/06/2023	0,20	9,8	7,3	1,8	0,10	0,034	Ok
14/06/2023	0,30	10,8	7,3	1,8	0,30	0,047	Ok
15/06/2023	0,30	10,8	7,2	1,9	0,10	0,084	Ok
16/06/2023	0,10	10,9	7,2	1,9	0,10	0,124	Ok
17/06/2023	0,21	9,1	7,3	1,6	0,10	0,050	Ok
18/06/2023	0,17	9,5	7,6	1,3	0,20	0,042	Ok
19/06/2023	0,30	12,0	7,7	1,9	0,10	0,036	Ok
20/06/2023	0,30	14,0	7,9	1,7	0,10	0,034	Ok
21/06/2023	0,30	12,0	7,8	1,9	0,10	0,034	Ok
22/06/2023	0,30	13,5	7,8	2,0	0,30	0,130	Não ok
23/06/2023	0,40	14,2	7,5	2,0	0,40	0,105	Não ok
24/06/2023	0,20	12,1	7,5	1,9	0,40	0,169	Não ok
25/06/2023	0,35	13,0	7,7	1,9	0,12	0,115	Não ok
26/06/2023	0,20	13,9	7,9	1,6	0,20	0,040	Não ok
27/06/2023	0,30	14,0	7,9	1,8	0,30	0,036	Não ok
28/06/2023	0,32	14,0	7,9	1,9	0,15	0,048	Não ok
29/06/2023	0,41	15,0	8,1	1,6	0,12	0,115	Não ok
30/06/2023	0,70	17,0	7,9	2,0	0,50	0,047	Não ok
Dezembro/2023							
01/12/2023	0,70	17,0	7,2	1,20	0,30	0,073	Ok
02/12/2023	0,22	9,3	7	1,90	0,12	0,051	Ok
03/12/2023	0,10	8,3	7,2	1,60	0,12	0,043	Ok
04/12/2023	0,30	14,0	7,3	1,90	0,10	0,066	Ok
05/12/2023	0,30	11,0	7,1	2,10	0,10	0,028	Ok
06/12/2023	0,10	7,6	7,4	2,00	0,10	0,028	Ok
07/12/2023	0,10	8,0	7,2	1,00	0,10	0,028	Ok
08/12/2023	0,10	7,0	7,2	1,70	0,10	0,033	Ok
09/12/2023	0,10	8,0	7,1	2,00	0,10	0,024	Ok
10/12/2023	0,10	8,2	7,1	1,80	0,10	0,032	Ok
11/12/2023	0,10	8,0	7,1	2,00	0,10	0,027	Ok
12/12/2023	0,20	11,0	7,3	2,00	0,10	0,037	Ok
13/12/2023	0,20	11,3	7,2	2,00	0,10	0,056	Ok
14/12/2023	0,10	10,2	7,2	1,90	0,10	0,040	Não ok
15/12/2023	0,20	8,0	7,1	2,00	0,12	0,045	Não ok
16/12/2023	0,30	14,9	7,3	1,00	0,10	0,070	Não ok
17/12/2023	0,90	30,0	7,3	2,00	0,30	0,101	Não ok
18/12/2023	2,30	40,0	7,1	2,20	0,70	0,105	Não ok
19/12/2023	3,40	46,0	7,3	2,00	0,90	0,081	Não ok
20/12/2023	2,30	28,0	7,2	2,00	0,80	0,100	Não ok

21/12/2023	0,80	20,0	7,2	2,00	0,80	0,066	Não ok
22/12/2023	2,80	43,0	7,1	2,00	0,80	0,191	Não ok
23/12/2023	2,70	34,0	7,2	2,00	0,80	0,143	Não ok
24/12/2023	2,80	38,0	7,1	2,00	0,90	0,154	Não ok
25/12/2023	3,10	40,0	7,2	1,50	0,60	0,057	Não ok
26/12/2023	4,20	40,0	7,2	1,80	0,30	0,057	Não ok
27/12/2023	1,00	14,7	7,2	2,00	0,20	0,037	Ok
28/12/2023	0,10	8,6	7,2	1,90	0,10	0,035	Ok
29/12/2023	0,10	9,9	7,2	1,80	0,10	0,023	Ok
30/12/2023	0,20	11,2	7,2	2,00	0,20	0,077	Ok
31/12/2023	0,20	10,7	7,2	1,90	0,10	0,030	Ok
Junho/2024							
01/06/2024	0,10	7,8	7,4	1,50	0,10	0,026	Ok
02/06/2024	0,10	9,6	7,4	1,50	0,10	0,027	Ok
03/06/2024	0,10	10,9	7,2	1,30	0,12	0,026	Ok
04/06/2024	0,27	11,2	7,5	1,70	0,10	0,027	Ok
05/06/2024	0,40	12,3	7,4	1,80	0,28	0,027	Ok
06/06/2024	0,10	10,0	7,2	0,90	0,10	0,023	Ok
07/06/2024	0,30	9,2	7,2	0,70	0,10	0,027	Ok
08/06/2024	0,10	8,2	7,2	0,90	0,10	0,033	Ok
09/06/2024	0,10	9,6	7,3	0,80	0,10	0,027	Ok
10/06/2024	0,10	9,0	7,4	1,00	0,10	0,029	Ok
11/06/2024	0,20	9,1	7,2	1,00	0,10	0,026	Ok
12/06/2024	0,10	8,9	7,3	1,00	0,10	0,043	Ok
13/06/2024	0,10	9,0	7,3	1,00	0,10	0,036	Ok
14/06/2024	0,10	9,0	7,3	1,00	0,10	0,038	Ok
15/06/2024	0,10	9,7	7,2	1,00	0,10	0,026	Ok
16/06/2024	0,60	15,0	7,4	2,00	0,20	0,096	Não ok
17/06/2024	0,50	13,0	7,5	1,80	0,20	0,050	Não ok
18/06/2024	0,40	12,1	7,6	2,00	0,20	0,055	Não ok
19/06/2024	0,40	14,2	7,4	1,90	0,18	0,053	Não ok
20/06/2024	0,40	13,0	7,5	2,00	0,20	0,057	Não ok
21/06/2024	0,40	12,9	7,6	1,80	0,15	0,041	Não ok
22/06/2024	0,30	12,0	7,5	1,20	0,10	0,015	Ok
23/06/2024	0,40	14,0	7,4	0,80	0,10	0,018	Ok
24/06/2024	0,40	14,0	7,3	0,80	0,10	0,011	Ok
25/06/2024	0,40	14,0	7,3	0,90	0,10	0,015	Ok
26/06/2024	0,50	14,0	7,4	1,00	0,10	0,016	Ok
27/06/2024	0,10	11,0	7,2	0,80	0,10	0,026	Ok
28/06/2024	0,40	14,0	7,3	0,80	0,12	0,022	Ok
29/06/2024	0,10	9,0	7,4	0,80	0,13	0,040	Ok
30/06/2024	0,10	10,0	7,3	0,90	0,10	0,040	Ok
Dezembro/2024							
01/12/2024	0,10	13,6	7,7	1,80	0,10	0,033	Ok
02/12/2024	0,33	13,9	7,7	1,90	0,10	0,043	Ok
03/12/2024	0,43	14,3	7,8	1,90	0,10	0,040	Ok
04/12/2024	0,43	14,3	7,8	1,90	0,10	0,036	Ok
05/12/2024	0,50	15,0	7,7	1,40	0,10	0,040	Ok
06/12/2024	0,40	14,0	7,8	1,70	0,20	0,043	Ok
07/12/2024	0,48	14,9	7,8	1,40	0,10	0,039	Ok
08/12/2024	0,40	14,0	7,6	1,20	0,10	0,030	Ok
09/12/2024	0,48	14,8	7,6	1,70	0,10	0,030	Ok
10/12/2024	0,20	10,8	7,0	2,00	0,10	0,041	Ok
11/12/2024	0,40	14,1	7,7	1,30	0,10	0,056	Ok
12/12/2024	0,30	14,0	7,6	1,20	0,10	0,035	Ok
13/12/2024	0,30	13,0	7,6	2,00	0,10	0,030	Ok
14/12/2024	0,30	12,0	7,7	2,00	0,10	0,045	Ok

15/12/2024	0,20	13,1	7,6	1,80	0,20	0,046	Ok
16/12/2024	0,30	15,0	7,5	1,70	0,10	0,048	Ok
17/12/2024	0,41	12,0	8,0	1,40	0,13	0,088	Ok
18/12/2024	0,44	14,0	7,6	2,00	0,31	0,166	Ok
19/12/2024	0,40	14,6	7,4	1,00	0,20	0,230	Não ok
20/12/2024	0,60	16,7	7,5	2,00	0,30	0,076	Não ok
21/12/2024	0,40	12,1	7,6	2,00	0,20	0,055	Não ok
22/12/2024	0,40	13,0	7,5	2,00	0,20	0,057	Não ok
23/12/2024	0,41	13,9	7,6	1,80	0,10	0,041	Não ok
24/12/2024	0,30	12,0	7,5	1,20	0,10	0,015	Não ok
25/12/2024	0,19	10,7	7,6	1,70	0,21	0,020	Não ok
26/12/2024	0,20	13,0	7,4	1,80	0,10	0,030	Não ok
27/12/2024	0,30	14,7	7,4	1,30	0,10	0,046	Não ok
28/12/2024	0,47	15,0	7,7	1,60	0,19	0,052	Não ok
29/12/2024	0,50	15,7	7,6	2,00	0,31	0,047	Não ok
30/12/2024	0,70	17,1	7,5	2,00	0,41	0,079	Não ok
31/12/2024	0,70	18,2	7,8	1,60	0,10	0,085	Não ok

Nota: *O termo "ok" se refere ao dia sem contaminação da água bruta por vinhaça, enquanto o termo "não ok" representa o dia com contaminação da água bruta por vinhaça; As normas da indústria alimentícia estabelecem os padrões de qualidade da água para consumo interno - turbidez (<0,5 uT); cor (< 15 uC); pH (6,0 a 9,0); cloro (0,8 a 2,0 ppm); fluoreto (< 1,5 ppm); e manganês (< 0,050 ppm).