

FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

VOLUME IV



Frederico Celestino Barbosa

Fundamentos da engenharia sanitária e ambiental

4ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

4ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238F Fundamentos da engenharia sanitária e ambiental
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2023

156 f.: il

DOI: 10.37423/2023.edcl724

ISBN: 978-65-5367-329-8

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. recursos-hídricos 2. saneamento-básico 3. tratamento I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 628

<https://doi.org/10.37423/2023.edcl724>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

CAPÍTULO 1	6
"PROJETO PILOTO DMC ON LINE CAMPO VERDE - BRAGANÇA PAULISTA"	
PLINIO DOS SANTOS	
JOSE DO CARMO DE SOUZA JUNIOR	
DOI 10.37423/230507685	
CAPÍTULO 2	33
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA EM BANGU/RJ	
Brunna Mothé Mattos	
Alena Torres Netto	
Rosane Cristina de Andrade	
Nathalia Salles Vernin	
DOI 10.37423/230507694	
CAPÍTULO 3	47
PROPOSTA ALTERNATIVA PARA MINIMIZAÇÃO DE LODO GERADO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA GALVÂNICA	
Sebastiam Johann Batista Perini	
Brayam Luiz Batista Perini	
Noeli Sellin	
DOI 10.37423/230507707	
CAPÍTULO 4	58
REMOÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D POR MEIO DO TRATAMENTO CONVENCIONAL DA ÁGUA ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM INSTALAÇÃO PILOTO	
Renata Santos Brega	
Jacqueline Fantin Guerra	
Edumar Ramos Cabral Coelho	
DOI 10.37423/230507721	
CAPÍTULO 5	76
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ETE VAL-DE-CANS, VISANDO A PRESERVAÇÃO DO IGARAPÉ DE VAL-DE-CANS	
Suzana Teixeira Rodrigues	
Robson Costa da Costa	
Neyson Martins Mendonça	
Luciana Otoni de Souza	
Rômulo Henrique Alvarada Ferreira	
DOI 10.37423/230507730	

CAPÍTULO 6	87
MORINGA OLEIFERA E SULFATO DE ALUMÍNIO ASSOCIADOS A DIFERENTES MEIOS FILTRANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA	
Rennan Soares Ferreira	
Higor Aparecido Nunes de Oliveira	
Layla Fernanda de Oliveira	
Julio Cesar Angelo Borges	
Edilaine Regina Pereira	
DOI 10.37423/230507769	
CAPÍTULO 7	99
A INFLUÊNCIA DA MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA NO CONSUMO DE ÁGUA DOS PREDIOS POPULARES DE SALVADOR	
SERGIO RICARDO DOS SANTOS SILVA	
EDUARDO HENRIQUE BORGES COHIM SILVA	
DOI 10.37423/230507774	
CAPÍTULO 8	110
POTENCIAL DE BIODEGRADAÇÃO DE MICROCISTINAS POR LEVEDURAS, BACTÉRIAS PROBIÓTICAS E SPHINGOSINICELLA MICROCYSTINIVORANS – B9	
Francine Kuriama	
José Augusto Alves Pimenta	
Karla Bigetti Guergoletto	
Sandra Garcia	
Elisa Yoko Hirooka	
Emília Kiyomi Kuroda	
DOI 10.37423/230507775	
CAPÍTULO 9	122
EDUCAÇÃO SANITÁRIA E AMBIENTAL NO SANEAMENTO	
Wanderley da Silva Paganini	
Miriam Moreira Bocchiglieri Nihonmatsu	
DOI 10.37423/230507778	
CAPÍTULO 10	134
VERIFICAÇÃO DA CARACTERÍSTICA HIDRODINÂMICA AXIAL EM FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS POR MEIO DE MODELAGEM CFD	
Danieli Soares de Oliveira	
DOI 10.37423/230507785	

CAPÍTULO 11 142

APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁGUA DO RIO TIBAGI, PARANÁ -
BRASIL

Emily Giany Assunção

Vilson Gomes da Assunção Júnior

Cássia Reika Takabayashi Yamashita

Emília Kiyomi Kuroda

DOI 10.37423/230507788

Capítulo 1



10.37423/230507685

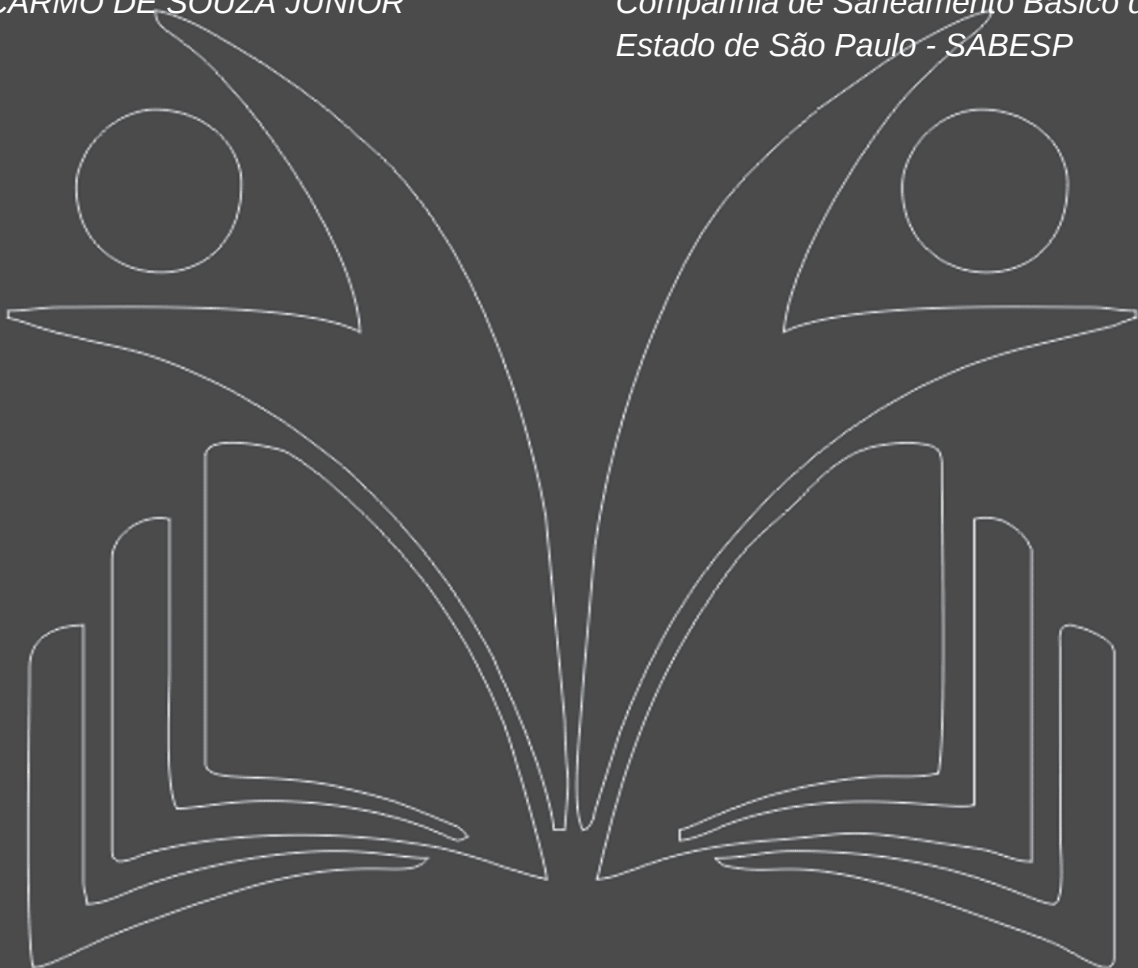
"PROJETO PILOTO DMC ON LINE CAMPO VERDE - BRAGANÇA PAULISTA"

PLINIO DOS SANTOS

*Companhia de Saneamento Básico do
Estado de São Paulo - SABESP*

JOSE DO CARMO DE SOUZA JUNIOR

*Companhia de Saneamento Básico do
Estado de São Paulo - SABESP*



Projeto Piloto Dmc On Line Campo Verde - Bragança Paulista

	PNQS Formulário PEOS 2021 Prêmio de Eficiência Operacional no Saneamento Ambiental	ID case 1265

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO

MANTER TODOS OS ENUNCIADOS, **INCLUSIVE ESTE**, E NUMERAR AS PÁGINAS.

LIMITE DE PÁGINAS COM OS ENUNCIADOS DO FORMULÁRIO PREENCHIDO: 15 páginas (não inclui Glossário e Bibliografia), formato tamanho A4. Fonte Arial ou Times New Roman, tamanho 10. Tabelas Arial 8, Figuras Arial 6. **Apenas o conteúdo relatado será avaliado, não havendo fatores estéticos.**

Salvar arquivo em formato PDF para ser enviado, com o nome "PEOS 2021 XXX - YYYYYYYYY", onde "XXX" é o ID do Case e "YYYYYYYYYY" é o nome do Case. O ID é o número dado pelo site ao preencher a Ficha de Elegibilidade e o nome do Case é o que foi informado na Ficha de Elegibilidade. Não é permitida a alteração no nome do Case submetido à Elegibilidade. Caso isso ocorra, o CNQA não se responsabiliza pela não localização da Ficha de Elegibilidade aprovada, e, por consequente, perda da submissão do Case ao PEOS.

No caso de dúvidas de preenchimento, entrar em contato com o CNQA, pelo e-mail cnqa@abes-dn.org.br.

A) Informações sobre o Case

Nome do Case (Programa implantado) - o mesmo da Ficha de Elegibilidade, máximo 60 caracteres Projeto Piloto DMC ON LINE CAMPO VERDE - BRAGANÇA PAULISTA Por "Programa" pode-se designar aqui uma sistemática, plano, iniciativa, prática, processo, atividade, projeto ou similar, envolvendo etapas organizadas e ações coordenadas. Informar o ano de implantação ao lado.	Case submetido em ciclo PEOS anterior? ☒ Sim ☐ Não	Ano Implant. (últ 3 anos) 2019
--	---	--

Tema central do Programa

☒ Gestão de Perdas ☐ Gestão de Eficiência Energética

Abrangência ou alcance

Abrangência inicial desse projeto ocorreu no Município de Bragança Paulista, especificamente no Condomínio Campo Verde - localizado no bairro Guaripocaba. Após o projeto piloto a prática, com suas melhorias, permitiu que a metodologia seja aplicada para outros DMCs, como o Setor Mirante no município de São Paulo, com previsão de expansão para novos DMCs da Unidade de Negócio Norte da Sabesp e potencial de expansão para toda a Sabesp e outras empresas do setor de saneamento, considerando a importância da redução de perdas de água no atual cenário de crise hídrica.

Fornecer informações sobre as áreas geográficas, localidades, segmentos, áreas da organização ou outros dados que mostrem o alcance ou cobertura do Programa descrito neste Case.

Resumo do Case (até 12 linhas)

Resumo do Case (até 12 linhas)

Com o desafio de redução do indicador de perdas de água de um condomínio abastecido, onde nunca se chegava ao motivo real dessa disparidade entre macro e micromedida, nas reuniões de análise crítica para atender aos objetivos: aprimorar a operação de água, desenvolvimento sustentável, disponibilidade hídrica, aperfeiçoar processos e Implantação de Novas Tecnologias, as equipes de trabalho de operação, manutenção, comercial, eletromecânica e fornecedores desenvolveram e aplicaram uma nova forma de atuação (PRÁTICA), com parceria e inovação tecnológica. Mitigamos o risco de perdas, com a redução do volume não contabilizado pela aplicação direta de conceitos em campo, algoritmos de automatização de Indicadores (KPI) e publicação dos dados via WEB. A melhoria da prática possibilitou: visibilidade, informação e ferramentas de apoio necessários permitindo a máxima eficiência operacional na redução de perdas. Destacamos ganhos em ferramentas como o monitoramento em tempo real de um DMC (Distrito de Medição e Controle), para a determinação das Perdas Totais de forma Online, utilizando o conceito de IoT (Internet das Coisas), associar práticas de gestão de redução de perdas como o Balanço Hídrico do Sistema, IPDT, Histograma das Vazões macro e micromedidas, obtidas de forma online. A prática alinha, integra, dá acesso e compreensão da informação à todas as pessoas envolvidas e para esse novo estágio do Saneamento Nacional proporcionou a redução de 155L/lig*dia, contribuindo para a preservação dos mananciais, no atual cenário de escassez hídrica em diversas regiões do nosso país.

Resumir acima os aspectos relevantes do Programa descrito neste Case. Citar as razões, direcionamentos, decisões, desafios, metas e aspectos mais relevantes que determinaram sua prioridade. Mencionar níveis de liderança e áreas ou equipes multidisciplinares envolvidas, bem como eventuais parcerias com outras áreas, clientes ou fornecedores. Sintetizar o processo ou forma encontrada para atingir os objetivos, destacando novas abordagens ou inovações e respectivas vantagens. Citar eventuais tecnologias de informação e de processo relevantes utilizadas. Informar um ou mais resultados quantitativos associados ao Programa que comprovem a melhoria da eficiência operacional.

No caso de Case já submetido em ciclo anterior, mesmo com outro nome, incluir acima aspecto que evoluiu no Programa ou Resultados desde então
 A QUALIDADE DESSE RESUMO É AVALIADA NAS QUESTÕES "7.A" - RESUMO DA PRÁTICA E "8.E" - RESUMO DO RESULTADO

B) Perfil da Organização

Informações utilizadas para contextualizar a análise do Case

INFORMAÇÕES DA ORGANIZAÇÃO

Denominação da organização candidata: Unidade de Negócio Norte MN	Trata-se de: ☒ Organização completa ☐ Unidade Autônoma ☐ Unidade de Apoio	Operadora de: ☒ Abastecimento de água ☒ Esgotamento sanitário ☐ Manejo de águas pluviais ☐ Manejo de resíduos sólidos urbanos ☐ Manejo de efluentes industriais
Atividades principais da organização candidata: Abastecimento de água e coleta de esgotos para zona norte do município de SP e mais 14 municípios.		

Quantidade de empregados próprios da org. candidata (porte): 987	Endereço principal da organização candidata: Rua Conselheiro Saraiva 519 São Paulo –SP	
Razão social responsável pela organização candidata: Cia Saneamento Básico Estado São Paulo - Sabesp	CNPJ da organização candidata: 43.776.517/0406-45	
Nome do Autor, para se obter informações adicionais: Plínio dos Santos	Email Autor:	plinios@sabesp.com.br
	Fone Comercial Autor:	55 11 98685-3166
	Celular Autor:	55 11 98685-3166
Dirigente responsável que autoriza a candidatura Debora Pierini Longo		
DECLARAÇÃO A organização candidata concorda em responder consultas do Especialista para esclarecimento de dúvidas, bem como, no caso de o Case ser finalista, concorda em responder consultas para compartilhar seu conhecimento em prol do saneamento ambiental.	AUTENTICAÇÃO O dirigente responsável da organização candidata autoriza a submissão do Case à ABES e responsabiliza-se pela autenticidade das informações fornecidas, bem como autoriza sua análise pelos Especialistas designados pelo CNQA e divulgação do Case, no caso de ser declarado finalista.	
C) Perfil Complementar		
Informações utilizadas para contextualizar a análise do Case		

1. INSTÂNCIA DE GOVERNANÇA

Informar nesse espaço a denominação do controlador da organização candidata, responsável pelo Case. Ex.: Conselho, Diretoria corporativa (se a candidata for uma unidade autônoma, de apoio ou parte de um grupo empresarial), Secretaria Municipal (se a candidata for órgão de Prefeitura) ou outro.

A Sabesp é uma empresa de economia mista e de capital aberto. 50,3% de suas ações pertencem ao Governo do Estado de São Paulo, 30,3% está no BM&F Bovespa e 19,4% na Bolsa de Valores de Nova Iorque. A estrutura de governança corporativa é composta de Assembleia Geral de Acionistas, Conselho de Administração, Comitê de Auditoria, Conselho Fiscal, Diretoria Executiva, Secretarias Executivas da Governança, Auditoria Interna e Auditoria Externa.

2. INSTÂNCIA DE CONTROLE DA SOCIEDADE

Informar, se existir, a denominação do órgão ou órgãos controladores do desempenho da organização, direta ou indiretamente, em termos de Eficiência Operacional no tema central ou associado ao Programa (Ex. Agência Reguladora, Secretaria Municipal, Órgão Ambiental, Ministério etc.). Se não existir, apenas declarar esse fato.

O órgão regulador da Sabesp é a ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, uma autarquia de regime especial, vinculada à secretaria Estadual de Governo, criada pela Lei Complementar 1.025/2007 e regulamentada pelo Decreto 52.455/2007. O relacionamento da MT com a ARSESP ocorre através da Superintendência de Assuntos Regulatórios (PR) e pelo atendimento às políticas Institucionais e procedimentos empresariais correlatos. Em relação ao meio ambiente e à saúde pública, está sujeita às Resoluções Conama 237/95 e 430/11, bem como ao Decreto Estadual 8.468/76, que dispõem sobre os padrões de lançamento de efluentes e qualidade dos corpos hídricos.

3. ÁREAS INTERNAS E DA MESMA CONTROLADORA ENVOLVIDAS

Informar a denominação das principais áreas ou equipes internas ou da mesma controladora envolvidas no Programa.

Fig.1 - Áreas internas envolvidas		
Partes Interessadas	Interlocutores	Responsabilidades
Alta administração	Superintendente	Diretrizes estratégicas
		Validação da avaliação da performance
	Gerências de Departamento	Diretrizes estratégicas
		Validação da avaliação da performance
Coordenação	Gerência de Divisão	Desenvolvimento e planejamento
	Equipe multidisciplinar (técnicos, analistas e engenheiros)	Desenvolvimento e execução
Lideranças	Gerências e encarregados do Polo Manutenção	Discussões técnicas
		Validade da avaliação da performance
Força de Trabalho	Equipe multidisciplinar do Polo Manutenção e Divisão de Perdas Norte	Levantamento necessidades e dimensionamento Termo de Referência
		Discussões técnicas

4. OUTRAS PARTES INTERESSADAS ENVOLVIDAS

Informar a denominação de outras partes interessadas envolvidas no Programa e suas responsabilidades, como fornecedores prestadores, clientes, instituições parceiras, consultores, órgãos de governo e outros.

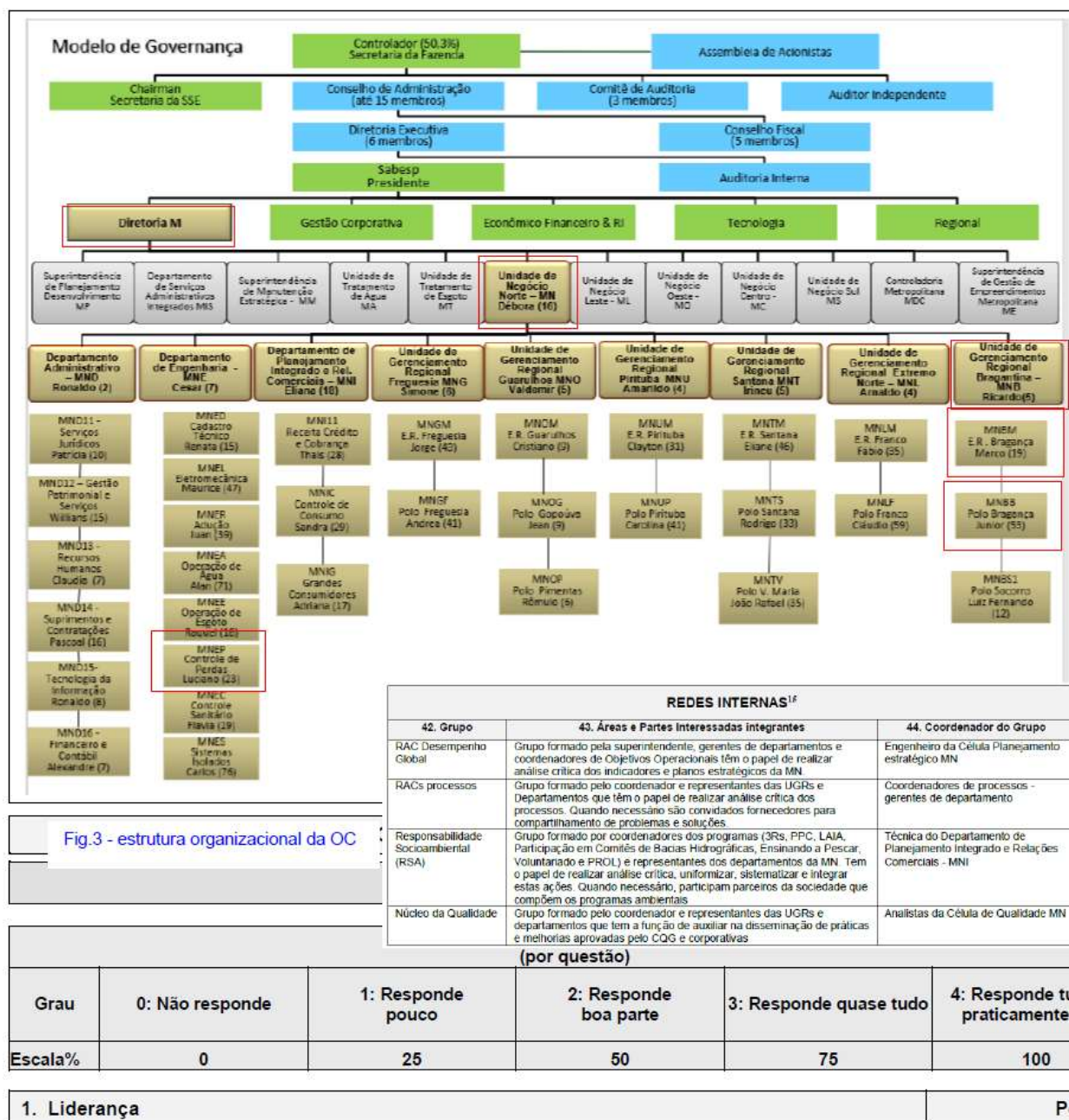
A avaliação de performance da Divisão de Manutenção de Bragança Paulista teve envolvimento de outras partes inte-ressadas descrita na Fig.2.

Fig.2 - Demais áreas envolvidas		
Partes Interessadas	Interlocutores	Responsabilidades
Acionista	Assessor da Presidência	Conhecimento da metodologia
Fornecedor	Consultor	Validação da metodologia

5. LINHA DE REPORTE

Informar a qual cargo ou Nível da estrutura organizacional o Líder ou a Coordenação do Programa se reporta.

A estrutura organizacional da OC está na Fig.3 e mostra as unidades envolvidas diretamente no Programa. A coordenação do Programa é da área Qualidade da Superintendência Norte.



a) **Citar** o valor, princípio organizacional, credo, política ou outro direcionamento formal similar, que destaque a busca da eficiência operacional, alto desempenho ou objetivo similar, como sendo cultura relevante buscada pela organização (não é necessário apresentar todos os direcionamentos da organização). **Citar** um ou mais métodos adotados para apoiar o desenvolvimento dessa cultura. **Informar** de que maneira o direcionamento é anunciado formal e ativamente à força de trabalho e outras partes interessadas envolvidas (citadas em C.4).

O Direcionamento formal da OC é constituído pela missão, visão, diretrizes estratégicas e valores éticos conforme ilustrado na Fig.4. A Direção da OC atua reforçando a implementação dos valores,

princípios e padrões estabelecidos pela Sabesp através da comunicação contínua, conduzida conforme as áreas de atuação e contato com as partes interessadas, Fig.1.

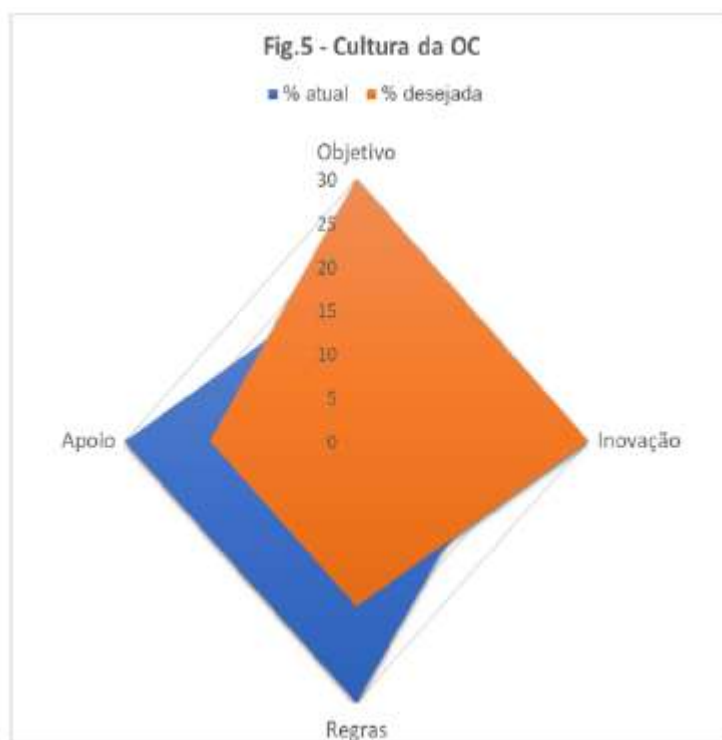


Fig.4 Direcionamento da OC

b) **Informar** qualquer ação de mudança cultural identificada como necessária para o êxito do Programa, **explicando** os principais aspectos disfuncionais da cultura que são tratados ou os principais aspectos funcionais que são reforçados, **adicionando** os meios de tratamento ou reforço empregados. (Ver “aspectos da cultura” no Glossário dos Critérios de Avaliação MEGSA)

Principais ações são identificadas por meio de levantamento em campo, sendo tratados em reuniões análise críticas com o intuito de mensurar a relevância dos aspectos culturais na visão atual e futura da OC. Com dimensões: Estratégica, Visão do Cliente, Processos, Liderança, Colaboradores, Ambiente de Trabalho, Desafios na Gestão de Pessoas e Cultura. A nova metodologia de obtenção dos indicadores de forma online proporcionou um maior dinamismo, integração e comprometimento das equipes, pois o monitoramento é realizado pelas equipes do Centro de Controle da Operação CCO, que prontamente encaminham as informações para as áreas de manutenção e comercial, agilizando a solução dos problemas identificados e trazendo resultados significativos na redução das perdas de água.

A cultura organizacional da OC é identificada por meio de pesquisas analisadas e desenvolvidas para orientar a busca por melhores resultados. Considerando o objetivo Manter e Conquistar Novos Negócios e Mercados identificou através de pesquisa com força de trabalho os aspectos atuais e futuros para atender o objetivo conforme Fig.5 Analisando os aspectos funcionais na dimensão da liderança conseguimos perceber que os conhecimentos técnicos e gerenciais necessitam de treinamentos específicos. Com relação aos colaboradores precisamos melhorar a comunicação através de participação dos colaboradores em reunião, palestras e congressos. O desenvolvimento das lideranças é fundamental para os resultados operacionais, tornar a gestão mais ágil, objetiva e inovadora. As principais mudanças culturais fazem parte implantação avaliação da performance indicador perdas da DMC ON LINE com destaque da motivação da equipe do CCO (Centro Controle Operacional) identificando os problemas tempo real com muita assertividade.



c) **Informar** de que forma o Programa consta do mapeamento de riscos da organização como ação mitigadora. **Mencionar** o risco mitigado direta ou indiretamente pelo Programa. Se o Programa não constar do mapeamento de riscos, justificar.

Objetivo Estratégico: Aprimorar a operação de água. A ação mitigadora se dá nas perdas de água; na diminuição no volume não contabilizado. Tudo buscando uma melhor Gestão na Redução de Perdas de Água. Os riscos são mapeados e priorizados de forma sistematizada através da Política Institucional

de Gestão de Riscos Corporativos, e foram revistos e priorizados 10 riscos críticos no Planejamento Estratégico da MN com ações criadas, Ex. R009 mitigar com redução de perdas de água.

Risco	Descrição dos 10 Riscos (Operacionais) - Priorizados
R004	Não renovação de contratos de municípios operados
R009	Perdas reais e/ou aparentes de água acima dos níveis estab ARSESP
R014	Comprometimento da qualidade dos serviços prestados por terceiros
R015	Não cumprimentos de procedimentos comerciais e operaci regulados
R033	Inadimplência dos valores faturados.
R046	Não ter a rentabilidade suficiente para remunerar o capital (WACC)
R049	Redução da eficiência de adutoras, redes e ramais de água
R050	Redução da eficiência de coletores, redes e ramais de esgoto
R052	Insuficiência de manutenção nas instalações civis de água e esgoto
R056	Não cumprir TACs e acordos judiciais de natureza ambiental.

d) **Informar** quais indicadores de eficiência operacional, associados ao Programa, são utilizados para avaliar o desempenho estratégico ou operacional, **destacando** as áreas que são avaliadas por indicadores específicos, se houver.

Na eficiência operacional são tratados o “IPDT - Índice de perdas total / ligação / dia; e o IANC - Índice de águas não contabilizadas. Tudo visando Redução de Perdas de Água.

Os indicadores são analisados mensalmente: na RAC do MNB com apoio MNEP depois repassada à toda força de trabalho em reunião estruturada; na RAC desempenho Global da MN e também de forma corporativa em toda a empresa, vinculado inclusive, ao programa de participação nos resultados. Esta pratica impacta na meta 2021 da Unidade de Negócio e do Departamento.

e) **Citar** as formas de acompanhamento regular do Programa e da evolução de seus resultados pela direção da organização candidata. **Citar** a maneira de avaliar o potencial de alcance de meta associada ao Programa, ao acompanhar a evolução dos resultados.

Monitoramento diário nas macromedição e micromedição na área do referido projeto com acompanhamento em reuniões periódicas de análise crítica da unidade, departamento e superintendência, com a análise de tendência do indicador e tomada de ações preventivas e corretivas. Os resultados obtidos com a redução de perdas têm contribuído sobremaneira para a mitigação dos impactos ambientais, com uma menor retirada de água dos mananciais. O potencial de expansão da DMC Online para outras DMCs traz uma visão de futuro onde será possível reduzir cada vez mais as perdas nos sistemas de abastecimento de água.

f) **Sumarizar** como e quando foi realizada a última atividade de controle externo, relativo ao Programa, pela instância de governança (citada em C.1) e por instância de controle da sociedade (citada em C.2),

sobre a organização candidata. **Se não houve** atividade de controle dessas instâncias, **sumarizar** quando e o que foi informado na última prestação de contas.

O controle externo ocorre através da prestação de contas dos indicadores de redução de perdas mensalmente que ocorrem nos diversos níveis da corporação, inclusive acionistas, bem como são apresentados à sociedade nos encontros com a comunidade (2019) e acompanhados pelo município através do Contrato de Programa e também pelo Comitê de Bacia. (2019).

2. ESTRATÉGIAS E PLANOS

PESO 10

a) **Citar** um ou mais objetivos estratégicos associados ao Programa e **listar** as principais estratégias (caminhos, ideias) adotadas para o Programa ter êxito. **Se aplicável, informar** de que maneira o Programa se relaciona com Planos oficiais Municipais, Estaduais ou de Bacias de localidades atendidas pela organização. **Se não for aplicável, declarar** o fato.

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS / Garantir a Disponibilidade Hídrica / Aperfeiçoar Processos / Implantação de Novas Tecnologias. O projeto possui relação direta com o novo Contrato de Programa firmado com o município, onde são definidas metas claras para redução dos indicadores de perdas de água, bem como está alinhado com padrões de indicadores de perdas de água estabelecidos pelo Comitê da Bacia Hidrográfica PCJ. Na área de atuação OC, a regulação da prestação de serviços está a cargo da Agencia Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (Arsesp), conforme Lei Estadual Complementar 1.025/07 gerando visitas anuais da agencia. Atende diretamente o Objetivo Operacional 4 (Fig.4).

b) **Apresentar** um ou mais indicadores de desempenho e metas futuras de curto ou longo prazos, que foram estabelecidos, relativos aos objetivos estratégicos associados ao Programa, **destacando** a forma ou método para seu estabelecimento (dos indicadores e das metas). **Explicar** quando não se espera melhorias no resultado no longo prazo devido a influência de outras variáveis. **Informar** onde foram explicitadas as metas.

As avaliações são realizadas em reuniões de análise crítica, onde os colaboradores podem dar sugestões para aprimoramento dos processos. Como exemplo foi implantada nova forma de visualização do indicador de perdas do DMC Online através de gráficos de barra desde o início do período de implantação. Indicadores metas são definidas no planejamento operacional e disseminadas no “Dia do Compromisso”.

c) **Citar** as principais etapas, partes ou frentes que compuseram o Programa e respectivas áreas responsáveis, **mencionando** o montante de recursos previstos e a fonte. **Destacar** mecanismos de agilização da implantação do Programa. **Citar** as formas de acompanhamento regular dessas ações pela direção.

O Projeto Piloto da DMC online foi contratado por um valor Global, incluindo o fornecimento com um valor global de R\$ 97.430,40, com desembolso em 24 meses. Com recursos de serviços de fornecimentos de dados, para atender a demandas de perdas, priorizado no planejamento departamental.

Responsáveis	Tabela de Ações/ Funções	Acompanhamento
Empresa Ecometria Soluções Inteligentes LTDA. ME.	Implantar e gerenciar a Telemetria d DMC Campo Verde, fornecer e instalar: • 51 Hidrômetros de 3m³ ou de 5m³ com saída pulsada, equipados com Logger Pulso Sigfox instalados aos hidrômetros com saída pulsada; • Equipamento Remota para Telemetria do Macro Medidor de entrada do DMC; • Equipamento Datalogger de Pressão para coleta de pressão em Ponto Crítico do DMC; • Equipamento Remota para Telemetria do Datalogger de Pressão do Ponto Crítico.	Encontro com Fornecedor, cronograma
Equipe de telemetria,	Efetuar a manutenção do sistema eletrônico. (CCO – Centro Controle Operacional) + (MNEP – Divisão Controle Perdas Norte)	Reunião estruturada
Equipe hidráulica,	Efetuar a manutenção do sistema hidráulico em campo. (MNBB- Divisão Polo de Manutenção Bragança Paulista)	Reunião estruturada
Equipe de Pesquisa de vazamento,	Localizar os vazamentos. (MNEP – Divisão de Controle Perdas Norte)	Reunião estruturada
Analista de TI,	Implementar e assegurar a infraestrutura de rede e banco de dados. (MND – Departamento Administrativo e Financeiro Norte – Gestor TI)	RAC
Gestor do sistema,	Gerenciar os Clientes da DMC (relação com o Cliente). – (MNBm – Divisão Comercial Bragança Paulista)	RAC
Gerência,	Definir as políticas de controle de perdas. (MNBB – Divisão de Manutenção Bragança Paulista)	RAC

d) **Informar** qualquer atividade de investigação de soluções alternativas relativas ao Programa, em organizações de referência, congressos ou literatura especializada. **Citar** o motivo que levou à escolha da(s) fonte(s). Se houver, **citar** uma ou mais lições aprendidas nessa investigação. **Se não houver** lições aprendidas na investigação, **declarar** o fato.

A SABESP é reconhecida por seus programas de inovação e pesquisa, sendo a propulsora de novas tecnologias, sendo parceira das principais instituições de pesquisa, incentivando e promovendo pilotos e projetos de forma permanente.

O equipamento utilizado para monitoramento, Sistema WMNET1 (d_2007), compostos por Datalogger Celular, Servidor de Comunicação e Portal WEB, foi o primeiro sistema de Telemetria para monitoramento de Consumo com essa topologia implantado em uma Concessionária de Água no Brasil. O Sistema é integrado ao Programa PURA (d_2008), sendo implantado em imóveis da Prefeitura da cidade de São Paulo, incluindo escolas, departamentos administrativos, etc.

Durante os primeiros projetos ficou evidenciado a flexibilidade do equipamento utilizado que permitia não só o monitoramento de consumo de medidores pulsados e eletrônicos, mas também do uso para monitoramento em equipamentos operacionais, através de sensores analógicos e digitais, incluindo inclusive a possibilidade de comando. Dessa forma outros setores da SABESP passaram a utilizar a mesma tecnologia para fins Operacionais, integrando os dados dessa Plataforma em suas salas de Controle e Operação CCO².(d_2015).

Em Bragança Paulista, o sistema WMNET é utilizado no CCO (Fig.7) em equipamentos operacionais para o monitoramento de Pressão na rede e nos Macromedidores desde 2011, sendo fundamental para a operação do sistema.

Por outro lado, a tecnologia da Internet das Coisas (IoT), possibilitou a transmissão de forma integrada dos dados dos hidrômetros dos diversos clientes atendidos, obtendo-se assim a micromedição em tempo real.

Esse projeto é um marco da integração das atividades de monitoramento operacional, combinando informações da macromedição, pressão da rede (ponto crítico), temperatura (microclima), vazão e pressão na entrada do DMC e a micromedição, que no contexto dessa inovação é tratada como variável operacional, sendo o dado de leitura para fins de faturamento um subproduto que pode subsidiar a área comercial com a leitura em data e horário específico de forma simultânea e automatizada.

Os dados coletados podem servir para calibração periódica de um modelo hidráulico que represente mais fielmente o real comportamento dinâmico do distrito de medição A prática inovadora com a implantação da gestão de perdas online por DMC e informações Portais WEB (ECOWEB), onde são monitoradas a macromedição e a micromedição em tempo real, onde é possível acessar todos indicadores de perdas, planilhas e gráficos com diagnósticos do sistema de abastecimento; não possui literatura específica, o que caracteriza o Estado da Arte.

Fig. 7 CCO Centro Controle Operacional – Bragança Paulista



3. CLIENTES

PESO 4

a) **Informar** as principais características, componentes ou atributos do Programa e os seus benefícios diretos ou indiretos aos clientes **ou** quais necessidades, expectativas ou comportamentos dos clientes, cada um pretende atender. **Se** o cliente **não for beneficiado, declarar** o fato.

Na avaliação da performance da DMC ON LINE, entre outros itens, são considerados a qualidade dos dados transmitidos on line com confiabilidade traçando perfil de consumo para cada cliente do condomínio. O Programa gera benefícios diretos aos clientes uma vez que podem ser identificadas altas de consumo nos imóveis, bem como futuramente está previsto o acesso dos clientes para consulta online do consumo, as necessidades e expectativas dos clientes são previstas, podem ser tomadas ações preventivas mitigando os impactos gerados.

b) **Citar** as formas de envolvimento dos clientes, direta ou indiretamente, no planejamento ou desenvolvimento do Programa, **explicando** a relevância desse envolvimento. **Se não aplicável, declarar** o fato.

É o resultado final do projeto que será entregue ao cliente. Pode ser um produto, um serviço ou resultado único. Como resultado a DMC ONLINE será uma ferramenta que poderá ser aplicada em todas as DMCs da Empresa, introduzindo uma nova forma de trabalho e processo de gestão digital, podendo evoluir para um sistema inteligente com a integração de tecnologias de inteligência artificial.

c) **Informar** as mudanças introduzidas no serviço ao cliente, inclusive no protocolo de atendimento, por força do Programa e **mencionar** como os clientes foram informados dessas mudanças proativamente.

Melhorias no processo interno cliente:

Monitoramento da Macromedição - Leitura automatizada do Macro e das Pressões de entrada da DMC

Monitoramento da Micromedição - Leitura automatizada de hidrômetros residenciais (equipamento a bateria)

Medição da pressão no ponto-crítico da DMC (equipamento a bateria)

Cálculo automatizado de indicadores (fator de pesquisa, mínima noturna, etc.)

Cálculo automatizado do Balanço hídrico diário (Perdas Totais)

Publicador de dados WEB, para disponibilização dos dados de forma ágil

Rede de transmissão sem fio para a telemetria.

4. SOCIEDADE

PESO 4

a) **Mencionar** a forma de avaliação de potenciais impactos sociais ou ambientais adversos nos produtos ou operações, decorrentes das ações para implementação do Programa e **informar** as novas medidas de mitigação que foram tomadas, se houver. **Se não** houver, **declarar** o fato.

Com a redução de perdas a macro ação Perdas-Controle por DMC mitiga o impacto social e ambiental atendendo à ODS 6 (Água Potável e Saneamento) com a universalização dos serviços de atendimento de água. O monitoramento online permite a identificação e o reparo de vazamentos com maior agilidade, minimizando as reclamações de clientes e os volumes de água perdidos. Também são geradas manutenções preventivas quando são identificadas pressões excessivas nas tubulações, evitando assim o risco de rompimento das tubulações e desabastecimento dos clientes, bem como são estabelecidas pressões adequadas para cada horário de consumo.

b) **Explicar** as consequências positivas, diretas ou indiretas, para a sociedade e para o meio ambiente decorrentes da implementação do Programa e de que forma são alcançadas.

Consequência positiva seria o acompanhamento diário do consumo de cada imóvel e a informação ao cliente de possíveis altas de consumo determinando o perfil individual de cada residência, bem como a mitigação ambiental devido aos menores volumes de água perdidos. Os impactos ambientais com

os trabalhos de troca de hidro foram mitigados com a comunicação prévia no condomínio, antes do início dos serviços.

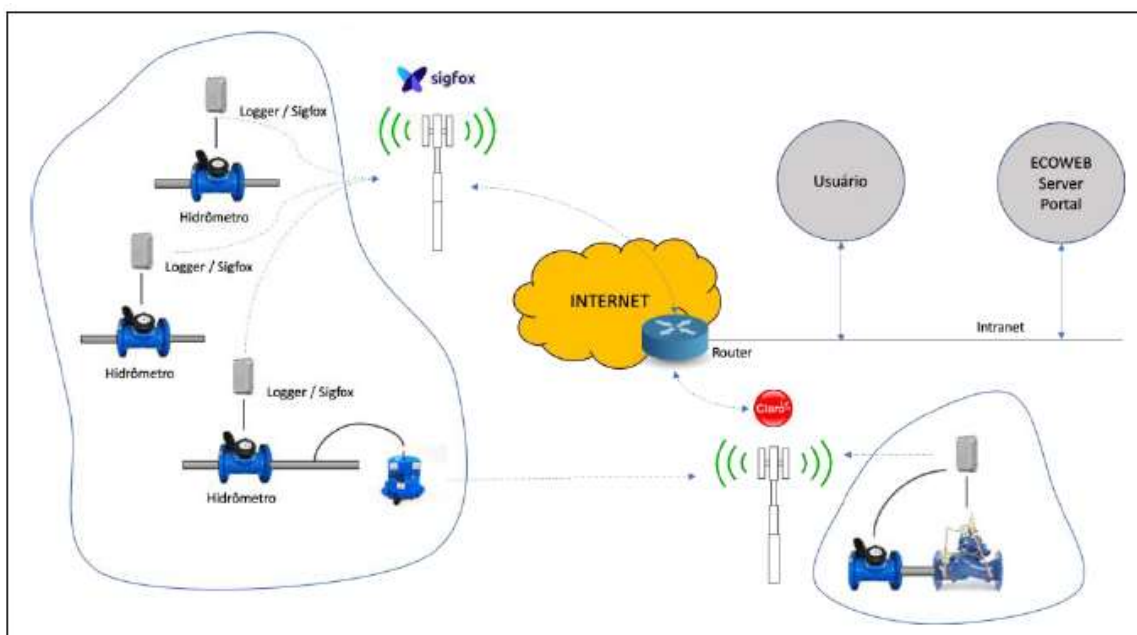
5. INFORMAÇÕES E CONHECIMENTO

PESO 10

a) **Informar** as principais mudanças introduzidas nos sistemas de informação para atender ao Programa e seus benefícios. **Destacar** adequações em sistemas e tecnologias de coletas de dados e de medição da eficiência operacional.

Nosso projeto foi previsto a troca todos micromedidores (hidrômetros) das residências por um medidor com saídas de pulsos por volume, e também um coletor de pulsos (Datalogger - equipamento eletrônico) energizado por bateria, com tecnologia de transmissão de dados LPWAN (Dispositivo de Rádio Frequência de baixo consumo). Criação do Portais WEB (ECOWEB). Os clientes também são comunicados por SMS quando ocorrem manutenções preventivas ou corretivas, sendo também comunicados com antecedência quando da necessidade de substituição dos hidrômetros.

Fig.8 Plataforma de comunicação



b) **Destacar** formas de buscar assegurar a integridade e confiabilidade da coleta de dados e da medição da eficiência operacional no tema do Programa, **mencionando** as técnicas ou métodos utilizados. **Caso não** sejam **utilizadas** metodologias de medição recomendadas no setor, ou, caso sejam utilizadas com variações, **explicar** os motivos de não adotar o método. (Ex.: uso do balanço hídrico para medição de perdas).

Um dos pilares do projeto foi a utilização da nova tecnologia conhecida como Internet das Coisas (IoT). Nesse projeto a tecnologia selecionada para transmissão dos dados foi a SIGFOX.

A grande vantagem dessa Plataforma (Fig.8) foi a possibilidade de uma Universalização da Informação dentro da SABESP através de um sistema Corporativo, com controle de acesso e gestão digitalizada da informação.

O Sistema permitiu que diversos departamentos e unidades pudessem ter acesso homogeneizado de informações diversas, O DMC online foi desenvolvido em parceria por diversas áreas da Unidade de Negócio Norte da Sabesp e seus fornecedores, com a proposta de modernizar os conceitos do M2M para os novos conceitos do IoT e permitir trazer ao Sistema a junção da Macromedição (Operacional) e a Micromedição (Comercial), seguindo a tendência mundial de implantar processos mais modernos e digitalizados.

O DMC online, é um sistema baseado na 4ª Revolução Industrial, unindo automatização de coleta de dados de sensores, sistema analíticos para cálculo de indicadores e big data, com passos iniciais no uso de Inteligência Artificial para identificar e gerar diagnósticos de situações de risco ou anomalia dos sistemas Monitorados e a integração do Sistema com Bots (robôs) para interfaceamento máquina-homem.

c) **Explicar** as formas de reter e de disseminar o conhecimento relevante aprendido durante e após a conclusão do Programa, **destacando** a forma de registro das lições aprendidas sobre o que não funciona ou não é praticável.

O conhecimento tem sido disseminado de diversas formas, através de publicação de matérias divulgadas pela área de comunicação, Benchmarking Reverso (Fig.9) disseminação e apresentação na Expo da Diretoria Metropolitana e participação no prêmio empreendedor e Divulgação implantação DMC ON LINE nos meios de comunicação interna da Sabesp – MN Informa (Fig.10).

As visitas de Benchmarking são registradas conforme Procedimento Operacional no sistema SIBEM e as lições aprendidas são tratadas nas reuniões de análise crítica com as principais lideranças envolvidas e após disseminadas à força de trabalho através das reuniões estruturadas.



Fig.9 Benchmarking reverso visita técnicos grupo Saneamento Básico do Rio de Janeiro Grupo Aguas do Brasil



Fig.10 - Divulgação no MN Informa jornal diário Sabesp da apresentação trabalho que foi aprovado para próxima etapa concorrer Premio de Eficiência Operacional em Saneamento Ambiental

6. PESSOAS

PESO 8

a) **Mostrar** o quadro de pessoal envolvido no desenvolvimento ou implantação do Programa, **informando** as principais funções de liderança, técnicas, inclusive de segurança, operacionais e administrativas, conforme aplicável; as responsabilidades de cada função na equipe; e as áreas de lotação das pessoas na organização, na sua controladora ou em outras partes interessadas (citadas em C.3 e C.4). **Destacar** a forma de escolha do líder do Programa. Mencionar a sistemática de comunicação entre os envolvidos na implantação do Programa. **Mencionar**, se houver, eventuais mudanças na estrutura organizacional e no perfil de funções de profissionais das áreas afetadas, que foram introduzidas durante ou após a implantação, em decorrência do Programa.

A gestão de perdas de água não é uma atividade pontual, existe também a necessidade de um compromisso a longo prazo com o envolvimento de diversas áreas, e a integração ente os processos. Dessa forma são envolvidas as equipes de operação, manutenção e comercial, bem como fornecedores de tecnologias como os hidrômetros pulsados e transmissão de dados, havendo um alinhamento para que a informação seja acessível e seja compreendida por todos. Os responsáveis e suas funções estão na Fig.1 e no critério 2 c). O sistema de monitoramento online proporciona a identificação imediata de problemas, que são tratados em conjunto pelas equipes. Foram dadas atribuições à toda a equipe (20 profissionais diretos), que já atuavam em perdas, e o Gestor do sistema e a Gerencia já fazem parte do organograma formal. Coordenador da prática faz a interface entre fornecedores e equipes internas, tecnologia e o cumprimento do cronograma. Mesmo com a interface entre as áreas não foi necessária alteração na estrutura organizacional.

b) **Citar** os treinamentos essenciais conduzidos, sua importância para o êxito do Programa e as principais funções que foram treinadas, do quadro de pessoal envolvido (citado em 6.a) e das áreas afetadas pelo Programa, durante ou após a implantação, em decorrência dele.

As demandas operacionais são identificadas e planejadas de forma plurianual e são revistas anualmente pela liderança considerando os processos, sub-processos e cargos dos empregados envolvidos (m_2019), gerando uma matriz de treinamento padrão, que compõe o PCD –Plano de Capacitação e Desenvolvimento

c) **Explicar** quaisquer formas de incentivo ou de reconhecimento de pessoas da equipe de implantação do Programa ou das áreas afetadas, aplicadas em decorrência de atuação destacada no seu desenvolvimento e implantação.

A remuneração das pessoas está alicerçada no Plano de Cargos e Salários. As formas de reconhecimento por contribuições extraordinárias e incentivo para o atingimento e superação das metas, visam manter os empregados engajados e motivados na busca por melhores desempenhos, como exemplo temos: PPR - Programa de Participação nos Resultados, Prêmio Empreendedor, Profissional Destaque e Apresentação de trabalhos em Seminários. As metas de IPDT tem impacto no cálculo do PPR.

d) **Mencionar** a forma de avaliação de perigos e riscos à saúde e segurança ocupacional decorrentes de mudanças incorporadas pelo Programa nas rotinas de trabalho e **informar** as novas medidas de mitigação que foram tomadas, se houver. **Se não** houver, **declarar** o fato.

As ações decorrentes da implantação do Programa não incorporaram mudanças significativas nas atividades de segurança ocupacional, uma vez que temos campanhas de sensibilização a riscos de quedas e ataques de cães, de qualquer forma se reduziu o trabalho de acesso aos hidrômetros e atuamos mantendo as atividades já praticadas pelas equipes. Todos os trabalhos praticados possuem o seu respectivo PPRA e as equipes recebem treinamento de segurança periodicamente.

7. PROCESSOS

PESO 12

a) **Apresentar** as principais mudanças nos processos e nos produtos ou perfil dos serviços em relação ao status anterior, incorporadas pelo Programa, **listando** as principais características que foram alteradas e seu benefício, principalmente daquelas que estão fortemente relacionadas com o aumento da eficiência operacional. **Destacar** as características que incorporam ideias originais ou inusitadas consideradas como inovações. O **Resumo do Case no tópico “A” deve sumarizar** com clareza a abordagem adotada. **Informar** onde a especificação dos novos padrões operacionais estão registrados.

A pratica destaca-se pela originalidade da “gestão online” que exigiu maior integração e autonomia da equipe, trouxe como benefício mais tecnologia e maior agilidade no processo de perdas e contribui para que o município tenha indicadores de perdas de água (IPDT e IANC) de excelência, sendo o município com o menor índice de vazamentos visíveis de toda a corporação (vazamentos visíveis/extensão de rede).

Não detectamos vazamentos, os indicadores também apresentam resultados de excelência quando comparados a municípios de mesmo porte no SNIS e parâmetros adotados pela IWA. As avaliações realizadas demonstram que a prática de gestão implementada traz excelentes resultados, com

impacto direto no IPDT e IANC (critério 8.a e 8.e), e pode ser replicada para que a gestão de perdas online possa ser ampliada para outros DMCs.

b) **Destacar** tecnologias de processo incorporadas pelo Programa, **sumarizando** seus benefícios, principalmente daquelas que estão fortemente relacionadas com o aumento da eficiência operacional. **Se não** houver, **declarar** o fato.

O benefício inicial será uma melhora na gestão do processo de identificação das Perdas, passando para de um regime de avaliação mensal para diária. Nesse novo contexto, utilizando as informações de monitoramento e efetuando os ajustes na DMC para a redução efetiva das Perdas, é possível considerar um tempo de retorno do investimento de 365 dias.

Melhorias no processo interno ao cliente citados no critério 3 itens c).

Outro benefício indireto é possibilidade de eliminação da leitura mensal para fins de cobrança (diminuindo o custo dessa atividade), além de permitir a projeção do consumo de cada Cliente de forma antecipada conforme seu perfil (poder gerar um alarme de consumo projetado no sistema).

Todos os funcionários envolvidos na implantação do projeto terão acesso ao Portal Web que irá fornecer toda gestão de consumo de água do condomínio Campo Verde. As inconsistências identificadas são tratadas de forma autônoma pelas equipes, através da integração entre o Centro de Controle Operacional e as equipes de Operação da Distribuição.

c) **Informar** as simplificações incorporadas no gerenciamento das rotinas dos processos afetados pelo Programa. **Se não** houver, **declarar** o fato. **Destacar** formas de autogerenciamento pela equipe operacional.

Os relatórios, gráficos e os dados coletados e disponibilizados permitem acesso rápido e o autogerenciamento, exemplo de melhoria implantada é a nova forma simplificada de visualização do indicador de perdas do DMC Online através de gráficos (Fig.11) onde comprova o bom funcionamento da modulação da VRP DMC CAMPO VERDE.

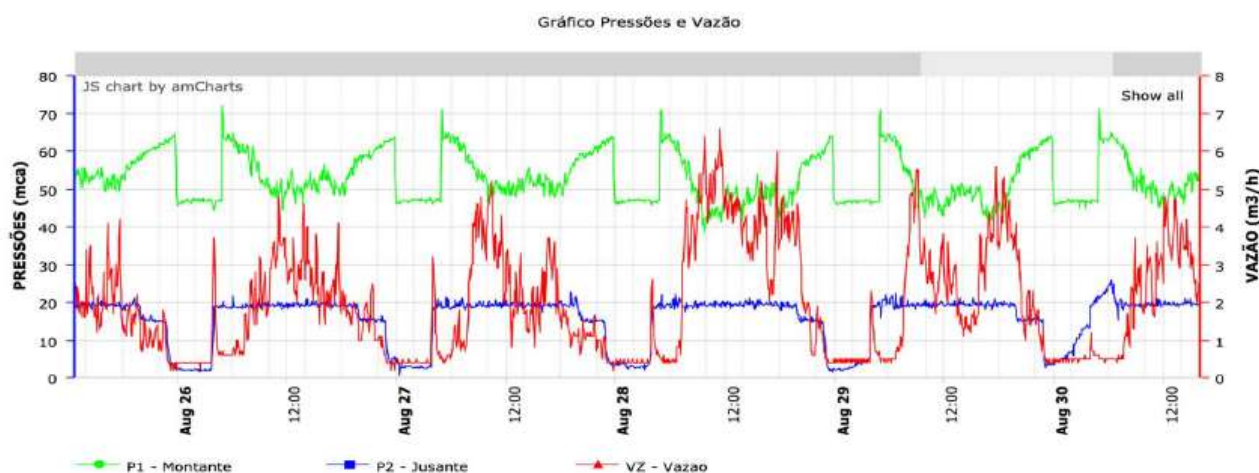


Fig.11 - Gráfico de comportamento da VRP DMC Campo Verde obtida no Porta ECOWEB – DMC Online

d) **Sumarizar** as maneiras de avaliar e melhorar o desempenho dos processos afetados pelo Programa, durante e logo após sua implantação. **Citar exemplo de** melhoria implantada decorrente dessa avaliação.

As avaliações são realizadas em reuniões de análise crítica, onde os colaboradores podem dar sugestões para aprimoramento dos processos. Como exemplo foi implantada nova forma de visualização do indicador de perdas do DMC Online através de gráficos conforme figura 8 onde comprova o bom funcionamento da modulação da VRP DMC CAMPO VERDE.

A tecnologia selecionada é adequada e robusta para a coleta dos dados:

- Os dados coletados são suficientes para a determinação das Perdas diárias
- Os indicadores são adequados para a gestão das Perdas
- É possível identificar fraudes com os dados monitorados, comparando seu histórico de consumo passado
- O Monitoramento permanente é fator de inibição de possíveis fraudes.

Futuramente não iremos precisar contrato do TACE para fazer as leituras dos hidros serão realizadas on line, contrato de fraudes também podem ser eliminados devido ao sistema criar o perfil de consumo de cada residência, bem como o aumento da eficiência operacional com a identificação de vazamentos e fraudes de forma imediata devido à nova forma de gestão online.

Questões de Resultados					
8. Resultados					Peso 40
Sistema de pontuação (por questão)					
Grau	0: Não responde	1: Evolução inconclusiva do resultado ou favorável qualitativamente	2: Evolução favorável de resultado indiretamente associado ao Programa	3: Evolução favorável de resultado diretamente associado ao Programa	4: Evolução significativamente favorável de resultado diretamente associado ao Programa E, se alíneas "a" ou "e, apresentou destaque solicitado E, se alínea "e", alcançou meta e nível competitivo
Escala%	0	25	50	75	100

Apresentar uma ou mais evoluções, conforme conveniente, de resultados direta ou indiretamente associados ao Programa para as questões abaixo.

Usar indicadores de desempenho pertinentes, com série histórica abrangendo resultados de “antes” e o “depois” ou outras evidências de melhoria como fotos “antes” e “depois”, reconhecimentos recebidos, resultados de pesquisas, comparativos com grupos de controle etc. No caso de resultados indiretos, **explicar** por que o Programa impulsionou o resultado.

A) ECONÔMICO OU FINANCEIRO

PESO 8

Além do(s) indicador(es) ou outras evidências de melhoria, **destacar** nessa questão a lição aprendida com o Programa em termos de seu custo total, incluindo mão-de-obra, por uma unidade de medida aplicável (por ligação, economia, km de rede, km² controlado, litros/ligação-dia reduzido, m³ distribuído, m³ coletado, m³ tratado ou similar), para se obter os resultados alcançados. No caso de retornos econômicos ou financeiros realizáveis para além de 3 anos da implementação do Programa, apresentar o retorno estimado, como ele foi estimado e o prazo de retorno (nesse caso o grau máximo será “3”, se for apresentado com consistência).

A gestão de perdas de forma online contribui para que o município tenha indicadores de perdas de água de excelência, sendo o município com o menor índice de vazamentos visíveis de toda a corporação (vazamentos visíveis/extensão de rede). Os indicadores também apresentam resultados de excelência quando comparados a municípios de mesmo porte no SNIS e parâmetros adotados pela IWA. As avaliações realizadas demonstram que a prática de gestão implementada traz excelentes resultados e pode ser ampliada para que a gestão de perdas online possa ser ampliada para outros DMCs.

	Índice Perda Faturamento (%)					
	sem DMC ONLINE					
	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19
IANC - Índice de água não comercializada (%) ↓	14,09%	17,74%	18,87%	16,06%	15,88%	14,39%
Volume Faturado (m³)	1.044	733	811	903	985	905
	Início DMC ONLINE					
	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19	jan/20
IANC - Índice de água não comercializada (%) ↓	9,17%	8,90%	23,33%	-1,73%	0,16%	-0,51%
Volume Faturado (m³)	991	1.024	978	1.272	1.240	1.057

Media Perdas antes (m³)	272
Media Perdas depois (m³)	59
Diferença Perdas (m³)	213
Recuperado 24 meses (m³)	5112
Recuperado 24 meses (R\$)	50.097,60

B) SOCIAL OU AMBIENTAL

PESO 4

O crescimento econômico e populacional eleva a demanda de água a cada dia, produzindo problemas de escassez em diversas regiões, exigindo uma melhor gestão dos recursos hídricos, a fim de realizá-la de no mundo é perdida através de vazamentos. Dessa forma, o projeto traz um impacto social e ambiental forma sustentável. Este cenário requer ações que visem a operação dos sistemas de abastecimento de água de forma eficiente, visando atender à população no presente e no futuro e o controle das perdas de água constitui um problema universal. Segundo relatório do Banco Mundial, cerca de 40 a 50% de toda a água produzida no mundo é perdida através de vazamentos. Dessa forma, o projeto traz um impacto social e ambiental positivo, através da redução de perdas de água proporcionada com a implantação do monitoramento de perdas online, possibilitando um menor impacto ao meio ambiente devido à menor retirada de água dos mananciais; uma melhoria na qualidade de vida das pessoas e a universaliza-ção no abastecimento (ODS 6).

C) CLIENTES OU MERCADOS

PESO 4

O projeto traz a agilidade na identificação de perdas, garantindo a entrega de água em quantidade e qualidade suficientes para atendimento aos clientes. Também serão proporcionados aos clientes o acompanhamento dos volumes consumidos. Tivemos au-mento do NPS - Net Promoter Score de Bragança Paulista.



Indicador NPS satisfação clientes ↑
2019 antes da implantação
71,9 (meta 84)

Indicador NPS satisfação clientes ↑
2020 pós-implantação, pós-pandemia.
59 (meta 84)

Indicador **NPS** satisfação clientes ↑
2021 pós-implantação, pós-pandemia.
84 (meta 84) até ago.

D) PESSOAS

PESO 4

A gestão de perdas de água não é uma atividade pontual, existe também a necessidade de um compromisso a longo prazo com o envolvimento de diversas áreas, e a integração entre os processos. Dessa forma são envolvidas equipes de operação, manutenção e comercial, bem como fornecedores de tecnologias como os hidrômetros pulsados e transmissão de dados, havendo um alinhamento para que a informação seja acessível e seja compreendida por todos.

O sistema de monitoramento online proporciona a identificação imediata de problemas, que são tratados em conjunto pelas equipes. Também são realizados diversos treinamentos de forma a capacitar e integrar toda a equipe de trabalho.

Tabela de indicadores	Un	MS	2017	2018	2019	Meta
Capacitação e desenvolvimento						
Horas de capacitação e desenvolvimento	Horas/ empregado	↑	19,4	19,7	23,8	-
Índice de cumprimento do plano de capacitação e desenvolvimento (PCD)	%	↔	99	95	90	95
Índice de eficácia de treinamento	%	↔	100	100	100	100
Qualidade de vida Segurança						
Índice de frequência de acidentes	Acidente x milhão / hora	↓	9,6	5,6	3,5	4,1
Coeficiente de gravidade de acidentes	Dias x milhão / hora	↓	92,6	66,2	10,4	112,1

E) EFICIÊNCIA DE PROCESSO

PESO 20

Além do(s) indicador(es) ou outras evidências de melhoria, **apresentar** nessa questão o nível de competitividade alcançado por meio da apresentação de referencial comparativo pertinente (ver

“referencial comparativo pertinente” no Glossário Critérios de Avaliação MEGSA). **Destacar** nessa questão as principais lições aprendidas com o Programa, além da citada em “8.a”.

O **Resumo do Case** no tópico “A” deve **sumarizar** com clareza o principal resultado de eficiência apresentado nessa questão.

Principais lições aprendidas com projeto, envolvimento diversas áreas da Sabesp para a busca de solução global dos problemas. A gestão de perdas de forma online contribui para que o município tenha indicadores de perdas de água de excelência, sendo o município com o menor índice de vazamentos visíveis de toda a corporação (vazamentos visíveis/extensão de rede). Os indicadores também apresentam resultados de excelência quando comparados a municípios de mesmo porte no SNIS e parâmetros adotados pela IWA. As avaliações realizadas demonstram que a prática de gestão implementada traz excelentes resultados e pode ser ampliada para que a gestão de perdas online possa ser ampliada para outros DMCs. Conforme citado no resumo e com redução de 155L/lig.dia, considerando citação de Mutikanga concluímos que a prática permite ser um bom benchmarking.

Em nossa pratica o comparativo pertinente é o município de Borá pelo critério de similaridade e que apresentou 80,98 l/lig.dia. versus nossa média de 40,0 l/lig.dia.

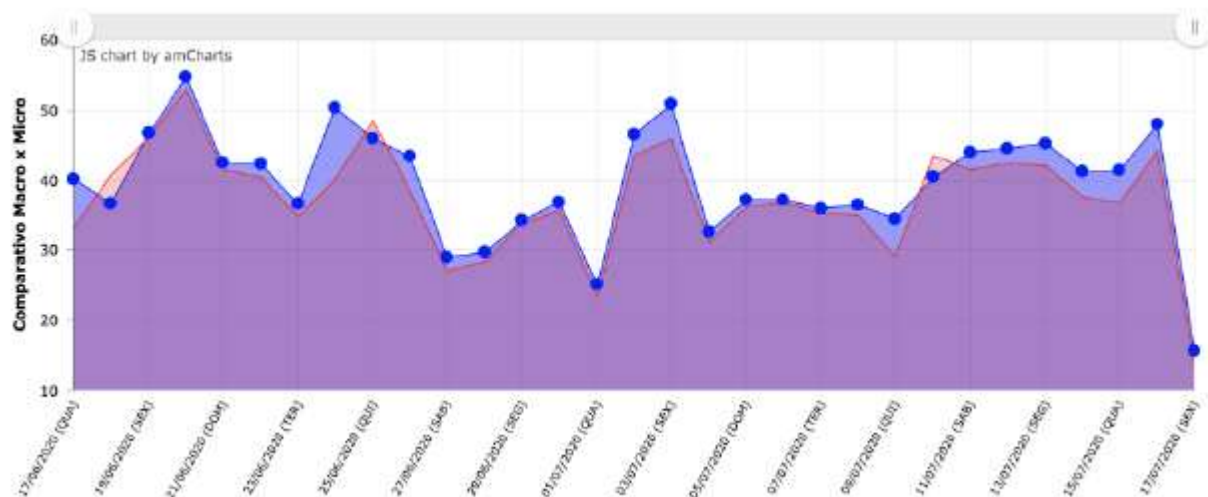
Neste último ano identificou-se a necessidade de um servidor dedicado, para garantir autonomia e integridade maior dos dados coletados. Mesmo com grandes esforços e mudanças previstas no sistema comercial corporativo a equipe desta prática conseguiu realizar todos os ajustes, liberações e demais configurações para disponibilizá-lo e com isso permitirá um faturamento on-line.

“Assuming an average consumption of 150 L/c/d, the water saved (1,831 ML/d) is enough to serve more than 12 million people or the whole area served by Severn Trent, the second biggest water company in England and Wals.”⁴ (Harrison E. Mutikanga).

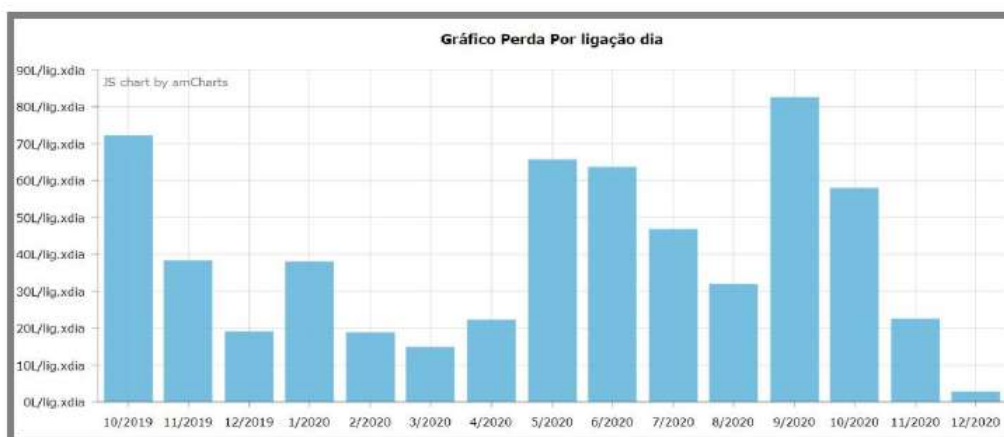
Medido de Água - Macro Medido	Consumo Autorizado - Macro Medido	Autorizado Faturado	Medido Faturado	Água Faturada
644,14 m ³	610,91 m ³		Não Medido Faturado	
40258,75 l/d	38181,88 l/d	Autorizado Não Faturado	Medido Não Faturado	Água Não Faturada
100 %	94,8 %		Não Medido Não Faturado	
	Perdas de Água	Perdas Comerciais	Consumo Não Autorizado	
	33,23 m ³		Perda Aparente + Fraudes	
	2076,87 l/d	Perdas Físicas		
	5,2 %			

Cenário atual

- Dados diários da Macro e da Micro
- Perfil detalhado de cada consumidor
- Diversos indicadores automatizados
- DMC com ótima performance



Borá / SP	
Borá	
Regional Microrregional	
População Total	837 hab.
População Urbana	652 hab.
Microrregião	Assis
Mesorregião	Assis
Indicadores do município	
IN005	3.14 R\$/m³
IN009	100.00 %
IN011	100.00 %
IN022	154.89 l/hab./dia
IN023	100.00 %
IN049	17.97 %
IN051	80.98 l/hab./dia
IN055	100.00 %



MUDANÇA DE PERFIL

DMC Campo Verde

Setembro 2019
184,9 L/lig.dia



Junho 2020
47 L/lig.dia

Redução média de 140L/lig.dia
nas Perdas

Média: 214m³/mês de redução
nas Perdas

Mes	Macro (m3)	Micro (m3)	Perda (m3)	Perda (%)	Qtde. Lig.	Núm. dias	IPDT L/lig.dia
10/2019	1400,21	1290,61	109,6	7,8	49	31	72,2
11/2019	1183,94	1127,55	56,39	4,8	49	30	38,4
12/2019	1265,89	1236,67	29,22	2,3	49	31	19,2
1/2020	1246,42	1187,699	58,721	4,7	50	31	37,9
2/2020	1000,1	972,59	27,51	2,8	50	29	19
3/2020	1178,08	1155,1	22,98	2	50	31	14,8
4/2020	1551,63	1518,19	33,44	2,2	50	30	22,3
5/2020	1541,81	1440,06	101,75	6,6	50	31	65,6
6/2020	1288,32	1192,68	95,64	7,4	50	30	63,8
7/2020	1411,12	1338,27	72,85	5,2	50	31	47
8/2020	1460,17	1409,63	50,54	3,5	51	31	32
9/2020	1840,99	1714,74	126,25	6,9	51	30	82,5
10/2020	1578,89	1487,25	91,64	5,8	51	31	58
11/2020	1285,07	1250,41	34,66	2,7	51	30	22,7
12/2020	1386	1381,31	4,69	0,3	51	31	3

GLOSSÁRIO (OPCIONAL)

Citar, se necessário, glossário para siglas e termos não usuais. Não há pontuação para este tópico e não deve ser incluído na contagem para limite de páginas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (OPCIONAL)

Citar, se necessário, as fontes bibliográficas que foram usadas nesse trabalho. Não há pontuação para este tópico e não deve ser incluído na contagem para limite de páginas.

REFERENCIAL TEÓRICO;

WATER LOSS MANAGEMENT TOOLS AND METHODS FOR DEVELOPING COUNTRIES; 2012; Pag.70.
<https://docplayer.net/41392725-Water-loss-management-tools-and-methods-for-developing-countries.html>.

Capítulo 2



10.37423/230507694

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA EM BANGU/RJ

Brunna Mothé Mattos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Alena Torres Netto

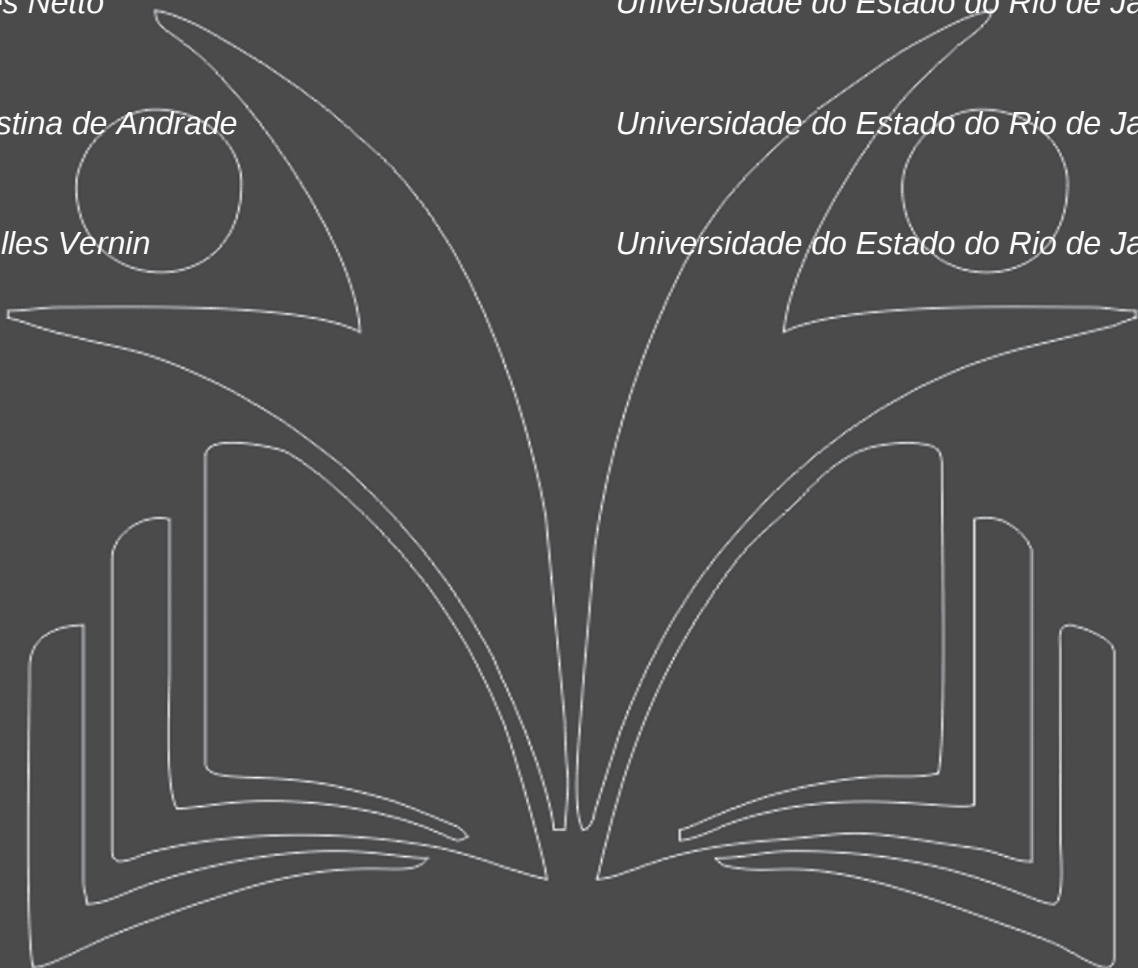
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rosane Cristina de Andrade

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Nathalia Salles Vernin

Universidade do Estado do Rio de Janeiro



Resumo: O crescimento econômico e populacional ocasiona uma demanda maior dos setores agrícola, industrial e energético. Esta situação aliada à intensa e desordenada ocupação espacial, reflete em grandes perdas de qualidade e quantidade de recursos naturais, um dos mais explorados é a água. Com o objetivo de preservar a água, um recurso natural essencial a vida, a sociedade tem buscado tecnologias para o desenvolvimento sustentável. E uma delas é a captação e aproveitamento da água de chuva. O sistema consiste em coletar a água que precipita em telhados ou coberturas para fins não potáveis, como utilização em bacias sanitárias, lavagem de pisos, lavagem de carros, irrigação paisagísticas e uso ornamental. A água que escoar nos telhados/coberturas é captada através das calhas e conduzida por condutos verticais e horizontais. Após passar pelo filtro de folhas, que retém os sólidos mais grosseiro, os primeiros volumes de chuva precisam ser separados e descartados, pois carregam diversas impurezas do ar atmosférico e principalmente do telhado e calhas, contendo um grau de contaminação elevado. Para torná-la própria para o uso não potável é necessário realizar um tratamento dessa água, que passa, após as etapas descritas, por um filtro mais fino e por cloração. A água pluvial é, então, armazenada no reservatório inferior, bombeada para o reservatório superior que realiza a distribuição para os pontos de consumo. O reservatório deve ser dimensionado de acordo com a demanda de água não potável e disponibilidade pluviométrica local. A viabilidade da implementação do sistema depende basicamente dos seguintes parâmetros: precipitação, área de captação, demanda de água para usos não potáveis, tamanho dos reservatórios e o valor da tarifa de água da concessionária local. O estudo realizado, no presente trabalho, para a implementação do sistema de aproveitamento de água de chuva em um edifício industrial, localizado em Bangu-RJ, apresentou resultados positivos, com tempo de retorno de capital (TRC) de 3 anos e 3 meses, taxa interna de retorno (TIR) igual a 38,66% e valor presente líquido (VPL) totalizando R\$17288,13. Concluindo, os resultados da viabilidade foram satisfatórios tornando possível a sua implantação.

Palavras-chave: Água pluvial, Sustentabilidade, Conservação da água.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade limitada e uso indiscriminado de recursos naturais têm gerado amplas discussões na sociedade. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de utilizar racionalmente a água, um recurso natural indispensável à vida.

O crescimento populacional, aliado à intensa urbanização, amplia as demandas por água nos setores agrícola, industrial e energético (CANTELLE; DE CASTRO LIMA; BORGES, 2018). Com isso, a qualidade e a quantidade de água disponíveis ficam prejudicadas, elevando os níveis de escassez hídrica, mesmo no Brasil, um país com abundância de água doce.

A escassez é resultado da falta de gestão do uso da água, sobretudo em períodos de estiagem associado ao uso inadequado do solo e intensa devastação e degradação dos biomas, o que destaca a urgência de ações para atender com segurança as demandas hídricas atuais e futuras. Além disso, a distribuição populacional não é proporcional à disponibilidade de recursos hídricos pois a população brasileira está concentrada justamente nas regiões em que a oferta de água é menor (MOREIRA; SEO, 2021).

O Brasil vem enfrentando problemas com secas, não somente no semiárido nordestino, mas também, nas regiões do Centro-Oeste e Sudeste que passaram por racionamento de água, como a crise hídrica do Distrito Federal que provocou racionamento da água entre 2017 e 2019 e de São Paulo que se estendeu de 2014 até 2016 e que agora, em 2021, está em alerta devido aos baixos níveis dos reservatórios. Essas crises na região Sudeste estão relacionadas a intensa degradação do meio ambiente, tanto nas áreas rurais como nas áreas urbanas, por conta da intensa ação antrópica, sendo necessário investimento para controlar a poluição difusa e pontual. Já nas bacias da região Centro-Oeste, há o desafio da fronteira agrícola que demanda grandes volumes de água para irrigação (MOREIRA; SEO, 2021 apud BRAGA et al., 2015).

A busca por alternativas para diminuir os impactos causados na natureza pelo aumento da demanda hídrica é crucial. Uma proposta sustentável é o sistema de captação de água da chuva, possibilitando prolongar seu ciclo de vida e sua utilização em outras atividades de uso não potável. Com base nessa premissa, este trabalho avaliou a viabilidade de um projeto de aproveitamento de água de chuva, para uma indústria de médio porte, localizada em Bangu, no estado do Rio de Janeiro.

Para o trabalho em questão, através de revisão bibliográfica e seguindo as normas ABNT para construção de projeto de aproveitamento de água de chuva, foi dimensionado um sistema de

captação de água de chuva em uma indústria de médio porte, localizada em Bangu, no município do Rio de Janeiro, indicando o tamanho do reservatório necessário para suprir a demanda, de acordo com índice pluviométrico e demanda não potável de água da economia. Além de calcular o período de retorno do capital investido e a economia gerada a longo prazo, com a redução das tarifas relacionadas ao uso da água fornecida pela concessionária.

OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste em avaliar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de captação de água da chuva para fins não potáveis aplicado a uma indústria de médio porte, localizada em Bangu, no estado do Rio de Janeiro. Dentre os objetivos específicos, tem-se:

- a) Descrever os critérios para a elaboração do projeto, com base nas normas vigentes;
- b) Realizar o dimensionamento do sistema de captação de água pluvial de forma a atender a demanda de uma tipologia industrial;
- c) Avaliar a viabilidade econômica da implantação e utilização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, e;
- d) Apresentar os benefícios da utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva, diante de uma situação de escassez hídrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o projeto foi utilizado o método de pesquisa exploratória para entender o funcionamento do sistema de captação de água de chuva, seus componentes, os processos necessários para tornar a água bruta em água tratada e como implementá-lo em uma edificação industrial.

Para o delineamento foi necessária uma pesquisa bibliográfica e documental. O dimensionamento do sistema de captação pluvial foi realizado utilizando-se as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 15.527:2019, NBR 10.844:1989 e NBR 5.626:2020.

Além disso, o estudo tem caráter quantitativo, uma vez que realizou o dimensionamento do sistema de captação de água de chuva de um empreendimento, localizado em Bangu / RJ. A edificação possui 600 m² de área construída, sua cobertura é um telhado com duas águas e duas faces de decaimento. O início do telhado está a 6 metros do solo, possui 20 metros de largura, 30 metros de comprimento e a altura da base do telhado até o topo tem 0,5 metros. O empreendimento possui 40 funcionários que trabalham no local em dias úteis e com jornada de trabalho de 9 horas diárias. A demanda de água, para fins não potáveis, como para lavagem de pisos e para irrigação, foi estimada em 200 litros mensais.

O esquemático das etapas e componentes em sequência do sistema de captação de água de chuva esta apresentado na Figura 1.

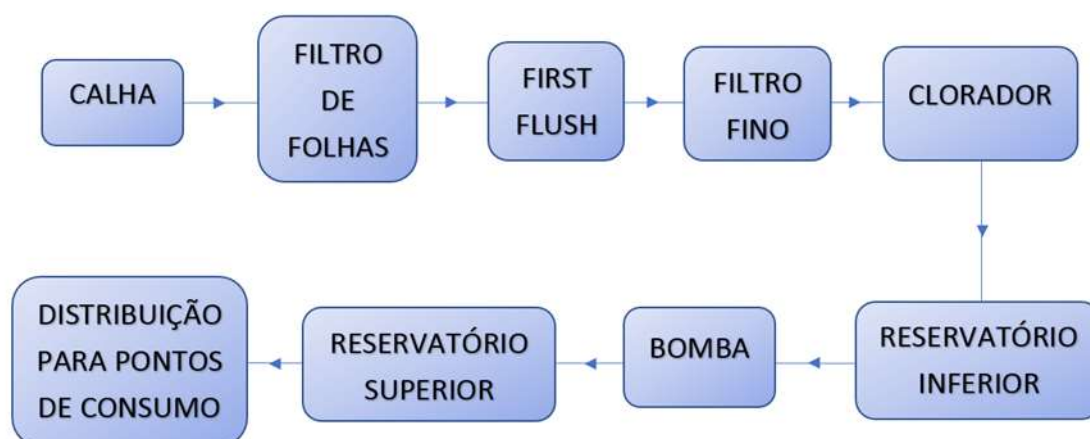


Figura 1: Sequencial do sistema de aproveitamento de água da chuva.

Para dimensionar as calhas é necessário conhecer a vazão do projeto (Equação 1), uma vez que determina a quantidade de vazão máxima que a calha deve suportar, sem transbordar, em um evento de intensa chuva. O valor de intensidade pluviométrica para foi retirada da Tabela 5 apresentada no anexo da ABNT NBR 10.844:1989 para local Rio de Janeiro/RJ (Bangu), para avaliar o cenário mais crítico foi utilizado um período de retorno de 20 anos. Para este caso o $I = 174 \text{ mm/h}$.

$$Q = \frac{I \times A}{60} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, Q é a vazão do projeto (L/min); I é a intensidade pluviométrica (mm/h); A é a área de contribuição (m^2).

Para dimensionar a calha foi utilizada a fórmula de Manning-Strickler (Equação 2)

$$Q = 60.000 \frac{S}{n} \sqrt[3]{Rh^2} \sqrt{i} \quad \text{Equação 2}$$

Onde, Q é a vazão do projeto (L/min); S é a área da seção molhada (m^2); n é o coeficiente de rugosidade; Rh é o raio hidráulico (m); i é a declividade da calha (m/m).

Uma parte do sistema que é importante destacar é o *first flush*, que foi dimensionado para, de forma automática, separar os primeiros volumes de chuva que carregam a maior quantidade de impurezas provenientes da poluição atmosférica, como partículas de fuligem, gases acidificantes e até poeira, e

sujeiras da área de coleta (telhado e cobertura) e calhas, quando a chuva escorre por essas superfícies, também carrega impurezas dela, exercendo a função de limpeza (GERALDI, 2018).

Para a retirada dos primeiros milímetros de chuva é utilizado um sistema composto por uma conexão seguida por uma tubulação de 100 mm de diâmetro (DN 100) e uma bola de plástico flutuante para impedir a passagem de água. Para o sistema, foi dimensionado dois dispositivos, dois reservatórios, em sequência, após o filtro de folhas. Cada dispositivo de descarte terá 4,5 metros de comprimento, ou seja, cada um terá 141,4 litros, totalizando a capacidade total de 282,8 litros, que corresponde aos primeiros 0,92 mm de chuva. Os reservatórios tubulares enchem e armazenam o volume das primeiras chuvas, que possui a grande concentração de carga poluidora do ar e sujeiras presentes no telhado e calhas. Após isso, os volumes seguintes de chuvas seguem mais limpos para as próximas etapas do sistema.

O volume do reservatório foi dimensionado com base na área de captação, regime pluviométrico e demanda da água não potável a ser atendida. O método escolhido para dimensionar o reservatório da água de chuva foi o método de Rippl. Para definir o volume do reservatório foi feito o levantamento, no site do Climatempo, com base nos valores de precipitação média mensal dos últimos 30 anos registrados para o Estado do Rio de Janeiro (Tabela 1).

Tabela 1: Precipitação média mensal de 1991 a 2020 para o Estado do Rio de Janeiro.

Meses	Precipitação média mensal (mm)
Janeiro	184
Fevereiro	130
Março	153
Abril	108
Maio	80
Junho	54
Julho	60
Agosto	49
Setembro	94
Outubro	104
Novembro	138
Dezembro	183

Para avaliar a viabilidade do projeto foi necessário conhecer o valor da tarifa de água para o local de acordo com a atividade exercida no empreendimento. Foi consultada a tarifa cobrada pela CEDAE, Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro por metro cúbico. Ademais, os dados de

investimento inicial, taxas e tarifas de mercado foram usados para estimar o Tempo de Retorno do Capital (TRC) ou payback, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Para executar todos os cálculos de dimensionamento e de viabilidade econômica, foi utilizado o software aplicativo Excel®.

RESULTADOS OBTIDOS

Para o cálculo da demanda de água para usos não potável, considerou-se a existência de 40 funcionários trabalhando apenas nos dias úteis. Dessa forma, estimou-se uma média de 18 litros de água per capita por dia para utilização em descargas sanitárias e 200 L/mês para lavagem de pisos e irrigação paisagística. Logo, considerou-se uma demanda mensal de água não potável para o empreendimento igual a 14.600 L.

Através do método de Rippl, verificou-se a necessidade de um volume a ser armazenado de pelo menos 1.793 L para garantir o atendimento da demanda mensal optou-se pela utilização de dois reservatórios: um superior e outro inferior, ambos de 1.000 L cada. Como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Método de Rippl para dimensionamento de reservatório.

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal de água não potável (m³)	Área de captação (m²)	Volume captado de chuva mensal (m³)	Diferença entre o volume da demanda e o volume captado (m³)	Diferença acumulada dos valores positivos ao longo dos meses (m³)	Situação do nível da água do reservatório
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 6 = (Col 2 x Col 4 x Col 5 x Cr/ 1000)	Coluna 7 = (Col 3 -Col 6)	Coluna 8	Coluna 9
Janeiro	184	14,6	307,5	48,1	-33,5	0	Extravasando
Fevereiro	130			34,0	-19,4	0	Extravasando
Março	153			40,0	-25,4	0	Extravasando
Abril	108			28,2	-13,6	0	Extravasando
Maio	80			20,9	-6,3	0	Extravasando
Junho	54			14,1	0,5	0,48575	Diminuindo
Julho	60			15,7	-1,1	0	Extravasando
Agosto	49			12,8	1,8	1,792625	Diminuindo
Setembro	94			24,6	-10,0	0	Extravasando
Outubro	104			27,2	-12,6	0	Extravasando
Novembro	138			36,1	-21,5	0	Extravasando
Dezembro	183			47,8	-33,2	0	Extravasando
Total	1337	175,2	3690	349,46	Volume do reservatório indicado =		1,793 m³
Coeficiente de runoff (Cr) = 0,85					Volume do reservatório indicado =		1793 L

O valor calculado da vazão total do projeto foi de 799,5 L/min, de acordo com a intensidade pluviométrica para o bairro de Bangu considerando um período de retorno de 30 anos (154 mm/h) e área de captação igual a 307,5 m² (área de telhado). O projeto compõe duas linhas de calhas com inclinação de 0,5% que contornam o comprimento do telhado que equivale a 30 metros, totalizando 60 m de calhas. A vazão que deve ser suportada pela calha é a metade da vazão total do projeto, por causa da divisão de divisão devido à configuração do telhado, então cada calha deve atender a vazão de 399,75 L/min. Os dados do dimensionamento das calhas estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Dados para conferir dimensionamento de calha.

Dimensionamento da calha escolhida	
Vazão de chuva no trecho	399,75 L/min
Tipo de calha	Semicircular
Material	Plástico
Coeficiente de rugosidade	0,011
Declividade	0,005
Diâmetro	170 mm
Vazão máxima da calha	533,1 L/min

Para iniciar a análise da viabilidade econômica é necessário conhecer o investimento inicial realizado. Então, foi possível conceber a lista de matérias, assim como capital necessário, para a implementação do sistema de captação de água de chuva como expresso na Tabela 4.

Tabela 4: Lista de materiais e custo de implementação.

Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total por item
Calhas (m)	60	R\$ 60,00	R\$ 3.600,00
Conduto vertical tubo PVC (m)	60	R\$ 50,00	R\$ 3.000,00
filtro de folhas (un.)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Dispositivo de retirada da "primeira chuva" (un.)	2	R\$ 100,00	R\$ 200,00
Cisterna e reservatório (un.)	2	R\$ 360,00	R\$ 720,00
Bomba (un.)	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Ladrão/ extravasor (un.)	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Freio d'água (un.)	2	R\$ 150,00	R\$ 300,00
Conjunto Flutuante de Sucção (un.)	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Filtro fino (un.)	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Clorador (un.)	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Mão de obra	-	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Acessórios para tubulação	-	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Pastilha de cloro (kg)	3	R\$ 60,00	R\$ 180,00
Valor total do investimento inicial =			R\$ 12.700,00

Na Tabela 5, encontram-se os dados utilizados para o estudo da viabilidade econômica do projeto. A análise de economia foi realizada para 10 anos de uso do sistema, uma vez que, o projeto possui 10

anos de vida útil garantida. A estimativa calculada do investimento inicial, avaliando mão de obra e materiais, totalizou R\$ 12.700,00. Considerou-se, ainda, os juros de mercado anual igual a 8,0%, tarifa da água potável igual a R\$ 21,577343/m³, um aumento de 4,0% anual no valor da tarifa da água potável e o atendimento total da demanda mensal de água não potável (14,6 m³).

Tabela 5: Fluxo de caixa após implementação do sistema de captação de água da chuva.

Ano	Tarifa da água potável	Economia Mensal	Economia Anual	Saldo Anual
20X0	R\$ 22,44	R\$ 328	R\$ 2.949	-R\$ 9.751,33
20X1	R\$ 23,34	R\$ 341	R\$ 4.089	-R\$ 5.662,50
20X2	R\$ 24,27	R\$ 354	R\$ 4.252	-R\$ 1.410,12
20X3	R\$ 25,24	R\$ 369	R\$ 4.422	R\$ 3.012,36
20X4	R\$ 26,25	R\$ 383	R\$ 4.599	R\$ 7.611,73
20X5	R\$ 27,30	R\$ 399	R\$ 4.783	R\$ 12.395,08
20X6	R\$ 28,39	R\$ 415	R\$ 4.975	R\$ 17.369,76
20X7	R\$ 29,53	R\$ 431	R\$ 5.174	R\$ 22.543,43
20X8	R\$ 30,71	R\$ 448	R\$ 5.381	R\$ 27.924,05
20X9	R\$ 31,94	R\$ 466	R\$ 5.596	R\$ 33.519,89

Vale destacar que, no ano 20X0, foi realizado o investimento inicial de R\$12.700,00 e foi considerado 3 meses para construção do sistema. e então, a partir do 4º mês deste ano, com o sistema já em funcionamento, é possível obter economia com a sua utilização. Ou seja, ao final do ano 20X0 houve uma economia referente a 9 meses de utilização do sistema, totalizando R\$2.949,00. Nos anos seguintes, a economia anual é com base na utilização de 12 meses do sistema.

Como resultado final da projeção, o VPL do projeto, referente a 10 anos de análise, tem valor de R\$ 17.288,13 e a TIR é 38,66%. O TRC, o payback, do montante investido inicialmente para a implementação do sistema com valor de R\$12.700,00, ocorre a partir da economia gerada com a redução de gastos tarifários de água potável, pagos à concessionária. O payback do estudo em questão se realizaria em 3 anos e 3 mês, considerando a utilização plena do sistema suprimindo a demanda mensal de 14,6 m³.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante o presente trabalho, foi possível perceber a importância em encontrar alternativas sustentáveis para suprir a demanda de um recurso natural tão explorado e pouco conservado: a água.

O sistema de aproveitamento de água de chuva consiste das seguintes etapas: coleta da água nas áreas impermeáveis (telhados e coberturas), seguida do processo de filtração da água e armazenamento em reservatórios de acumulação.

A instalação do sistema de captação de água das chuvas se mostrou tecnicamente viável em edifícios que possuam espaço para as instalações. São necessárias as existências de um sistema de água potável e outro de água pluvial com reservatórios, tubulações e pontos de consumo separados e identificados para impedir que as águas se misturem e coloquem em risco a saúde dos usuários. O sistema pode ser concebido em construções novas ou já existentes. Neste último caso, a adaptação das tubulações internas torna mais complexo o projeto.

Na Figura 2, é possível ver de forma mais elucidativa o fluxo de caixa do uso do sistema nos cinco primeiros anos. A linha tracejada é referente à quantidade do valor pago em cada ano do montante do investimento inicial, através da economia gerada com o uso do sistema de aproveitamento de água da chuva.

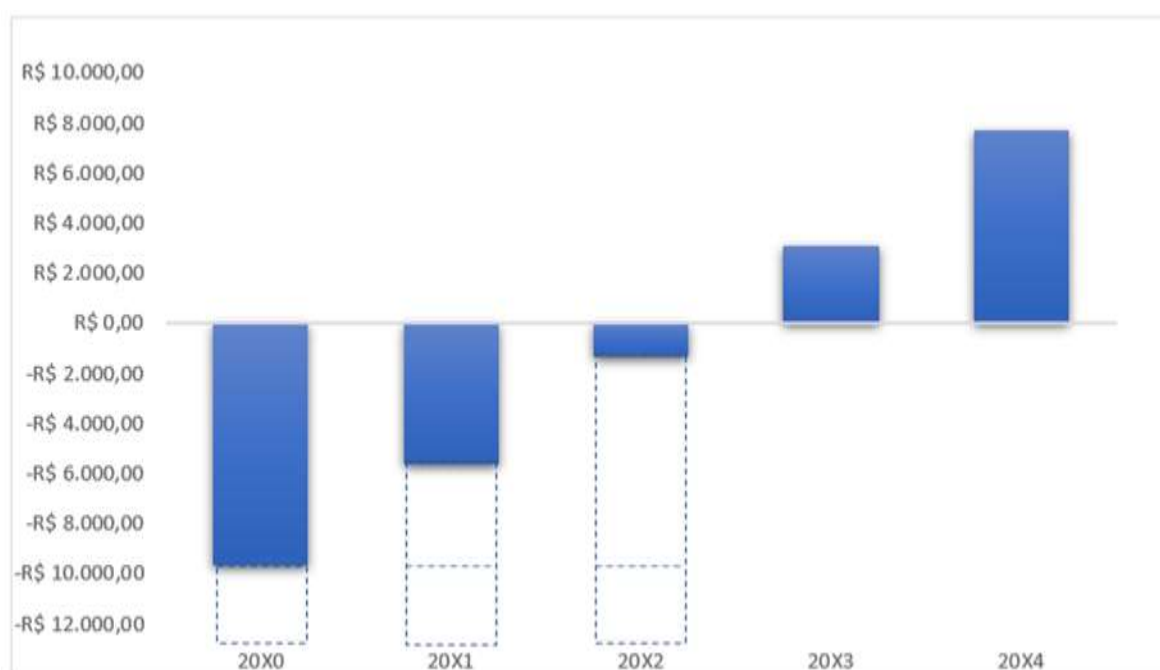


Figura 2: Gráfico de Payback do sistema de captação de água de chuva.

Analisando a economia de água potável, o curto tempo de payback do projeto e a existência de meios para construção do sistema de aproveitamento de água da chuva, a implementação do sistema é viável para esta indústria.

Além do ganho econômico, que é visível em poucos anos, o empreendimento adepto do sistema está em concordância com pautas cada vez mais importantes de sustentabilidade e preservação de recursos naturais. Agregando, assim, valor à indústria e ao seu produto no mercado.

O projeto traz ganhos econômicos, devido a economia gerada ao utilizar o sistema. Além disso, está alinhado com práticas de desenvolvimento sustentáveis, uma vez que substitui o uso da água potável fornecida pela concessionária, nas demandas não potáveis, e isso diminui o impacto causado ao meu ambiente nas etapas de captação e tratamento das águas dos mananciais. Para a indústria, ter em seus processos mecanismos sustentáveis estabelece uma imagem muito positiva, tanto para os consumidores quanto para os investidores, e esse reconhecimento gera uma preferência para compra e investimento em seus produtos.

Vale destacar que o estudo foi realizado com base em um cenário, com dimensões de um edifício e regime pluviométrico local, portanto, o mesmo precisa ser ampliado para demais regiões e configurações espaciais, a fim de determinar a viabilidade para cada projeto atendendo às particularidades.

CONCLUSÕES

Avaliando a viabilidade da implementação do sistema, os parâmetros determinantes são: a precipitação, as dimensões da edificação (principalmente a área de captação), demanda de água para usos não potáveis, tamanho dos reservatórios e o valor da tarifa de água da concessionária local. Para empreendimentos industriais que pagam tarifas mais caras por metro cúbico de água, devido ao alto consumo, e apresentam maior demanda de água para usos não potáveis, como em bacias sanitárias, lavagem de pisos e de irrigação paisagística, a instalação do aproveitamento de água de chuva tende a ter o retorno do investimento inicial mais rápido. O sistema de aproveitamento de águas desenvolvido mostrou-se adequado para a utilização nessa tipologia de indústria.

Os custos provenientes da implementação do aproveitamento de água da chuva são concentrados na fase de construção do projeto, com a aquisição de materiais e a mão de obra. Os custos com manutenção são bem reduzidos e aparecem por conta da limpeza dos componentes do sistema, com a finalidade de manter seu funcionamento com eficiência máxima. De acordo com a avaliação realizada, os custos totais de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (materiais e mão de obra) foram de R\$ 12.700,00. O retorno do investimento ocorre em 3 anos, enquanto estima-

se que a vida útil do sistema seja de 10 anos. Essa viabilidade é crescente quanto maior e mais afastado da tarifa mínima de água (e esgoto) for o consumo residencial em questão.

Além disso, foi verificado que é possível o aproveitamento da água da chuva durante todo o ano, mesmo com uma considerável variabilidade sazonal no regime de precipitação, conforme identificada pelo estudo pluviométrico da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 5626: Sistema prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020
2. ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10844: Concepção do projeto: Instalações prediais de águas pluviais. – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.
3. ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 15527: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
4. BRITO, Debora. A água no Brasil: da abundância à escassez. Agência Brasil, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/agua-no-brasil-da-abundancia-escassez>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
5. CANTELLE, T. D.; DE CASTRO LIMA, E.; BORGES, L. A. C. Survey of hydric resources worldwide and in Brazil. Revista em Agronegocio e Meio Ambiente, v. 11, n. 4, p. 1259–1282, 2018.
6. GERALDI, M. S. First Flush: a importância do descarte das primeiras chuvas. Rain Map. Florianópolis, 2018. Disponível em: < <https://rainmap.com.br/a-importancia-do-descarte-das-primeiras-chuvas/> >. Acesso em: 7 abr. 2021.
7. MONTOVANI, Mario. Desmatamento na Mata Atlântica cresce quase 30%. Entrevista concedida a SOS Mata Atlântica, 2020. Disponível em:

< <https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-na-mata-atlantica-cresce-quase-30/> >. Acesso em: 11 mai. 2021.
8. MOREIRA, T. M.; SEO, E. S. M. Reúso da água de chuva: uma alternativa sustentável para os períodos de escassez hídrica / Reuse of rain water: a sustainable alternative for the periods water shortage. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 4, n. 1, p. 671–683, 2021.

Capítulo 3



10.37423/230507707

PROPOSTA ALTERNATIVA PARA MINIMIZAÇÃO DE LODO GERADO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA GALVÂNICA

Sebastiam Johann Batista Perini

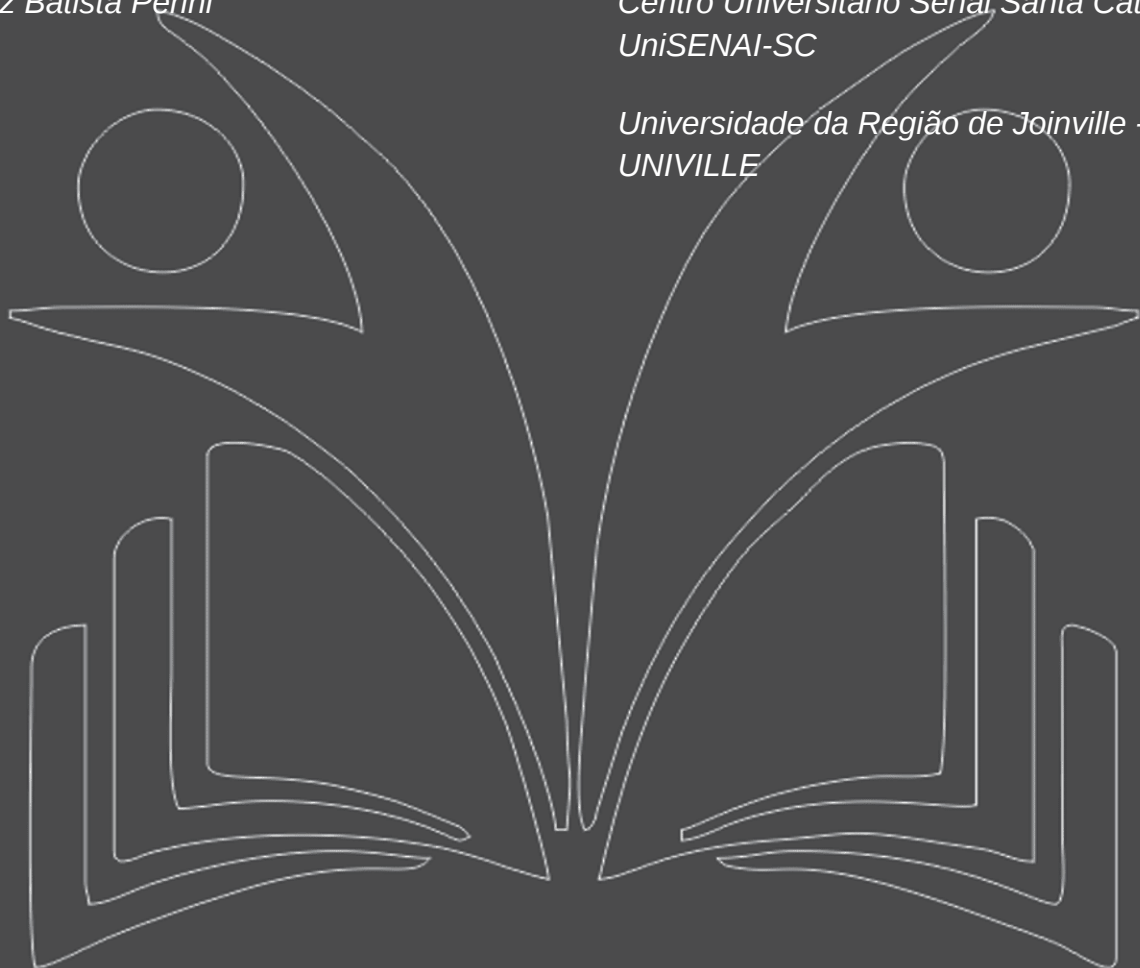
*Centro Universitário Senai Santa Catarina -
UniSENAI-SC*

Brayam Luiz Batista Perini

*Centro Universitário Senai Santa Catarina -
UniSENAI-SC*

Noeli Sellin

*Universidade da Região de Joinville -
UNIVILLE*



Resumo: Nas Estações de Tratamento de Efluentes das indústrias galvânicas, é comum o emprego de hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , como agente precipitante de metais pesados no tratamento físico-químico do efluente. Neste processo é gerado resíduo sólido, denominado lodo, composto essencialmente de hidróxidos dos metais pesados. Apesar de possuir menor custo em relação a outros agentes químicos, o tratamento com hidróxido de cálcio gera grandes quantidades de lodo, elevando os custos com transporte e destinação deste aos aterros industriais. Visando a minimização de lodo gerado, este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar a eficiência soda barrilha ou carbonato de sódio (Na_2CO_3) e do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 no tratamento de efluentes gerados no processo de galvanização à quente de uma indústria da região de Joinville/SC. Foram realizados ensaios em amostras de efluentes da etapa de decapagem ácida e da mistura destes com efluentes do banho de resfriamento em diferentes proporções. Os ensaios de precipitação química e floculação, sob diferentes condições experimentais, foram realizados primeiro em béqueres e depois em Teste de Jarros e a eficiência do tratamento foi avaliada a partir dos parâmetros ferro e zinco dos efluentes bruto e tratado. O lodo gerado foi caracterizado pelo teor de sólidos sedimentáveis e massa seca final. A mistura dos efluentes da decapagem ácida e do resfriamento das peças facilitou o ajuste do pH e a precipitação química com ambos os agentes precipitantes. O tratamento por precipitação química com soda barrilha ocasionou maiores eficiências de remoção (> 99%) de zinco e ferro do que a cal hidratada, além dos teores destes estarem de acordo com os limites para lançamento de efluentes em corpos hídricos, conforme a Resolução CONAMA 430/2011. O teor de sólidos sedimentáveis e a massa de lodo gerado também foi menor com o emprego de soda barrilha, mostrando sua viabilidade na substituição da cal hidratada no tratamento de efluentes galvânicos.

Palavras-chave: Galvanização por imersão a quente, Tratamento de efluente, Precipitação química, Minimização de lodo.

INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento de superfície em materiais metálicos também podem ser empregados em forma conjunta com a pintura, modificando a superfície do metal de modo a auxiliar na aderência da tinta, atendendo as indústrias da linha branca e automotiva. Segundo Nascimento (2012), destacam-se os tratamentos de galvanização por eletrodeposição ou galvanoplastia, galvanização por imersão a quente e a fosfatização, sendo que nos três processos, a etapa de tratamento de superfície é precedida por banhos de desengraxe alcalino, lavagem, decapagem ácida, lavagem, fluxagem e secagem. As duas etapas de lavagem utilizam apenas água para remoção dos resíduos das peças, e a água destes banhos necessitam de trocas constantes a medida que ocorre a saturação em função do aumento da concentração de ferro dissolvido proveniente das peças.

A etapa de decapagem ácida é empregada visando remoção de camadas de óxidos (principalmente a base de ferro) e carepas das peças que não foram removidas no banho de desengraxe alcalino. O banho usado na decapagem é composto por ácido clorídrico em concentração de 10 e 20%, ou mais, dependendo do tipo de óxido a remover. Em função destes aspectos, após uso contínuo no processo ou esgotamento, a solução decapante deve ser descartada, gerando água residuária com pH baixo, menor que 1, metais solúveis, como ferro (oriundo da oxidação das peças) e zinco (das peças que já foram zincadas e retornaram ao processo), e outros aditivos como inibidores (Pereira Neto et al, 2008).

O tratamento destes efluentes por processo convencional consiste na adição do alcalinizante, que regula o pH e ocasiona na precipitação química dos metais que estavam dissolvidos na forma iônica, de modo que estes passem para forma sólida. Este processo é acelerado com a adição de coagulantes químicos como cloreto férrico (FeCl_3) e sulfato de alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] ou de polieletrólitos, que proporcionam a aglomeração das partículas sólidas, que posteriormente são separadas por decantação, gerando o resíduo sólido, sendo este denominado lodo (Braile e Cavalcanti, 1993). O lodo gerado na estação de tratamento de efluentes de processo galvânico é normalmente classificado como Resíduo Não Inerte-Classe II A, segundo a classificação NBR 10.004 da ABNT (ABNT, 2004), devido à presença de metais em altas concentrações, tais como ferro, zinco, cromo, níquel, cobre chumbo e cádmio.

Há grande preocupação com estes efluentes dos processos, sendo que muitos estudos visam otimizar o processo de tratamento destes efluentes de modo a se reaproveitar a água residual pós tratamento (Nascimento, 2012; Vaz, 2009). No entanto, na literatura há poucos trabalhos que busquem reduzir a quantidade de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes galvânicos, proporcionando

assim redução de custos de transporte e destinação final, a diminuição do impacto causado ao meio ambiente e a concentração dos metais no lodo. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar a eficiência de remoção dos metais ferro e zinco e redução na geração de lodo empregando o agente precipitante soda barrilha ou carbonato de sódio (Na_2CO_3) em relação ao hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no tratamento da efluentes gerados no processo de galvanização de peças metálicas por imersão à quente de uma indústria da região de Joinville/SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE

Amostras de efluentes oriundos de diferentes etapas (desengraxe alcalino, decapagem ácida e resfriamento de peças metálicas) do processo industrial de uma empresa da região de Joinville/SC foram coletadas em bombonas e armazenadas sob refrigeração para os ensaios. No processo industrial da empresa são gerados mensalmente aproximadamente 50 m³ de efluente da decapagem ácida, 25 m³ de efluente da etapa de resfriamento e 50 m³ da etapa de desengraxe alcalino.

As amostras dos efluentes foram submetidas às análises físico-químicas para determinação dos parâmetros pH, ferro e zinco, visando avaliar as características do efluente bruto para então serem submetidas aos ensaios de tratamento por precipitação química empregando cal hidratada e soda barrilha, seguido de floculação com polímero aniônico e decantação para separação e quantificação do lodo gerado. O pH foi medido empregando pHmetro, modelo PHS-3B, marca PHTEK. Os teores de ferro e zinco foram determinados em espectrofotômetro marca HACH. Os ensaios foram realizados em triplicata e baseados em procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Greenberg et al, 2005). Em função dos elevados teores desses metais no efluente bruto, foi realizada diluição das amostras de 1:10000.

TRATAMENTO DO EFLUENTE GALVÂNICO POR PRECIPITAÇÃO QUÍMICA

Em função do efluente da decapagem ácida geralmente apresentar altos valores de metais zinco e ferro, primeiro, foram realizados ensaios visando à precipitação química com cal hidratada e soda barrilha direto nas amostras deste efluente. Posteriormente, foi realizada a mistura do efluente da decapagem ácida ($\text{pH} < 1$) com efluente do desengraxe alcalino ($\text{pH} = 9,0$) até ocorrer aumento no valor do pH do efluente ácido para que fosse possível a adição de cal hidratada e soda barrilha e então a precipitação dos metais.

Outros testes foram realizados com misturas de diferentes concentrações de efluente de decapagem com efluente do resfriamento ($\text{pH} = 4,5$). As proporções dos testes foram 95% - 5% e 80% - 20%, de efluente do resfriamento e do efluente da decapagem ácida, respectivamente. Foi preparado 1 Litro de amostra de cada mistura contendo as proporções, e anotado o pH final. Este volume de efluente foi dividido em dois béqueres de 500 mL, para que fossem efetuados dois experimentos, um empregando suspensão de cal hidratada e outro com solução de soda barrilha. A suspensão de cal hidratada e soda barrilha foram preparadas com mesma concentração, por dissolução de 182 g em 1 Litro de água, em béquer e sob agitação constante.

Para preparar a suspensão de cal hidratada foi utilizado $\text{Ca}(\text{OH})_2$, >90% de pureza, marca Cobrascal, fornecedor Buschle e Lepper, e para a solução de soda barrilha (leve) foi utilizado Carbonato de Sódio (Na_2CO_3), marca Buschle e Lepper. A solução de flocculante foi preparada adicionando-se 0,25 g de polímero aniônico (Hydrofloc 1000, marca Houghton) em 500 mL de água em um béquer sob agitação constante, obtendo-se concentração de 0,5 mg/L.

A adição dos agentes precipitantes foi efetuada sob agitação rápida de 80 rpm em 1 min. Após foi adicionada solução de polímero aniônico, nas amostras precipitadas com cal hidratada e soda barrilha, sob agitação lenta de 30 rpm por 20 min. Decorrido o tempo de floculação, o sistema de agitação foi desligado e deixado o efluente decantar por 30 min. O lodo gerado com cada agente precipitante foi transferido para o cone Imhoff e quantificado, de acordo com Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (Greenberg et al, 2005).

Em função dos resultados obtidos nos ensaios preliminares com as diferentes misturas dos efluentes, foram efetuados ensaios em Teste de Jarros com a mistura 80% e 20% de efluente de resfriamento e efluente de decapagem, respectivamente. As concentrações das soluções de cal hidratada, soda e polímero foram as mesmas dos ensaios anteriores. Os ensaios de precipitação química foram realizados em triplicata, adicionando-se ao efluente (1,5 L) quantidades de agente precipitante (cal hidratada ou soda barrilha) até atingir o pH desejado. Os valores de pH testados para cada agente precipitante foram 7, 8 e 9. As condições operacionais (velocidade e tempos de agitação e decantação) nos processos de precipitação química e floculação foram as mesmas dos ensaios preliminares. As dosagens de flocculante testadas foram de 210 e 270 mL.

Os teores de ferro e zinco do efluente tratado foram determinados seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente. A eficiência do tratamento foi determinada a partir dos teores de ferro e zinco nos efluentes bruto e tratado, como segue:

$$\% \text{ eficiência} = [(Parâmetro_{Efl. \text{ bruto}} - Parâmetro_{Efl. \text{ tratado}}) / Parâmetro_{Efl. \text{ bruto}}] \times 100$$

O efluente tratado também foi avaliado em relação ao cumprimento à legislação ambiental pela Resolução CONAMA 430/2011 para lançamento em corpos hídricos (CONAMA, 2014), a partir dos teores destes metais.

As amostras de lodo foram submetidas ao cone Imhoff para análise do teor de sólidos sedimentáveis e, em seguida, foram filtradas em filtro a vácuo, secas em estufa por 1 hora, a 105 °C e seu peso foi determinado por gravimetria. Ambos os procedimentos foram realizados de acordo com o Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (Greenberg et al, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados somente no efluente de decapagem ácida não apresentaram bons resultados, de modo que no tratamento, foram adicionadas soluções dos agentes precipitantes em diferentes concentrações, porém, um aumento da concentração destas não ocasionou aumento significativo no valor de pH e, conseqüentemente, não ocorreu a precipitação química dos metais ferro e zinco. Isto ocorreu devido ao efluente ácido apresentar pH muito baixo, menor que 1, exigindo grande volume de agente precipitante, saturando o mesmo e dificultando a precipitação química.

Nos testes em que foram realizadas misturas de efluente de decapagem ácida com efluente de desengraxe alcalino, procurou-se realizar misturas de pH final próximo a cinco, nas quais utilizou-se a proporção média de 1% de efluente de decapagem ácida e 99% de efluente de desengraxe alcalino. Porém, a adição de volumes dos agentes precipitantes, até aumento do pH para precipitação dos metais, não ocasionou boa eficiência na remoção dos mesmos. A dificuldade em alterar o pH com a adição da solução desengraxante pode ser devido à presença dos diferentes compostos no banho que inibem o processo de precipitação química. Em função disto, foram realizados outros testes com misturas de diferentes concentrações de efluente de decapagem com efluente da etapa de resfriamento. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados do tratamento por precipitação química empregando cal hidratada e soda barrilha, das misturas de efluente da decapagem ácida (5%) e do banho de resfriamento (95%), e de efluente da decapagem ácida (20%) e do banho de resfriamento (80%).

Tabela 1: Precipitação química para as misturas efluente da decapagem ácida (5%) e do banho de resfriamento (95%) – (A), e de efluente da decapagem ácida (20%) e do banho de resfriamento (80%) – (B), empregando cal hidratada (1) e soda barrilha (2) da mistura de efluentes.

Teste	pH Final	Zn bruto (mg/L)	Volume de precipitante (mL)	Volume de polímero (mL)	Zn tratado (mg/L)	% remoção Zn	Volume de lodo (mL/L)	Massa de lodo (g)
A1	7	822	40	40	0,42	99,9	108,3	12,21
A2	7	822	54	40	2,78	99,7	398,15	32,55
B1	7	1314	210	70	0,65	99,9	129,03	14,67
B2	7	1314	120	70	0,78	99,9	562,96	35,4

Da Tabela 1, verifica-se que a precipitação química com cal hidratada e soda barrilha da mistura de efluentes em pH 7 ocasionou altas eficiências de remoção do metal zinco, maior que 99%, ou seja, quase todo o metal foi precipitado na forma de lodo. Nas duas condições de mistura apresentadas, foi utilizada maior massa de soda barrilha para a precipitação química em pH 7 e obteve-se menor volume de lodo gerado quando comparado com a cal hidratada. Como as remoções do metal zinco foram muito próximas usando os dois agentes precipitantes, espera-se que no lodo gerado empregando soda barrilha tenha maior concentração destes metais em relação ao lodo gerado empregando cal hidratada.

A partir destes resultados, optou-se por avaliar os tratamentos em Teste de Jarros em diferentes condições de pH e agente floculante para a mistura 80% e 20% de efluente de resfriamento e efluente de decapagem, respectivamente, uma vez que esta teria maior volume de efluente da decapagem ácida, com maiores teores de metais dissolvidos. Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os resultados do tratamento por precipitação química empregando cal hidratada e soda barrilha, respectivamente, da mistura de efluente de decapagem ácida (20%) e do banho de resfriamento (80%).

Tabela 2: Precipitação química empregando cal hidratada da mistura de efluentes da decapagem ácida (20%) e do banho de resfriamento (80%).

Precipitante	pH final	Massa Cal hidratada (g)	Volume Suspensão Precipitante (mL)	Solução Polímero (mL)	Zn (mg/L) Ef. Tratado	% Remoção Zn	Fe (mg/L) Ef. Tratado	% Remoção Fe	Volum e Lodo (mL/L)	Massa Lodo (g)
Cal hidratada	7	82,5	330	210	2,9	99,8	1680	82,3	450	3,97
	7	82,5	330	270	2,7	99,8	2540	73,3	460	6,8
	8	99,3	398	210	1,16	99,9	300	96,8	513	7,46
	8	101,3	405	270	1,15	99,9	409	95,7	535	6,4
	9	97,5	391	210	0,94	99,9	23,05	99,8	500	7,69
	9	105,6	423	270	1,01	99,9	8,9	99,9	507	9,02
	10	108,7	435	210	0,75	99,9	3,1	99,9	500	10,08

Tabela 3: Precipitação química empregando barrilha da mistura de efluentes da decapagem ácida (20%) e do banho de resfriamento (80%).

Precipitante	pH final	Massa Soda barrilha (g)	Volume Solução precipitante (mL)	Solução Polímero (mL)	Zn (ppm) Ef. Tratado	% Remoção Zn	Fe (ppm) Ef. Tratado	% Remoção Fe	Volume Lodo (mL/L)	Massa Lodo (g)
Soda barrilha	7	124,2	355	210	1,8	99,9	3,8	99,9	140	2,61
	7	124,2	355	270	2	99,8	2,6	99,9	125	2,76
	8	130	372	210	0,5	99,9	2,4	99,9	340	3,32
	8	130	372	270	1,5	99,9	2,7	99,9	320	3,66
	9	140,8	403	210	1,35	99,9	2,7	99,9	258	4,09
	9	145,2	415	270	2,8	99,9	6,05	99,9	285	3,55

O efluente bruto da etapa de resfriamento apresentou pH = 4,32 e da etapa de decapagem ácida pH < 0. A mistura dos dois efluentes resultou em pH = 0,51, com teores de zinco de 1860 mg/L e de ferro de 9500 mg/L, respectivamente. Dos resultados, verifica-se que a precipitação química com cal hidratada e soda barrilha da mistura de efluentes nos diferentes pH's testados ocasionou altas eficiências de remoção zinco, maiores que 99%, ou seja, quase todo o zinco presente no efluente foi precipitado na forma de lodo. Tanto na precipitação química com cal hidratada quanto com soda barrilha, a concentração de zinco no efluente tratado ficou abaixo dos limites definidos pela Resolução CONAMA 430/2011 para lançamentos de efluentes em corpos hídricos, que é de 5 mg/L.

Maiores eficiências de remoção de ferro, para todos os pH's testados, foram observadas para a precipitação química com soda barrilha. A concentração de ferro após tratamento, nestes casos, ficou abaixo do limite descrito na Resolução, de 15 mg/L. No entanto, para cal hidratada, eficiências de remoção de ferro mais altas e cumprimento da legislação foram verificados para precipitação química em pH ≥ 9 , e ainda com dosagens maiores de floculante.

Os volumes de suspensão de cal hidratada e solução de soda barrilha adicionados para alcançar o pH desejado nos ensaios foram muito próximos, embora a massa bruta de soda barrilha usada tenha sido ligeiramente maior. Porém, observa-se que o volume e a massa de lodo gerado no tratamento foram maiores, quase o dobro, empregando a cal hidratada. Para verificação visual da formação do precipitado (lodo), na Figura 1, estão apresentadas fotos das amostras de efluentes (mistura) em cone Imhoff após tratamento por precipitação com cal hidratada e soda barrilha. Observa-se, que a soda barrilha gera menor volume de lodo do que a cal hidratada para todos os pH's testados, conforme

descrito anteriormente. Verifica-se ainda o sobrenadante (efluente tratado) mais clarificado com uso de soda barrilha.

Comparando-se com a cal hidratada, usualmente empregada nas ETE's, com a mesma dosagem (volume) de soda barrilha consegue-se gerar menor volume de lodo, e ainda efluente tratado dentro dos limites para lançamento em corpos hídricos com relação aos parâmetros de ferro e zinco. Demais parâmetros descritos na Resolução CONAMA 430/2011 devem ser analisados para o efluente tratado visando verificar o cumprimento à legislação também em relação eles.



Figura 1: Foto das amostras de efluente (mistura) em cone Imhoff após tratamento por precipitação com cal hidratada (a) pH 7, (b) pH 8, (c) pH 9; e com soda barrilha (d) pH 7, (e) pH 8 e (f) pH 9.

CONCLUSÕES

Foram encontrados elevados teores de zinco e ferro no efluente da decapagem ácida. O tratamento do efluente da decapagem ácida diretamente com cal hidratada e soda barrilha foi inviável em função

da dificuldade de se elevar o pH e consequente saturação do efluente pela adição de grandes volumes dos agentes precipitantes.

A mistura do efluente da decapagem ácida com efluente do banho de resfriamento proporcionou melhor ajuste do pH para a precipitação química tanto com cal hidratada como com soda barrilha.

Da mesma forma que a cal hidratada, a soda barrilha ocasionou alta eficiência (maior que 99%) na remoção dos metais ferro e zinco das misturas de efluente. No entanto, nas condições experimentais testadas, mesmo com alta eficiência de remoção, os teores de ferro no efluente tratado com cal hidratada ficaram acima dos limites para lançamento conforme Resolução CONAMA 430/2011.

A soda barrilha ocasionou redução significativa no teor de sólidos sedimentáveis e massa de lodo gerado em comparação com a cal hidratada, em função da melhor compactação das partículas do mesmo. Os resultados mostram que a soda barrilha pode ser empregada com bastante eficiência em substituição à cal hidratada para precipitação química de efluentes de processo de galvanização a fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
2. BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo, CETESB, 1993.
3. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011. Disponível em: < www.mma.conama.gov.br/conama > Acesso em: outubro/2014.
4. GREENBERG, A. E; EATON, A. D; CLESCERI, L. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20ª. Ed, Washington: American Public Health Association, 2005.
5. NASCIMENTO, T. C. F. Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Indústria de Galvanização. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2006. Tese (mestrado).
6. PEREIRA NETO, A.; BRETZ, J. S.; MAGALHÃES, M. B.; ROCHA, S. D. F. Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 13, n. 3, p. 263-270, 2008.
7. VAZ, L. G. L. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente gerado na galvanoplastia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo – PR, 2009. Tese (Mestrado).

Capítulo 4



10.37423/230507721

REMOÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D POR MEIO DO TRATAMENTO CONVENCIONAL DA ÁGUA ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM INSTALAÇÃO PILOTO

Renata Santos Brega

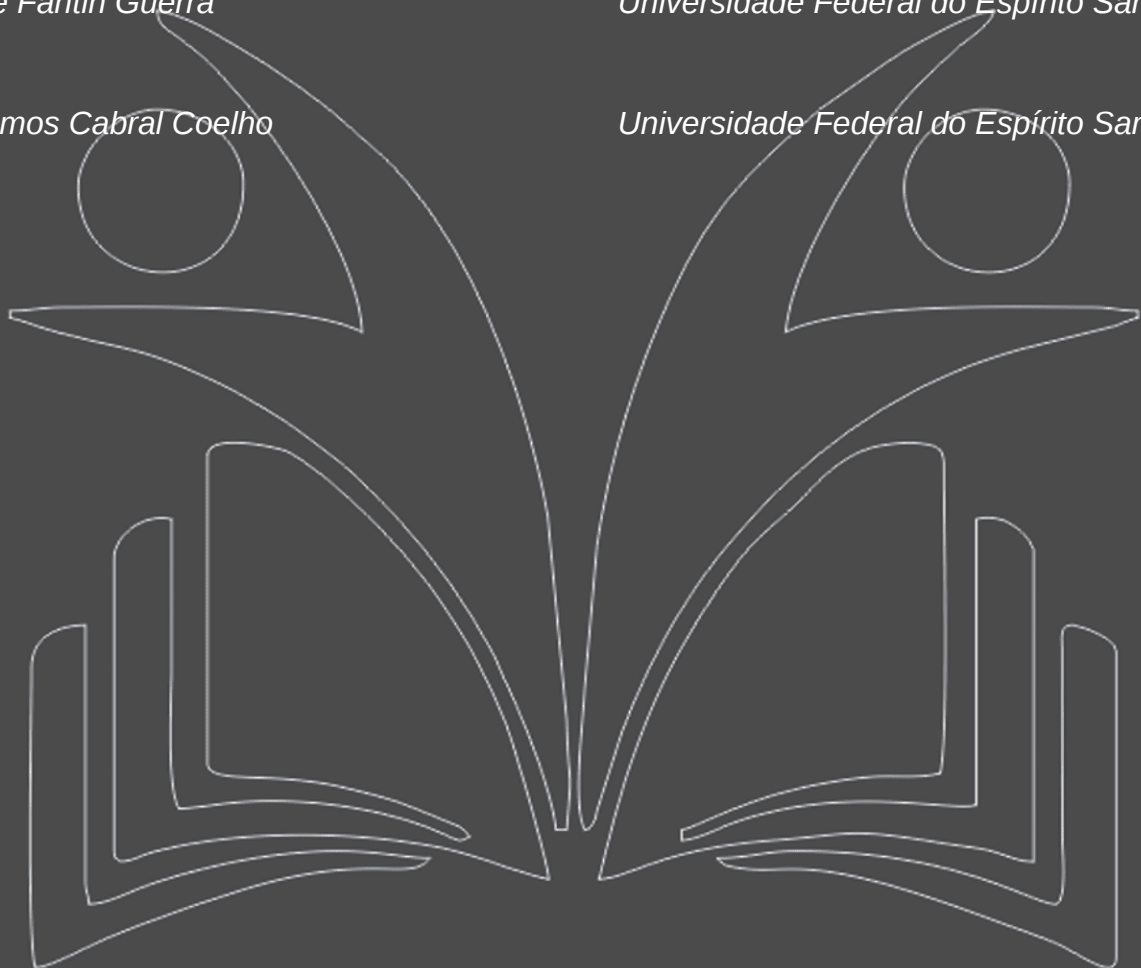
Universidade Federal do Espírito Santo

Jacqueline Fantin Guerra

Universidade Federal do Espírito Santo

Edumar Ramos Cabral Coelho

Universidade Federal do Espírito Santo



Resumo: A partir de 2008, na busca do incremento da produção agrícola, o Brasil assumiu o posto de maior mercado consumidor de agrotóxicos mundial. Porém, depois de aplicados sobre o solo e/ou plantas, os agrotóxicos são submetidos a uma série de processos biológicos e não biológicos que podem implicar na sua degradação ou transporte através da atmosfera, do solo, dos organismos e, particularmente, da água. Considerando o tratamento convencional da água limitado na remoção dos agrotóxicos, esses podem representar perigo à saúde da população. Segundo estudos em escala laboratorial, o tratamento convencional, um dos mais utilizados no Brasil, apresenta remoção insignificante do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético. No entanto, a adsorção em carvão ativado tem se demonstrado como tecnologia eficiente na remoção de diversos contaminantes, dentre eles os agrotóxicos. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a remoção dos herbicidas 2,4-diclorofenoxiacético e 2,4,5-triclorofenoxiacético e metabólito 2,4-diclorofenol, utilizando a adsorção em carvão ativado granular associada ao tratamento convencional em escala piloto. O carvão ativado granular empregado foi o CA BCARBON 350 8x30mesh, derivado da casca de coco. A concentração dos herbicidas foi analisada por cromatografia líquida de alta eficiência com detector por arranjo de diodos e extração em fase sólida. A associação do tratamento convencional com a adsorção em carvão ativado granular apresentou elevada remoção do 2,4-D (98%) atingindo concentrações finais (1 a 2 µg.L⁻¹) abaixo do limite da Portaria GM/MS Nº 888/2021 (30 µg.L⁻¹). O 2,4-DCP e 2,4,5-T apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção.

Palavras-chave: Adsorção; Agrotóxico; Carvão Ativado; Sistema de Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

A extensa área de plantio no Brasil proporcionou que o país fosse o maior consumidor de agrotóxicos no mundo (PIGNATI *et al.*, 2017). Os agrotóxicos e afins são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso no setor agrícola, na proteção de florestas e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais. Eles têm como finalidade alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos. Enquadram-se também como agrotóxicos as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 1989).

Do ponto de vista técnico, os produtos agrotóxicos são classificados nas categorias de pesticida ou praguicidas (que combatem insetos em geral), fungicidas (que atingem fungos) e herbicidas (que matam as plantas invasoras ou daninhas).

Os herbicidas representaram 46% do uso total de agrotóxico em todo o mundo (MOJIRI *et al.*, 2020). Considerando o baixo custo e boa seletividade, o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um dos herbicidas mais utilizados mundialmente para controlar uma vasta gama de ervas daninhas. É moderadamente tóxico e potencialmente carcinogênico (XI, MALLAVARAPU e NAIDU, 2010). O 2,4-diclorofenol ou 2,4-DCP costuma ser relatado como o primeiro intermediário da degradação do 2,4-D por processos de oxidação com formação de radicais hidroxila. O uso elevado e a baixa absorção destes compostos no solo resultam na onipresença de seus resíduos no meio ambiente e, conseqüentemente, na contaminação das águas superficiais e subterrâneas (SALMAN, NJOKU e HAMEED, 2011).

No Brasil, a Portaria GM/MS Nº 888/2021 estabelece um valor máximo permitido (VMP) de 30µg.L⁻¹ para o herbicida 2,4-D. A Comissão das Comunidades Europeias (CCE) estabeleceu limites de concentração máxima para os agrotóxicos independente da toxicidade. A concentração máxima admissível para o total de agrotóxicos na água tratada é de 0,5µg.L⁻¹ e de qualquer agrotóxico individual de 0,1µg.L⁻¹ (European Commission - EC, 1998). A Organização Mundial da Saúde (OMS), a Health Canada, a Australian Water Association (AWA) e a United States Environmental Protection Agency (USEPA) estabeleceram níveis máximos individualizados por agrotóxico na água tratada, baseados em estudos toxicológicos e epidemiológicos, sendo respectivamente: 30, 100, 30 e 70µg.L⁻¹.

Os agrotóxicos podem ser detectados em amostras de água mais de vinte e cinco anos após terem sido proibidos (MCGINLEY *et al.*, 2023). O tratamento da água (TA) objetiva a adequação da água de abastecimento às exigências do padrão de potabilidade. Segundo Cohn, Cox e Berger (1999), o desenvolvimento no campo da qualidade da água desde a década de 1970 e o incremento da compreensão dos seus efeitos à saúde têm criado uma reviravolta no campo do TA. Estudos laboratoriais afirmam que o tratamento convencional (TC) não remove o 2,4-D (CARDOSO, 2009; XI, MALLAVARAPU e NAIDU, 2010; LEAL 2013) e estudos em escala piloto demonstram remoção limitada: 20% (SENS *et al.*, 2009) no TC, e, entre 24 e 37% (GORZA, 2012) no TC utilizando pré-oxidação da água bruta.

A remoção de microcontaminantes por adsorção em carvão ativado tem se destacado dentre as várias tecnologias existentes (DANTAS, *et al.*, 2009; PASCHOALATO *et al.*, 2009; MÜLLER *et al.*, 2009; HO *et al.*, 2011; COELHO, ROZÁRIO e VAZZOLER, 2012 e LEAL, 2013). Assim, a adsorção desempenha um papel importante na melhoria da qualidade da água, removendo moléculas específicas que causam gosto e odor, mutagenicidade e toxicidade. Normalmente, a remoção dos agrotóxicos nas cadeias de produção de água é realizada através de carvão ativado (em pó ou granular) e através da oxidação por ozônio ou ozônio e peróxido de hidrogênio (BOUSSAHEL *et al.*, 2000).

A adsorção do 2,4-D em carvão ativado está mais associada aos carvões microporosos devido à largura da molécula (0,2074nm) (MATSUI *et al.*, 2002 e CHINGOMBE, SAHA e WAKEMAN, 2006), e à estrutura desordenada do esqueleto carbônico do CA. O carvão ativado pode ser empregado em pó ou granular, há uma grande variedade de granulometrias de carvões ativados disponíveis no mercado, sua escolha dependerá do fim a que se destina.

A escolha entre o carvão ativado em pó (CAP) ou carvão ativado granular (CAG) é função de fatores técnico econômicos, da funcionalidade operacional da estação de tratamento da água e de aspectos cinéticos do processo de adsorção (FERREIRA FILHO, 1996). Caso o problema a ser tratado ocorra praticamente durante o ano todo, do ponto de vista econômico, a melhor opção será a utilização do CAG. O CAG apresenta também, a vantagem de poder ser regenerado e ou reativado após a utilização. Seu uso se dá em colunas ou camas que permitem alcançar maior capacidade de adsorção e um controle mais fácil do processo.

A detecção dos agrotóxicos na água é difícil devido às baixas concentrações em que podem ser encontrados e ao universo de ingredientes ativos existentes. A cromatografia líquida tem sido amplamente utilizada para detecção, separação e quantificação de compostos, podendo ser aplicada

a uma extensa gama de substâncias, inclusive os agrotóxicos. Os limites de detecção alcançados pela cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) são em níveis de $\mu\text{g.L}^{-1}$ (CAPPELINI, 2008). Dependendo da concentração da substância em estudo na amostra, pode ser necessário concentrá-la antes da cromatografia. A extração em fase sólida é uma das tecnologias utilizadas. Essas análises envolvem elevados custo e grau de tecnologia, entretanto, os agrotóxicos são um problema que precisa ser enfrentado com o desenvolvimento de pesquisas e a divulgação de dados. Incentivando assim empresas, autoridades públicas, comunidade acadêmica, trabalhadores e população em geral na adoção de medidas pró-ativas de controle do uso desses produtos, como também, no desenvolvimento de técnicas de tratamento da água, solo e resíduos reduzindo os impactos deletérios à saúde da população.

O presente trabalho foi desenvolvido a fim de avaliar o desempenho do tratamento convencional da água associado à adsorção em carvão ativado granular na remoção do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), em instalação piloto.

Os experimentos foram realizados na Instalação Piloto (IP) da Estação de Tratamento (ETA) de Carapina, situada no município de Serra/ES, e contaram com o apoio da concessionária pública de abastecimento, a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN).

MATERIAIS E MÉTODOS

MANANCIAL

A água bruta utilizada na pesquisa foi a mesma captada pela ETA Carapina para o abastecimento público. A ETA Carapina, operada pela concessionária pública de abastecimento, a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), é abastecida pelas águas do rio Santa Maria da Vitória. A bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória se situa na região central do estado do Espírito Santo.

INSTALAÇÃO PILOTO

A Instalação Piloto (Figuras 1 e 2) para pesquisar a remoção de agrotóxicos em processos convencionais e por adsorção em carvão ativado granular, foi projetada para uma vazão nominal de 1000L.h^{-1} , com fluxo descendente por gravidade, sendo composta pelas seguintes unidades:

- **Captação e adutora de água bruta:** a captação de água bruta para a IP foi concebida por uma tubulação de 150m alimentada diretamente da caixa de chegada da ETA Carapina;

- **Caixa de entrada e mistura rápida:** precedida por um medidor de vazão, a caixa de entrada foi projetada com dispositivo do tipo ressalto;
- **Floculação:** projetada com três câmaras mecanizadas com rotação variável;
- **Decantação:** projetada como de alta taxa, fluxo vertical e dutos formados por placas paralelas inclinadas 60°;
- **Filtração rápida:** projetada com dois filtros rápidos de gravidade, taxa constante, fluxo descendente e camada dupla (areia e antracito);
- **Coluna de adsorção por carvão ativado granular:** as características da coluna de CAG, instalada após os filtros rápidos e construída em tubo PVC Vinilfer com diâmetro de 25cm, são apresentadas na Tabela 1, e
- **Tanque de contato:** dimensionado com um volume máximo de 0,5m³ e saída de água com altura variável, permitindo tempos de detenção variáveis a partir de 30min.

Tabela 1: Características da coluna de carvão ativado granular.

Diâmetro da coluna (cm)	25
Vazão nominal ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0,4
Taxa de escoamento ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	10
Altura do leito (cm)	95
Material do leito	carvão ativado granular
Granulometria (mesh)	08 x 30
(mm)	0,59 x 2,38
Massa de CA até o ponto CAG5 (g)	1423
Massa de CA no ponto CAGf (g)	27033

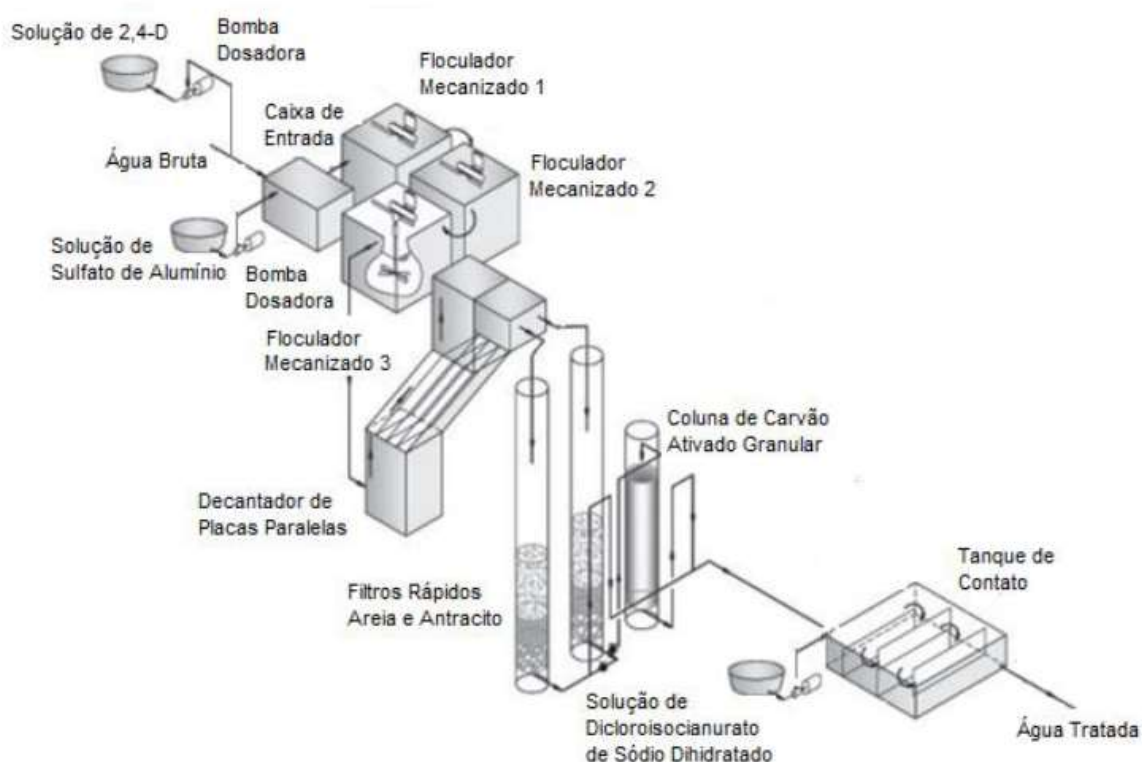


Figura 1: Vista geral da Instalação Piloto.

SELEÇÃO DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR

O carvão ativado granular (CAG) utilizado no experimento foi o CA BCARBON 350 8x30mesh (2,38 x 0,59mm), caracterizado como predominantemente microporoso e apresentando pequena proporção de mesoporos. Fabricado a partir da casca de coco, o carvão foi fornecido pela empresa Bahiacarbon Agroindustrial Ltda.

À exceção do teor de umidade, que apresentava um valor acima do recomendado, e da área superficial específica com valor um pouco abaixo da recomendação para carvões utilizados em tratamento de água, os demais parâmetros do CAG, a saber: número de iodo; massa específica aparente; pH; teor de

cinzas e o volume de microporos, apresentavam-se dentro dos padrões recomendados na literatura. Ainda conforme a espectroscopia de infravermelho e pH elevado do carvão, o mesmo apresentava grupamentos básicos (nitrilas) em sua superfície.

As características do carvão ativado granular são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características do carvão ativado granular.

Parâmetros	Recomendação	Valores
Número de iodo (mg.g^{-1})	500 ^{1,2} -1200 ²	824
Massa específica aparente (g.cm^{-3})	0,25 ¹ -0,75 ³	0,58
pH	-	9,24
Teor de cinzas (%)	<15 ⁴	5,6
Teor de umidade (%)	<8 ¹	14,49
Área superficial BET ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	650 a 1000 ¹	561
Volume de poros ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$)	-	0,3355
Microporos primários ($d < 8\text{\AA}$) ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$)	-	0,1936
Microporos secundários ($8 < d < 20\text{\AA}$) ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$)	-	0,0915
Mesoporos ($20 < d < 500\text{\AA}$) ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$)	-	0,0503

1. AWWA, 2005; 2. SAKA *et al.*, 2012; 3. DIBERNARDO, DANTAS E VOLTAN, 2011; 4. JAGUARIBE *et al.*, 2005.

DEFINIÇÃO DAS DOSAGENS DOS REAGENTES

O coagulante e dosagem utilizados foram definidos a partir do diagrama de coagulação desenvolvido por Leal (2013), ensaios de bancada com equipamento jarteste e ensaios na IP, tendo sempre como parâmetro o limite de turbidez estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888/2021. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio líquido na concentração de 0,5%.



Figura 2: Foto da Instalação Piloto – 1.Floculadores, 2.Decantador, 3.Filtros Rápidos, 4.Coluna de CAG e 5.Tanque de Contato.

Considerando fatores limitantes na aquisição do desinfetante, foi empregado o produto comercial dicloroisocianurato de sódio dihidratado com 25% de cloro disponível. O ensaio para a determinação da demandado desinfetante foi realizado em equipamento jarteste, e adaptado conforme metodologia para determinação do consumo de oxidante na pré-oxidação recomendada por DiBernardo, Dantas e Voltan (2011).

O estudo para determinação dos reagentes buscou a otimização do consumo dos produtos químicos e foi adotada como apropriada a menor dose de coagulante e desinfetante, na faixa de pH estabelecida, que promoveu resultados de turbidez e cloro residual livre (CRL) dentro dos parâmetros estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021). Não houve necessidade da correção do pH na etapa da coagulação, sendo dispensado o uso de produto alcalinizante ou acidificante.

OPERAÇÃO DA IP

O presente estudo avaliou a remoção do herbicida 2,4-D no tratamento convencional associado à adsorção em coluna de carvão ativado granular (CCAG) e o decaimento da adsorção no leito de carvão

ativado granular (CAG), em instalação piloto. Também, foram monitorados o agrotóxico 2,4,5-T e o metabólito 2,4-DCP, primeiro intermediário da degradação do 2,4-D. O tratamento seguiu as etapas de contaminação da água bruta com o 2,4-D, coagulação, floculação, decantação, filtração, adsorção e desinfecção (Figura 3).

O ensaio foi realizado com uma carreira de 48h e tempo de estabilização de 4h. Foram realizadas cinco coletas da água com intervalos de tempo de 2 horas entre as três primeiras coletas, 22 horas entre a terceira e quarta coletas e 18 horas entre a quarta e quinta coletas. As coletas foram realizadas em cinco pontos do tratamento: água bruta contaminada com 2,4-D e efluentes da filtração, adsorção (CAG5, altura parcial a 5cm do início da coluna, e CAGf, no final da coluna) e desinfecção (Figura 3). As coletas do efluente da coagulação se limitaram ao monitoramento do pH e não foram contabilizadas para efeito da metodologia descrita.

A detecção e quantificação dos herbicidas 2,4-D e 2,4,5-T e metabólito 2,4-DCP foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). O método utilizado foi desenvolvido e validado por Leal (2013) e Souza (2014) e, considerando a ampliação da faixa de trabalho para 20 a 300 µg.L⁻¹, foi parcialmente validado por Brega (2014) segundo os critérios: linearidade, sensibilidade, precisão, limite de quantificação (LQ) e limite de detecção (LD).

A cromatografia foi realizada em fase reversa e para a quantificação de cada herbicida foi considerado o comprimento de onda de absorção máxima, sendo 200nm para o 2,4-D e 2,4-DCP e 206nm para o 2,4,5-T. As análises foram realizadas em cromatógrafo líquido da marca Shimadzu CBM-20A com degaseificador DGU 20AS, bombas LC-20AT, injetor automático SIL-20AHT, forno CTO-20A e detector de arranjo de diodos (DAD) SPD-M20A.

Considerando a baixa concentração remanescente dos herbicidas no final da coluna de CAG e na etapa subsequente de desinfecção, a extração em fase sólida (EFS) foi utilizada para concentrar as amostras coletadas. O método de extração utilizado foi desenvolvido e validado por Souza (2014).

Os parâmetros, metodologias e referências e equipamentos empregados na caracterização das amostras de água são apresentados na Tabela 3, conforme os pontos de coleta.

RESULTADOS

TRATABILIDADE DA AGUA

Na definição dos pares de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação”, foram considerados como apropriados aqueles que propiciaram que a água tratada apresentasse os seguintes parâmetros: turbidez $\leq 0,5$ U pós filtração, cor aparente ≤ 15 uH na saída do tratamento e pH na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição. Assim, conforme testes realizados, a concentração de sulfato de alumínio utilizada nos ensaios variou de 6,0 a 7,8mg.L⁻¹.

No ensaio de jarteste, adotada uma concentração de 0,75 a 2,00mg Cl₂.L⁻¹, a faixa de CRL foi de 0,75 a 1,95mg.L⁻¹. Nos ensaios na IP, para uma concentração de cloro na faixa de 1,75 a 3,00mg.L⁻¹, os valores de CRL variaram entre 1,63 e 2,43mg.L⁻¹. Esses valores atenderam à Portaria GM/MS Nº 888/2021 que estabelece a obrigatoriedade do teor mínimo de 0,2mg.L⁻¹ e recomenda o teor máximo 2mg.L⁻¹, com VMP de 5mg.L⁻¹.

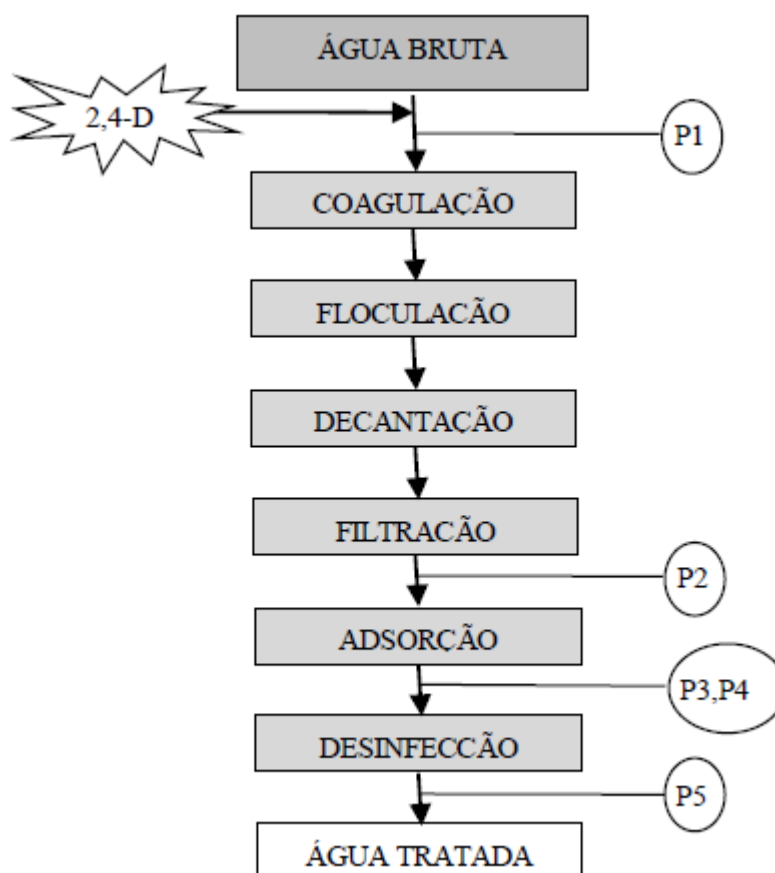


Figura 3: Fluxograma do tratamento na IP e pontos de coleta.

Tabela 3: Parâmetros de caracterização, pontos de coleta e métodos de análise.

Parâmetro	Ponto de Coleta	Método	Equipamentos
Temperatura (°C)	1	2550 B (APHA, 2012)	Termômetro de mercúrio (2550B)
pH	1,2,3,4,5	4500 B (APHA, 2012)	pHmetro digital de bancada - Denver Instrument UB-10
Turbidez (uT)	1,2,3,4,5	2130 B (APHA, 2012)	Turbidímetro - HACH - 2100 P
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	1	2320 B (APHA, 2012)	DENVER Instrument UB-10 HECIS
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻²)	1	2510 B (APHA, 2012)	Condutivímetro - Tecnocon mCA 150
Cloro Residual Livre (mg.L ⁻¹)	5	4500-CI G DPD (APHA, 2012)	Colorímetro digital portátil – AquaColor Cloro - Policontrol
Cor Aparente (uH) e Cor Verdadeira (uH)	1,2,3,4,5	2120 C (APHA, 2012)	Espectrofotômetro UV -VIS SPECTRO 580UVP-Marte
COT (mg.L ⁻¹)	1,2,3,4,5	Espectrofotométrica – Infravermelho não dispersivo - NPOC	Analizador de Carbono Orgânico Total TOC-L-Shimadzu
Absorbância (UV 254nm)	1,2,3,4,5	5910 B (APHA, 2012)	Espectrofotômetro UV -VIS SPECTRO 580UVP-Marte
2,4-D e 2,4-DCP (µg.L ⁻¹)	2,3,4,5	(LEAL, 2013; SOUZA, 2014 e BREGA, 2014)	SHIMADZU CBM-20/DAD
2,4,5-T (µg.L ⁻¹)	2	(LEAL, 2013; SOUZA, 2014 e BREGA, 2014)	SHIMADZU CBM-20/DAD

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Conforme estabelecido na metodologia, após a coleta das amostras de água, foram realizadas as análises físico-químicas. De acordo a Portaria GM/MS Nº 888/2021 e os resultados obtidos para a turbidez, cor aparente, pH, CRL e 2,4-D, o tratamento convencional associado à adsorção em CAG atendeu ao padrão de potabilidade.

Os dados de caracterização da água bruta e tratada são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Nas amostras coletadas antes da contaminação da água bruta com o 2,4-D não foi detectada a presença dos herbicidas: 2,4-D; 2,4,5-T nem do metabólito 2,4-DCP.

A concentração média de 2,4-D afluente à coluna de CAG foi de 67µg.L⁻¹. Considerando a concentração afluente utilizada na ordem de µg.L⁻¹, esperava-se não ser possível atingir a exaustão do leito de CAG, o que de fato não ocorreu. Porém, foi atingida a exaustão no ponto de coleta parcial, CAG5. Na primeira coleta do CAG5 a concentração remanescente média do 2,4-D (47µg.L⁻¹) já ultrapassou o VMP estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888/2021 (30µg.L⁻¹). A remoção média do 2,4-D devida ao CAG5 foi de 25%. A concentração média efluente à coluna de adsorção, CAGf, foi de 1µg.L⁻¹, o que representou uma remoção final na CCAG igual a 98%.

Tabela 4: Caracterização da água bruta.

Parâmetro	Valor Médio
Temperatura (°C)	23,5
pH	6,71
Turbidez (NTU)	9,84
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	10,5
Condutividade (μS.cm ⁻²)	47,12
Cor Aparente (uH)	73
Cor verdadeira (uH)	9
Absorbância (UV 254nm)	0,050

Tabela 5: Valores máximos e mínimos obtidos para os parâmetros de caracterização das amostras de água, segundo as etapas do tratamento.

Parâmetros	Valores (mínimo e máximo)					
	ETAPA					
	ABC	Coagulação	Filtração	CAG5	CAGf	Desinfecção
Temperatura (°C)	22,5-24,0	-	-	-	-	-
pH(adimensional)	6,34-6,90	6,19-6,57	6,30-6,60	6,46-6,72	6,91-7,52	6,89-7,42
Turbidez (uT)	12,9-14,0	-	0,18-0,43	0,18-0,50	0,19-0,36	0,23-0,31
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻²)	9,4-11,3	-	-	-	-	-
Condutivida-de Elétrica (μS.cm ⁻²)	45,77-49,47	-	-	-	-	-
CRL (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-	-	1,63-2,43
Cor Aparente (uH)	55-112	-	1-5	ND-5	ND-5	ND-5
Cor Verdadeira (uH)	5-15	-	ND-5	ND-1	ND-1	ND-5
COT (mg.L ⁻¹)	1,454-1,510	-	1,068-1,506	1,139-1,272	0,260-0,374	0,975-1,029
Absorbância (UV 254nm)	0,046-0,059	-	0,018-0,023	0,016-0,023	ND-0,010	0,001-0,010
2,4-D (μg.L ⁻¹)	-	-	60-74	42-64	1-2	1-2

A concentração média efluente de 1μg.L⁻¹ demonstrou que o TC+CAG foi eficiente na remoção do 2,4-D a níveis bem abaixo do preconizado pela legislação brasileira. Consequentemente, os resultados

enquadram-se também, nos limites estabelecidos pela OMS ($30\mu\text{g.L}^{-1}$), AWA ($30\mu\text{g.L}^{-1}$), USEPA ($70\mu\text{g.L}^{-1}$) e a Health Canada ($100\mu\text{g.L}^{-1}$), exceto pela CCE ($0,1\mu\text{g.L}^{-1}$).

Os resultados obtidos para a remoção do 2,4-D são apresentados conforme o Figura 4. A concentração remanescente é apresentada segundo os valores máximo, mínimo e médio e a remoção média acumulada em porcentagem, em função das coletas e etapas do tratamento. Não foi detectada a presença do 2,4-DCP ao longo do tratamento.

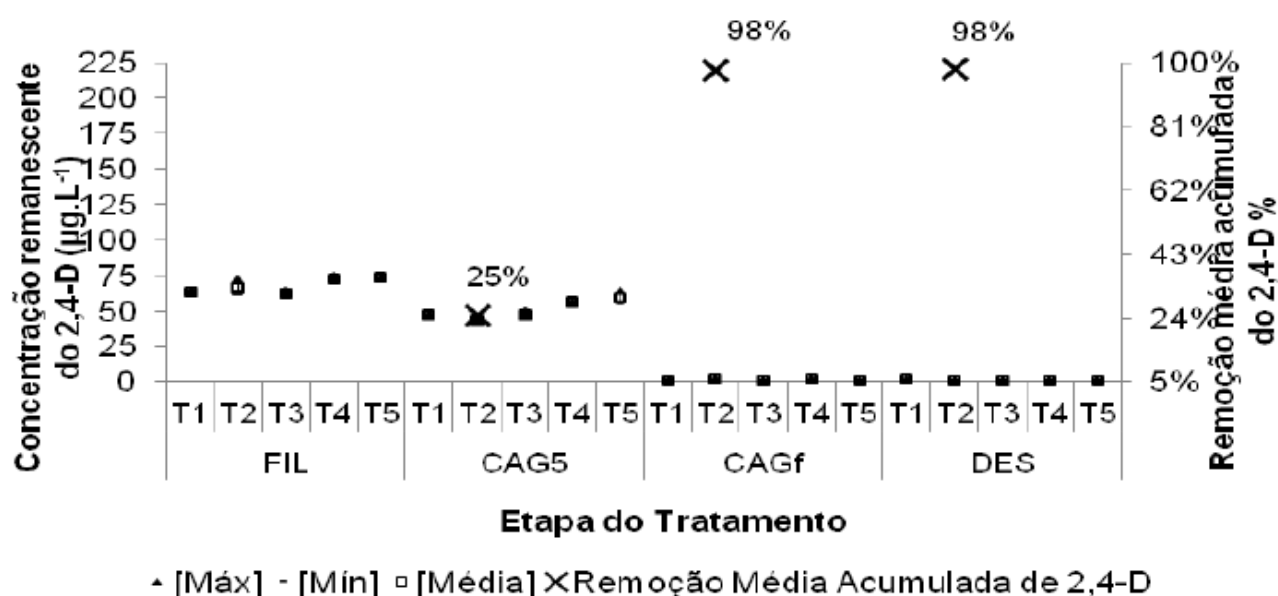


Figura 4: Concentração remanescente do 2,4-D e remoção média acumulada do 2,4-D em porcentagem segundo os tempos de coleta (T1=4h, T2=6h, T3=8h, T4=30h e T5=48h) e etapas do Tratamento convencional associado à adsorção em CAG (FIL=filtração, CAG5=adsorção parcial, CAGf=adsorção no final da coluna e DES=desinfecção - Carreira de filtração de 48h)

CONCLUSÕES

Nas condições do estudo, conclui-se que:

- Para uma concentração afluente à CCAG na faixa de $67\mu\text{g.L}^{-1}$, a remoção média do 2,4-D no tratamento convencional associado à adsorção em CAG foi de 98%. A concentração remanescente de 2,4-D no tratamento convencional associado à adsorção em CAG (1 a $2\mu\text{g.L}^{-1}$) ficou abaixo do VMP estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 ($30\mu\text{g.L}^{-1}$), enquadrando-se também, nos limites estabelecidos pela OMS ($30\mu\text{g.L}^{-1}$), AWA ($30\mu\text{g.L}^{-1}$), USEPA ($70\mu\text{g.L}^{-1}$) e a Health Canada ($100\mu\text{g.L}^{-1}$); exceto pela CCE ($0,1\mu\text{g.L}^{-1}$);
- Foi atingida a exaustão no ponto de coleta parcial da CCAG, CAG5, que na primeira coleta apresentou concentração remanescente média do 2,4-D ($47\mu\text{g.L}^{-1}$) acima do VMP estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888/2021 ($30\mu\text{g.L}^{-1}$);

- O carvão ativado granular CA BCARBON 350 8x30mesh, fabricado a partir da casca de coco e caracterizado como predominantemente microporoso, favoreceu a adsorção da molécula do 2,4-D;
- O 2,4-DCP, subproduto do 2,4-D, não foi detectado no ensaio;
- Não foi detectada a contaminação do manancial com o 2,4-D nem 2,4-DCP ou 2,4,5-T durante o tempo de ensaio considerados os limites de detecção do método empregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. Water Treatment Plant Design. McGraw-HILL, 4 ed., 972p, USA, 2005.
2. BOUSSAHEL, R.; BOULAND, S.; MOUSSAOUI, K. M.; MONTIEL, A. Removal of pesticide residues in water using the nanofiltration process. Desalination - Membranes in Drinking and Industrial Water Production, vol. 132, p. 205-209. Dezembro, 2000.
3. BRASIL. Lei Federal n.º 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, p. 11459, Brasília, DF, 12/07/1989.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria n. 888. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Seção 1, n. 239, p. 127, 2021.
5. BREGA, R. S. Remoção do herbicida 2,4-D por meio do tratamento convencional da água e adsorção em carvão ativado granular em instalação piloto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/1184>.
6. CAPPELINI, L.T.D. Análise dos pesticidas ametrina, atrazina, diuron e fipronil em amostras de água do Ribeirão do Feijão – São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. DOI 10.11606/D.75.2008.tde-11122008-093156.
7. CARDOSO, M. C. Avaliação da remoção do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e do seu principal metabólito 2,4-diclorofenol (2,4-DCP) no sistema convencional de tratamento de água associado à pré oxidação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/10212>.
8. CHINGOMBE, P.; SAHA, B.; WAKEMAN, R.J. Effect of surface modification of an engineered activated carbon on the sorption of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid and benazolin from water. Journal of Colloid and Interface Science, nº 297, p. 434-442, 2006.
9. COELHO, E. R. C.; LEAL, W. P. Remoção do 2,4-D no Sistema Convencional de Tratamento de Água para Consumo Humano Associado à Adsorção em Carvão Ativado Pulverizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. Saneamento, Ambiente e Sociedade: Entre a gestão, a política e a tecnologia. Rio de Janeiro: ABES, 2013.
10. COELHO, E. R. C.; ROZÁRIO, A. do. Remoção do 2,4-D em Águas Através da Adsorção em Leitos Fixos de Carvão Ativado Granular com o Sistema RSSCT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. Saneamento, Ambiente e Sociedade: Entre a gestão, a política e a tecnologia. Rio de Janeiro: ABES, 2013.

11. COHN, P. D.; COX, M.; BERGER, P. S. Apêndice. In: LETTERMAN, R. D. Water quality and treatment a handbook of Community Water Supplies. 5th ed. New York: Editora McGRAW-HILL, 1163p, 1999.
12. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora LDiBe, 2011.
13. FERREIRA FILHO, S. S. Otimização da aplicação do carvão ativado em pó no tratamento de água visando a redução de compostos orgânicos causadores de odor e sabor em águas de abastecimento. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, vol.1, n° 4, p.131 - 143, 1996.
14. GORZA, N. L. Remoção de agrotóxicos em uma instalação piloto de tratamento de águas de abastecimento do tipo convencional, associado à pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/6127>.
15. JAGUARIBE, E. F.; MEDEIROS, L. L.; BARRETO, M. C. S.; ARAÚJO, L. P. The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babaçu and coconut shells in removing residual chlorine. Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 22, n° 1, p. 41-47, 2005.
16. LEAL, W. P. Remoção do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) por adsorção em carvão ativado pulverizado associado ao tratamento convencional de água para consumo humano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/6140>.
17. MATSUI, Y.; KNAPPE, D.R.U.; IWAKI.; OHIRA, H. Pesticide adsorption by granular activated carbon adsorbers. 2. Effects of pesticide and natural organic matter characteristics on pesticide breakthrough curves. Environment Science Technology, n° 36, p. 3432-3438, 2002.
18. MCGINLEY, J.; HEALY, M.G.; RYAN, P.C.; O'DRISCOLL, H.; MELLANDER, P.-E.; MORRISON, L.; SIGGINS, A. Impact of historical legacy pesticides on achieving legislative goals in europeu. Science of The Total Environment, v. 873, 162312, ISSN 0048-9697, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162312>.
19. MOJIRI, A.; ZHOU, J.; ROBINSON, B.; OHASHI, A.; OZAKI, N.; KINDAICHI, T.; FERRAJI, H.; VAKILI, M. Pesticides in aquatic environments and their removal by adsorption methods. Chemosphere, v. 253, 126646, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126646>.
20. PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. S.; LARA, S. S.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. Ciênc. Saúde Colet.; 22(10), p. 3281-3293 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>.
21. SALMAN, J. M.; NJOKU, V. O.; HAMEED, B. H. Batch and fixed-bed adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid onto oil palm frond activated carbon. Chemical Engineering Journal, n. 174, p. 33-40, 2011.
22. SAKA, C. BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, n° 95, p. 21-24, 2012.

23. SENS, M. L.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; COELHO, E. R. C.; DALSASSO, R. L.; SANTOS, D. C. G.; DANTAS, A. D. B.; MARTINEZ, M. S.; CASAGRANDE, J. & DI BERNARDO, L. Remoção e transformação de agrotóxicos. In: PÁDUA, V. L. (coordenador). Água – Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

24. SOUZA, K. B. Avaliação da remoção do ácido 2,4-diclorofenoxiacético pelo sistema convencional de tratamento de água e pelo processo de nanofiltração. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/10293>.

25. WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed., Vol. 1, 2011. Disponível em:

<http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/>. Acesso em: 19/01/2013.

26. XI, Y.; MALLAVARAPU, M.; NAIDU, R. Adsorption of the herbicide 2,4-D on organo-palygorskite. Applied Clay Science, vol. 49, p. 255–261, 2010.

Capítulo 5



10.37423/230507730

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ETE VAL-DE-CANS, VISANDO A PRESERVAÇÃO DO IGARAPÉ DE VAL-DE-CANS

Suzana Teixeira Rodrigues

Universidade Federal do Pará

Robson Costa da Costa

Universidade Federal do Pará

Neyson Martins Mendonça

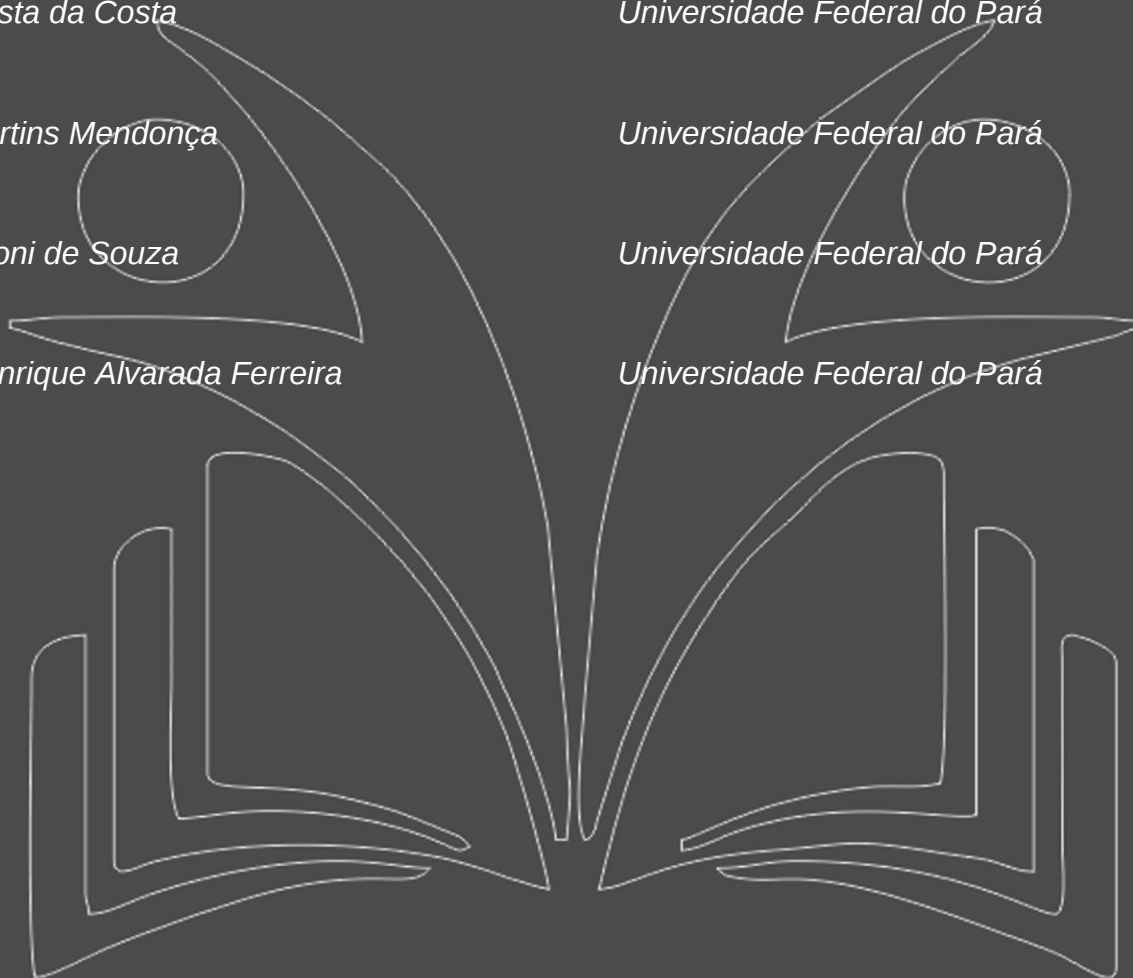
Universidade Federal do Pará

Luciana Otoni de Souza

Universidade Federal do Pará

Rômulo Henrique Alvarada Ferreira

Universidade Federal do Pará



Resumo: Os esgotos gerados nos aeroportos, especificamente nas aeronaves, necessitam de maior atenção, uma vez que a grande circulação de pessoas pode gerar resíduos que potencialmente veiculam microrganismos patogênicos. Desse modo, a presente pesquisa visa diagnosticar a eficiência da ETE de um aeroporto localizado na cidade de Belém, Estado do Pará, com o intuito de prevenir a degradação do Igarapé Val-de- Cães. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas experimentais. Na primeira etapa executou-se o levantamento de informações sobre a estrutura da ETE. Na segunda etapa, foram realizadas análises temporais (período de estiagem e período chuvoso) dos resultados obtidos através dos relatórios de amostragens mensais de esgoto. Foram analisadas, assim, as seguintes variáveis: pH, temperatura, turbidez, cor verdadeira, OD, DBO, DQO, Coliformes totais e fecais, N.amônia, Nitrato, Fósforo total, Sólidos sedimentáveis (SD), Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos totais (SST). Foram definidas quatro estações de amostragem, as quais são: P1 – montante do igarapé, P2 – tratamento preliminar (esgoto bruto), P3 – saída da ETE e P4 – jusante do igarapé. Na ETE-VAL-DE-CÃES, verificou-se que independentemente da sazonalidade, os valores de pH, N.amônia, nitrato, SST e turbidez estão de acordo com os padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA Nº 357/05 para os pontos analisados. A média das concentrações de DBO para o ponto P3 está 5 e 7 vezes acima (período de estiagem e chuvoso respectivamente) do valor máximo permitido para DBO. A média da eficiência de remoção de DBO é de 70,65 %, estando abaixo do estabelecido pelas literaturas técnicas. Os seguintes fatores podem contribuir para que os parâmetros acima citados estejam em desacordo com a resolução: o tratamento preliminar não apresenta freqüentes limpezas, há a presença de apenas um aerador no tanque de aeração e existem irregularidades na reposição de cloro. Verificamos ainda que os baixos valores de OD estão em consonância com a quantidade de matéria orgânica lançada no igarapé, caracterizando possíveis impactos na vida aquática.

Palavras-chave: ETE, Eficiência, Aeroporto, Igarapé.

INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, o setor de saneamento no Brasil tem enfrentado grandes dificuldades no gerenciamento dos resíduos provenientes de unidades de água e efluente sanitário.

Com a expansão dos sistemas de distribuição de água e de coleta e tratamento de esgoto, grandes volumes de resíduos de elevada complexidade têm sido produzidos, resultando em sérios problemas de gestão e disposição final. Existe hoje uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final do esgoto, às suas conseqüências sobre o meio ambiente, à qualidade das águas e seus benefícios.

Os estudos, critérios, assim como os projetos relativos ao tratamento e a disposição final dos esgotos, deverão possuir todos os cuidados especiais, os quais venham garantir o afastamento adequado dos esgotos, e igualmente a manutenção e a melhoria dos usos e da qualidade dos corpos receptores (JORDÃO et al., 1995).

Atualmente a contaminação de recursos hídricos, de uma maneira geral, resulta do crescimento demográfico desordenado nas áreas urbanas e industriais, as quais na maioria das vezes utilizam a água para realizar suas atividades humanas e depois a devolvem aos corpos d'água com qualidade imprópria, contendo quantidades elevadas dos principais poluentes (matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, metais pesados, microrganismos patogênicos) que acabam proporcionando a eutrofização desses mananciais (SPERLING, 1996).

Os esgotos gerados nos aeroportos necessitam de maior atenção, pois são provenientes de um número muito grande de usuários do transporte aéreo, e os dejetos produzidos nas aeronaves podem ser veículos de microrganismos patogênicos. Logo, o sistema de esgotamento sanitário dos aeroportos necessita de eficácia não só no sistema de coleta, mas também na Estação de Tratamento, as quais devem gerar um efluente dentro dos padrões de lançamento da Resolução N° 357/2005 do CONAMA.

A ETE-VAL-DE-CÃES tem capacidade de tratar aproximadamente 4,2 L.s-1, realizando o tratamento do esgoto a nível secundário, por meio de grade, caixa retentora de areia, medidor de vazão, tanque de aeração, decantador secundário e unidade de desinfecção com cloro.

Dessa forma, a presente pesquisa visa diagnosticar a eficiência de remoção de DBO e SST da ETE-VAL-DE- CÃES, por meio das análises das variáveis físico-químicas e bacteriológicas, com o intuito de prevenir a degradação do Igarapé de VAL-DE-CANS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

O trabalho foi desenvolvido na ETE-VAL-DE-CÃES distante aproximadamente 12 km do centro da cidade, especificamente no sistema de esgotamento sanitário do aeroporto, o qual é constituído pelas unidades: unidade cloacal, estação elevatória de esgoto (EEE) e ETE.

Nessa área de estudo foram definidas quatro estações de amostragem aos quais são: P1 – montante do igarapé, P2 – tratamento preliminar (esgoto bruto), P3 – saída da ETE e P4 – jusante do igarapé. As localizações dos pontos de coletas podem ser observadas na Figura 1.



Figura 1. Localização das estações de amostragem

Fonte: Adaptado do Google Earth (2008)

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas experimentais. Na primeira etapa, executou-se o levantamento de informações sobre a estrutura da ETE (tipo de tratamento, unidades do sistema de

esgotamento do aeroporto, capacidade de tratamento da ETE) e visitas a campo com o intuito de conhecer a área de estudo.

Na segunda etapa, foram realizadas análises temporais dos resultados obtidos através dos relatórios de amostragens mensais de esgoto dos anos de 2006 e 2007. Para melhor interpretação dos resultados, esses foram avaliados de acordo com a variação sazonal em período chuvoso e de estiagem. As variáveis físico- químicas e bacteriológicas determinadas foram: pH, temperatura, turbidez, cor verdadeira, OD, DBO, DQO, Coliformes totais e fecais, N.amônia, Nitrato, Fósforo total, Sólidos sedimentáveis (SD), Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos totais (SST). A metodologia aplicada para a realização das análises foi baseada no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

As medições das variáveis físico-químicas e bacteriológicas foram avaliadas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA n°357, de 17 de março de 2005.

RESULTADOS

1ª ETAPA - SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A ETE-VAL-DE-CÃES, localizada na Rodovia dos Trabalhadores, a 200 m da Avenida Júlio César e distante 515 m da EEE, possui uma capacidade de tratar aproximadamente 360 m³/dia de esgoto, pelo processo de lodos ativado por aeração prolongada, e tem como unidades: tratamento preliminar (peneira, caixa de areia e um vertedor triangular), tanque de aeração, decantador secundário e câmara com chicanas (Figura 2).



a–canal de entrada; **b**–peneira estática; **c**–vertedor; **d**–tanque de aeração; **e**–decantador secundário; **f**–câmara de chicanas; **g**–corpo receptor

Fonte: Autor (2008)

O tratamento preliminar não apresenta freqüentes limpezas, o que resulta no acúmulo de sólidos grosseiros na peneira e de areia no desarenador.

No tanque de aeração, foi observado que o oxigênio necessário à aerobiose do processo é produzido por um único aerador. Avaliamos, porém, que há necessidade da presença de mais um aerador para que não haja déficit na remoção de matéria orgânica.

No decantador secundário, observamos que não ocorre o refluxo de lodo para o tanque de aeração. Neste caso, seria importante que houvesse uma regularidade na remoção do lodo. Do mesmo modo, a desinfecção do esgoto por meio do tratamento com hipoclorito de sódio, realizado no tanque de contato e câmara de chicanas, carece de uma melhor regularidade de reposição do cloro. Para tal, sugerimos que seja reavaliada a operacionalidade da ETE-VAL-DE-CÃES.

2ª ETAPA - ANÁLISES TEMPORAIS

Os resultados obtidos nas análises temporais, para o período de estiagem e chuvoso, estão apresentados na tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios das análises para o período de estiagem (2006-2007)

Variáveis	P1	P2	P3	P4	CONAMA 357/05	
					Lançamento	Corpo receptor
pH	6,90	7,30	7,57	7,04	5 a 9	.6 a 9
Temperatura (°C)	29,35	29,5	29,7	29,1	<40°C	s/ ref.
Turbidez (UNT)	21	----	88	27	100	100
Cor (mgPt/L)	70	----	142	72	75	75
OD (mg/L)	5,3	----	1	2	>5	>5
DBO (MG/L)	3	78	23	3	5	5
DQO (MG/L)	6	152	47	13	s/ ref.	s/ ref.
C. total (NMP/100mL)	10 ⁵	----	2.10 ⁶	2.10 ⁵	5.10 ³	5.10 ³
C. fecal (NMP/100mL)	3.10 ³	----	10 ⁴	2.10 ³	10 ³	10 ³
N.amonia (mg/L)	1,42	17,13	3,11	1,49	20	3,70
Nitrato (mg/L)	2	----	9	3	10	10
P total (MG/L)	0,24	6,62	1,34	0,26	s/ ref.	s/ ref.
S.sed (mL/L)	<1	1,17	<1	<1	s/ ref.	s/ ref.
ST (mg/L)	76	472	213	81	s/ ref.	s/ ref.
SST (mg/L)	37	61	71	37	500	500

Tabela 2. Valores médios das análises para o período chuvoso (2006-2007)

Variáveis	P1	P2	P3	P4	CONAMA 357/05	
					Lançamento	Corpo receptor
pH	6,54	7,16	7,37	6,83	5 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	29,13	29,40	29,20	29,12	<40°C	s/ ref.
Turbidez (UNT)	16	----	48	23	100	100
Cor (mgPt/L)	63	----	156	91	75	75
OD (MG/L)	11	----	2	1	>5	>5
DBO (mg/L)	5	120	35	6	5	5
DQO (mg/L)	9	206	85	11	s/ ref.	s/ ref.
C. total (NMP/100mL)	9.10 ⁶	----	10 ⁷	9.10 ⁵	5.10 ³	5.10 ³
C. fecal (NMP/100mL)	3.10 ⁴	----	4.10 ⁶	10 ⁴	10 ³	10 ³
N.amônia (mg/L)	1,57	25,37	13,51	1,51	20	3,70
Nitrato (mg/L)	4	----	9	3	10	10
P total (mg/L)	0,43	5,89	1,17	0,48	s/ ref.	s/ ref.
S.sed (mL/L)	<1	<1	<1	<1	s/ ref.	s/ ref.
ST (mg/L)	123	516	335	129	s/ ref.	s/ ref.
SST (mg/L)	43	118	130	56	500	500

Para o período de estiagem e chuvoso, os valores de pH, N.amônia, nitrato, SST e turbidez estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA Nº 357/05 para os pontos analisados. Nota-se que, ao se comparar os dois períodos sazonais estudados, a variável SST aumenta de concentração no P3. Essa alteração pode dever-se ao procedimento de limpeza no tanque de decantação de lodo, ocasionando assim, o lançamento do excesso desses sólidos junto com o efluente.

Os resultados de Coliformes Fecais e Totais nos pontos estudados estão fora dos limites estabelecidos pela resolução. No ponto P3, isso pode estar relacionado ao processo de desinfecção do efluente, refletindo a irregularidade de reposição do cloro, como foi citado anteriormente.

As altas concentrações de cor nos períodos estudados na pesquisa referentes ao ponto P3 (estiagem-142mgPt/L; e chuvoso-156mgPt/L) e o não enquadramento destes resultados no valor limite estabelecido pelo CONAMA, podem ser justificados devido aos elevados valores de sólidos dissolvidos (média de 205mg/L) presentes no efluente da ETE (Figura 3).

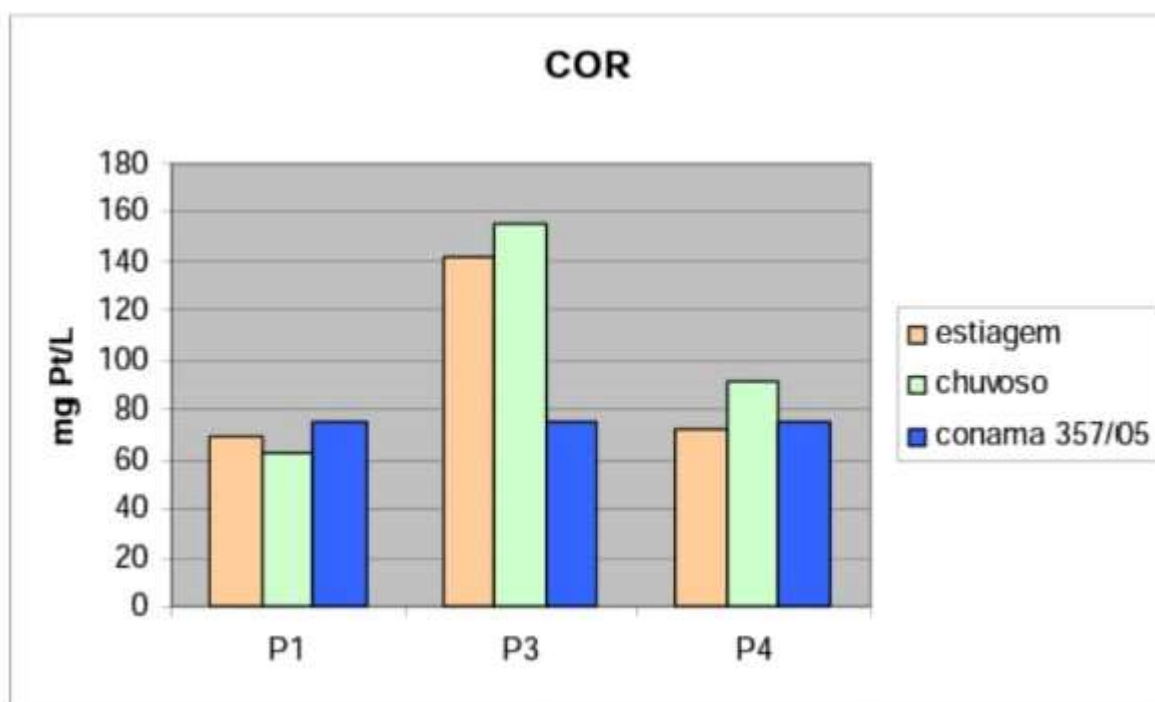


Figura 3. Índices de cor

As análises das variáveis DBO e OD para o ponto P3, não se encontram enquadradas nos padrões determinados na referida resolução, estando 5 e 7 vezes acima (período de estiagem e chuvoso respectivamente) do valor máximo permitido para DBO (5 mg/L) Figura 4; já os valores de OD estão abaixo dos referenciais do CONAMA, Figura 5.

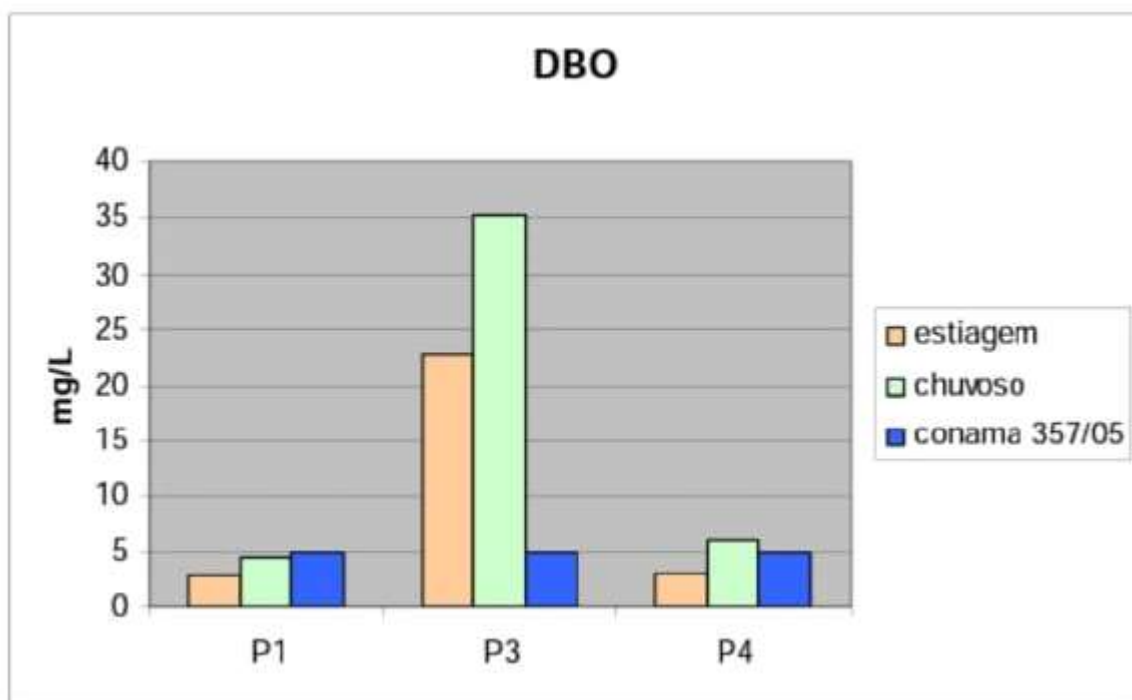


Figura 4. Concentrações de DBO

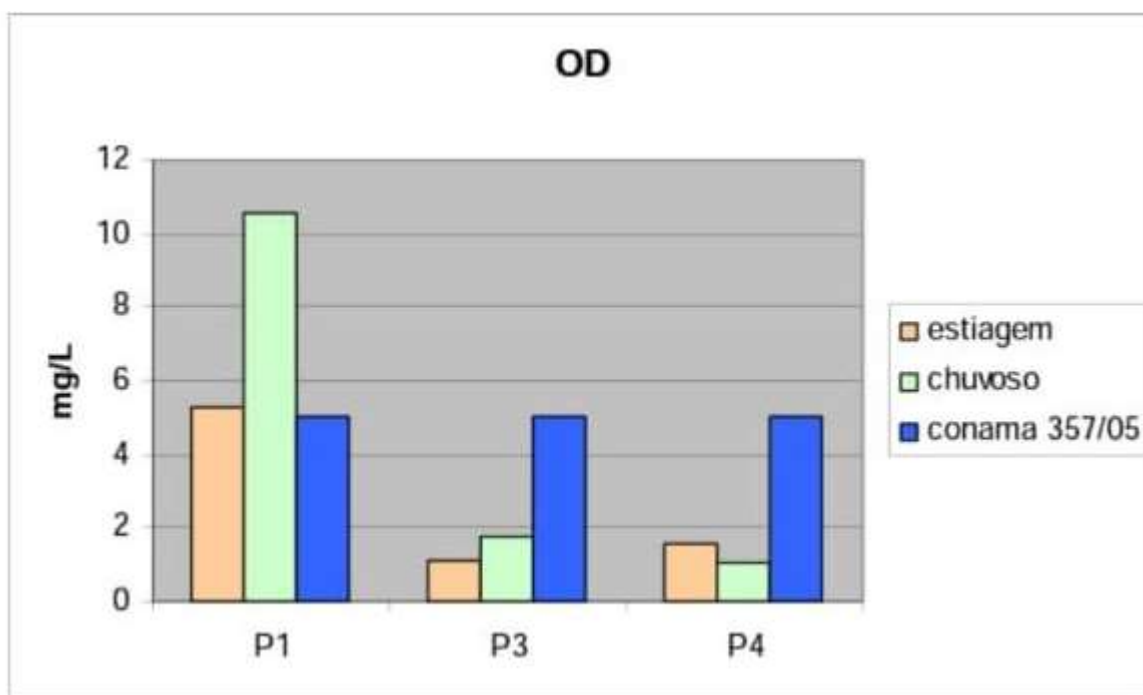


Figura 5. Concentrações de OD

A utilização de apenas um aerador influencia na diminuição da capacidade das bactérias decompor a matéria orgânica, o que é verificado na média da eficiência de remoção de DBO que é de 70,65 %, estando abaixo do estabelecido pelas literaturas técnicas que varia de 90 a 97 % (VON SPERLING, 2005).

Os valores baixos de OD no ponto P4 estão em consonância com a quantidade de matéria orgânica lançada no igarapé. Isso pode gerar possíveis mortes de peixes e desequilíbrios na vida aquática como um todo.

Vale ressaltar que mediante a não conformidade das variáveis DBO e OD com a resolução CONAMA, é sugerido que se aprimore a etapa de aeração e se execute manutenções no tanque de decantação, assim como o refluxo do lodo para o tanque de aeração.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- A ETE-VAL-DE-CÃES apresenta infra-estrutura e capacidade de tratamento adequadas, porém há a necessidade de reavaliação de sua operacionalidade.
- Para o período de estiagem e chuvoso, os valores de pH, N.amônia, nitrato, SST e turbidez estão dentro do padrão estabelecidos pela resolução Nº 357/05 do CONAMA.

- A média da eficiência de remoção de DBO é de 70,65%, estando abaixo do estabelecido pelas literaturas técnicas (90 a 97 %), o que pode estar relacionado à estrutura do aerador.
- Os baixos valores de OD estão em consonância com a quantidade de matéria orgânica lançada no igarapé, caracterizando possíveis impactos na vida aquática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF (1998) STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20th. edition. Washington, D.C., Estados Unidos.
2. COSTA, R. et al. Caracterização quantitativa e qualitativa das águas residuárias geradas no Aeroporto internacional de Belém (Pará-Br). In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XIII., 2008. Anais/CD. Belém, PA, 2008.
3. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 2005.
4. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2008.
5. VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2005.

Capítulo 6



10.37423/230507769

MORINGA OLEIFERA E SULFATO DE ALUMÍNIO ASSOCIADOS A DIFERENTES MEIOS FILTRANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Rennan Soares Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Higor Aparecido Nunes de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Layla Fernanda de Oliveira

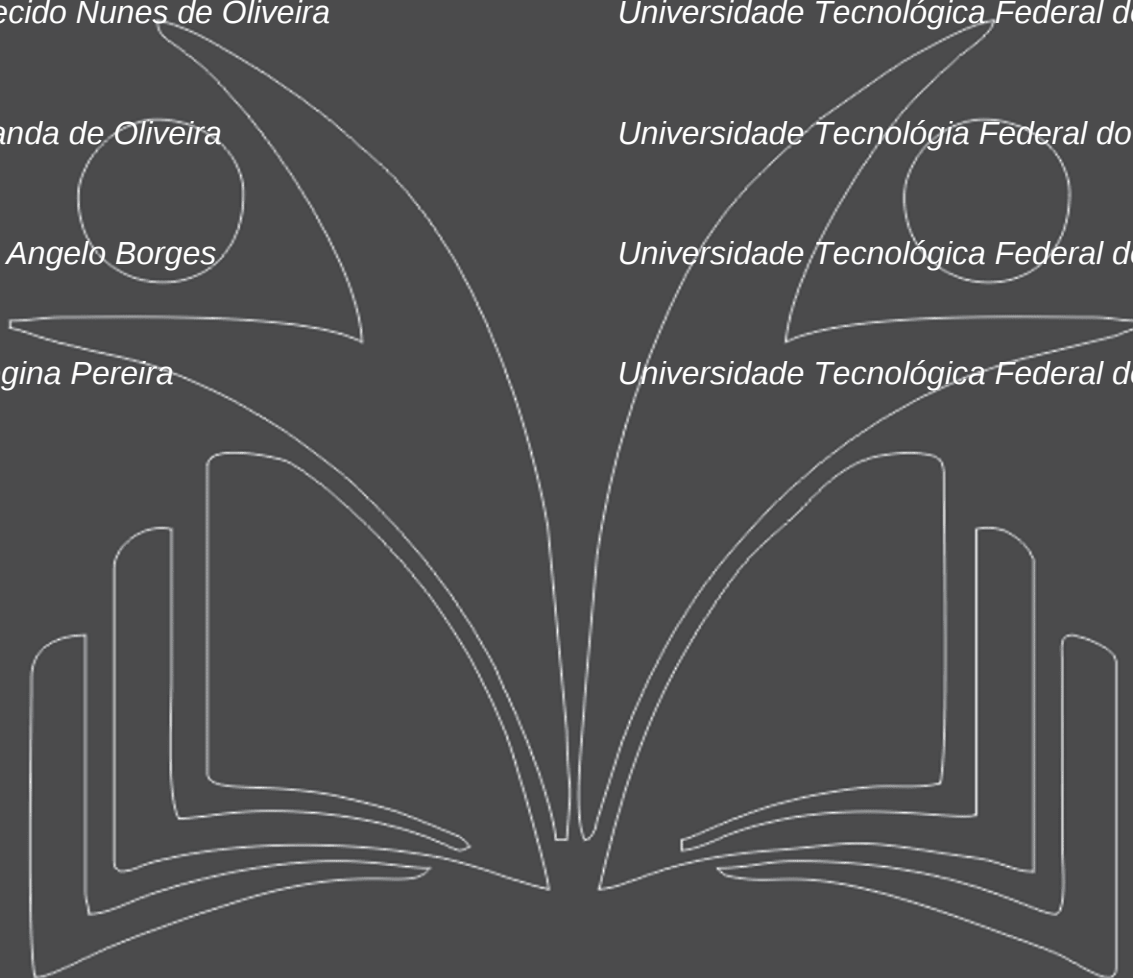
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Julio Cesar Angelo Borges

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edilaine Regina Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Resumo: A água é um recurso finito e escasso em várias regiões do planeta, sendo necessário utilizar técnicas para tratar esse recurso e evitar o desperdício tendo no Brasil, a Portaria GM/MS nº 888 de 2021 que determina o padrão de qualidade das águas de abastecimento. Muito utilizado no país, o excesso de uso dos coagulantes inorgânicos causa sérios danos à saúde humana quando ingeridos em alta concentração, além de poluir o meio ambiente, caso não seja descartado corretamente, sendo assim, os coagulantes orgânicos surgem como uma alternativa sustentável. O objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência do coagulante orgânico *Moringa oleífera* (C1) com o inorgânico Sulfato de Alumínio (C2) através dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, e analisar a eficiência dos dois tipos de filtro de areia no tratamento de água, com e sem a presença do carvão ativado. Os tratamentos utilizados foram: C1 no filtro de areia (T1) e carvão ativado (T3), C2 no filtro de areia (T2) e carvão ativado (T4) e os parâmetros analisados foram pH, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica. Pode ser observado que antes da filtração, a *Moringa oleífera* removeu até 88% de cor aparente e 93,4% de turbidez, enquanto o Sulfato removeu 45,6% e 64,3%, respectivamente, para os mesmos parâmetros. Para a análise do pH o parâmetro variou entre 6,62 e 7,17 para C1 e entre 6,60 e 7,55 para C2, a condutividade elétrica, que não possui valores limitantes na legislação, aumentou exponencialmente no tratamento com o coagulante orgânico devido a presença do sal na sua solução. Avaliando a eficiência dos filtros, os valores aumentaram para T4 com a remoção de até 98,5% de cor aparente e 99,1% de turbidez para T1, já para o Sulfato de alumínio as remoções foram até 88,6% (T2) e 95,3% (T2), respectivamente. Os resultados comprovam a eficiência do uso da *Moringa oleífera* perante o Sulfato de Alumínio e que os filtros em areia apresentaram eficiência ligeiramente superior.

Palavras-chave: Água, Carvão ativado, coagulantes

INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento das sociedades e sobrevivência humana, porém é de conhecimento geral que este é um recurso finito e a disponibilidade deste é insuficiente para atender as necessidades de diversas regiões. As redes de abastecimento de água precisam ser eficazes para oferecer água de qualidade, que atenda as legislações para que não falte este recurso nas residências, além de pensar na presente e nas futuras gerações. (HALLER, 2006).

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, alguns parâmetros são necessários para que a água possua qualidade para o abastecimento das residências. Dentre esses parâmetros, podemos citar a condutividade elétrica, o pH, a turbidez e a cor aparente. Apenas a condutividade não possui um valor limite estabelecido pela legislação, contudo, para o pH, a legislação permite valores entre 6 e 9 no acompanhamento do processo de desinfecção, turbidez com valor máximo permitido de 5 µT e cor aparente com limite de 15 µH (BRASIL, 2021).

Os sistemas de tratamento utilizam regularmente coagulantes inorgânicos, de origem química, como o cloreto férrico e sulfato de alumínio. No Brasil, atualmente o sulfato de alumínio é utilizado em larga escala devido as vantagens que ele apresenta no tratamento de água, como a alta eficiência na remoção de impurezas, fácil transporte e manuseio, além do custo de produção baixo. Entretanto, por ser um composto inorgânico e não biodegradável, concentrações muito altas, quando ingeridas, podem causar problemas de saúde, incluindo uma aceleração do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (CARDOSO et al., 2008; GUSMÃO, 2014).

Atualmente, existem diversas alternativas de coagulantes orgânicos disponíveis para o tratamento de água, com a *Moringa oleífera*, que é de origem vegetal. Esse coagulante possui um baixo custo no tratamento de água, comparado com o inorgânico, e levando em consideração a alta eficiência de remoção de cor e turbidez. Dentre as características dessa semente, estão a capacidade de neutralizar partículas coloidais, o que gera ligações entre elas, formando partículas maiores, denominadas flocos, que pela ação da gravidade se sedimentam (NKURUNZIZA et. al. 2009).

De acordo com estudos de Vizibelli (2019), no tratamento utilizando *Moringa oleífera* houve remoção superior a 80% após o processo de sedimentação para turbidez e cor aparente. Quando complementado com filtros, o tratamento houve remoção superior a 90% em ambos os tratamentos. Arantes et al. (2014) também obteve resultados semelhantes, com eficiência de remoção entre 96% e 99% para turbidez após filtração. Já Pereira et al. (2021), em seu estudo sobre o sulfato de alumínio

no tratamento de água, obteve remoções de até 77% para cor aparente antes da passagem pelos filtros e superiores a 80% após a filtração.

Para complementar o tratamento de água, é necessário que após o processo de sedimentação, ela passe pelos filtros. Segundo a FUNASA (2006), a filtração é um processo na qual a água passa por um meio granular, responsável por remover as impurezas físicas, químicas e biológicas. Esse processo é fundamental na remoção de partículas prejudiciais na água, como a turbidez e cor. Além disso, esta etapa consegue acentuar eventuais problemas ocorridos em processos pré filtração, como a coagulação, floculação e sedimentação. (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Deste modo, esta pesquisa tem como propósito abordar a eficiência do coagulante orgânico em relação ao inorgânico no tratamento de água.

METODOLOGIA

A execução do experimento ocorreu no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina. A água de abastecimento utilizada foi coletada do rio Jacutinga, em Ibiporã-PR.

Para a preparação do coagulante *Moringa oleifera* (C1) triturou-se 10 g de sementes descascadas em um liquidificador, com a adição de 1 L de água destilada e 1 M de NaCl. Manipulou-se em uma peneira de pano para que o resíduo de matéria orgânica ficasse retido e coletasse apenas o líquido. A solução de sulfato de alumínio (C2), foi preparada através da adição de 1g do composto em 1 L de água destilada. A concentração de C1 foi estabelecida em 2 mL.L⁻¹ de acordo com CAZÚ (2019). Para C2 foi realizado um pré-ensaio determinando a melhor concentração de 2 mL.L⁻¹ a ser aplicada no tratamento.

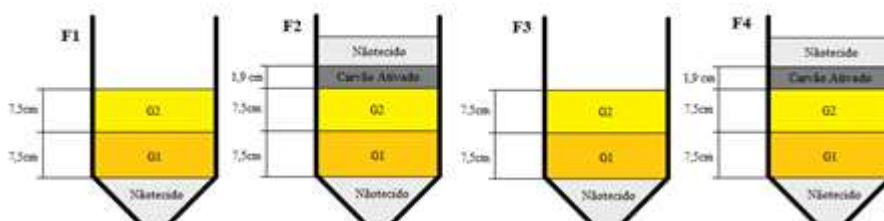
O ensaio realizou-se no equipamento Jar-test, utilizando 4 jarros graduados e preenchidos com 2 litros de água de estudo, onde é possível controlar a velocidade de rotação das pás misturadoras e reproduzir em condições similares aos processos de coagulação, floculação e sedimentação realizados em uma estação de tratamento de água.

Segundo adaptações de THEODORO (2012), o processo de coagulação ocorreu adotando um tempo de 3 minutos de mistura rápida à 150 rpm, para a floculação adotou-se um tempo de 10 minutos de mistura lenta à 15 rpm, posteriormente, o equipamento foi desligado de modo a iniciar-se o processo de sedimentação.

Após 3 minutos coletaram-se amostras em cada jarro e realizaram-se as análises de pH, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica. O procedimento de leitura foi repetido a cada 10 minutos para os intervalos 13, 23 e 33 minutos de modo a avaliar a ação dos coagulantes utilizados nos tempos de sedimentação.

Para a filtração foram desenvolvidos 4 filtros (Figura 1), diferenciados apenas pela presença de carvão ativado. Os filtros (F1 e F3) foram construídos com uma fina camada de não tecido geotêxtil agulhado, gramatura 500g.m^{-2} , em sua base, seguida por duas camadas de areia, com altura de 7,5 cm cada, e granulometrias 0,850 a 0,425 mm (G1) e 0,425 a 0 mm (G2) (VIZIBELLI et al., 2019). Os filtros (F2 e F4) possuíam uma camada de carvão ativado com 1,9cm após a camada de areia G2, seguido por uma fina camada de não tecido geotêxtil agulhado (adaptado de MARRARA, 2005). O tratamento realizou-se utilizando *Moringa oleifera* em F1 (T1) e F2 (T3) e Sulfato de alumínio em F3 (T2) e F4 (T4).

Figura 1: Representação de camadas dos filtros utilizados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O experimento foi realizado em duplicata, com análises dos parâmetros pH, condutividade elétrica, cor aparente e turbidez e as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros inicialmente caracterizados para a água bruta foram pH 6,94; turbidez 229 NTU; condutividade elétrica $83,5 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e cor aparente 374 mgPtCOL^{-1} . Na Tabela 1 verifica-se o comportamento do pH.

Tabela 1 – Variação média do pH.

	Tempo				Filtros
	3 min	13 min	23 min	33 min	
T1	6,72	6,71	6,73	6,72	7,00
T3	6,64	6,62	6,72	6,68	7,17
T2	7,16	6,6	6,84	6,69	7,55
T4	6,87	6,59	6,71	6,89	7,08

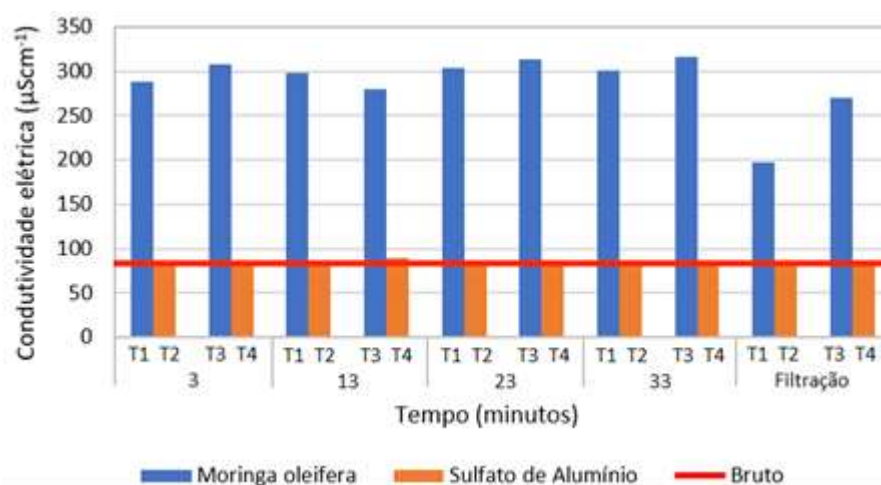
Nota: T1 = Moringa oleifera e filtro de areia; T2 = Sulfato de alumínio e filtro de areia; T3 = Moringa oleifera e filtro de areia e carvão ativado; T4= Sulfato de alumínio e filtro de areia e carvão ativado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na análise de C1 observa-se que o pH não apresentou grandes alterações durante o decorrer do experimento, sendo 3,3% a maior variação do parâmetro. Vizibelli et. al (2019) evidenciam em seus estudos que o coagulante extraído da semente de Moringa oleifera não varia o pH, respaldando os resultados deste experimento. Com C2 houve aumento de 8,1% em relação a amostra bruta para T2.

A Figura 2 demonstra a variação da condutividade elétrica obtida nos ensaios experimentais.

Figura 2 - Gráfico dos valores médios da condutividade elétrica.



Nota: T1 = Moringa oleifera e filtro de areia; T2 = Sulfato de alumínio e filtro de areia; T3 = Moringa oleifera e filtro de areia e carvão ativado; T4= Sulfato de alumínio e filtro de areia e carvão ativado.

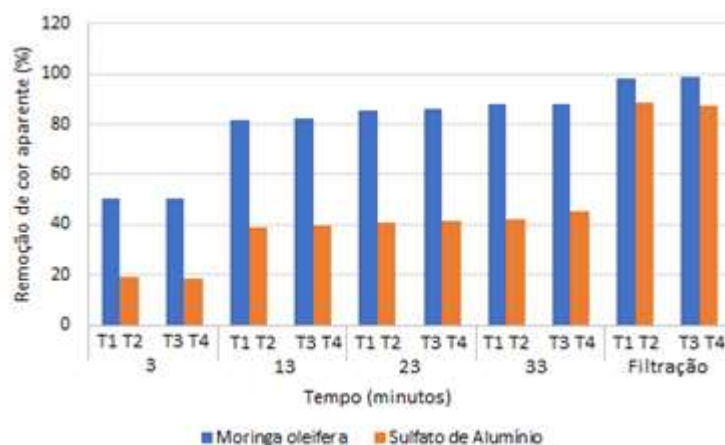
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Analisando a Figura 2 nota-se grande diferença dos níveis de condutividade elétrica referente ao tratamento C1. Essa elevação é decorrente do preparo do coagulante, devido a necessidade de adicionar NaCl, gerando a liberação de cátions Na^+ , aumentando assim a quantidade de íons na água, referido também nos estudos de Pereira et al. (2019). Posteriormente à filtração, verificou-se que o parâmetro estava acima do bruto para C1 em T1 e T3, de modo que os filtros não conseguiram reduzir o parâmetro para valores próximos ao inicial. Para C2 os valores permaneceram praticamente

inalterados durante todo o experimento, mesmo após filtração. A condutividade elétrica é um parâmetro indicador de salinidade na água, entretanto, na atual legislação não há um limite definido.

A Figura 3 apresenta a efetividade na remoção de cor aparente durante o experimento em valores médios.

Figura 3 - Gráfico da eficiência de remoção de cor aparente.



Nota: T1 = Moringa oleífera e filtro de areia; T2 = Sulfato de alumínio e filtro de areia; T3 = Moringa oleífera e filtro de areia e carvão ativado; T4= Sulfato de alumínio e filtro de areia e carvão ativado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Identifica-se através da Figura 3, que os coagulantes demonstraram eficiência na remoção de cor aparente, com níveis superiores a 40% logo após 3 minutos de sedimentação para C1, enquanto C2 só apresentou um percentual próximo após 13 minutos. Nos demais tempos de coleta, C1 apresentou ótimas reduções, chegando a 88,1% em T1, antes da filtração, do mesmo modo que C2 apresentou eficiência máxima de 45,6% em T4, após 33 minutos.

Após o processo de filtração, C1 apresentou eficiência de 98,1% em T1 e 98,5% em T3, sendo esses valores muito próximos. Em relação a C2 observa-se o salto na porcentagem de remoção de cor aparente, com T2 e T4 removendo 88,6% e 87,6%, respectivamente. Quando comparados os dois tratamentos com os filtros utilizados, os resultados foram muito similares, não apresentando diferenças expressivas entre eles, entretanto, fica evidente que o processo de filtração auxiliou na remoção de partículas. Santos et al. (2014), em seu estudo utilizando moringa oleífera como coagulante e filtro composto por carvão ativado, obteve eficiência de até 96,79% de remoção de cor aparente.

A utilização dos coagulantes apresentou progressiva eficiência durante o experimento, indicando o potencial de coagulação desses produtos. A Tabela 2 apresenta o resultado da análise estatística de variância ANOVA encontradas para o parâmetro cor aparente.

Tabela 2 – Análise estatística de variância ANOVA para o parâmetro cor aparente.

Fonte de variação	G L	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	Valor-p
Tratamento	1	12017.3	2	327.7	0,000e+00	0.023223
Bloco	4	13880.1	3	94.62	0,000e+00	
Tratamento x Bloco	4	1738.4	5	11.85	6.812e-6	
Resíduo	30	1100.2	4			
Total	39	28736.1	1			

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Analisando a Tabela 2, com o auxílio de uma tabela F de Fischer, é possível obter $F_{(1,30,0.05)} = 4,171$, e os valores obtidos para Fc são superiores ao obtido nesta tabela, sendo essa uma indicação da presença de diferença significativa para os conjuntos de dados, além disso, o Valor-P menor que 0,05 respalda a indicação e confirma a existência de diferença significativa entre os conjuntos de dados, o que é demonstrado na Tabela 3, através do teste de Tukey.

Tabela 3 – Comparação de médias pelo teste de Tukey para cor aparente.

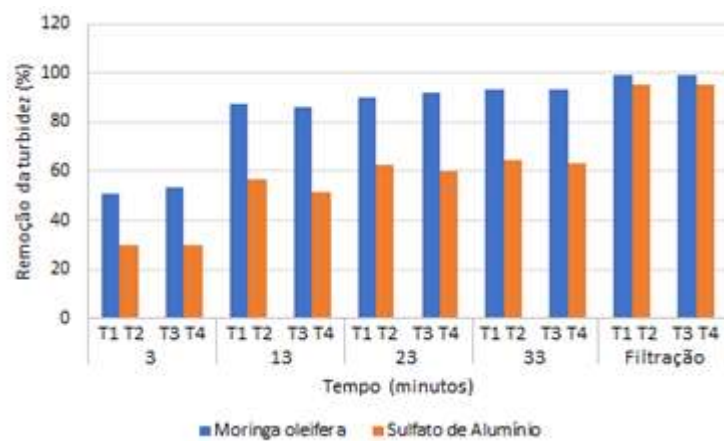
Tempo (minutos)	Moringa oleífera	Sulfato de Alumínio
3	50,2 c	18,9175 c
13	81,955 b	39,2375 b
23	86,03 ab	41,11 b
33	88,0325 ab	43,85 b
Filtros	98,33 a	88,1025 a

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os valores obtidos com os tratamentos no teste de Tukey demonstram diferenças em relação aos coagulantes utilizados. Confrontando os resultados, a Tabela 3 evidencia que o tratamento utilizando Moringa oleífera foi superior ao sulfato de alumínio durante todo o ensaio.

Com relação a turbidez (Figura 3), C1 apresentou melhores resultados quando comparados com C2, entretanto, após a filtração os valores foram similares.

Figura 3 - Gráfico da remoção de turbidez durante o ensaio.



Nota: T1 = Moringa oleifera e filtro de areia; T2 = Sulfato de alumínio e filtro de areia; T3 = Moringa oleifera e filtro de areia e carvão ativado; T4= Sulfato de alumínio e filtro de areia e carvão ativado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O comportamento da remoção de turbidez se assemelha ao da cor aparente, onde no primeiro tempo de sedimentação ocorreu uma maior remoção com C1 superior à 50% para T1 e T3, após 33 minutos a remoção chegou à 93,4% em T1. Em relação a C2, tem-se 64,5% de remoção máxima pré filtração no quarto tempo de sedimentação em T2. Os dois filtros apresentaram sucesso em suas funções, fato evidenciado pelo aumento da remoção de turbidez em comparação com os valores antes e depois do processo de filtração. Com o auxílio dos filtros, C1 e C2 apresentaram valores superiores a 95% em todos os filtros, sendo que para C1 as remoções chegaram a 99,14% e 98,97% em T1 e T3 respectivamente. Santos et al. (2014), obteve remoções de até 96,48%.

Os filtros utilizados conseguiram reter uma parcela das partículas sólidas existentes na água, como por exemplo os minerais do solo e se demonstraram eficientes, conseguindo reduzir os parâmetros analisados após 33 minutos de sedimentação, entretanto, quando comparados os resultados dos filtros F1 e F3 com F2 e F4 eles não possuíram disparidade entre eles.

A turbidez apresentou uma eficiência de remoção com o passar do tempo, sendo após a passagem pelos filtros, as melhores porcentagens de remoção. A Tabela 4 apresenta o resultado das análises estatísticas.

Tabela 4 – Análise estatística de variância ANOVA para o parâmetro turbidez.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	Valor-p
Tratamento	1	4461.2	5	440.44	0.000e+00	0.024836
Bloco	4	12468.2	4	307.74	0.000e+00	
Tratamento x Bloco	4	843.9	3	20.83	2.646e-08	
Resíduo	30	303.9	2			
Total	39	18077.2	1			

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Analisando a Tabela 3, juntamente com a tabela de distribuição F, é possível identificar que $F_{(1,30,0.05)} = 4,171$ e os valores Fc obtidos através da análise estatística foram bem superiores ao valor tabelado, além disso, o Valor-P menor que 0,05 corrobora que as diferenças são significativas, o que é demonstrado na Tabela 5, com o teste de Tukey.

Tabela 5 – Comparação de médias pelo teste de Tukey para turbidez.

Tempo (minutos)	Moringa oleifera	Sulfato de alumínio
3	52,9500 C	32,9675 D
13	86,9000 B	58,3475 C
23	91,5000 B	64,5750 BC
33	93,3175 AB	66,8725 B
Filtros	99,0850 A	95,3825 A

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os resultados obtidos através do teste de Tukey confirmam que C1 foi superior a C2 durante o processo de sedimentação e que somente após a filtração os resultados foram semelhantes para os dois tratamentos.

CONCLUSÃO

Verificou-se com este experimento que o coagulante *Moringa oleifera* foi superior ao Sulfato de Alumínio durante todo o tratamento. Além disso, os resultados, principalmente para remoção de cor aparente e turbidez, foram potencializados após a filtração, para o filtro de areia e o de areia com carvão ativado. Deste modo, foi possível verificar que não foi necessário controlar o pH da água, de modo que os coagulantes não alteraram de maneira exagerada os valores deste parâmetro, embora a condutividade elétrica tenha se mantido elevada no tratamento com *Moringa oleifera* e o filtro que apresentou melhor performance foi o de areia associado ao tratamento com coagulante orgânico *Moringa oleifera* demonstrando a eficiência deste tratamento.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A.; PATERNIANI J. E. S.; TATEOKA, M. S. S.; SILVA, G. K. Uso de coagulantes naturais à base de moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. Engenharia Agrícola. Jaboticabal. V. 34 n.4. p. 780-788. 2014
- BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde. Resolução nº 888, de 4 de maio de 2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, 7 maio 2021.
- CAZÚ, D. C. Tratamento de água por sistema sodis com utilização de Moringa oleifera. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.
- CARDOSO, K. C., BERGAMASCO, R.; COSSICH, E S; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. Acta Sientiarum Technology. v. 30, n. 2, 2008. Disponível em:
- < <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>>. Doi: 10.4025/actascitechnol.v30i2.5493
- DI BERNARDO. L; DANTAS. A. D. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Editora Rima. São Carlos, v. 1 e 2. 2ª ed., 2005.
- GUSMÃO, A. L. S. Uso de Taninos no tratamento de água para abastecimento. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul, departamento de Engenharia química. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109719/000950670.pdf?sequence=1>.
- HALLER, L.; PADUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: UFMG, 2006. p29
- MARRARA, D. A. F. Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso. 2005. 40f. Tese de Mestrado (Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- NKURUNZIZA, T., NDUWAYEZU, J. B., BANADDA, E. N., NHAPI, I., 2009. The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentrations on the effectiveness of coagulation in water treatment. Water Science and technology. 59, 1551-1558
- PEREIRA, E. R.; IOSHIMURA, R. A.; THEODORO, J. D. P.; BICUDO, B. R.; JANZ, F. J. L. Estudo granulométrico em sistema de filtração direta para tratamento de água de abastecimento com uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos. SMMA, Palmas, TO, ano 2, v.1, n.2. 2021.
- PEREIRA, E. R.; VIZIBELLI, D.; RIBEIRO, T.; JANZ, F. J. L.; PATERNIANI, J. E. S. Associação da filtração direta e uso de coagulantes naturais e químicos no tratamento de água de abastecimento. Estudos Transdisciplinares nas Engenharias, Atenas, p. 31–37, 30 maio 2019.
- RIBEIRO, F. L. M. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Ouro Preto-MG, 2007.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. de A. Tratamento de água tecnologia utilizada. São Paulo: Bluncher, 1991. 332 p.

SANTOS, T. R. T.; ARAKAWA, F. S.; VALDERDE, K. C.; MORETI, L. O. R.; BAPTISTA, A. T. A.; SHIMABUKU, Q. L.; SILVA, M. F.; CAMACHO, F. P.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F. Estudo da minimização de trihalometanos pelo processo combinado coagulação/floculação com coagulante moringa oleífera e filtro de carvão ativado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, XX, 2014, Florianópolis.

THEODORO, J.D. P. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

VIZIBELLI, D.; PEREIRA, E. R.; JANZ, F. J. L.; RIBEIRO, T.; BORGES, J. C. A. Não tecido geotêxtil agulhado aplicado como material de leito filtrante em água pré-tratada com coagulantes orgânicos. Braz. J. of Develop. Curitiba, v.5, n. 12, p. 31320-31331, dez. 2019.

VIZIBELLLI, D. Avaliação de diferentes materiais utilizados na composição de filtros quando associados a aplicação de coagulantes no tratamento de água. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, p. 68. 2019.

Capítulo 7



10.37423/230507774

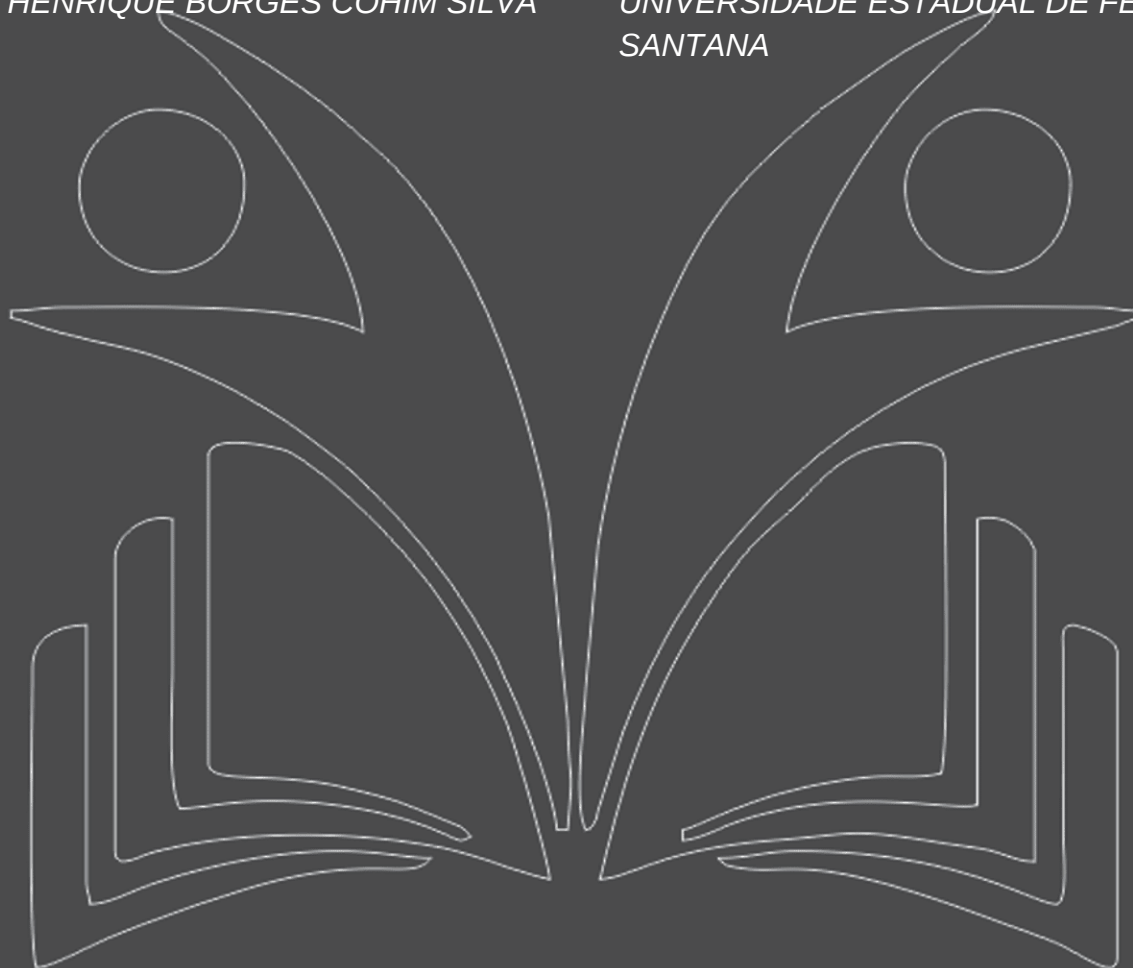
A INFLUÊNCIA DA MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA NO CONSUMO DE ÁGUA DOS PREDIOS POPULARES DE SALVADOR

SERGIO RICARDO DOS SANTOS SILVA

*EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E
SANEAMENTO*

EDUARDO HENRIQUE BORGES COHIM SILVA

*UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA*



RESUMO: Este trabalho procura refletir sobre a adoção da medição individualizada de água em edifícios multifamiliares, como uma tipologia de sistema hidráulico predial que promove a sustentabilidade ambiental nas cidades como garantia da manutenção da oferta de água para esta e futuras gerações.

Neste sentido, com o objetivo de avaliar o impacto na demanda de água em prédios de apartamentos que se adaptaram a esta nova concepção de sistema predial, foi desenvolvida uma metodologia aplicada em blocos de edifício, padrão construtivo popular, com até quatro pavimentos situados em Salvador, com base no histórico de consumos mensais nos dois períodos, quando possuíam medição coletiva e em seguida com medição individualizada de água.

Espera-se desta forma, despertar para a reflexão que *não* somente o gerenciamento da oferta é capaz de solucionar todas as questões relativas ao suprimento de água para as cidades, mas também o gerenciamento da demanda com mecanismo de estímulo ao uso racional da água nas habitações urbanas.

Palavras-chave: Sistema hidráulico predial, medição individualizada, uso racional da água.

INTRODUÇÃO

Atualmente as transformações demográficas indicam a crescente migração das pessoas das zonas rurais para as cidades. No Brasil, segundo dados do IBGE (2000), este fenômeno teve início em 1940 quando a maioria das pessoas morava no campo e, conforme visualizado na Figura 1, houve um grande deslocamento de brasileiros para as áreas urbanas de modo que atualmente, cerca de 80% da população residem nas cidades.

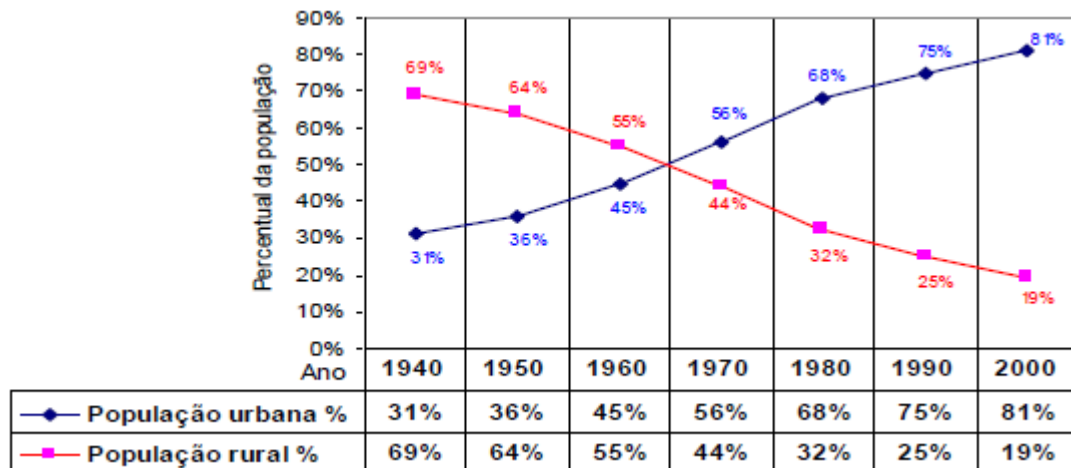


Figura 1 – Evolução da população no Brasil.

Fonte: IBGE (2000)

A crescente concentração de pessoas nas cidades gera demanda de recursos naturais e como consequência, temos a exaustão e degradação da qualidade desses recursos, em especial os hídricos, podendo penalizar grandes contingentes populacionais e limitar o crescimento econômico.

Coelho, 2004, acrescenta que a dificuldade de expansão das cidades devido à necessidade de investimentos em infra-estrutura, como transporte, esgotamento sanitário e fornecimento de água tratada e energia elétrica, tem obrigado a verticalização das moradias e aumentado a densidade populacional urbana. Consequentemente, nos centros urbanos, as famílias têm como opção natural residirem em edifícios verticais multifamiliares.

Porém, a demanda necessária para o abastecimento destas habitações e a forma de cobrança da taxa condominial que considera o rateio igualitário da única conta de água e esgoto do prédio possibilita que algumas famílias não se preocupem com a necessidade de economizar água, incentivando a permanência do padrão de consumo perdulário, que são insustentáveis e comprometem a continuidade do abastecimento de água nas cidades. Nesta ótica, entende-se que a implantação de sistemas prediais economizadores de água e que estimulem o padrão de consumo parcimonioso

poderá resultar num somatório de volumes de água que deixariam de ser captados dos mananciais oferecendo vantagens a favor da permanente oferta de água nos centros urbanos.

Dentre as tecnologias construtivas com esse fim, sem prejuízo à saúde e ao conforto do usuário, podemos citar: instalações hidráulicas com uso de aparelhos economizadores, sistemas de reuso de águas servidas (cinzas); sistemas de reaproveitamento de águas pluviais, e a *implantação da medição individualizada de água em prédios residenciais*. Essa última será a abordagem central deste artigo, que consiste em uma intervenção predial que induz e estimula o uso doméstico da água de forma racional reduzindo “na fonte” o consumo.

Dentre os grandes centros urbanos brasileiras, contextualizaremos neste trabalho a cidade de Salvador, capital do Estado da Bahia, que com quase três milhões de habitantes é a terceira mais populosa do país e a maior do Nordeste. Nesta cidade, a utilização da medição individualizada em prédios para a cobrança do consumo de água por apartamento ocorreu de forma peculiar, onde as primeiras adesões junto à empresa baiana de saneamento, foram nos blocos de edifícios populares ocupados por pessoas de baixa renda, contrariando a lógica, em função dos custos para executar uma reforma hidráulica em um prédio antigo.

Segundo Silva e Cohim (2007), a origem desse processo se deu com a organização das comunidades carentes do subúrbio, em destaque as dos Conjuntos Habitacionais de Cajazeiras e Fazenda Grande, que buscavam minimizar os conflitos gerados pela inadimplência no condomínio com medição coletiva de água. Nestas áreas, o valor da conta de água e esgoto equivale, praticamente, à taxa condominial e o fato de uma pequena parcela dos condôminos se negarem a pagar a sua parte, compromete o poder do condomínio em arcar com esta despesa e fazendo com que o fornecimento de água seja cortado, penalizando a todos por conta de alguns.

A adesão de condomínios residenciais ao novo critério de medição em Salvador teve início em junho de 2006 e atualmente, registra-se na capital baiana, 1.870 edifícios verticais com o novo critério de medição de água, totalizando 28.605 apartamentos com hidrômetros individuais que passaram a receber da Embasa as suas contas de água e esgoto de forma independente.

Esperamos assim, que o avanço no conhecimento a respeito da utilização de sistemas prediais dotados de hidrometração individualizada em prédios de apartamento, e em especial de padrão popular, possa conduzir a uma alternativa para a promoção da sustentabilidade do abastecimento contínuo de água nos diversos centros urbanos para esta e futuras gerações.

OBJETIVO

Avaliar a influência da instalação de hidrômetros por apartamento no comportamento do consumo de água dos prédios populares com até quatro pavimentos, situados em Salvador, que possuíam medição coletiva e modificaram o sistema predial para medição individualizada de água.

MÉTODOLOGIA

O desenvolvimento da metodologia aplicada para verificar e avaliar a eficiência de sistemas hidráulicos prediais com hidrometração individualizada na busca da economia de água foi balizado pelo conhecimento do comportamento dos consumos mensais dos prédios selecionados para a pesquisa, com base nos registros de leituras efetuados no *hidrômetro principal* de cada prédio, ao longo do período anterior e posterior ao novo critério de medição.

Para isso, buscou-se inicialmente levantar todos os prédios multifamiliares situados em Salvador, cadastrados no Sistema Comercial da Embasa (Empresa Baiana de Águas e Saneamento), que possuíam medição coletiva de água e modificaram a concepção hidráulica predial viabilizando a medição Individualizada de água por apartamento.

Considerando o objetivo da pesquisa, foram selecionados os prédios com até quatro pavimentos, com padrão construtivo popular e que modificaram o sistema de medição em período igual ou superior a 12 meses. Esses, portanto, são os parâmetros que definem a amostragem desse estudo. A maioria dessas edificações faz parte é constituída por Programas de Habitação financiados pelo Governo (Federal ou Estadual), a exemplo do Bloco 22 do Conjunto Fazenda Grande IV, primeiro prédio com 16 apartamentos a implantar a medição individualizada de água em Salvador, seguindo aos requisitos da Embasa e que compõe a amostra desse trabalho.

Portanto, a tipologia construtiva considerada neste estudo considera somente os prédios com até quatro pavimentos e no máximo 16 apartamentos, situados em Salvador. A modificação das instalações hidráulicas nesta tipologia de edificações consiste na disposição dos hidrômetros individuais no hall de entrada do prédio, possibilitando a leitura do consumo dos apartamentos em área externa, conforme exigência da Embasa. Caso contrário seria necessário à utilização de dispositivos eletrônicos para a execução da leitura remota dos medidores individuais, pois a Embasa não executa leitura de hidrômetros em área interna do prédio.

A partir da seleção dos prédios, foram pesquisados no Sistema Comercial da Empresa de Saneamento os respectivos históricos de consumos mensais registrados pelo hidrômetro principal de cada prédio

e definiu-se como ponto de referência do estudo, o mês de conversão do critério de medição visando obter a seqüência de consumos no período de 12 meses que antecederam e precederam a individualização da medição de água totalizando assim, 24 meses de registro dos consumos.

A comprovação da hipótese deste trabalho que sugere a influência da instalação de hidrômetros individuais para cada apartamento dos prédios populares situados em Salvador foi constatada com o tratamento estatístico dos registros de consumos mensais dos blocos de edifícios que compõe a amostra, sendo considerada como válido caso comprovado o impacto com a redução do consumo médio mensal dos mesmos.

Para assegurar que as amostras nos dois períodos de medição não apresentem dados suspeitos, ou seja, consumos médios por apartamento completamente diferente da maioria dos valores da amostra comprometendo a análise estatística dos dados, foram efetuados testes para a exclusão dos mesmos. A detecção de algum dado suspeito exige a apuração das suas causas.

Por fim, foram apresentados os resultados, fundamentados pelo uso da estatística descritiva, estimando o nível de significância ou erro tolerado igual a 5%, ou seja, considerou-se que os consumos mensais por apartamento de todos os prédios possuíam a probabilidade de acerto da estimativa definido no intervalo de confiança igual a 95%.

RESULTADOS

Atualmente (maio de 2022), dentre os 1.870 prédios existentes em Salvador, cadastrados na Embasa com medição individualizada de água, sendo que nos bairros populares da cidade existem 837 blocos de edifícios com padrão construtivo popular, que totalizam a 11.460 apartamentos recebendo contas individualizadas de água e esgoto.

Conforme metodologia adotada neste trabalho, a amostra é composta pelos primeiros prédios populares que modificaram o sistema de medição em Salvador, permitindo à obtenção do histórico de consumo nos períodos de 12 meses anterior e posterior a ativação do novo critério faturamento de água e esgoto. A Tabela 1 mostra em ordem cronológica, a relação dos prédios pesquisados que corresponde a 13 blocos de edifícios com até 16 unidades residenciais totalizando 162 apartamentos com hidrômetros individuais.

Tabela 1: Primeiros prédios populares a adotarem hidrometração individualizada em Salvador.

	Condomínios verticais	Apt.	Bairro	Data de ativação MI	1º mês Faturamento MI
1	CONJ COMERCÍARIO BL 01	8	BROTAS	12/5/2006	jun/06
2	CONJ FAZENDA GRANDE IV BL 22	16	CAJAZEIRAS	2/8/2006	ago/06
3	CONJ COMERCÍARIO BL 32	8	BROTAS	9/10/2006	nov/06
4	CONJ VALE DOS LAGOS BL 22	16	PARALELA	26/10/2006	nov-06
5	EDF ESTERFAN BL A e B	12	BOA VIAGEM	1/11/2006	dez/06
6	CONJ. BAHIA BL V	16	IAPI	24/11/2006	jan-07
7	EDF FLAMBOYANTS	6	PITUBA	30/11/2006	jan-07
8	EDF. RIO SERGIPE	12	PARALELA	4/12/2006	jan-07
9	CONJ CATAVENTO BL 106	13	BROTAS	18/12/2006	jan-07
10	CONJ FAZ. GRANDE II BL 07	16	CAJAZEIRAS	8/1/2007	fev/07
11	EDF SOLAR DE BROTAS	10	BROTAS	9/1/2007	fev-07
12	CONJ CATAVENTO BL 64	13	BROTAS	19/1/2007	fev-07
13	COND VISTA ALEGRE BL 144 B	16	VISTA ALEGRE	25/1/2007	fev/07
	Total	162			

A Tabela 2 mostra as médias dos consumos mensais por unidade residencial a partir do consumo médio total do prédio nos dois períodos de medição, dividido pelo numero de apartamentos e o respectivo impacto no consumo predial decorrente do novo sistema hidráulico.

Condomínios verticais	Apt.	Medição coletiva		Medição individual		Impacto no Consumo de água.
		Média prédio (m³)	Média por apt (m³)	Média prédio (m³)	Média por apt (m³)	
EDF FLAMBOYANTS	6	177,23	29,54	127,15	21,19	28,27%
CONJ COMERCÍARIO BL 32	8	98,62	12,33	63,92	7,99	35,20%
CONJ COMERCÍARIO BL 01	8	180,31	22,54	110,62	13,83	38,64%
EDF SOLAR DE BROTAS	10	243,69	24,37	171,15	17,12	29,75%
EDF ESTERFAN BL A e B	12	341,54	28,46	299,38	24,95	12,33%
EDF. RIO SERGIPE	12	231,69	19,31	129,23	10,77	44,23%
CONJ CATAVENTO BL 64	13	312,00	24,00	247,69	19,05	20,63%
CONJ CATAVENTO BL 106	13	268,23	20,63	200,00	15,38	25,45%
COND VISTA ALEGRE	16	270,77	16,92	246,15	15,38	9,10%
CONJ FAZ. GRANDE II BL 07	16	242,46	15,15	198,38	12,40	18,15%
CONJ FAZENDA GRANDE IV BL 22	16	259,69	16,23	190,00	11,88	26,80%
CONJ. BAHIA BL V	16	246,15	15,38	194,54	12,16	20,94%
CONJ VALE DOS LAGOS BL 22	16	240,00	15,00	176,54	11,03	26,47%
Média dos consumos Médios		239,41 m³	19,99 m³	181,13 m³	14,86 m³	25,68%

A Figura 1 mostra, em gráfico tipo histograma, as médias dos consumos mensais por apartamento dos prédios populares, no intervalo de 12 meses com medição coletiva e 12 meses subsequente com

medição individualizada, representando um decréscimo médio na demanda mensal de água das unidades residenciais em torno de 25%.

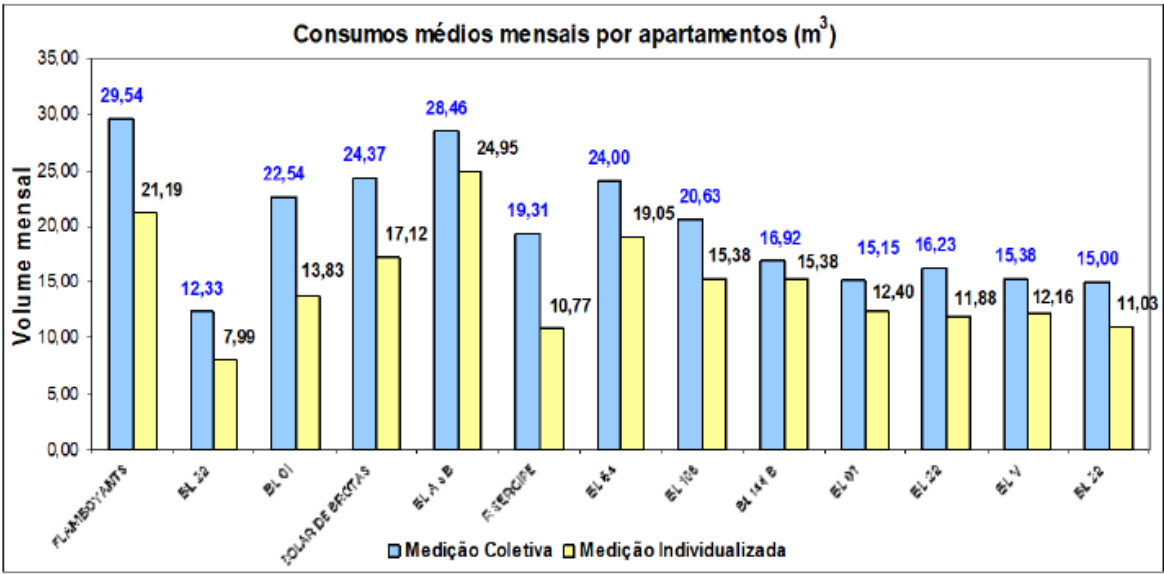


Figura 1: Consumo Médio Mensal por apartamento dos prédios populares antes e após a mudança da medição de água.

O estudo estatístico, apresentado pela Tabela 3, mostra que as medidas descritivas dos consumos coletados nos hidrômetros principais dos prédios, nos dois períodos de medição, quando divididos pela quantidade de apartamentos, evidenciam a forte tendência de redução do consumo de água nas unidades residências a partir da instalação dos hidrômetros individuais.

Tabela 2 – Resultados estatísticos dos Consumos Médios Mensais dos apartamentos antes e depois da individualização da medição de água.

Medidas estatísticas descritivas	Medição coletiva	Medição individual
Média	19,989	14,856
Erro padrão	1,514	1,308
Mediana	19,310	13,830
Desvio padrão	5,457	4,717
Variância da amostra	29,783	22,247
Curtose	-0,898	0,310
Assimetria	0,471	0,806
Intervalo	17,210	16,960
Soma dos consumos	259,860	193,130
Maior Consumo médio	29,540	24,950
Menor Consumo médio	12,330	7,990
Nível de confiança (95,0%)	3,298	2,850

Conclui-se que, estatisticamente as médias dos consumos mensais por apartamento da amostra são representativas para a população dos prédios e podem ser consideradas como válidas para a estimativa do perfil de consumo dos prédios que modificaram as instalações hidráulicas para a instalação de hidrômetros para cada apartamento.

A comparação das duas médias nos períodos com medição coletiva e com medição individualizada, foi feita com o teste de hipóteses com nível de confiança igual a 95%, sendo o resultado encontrado igual a:

✓ Período com medição coletiva: $(19,99 + 3,33) \times 103$ litros por mês,

✓ Período com medição individualizada: $(14,86 + 2,85) \times 103$ litros por mês.

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, concluiu-se que:

Os resultados apresentados comprovam a forte tendência à redução da demanda de água em prédios residenciais a partir da instalação dos hidrômetros individuais por apartamento, onde foi observado que o consumo médio nos blocos de edifícios estudados, passou da faixa de 20 metros cúbicos por apartamento no período com medição coletiva para faixa de 15 metros cúbicos por apartamento, resultando em um decréscimo em torno de 25 % do consumo médio de água após mudança da medição de água.

A cidade de Salvador apresenta um número crescente de prédios antigos que estão gradativamente aderindo, voluntariamente, à medição individualizada onde existe o anseio da cobrança justa pelo consumo da água, principalmente a população de baixa renda devido aos conflitos gerados pela inadimplência no condomínio.

Como efeito desta ação, temos do ponto de vista social, uma nova relação de consumo, onde as famílias residentes em apartamentos pagarão pelo seu real consumo, diferentemente da medição coletiva, onde a única conta de água e esgoto é rateado igualitariamente entre todos os apartamentos fazendo com que algumas famílias tenham que subsidiar o consumo das famílias mais numerosas e que consomem mais.

Do ponto de vista ambiental, o uso de hidrômetros distintos para cada apartamento, ao inibir o desperdício de água *na fonte geradora* e vazamentos visíveis nos apartamentos possibilita a diminuição da demanda de água e, conseqüentemente, do volume de esgoto resultando em grandes

benefícios ao meio ambiente. Nesta mesma ótica podemos considerar também a redução do consumo de energia elétrica utilizada para o recalque de água do reservatório inferior para o reservatório superior do prédio.

Desta forma, face aos resultados deste trabalho, que reforça outras experiências e comprova que a medição individualizada influencia de forma positiva no comportamento dos residentes de apartamentos, estimulando a economia de água nas edificações verticais, propõe-se a viabilização de um cenário de consumo sustentável com o apoio de políticas públicas, através de leis e forte regulação com política de promoção do uso racional da água nos apartamentos, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência da prestação dos serviços de abastecimento público de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA (AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS). A medição individualizada em foco. Disponível no http://www.ana.gov.br/SalImprensa/busca_noticia.asp. Acesso em: 05 fev. 2009.
2. COELHO, A.C.; Medição de Água Individualizada – Manual de Consulta. Recife, Pernambuco: Ed. do Autor, 2007. 222p.
3. MALAN, G.j.; CRABTREE, P.R.; The effect of individual meters on the water consumption in apartment buildings. In: CIB – W62 Symposiun Brasil. 1987. Proceedings. São Paulo, 17 p.
4. MARQUES, J.A.F; SILVA, S.R.S; Projeto de Medição Individualizada de água para apartamentos dos prédios, padrão popular das Comunidades de Cajazeiras e Fazenda Grande, Salvador. In: ABES. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Belo Horizonte, MG. XI – 075. Set 2007.
5. IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) 2000 disponível no site: www.ibge.gov.br, acessado em 18/05/2008.
6. OLIVEIRA, L.H.; Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. São Paulo, 1999. 343 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
7. SANTOS, D. C.; Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Porto Alegre. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. v. 2, n. 4, p. 7 – 18, dez. , 2002.
8. SILVA, S; COHIM, E; Medição individualizada de água em prédios de apartamentos – padrão popular - em Salvador. In: ABES. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Belo Horizonte. VI - 064, set. 2007.

Capítulo 8



10.37423/230507775

POTENCIAL DE BIODEGRADAÇÃO DE MICROCISTINAS POR LEVEDURAS, BACTÉRIAS PROBIÓTICAS E SPHINGOSINICELLA MICROCYSTINIVORANS – B9

Francine Kuriama

Universidade Estadual de Londrina

José Augusto Alves Pimenta

Universidade Estadual de Londrina

Karla Bigetti Guergoletto

Universidade Estadual de Londrina

Sandra Garcia

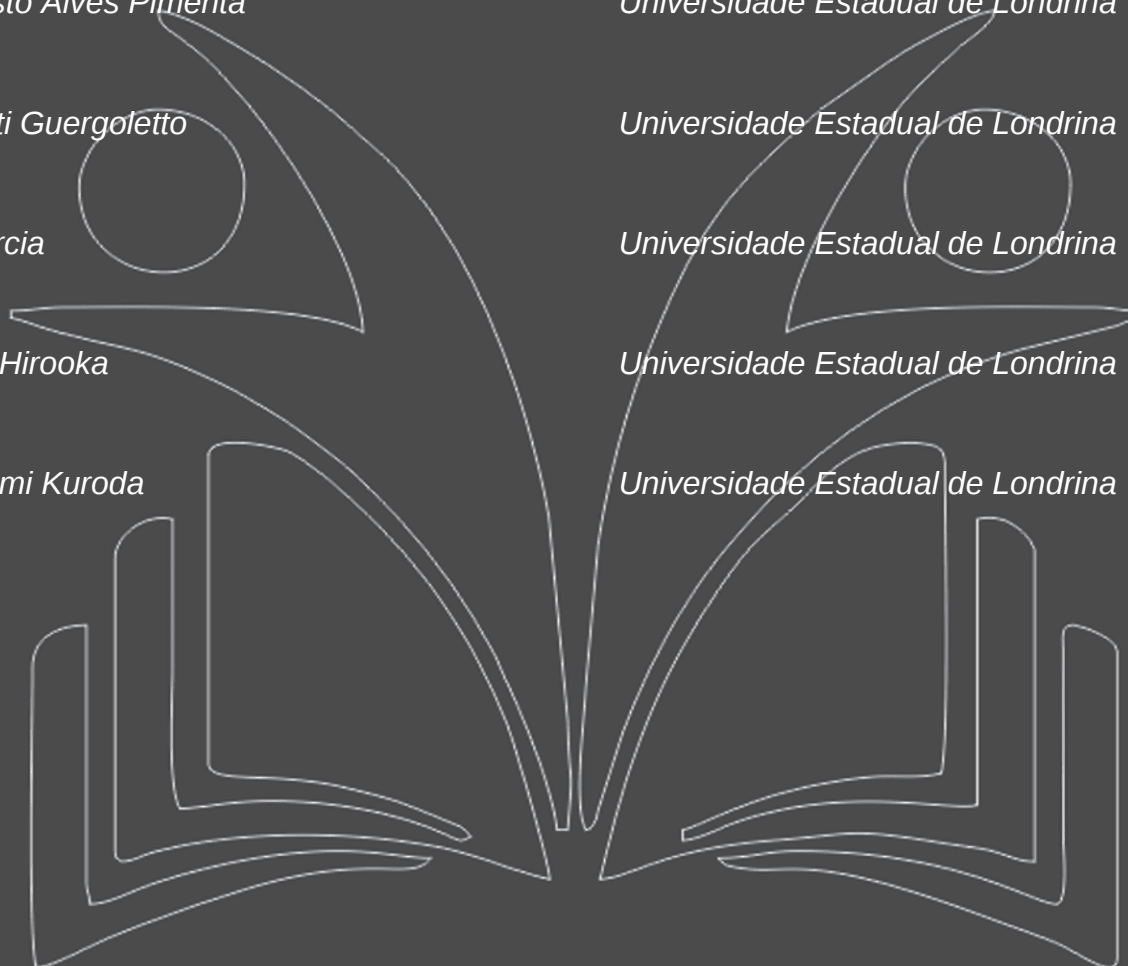
Universidade Estadual de Londrina

Elisa Yoko Hirooka

Universidade Estadual de Londrina

Emília Kiyomi Kuroda

Universidade Estadual de Londrina



Resumo: A utilização da pré-cloração em estações de tratamento de água visando a inativação de cianobactérias pode resultar na formação de subprodutos organohalogenados com potencial cancerígeno. Para mitigar essa questão, é fundamental realizar estudos sobre técnicas alternativas de tratamento, dentre as quais destacam-se os biofilmes que podem apresentar capacidade de degradar microcistinas - MCs. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de degradação de microcistinas por diferentes cepas de leveduras, bactérias probióticas e bactéria *Sphingosinicella microcystinivorans* B9. O teste foi efetuado com extrato de MCs obtido da cepa de *Microcystis* sp. tendo sido testados contra biomassa e cultivo dos microrganismos. Os tratamentos foram mantidos a 27°C com rotação de 100 rpm e as amostras para análise de MCs e contagem dos microrganismos foram retiradas nos tempos 0 e 96 h. Independente das condições testadas a bactéria B9 foi a que apresentou a maior degradação de MCs, com 95 e 98 % de degradação após 96 h de experimento.

Palavras-chave: cianobactérias, biodegradação, microcistinas, leveduras, bactérias probióticas.

INTRODUÇÃO

O incremento na concentração de nutrientes, especialmente de nitrogênio e fósforo, em mananciais destinados ao abastecimento público de água pode favorecer a proliferação e, em certos casos, a predominância de cianobactérias produtoras de toxinas. Essas toxinas apresentam potencial carcinogênico e podem acarretar graves consequências tanto para saúde humana quanto animal. Adicionalmente, o aumento na presença dessas cianobactérias pode elevar os custos do tratamento da água devido à necessidade de se remover seus metabólitos extracelulares, potenciais geradores de gosto e odor indesejável para água de abastecimento.

As cianobactérias são microrganismos procarióticos que ocorrem principalmente em ambientes aquáticos e realizam fotossíntese, liberando oxigênio como subproduto. Elas são predominantes no fitoplâncton de corpos d'água continentais e exibem uma ampla diversidade de formas devido às adaptações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas adquiridas ao longo de seu extenso processo evolutivo. Alguns gêneros de cianobactérias, como *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* e *Planktothrix*, são potencialmente toxigênicos (GRASSO et al., 2022; GUPTA, 2019)

As cianotoxinas presentes no meio líquido têm o potencial de causar impactos negativos na saúde humana, tanto por meio da ingestão de água contaminada quanto pelo contato durante atividades recreativas em ambientes aquáticos. Além disso, o consumo de peixes contaminados também representa uma via de exposição. Essas toxinas podem apresentar ação neurotóxica, hepatotóxica ou irritante, mesmo quando há contato direto com a pele. (MUTOTI; GUMBO; JIDEANI, 2022).

A presença de microalgas e cianobactérias em mananciais é um grave problema enfrentado pelas Estações de tratamento de Águas - ETAs que utilizam as Tecnologias de Tratamento por ciclo completo ou mesmo de Filtração Direta. Dependendo da espécie e do número de indivíduos de cianobactérias, pode ocorrer a redução da duração das carreiras de filtração e ou comprometimento da qualidade da água produzida (KURODA, 2006).

A pré-cloração é uma prática realizada em muitos sistemas de tratamento de águas visando à inativação de microalgas e cianobactérias. Entretanto, alguns problemas são gerados na utilização desse pré-tratamento em mananciais com elevadas concentrações de fitoplâncton, com destaque, a promoção de lise celular com consequente liberação de metabólitos secundários e a formação de subprodutos organohalogenados (QI et al., 2021).

Diante desse cenário, visando proteger a saúde da população dos riscos inerentes ao consumo de água contendo cianotoxinas o Ministério da saúde institui por meio da Portaria GM/MS nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021), que altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº5 de 2017 (BRASIL, 2017), obriga o monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas estabelecendo o valor máximo permitido de $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ de microcistinas para água de consumo humano.

Na tentativa de minimizar esses problemas, existem estudos voltados para o uso de microrganismos que possuem a capacidade de degradar as microcistinas em biofilmes, como é o caso da bactéria *Sphingosinicella microcystinivorans* B9, que aderida a um suporte degradou até 100 % das microcistinas em 16 h de exposição, ou ainda, que apresentam atividade anti-cianobactéria com potencial aplicação como biocontrole (MARUYAMA, 2006; TSUJI et al., 2006).

Na agricultura, a estratégia de biocontrole de patógenos tem sido predominantemente realizada por meio da introdução de organismos antagonistas no hospedeiro que se pretende proteger. Dentre os organismos utilizados, certos pesquisadores têm demonstrado preferência pelas leveduras, principalmente quando o objetivo é proteger frutos destinados ao consumo in natura. Essas leveduras têm demonstrado potencial promissor para o controle de doenças que surgem durante o estágio pós-colheita.

Na agricultura, o biocontrole de patógenos tem sido prioritariamente feito com a introdução de organismos antagonistas no alvo a ser protegido. Entre os utilizados, alguns pesquisadores têm preferido as leveduras, especialmente quando o objetivo dos trabalhos é a proteção de frutos destinados ao consumo in natura. Estas têm se mostrado promissoras para o uso no controle das doenças que ocorrem na pós-colheita (Kraemer, 2007; Iqbal et al., 2021).

A espécie *Saccharomyces cerevisiae* e espécies filogeneticamente próximas são as mais empregadas pelo homem que as utilizam nas indústrias de fermentação alimentícia e de bebidas. As principais características que tornam as leveduras interessantes para usos industriais são sua facilidade de obtenção e multiplicação, utilização de nutrientes na forma mais simples, possibilidade de cultivo independente do ambiente, pequena exigência de água e área, formação de produtos de valor nutritivo, além de serem consideradas seguras para uso de maneira geral. Adicionalmente, estudos têm demonstrado a capacidade desta espécie em remover metais pesados da água, tornando uma alternativa promissora para descontaminação ambiental

Outro microrganismo que pode promover a degradação das microcistinas são os microrganismos probióticos, que quando consumidos através de uma dieta conferem benefícios à saúde de humanos

e animais. Estudos feitos com *Lactbacillus* e *Bifidobacteria* mostraram que esses microrganismos são eficientes para remoção de microcistinas, porém é preciso adaptá-los para serem utilizados em escala real (DE ROSSI et al., 2020; HADIANI; KHOSRAVI-DARANI; RAHIMIFARD, 2019; MASSOUD et al., 2019; SAGAR JENA et al., 2022; SAINI et al., 2020; SAVASTRU et al., 2022).

Desta forma, com base no contexto exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de degradação de microcistinas por diferentes cepas de leveduras, bactérias probióticas e da bactéria *Sphingosinicella microcystinivorans* B9.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do teste de atividade de degradação de microcistinas – MCs foi utilizada a cepa toxigênica de *Microcystis* sp. cedida pelo Laboratory of Environmental Sciences, Faculty of Pharmacy, Meijo University, Nagoya - Aichi - Japão. A cepa caracteriza-se pela produção predominante de MC-LR em elevadas concentrações.

PREPARAÇÃO DO EXTRATO DE *MICROCYSTIS* SP.

A cepa toxigênica de *Microcystis* sp. foi cultivada em meio ASM-1 estéril por 20-30 dias em temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, intensidade luminosa de $35 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, fotoperíodo de 12 h.d⁻¹ e aeração contínua. Em seguida, as culturas foram centrifugadas a 5000 rpm por 20 minutos para obtenção de biomassa. Estas foram congeladas a -20°C , liofilizadas (Liotop L101 / Liobras) e ressuspensas em água ultrapura. Para liberação da toxina, repetição de 3 séries de congelamento / descongelamento foram realizadas na biomassa, seguida de armazenamento -20°C até o momento de uso.

ISOLAMENTO E CULTIVO DOS MICRORGANISMOS

A cepa de *Sphingosinicella microcystinivorans* - B9 cedida pelo Laboratory of Environmental Sciences, Faculty of Pharmacy, Meijo University Nagoya - Aichi – Japão foi isolada do Lago Tsukui, Kanagawa, mantida em meio sólido (Sakurai) a 25°C , incubando-se por 48-72 h e cultivada em meio líquido (peptona de caseína 0,2 %, extrato de levedura 0,1 % e glicose 0,05 %) a 25°C por 72 h. As leveduras utilizadas mostradas na tabela 1 foram cultivadas em meio YPD (extrato de levedura 1%, glicose 2% e peptona 2%) a 25°C por 24 h.

Tabela 1 - Cepas de leveduras utilizadas no experimento

Código da cepa	Cepa	Classificação	Origem	Meio de cultura
L1	PA	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	-	YPD
L2	C2	<i>Pichia fermentans</i>	-	
L3	Calda	Cepa não identificada	Isolada de cana de açúcar	
L4	A2	Cepa não identificada	Isolada de carambola	
L5	Vale do Ivaí	Cepa não identificada	Isolada de cana de açúcar	
L6	CAT-1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Isolada de cana de açúcar	

As culturas probióticas mostradas na tabela 2 foram ativadas 3 vezes em Caldo MRS à 37°C por 18 h. Os grãos de kefir de água (mistura de bactérias lática, acética e levedura) foram cultivados previamente 3 vezes em solução de açúcar mascavo à temperatura ambiente, por 24 h.

Tabela 2 - Cepas de bactérias probióticas utilizadas no experimento

Código da cepa	Cepa	Classificação	Origem	Meio de cultura
P1	LPR	<i>Lactobacillus plantarum e rhamnosus</i>	Sacco	MRS
P2	Bb12	<i>Bifidobacteriumlactis</i>	Christian Hansen	MRS
P3	LC-1	<i>Lactobacillus casei</i>	Christian Hansen	MRS
P4	Kefir	de água	Laboratório de Ciência de Alimentos CCA-UEL	Açúcar mascavo
P5	La-5	<i>Lactobacillus acidófilos</i>	Christian Hansen	MRS

PREPARAÇÃO DO TESTE DE VARREDURA

Primeiramente adicionou-se 8 mL do extrato de *Microcystis* sp. (com concentração de 1 mg L⁻¹ de microcistinas) em frascos de vidro com capacidade máxima de 50 mL. Os diferentes tratamentos foram realizados adicionando-se 1 mL de biomassa ou inóculo (microrganismo adaptado no meio de cultura) de levedura ou bactérias probióticas ou bactéria B9 + 1 mL de meio específico de cada microrganismo. No teste com os grãos de kefir, foi adicionado apenas 1 g do grão + 1 mL da solução de açúcar mascavo 5 % (Tabela 3). Os tratamentos foram mantidos à 27°C com rotação de 100 rpm por 96 h (Figura 1). Nos tempos 0 e 96 h foram retirados 1 mL para análise de MCs através do método de imunoenensaio Enzyme-linked immunosorbent assay – ELISA (kits de Beacon Analytical Systems Inc.) e 1 mL para contagem dos microrganismos.

Tabela 3 - Condições experimentais testadas

Código da condição	Condições experimentais
A	Extrato de MCs + 1 mL da cultura(**) + 1 mL de meio(*)
B	Extrato de MCs + 1 mL de biomassa(**) + 1 mL de meio(*)

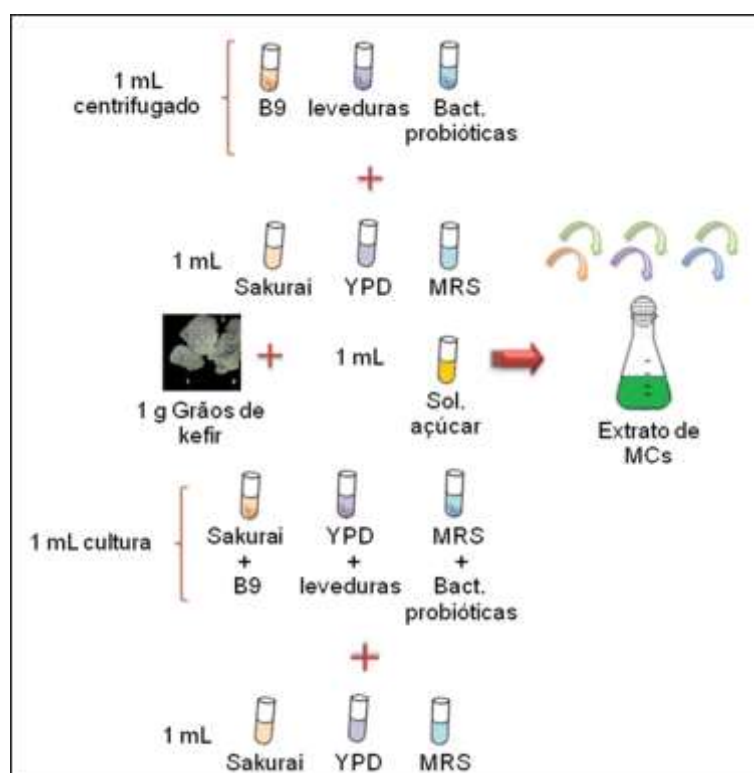
(*) meio específico dos microrganismos: B9 – Sakurai ou leveduras – YPD ou bactérias probióticas – MRS ou kefir - açúcar mascavo. (**) específica dos microrganismos B9 ou leveduras ou bactérias probióticas

CONTAGEM DE MICRORGANISMOS

A contagem de bactérias probióticas, foi efetuada através de diluições decimais e seriadas de 1 mL da amostra em solução salina 0,85 % estéril, inoculação em Agar MRS e incubação a 37°C por 48 h. Para a bactéria B9 foi realizada a retirada de 1 mL da amostra seguida de diluições decimais e seriadas com solução salina 0,85 % estéril, inoculação em Agar Sakurai com incubação a 25°C por 72 h.

Na contagem de leveduras, 1 mL da amostra foi retirada e fixada com formol 4 %. A contagem celular foi realizada em câmara de Neubauer / microscópio Motic BA 21. O teste de viabilidade e contagem dos microrganismos testados foram realizados nos tempos 0 e 96 h.

Figura 1 - Esquema do teste de varredura para degradação de microcistinas por diferentes cepas de bactéria B9, leveduras, bactérias probióticas, e grãos de kefir



RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 2 e 3 mostram os resultados do teste de degradação de microcistinas - MCs nos tempos 0 e 96 h e os percentuais de degradação pela bactéria B9 leveduras e bactérias probióticas e kefir respectivamente.

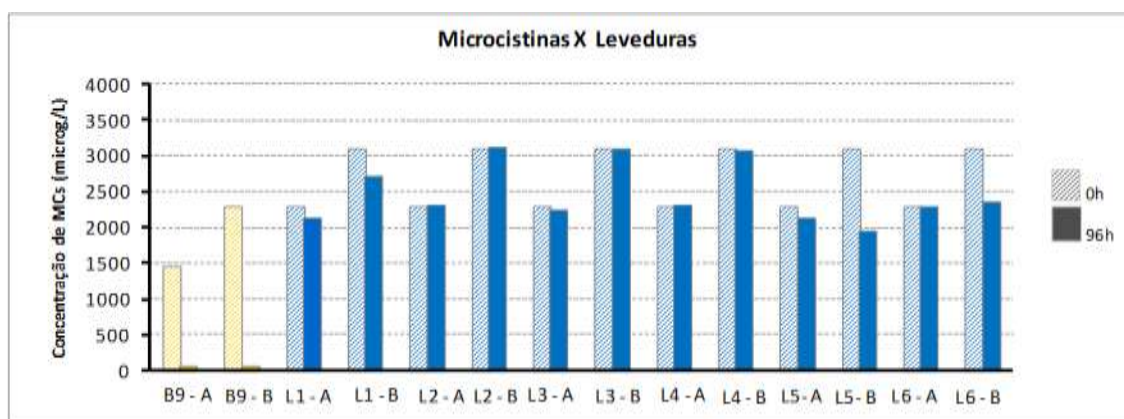
Independentemente da condição testada, a bactéria B9 apresentou a maior degradação de MCs com 95 e 98 % quando adicionada na forma de inoculo e biomassa centrifugada respectivamente. Essas eficiências comprovam os resultados obtidos por Tsuji et al. (2006), em que a imobilização da cepa de *Sphingosinicella microcystinivorans* B9 em biorreatores constituídos de resinas de poliéster mostrou eliminação completa de MC-LR após 24 h.

Determinadas leveduras apresentam o fator “killer”, um peptídeo tóxico liberado no meio de cultivo capaz de inibir o crescimento de outros microrganismos sendo detectado em diversos gêneros como *Saccharomyces spp*, *Candida spp.*, *Cryptococcus spp.*, *Debaryomyces spp.*, *Hansenula spp.*, *Kluyveromyces spp.*, *Pichia spp.*, *Torulopsis spp.* (Philliskirk & Young, 1975).

No entanto, a maior eficiência foi obtida com biomassa da cepa Vale do Ivaí (L5) a qual apresentou 37 % de degradação após 96 h de incubação, seguida da biomassa de CAT-1 (L6), com 24 %. As outras cepas apresentaram resultados abaixo de 13 % de degradação, sendo assim consideradas insatisfatórias para uso como potencial de biodegradação e biocontrole.

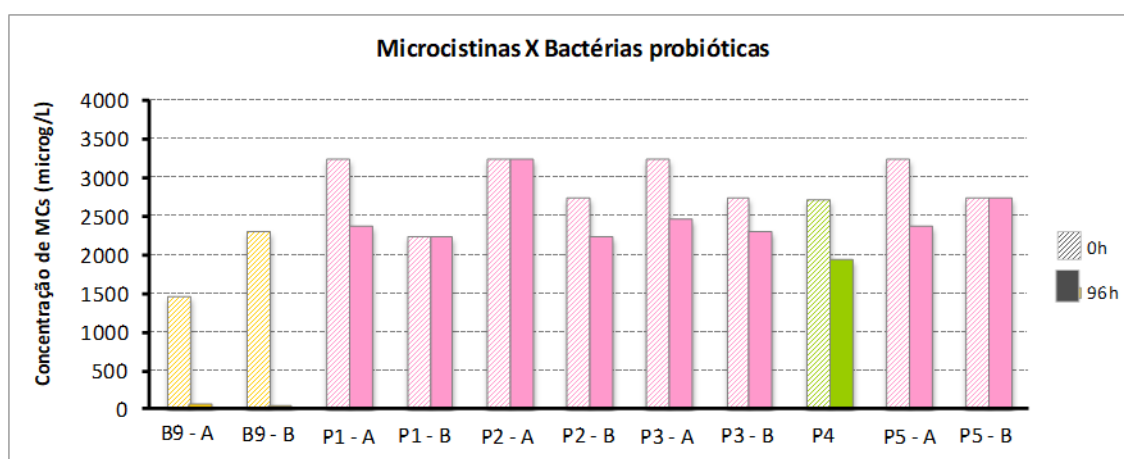
Por outro lado, as condições de manutenção das leveduras são bastante simples quando comparadas às da bactéria *Sphingosinicella microcystinivorans* - B9 e às das bactérias probióticas, podendo-se constituir como alternativa promissora para estudos futuros, desde que sua capacidade de degradação seja potencializada.

Figura 2 - Degradação de MCs pela bactéria B9 e seis cepas de leveduras e bactéria B9 utilizando extrato de *Microcystis* sp. contendo MCs



Entre as bactérias probióticas o maior percentual de degradação foi de 27 %, obtido pela cepa La-5 (P5) adicionada na forma de inoculo. O percentual de degradação de MCs dos grãos de kefir (P4), foi de 29 % após 96 h de incubação. Estudos feitos com *Lactbacillus* e *Bifidobacteria* mostraram que esses microrganismos são eficientes para remoção de MCs, porém é preciso adaptá-los para serem utilizados em processos de tratamento em escala real (Sonja, 2007).

Figura 3 - Figura 3: Degradação de MCs pela bactéria B9 e por cinco cepas de bactérias probióticas utilizando extrato de *Microcystis* sp. contendo MCs



CONCLUSÕES

A bactéria *Sphingosinicella microcystinivorans* - B9 mostrou ser eficiente, sendo capaz de degradar entre 95 e 98 % das MCs presentes nos meios com concentração da ordem de 1 mg L^{-1} em 96 h de incubação;

De uma maneira geral, as capacidades de degradação de MCs pelas leveduras e bactérias probióticas foram limitadas. Entre as leveduras testadas, a isolada do Vale do Ivaí (L5) apresentou o maior percentual de degradação, 37 %, após 96 h de incubação. Em relação às bactérias probióticas as maiores eficiências foram obtidas pela cepa La-5 (P5) e pelos grãos de kefir (P4) e apresentaram 27 e 29 % de degradação de MCs respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO No 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017 - Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. . 2017, p. 01–856.

BRASIL. Portaria no 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade - Altera o Anexo XX da Portaria de Consilidação no 5. . 2021.

DE ROSSI, Andreia; RIGUETO, Cesar V. T.; DETTMER, Aline; COLLA, Luciane M.; PICCIN, Jeferson S. Synthesis, characterization, and application of *Saccharomyces cerevisiae*/alginate composites beads for adsorption of heavy metals. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 104009, 2020. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104009. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343720303572>.

GRASSO, Christopher R.; POKRZYWINSKI, Kaytee L.; WAECHTER, Christopher; RYCROFT, Taylor; ZHANG, Yanyan; ALIGATA, Alyssa; KRAMER, Michael; LAMSAL, Anisha. A Review of Cyanophage–Host Relationships: Highlighting Cyanophages as a Potential Cyanobacteria Control Strategy. *Toxins*, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 385, 2022. DOI: 10.3390/toxins14060385. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6651/14/6/385>.

GUPTA, PK. Bacterial and Cyanobacterial (Blue-Green Algae). In: *Concepts and Applications in Veterinary Toxicology*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 187–201. DOI: 10.1007/978-3-030-22250-5_9. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-22250-5_9.

HADIANI, Mohammad Rasoul; KHOSRAVI-DARANI, Kianoush; RAHIMIFARD, Nahid. Optimization of As (III) and As (V) removal by *Saccharomyces cerevisiae* biomass for biosorption of critical levels in the food and water resources. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 102949, 2019. DOI: 10.1016/j.jece.2019.102949. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343719300727>.

IQBAL, Mudassir; JAMSHAD, Maha; ZAHID, Muhammad Awais; ANDREASSON, Erik; VETUKURI, Ramesh R.; STENBERG, Johan A. Biological control of strawberry crown rot, root rot and grey mould by the beneficial fungus *Aureobasidium pullulans*. *BioControl*, [S. l.], v. 66, n. 4, p. 535–545, 2021. DOI: 10.1007/s10526-021-10083-w. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10526-021-10083-w>.

KRAEMER, B. PETRINI, L. J. KREIN, T. GREGOLIN, C. NEUNFELT, T. H. LOHMANN, T. R. STANGARLIN, J. R. Utilização de leveduras para controle biológico de podridão em morango. XVI EAIC 2007

KURODA, Emília Kiyomi. Remoção de células e subprodutos de *Microcystis* spp. por dupla filtração, oxidação e adsorção. Tese de Doutorado - Engenharia Hidráulica e Saneamento Universidade de São Paulo, , 2006.

MARUYAMA, T. *Sphingosinicella microcystinivorans* gen. nov., sp. nov., a microcystin-degrading bacterium. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC AND EVOLUTIONARY MICROBIOLOGY*, [S. l.], v. 56, n. 1, p. 85–89, 2006. DOI: 10.1099/ijs.0.63789-0. Disponível em:

<https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijs.0.63789-0>.

MASSOUD, Ramona; HADIANI, Mohammad Rasoul; HAMZEHLU, Pegah; KHOSRAVI-DARANI, Kianoush. Bioremediation of heavy metals in food industry: Application of *Saccharomyces cerevisiae*. *Electronic Journal of Biotechnology*, [S. l.], v. 37, p. 56–60, 2019. DOI: 10.1016/j.ejbt.2018.11.003. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0717345818300460>.

MUTOTI, Mulalo; GUMBO, Jabulani; JIDEANI, Afam Israel Obiefuna. Occurrence of cyanobacteria in water used for food production: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, [S. l.], v. 125, p. 103101, 2022. DOI: 10.1016/j.pce.2021.103101. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706521001571>.

QI, Jing; MA, Baiwen; MIAO, Shiyu; LIU, Ruiping; HU, Chengzhi; QU, Jiuhui. Pre-oxidation enhanced cyanobacteria removal in drinking water treatment: A review. *Journal of Environmental Sciences*, [S. l.], v. 110, p. 160–168, 2021. DOI: 10.1016/j.jes.2021.03.040. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074221001261>.

SAGAR JENA, Preetam; PRADHAN, Abanti; PRAKASH NANDA, Swayam; KISHORE DASH, Aditya; NAIK, Brundabana. Biosorption of heavy metals from wastewater using *Saccharomyces cerevisiae* as a biosorbent: A mini review. *Materials Today: Proceedings*, [S. l.], v. 67, p. 1140–1146, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.07.306. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785322049446>.

SAINI, Saraswati; GILL, Jaskaran Kaur; KAUR, Jagdeep; SAIKIA, Hridoy Ranjan; SINGH, Navdeep; KAUR, Inderpreet; KATNORIA, Jatinder Kaur. Biosorption as Environmentally Friendly Technique for Heavy Metal Removal from Wastewater. In: *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation*. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 167–181. DOI: 10.1007/978-981-13-8277-2_10. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-981-13-8277-2_10.

SAVASTRU, Evgenia; BULGARIU, Dumitru; ZAMFIR, Cătălin-Ioan; BULGARIU, Laura. Application of *Saccharomyces cerevisiae* in the Biosorption of Co(II), Zn(II) and Cu(II) Ions from Aqueous Media. *Water*, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 976, 2022. DOI: 10.3390/w14060976. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/6/976>.

TSUJI, Kiyomi; ASAKAWA, Miki; ANZAI, Yojiro; SUMINO, Tatsuo; HARADA, Ken-ichi. Degradation of microcystins using immobilized microorganism isolated in an eutrophic lake. *Chemosphere*, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 117–124, 2006. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.02.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653506001986>.

Capítulo 9



10.37423/230507778

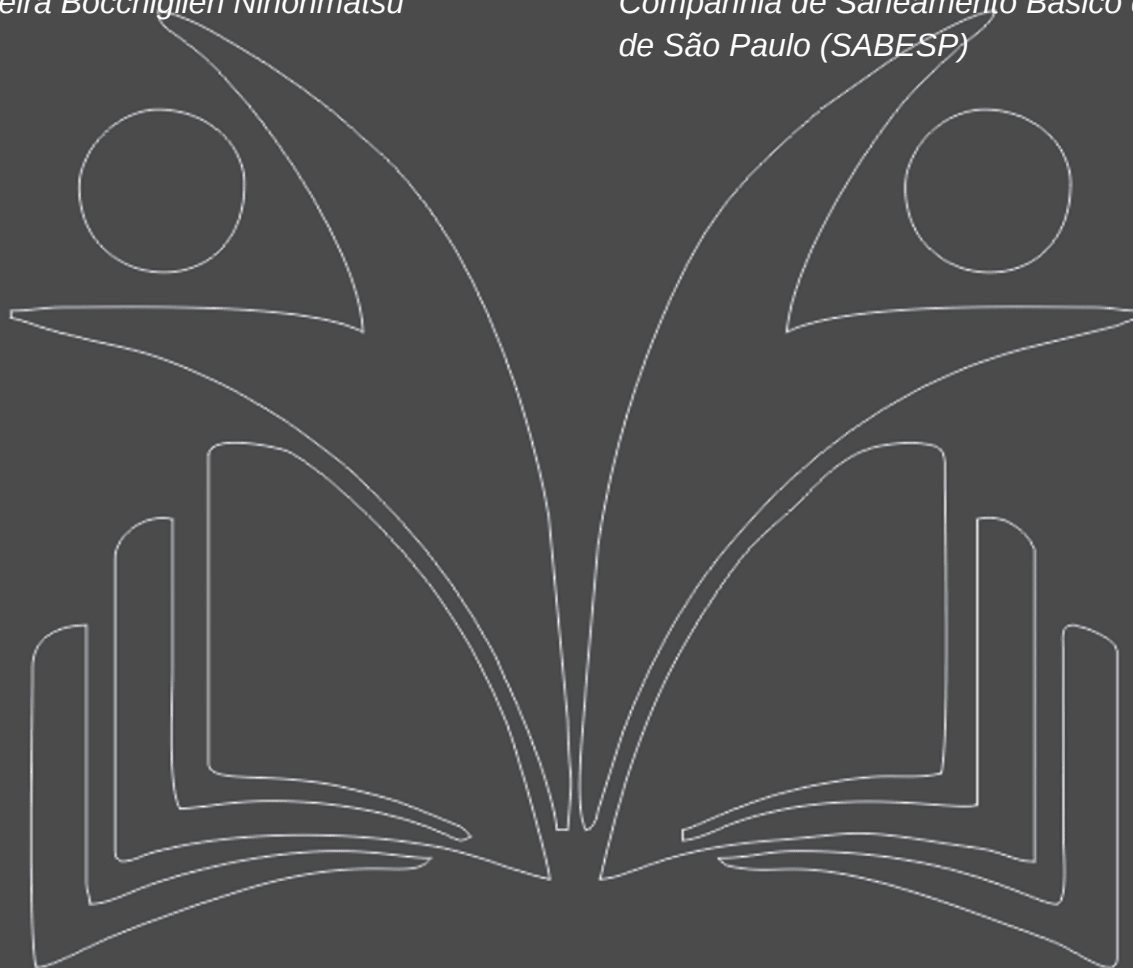
EDUCAÇÃO SANITÁRIA E AMBIENTAL NO SANEAMENTO

Wanderley da Silva Paganini

*Faculdade de Saúde Pública - Universidade
de São Paulo (FSP/USP)*

Miriam Moreira Bocchiglieri Nihonmatsu

*Companhia de Saneamento Básico do estado
de São Paulo (SABESP)*



Resumo: Considerando-se a amplitude das ações de saneamento no que diz respeito à universalização do atendimento e aos benefícios ambientais e à saúde pública que dela decorrem, esse artigo apresenta uma reflexão sobre a importância da educação sanitária e ambiental nesse processo, identificando algumas possibilidades de atuação relacionadas à prestação de serviços de saneamento. As informações levantadas sinalizam que as obras são para sanear e a educação e o envolvimento da sociedade para despoluir e promover a saúde, destacando que a disponibilização do acesso à infraestrutura sanitária não é suficiente para promover a melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida, sendo requeridas iniciativas para promover educação sanitária e ambiental, não apenas pela inclusão do tema no currículo escolar, mas por sua inserção na cultura e no cotidiano da população, carecendo de ações participativas, integradas às comunidades, não se resumindo em um “manual de boas práticas”, mas sendo um importante instrumento para orientar a convivência em sociedade e a construção da cidadania.

Palavras-chave: Saneamento, Educação Ambiental, Educação Sanitária, Saúde Pública.

INTRODUÇÃO

O conceito de saúde pública formulado por Winslow Farr Smith, nascido no final do século dezenove, incorporava a saúde física e mental e explicitava a necessidade de esforços organizados da comunidade e de desenvolvimento de mecanismos sociais para assegurar um padrão de vida adequado para a manutenção da saúde de cada indivíduo. Esses elementos foram inseridos na definição estabelecida pela OMS em 1947, como “um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença...”

Os elementos trazidos por Smith, ampliados pela OMS, continuam a compor a agenda de discussões sobre o tema, e a compreensão do conceito de saúde pública é atualmente quase intuitiva, mas tão abrangente e complexa, que alguns autores já discutiram tratar-se de uma definição irreal, propondo a concepção de saúde como “um estado de razoável harmonia entre o sujeito e a sua própria realidade” (SEGRE e FERRAZ, 1997).

Nesse sentido, a própria OMS menciona em suas publicações que as soluções não são simples, não havendo consenso sobre como proceder para suprir as carências em saúde da população, entretanto, algumas evidências são inquestionáveis e unânimes: é impossível dissociar saúde do contexto ambiental, e promover saúde sem uma participação ativa da população.

Considerando-se o papel do saneamento nesse cenário, pela implantação de equipamentos e sistemas que irão garantir o ambiente salubre e o afastamento das doenças, sua amplitude fica limitada se não houver a inserção de uma variável importante nesse processo: a educação sanitária e ambiental e o envolvimento da sociedade, uma vez que disponibilizar os sistemas sem envolver a população e acompanhar o processo de incorporação dessa infraestrutura no seu cotidiano, não levará aos resultados almejados.

Quando não se observa a necessária mudança dos hábitos sanitários das pessoas pode haver utilização inadequada dos equipamentos, de tal modo que os benefícios ambientais e à saúde pública não serão efetivos.

O presente trabalho busca abordar a importância da educação sanitária e ambiental para a promoção da saúde pública, considerando-se as possibilidades de atuação em relação à prestação de serviços de saneamento.

SANEAMENTO, SAÚDE, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

O acesso aos serviços de saneamento, em condições adequadas de gestão, operação e manutenção, pode promover melhorias ambientais e à saúde, sendo também vetor de desenvolvimento social, uma vez que promove a oferta de condições mais dignas de vida para a população, que passa a ser atendida com abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e disposição de resíduos sólidos e drenagem urbana/controle de inundações. Tais benefícios certamente implicarão em melhores condições de saúde pública, diminuindo a incidência de doenças de veiculação hídrica, reduzindo os índices de morbidade e de mortalidade relacionados à falta ou precariedade dos serviços de saneamento.

Vários estudos epidemiológicos apontam os efeitos benéficos diretos e indiretos do abastecimento de água e do esgotamento sanitário sobre a saúde. Investimentos em saneamento adequadamente aplicados têm demonstrado a médio e longo prazo sua relação com a redução dos índices de mortalidade infantil e com a extinção de doenças de veiculação hídrica, como cólera e leptospirose, além das verminoses que afetam substancialmente a capacidade do homem para o trabalho.

Considerando-se a correlação entre saneamento e saúde, o abastecimento de água é primordial na promoção da saúde. Um sistema de abastecimento de água tem como objetivo captar a água de um manancial, tratá-la e distribuí-la através de redes de distribuição até as edificações para ser utilizada pela população. A água distribuída deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos por lei (Portaria MS 2914/2011), porém, ainda que sejam inquestionáveis os benefícios oferecidos pelo tratamento da água, observa-se que atender às características de qualidade da água não é o bastante para garantir a saúde da população.

Estudos brasileiros mostram a importância das práticas higiênicas e da educação sanitária sobre as intervenções de saneamento, entretanto, conforme aponta a literatura especializada, as medidas de saneamento, especialmente em relação à melhoria da qualidade da água, podem ter seus efeitos sobre a saúde minimizados ou até mesmo anulados, por fatores de ordem comportamental ou ambiental, como a presença de contaminação no meio (HELLER, 1998).

Estudos que correlacionam saúde e saneamento inserem a componente do desenvolvimento social nesse contexto, sendo a relação entre saneamento e desenvolvimento bastante clara, e em geral, os países com mais elevado grau de desenvolvimento têm menor carência de atendimento por serviços

de saneamento, e países com melhores coberturas em saneamento possuem populações mais saudáveis.

Um enfoque mais abrangente considera, ainda, a relação saúde e ambiente, na qual o saneamento assume ações voltadas para a melhoria da qualidade ambiental e para a erradicação das doenças, sobretudo, é importante destacar, conforme afirmam Ribeiro e Günther (2010), que “ações de saneamento ambiental e promoção da saúde, levadas como atividades fins, não se sustentam, sendo essencial a participação comunitária/institucional no direcionamento, implementação e na sustentabilidade dessas ações”.

Sendo a saúde pública objeto primordial do saneamento, é fundamental que a área da saúde incorpore a visão preventiva com ênfase para a ação do ambiente sobre ela. Da mesma forma, o saneamento deve ampliar a eficácia de suas ações, considerando a perspectiva da saúde pública como um objetivo e não apenas como uma consequência (HELLER, 1998).

DISCUSSÃO

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio 92, propôs uma associação mundial em prol do desenvolvimento sustentável no sentido de desenvolver consciência sobre meio ambiente e desenvolvimento em todos os setores da sociedade, estabelecendo um programa de ação que constitui a Agenda 21 Global, cujos princípios permanecem válidos e precisam ser respeitados, conforme ficou definido na Conferência Rio + 20.

A Agenda 21 descreve seus programas em termos de bases para a ação, objetivos, atividades e meios de implementação. O documento, dentre outros, menciona a necessidade de reorientação do ensino no sentido do desenvolvimento sustentável, e considera, tanto o ensino formal como o informal, indispensáveis para modificar a atitude das pessoas, para que estas tenham capacidade de avaliar os problemas do desenvolvimento sustentável.

O documento destaca a importância do ensino (formal ou informal) para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável. Ressalta, ainda, que para ser eficaz, o ensino sobre meio ambiente deve abordar a dinâmica do desenvolvimento do meio físico e biológico, além de fatores socioeconômicos e do desenvolvimento humano, devendo ser integrado em todas as disciplinas e empregar métodos diversificados e meios efetivos de comunicação.

Considerando-se as relações e interfaces entre saneamento, saúde, meio ambiente e desenvolvimento social, são inúmeras as práticas e perspectivas da educação sanitária ambiental, conforme as linhas e temas apresentados a seguir.

ESCASSEZ HÍDRICA, USO RACIONAL E CUIDADOS COM A ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

O cuidado com os mananciais de abastecimento público tem se configurado como tema para poucos, fechado num emaranhado de leis, provido de um vocabulário com significado próprio (enquadramento, bacia), que mesmo com a instituição da participação social na gestão das águas, permanece distante da realidade individual e da sociedade como um todo, sendo de entendimento geral, que o cuidado com as águas de abastecimento é assunto restrito às agências ambientais, companhias de saneamento e demais órgãos competentes.

As indústrias e outros setores usuários que captam a água diretamente dos reservatórios (naturais ou construídos), ou usam os corpos hídricos como receptores dos efluentes gerados em seus processos, já compreendem seu papel nesse processo, pois tanto a captação quanto os lançamentos de efluentes nos corpos d'água são passíveis de fiscalização e cobrança, meios pelos quais podem aferir os efeitos de suas atividades sobre o ambiente, no caso, a água.

Para o cidadão comum, quando esses mananciais se encontram em locais afastados dos centros urbanos, a percepção sobre sua responsabilidade com a qualidade das águas, ainda é mais difícil. No caso da utilização das águas para atividades como natação, mergulho, pesca, navegação, entre outros, oportunidades em que há contato direto com a água, em ambientes como parques, rios, lagos ou represas, essa percepção fica mais fácil, porém limitada a uma ação local, relacionada principalmente aos cuidados com os resíduos gerados durante sua estadia nesses locais.

A disponibilização da água para abastecimento público depende de um conjunto de variáveis, que envolvem questões geográficas, ambientais e climáticas, planejamento do uso e ocupação do solo, execução de obras de infraestrutura sanitária e ambiental e ações integradas entre os usuários, dentre outros.

No que se refere a participação social e as ações individuais em relação ao uso consciente da água e ações para a sua conservação, a resposta da população tem sido rápida e efetiva, como se pode observar com o advento da atual crise hídrica, em especial no estado de São Paulo, onde a população recebeu uma quantidade maior de informações e passou a compreender melhor a questão da água, especialmente em relação ao funcionamento do sistema público de abastecimento. Assim, percebeu-

se significativa redução no consumo de água pela população, que passou a conhecer a complexa engenharia envolvida no caminho que a água percorre até chegar à torneira.

Esse ganho de conhecimento, talvez seja o melhor resultado obtido com a crise hídrica, que é o momento totalmente adequado para dialogar e levantar alternativas, soluções e possibilidades para a diminuição do consumo de água, destacando-se questões relacionadas aos hábitos e vícios que levam ao desperdício, vazamentos internos, alternativas para a substituição de equipamentos hidráulicos por modelos economizadores, com baixo consumo de água, discutir possibilidades de reuso domiciliar de água e de aproveitamento de água da chuva.

São fundamentais o envolvimento e a participação social em questões relacionadas à escassez hídrica e a proteção dos mananciais, levando ao entendimento de que a gestão das águas e o controle da poluição são importantes mecanismos para o aumento da disponibilidade hídrica.

SAÚDE E QUALIDADE DA ÁGUA

Existem inúmeros estudos que correlacionam água e saúde. Assim, uma importante ação de saneamento para a promoção da saúde pública nas comunidades urbanas é disponibilizar água potável para consumo, em quantidade suficiente e com qualidade adequada para suprir as necessidades da população.

Desse modo, é fundamental que haja clareza pelos usuários sobre a necessidade da utilização correta dos equipamentos do sistema de abastecimento água para que se possa usufruir da qualidade que ele oferece, em face da legislação vigente e dos mecanismos de controle instituídos. Especialmente em situações de escassez hídrica, a busca por fontes alternativas de abastecimento aumenta, sem que haja conhecimento dos riscos envolvidos na utilização de fontes alternativas de abastecimento. Além desses aspectos, deve-se considerar a importância da manutenção do reservatório domiciliar (limpeza da caixa d'água) para a garantia da qualidade da água.

Assegurada a qualidade da água, a promoção da saúde será efetiva, desde que aspectos relacionados aos hábitos de higiene dos indivíduos sejam observados, assim como padrões adequados de habitação, alimentação e nutrição, dentre outros.

Ressalta-se que a saúde e a doença estão condicionadas aos modos de vida, condições de vida e estilos de vida, expressos, respectivamente, pela convivência em sociedade, em grupo, e pelo próprio indivíduo. Promover a saúde muitas vezes requer transformações no comportamento dos indivíduos, considerando-se a família e a comunidade na qual ele está inserido, ou seja, não bastam as mudanças

de comportamento individual, pois fatores de ordem coletiva sempre participam dessas transformações.

A construção de conceitos e o estabelecimento de uma nova visão sobre a saúde e a mudança de hábitos, necessitam ser tratados a partir de uma interação entre as pessoas e de uma avaliação crítica das mesmas sobre a sua realidade e o ambiente em que estão inseridas. É preciso haver compreensão e sentido frente aos elementos a serem trabalhados, correlacionando-os a situações e vivências já conhecidas, estimulando um novo olhar e a superação das dificuldades que se apresentam nos processos de aprendizagem e mudança.

POLUIR É UM ATO; DESPOLUIR É UM PROCESSO

Com base na definição de poluição das águas, que é ocasionada por ações ou interferências naturais ou antropogênicas, alterando suas características e comprometendo seus usos, e considerando-se a autodepuração dos corpos d'água como um processo natural de recuperação da qualidade das águas por meio de reações e processos físicos, químicos e biológicos, a compreensão do conceito de poluição e a amplitude de seus efeitos pode ser facilmente compreendida.

Os processos de despoluição das águas, do solo, do ar, não se encerram com a execução de obras, sendo um conjunto de elementos para a construção de uma nova realidade social, onde cada indivíduo, instituição ou setor da sociedade, público ou privado, tem uma responsabilidade e um papel a desempenhar.

Sob esse mote podem ser incorporadas várias iniciativas de educação sanitária e ambiental com vistas à proteção dos corpos d'água e dos mananciais de abastecimento público, considerando-se a preservação e a recuperação ambiental; a preservação da mata ciliar; noções de uso e ocupação do solo compatível com os usos da água, além das questões relacionadas ao acondicionamento e disposição adequada de resíduos sólidos.

UTILIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO SISTEMA PÚBLICO DE ESGOTOS

Os processos de aprendizagem e mudança cultural também se aplicam nas discussões sobre a importância e os benefícios da adesão pela população aos sistemas de esgotamento sanitário, ou no caso da utilização de fossas sépticas, quanto à necessidade de instalar e manter as fossas de forma adequada.

A educação sanitária e ambiental é um instrumento fundamental para motivar a adesão ao sistema de esgotamento sanitário quando os mesmos são disponibilizados, pois muitas vezes não há interesse pelo usuário em executar a ligação na rede coletora de esgotos, uma vez que os ganhos não são facilmente percebidos, ao contrário, é comum associar a ligação ao sistema apenas como mais uma despesa.

Além dos aspectos de instalação, manutenção e cuidados com as instalações sanitárias, para que os equipamentos funcionem de modo adequado, de forma eficiente e eficaz, é necessário utilizar corretamente as instalações disponíveis.

Considerando-se a concepção do sistema de esgotos adotada no país como sistema separador absoluto, no qual os esgotos sanitários veiculam em um sistema independente do sistema de coleta e drenagem de águas pluviais, é necessário conhecer as implicações do lançamento de esgotos em galerias de águas pluviais, e das águas pluviais no sistema público de esgotos para a correta operação desses sistemas, além de outros problemas relacionados à presença de lixo (resíduos sólidos) nesses equipamentos.

SANEAR E DESPOLUIR

As iniciativas apresentadas compõem uma amostra da abrangência das ações de educação sanitária e ambiental, seja por sua efetiva inserção no cotidiano das pessoas, alterando padrões de comportamento e promovendo melhoria da qualidade de vida, seja por seu potencial alcance no que se refere à preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

O simples ato de abrir e fechar uma torneira para lavar as mãos, decorre de um processo de educação, que não é facilmente percebido, pois está incorporado à prestação de serviços de saneamento, como um benefício advindo da disponibilização dessa infraestrutura às populações.

A universalização dos serviços de saneamento para as populações é o principal foco das empresas operadoras de saneamento. A carência por esses serviços ainda é muito grande no país e para atendê-la, é necessário o estabelecimento de prioridades, ressaltando-se, que o abastecimento de água é a ação mais significativa do saneamento no que se refere à promoção da saúde pública, seguida pela coleta dos esgotos, que é uma ação sanitária de âmbito local, promovendo benefícios à saúde pelo afastamento dos esgotos do entorno das populações. O tratamento de esgotos possui abrangência regional, promovendo a melhoria da qualidade ambiental, uma vez que os rios deixam de receber esgotos sem tratamento.

As ações de saneamento devem ser inseridas no contexto multidisciplinar das questões ambientais, de maneira integrada com as políticas de saúde, de desenvolvimento urbano e rural, de meio ambiente, de recursos hídricos e de habitação, constituindo importante vetor de desenvolvimento social e de proteção à saúde pública, uma vez que o acesso aos serviços de saneamento promove a oferta de condições de vida mais dignas para a população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente há uma mobilização nacional em busca da universalização do saneamento, mas para atingir essa meta e conquistar os avanços e as melhorias ambientais almejadas é necessário o envolvimento de toda a sociedade, ou seja, não basta a execução de obras e o domínio da tecnologia. Não há tecnologia capaz de fornecer desenvolvimento e conforto para uma população que ainda carece de acesso aos conceitos fundamentais de educação sanitária e ambiental, e para que possamos usufruir das vantagens que um meio ambiente equilibrado e sadio pode proporcionar, é preciso que se invista em educação, pois como já se sabe, ela é a base que sustenta as transformações e os avanços da humanidade.

Além disso, os equipamentos de saneamento só funcionarão como uma efetiva barreira sanitária, interrompendo o processo de transmissão de doenças, a partir da incorporação pela população de hábitos e comportamentos saudáveis. Para que as ações de saneamento resultem em melhoria da saúde, da qualidade ambiental e da qualidade de vida, devem ser concebidas e implantadas de forma a respeitar a realidade de cada local, considerando a diversidade cultural das comunidades e populações, o que equivale a dizer de maneira simplificada, que as obras são para sanear e a educação e o envolvimento social são para despoluir e promover saúde.

Assim, não basta a inserção do tema no currículo escolar e a capacitação técnica dos educadores. A educação sanitária e ambiental não se resume na simples transmissão de conhecimento para aplicação isolada de práticas de higiene em cada domicílio. Essas práticas individualizadas, desconectadas do entorno, podem trazer algum benefício à saúde, mas seu alcance é limitado.

A educação sanitária e ambiental deve ser um projeto social e ambiental, multidisciplinar, apoiado em ações coletivas, na participação de cada indivíduo, consciente de seu papel perante a sociedade. Nesse sentido, a educação sanitária e ambiental não é apenas um “manual de boas práticas”, pois contribui para a formação de cidadãos. A partir da percepção dos efeitos ocasionados pela ação do homem sobre o ambiente e do ambiente sobre o homem, adquire-se melhor compreensão da dimensão

ambiental e de sua importância, bem como das responsabilidades e direitos envolvidos no convívio social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAGA, Benedito (org.) *et al.*. Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável. 2ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 3ª Reimpressão 2007.
2. BUSS, P.M. Promoção da Saúde da Família. Programa Saúde da Família, dez. 2002. P. 50-63.
3. HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. Revista Ciência & Saúde Coletiva, 3(2):73-84, 1998.
4. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Agenda 21 global. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em abr 2015
5. NARDOCCI, A. C., ROCHA, A. A., RIBEIRO, H., ASSUNÇÃO, J. V., COLACIOPPO, S., PAGANINI, W.S. Saúde Ambiental e Ocupacional. In: ROCHA, A.A., GALVÃO CESAR, C.L. (org.). Saúde Pública: bases conceituais. São Paulo: Atheneu, 2008, p. 69-101.
6. NASCIMENTO N. O.; HELLER L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.10 - Nº 1 - jan/mar 2005, p. 36-48
7. NERY, T.C.S. Saneamento: ação de inclusão social. Revista Estudos Avançados. vol.18, n.50, 2004. p. 313-21.
8. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPAS). Referencial para gerenciamento de projetos de desenvolvimento social / para educação sanitária intercultural com foco em higiene e saúde. Tradução de FREITAS, M.L.H. São Paulo: ABES, 2011.
9. PAGANINI, W.S. (org.). 40 anos de Educação Sanitária e Ambiental no Saneamento. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) Rio de Janeiro: ABES, 2014.
10. PAGANINI, W.S.; FURUKAWA, P.M.S.; BOCCHIGLIERI, M.M. Gestão Ambiental em Empresa de Saneamento Básico. In: PHILIPPI JR. (coord.), A.; GALVÃO JR., A.C.(ed.). Gestão do Saneamento Básico: Abastecimento de água e esgotamento sanitário. Barueri, SP: Manole, 2012. p. 331-54.
11. RIBEIRO H.; GÜNTHER W.M.R. A integração entre a educação ambiental e o saneamento ambiental como estratégia para a promoção da saúde e do meio ambiente sustentado. In: I Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública. Mostra de Experiências/Soluções Bem Sucedidas. FUNASA, 2010.
12. SEGRE, M.; FERRAZ, F.C. O conceito de saúde. Rev. Saúde Pública, 31 (5), 1997 p. 538-42.
13. SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R.S; CORDEIRO NETTO, O. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. Cadernos de Saúde Pública, vol.18, n.6, 2002. p. 1713-24.
14. SOUZA C.M.N. Relação Saneamento-Saúde-Ambiente: o discurso preventivista e da promoção da saúde. Revista Saúde e Sociedade. São Paulo, v.16, n.3, 2007. p.125-37.

Capítulo 10

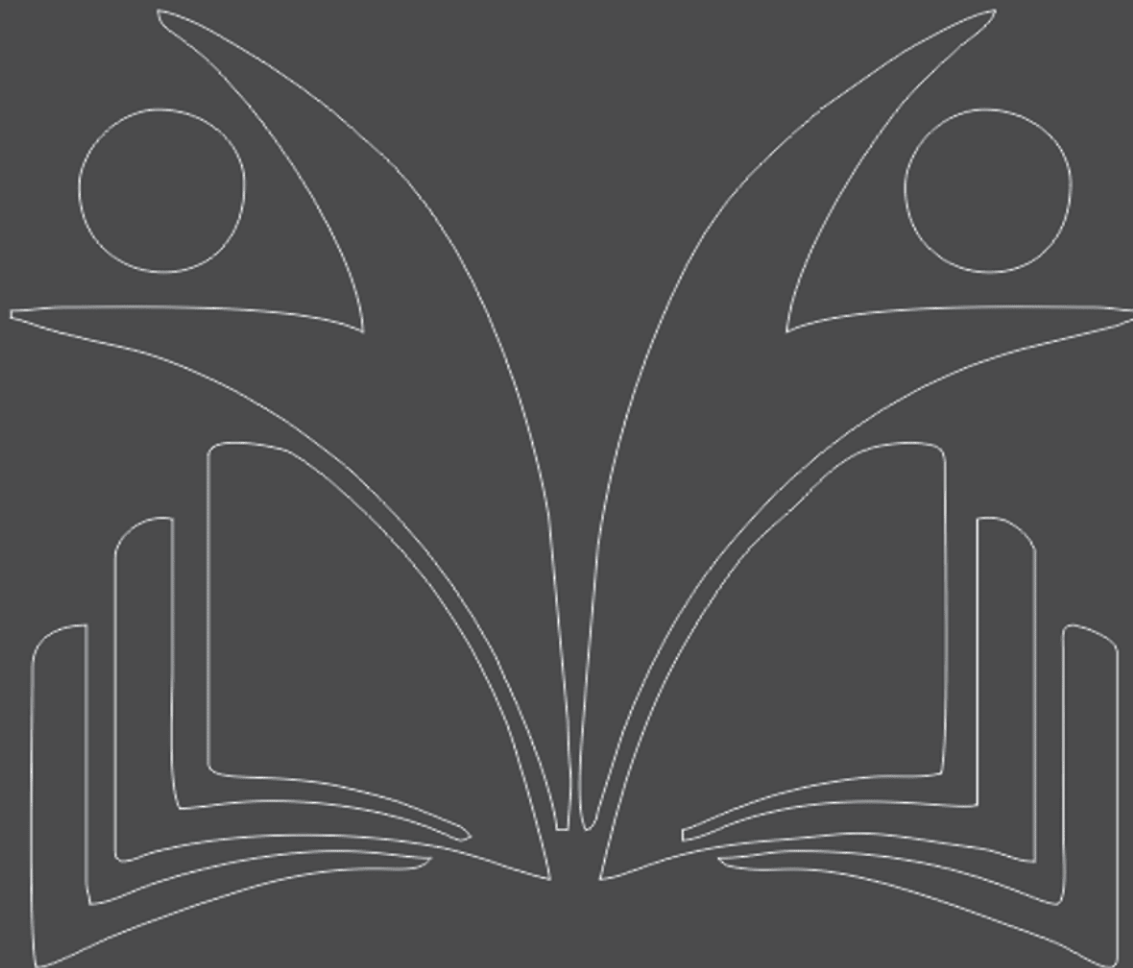


10.37423/230507785

VERIFICAÇÃO DA CARACTERÍSTICA HIDRODINÂMICA AXIAL EM FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS POR MEIO DE MODELAGEM CFD

Danieli Soares de Oliveira

Instituto Federal do Espírito Santo



Resumo: O desenvolvimento de tecnologias alternativas para o tratamento de água tem sido objeto de estudo frequente nos últimos anos. Dentre as metodologias que promovem alta eficiência de processo e baixo tempo de detenção destacam-se os Floculadores Tubulares Helicoidais (FTHs), que aproveitam a própria energia hidráulica do sistema para a formação de flocos em seu interior. Visando um maior entendimento do comportamento hidrodinâmico deste tipo de unidade, foi proposto como objetivo deste trabalho verificar, via modelagem fluidodinâmica computacional (CFD), a característica hidrodinâmica axialmente invariante em FTHs. Essa característica, que se refere a constância nas características hidrodinâmicas nas seções transversais do reator após o comprimento de entrada, não é verificada em floculadores convencionais; em floculadores hidráulicos chicanados e floculadores mecanizados são verificadas regiões de grande agitação em locais específicos da unidade, que podem causar desestruturação dos flocos previamente formados e redução na eficiência do processo. Desta forma, a característica axialmente invariante verificada em FTHs é apontada por diversos autores como uma das propriedades que levam à alta eficiência deste tipo de reator. Pretende-se com este trabalho contribuir com a idealização e projeto de FTHs.

Palavras-chave: Floculador Tubular Helicoidal, CFD, Tratamento de Água, Fluidodinâmica Computacional, Tubos Curvos.

INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades, aliado ao crescimento populacional e a inacessibilidade de uma parcela da população aos serviços básicos de saneamento tem trazido diversos desafios para os profissionais desse setor nas últimas décadas. A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas constitui fator de prevenção de doenças; o mesmo vale para os serviços de esgotamento sanitário, limpeza pública e manejo de resíduos sólidos e de drenagem urbana (LISBOA, HELLER *et al.* 2013). Além de influenciar na saúde pública, o acesso a água interfere em aspectos econômicos, sociais e ambientais, sendo então imprescindível uma análise racional de tais aspectos para a promoção da sustentabilidade.

Dentre as diversas vertentes a serem avaliadas acerca do acesso à água em quantidade e qualidade necessárias para a população, uma que é de grande importância é o uso de unidades alternativas de tratamento de água, em especial as de baixo custo e alta eficiência de processo, como os floculadores tubulares helicoidais - FTHs (CARISSIMI e RUBIO 2005, 2007; OLIVEIRA, 2014, OLIVEIRA e TEIXEIRA 2017a, 2017b, 2018; ARMELONI, OLIVEIRA *et al.* 2020). Um exemplo de um circuito hidráulico composto por um FTH pode ser verificado na Figura 1.



Figura 1 – Representação esquemática de um circuito hidráulico composto por um FTH (tracejado em vermelho)

Fonte: Oliveira e Teixeira, 2017.

Os FTHs têm apresentado bons resultados de eficiência de remoção de turbidez com baixos tempo de processo, indicando sua possibilidade de uso em escala real. No entanto, sua característica geométrica se difere consideravelmente dos floculadores hidráulicos comumente utilizados em estações de tratamento de água convencionais, tornando necessária a avaliação da característica hidrodinâmica de tal unidade para um maior entendimento dos processos que ocorrem no interior da mesma. Em floculadores hidráulicos convencionais a corrente líquida muda de sentido a cada mudança de compartimento, o que provoca aumentos locais no gradiente de velocidade (HAARHOFF e VAN DER WALT, 2001; SALGADO, 2006). Já nos FTHs as mudanças de direção do fluido são suaves e constantes, não sendo então verificadas variações abruptas no comportamento hidrodinâmico ao longo da unidade. Essa característica axialmente invariante é citada pela literatura especializada como responsável pelas altas eficiências de processo desses reatores.

Com base nessas informações, o objetivo deste trabalho é verificar a característica hidrodinâmica em um floculador tubular helicoidal visando obter informações acerca de sua característica hidrodinâmica. A obtenção de dados será feita por meio de modelagem fluidodinâmica computacional (CFD) e auxiliará em um maior entendimento das características do escoamento neste tipo de unidade.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para esta análise foi realizada uma modelagem fluidodinâmica computacional (CFD) utilizando o *software* Ansys CFX 13.0. O computador utilizado para a execução das simulações computacionais foi uma unidade com processador Intel® Core™ i7-3770 – 3,40 GHz, com 16 GB de memória RAM, HD de 1 TB. O método de discretização utilizado pelo CFX® é volumes finitos baseado em elementos, com malhas estruturadas e não-estruturadas para representar o domínio computacional de forma satisfatória. Um exemplo de uma seção transversal discretizada do domínio modelado neste trabalho é verificado na Figura 2.

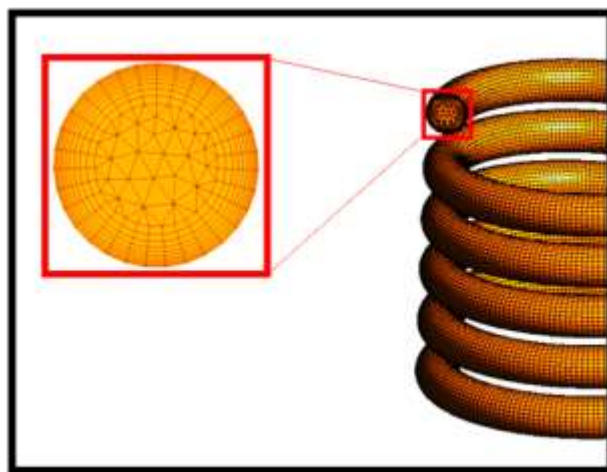


Figura 2 - Exemplo de malha utilizada na modelagem fluidodinâmica computacional deste trabalho, com destaque para uma seção transversal da unidade.

Adaptado de Oliveira, 2014.

A modelagem CFD dos floculadores tubulares helicoidais foi subdividida em etapas: (a) construção da geometria utilizando o software de modelagem 3D AutoCAD®; (b) discretização do domínio da unidade de floculação em estudo em uma malha não estruturada com característica tridimensional; (c) a atribuição das condições de entrada e de contorno, além das características gerais do escoamento; (d) processamento dos dados e solução das equações; e (e) visualização, interpretação e avaliação dos resultados obtidos.

Visando garantir que os resultados obtidos nas simulações fossem independentes da malha não estruturada utilizada, foram realizadas variações na malha até a obtenção de uma distribuição adequada para as simulações, de modo a não utilizar malhas muito grosseiras (havendo assim perda de informações) e tampouco muito refinadas (havendo assim um elevado tempo de processamento computacional).

A calibração do modelo utilizado foi realizada com base no trabalho de Yu *et al.* (2003), utilizando a metodologia apresentada em Sartori *et al.* (2015).

A geometria utilizada na modelagem CFD refere-se à geometria de maior eficiência de processo relatada no trabalho de Oliveira e Teixeira 2017.

RESULTADOS ALCANÇADOS OU ESPERADOS

Por meio de modelagem fluidodinâmica computacional foram obtidos dados de velocidade, temperatura, pressão e outras variáveis hidrodinâmicas para todo o domínio da unidade de floculação

avaliada. A característica invariante de tais unidades foi verificada após o comprimento hidrodinâmico de entrada, com pequenas variações entre as seções transversais da unidade avaliada. Foram avaliadas seções a cada 0,5 volta, partindo da posição de entrada, onde o fluxo foi considerado constante e uniforme, até a posição 2,5 voltas, onde o fluxo não apresentou variações significativas nas suas características. Como exemplo, é apresentada a Figura 3, onde perfis de velocidade axial do floculador tubular helicoidal avaliado são apresentados, indicando a tendência de invariância após o comprimento hidrodinâmico de entrada.

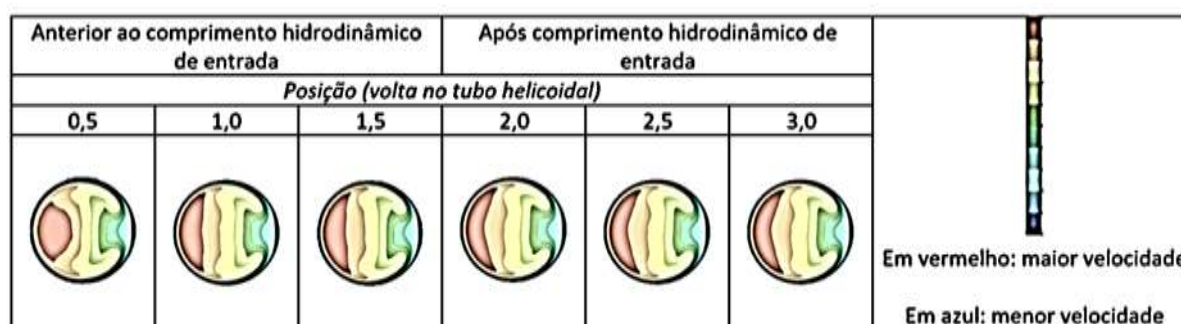


Figura 3: Perfil de velocidade axial do Floculador Tubular Helicoidal avaliado

As maiores diferenças foram verificadas na região da parede do tubo, como indicado pela literatura. Os perfis obtidos na modelagem fluidodinâmica computacional apresentam regiões de maior velocidade (em vermelho) e regiões de menor velocidade (em azul). Para auxiliar na identificação da posição do perfil de velocidade no tubo, as maiores velocidade são verificadas na parte externa do enrolamento do tubo, enquanto as menores velocidade são verificadas na parte interna de enrolamento do tubo.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Por meio da Figura 3 é possível verificar que os perfis de velocidade, após o comprimento hidrodinâmico de entrada, se mantêm praticamente constantes, com variações médias entre os valores obtidos nos perfis inferiores a 2%. Esse resultado concorda com Yu *et. al.* (2003), que afirma em seu trabalho que após 2 voltas o fluxo se torna invariável axialmente. As maiores diferenças são verificadas nas porções de maior velocidade – em especial, na porção em vermelho nas posições de volta de 0,5 a 2 voltas.

É importante ressaltar que o comprimento hidrodinâmico de entrada varia de acordo com as características geométricas da unidade e sua vazão de alimentação; desta forma, unidades com características distintas podem apresentar comprimentos hidrodinâmicos de entrada distintos. As

características que influenciam este parâmetro podem ser hidráulicas (como vazão) e geométricas (como diâmetro de enrolamento do helicóide, diâmetro do tubo utilizado e distância entre voltas). Este comprimento pode ser estimado com base em diversos trabalhos na literatura especializada.

Dada a verificação de característica axialmente na unidade avaliada (e em outras que por simplificação foram omitidas neste trabalho), pode-se inferir que um perfil de velocidade é suficiente para indicar a característica hidrodinâmica axial de toda a unidade, após seu comprimento hidrodinâmico de entrada. Destaca-se que uma análise do escoamento secundário de tal unidade se faz necessário, pois tubos curvos como o floculador tubular helicoidal podem apresentar escoamentos secundários significativos, influenciando na eficiência do processo de floculação. Escoamentos secundários podem influenciar no contato entre partículas presentes na massa líquida, podendo promover o choque entre as partículas e/ou a ruptura dos flocos previamente formados, influenciando, por exemplo, a remoção de turbidez na unidade.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio da modelagem fluidodinâmica computacional (CFD) da unidade de floculação alternativa denominada Floculador Tubular Helicoidal (FTH) foi possível verificar suas características hidrodinâmicas por meio da avaliação de suas seções transversais ao longo de toda sua extensão e, com isso, verificar a característica axialmente invariante após o comprimento de entrada, relatada em trabalhos anteriores como um dos motivos de sua alta eficiência de processo. Tal resultado também indica que um único perfil de velocidade é suficiente para representar toda a característica axial da unidade (visto que pequenas variações foram verificadas – todas inferiores a 2%), desde que respeitado o comprimento hidrodinâmico de entrada.

Destaca-se que são necessários trabalhos futuros para avaliação da importância do escoamento secundário, presente em tubos curvos como o floculador tubular helicoidal, na eficiência de processo deste tipo de unidade. Este aspecto não foi avaliado neste trabalho e precisa ser investigado posteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARMELONI, J. P. N., et al. (2020). *Natural agents as auxiliaries in water clarification: literature review and experimental evaluation*. Acta Scientiarum. Technology 42.
2. Carissimi E, Rubio J (2005) *The flocs generator reactor—FGR: a new basis for flocculation and solid–liquid separation*. Int J Miner Process 75:237–247.
3. Carissimi E, Rubio J (2007) *Characterization of the high kinetic energy dissipation of the flocs generator reactor (FGR)*. Int J Miner Process 85:41–49.
4. LISBOA, S. S., et al. (2013). *Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores*. Engenharia Sanitária Ambiental 18(4).
5. OLIVEIRA, D. S.; E. C. TEIXEIRA (2017). *Experimental evaluation of helically coiled tube flocculators for turbidity removal in drinking water treatment units*. Water SA 43(3): 378-386.
6. OLIVEIRA, D. S.; E. C. TEIXEIRA (2017). *Hydrodynamic characterization and flocculation process in helically coiled tube flocculators: an evaluation through streamlines*. International Journal of Environmental Science and Technology: 1-14.
7. OLIVEIRA, D. S.; E. C. TEIXEIRA (2018). *Swirl number in helically coiled tube flocculators: theoretical, experimental, and CFD modeling analysis*. International Journal of Environmental Science and Technology.
8. OLIVEIRA, D.S (2014). *Proposição de modelo de previsão de desempenho de unidades de floculação tubulares helicoidais*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo.
9. SARTORI M; OLIVEIRA DS; TEIXEIRA EC; RAUEN WB e REIS NC (2015) *CFD modelling of helically coiled tubes for velocity gradient assessment*. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 37 (1) 187–198.
10. Yu B, Zheng B, Lin CX, Pena OJ, Ebadian MA (2003) *Laser Doppler anemometry measurements of laminar flow in helical pipes*. Exp Therm Fluid Sci 27:855–865.

Capítulo 11



10.37423/230507788

APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁGUA DO RIO TIBAGI, PARANÁ - BRASIL

Emily Giany Assunção

Universidade Estadual de Londrina - UEL

Vilson Gomes da Assunção Júnior

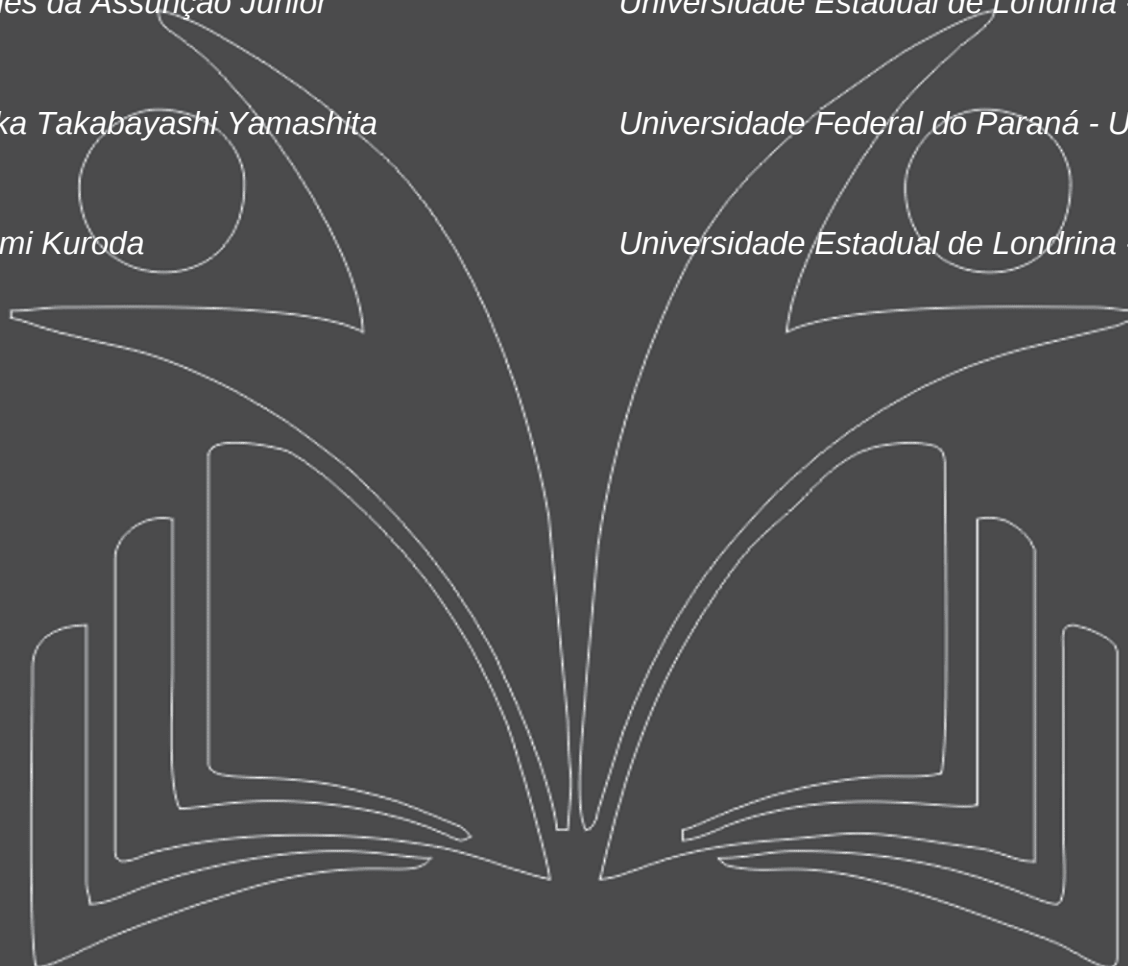
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Cássia Reika Takabayashi Yamashita

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Emília Kiyomi Kuroda

Universidade Estadual de Londrina - UEL



Resumo: Nas últimas décadas, o aumento das cargas poluidoras decorrentes das atividades agrícolas e industriais e do crescimento populacional urbano, tem contribuído para deterioração da qualidade da água dos mananciais de abastecimento. Neste contexto, os índices e indicadores de qualidade da água podem ser empregados para agregar, classificar e disponibilizar informações simplificadas sobre as mudanças na qualidade da água ao longo de uma bacia hidrográfica ou do tempo, sejam elas de origem antrópica ou natural, e por isso, são consideradas ferramentas estratégicas potenciais para o monitoramento ambiental. O presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico e a avaliação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT no período de seca e de estiagem utilizando índices de qualidade das águas propostos e utilizados por Companhias de saneamento. Para avaliação da qualidade da água foi realizada a caracterização química, física, microbiológica de amostras coletadas no Reservatório da UHE Mauá e à jusante próximo a cidade de Londrina, para o cálculo dos índices de qualidade da água: Índice de Qualidade das Águas - IQA, Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO, Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP, Índice do Estado Trófico - IET, Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática – IPMCA e Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidade Aquáticas – IVA. Em geral, a classificação da qualidade da água pelo IQA variou entre boa e ótima; pelo ISTO, apresentaram-se adequadas para o consumo humano ou para o tratamento convencional ou avançado; pelo IAP resultou entre regular e ótima; pelo IET, como mesotrófico; pelo IPMCA e IVA foi considerada boa. Os resultados dos índices de qualidade da água evidenciaram a importância da utilização de índices específicos para cada uso previsto da água e os mapas de uso e cobertura forneceram subsídios importantes para auxiliar a gestão da bacia hidrográfica do rio Tibagi.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do rio Tibagi; Índice do Estado Trófico; Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e de domínio público, e é elemento essencial à manutenção da vida (BRASIL, 1997). A qualidade da água depende das condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, pedológicas, hidrológicas da bacia de drenagem e está intimamente relacionada ao uso e ocupação da bacia.

Nas últimas décadas, o aumento das cargas poluidoras decorrentes das atividades agrícolas e industriais e do crescimento populacional urbano, tem contribuído para deterioração da qualidade da água dos mananciais de abastecimento, com riscos para saúde, segurança, bem-estar da população, atividades sociais e econômicas, biota e condições estéticas ou sanitárias do ambiente (Lei 6.938/1981).

Os índices de qualidade da água vem sendo ampla e gradualmente empregados pelas companhias de saneamento visando o controle e monitoramento da qualidade das águas, e tem como principais objetivos, agregar, classificar e disponibilizar informações simplificadas sobre as mudanças na qualidade da água ao longo de uma bacia hidrográfica ou do tempo, sejam elas de origem antrópica ou natural, e por isso, são consideradas ferramentas estratégicas potenciais para o monitoramento ambiental.

A bacia hidrográfica do rio Tibagi - BHT possui uma área aproximada de 25 mil km² correspondente a 13% do território do estado e abastece 49 municípios do Paraná. Em 2012 o rio Tibagi foi represado entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá que alterou significativamente a hidrografia da região, gerando o alagamento de uma área de quase dez mil hectares.

Neste contexto, devido a relevância do rio Tibagi como manancial de abastecimento, este trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico e a avaliação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT no período de seca e de estiagem utilizando índices de qualidade das águas propostos e utilizados por Companhias de saneamento

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi - BHT está situada no nordeste do estado do Paraná (

Figura 1) entre os paralelos de 22° 30' e 25° 30' S e 49° 30' e 51° 30' W. O rio Tibagi nasce na Serra de Furnas, entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeiras e deságua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Capivara no Rio Paranapanema, com uma extensão média de 320 km e largura de 78 km. Limita-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, a leste com as bacias dos rios Cinzas e Itararé, a sudeste com a bacia do rio Ribeira, a oeste com a bacia do rio Ivaí, a noroeste com a bacia do rio Pirapó e ao norte com as bacias denominadas Paranapanema II e Paranapanema III (SEMA, 2013).

A BHT está dividida em duas Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos: Alto Tibagi e Baixo Tibagi. A BHT possui uma área aproximada de 25.000 km², correspondente a cerca de 13% do território do estado do Paraná. A área da bacia abrange 49 municípios do estado e uma população de 2,1 milhões de habitantes em 2016. Entre as principais cidades da BHT, destacam-se Londrina, Ponta Grossa, Apucarana, Arapongas e Cambé, que juntas correspondem a 60% da população da BHT (MEDRI et al., 2002; IBGE, 2016).

Em 2008 foi iniciada a construção da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá no Rio Tibagi, entre Telêmaco Borba e Ortigueira, sendo inaugurada em 2012. O represamento da usina alterou significativamente a hidrografia da região, gerando o alagamento de uma área de quase dez mil hectares. Destes, 8010 ha eram propriedades rurais e 40 ha de área urbana (CNEC, 2004).

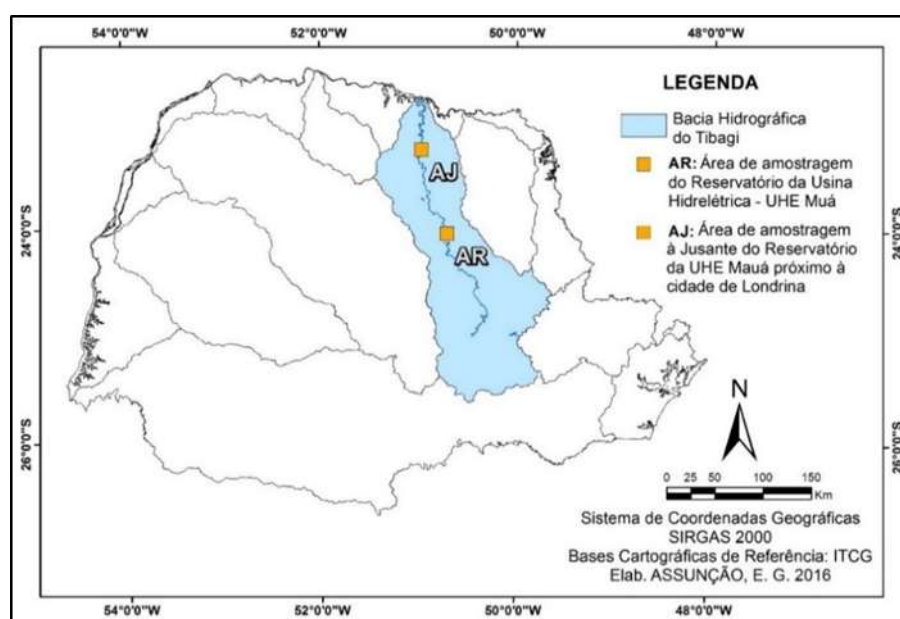
A UHE Mauá é uma usina de médio porte com capacidade de 363 MW, suficiente para atender ao consumo de aproximadamente um milhão de pessoas. A usina é controlada pelo Consórcio Energético Cruzeiro do Sul - CECS, com participação societária de 51% da Copel e 49% da Eletrosul (CECS, 2016).

AMOSTRAGEM

Para a avaliação da qualidade da água foram realizadas 4 campanhas para coleta de dados de campo e de amostras de águas, nos períodos de chuva e de estiagem nos anos de 2015 e 2016 em pontos das áreas de amostragem: Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá – AR (18/12/2015 e 09/08/2016) e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR – AJ (06/03/2015 e 10/08/2016) (

Figura 1).

Figura 1 - Localização das áreas de amostragem



Fonte: os autores

Em campo, utilizou-se um equipamento de Sistema de posicionamento global - GPS (GPS map 76CSx/Garmin), devidamente alimentado com as coordenadas geográficas, para orientação do barco ao local exato de amostragem. Em seguida, anotou-se na folha de campo observações adicionais em

relação à incidência de vento, sol ou chuva, cobertura de nuvens, presença de macrófitas ou qualquer outro possível interferente na análise das amostras de água.

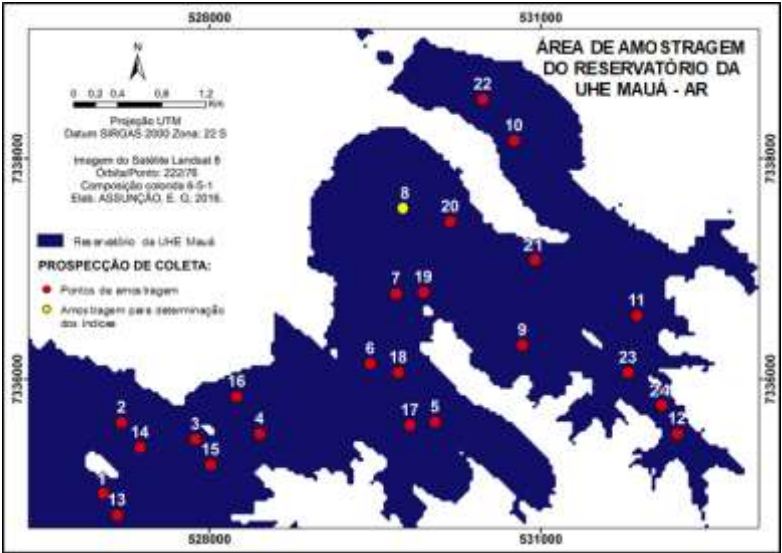
Com o intuito de se obter uma representação mais abrangente da qualidade da água das áreas de amostragem, e não apenas pontual, optou-se por constituir, à cada trabalho de campo, uma amostra “composta” - COMP, contendo 400 mL de amostras coletadas em pontos distribuídos ao longo das áreas de amostragem. Ao total foram coletadas 24 amostras na área AR e 20 amostras na área AJ à profundidade de secchi / 30 cm de profundidade, cujos pontos de coleta são destacados nas Figura 2 e 3, respectivamente.

Além disso, para cada área de amostragem, foram coletadas, à 30 cm de profundidade - Z1, amostras no ponto 8 para a AR e ponto 18 para a AJ, selecionados por estarem localizados mais distante das margens sendo, portanto, menos influenciados por eventuais contaminações (pontual/difusa e/ou natural/antrópica) que pudessem afetar suas representatividades.

De cada ponto foram coletados 3 L, distribuídos em 03 frascos plásticos novos com batoque e tampa roscável e capacidade de 1 L, devidamente rotulados e mantidos sob refrigeração em caixa térmica com gelo rígido até chegada no laboratório para análise.

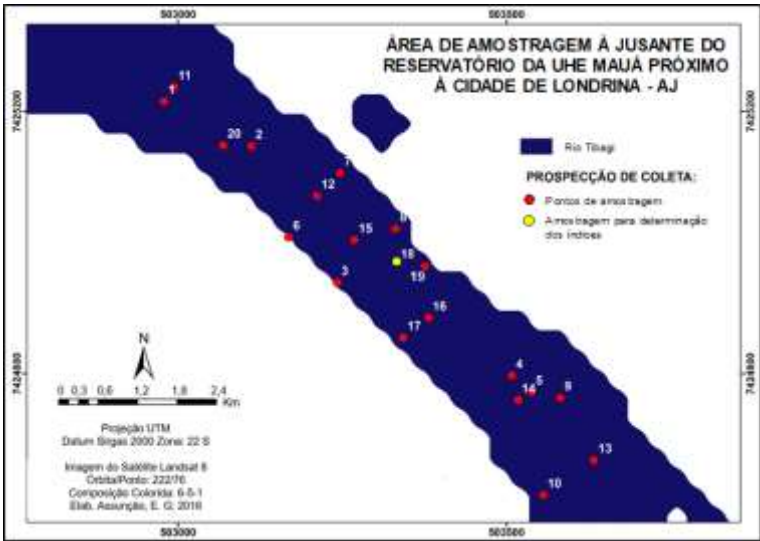
Após a coleta de cada amostra, foram realizadas medições em campo dos parâmetros: pH, temperatura e oxigênio dissolvido – OD. Após chegada ao laboratório, as amostras foram mantidas sob refrigeração a 4° C até o momento de análise, para evitar alterações das características químicas e biológicas das amostras. Os parâmetros DBO, coliformes totais e *Escherichia coli* foram analisados no prazo máximo de 24 horas após a coleta. As análises de qualidade da água foram realizadas de acordo com a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Figura 2 - Localização dos 24 pontos de amostragem e coleta de dados da área AR



Fonte: os autores

Figura 3 - Localização dos 20 pontos de amostragem e coleta de dados da área AJ



Fonte: os autores

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

A determinação dos diferentes índices de qualidade da água foi realizada utilizando as equações apresentadas na Tabela 1 e classificadas de acordo com as Tabelas 2 e 3, baseadas nos resultados dos parâmetros de qualidade.

Tabela 1 – Parâmetros e fórmulas utilizadas para determinação dos índices de qualidade da água

Índices	Parâmetros	Fórmula
---------	------------	---------

IQA	Coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura e turbidez.	$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{wi}$
ISTO	ST: Cádmio total, chumbo total, cromo total, mercúrio total, níquel total, número de células e potencial de formação de trialometanos. SO: Alumínio dissolvido, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês total e zinco total.	$ISTO = ST.SO$
IAP	IQA: Coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura e turbidez. ISTO: Alumínio dissolvido, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total, níquel total, número de células, potencial de formação de trialometanos e zinco total.	$IAP = IQA.ISTO$
IET	Fósforo total – PT e Clorofila <i>a</i> - CL	$IET = \frac{IET (PT) + IET (CL)}{2}$
IPMCA	Variáveis essenciais - VE: Oxigênio dissolvido, pH e toxicidade. Substâncias tóxicas - ST: Cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, níquel total, surfactantes e zinco total.	$IPMCA = VE.ST$
IVA	IPMCA: Cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, níquel total, oxigênio dissolvido, pH, surfactantes, toxicidade e zinco total. IET: Clorofila <i>a</i> e fósforo total.	$IVA = IPMCA.IET$

IQA: Índice de Qualidade das Águas

ISTO: Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

IAP: Índice de qualidade das águas brutas para fins de Abastecimento Público

IET: Índice de Estado Trófico

IPMCA: Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática

IVA: Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas

Fonte: CETESB (2004); CETESB (2014)

Tabela 2 - Classificação dos índices de qualidade da água IQA, IAP, IPMCA e IVA

Categoria	Faixa/ponderação de valores			
	IQA	IAP	IPMCA	IVA
Ótima	80 - 100	$79 < IAP \leq 100$	-	$IVA \leq 2,5$
Boa	52 - 79	$51 < IAP \leq 79$	1	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	37 - 51	$36 < IAP \leq 51$	2	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	20 - 36	$19 < IAP \leq 36$	3 e 4	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	0 - 19	$IAP \leq 19$	≥ 6	$6,8 \leq IVA$

Fonte: CETESB (2004); CETESB (2014)

Tabela 3 - Classificação do Estado trófico

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

Fonte: CETESB (2014)

RESULTADOS

São apresentados na Tabela 4 os resultados dos parâmetros de qualidade e na Tabela 5 os valores obtidos na determinação dos índices de qualidade das águas com as respectivas classificações, para cada área de amostragem, período de coleta e profundidade.

Tabela 4 - Valores dos parâmetros de qualidade das águas

Parâmetros	Chuva				Estiagem			
	AR		AJ		AR		AJ	
	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1
OD (mg L ⁻¹)	8,00 ^(*)	8,16	7,64 ^(*)	7,64	7,73 ^(*)	8,15	9,08 ^(*)	9,00
pH	7,41	7,37	6,54	6,54	6,53	6,60	6,64	6,64
Temperatura (°C)	27,8 ^(*)	27,9	26,3 ^(*)	26,3	19,3 ^(*)	18,5	17,1 ^(*)	17,3
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	61,0	61,0	92,0	83,5	51,2	51,2	102,5	66,9
Turbidez (N.T.U)	13,70	14,45	36,87	31,50	5,24	5,54	7,49	7,93
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	0,8	0,8	1,2	1,2	0,9	1	0,9	1,1
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	0,061	0,052	0,113	0,112	0,027	0,025	0,038	0,050
DBO (mg L ⁻¹)	1,4	1,1	1,2	1,2	1,4	0,7	0,9	0,8
<i>E. coli</i> (NMP 100mL ⁻¹)	2	0	407	372	3	1	226	131
Toxicidade	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	12,8	12,8	5,9	6,4	8,7	5,5	3,2	3,3
Cádmio (µg L ⁻¹)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Chumbo (µg L ⁻¹)	<1,0	<1,0	2,9	2,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Cromo Total (µg L ⁻¹)	1,1	1,5	1,2	1,8	<1,0	<1,0	<1,0	2,1
Níquel (µg L ⁻¹)	97,6	23,5	<1,0	<1,0	64,7	<1,0	<1,0	<1,0
Mercúrio (µg L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0
PFTHM (µg L ⁻¹)	323,1	349,5	340,4	337,5	225,0	275,8	278,6	243,1
Fenóis totais (mg L ⁻¹)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Surfactantes (mg L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Nº Cél (cél mL ⁻¹)	6414	14205	0**	0**	380	0	0	0
Alumínio dissolvido (µg L ⁻¹)	110,0	112,0	91,1	76,6	168,0	192,0	150,0	67,6
Cobre dissolvido (µg L ⁻¹)	2,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Ferro dissolvido (µg L ⁻¹)	25,5	32,4	277,0	186,0	110,0	172,0	223,0	54,0
Manganês (µg L ⁻¹)	7,7	7,3	75,2	82,2	15,2	7,4	26,9	95,3
Zinco (µg L ⁻¹)	67,1	40,9	11,8	12,1	37,6	<1,0	60,2	78,9

LQ: Limite mínimo de Quantificação

Amostra ARCOMP: constituída com amostras pontuais coletadas à profundidade de Secchi;

Amostra AJCOMP: constituída com amostras pontuais coletadas à profundidade Z1 (30 cm da superfície);

(*) Média das amostras pontuais.

** Considerou-se a mesma densidade celular de cianobactérias no período de estiagem (Nº Cél = 0 cél mL⁻¹) pois trata-se da estação mais propensa a sua ocorrência e não foi possível viabilizar a análise deste parâmetro.

Além disso, valores inferiores ou iguais a 20.000 cél mL⁻¹ não alteraria a taxação para o cálculo do ISTO.

Observa-se na Tabela 4 que para ambas áreas de amostragem, não houve diferenças substanciais para as águas coletadas em diferentes profundidades (COMP e Z1). No entanto, as amostras coletadas no período de chuva apresentaram valores, para a maioria dos parâmetros, incrementados ou muito próximos às amostras coletadas no período de estiagem. Os menores valores de clorofila obtidos nas

amostras do período de estiagem podem ser explicados pela baixa temperatura ocorrida nas coletas, uma vez que temperaturas mais amenas, pode inibir o crescimento e proliferação de microrganismos fotossintetizantes.

Tabela 5 - Valores e classificação dos índices de qualidade das águas

Índices	Chuva				Estiagem			
	AR		AJ		AR		AJ	
	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1
IQA	88	90	69	70	88	91	77	78
ISTO	0,50	0,62	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00
IAP	44	55	69	70	44	91	77	78
IET	59	59	59	59	56	55	54	56
IPMCA	1	1	1	1	1	1	1	1
IVA	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Classificação

IQA: [] ótima (80-100) [] boa (52-79)

IAP: [] ótima (80-100) [] boa (52-79) [] regular (37-51)

IET: [] mesotrófico (53 a 59)

IPMCA: [] boa (1)

IVA: [] boa (2,9 e 3,2)

De acordo com os resultados obtidos para as duas áreas de amostragem, pode-se constatar que, independentemente do período de coleta, a água da área AJ apresentou qualidade inferior em relação à água da área AR, decorrente das possíveis interferências causadas por atividade antrópicas. Os valores mais elevados de OD para a água coletada no período de estiagem da área AJ devem-se provavelmente à menor temperatura na ocasião e aos efeitos de turbulência devido ao fluxo.

Comparando-se os resultados da Tabela 4 com os valores limites de enquadramento para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005, pode-se observar que apenas os parâmetros fósforo total, alumínio e níquel não atenderam aos limites estabelecidos pela referida resolução. Ressalta-se que as concentrações de fósforo total das amostras resultaram superiores aos valores limites prescritos (de 0,05 e de 0,1 mg L⁻¹ para ambientes semi-lêntico e lótico, respectivamente) no período chuvoso para ambas as áreas de amostragem. Assim, apesar do efeito de diluição do corpo hídrico, o carreamento/lixiviação, possivelmente associados ao uso inadequado de fertilizantes na agricultura, parece ter contribuído de forma mais expressiva para a poluição em relação a este parâmetro.

Analisando os valores obtidos pelo cálculo do Índice de Qualidade das Águas - IQA, é possível constatar que diferentemente do ocorrido na área de amostragem AJ, o ambiente semi-lêntico da AR atenuou os efeitos da precipitação, resultando em valores semelhantes para ambos períodos de coleta, de 88

e 90 (ótima) para o período de chuva e de 88 e 91 (ótima) para o de estiagem. Já para a área de amostragem AJ, apesar de terem apresentada a mesma classificação, os valores de IQA foram bem distintos para os dois períodos de coleta e resultaram em 69 e 70 (boa) para o período de chuva e 77 e 78 (boa) para o de estiagem. Este fato pode indicar a necessidade de se aumentar a área de mata ciliar na margem do rio como medida de proteção e controle da qualidade da água.

Ferreira (2009) avaliou a qualidade da água do rio Tibagi e alguns tributários entre os anos de 1987 a 2007 utilizando dados históricos de 11 estações fluviométricas instaladas na BHT. Nos anos analisados, o IQA resultou em valores variando entre 47 e 89 (1987) e nos últimos anos de monitoramento (2001 e 2007) teve a qualidade das águas mantidas ou melhoradas, resultando em valores finais de IQA entre 51 e 89 (2007) correspondentes à classificação entre ruim e boa.

Para determinação do Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas -ISTO, verificou-se que apenas o parâmetro níquel do grupo das substâncias tóxicas contribuiu para a redução do índice, especialmente para as amostras da área de amostragem AR. No entanto, a profundidade de coleta também influenciou negativamente no cálculo do ISTO, uma vez que mesmo no período de estiagem, a amostra AR_{COMP} (coletada em profundidades superiores a 30 cm) apresentou concentração de níquel igual a 64,7 $\mu\text{g L}^{-1}$ no período de estiagem e 97,6 $\mu\text{g L}^{-1}$ no período chuvoso (superiores ao Limite Superior - LS de 25 $\mu\text{g L}^{-1}$), conferindo para o ISTO o valor de 0,50.

Os valores resultantes do cálculo do ISTO para a área de amostragem AR variaram entre 0,50 e 1,00, tendo resultado para as amostras da AR_{COMP} e AR_{Z1} em 0,50 e 0,62 para as amostras coletadas no período chuvoso, e em 0,50 e 1,00 para as amostras coletadas no período de estiagem, respectivamente. Já para a área de amostragem AJ todas as amostras apresentaram valor máximo igual a 1,00.

Vale considerar que as amostras da área de amostragem AR coletadas no período de chuva e no período de estiagem apresentaram classificação ótima para o IQA com valores de 88 a 91. No entanto, 3 das 4 amostras apresentaram valores de ISTO entre 0,50 e 0,62 devido às elevadas concentrações de níquel, ultrapassando o valor limite da Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de classe 2, indicando a necessidade de tratamento complementar ao ciclo completo para produção de águas para abastecimento. Esta divergência deve-se à limitação dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA, que refletem originalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos.

Em função dos valores de ISTO e da nota do IQA foi realizada a determinação do IAP que variaram entre 44 e 91 (classificação entre regular e ótima) para as amostras coletadas da área de amostragem AR e entre 69 e 78 (classificação entre boa e ótima) para as amostras coletadas na área AJ.

Assim, apesar do IQA ser o índice mais utilizado no Brasil para avaliar a qualidade da água, o Índice de qualidade das águas brutas para fins de Abastecimento Público - IAP mostrou ser um índice mais abrangente e adequado para avaliar a qualidade da água bruta para fins de abastecimento público, por considerar compostos específicos com efeito potencial nocivo para a saúde pública, comprovando a importância e necessidade de uma avaliação mais específica da qualidade de águas de sistemas aquáticos destinados ao abastecimento.

O Índice de Estado Trófico - IET classifica os corpos d'água em relação à disponibilidade de nutrientes correlacionada à concentração de fósforo, e em relação à densidade de organismos autotróficos correlacionada à concentração de clorofila a.

Independentemente do período, bem como da profundidade de coleta, os valores de IET para as águas da AR variaram entre 55 e 59, o que correspondeu ao estado mesotrófico. De forma similar, as amostras coletadas na AJ apresentaram valores de IET variando entre 54 e 59, sendo também classificado como mesotrófico.

É importante ressaltar que o aumento da carga de nutrientes no corpo hídrico pode provocar o crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas, acarretando a mortandade de peixes, floração de algas potencialmente tóxicas entre outras mudanças que comprometem a utilização do manancial para diversos fins, incluindo o de abastecimento público.

Prado e Novo (2007), avaliaram a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita entre os anos de 1990 e 2002 utilizando o Índice de Estado Trófico - IET. No ano de 1990 o reservatório apresentou classificação mesotrófica e em 2002 oligotrófica, demonstraram um incremento expressivo do nível trófico da água ao longo dos anos. Considerando que a qualidade da água na área de amostragem AR apresenta classificação mesotrófica com valores próximos ao limite superior da faixa de classificação do índice podendo com pequenas variações ser alterada para eutrófico, há necessidade de se monitorar e investigar as possíveis causas do incremento dos parâmetros clorofila-a e fósforo total a fim de controlar/reduzir as concentrações desses parâmetros no ambiente aquático.

Para determinação do Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática – IPMCA, verificou-se que todas as amostras obtiveram nota máxima para as variáveis essenciais – VE e

substâncias tóxicas - ST. Entre os parâmetros analisados apenas as amostras da área de amostragem AR coletadas no período de chuva apresentaram valores de ponderação do parâmetro níquel (Ponderação 2) superiores que os demais do grupo das substâncias tóxicas. No entanto, este fato não influenciou a nota do índice.

De modo geral, a profundidade e período de coleta não influenciaram no cálculo do IPMCA. As notas do IPMCA apresentaram nota máxima (igual a 1,00) para ambas as amostras, sendo classificadas como boa.

Moreno et al. (2014), monitoraram da qualidade da água bruta dos reservatórios do sistema da Cantareira – SP entre maio e agosto de 2014 em 6 pontos de coleta utilizando o IAP e o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas - IVA. No estudo observaram que no período analisado, o IAP obteve notas variando entre 55 e 91 e classificações entre boa e ótima, já o IVA variou entre 1,7 e 5,6 com classificações entre ruim e ótima.

Neste trabalho, apesar da variação dos valores de IET, as notas do IVA não apresentaram variações resultando em valores igual a 3,2 (boa) para todas as áreas de amostragem, período e profundidade de coleta.

CONCLUSÕES

Para as condições do estudo e resultados obtidos nesse trabalho pode-se concluir que:

- A qualidade da água avaliada pelos diferentes índices utilizados neste trabalho resultou em classificações distintas, confirmando a importância da utilização de índices específicos para os usos desejados;
- De forma geral, a variação da profundidade de coleta bem como da composição da amostra influenciou na qualidade da água tendo a amostragem com coleta pontual a 30 cm de profundidade resultado em índices de qualidade mais elevados;
- Com exceção do fósforo total, alumínio dissolvido e níquel total, todas as amostras, independentemente da área de amostragem e período de coleta, atenderam aos valores limites de enquadramento para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. Standards Methods for the Examination of Water e Wastewater, 22º ed. Washington. D.C., 2012.

BRASIL. Lei nº 6.938, 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2004.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013. Apêndice C - Índices de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB 2014.

CECS - Consultório energetico cruzeiro do sul. Á Usina. 2016. Disponível em: <<http://www.consorcio Cruzeiro do Sul.com.br/a-usina>> Acesso em: 17 jul. 2016.

CNEC. Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE Mauá - EIA / RIMA. 2004.

FERREIRA, J. H. D. (2009) Relação entre a qualidade da água e a transformação o uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 Ago. 2016.

MEDRI et al., A bacia do rio Tibagi. Londrina, PR: M. E. Medri, 2002.

MORENO, F. N., RUIZ, B. D., MIDAGLIA, C. L. V., MENEGÓN JR. N. Monitoramento da qualidade da água bruta do Sistema Cantareira. In: CONGRESSO RESAG ENQUALAB, 2014.

PRADO, R. B., NOVO, E. M. L. M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. Sociedade & Natureza. v 19. p 5 - 18. 2007.

SEMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Bacias Hidrográficas do Paraná. 2ª ed., v. 1, Curitiba, 2013.

FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

VOLUME IV



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE