

INOVAÇÃO EM FOCO

Dos Desafios às
Oportunidades

Coletânea Científica da Cagece

Companhia de Água e Esgoto do Ceará



INOVAÇÃO EM FOCO

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-presidente

Neuri Freitas

Diretor Financeiro e de Relações com Investidores

Dario Perini

Diretora de Mercado e Unidade de Negócio da Capital

Claudia Caixeta

Diretor de Unidade de Negócio do Interior

Carlos Emanuel Brito Salmito

Diretor de Engenharia

José Carlos Asfor

Diretor de Operações

Rogério Leite

Diretor de Gestão Corporativa

José Leite Gonçalves Cruz

Diretor de Gestão de Parcerias

Luciano de Arruda Coelho Filho

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

Carlos Emanuel Brito Salmito

Neuri Freitas

Ricardo Eleutério Rocha

Janderson Lourenço Muniz Braga

Renata Moraes Duarte

CONSELHO FISCAL

Titulares

Sandro Camilo Carvalho

Francisco das Chagas Cipriano Vieira

Raquel Lopes de Sousa

Gioconda Vieira Bretas

Francisco de Castro Menezes Júnior

Suplentes

Sabrine Gondim Lima

Gustavo de Alencar Vicentino

Francisco José Moura Cavalcante

COMITÊ DE AUDITORIA ESTATUTÁRIO

Clara Germana Campos Gonçalves Torquato

Lilia Palmeira Pinheiro

Christiane Leitão

GERÊNCIA DE COMUNICAÇÃO

Gerente

Tatiana Brígido

Comunicação Interna

Catarina Varela, Rayssa da Costa, Eva Silva e Melina Pinto

Estagiária: Laura Diógenes e Eduarda Barroso

Comunicação Estratégica e Relacionamento com Mídia Externa

Jilwesley Almeida, Janayde Gonçalves, Gabriel Lobo,

Yanne Vieira e Zaira Umbelina

Digital

Marina Gomes, Érica Bandeira e Lérica Freire,

Kalinda Gurgel

Projetos Especiais de Comunicação

Ciro Câmara

Publicidade

Leandro Bayma, Ryan Sales, Lilian Pinheiro,

Alan Gomes

Fotografia

Rayane Mainara

Produção Audiovisual

Lucas Sousa e Luis Guilherme

Administrativo

Ana Carla Oliveira

REVISTA INOVAÇÃO EM FOCO

Coordenação editorial

Cailiny Medeiros

Edição

Cailiny Medeiros

Revisão

Cailiny Medeiros, Thiago Dantas,

Thalisson Ponciano e Keyle Freitas

Textos

Cailiny Medeiros e Thiago Dantas

Projeto Gráfico e Diagramação

Ryan Sales

Revista Cagece é uma publicação da Companhia de Água e Esgoto de Ceará – Cagece

Av. Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030 – Vila União – CEP: 60.422-901 – Fortaleza – CE

Distribuição Gratuita. Venda Proibida.



Acesse o site
www.cagece.com.br



Siga no Instagram
[@oficialcagece](https://www.instagram.com/oficialcagece)



Curta no Facebook
[@cageceoficial](https://www.facebook.com/cageceoficial)



Siga no TikTok
[@oficialcagece](https://www.tiktok.com/@oficialcagece)



Siga no LinkedIn
[Cagece](https://www.linkedin.com/company/cagece)

EDITORIAL



EDITORIAL

Editorial

Converter desafios em oportunidades é o eixo que direciona a inovação em nossa empresa. Em nossa atuação, a Geped busca contribuir para o fortalecimento da competitividade e da sustentabilidade, fazendo com que suas atribuições e seus processos tornem tangíveis os conceitos de pesquisa, desenvolvimento e inovação para todos.

Nesta 3ª edição da Revista Inovação em Foco, que integra o IV Fórum Inovação em Foco, continuamos a buscar o fortalecimento da participação de nossos colaboradores, com suas valiosas contribuições para a cultura e a gestão do conhecimento da empresa. Além disso, apresentamos entrevistas com nomes relevantes da academia e dos importantes projetos em condução.

Sobre o fórum deste ano, reunimos profissionais de diversas companhias, instituições de pesquisa e universidades, além de nossos colaboradores e parceiros, em um ambiente de colaboração. A programação reflete a amplitude de nossas discussões, com debates que vão do financiamento verde à gestão proativa da seca, passando por programas estratégicos como o Inovação Aberta SanUp e o Pense Aí, e trazendo os cases de inovação disseminada na empresa, por meio de seus representantes. É neste contexto de troca de conhecimento que esta revista se insere, servindo como uma base consolidada para os diálogos que teremos.

Ao longo desta edição, o leitor encontrará entrevistas que traçam um panorama atual da inovação. Os professores Ticiane Studart e Francisco de Assis (Cientista-Chefe de Recursos Hídricos), ambos da Universidade Federal do Ceará (UFC), detalham as estratégias de resiliência hídrica do projeto da Gestão Proativa da Seca. Uma visão global sobre inovação é oferecida pelo Prof. Luwelton Agostinho, da Water Campus (Holanda), enquanto o Professor Samuel Câmara (Cientista-Chefe de Inovação da Universidade Estadual do Ceará) aborda a aplicação das ICTs como ferramentas de transformação no ecossistema em que atuamos.

O núcleo da revista é formado por quatorze resumos de artigos desenvolvidos por colaboradores da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Estes trabalhos apresentam resultados concretos e aplicáveis, demonstrando como o conhecimento é construído a partir da experiência associada à pesquisa científica. Cada resumo aqui disponibilizado, traz a referência do artigo original completo, cujo teor completo pode ser acessado.

Convidamos todos à leitura e à participação ativa nos debates do Fórum, para que, juntos, possamos continuar construindo o futuro do setor.

Um agradecimento especial a todos que contribuíram para esta nova edição da Revista e do Fórum!

Cailiny Medeiros

Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e
Inovação – Cagece

Sumário

8

Entrevista - Luewton L. F. Agostinho

Professor de Tecnologias da Água da Universidade Holandesa de Ciências Aplicadas NHL Stenden

14

Análise de Desempenho do Uso de Tecnologia Eletrolítica no Tratamento de Efluentes Domésticos: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Ana Quézia Avelino de Queiroz; Gabriele da Silva Aguiar Maciel; Bernardo de Lima Melo; Larissa Barbosa Alves; Reinaldo Fontes Cavalcante.

18

Avaliação Interlaboratorial de Parâmetros Físico-Químicos em Água Tratada: Turbidez, pH, Cloro Residual Livre e Cor Aparente

Antonio Ribeiro Alves Jr.; Milena Pereira de Oliveira

23

Modelo Neural NARX Aplicado à Inferência dos Sinais de Controle de Dosagem de Coagulantes Principal e Auxiliar no Processo de Tratamento de Água por Filtração Direta

Leonardo da Silva Gomes; Francisco Alexandre A. Souza; Ricardo Silva Thé Pontes; Rui Alexandre M. Araújo

28

Programa Elipse-Scada e sua Contribuição para a Operação de Limpeza de Filtros de Estações de Tratamento de Água

José Germano Moraes; Erivaldo Pereira Lima Júnior; Samuel dos Santos Coutinho

32

Variação Sazonal do Índice de Estado Trófico no Açude Gavião, no Município de Pacatuba-CE

Francisca Naiane da Silva Rocha

36

Entrevista - Francisco de Assis de Sousa Filho e Ticiane Marinho de Carvalho Studart

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC)

42

Desenvolvimento de Citros Utilizando Composto Orgânico de Lodo de Estação de Tratamento de Água

Rafael Santiago da Costa; Cristiano Dantas Araújo; Cailiny Darley de Menezes Medeiros; Fabrício Nunes de Araújo; Claudiane Quaresma Pinto Bezerra

46

Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Monitoramento de Índices Ambientais

Anna Patrícia de Lima; Heraldo Antunes Silva Filho; Antônio Vinícius da Silva Sousa; Jarbas Rodrigues Chaves

50

Estudo de Desempenho de Compósitos de Lignina Extraída do Bagaço de Caju (Anarcadium Occidentale L) como Material Adsorvente de Corante Sintético Industrial

Francisco Edirlan de Sousa Freitas; Maria Valderez Ponto Rocha

54

Manejo de Resíduos Sólidos Gerados na Casa de Química de uma Estação de Tratamento de Água na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará

Francisca Naiane da Silva Rocha; Maria Regiane Araújo Cavalcante

58

Sustentabilidade na Construção: Aproveitamento do Lodo de Estação de Tratamento de Água na Produção de Tijolos Ecológicos

Cleyton Oliveira da Silva; Davi Fernandes Tomé

66 Canteiro de Obras Rurais: Edificação Projetada para se tornar Sede de Associação Comunitária no Contexto do Programa Água do Sertão

Cyntia Pereira; Antonio Negreiros; Flávia Mendes; Francisco Aragão; Patrícia Kelry.

69 Gestão do Atendimento ao Grande Cliente - Um Case de Sucesso em Companhia de Saneamento

Flávia Cristina da Silva Sousa Taleires; Luana Acário Braga Gaspar.

74 Identificação de Conluio em Licitações Públicas com Base no Algoritmo Graphsage

Marcos Leno Ferreira Pompeu; Raimir Holanda Filho

79 Possíveis falhas na correção do fator de potência, e geração de harmônicas após instalação de Inversor de Frequência

João Alves dos Santos Neto

84 Entrevista - Samuel Façanha Câmara

Cientista Chefe de Inovação do Governo do Ceará, o professor-associado da Universidade Estadual do Ceará (UECE),





INOVAÇÃO · INOVAÇÃO · INOVAÇÃO · INOVAÇÃO · INOVAÇÃO

Avanços da Cagece na linha do desenvolvimento em pesquisa e inovação impulsionada pelo Water Campus

Luewton L. F. Agostinho, professor de Tecnologias da Água da Universidade Holandesa de Ciências Aplicadas NHL Stenden. Ele é o coordenador do SmartBrine, estudo em fase de desenvolvimento, realizado por meio de parceria entre a Cagece, a NHL Stenden e a Haskoning, empresa holandesa de engenharia. Em sua entrevista para a Revista Cagece em Foco, Luewton explica como funciona a parceria entre instituições, academia e provedores de soluções, na implementação de novas tecnologias. Ele fala ainda sobre conexão Cagece e o Water Campus, na Alemanha.

Revista Inovação em Foco: O que é o Water Campus e qual seu objetivo principal?

Luewton Agostinho: O Water Campus é um conglomerado de diferentes empresas, universidades, instituições públicas, companhias de água e esgoto, provedores tecnológicos e startups. Então é um conjunto de diferentes instituições que trabalham com desenvolvimento e implementação de novas tecnologias para tratamento de água e

esgoto. O objetivo principal do Water Campus é impulsionar e acelerar a linha de desenvolvimento tecnológico. Em resumo, encurtar o tempo total necessário do momento que se tem uma ideia, até o momento que essa ideia vira um produto nesse universo de tratamento de água e esgoto (que na Holanda denomina-se Water Technology), o que hoje demora mais ou menos entre 15 e 20 anos.

Revista: Como a instituição tem impulsionado a inovação no setor de saneamento?

LA: Bom, o fato de se ter todos esses parceiros no mesmo local, acelera bastante a produção tecnológica, porque fica mais fácil encontrar parceiros específicos para objetivos específicos, uma vez que as ações são descentralizadas. É muito comum, por exemplo, que a universidade assuma o papel de criador tecnológico e usuário final. A universidade às vezes quer também trabalhar com business. Cada uma dessas etapas exige uma gama de conhecimentos diferentes. Então, quando a sua tecnologia já está um pouquinho mais velha, já foi testada em escala real, o desafio se resume

em como encontrar clientes e como instalar as primeiras unidades. E esse desafio ele tem muito mais a ver com business, com negócio do que com conhecimentos específicos de engenharia. E repito: quando isso é feito dentro de uma empresa ou de uma Utilities, como é a Cagece, ou dentro da própria academia, vai estar sempre precisando de um parceiro. Existem vários exemplos de universidades que conseguiram sozinhas implementar tecnologias, inclusive, nessa etapa de criação, pilotagem, escala real, de implementação de mercado e tudo, mas é claramente menos eficiente, portanto, mais lento. Então, como impulsionar? Colocando parceiros certos para as etapas certas do desenvolvimento tecnológico, que tem várias fases. A fase 1, que é a de escala de bancada, a fase 2, pilotagem, a fase 3, escala real e a fase 4, implementação de mercado.

Revista: Quais são as perspectivas futuras do Water Campus em relação ao desenvolvimento de soluções tecnológicas, a exemplo do SmartBrine para a Cagece?

LA: Hoje a conexão com a Cagece está bem forte, bem estabelecida. Posso dizer com toda segurança, nessa parte intermediária do Water Campus, que é a parte de ciências aplicadas, já temos um projeto em curso, e outro projeto sendo estruturado que abrangerá várias outras ideias que queremos ajudar a empresa a implementar no decorrer dos próximos anos. A intenção para os próximos anos é solidificar ainda mais essa parte de ciências aplicadas, formar um acordo de parceria de pelo menos 4 anos entre a Cagece e o Water Campos para que possamos garantir uma continuidade dessas ações. Não somente implementação tecnológica ou na busca de soluções tecnológicas que possam ajudar a Cagece resolver problemas locais, mas também na formação de profissionais. Nós estamos estruturando cursos para profissionais da Cagece e também no intercâmbio de profissionais e alunos entre o Water Campos e a Cagece. Numa visão mais futurista, também estamos trabalhando para conectar a Cagece

com outros dois blocos do Water Campus, que é a Wetsus e a Water Alliance. A Wetsus, é uma estrutura mais voltada a novas ideias. Atualmente algumas discussões estão sendo estruturadas para definir quais são as áreas dentro deste spectrum de "novas ideias" que são interessantes para Cagece. Após esta definição serão analisadas possíveis formas de colaboração. Com relação a Water Alliance, a intenção é avaliar possibilidades de tornar a Cagece um membro da Water Alliance. A intenção com esta ação é inserir a Cagece na lista de empresas que participam deste parceiro do Water Campus o que trará mais visibilidade mercadológica para a empresa, colocando-a no radar de provedores tecnológicos que oferecem soluções dentro do Water Campus. Todas essas ideias, todos esses passos já estão sendo discutidos com a direção da Cagece com o intuito de, nos próximos anos, concretizar essas outras parcerias.

Revista: De que forma o programa promove a colaboração entre universidades, empresas e governos para desenvolver soluções inovadoras?

LA: Bem, a primeira estratégia é colocar todo mundo no mesmo espaço geográfico, é tentar reunir esses parceiros no mesmo local, ou seja, é promover o debate, é promover uma comunicação mais fácil, é promover o diálogo entre esses parceiros. Existem várias maneiras, várias estratégias que a gente tem que trabalhar no outro campo para isso. Nós organizamos reuniões trimestrais onde tanto a empresa,





quanto a academia, quanto o instituto de pesquisa, o poder público, todo mundo está na mesma mesa discutindo ali o desenvolvimento de uma tecnologia X Y Z. Tem também uma discussão multilateral com várias organizações. Nós temos embaixadores que discutem com organizações estaduais, nacionais e europeias para fomentar a estruturação de subsídios. Os subsídios são muito importantes no desenvolvimento tecnológico pois diminuem o encargo financeiro das empresas, portanto o risco, adequam a linha de desenvolvimento tecnológico de acordo com a estratégia pública, e possibilitam a participação do estado. O desenvolvimento tecnológico é caro, ele tem um risco muito grande. Para se ter uma ideia, a média de sucesso é de 10%. Ou seja, para cada dez ideias novas, só uma ideia eventualmente vira um negócio de sucesso. E isso representa o quê? Um risco muito alto. Então não se pode entregar esse risco somente para as empresas. Não se pode entregar esse risco somente para a academia. Não se pode entregar esse risco somente para o estado. Esse risco, e portanto seus custos, precisam ser compartilhados. Dividir os recursos e os custos, torna o desenvolvimento mais fácil e portanto mais tangível para todos.

Outra coisa importante, é que existe também uma certa obrigatoriedade nas participações. Por exemplo, não se pode iniciar um projeto se não tiver pelo menos uma empresa envolvida, uma academia, e um poder público. Então, se cria uma estrutura onde se permite ou se impulsiona e se força a participação de todos esses parceiros num projeto único para que se garanta essas contribuições dos parceiros certos nas etapas certas.

Revista: Quais são as principais soluções tecnológicas que surgiram ou foram aprimoradas por meio do Water Campus, no último ano?

LA: A intenção da Wetsus e dessa arte específica do Water Campos é trabalhar com ideias fora da caixa, disruptivas mesmo, propostas que realmente vão mudar a maneira com a qual trabalhamos hoje com tratamento de água e esgoto. Para fomentar a implementação destas novas ideias a Wetsus criou vários "temas", onde parceiros privados, acadêmicos e públicos se reúnem periodicamente e trabalham em soluções dentro de um mesmo escopo. Alguns exemplos destes temas são: "recuperação de produtos" (resource recovery), águas subterrâneas, novos sensores, física aplicada ao tratamento de efluentes, etc. Algumas ideias que surgiram do trabalho desenvolvido pela Wetsus são: recuperação de celulose do esgoto para ajudar na

e as suas aptidões técnicas e científicas e aptidões de business. E aí, eventualmente, quando se identifica um candidato que tem aptidão de business e científica, discute-se a possibilidade da formação de uma nova empresa e se essa empresa realmente é formada, ela pode ser incubada dentro do próprio Water Campus, onde a mesma receberá suporte para se tornar uma empresa madura. Então, e nós temos também profissionais dentro da Water Alliance que trabalham não somente em suportar startups que são originadas dentro do Water Campus, mas também, oferecer um espaço para startups que já existem que queiram se inserir nessa área de, é, tratamento de água e esgoto.

Revista: Quais desafios específicos o Water Campus ajuda a superar na implementação de novas tecnologias em diferentes países?

LA: Cada país tem uma demanda, cada demanda, quase sempre, exige uma nova tecnologia ou pelo menos uma adaptação tecnológica. Dentro do Water Campus, o nosso grupo (NHL Stenden) trabalha muito especificamente com o Brasil. Todavia existem outros grupos focados em outros países, como os Estados Unidos, Espanha, França, Portugal, Alemanha, Suécia. Existem também várias atividades na África, na Namíbia, em Moçambique, no Quênia e outros.

Revista: Quais oportunidades o Water Campus oferece para startups e projetos inovadores no setor de saneamento?

LA: As startups são uma parte essencial do Water Campus. No início, todas as ideias trabalhadas dentro da Wetsus são somente promessas, que podem ou não virar um produto. Se as pesquisas desenvolvidas nesta fase inicial provarem que esta iniciativa é viável, é necessário encontrar desbravadores que tenham o interesse de transformar essa ideia em uma empresa, que é exatamente a startup. Dentro do Water Campus temos portanto uma incubadora que é também administrada pela Water Alliance, mesma organização que suporta a fase mercadológica do desenvolvimento tecnológico. Essa incubadora dá suporte de empreendedorismo, contábil e treinamento para os nossos doutorandos (mas também para outros jovens empreendedores) que querem criar novos negócios das ideias semeadas dentro e fora do Water Campus. Ministra-se cursos de empreendedorismo regularmente com o intuito de identificar quais pesquisadores também tem, junto as suas qualidades



água & esgoto





Análise de Desempenho do Uso de Tecnologia Eletrolítica no Tratamento de Efluentes Domésticos: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Ana Quêzia Avelino de Queiroz; Gabriele da Silva Aguiar Maciel; Bernardo de Lima Melo; Larissa Barbosa Alves; Reinaldo Fontes Cavalcante.

Avaliação Interlaboratorial de Parâmetros Físico-Químicos em Água Tratada: Turbidez, pH, Cloro Residual Livre e Cor Aparente

Antonio Ribeiro Alves Jr.; Milena Pereira de Oliveira

Modelo Neural NARX Aplicado à Inferência dos Sinais de Controle de Dosagem de Coagulantes Principal e Auxiliar no Processo de Tratamento de Água por Filtração Direta

Leonardo da Silva Gomes; Francisco Alexandre A. Souza; Ricardo Silva Thé Pontes; Rui Alexandre M. Araújo

Programa Elipse-Scada e sua Contribuição para a Operação de Limpeza de Filtros de Estações de Tratamento de Água

José Germano Moraes; Erivaldo Pereira Lima Júnior; Samuel dos Santos Coutinho

Variação Sazonal do índice de Estado Trófico no Açude Gavião, no Município de Pacatuba-CE

Francisca Naiane da Silva Rocha

Inovação em Foco III

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece





ANÁLISE DE DESEMPENHO DO USO DE TECNOLOGIA ELETROLÍTICA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA



DE QUEIROZ, Ana Quézia Avelino (1); MACIEL, Gabriele da Silva Aguiar (2); MELO, Bernardo de Lima (3); ALVES, Larissa Barbosa (4); CAVALCANTE, Reinaldo Fontes (5).

1. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária/Engenharia Ambiental e Sanitária – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Quixadá.
2. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária/Engenharia Ambiental e Sanitária – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Quixadá.
3. Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária/Engenharia Ambiental e Sanitária – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Quixadá.
4. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária/Engenharia Ambiental e Sanitária – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Quixadá. Estagiária Supervisão de Produção – CAGECE.
5. Doutor em Engenharia Civil – UFC. Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental – IFCE. Graduação em tecnologia em gestão ambiental

Resumo

A necessidade de minimização dos impactos ambientais causados pelo lançamento de efluentes sem tratamento em uma região imprópria se caracteriza como um dos principais desafios ambientais no século XXI. Neste cenário, é preciso desenvolver e aperfeiçoar novas tecnologias que possibilitem a diminuição do poder poluente, agregado a um baixo custo. A Eletrocoagulação (EC) pode ser utilizada como um meio de tratamento de efluentes domésticos, já que possuem a capacidade de degradar, seja parcialmente ou totalmente, as moléculas que não podem ser degradadas de forma natural, por obter a capacidade de eliminar vários poluentes, incluindo patógenos, compostos orgânicos e metais traços. Diante disso, este trabalho possui o objetivo de realizar uma breve revisão bibliográfica, analisando o método de tecnologia eletrolítica, com base em artigos científicos relacionados à temática. Como resultado, foi possível compreender que a tecnologia da eletrocoagulação possui um desempenho positivo, podendo ser utilizada nos processos das águas residuais sem causar impactos no meio ambiente devido à falta de adição dos coagulantes químicos.

Palavras-chave: Eletrocoagulação, Águas Residuais, Tratamento de Águas.

Este texto é um resumo do artigo 'Análise De Desempenho Do Uso De Tecnologia Eletrolítica No Tratamento De Efluentes Domésticos: Uma Revisão Sistemática Da Literatura' de Queiroz, A. Q. A. et al, publicado em 2024, disponibilizado na Revista Semiárido De Visu, DOI 10.31416/rsdv.v12i3.952.

Metodologia

O estudo foi dividido em duas fases que definem o método da revisão sistemática: Pesquisa na base de dados e a Análise sistemática.

Pesquisa na base de dados

As buscas foram conduzidas utilizando o banco de dados do ScienceDirect, e utilizando critérios de inclusão e exclusão, conforme adotado por Mousavi-zadeh et al., (2021) e ilustrado na Figura 1. As pesquisas foram realizadas em janeiro de 2024, usando os operadores lógicos: ALL = ("Electrocoagulation" OR "Electrolytic technology") AND ALL = ("Domestic effluents"). Na primeira etapa foram realizadas as buscas no site do ScienceDirect, selecionada por ser reconhecida como uma plataforma de grande abrangência científica, com o banco de dados extensivo, a pesquisa iniciou-se sem restrições, assim podendo analisar o tema abrangendo todas as áreas, para verificar o uso da EC ao longo do tempo, como nos estudos.

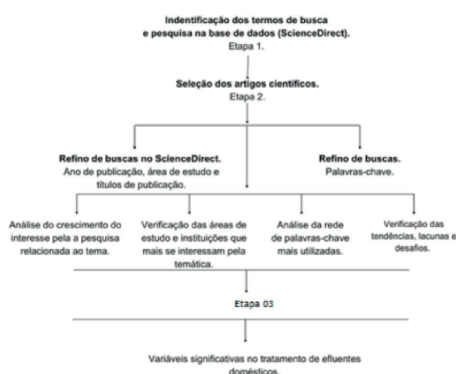


Fig. 1 – Etapas metodológicas.¹

Na segunda etapa foram levados em consideração os artigos com resultados e dados experimentais, escritos nos últimos cinco anos, e excluídas publicações em conferências e livros. Na terceira etapa, os artigos elegíveis nas etapas anteriores, foram submetidos ao critério de análise de variáveis significativas para o tratamento de efluentes no Brasil como Turbidez, Coliformes termotolerantes e remoção de Matéria Orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Análise sistemática

Após o processo de seleção e busca as publicações selecionadas foram compiladas em seus principais resultados sobre o desempenho da tecnologia

eletrolítica no tratamento de efluentes domésticos junto as variáveis operacionais dos reatores e eficiência na remoção das variáveis ambientais Turbidez, Coliformes termotolerantes e remoção de Matéria Orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Resultados e discussão

A busca por publicações sobre processos eletrolíticos resultou inicialmente em 1.230 trabalhos. Após a aplicação dos critérios de exclusão (artigos dos últimos 5 anos), restaram 25 produções, sendo 9 selecionadas por apresentarem resultados sobre o desempenho da eletrocoagulação na remoção de coliformes termotolerantes, turbidez e matéria orgânica. Os artigos selecionados são de 5 países (Brasil, Irã, Turquia, Reino Unido e Sérvia), localizados nas Américas, Ásia e Europa. Observa-se a predominância de estudos em países com dificuldades históricas no saneamento, destacando o uso de processos eletrolíticos como estratégia para desenvolver tecnologias mais eficazes no tratamento de efluentes e na redução de impactos ambientais.

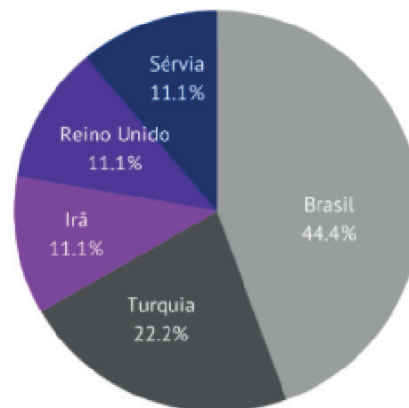


Fig. 2 – Gráfico de países com publicações dos artigos selecionados.²

Os artigos eleitos pela metodologia de busca e suas respectivas características operacionais dos reatores podem ser observados na Tabela 1.

¹ Fonte: Elaborada pelos autores.

² Fonte: Elaborada pelos autores.

Autor	Título da Obra	Eletrodos
GOERCK et al., (2021)	Eletrocoagulação como pós-tratamento do efluente de um wetland construído de escoamento vertical.	Eletrodos de Al, alimentado por CC
MAĆERAK, A.L et al., (2024)	Electrocoagulation in treatment of municipal wastewater– life cycle impact assessment.	Eletrodos de Al, ligação Bipolar Paralela e Paralela.
Akarsu et al., (2022).	Treatment of wastewater from personal hygiene products for reuse through integrated electrocoagulation and membrane filtration processes.	Eletrodos de Al e Fe, alimentado por CE.
SHER et al., (2020)	Implications of advanced wastewater treatment: Electrocoagulation and electroflocculation of effluent discharged from a wastewater treatment plant.	Eletrodo de Al e Fe, alimentados por CC.
MARTINS, (2023).	Eletrocoagulação aplicada ao tratamento de águas residuais domésticas.	Eletrodos de Al, alimentados por CC.
OZYNAR,F. KORKMAZ, M,U, (2022)	Sequential use of the electrocoagulation–electrooxidation processes for domestic wastewater treatment.	Eletrodos de Al e Fe, alimentados por CE.
BARZEGAR; WU; GHANBAR., (2019)	Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: investigation of process parameters.	Eletrodos de Al e Fe, alimentados por CC.
OGANDO et al., (2021).	Removal of color and turbidity in sugarcane juice treated by electrocoagulation with aluminum electrodes.	Eletrodos de Al, alimentados por indução magnética (transformador).
NETO; OLIVEIRA., (2019)	Eletroflotação, eletrocoagulação e eletro-oxidação aplicada à clarificação de águas urbanas contaminadas.	Eletrodos de Al e aço inox, alimentados por CC.

Tab. 1 – Gráfico de países com publicações dos artigos selecionados.*

Parâmetros operacionais dos reatores utilizados

Todos os artigos analisados utilizaram reatores eletrolíticos em escala de bancada, destacando o foco atual no desenvolvimento da eletrocoagulação para o tratamento de efluentes domésticos, já consolidada para efluentes industriais (MOUSAVIZADEH et al., 2021). Houve predominância de eletrodos de alumínio sobre os de ferro e aço inox, com espaçamento entre placas de 1 a 5 mm e ligações monopolar e bipolar paralelas, configurações eficazes na remoção de diversos poluentes e na redução de custos, como apontam Bharti et al. (2023). As densidades de corrente aplicadas variaram entre 1,5 mA/cm² (GOERCK et al., 2021) e 90 mA/cm² (MAĆERAK et al., 2024), estando de acordo com a literatura sobre remoção de matéria orgânica e poluentes inorgânicos por eletrocoagulação (Hashin et al., 2019; Rezaie–Balf et al., 2020).

Desempenho na Remoção de Coliformes

A análise dos artigos da Tabela 01 revelou uma eficiência média de 99,38% na remoção de coliformes termotolerantes por meio da eletrocoagulação, demonstrando sua eficácia na desinfecção de efluentes domésticos sob diversas condições, com todos os estudos atendendo à legislação vigente. Goerck et al. (2021) registraram reduções médias de 99,58% para coliformes totais e 99,55% para E. coli, atingindo contagens finais de 1,75×10⁴ e 5,59×10³ NMP/100 mL, respectivamente. Özyonar e Korkmaz (2024) observaram que a remoção de E. coli aumentou com o tempo de operação, alcançando 90,6% em 15 minutos e 97,5% em 20 minutos. Sher et al. (2020) também relataram eficiências superiores a 99% na remoção de coliformes com eletrodos de alumínio e ferro em apenas 15 minutos, destacando o forte efeito desinfetante da tecnologia.

Desempenho na remoção de Turbidez

Os reatores eletrolíticos analisados apresentaram uma média de 89% de remoção de turbidez em 15 minutos, com destaque para o estudo de Martins (2023), que obteve mais de 95% de remoção em apenas 10 minutos usando eletrodos de alumínio. Maćerak et al. (2024) observaram que correntes com densidade acima de 30 mA/cm² foram eficazes nos primeiros 30 minutos, mas o excesso de coagulantes gerados após esse tempo elevou a turbidez. Akarsu et al. (2022) relataram eficiências de 75,8% a 82% com eletrodos de ferro e ligação monopolar paralela, e de 85,8% a 92,8% com eletrodos de alumínio e ligação bipolar paralela. Neto e Oliveira (2020) também verificaram variações: a turbidez inicial de 10,96 UNT aumentou nos primeiros minutos, mas caiu progressivamente até atingir 3,24 UNT aos 18 minutos, evidenciando a importância do controle do tempo e da corrente aplicada.

Desempenho na remoção de Matéria Orgânica

A remoção média de matéria orgânica por eletrocoagulação foi de 82%, com destaque para Ozynar e Korkmaz (2022), que obtiveram 89% de remoção de DQO em 30 minutos com eletrodos de alumínio e ligação bipolar paralela. Güere (2023) mostrou que a DQO, por sua complexidade, teve remoções de 38,2% por eletro-oxidação e 41,6% por fotoeletrooxidação em solução com baixa carga orgânica. Akarsu et al. (2022) combinaram filtração, eletrocoagulação e

* Fonte: Elaborada pelos autores.

osmose reversa, alcançando 99,18% de remoção de DQO e significativa redução de microplásticos. Sher et al. (2020) destacaram maior eficiência dos eletrodos de ferro (até 50%) em relação aos de alumínio (12%–18%), variando com a corrente. Martins (2023) apontou limitações em casos de efluentes com alta carga poluente inicial. Barzegar et al. (2019) usaram eletrocoagulação, ozonização e UV, alcançando 95% de DQO e 87% de COT em águas cinzas.

A eletrocoagulação é eficaz e versátil, mas seu desempenho depende de parâmetros como tipo de eletrodo e condições operacionais. Apesar de acessível, o custo aumenta com a carga orgânica, e ainda há necessidade de estudos em escala industrial.

Conclusão

Diante dos resultados, a tecnologia eletrolítica demonstrou alto potencial para o tratamento de efluentes domésticos, atendendo às legislações ambientais nos países analisados. As eficiências médias na remoção de coliformes termotolerantes, turbidez e matéria orgânica foram de 99%, 89% e 82%, respectivamente, favorecendo o reuso da água e a reintegração dos recursos hídricos nos processos produtivos. No entanto, os estudos apontam preocupações com tempo de aplicação, custo do tratamento, geração de lodo e a necessidade de transição do uso em escala laboratorial para aplicações em escala insdustrial.

Referências Bibliográficas

- AKARSU, Ceyhun et al. Treatment of wastewater from personal hygiene products for reuse through integrated electrocoagulation and membrane filtration processes. *Journal of Water Process Engineering*, 2022.
- AL-RAAD, Abbas A.; HANAFIAH, Marlia M. Removal of inorganic pollutants using electrocoagulation technology: A review of emerging applications and mechanisms. *Revista de gestão ambiental*. 2021.
- ALJABERI, Forat Yasir et al. An electrocoagulation technology be integrated with wastewater treatment systems to improve treatment efficiency? *Environmental Research*, 2022.
- BARZEGAR, Gelavizh; WU, Junxue; GHANBARI, Farshid. Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: investigation of process parameters. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019.
- BHARTI, Mukesh; DAS, Pranjal P.; PURKAIT, Mihir K. A review on the treatment of water and wastewater by electrocoagulation process: Advances and emerging applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023.
- BOINPALLY, Sriram et al. A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*, 2023.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental –SNSA.

Referências Bibliográficas

- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Resolução CONAMA N°430, de 13 de maio de 2011.
 - CAVALCANTE, Reinaldo Fontes. Aplicação da tecnologia eletrocoagulação operada por corrente direta pulsada no pré-tratamento de águas eutrofizadas do sertão central cearense, 2020.
 - CHANGMAI, M. et al. Hybrid electrocoagulation–microfiltration technique for treatment of nanofiltration rejected steel industry effluent. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2022.
 - CHIAVELLI, Henrique Gabriel Rovigatti et al. Etapas de um sistema de tratamento de efluente e processos convencionais de tratamento: uma revisão de literatura. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2019.
 - DE OLIVEIRA CARNEIRO, Marta Camila Mendes et al. A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. *INOVAE–Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation*, 2018.
 - DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. *Cadernos da FUCAMP*, v. 20, n. 43, 2021.
 - DOGGAZ, A. ATTOURA, M.L.P. MOSTEFA, K. CÔME, M. TLILI, F. LAPICQUE, A. Removal of heavy metals by electrocoagulation from hydrogenocarbonate–containing waters: compared cases of divalent iron and zinc cations. *Journal of Water Process Engineering*, v.29, p. 100796, 2019.
 - GOERCK, Janaína et al. Eletrocoagulação como pós-tratamento do efluente de um wetland construído de escoamento vertical. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2021.
 - GÜERE, Carlos Dante Gamarra. Uso de processos eletroquímicos para redução de DQO de mistura de poluentes baseada na composição de fluidos de aterros sanitários. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2023.
 - HASHIM, Khalid S. et al. Electrocoagulation as a green technology for phosphate removal from River water. *Separation and Purification Technology*, 2019.
 - KS Hashim , R. Al Khaddar , N. Jasim , A. Shaw , D. Phipps , P. Kot , Electrocoagulation as a green technology for phosphate removal from river water. *Separation and Purification Technology*, V. 210 , 2019. Pg 135–144
 - LIU, Y. et al. Study on the treatment of oily wastewater by evaluating the growth process of aggregates in an electrocoagulation reactor. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2024.
 - MACÉRAK, Anita Leovac et al. Electrocoagulation in treatment of municipal wastewater–life cycle impact assessment. *Chemosphere*, v. 355, p. 141701, 2024.
 - MARTINS, Renata Welter. Eletrocoagulação aplicada ao tratamento de águas residuais cosméticas, 2023.
 - MOUSSA, D. T. et al. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of environmental management*, 2017.
 - NARIYAN, Elham; SILLANPÄÄ, Mika; WOLKERSDORFER, Christian. Uranium removal from Pyhäsalmi/Finland mine water by batch electrocoagulation and optimization with the response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 2018.
 - NETO, Magalhães; OLIVEIRA, Gerardo. Eletroflotação, eletrocoagulação e eletro-oxidação aplicada à clarificação de águas urbanas contaminadas, 2020.
 - ÖZYONAR, Fuat; KORKMAZ, Mehmet Utku. Sequential use of the electrocoagulation–electrooxidation processes for domestic wastewater treatment. *Chemosphere*, v. 290, p.122576, 2022.
 - PAPADOPOULOS, Konstantinos P. et al. Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation. *Journal of environmental management*, 2019.
 - REZAI-E-BALF, Mohammad et al. Physicochemical parameters data assimilation for efficient improvement of water quality index prediction: Comparative assessment of a noise suppression hybridization approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 271, p. 122576, 2020.
 - SHER, Farooq et al. Implications of advanced wastewater treatment: Electrocoagulation and electroflocculation of effluent discharged from a wastewater treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, 2020.
 - VIEIRA, Maurrem Ramon. Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido. Agência Nacional das Águas–ANA–2015, 2019.



AVALIAÇÃO INTERLABORATORIAL DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUA TRATADA: TURBIDEZ, pH, CLORO RESIDUAL LIVRE E COR APARENTE

Antonio Ribeiro Alves Jr. (1); Milena Pereira de Oliveira (2)

1. Graduado em Bacharelado em Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Especialização em Metrologia pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR); Mestrando do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo (IQSC-USP); Mestrado e Doutorado em Química Analítica pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Bolsista de Iniciação Científica Pibic/UFC; Professor das seguintes instituições de ensino: Escola São Rafael; EEMTI Otávio Terceiro de Farias; Faculdade Latino Americana de Educação – FLATED; Supervisor de Radioproteção para Aplicações no Ensino e na Pesquisa (CNEN AP-1611), Supervisor e Coordenador da Gerência de Controle da Qualidade de Produto – Gecoq, no período de 2005 a 2020 e atualmente é Químico da Cagece/Gecoq.
2. Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Roraima-UFRR (1999), especialização em Educação Ambiental pela Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA (2005), especialização em Saneamento Básico pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR (2011) e especialização em Metrologia e Garantia da Qualidade pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR (2020). Bióloga da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE desde 2006, exercendo suas funções no laboratório de hidrobiologia até março/2015. Desde abril/2015 atua como gerente da Gerência de Controle da Qualidade de Produto – Gecoq.

Resumo

Ensaio interlaboratoriais são ferramentas essenciais para avaliar a qualidade dos resultados produzidos por diferentes laboratórios e garantir a confiabilidade dos dados analíticos (SIU; CHUI, 2004). Este artigo apresenta os resultados de um estudo interlaboratorial com 61 laboratórios de controle da qualidade da Cagece, que analisaram amostras de água tratada quanto aos seguintes parâmetros: turbidez, pH, cloro residual livre e cor aparente. Os resultados foram avaliados com base em valores de consenso. Observou-se uma ordem crescente de resultados insatisfatórios em relação ao valor de consenso e duplicata de amostra na seguinte ordem pH, cor aparente, cloro residual livre e turbidez. Essa tendência foi atribuída ao aumento de etapas durante a medição, à manipulação das amostras e à sensibilidade exigida, especialmente para turbidez em níveis muito baixos. O estudo destaca a necessidade de padronização de métodos, capacitação técnica contínua e melhoria na infraestrutura laboratorial.

Palavras-chave: ensaio interlaboratorial, qualidade da água, turbidez, pH, cloro residual, cor aparente.

Metodologia

Foram coletados aproximadamente 50 litros de amostra de água tratada em um barrilete de 70 litros. Após a homogeneização, através de agitação mecânica por 30 minutos, as garrafas de 500 mL, previamente limpas com água deionizada e secas, foram envasadas e numeradas por meio de etiquetas, totalizando 80 garrafas. Todas as garrafas foram fechadas e estocadas em caixas com o endereço das unidades de negócios e dos laboratórios operacionais da Cagece. Participaram 61 laboratórios operacionais e regionais da Cagece.

Para os estudos de estabilidade da amostra, foram selecionadas dez amostras aleatórias representativas dos lotes da água tratada para o teste de homogeneidade.

Sessenta e um laboratórios da Companhia participaram do interlaboratorial. A cada laboratório participante foi atribuído, por sorteio, um código numérico tendo conhecimento deste apenas o laboratório e a coordenação do programa. Os laboratórios receberam uma única amostra e foram orientados a realizar os ensaios conforme sua rotina, realizando em duplicata a determinação e a quantificação de cada parâmetro, figura 1.

Além dos resultados, os laboratórios participantes informaram também as técnicas analíticas utilizadas nos ensaios.

As análises estatísticas utilizadas para a obtenção dos valores designados, a fim de avaliar o desempenho dos laboratórios participantes foram o teste de Chauvenet para identificar e eliminar valores dispersos, Z-escore para a qualificação dos resultados dos laboratórios. O índice z-escore é calculado representando uma medida da distância relativa do laboratório em relação aos valores de consenso do ensaio (CORDEIRO, 2024; CORDEIRO; EMONS; ROBOUCH, 2022; SIU et al., 2009).

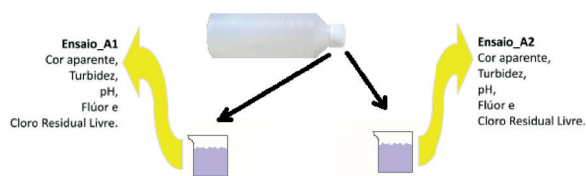


Fig. 1 – Esquema de medição dos parâmetros de controle da qualidade.¹

O cálculo do z-escore é definido pela equação:

$$z - \text{escore} = \frac{M_{(i)} - VC}{DP_{(rob)}}$$

Onde o M(i) é a média dos dois resultados de cada parâmetro do laboratório "i", valor de consenso – VC e o Desvio Padrão Robusto – DProb. Cada laboratório utilizou seus próprios métodos de rotina, desde que alinhados às normas técnicas estabelecidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2023). Foi fornecido um protocolo com recomendações sobre armazenamento, a realização dos ensaios e prazos para submissão dos resultados.

A média robusta, isto é, o valor de consenso – VC e o Desvio Padrão Robusto – DProb foram obtidos a partir dos resultados, após a eliminação dos valores dispersos através do método descrito no Annex C Robust analysis (ISO 13528:2022).

Como são enviados dois resultados da mesma matriz; neste programa, foi realizada a avaliação para a média M(i) do item ensaiado. Na maioria dos programas interlaboratoriais, um índice-z entre -2 e +2 é considerado satisfatório e um índice-z superior a +3 ou inferior a -3, é considerado insatisfatório. Um índice-z entre +2 e +3, ou -2 e -3, normalmente é considerado como "Questionável". Embora alguns programas possam adotar definições ligeiramente diferentes de índice-z, em geral, um índice-z de 2 indica um resultado em que há dois desvios-padrão afastados do valor de consenso. Existem alguns aspectos básicos sobre a interpretação dos resultados do ensaio de comparação que precisam ser mencionados, em programa interlaboratorial não significa "aprovação" ou "rejeição" de um ensaio e sim, participar e aprender com os resultados. Assim, o objetivo é sempre manter um desempenho satisfatório. Porém, um único resultado insatisfatório, em uma rodada qualquer, não significa que o laboratório seja ruim; esse resultado precisa ser avaliado, deve-se investigar as causas e tomá-las como exemplo para que não se repita.

Na avaliação do erro das duplicatas dos resultados foi utilizado o gráfico de Youden. Para a construção do gráfico, duas amostras devem ser semelhantes. Os eixos deste gráfico são desenhados na mesma escala, uma unidade sobre o eixo x tem o mesmo comprimento de uma unidade no eixo-y. Cada ponto no gráfico corresponde aos resultados de um laboratório (JONES, 2005).

¹ Fonte: Elaborada pelos autores. (2025)

A linha mediana horizontal é paralela ao eixo x de modo que existam as mesmas quantidades de pontos acima e abaixo desta linha. Da mesma forma, uma segunda linha mediana é paralela ao eixo y de modo que existem os mesmos números de pontos na esquerda e na direita desta linha. Os valores dispersos não são utilizados na determinação da posição da linha mediana. A intersecção das duas linhas medianas é chamada de mediana Manhattan.

Um círculo é desenhado e nele deve-se incluir os laboratórios cujos resultados da duplicata estão dentro do esperado parar o ensaio. A linha de referência de 45 graus é puxada através da mediana de Manhattan.

Resultados e discussão

Os resultados mostraram variações significativas entre os laboratórios participantes. A Figura 2 apresenta a distribuição percentual dos resultados satisfatórios por parâmetro.

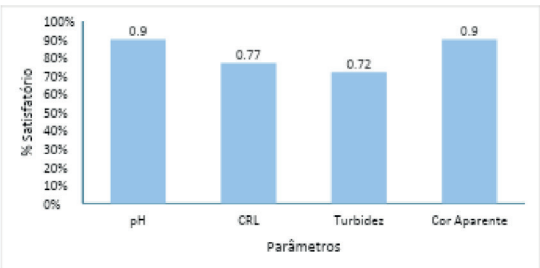


Fig. 2 – Percentuais de Resultados Satisfatórios por Parâmetro.³

As medições do pH e cor aparente apresentaram os melhores desempenhos, com apenas 6% de resultados insatisfatórios. Isso é esperado, dado que o pH e cor aparente é um parâmetro de baixa interferência humana no resultado, isto é, leitura direta, a manutenção dos equipamentos realizadas pelos técnicos dos laboratórios regionais, treinamentos e as técnicas padronizadas, procedimentos operacionais padrão – POPs, controladas pelo sistema de gestão da qualidade.

Autor	Unidade	Duplicata	Nº de Laboratório	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Turbidez	NTU	Amostra 1	61	0,13	5,28	0,47	0,64
		Amostra 2	61	0,11	3,52	0,45	0,43
Cor Aparente	uH	Amostra 1	61	0,00	20,00	2,89	3,33
		Amostra 2	61	0,00	20,00	2,89	3,33
pH	-	Amostra 1	61	6,80	8,61	7,99	0,29
		Amostra 2	61	7,42	8,57	8,04	0,22
CRL	mg/L	Amostra 1	59	0,00	10,64	4,53	1,89
		Amostra 2	59	2,50	10,85	4,52	1,85

Tab. 1 – Resumo dos dados obtidos no ensaio interlaboratorial da Cagece sem a eliminação dos outliers.³

A determinação de cloro residual livre apresentou 23% de resultados fora dos limites aceitáveis. O cloro é uma substância instável, altamente reativa e volátil, o que exige análise imediata e cuidados específicos. A variedade de métodos (DPD colorimétrico, titulométrico e OTA) também contribuiu para a variação nos resultados, além da sensibilidade à interferência de compostos oxidantes, como as clo-raminas, entre outras substâncias.

O pior desempenho foi verificado na medição de turbidez, com 28% de resultados insatisfatórios. O baixo nível de turbidez das amostras (inferior a 0,40 NTU) exige equipamentos de alta sensibilidade, calibração rigorosa com padrões de formazina e ambiente livre de interferências (vibrações, bolhas, partículas etc). A manipulação inadequada das amostras e a falta de familiaridade com boas práticas específicas para níveis baixos de turbidez foram os principais fatores de erro.

A interpretação dos dados obtidos no ensaio de turbidez, por exemplo, com o auxílio do gráfico de Youden, figura 2, permite a identificação dos principais tipos de erros cometidos pelos laboratórios participantes. De maneira geral, pontos que se posicionam próximos à linha de referência de 45 graus, mas afastados da média de Manhattan, são indicativos da presença de erro sistemático. Isso ocorre porque, embora haja boa correlação entre as duas medições, ambas se desviam consistentemente do valor esperado. Por outro lado, pontos que se afastam significativamente da linha de 45 graus revelam a ocorrência de erros aleatórios, indicando que a variabilidade entre as medições é elevada e que os resultados não seguem um padrão comum de desvio. Quando os pontos se encontram tanto distantes da linha de 45 graus quanto da média de Manhattan, isso sugere a presença simultânea de erros sistemáticos e aleatórios. Além disso, valores extremamente discrepantes em relação ao valor designado são classificados como erros grosseiros, evidenciando falhas analíticas graves.

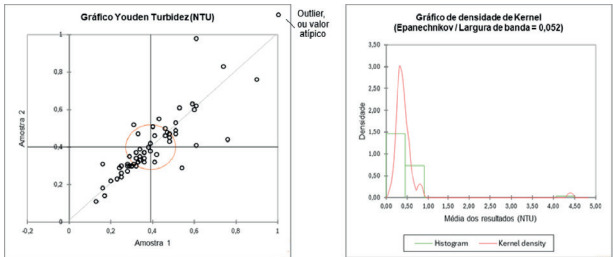


Fig. 3 – Diagrama de avaliação do erro – Ensaio de turbidez Gráfico de Yoden e Gráfico de Kernel. ⁴

^{3 3 4} Fonte: Elaborada pelos autores. (2025)

A estimativa de densidade do kernel (KDE, do inglês Kernel Density Estimation) é uma técnica estatística utilizada para estimar a função densidade de probabilidade de uma amostra de dados de forma não paramétrica, ou seja, sem assumir previamente um modelo específico para a distribuição dos dados. A ideia fundamental por trás da KDE é simples: regiões onde há maior concentração de pontos de dados indicam uma maior probabilidade de ocorrência de novas observações, enquanto áreas menos densas indicam menor probabilidade. Em outras palavras, a KDE suaviza a distribuição dos dados, atribuindo uma função kernel a cada ponto da amostra e, em seguida, somando essas funções para construir uma estimativa contínua da densidade de probabilidade (SILVERMAN, 1986).

O histograma e a densidade do kernel construído a partir dos resultados do ensaio interlaboratorial de turbidez, realizados por 61 laboratórios, apresenta a distribuição das médias obtidas a partir de dois resultados individuais por amostra, expressas em unidades de NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Para facilitar a análise, as médias foram agrupadas em intervalos de classe de 0,450 unidades para o histograma, para o gráfico de kernel foi utilizado uma largura de banda de 0,052 NTU.

Observa-se que a maioria dos laboratórios obteve médias situadas no intervalo de 0,000 a 0,450 NTU, com 40 laboratórios (66% do total) concentrando-se nesta faixa. Esse resultado sugere uma forte tendência dos laboratórios a apresentarem valores de turbidez bastante baixos e próximos entre si, indicando homogeneidade e consistência analítica nessa faixa de medição.

No intervalo seguinte, de 0,450 a 0,900 NTU, foram registradas 20 médias (33% dos laboratórios), indicando uma segunda concentração relevante de resultados, porém já com valores de turbidez ligeiramente superiores em relação ao primeiro grupo. Essa diferença pode ser atribuída a variações metodológicas, à calibração dos instrumentos ou ainda a pequenas diferenças na execução dos ensaios.

Os demais intervalos, compreendendo valores de 0,900 NTU até 4,050 NTU, não apresentaram frequências relevantes, registrando-se zero ocorrência em todos eles. Apenas no último intervalo, de 4,050 a 4,500 NTU, foi observada uma frequência isolada de um laboratório (2%), o que pode indicar a presença de

um valor discrepante ou erro grosseiro, uma vez que se distancia consideravelmente dos intervalos mais populados.

Essa distribuição, fortemente assimétrica à direita, revela que a grande maioria dos laboratórios conseguiu resultados satisfatórios e consistentes em faixas de turbidez esperadas, enquanto poucos apresentaram desvios relevantes. Tal padrão é indicativo de boa repetibilidade e precisão entre os laboratórios participantes, com exceção de poucos casos que merecem investigação mais aprofundada.

A origem dos erros sistemáticos significativos está frequentemente associada a fatores estruturais do processo analítico, tais como modificações não autorizadas nos procedimentos metodológicos, utilização de instrumentos não calibrados, repetição de um mesmo erro de cálculo em duas amostras ou ainda erros na determinação do ponto final de titulações. Já os erros aleatórios significativos decorrem da variabilidade interna dos laboratórios e podem ser atribuídos, principalmente, à falta de capacitação adequada dos analistas, a treinamentos ineficazes ou a falhas ocasionais, como erros de leitura de instrumentos, erros de cálculo em amostras individuais, conversões incorretas de unidades de medida ou erros de transcrição de resultados.

Os dados apontam uma correlação direta entre a complexidade do ensaio, o grau de manipulação da amostra e a incidência de resultados insatisfatórios. Essa relação destaca a necessidade de reforçar capacitações técnicas e revisão dos procedimentos laboratoriais.

Conclusão

O estudo interlaboratorial realizado com 61 laboratórios operacionais e regionais da Cagece, revelou variações significativas nos resultados obtidos pelos participantes, evidenciando a influência da complexidade analítica e do grau de manipulação das amostras no desempenho dos ensaios. Parâmetros como pH e cor aparente, que exigem menor intervenção técnica, apresentaram altos índices de conformidade, refletindo a eficácia de práticas consolidadas, manutenção adequada dos equipamentos e treinamento contínuo. Em contrapartida, a análise de cloro residual livre e, principalmente, de turbidez demonstrou maior suscetibilidade a erros,

tanto sistemáticos quanto aleatórios, associados a fatores como instabilidade do analito, diversidade metodológica, sensibilidade instrumental e falhas operacionais.

A análise detalhada por meio dos gráficos de Youden e da estimativa de densidade do kernel permitiu não apenas identificar a natureza dos desvios, mas também apontar tendências de homogeneidade e consistência na maioria dos laboratórios, com exceções pontuais que demandam investigação e correção. Esses achados reforçam a importância da padronização metodológica, da calibração rigorosa dos equipamentos, do controle de qualidade interno e da capacitação técnica contínua para assegurar a confiabilidade dos resultados laboratoriais, especialmente em ensaios de turbidez e cloro residual livre.

Portanto, os resultados obtidos não apenas servem como diagnóstico da situação atual, mas também como subsídio para a implementação de ações corretivas e preventivas, visando a melhoria contínua do desempenho analítico e a garantia da qualidade dos ensaios realizados pela Cagece.

Referências Bibliográficas

1. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th ed. Washington, D.C., 2023.
2. CORDEIRO, F., Evaluation of proficiency testing participants uncertainty: use relative uncertainty. Accreditation and Quality, v. 29, n. p. 85–86, fev. 2024.
3. CORDEIRO, F.; EMONS, H.; ROBOUCH, P., Is the z score sufficient to assess participants' performance in proficiency testing? The hidden corrective action. Accreditation and Quality Assurance, v. 27, n. 3, p. 145–153, 1 jun. 2022.
4. ISO 13528:2022 — Statistical Methods For Use in Proficiency Testing by Interlaboratory Comparison. 3. ed. Geneva: ISO, 2022.
5. JONES, F. E., Youden Analysis of Karl Fischer Titration Data from an Interlaboratory Study Determining Water in Animal Feed, Grain, and Forage, Journal AOAC International. v. 88, n. 6, p.1840–1, dez. 2005.
6. SILVERMAN, B. W., Density estimation for statistics and data analysis. London; New York: Chapman & Hall, 1986. 175 p
7. SIU, Q. et al., Parâmetros e Resultados Obtidos de Programa Interlaboratorial – Como Usá-los, Quim. Nova, v. 32, n. 8 p. 2209–2213, jan. 2009.
8. SIU, Q.; CHUI, H. O., Papel dos Programas Interlaboratoriais para a Qualidade dos Resultados Analíticos, Quim. Nova, v. 27, n. 6, p. 993–1003, nov. 2004.



MODELO NEURAL NARX APLICADO À INFERÊNCIA DOS SINAIS DE CONTROLE DE DOSAGEM DE COAGULANTES PRINCIPAL E AUXILIAR NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA



Leonardo da Silva Gomes (1) ; Francisco Alexandre A. Souza (2) ; Ricardo Silva Thé Pontes (3) ; Rui Alexandre M. Araújo (4)

1. Mestre em Acionamentos Elétricos com ênfase em Inteligência Artificial pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Especialista em Automação Industrial pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
2. Doutor pela Universidade de Coimbra – Portugal. Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Pesquisador do Imec-NL/OnePlanet, Holanda.
3. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília – UnB. Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Professor aposentado da Universidade Federal do Ceará – UFC. Pesquisador do LAMOTRIZ-DEE-UFC e Professor Colaborador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFC.
4. DEEC – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade de Coimbra – Portugal. Pesquisador do Instituto de Sistemas e Robótica – Universidade de Coimbra – Portugal.

Resumo

Este artigo apresenta a aplicação de um modelo neural NARX para inferir os sinais de controle de dosagem de coagulantes da planta da estação de tratamento de água do Gavião, pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará. O objetivo é propor uma solução alternativa aos métodos convencionais de controle de dosagem, muitas vezes dependentes de instrumentação e hardware dispendiosos. A validação do modelo neural NARX aplicado evidenciou a possibilidade de reduzir custos associados à instrumentação tradicional, surgindo como uma alternativa viável para otimizar o controle da coagulação química em estações de tratamento de água.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais, seleção de variáveis e atrasos, coagulação química.

Este texto é um resumo do artigo 'Coagulant Dosage Determination In A Water Treatment Plant Using Dynamic Neural Network Models', de Gomes L. S. et al, publicado em 2015 no International Journal of Computational Intelligence and Applications (© World Scientific Publishing Company).

Introdução

Fornecer água dentro dos padrões de potabilidade é a missão principal das companhias de saneamento no Brasil, em vista da crescente deterioração dos mananciais de abastecimento disponíveis. Disto depende a própria sobrevivência de tais companhias, pois água de qualidade é uma exigência cada vez mais reivindicada pela sociedade, o que impele ao aperfeiçoamento e a busca de tecnologias de tratamento adequadas (BERNARDO, 2005).

Neste contexto, objetivando propor uma solução alternativa às técnicas convencionais de controle de dosagem de coagulantes no processo de tratamento de água, este artigo aborda o desenvolvimento e a aplicação de um modelo baseado em rede neural autorregressiva não-linear com entradas exógenas (NARX) na inferência dos sinais de controle de dosagem de coagulante Hidroxi-cloreto de Alumínio (PAC) e de coagulante auxiliar Polímero Catiônico (Pol) a partir de outras variáveis do processo, em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) por filtração direta. A planta utilizada no desenvolvimento do modelo foi a ETA Gavião, pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), e responsável pela produção de água tratada para a Região Metropolitana de Fortaleza.

Técnicas semelhantes já foram utilizadas para inferência de variáveis de outros processos. Como exemplo, citamos a inferência da composição química de produtos de saída de uma coluna de destilação (ZANATA, 2005).

Os resultados obtidos demonstram que o modelo proposto poderá substituir a instrumentação e o hardware de monitoramento e controle de dosagem de coagulantes convencionalmente utilizados, apresentando a possibilidade de garantia da qualidade da água tratada dentro dos padrões estabelecidos pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (Governo Federal, Brasil). Por sua vez, este fato possibilitará redução de custos referentes a projetos e montagem de instalações de ETA, em vista do alto custo relativo envolvido na montagem de sistemas convencionais para controle de coagulação. A redução de custos de implantação poderá contribuir, principalmente, com a viabilização de projetos desta natureza em ETA.

Metodologia

O Processo de Coagulação Química

Propriedades da água bruta que interferem no desempenho das tecnologias de tratamento, tais como turbidez, sabor e odor e a presença de contaminantes orgânicos e inorgânicos, são associados à presença de impurezas compostas de partículas suspensas ou dissolvidas (BERNARDO, 2003). A remoção destas impurezas dá-se por coagulação química, processo no qual ocorre uma reação química entre o coagulante aplicado e a água, tendo como resultado a formação de espécies hidrolisadas com carga positiva (BERNARDO, 2005). O mecanismo da coagulação baseia-se no contato entre as partículas de impurezas e as espécies hidrolisadas (BERNARDO, 2005), o que provoca uma desestabilização elétrica na camada superficial das impurezas, promovendo a aglomeração das partículas em flocos (TCHOBANO-GLOUS, 1987), que podem ser removidos através de sedimentação, flotação ou filtração direta (BERNARDO, 2003).

O controle do processo da coagulação química é caracterizado pelo ajuste da dosagem de sais coagulantes (principal e auxiliar) à água bruta através de bombas dosadoras (BERNARDO, 2005). O sinal analógico de controle das dosadoras é gerado por um controlador que tem como parâmetro de referência o nível de coagulação na saída da câmara de mistura rápida, feita através de instrumentação que implementa o monitoramento da coagulação (BERNARDO, 2005).

Desenvolvimento do Modelo de Inferência

O desenvolvimento do modelo neural proposto seguiu três etapas: (1) seleção e ajuste das variáveis de entrada; (2) seleção da estrutura do modelo e (3) validação do modelo (FORTUNA, 2007). O conjunto de dados históricos utilizados no desenvolvimento do modelo foi cedido pela Cagece, correspondendo aos boletins de registro dos parâmetros analíticos de Turbidez, pH, Cor e Oxigênio Consumido e dos valores das vazões de dosagem de Produtos Químicos da ETA Gavião, no período de 2007 a 2009.

Seleção e Ajuste das Variáveis de Entrada

O primeiro passo para o desenvolvimento do modelo foi a análise crítica dos dados históricos dos boletins analíticos citados acima, para a seleção das variáveis que influenciam diretamente nas saídas de processo a serem inferidas (FORTUNA, 2007). Tal análise foi realizada através de consulta aos especialistas da planta (FORTUNA, 2007), que concordaram com a

literatura técnica no fato de que o desempenho da coagulação química é influenciado pelo pH (TCHO-BANOGLIOUS, 1987) e pela Turbidez (BERNARDO, 2003) de água bruta e coagulada.

Desta forma, foram selecionadas dos boletins de registro analítico no período de 2007 a 2009, as seguintes variáveis: Turbidez de Água Bruta (TrbAB), Turbidez de Água Coagulada (TrbAC), pH de Água Bruta (pHAB) e pH de Água Coagulada (pHAC). Tais variáveis foram ajustadas a fim de diminuir efeitos provocados por dados espúrios, através do método robusto de regressão linear por polinômio quadrático e espalhamento ponderado local RLoess (MATHWORKS, 2002). A ponderação é calculada conforme a equação (1), onde $r(i)$ é o residual do i -ésimo ponto avaliado, MAD é o desvio mediano absoluto do sinal residual e 6MAD é o intervalo de confiança (MATHWORKS, 2002).

$$\omega(i) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{r(i)}{6MAD} \right)^2 & |r(i)| < 6MAD \\ 0 & |r(i)| \geq 6MAD \end{cases} \quad (1)$$

Seleção da Estrutura do Modelo

Sistemas físicos possuem características dinâmicas evidenciadas no fato de que suas saídas dependem de seus valores passados, da entrada atual e das entradas passadas (HAYKIN, 1999). Este é o caso do controle da coagulação química – um sistema caracterizado pela não-linearidade entre as variáveis de entrada selecionadas e as de saída (TCHOBANOGLOUS, 1987).

Os atrasos aplicados à entrada e à realimentação da saída foram selecionados através da estatística C_p , proposta por Mallow (WARNE, 2004), baseada na avaliação do erro quadrático total aplicável a modelos não-lineares e calculada pela equação (2), que expressa o quociente entre a soma dos quadrados dos residuais SSR_p para o modelo reduzido com exemplos de treinamento $u(n)$ de p elementos, e a soma dos quadrados dos residuais para o modelo total SSR com exemplos de treinamento com todos os T elementos possíveis (FORTUNA, 2007).

$$C_p = \frac{SSR_p}{SSR} - (T - 2 \times p) \quad (2)$$

A Figura 1 (a) ilustra a estrutura da rede neural NARX implementada, caracterizada por uma malha de rea-

limentação da saída para a entrada e pela aplicação de memórias de curto prazo, com a e b atrasos, aos sinais de entrada $x(n)$ e de realimentação respectivamente. O modelo neural implementado é estruturado em duas redes NARX distintas, denominadas NARX-1 e NARX-2, com entradas selecionadas a partir do conjunto de dados de Turbidez e pH de água bruta e coagulada, conforme Figura 1 (b), para inferência dos sinais de controle de dosagem de PAC e Pol respectivamente. Esta configuração possibilitará a aplicação de diferentes atrasos e combinações das entradas a cada rede, otimizando o ajuste final do modelo neural.

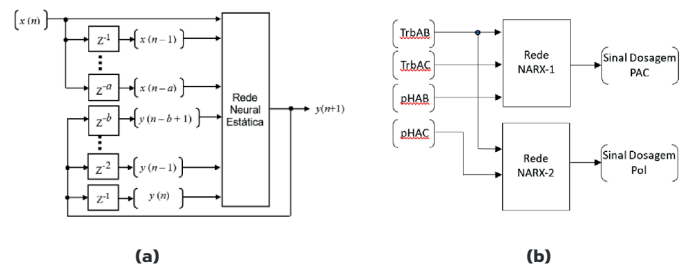


Fig. 1 – Estrutura Básica da Rede Neural NARX implementada.*

A saída é dada pela equação (3) (HAYKIN, 1999), onde F é uma função não-linear de seus argumentos. A saída da rede NARX para um instante discreto anterior n é dado por $y(n) = F(u(n))$, onde $u(n)$, representa o n -ésimo exemplo de entrada apresentado à entrada da rede NARX, dado pela equação (4).

$$y(n+1) = F(y(n), y(n-1), \dots, y(n-b+1), x(n), x(n-1), \dots, x(n-a)) \quad (3)$$

$$u(n) = \{y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-b), x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-a-1)\} \quad (4)$$

A rede neural estática utilizada na estrutura NARX foi um Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) com uma camada escondida e uma camada de saída, devido sua melhor capacidade de generalização (ZANATA, 2005). As funções de ativação utilizadas para as camadas escondida e de saída foram a sigmóide tangente hiperbólica (HAYKIN, 1999) e a linear (BARRETO, 2007), respectivamente.

Validação do Modelo

O algoritmo de treinamento utilizado na validação do modelo foi o Levenberg-Marquardt (HAGAN, 1994) devido sua agilidade de convergência. Foi implementada uma rotina de inicialização para normalização dos exemplos de entrada, inicialização dos

* Fonte: Elaborada pelo autor. Baseado em HAYKIN (2009)

pesos sinápticos, e configuração dos parâmetros de treinamento. A normalização dos exemplos de entrada foi conforme a Equação (5) (BARRETO, 2011), onde $u_i^*(n)$ é o valor normalizado dentro do intervalo $[-1, +1]$ do i -ésimo elemento do n -ésimo exemplo de treinamento.

$$u_i^*(n) = 2 \times \left(\frac{u_i(n) - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \right) - 1$$

Onde, $u_{\min} = \min_{\forall n} \{ u \}$ e $u_{\max} = \max_{\forall n} \{ u \}$

(5)

O conjunto selecionado de dados foi dividido em dois conjuntos: o primeiro para Treinamento e Validação com 98% dos registros do conjunto de dados (12782 registros) e o segundo para Teste Final com 2% dos registros do conjunto de dados (261 registros).

O critério de parada adotado foi a parada prematura (BARRETO, 2011) baseada em validação cruzada (HAYKIN, 1999). O primeiro sub-conjunto é para Treinamento com 85% dos registros do conjunto (10865 registros) e o segundo para Validação com os 15% dos registros restantes (1917 registros). O critério de parada é satisfeito quando o erro médio quadrático MSE da etapa de Validação assume uma tendência crescente, conforme a equação (6) (HAYKIN, 1999), onde o sinal $e(n)$ é o residual entre a saída real (alvo) e a inferida e N é o número de exemplos de entrada do sub-conjunto de Validação.

$$MSE = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N e^2(n)$$

(6)

Resultados e Discussão

Os resultados principais das etapas de treinamento, validação e teste final do modelo são apresentados na Tabela 1.

Para a validação do modelo (resultados apresentados na Figura 2) foram utilizados os dados selecionados a partir do conjunto de dados do ano de 2009 (dados Reais) fornecidos pela Cagece. A proximidade entre os sinais dos dados Reais e os Inferidos validam o bom desempenho do modelo neural proposto na tarefa proposta.

Rede NARX	Época Ótima	MSE Ótimo Treinamento	MSE Ótimo Validação	MSE Ótimo Teste Final
1	23	0.0353	0.0325	0.0303
2	63	0.0204	0.0202	0.0221

Tab. 1 - Resultados Principais Treinamento, Validação e Teste.

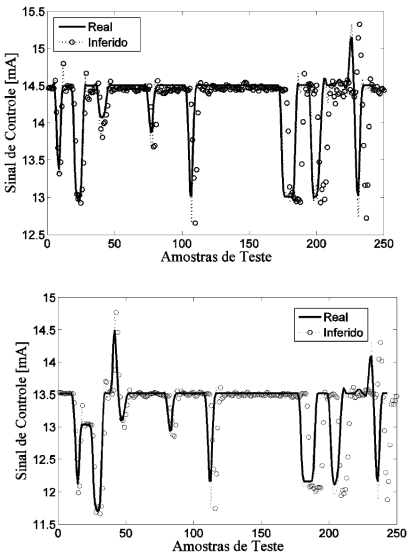


Fig. 2 - Validação do modelo neural NARX: (a) Inferência do sinal de controle de dosagem de PAC; (b) Inferência do sinal de controle de dosagem de Pol²

Conclusão

Esta pesquisa explorou a aplicação de redes neurais NARX (Autorregressivas Não Lineares com Entradas Exógenas) para inferir os sinais de controle de dosagem de coagulantes PAC e Polímero Catiônico em uma estação de tratamento de água por filtração direta. O estudo demonstrou o potencial das redes NARX para modelar efetivamente as relações complexas e não lineares entre os parâmetros de qualidade da água bruta e coagulada (turbidez e pH) e as dosagens ideais de coagulantes (PAC e Polímero Catiônico).

A aplicação do modelo neural NARX ao processo de inferência das vazões de dosagem de coagulantes demonstrou ser bem-sucedida, indicando que a inteligência artificial pode possibilitar aplicações “sensorless”, substituindo a instrumentação e o hardware convencionais de alto custo para monitoramento e controle da coagulação química. Ao reduzir a dependência de sistemas convencionais de alto custo, a abordagem baseada no modelo neural NARX pode diminuir os custos associados à construção e manutenção de estações de tratamento de água, tornando

² Fonte: Elaborado pelo autor – simulação em Matlab

Referências Bibliográficas

as tecnologias de tratamento avançadas mais acessíveis. A aplicação do modelo neural NARX também destacou a importância da coleta, registro e análise abrangente de dados para otimizar os processos que envolvem o tratamento de água.

Pesquisas futuras podem explorar a integração de fluxos de dados em tempo real para aumentar as capacidades adaptativas do modelo implementado e melhorar seu desempenho em condições dinâmicas de qualidade da água. Também é salutar investigar a aplicabilidade do modelo para diferentes estações de tratamento de água, com vistas à redução de custos operacionais envolvidos no tratamento de água, bem como fomentar a manutenção dos índices de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde em sua Portaria 518/2004.

Estudos comparativos avaliando o desempenho das redes NARX em relação a outras técnicas de aprendizado de máquina poderiam fornecer insights sobre as abordagens mais eficazes para a otimização do tratamento de água.

1. BERNARDO, LUIZ D., ÂNGELA D. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rima, Vol 1, p. 5-39, p. 167-251, 2005.
2. ZANATA, D.R.P. Desenvolvimento De Sensor Virtual Empregando Redes Neurais Para Medição Da Composição Em Uma Coluna De Destilação. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP – São Paulo, 2005.
3. BERNARDO, LUIZ D., BRANDÃO, CRISTINA C. S., HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. PROSAB, cap 3, 1999.
4. BERNARDO, LUIZ D. Filtração Direta Aplicada a Pequenas Comunidades. PROSAB, p. 134-136, 2003.
5. TCHOBANOGLOUS, G., SCHOROEDER, E. D. Water Quality – Characteristics, Modeling, Modification. Addison-Wesley Publishing Company, p. 577-582, 1987.
6. AMIRTHARAJAH, A. M. K. M. Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. J. AWWA, v. 74, No. 4, p. 20-216, 1982.
7. FORTUNA, L., GRAZIANI, S., RIZZO, A., XIBILIA, M. G. Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes. Springer, p. 27-142, 2007.
8. MATHWORKS. Curve Fitting Toolbox, User's Guide. The MathWorks, Inc, section 2, p. 1-4, 2002.
9. HAYKIN. S. Redes Neurais, Princípios e Prática. Prentice Hall, Inc. p. 183-240, 1999.
10. BARRETO, G. DE A. Perceptron Multicamadas e o Algoritmo de Retropropagação do Erro. Notas de Aula, http://www.deti.ufc.br/~guilherme/TIO16/mlp_backprop.pdf, (2007), acessado em 27/06/2011.
11. WARNE, K., PRASAD, G., REZVANI, S., MAGUIRE, L. Statistical and computational intelligence techniques for inferential model development: a comparative evaluation and a novel proposition for fusion. Engineering Applications of Artificial Intelligence, V. 17, p. 871-885, 2004.
12. HAGAN, M.T., MENHAJ, M.B. Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm. IEEE Transactions On Neural Networks, v. 5, p. 989-993, 1994.



PROGRAMA ELIPSE-SCADA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A OPERAÇÃO DE LIMPEZA DE FILTROS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

José Germano Morais (1); Erivaldo Pereira Lima Júnior (2); Samuel dos Santos Coutinho(3)

1. Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Centro de Ensino Tecnológico do Ceará (CENTEC). Coordenador Industrial na Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana Leste (UNBML) da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE).
2. Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Graduado em Bacharel em Ciências e Tecnologias pela Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA) e Licenciado em Química Instituto Federal do Ceará (IFCE). Supervisor de Produção na Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana Leste (UNBML) da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE).
3. Graduando em Saneamento Ambiental pelo Unifatecie. Auxiliar de Produção na Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana Leste (UNBML) da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE).

Resumo

A crescente complexidade operacional das Estações de Tratamento de Água (ETAs) demanda soluções tecnológicas que promovam maior eficiência, segurança e controle em tempo real. Apesar dos avanços na automação industrial, observa-se uma lacuna no uso sistemático de plataformas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) voltadas especificamente para o setor de saneamento. Este trabalho investiga a aplicação do programa Elipse-SCADA na operação da ETA de médio porte, cidade da Região Metropolitana do Ceará, com o objetivo de avaliar sua contribuição para a supervisão, controle e otimização dos processos de limpeza de unidades filtrantes do tratamento. A pesquisa foi conduzida por meio de estudo de caso na ETA de Aquiraz, onde foram analisados os dados comparativos entre o programa Elipse-SCADA e os dados do controle operacional de água (COA) do sistema. Os resultados demonstraram melhorias significativas na detecção de falhas, na resposta a eventos críticos e na eficiência energética, além de maior confiabilidade nos dados operacionais. Como contribuição, o estudo evidencia o potencial do Elipse-SCADA como ferramenta estratégica para a modernização da gestão de ETAs. No entanto, limitações foram identificadas, como a necessidade de capacitação técnica contínua e os custos iniciais de implementação. Propõe-se, como pesquisa futura, a análise comparativa entre diferentes plataformas SCADA aplicadas ao saneamento, bem como o desenvolvimento de módulos inteligentes integrados à inteligência artificial para previsão de falhas e otimização preditiva dos processos.

Palavras-chave: Automação, Tratamento de água, Supervisão operacional

Este texto é um resumo do artigo 'Programa Elipse-Scada E Sua Contribuição Para A Operação De Limpeza De Filtros De Estações De Tratamento De Água' de Morais, J. G. et al, publicado em 2025, que será disponibilizado no 36º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente – Encontro Técnico AESABESP.

Metodologia

A metodologia deste estudo foi baseada em um estudo de caso realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Aquiraz, município de médio porte localizado na Região Metropolitana do Estado do Ceará. A referida estação é gerenciada pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE.

A ETA de Aquiraz (Imagem 01) conta atualmente com a tecnologia de filtração direta ascendente, sendo o equipamento composto por 03 unidades de filtração (D: 3,5 m cada), trabalhando diariamente numa média de 24 horas, com uma vazão de tratamento (captada) média de 150m³/h.

A lavagem de filtros é de vital importância para o funcionamento do sistema produtivo de água tratada, pois o processo busca garantir a qualidade da água, bem como mantém o funcionamento adequado das unidades de filtração. O Processo de lavagem da ETA Aquiraz, dar-se por meio gravitacional, através de um reservatório eleveado (REL) que é utilizado conjuntamente no sistema de distribuição de água.

A Cagece vem investindo nos últimos anos em sistemas de automação em suas estações, sendo a mais utilizada a plataforma SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), a qual desempenha um papel fundamental na automação e monitoramento de processos em ETA (Imagem 02). Sua implementação permite um controle dos parâmetros operacionais, com mais qualidade, segurança e otimização dos recursos.

A pesquisa foi conduzida ao longo de janeiro a maio de 2025.

O tipo de pesquisa adotado foi exploratório e descritivo, com o objetivo de avaliar a eficácia do Elipse-SCADA, realizando um comparativo com o Controle Operacional de Água (COA) utilizado pela companhia, na supervisão e controle dos processos operacionais durante o processo de limpeza (lavagem) das unidades de filtração da ETA. Os instrumentos de coleta de dados incluíram conversas com operadores da ETA, análise de registros operacionais e monitoramento em tempo real das variáveis críticas do processo de tratamento de água.



Fig. 1 - Imagem aérea da ETA Aquiraz.¹

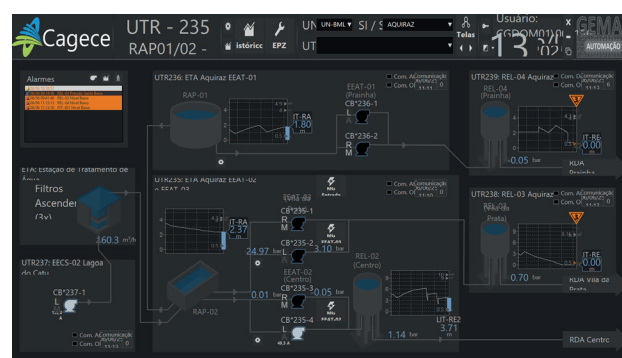


Fig. 2 - Tela do Programa Elipse-Scada.²

As estratégias de análise envolveram a comparação de dados, fazendo interpretações, comparações e análises de dados. Utilizando técnicas estatísticas para avaliar a significância das melhorias observadas.

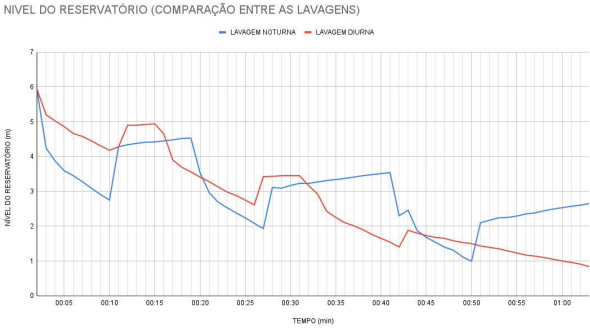
A análise dos dados foi realizada utilizando software estatístico, onde foram aplicados testes de hipóteses para verificar a eficácia do Elipse-SCADA na melhoria dos processos operacionais. Os resultados foram apresentados em forma de gráficos e tabelas, facilitando a visualização das melhorias obtidas.

Resultados e Discussão

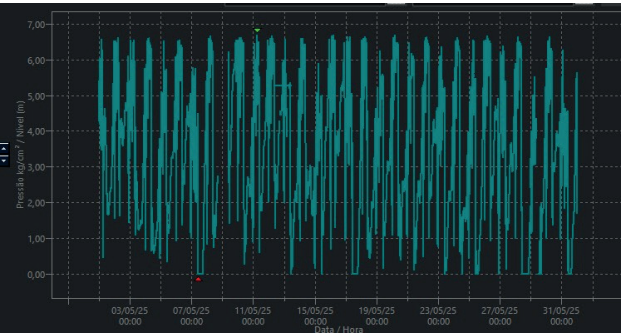
Os resultados obtidos através do Elipse-SCADA na ETA de Aquiraz foram promissores. Uma vez, que se verificou o comportamento de variáveis diversas durante o processo de limpeza de filtros na referida ETA. Os gráficos a seguir, referem ao comportamento do REL durante o mês de maio/2025, sendo: o gráfico 01 – referente as informações coletadas no COA e o gráfico 02 – gerados pelo Elipse-Scada. Para uma melhor visualização dos dados do SCADA, fez um apurado do comportamento deste na data de 27 (gráfico 03) e 28 (gráfico 04) de maio de 2025, para uma melhor visualização das informações.

¹ Fonte: Google Earth (2025)

² Fonte: Programa interno da Cagece (2025)



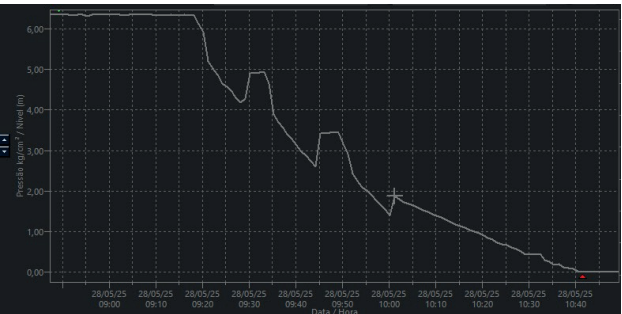
Gráf. 1 – Dados inseridos no COA informado pelo operador durante a Lavagem de Filtros no período de 27 e 28/05/2025.³



Gráf. 2 – Comportamento do REL durante a Lavagem de Filtros no mês 05/2025.⁴



Gráf. 3 – Comportamento do REL durante a Lavagem de Filtros no dia 27/05/2025.⁵



Gráf. 4 – Comportamento do REL durante a Lavagem de Filtros no dia 28/05/2025.⁵

Através destes, pode-se observar que:

- No período diurno, ocorre: um maior tempo, uma menor velocidade e um menor volume de lavagem de filtros;
- No período noturno, ocorre: um menor tempo, uma maior velocidade e um maior volume de lavagem de filtros.

Fatores esse que conforme analisados, tem influência, possivelmente, as variáveis:

- Operacionais: modo de operação de cada operador da ETA
- Consumo/volume distribuído: haja vista que a lavagem é feita por gravidade do REL, o consumo pela noite reduz, o que faz com que o REL se estabilize mais rápido a cada lavagem.

Diante do observado, realizou reuniões junto a equipe operacional da ETA na busca de minimizar o fator da variável operacional. Bem como buscar uma melhora na resposta a falhas, o que indica uma maior eficiência na detecção e correção de problemas operacionais. Além disso, houve um aumento na precisão do monitoramento das variáveis críticas, como níveis de sistema de distribuição de água local.

A integração do Elipse-SCADA permitiu uma maior rastreabilidade dos dados operacionais, proporcionando suporte à tomada de decisão em tempo real. Os operadores da ETA relataram maior confiança nos dados fornecidos pelo sistema, o que contribuiu para uma gestão mais eficiente dos processos de tratamento de água.

No entanto, algumas limitações foram identificadas durante o estudo. Os custos e tempo iniciais de implantação do Elipse-SCADA foram considerados morosos, o que pode representar um obstáculo para ETAs com recursos limitados. Além disso, a necessidade de capacitação técnica contínua sendo um desafio, uma vez que os operadores precisam estar constantemente atualizados sobre as funcionalidades do sistema.

Mas, apesar das limitações, o Elipse-SCADA possui um grande potencial para melhorar a operação das ETAs. Pesquisas futuras podem explorar a integração do SCADA com algoritmos de inteligência artificial, visando a previsão de falhas e a otimização preditiva dos processos operacionais.

³ Fonte: Elaborada pelos autores.
^{4, 5} Fonte: Programa Eclipse-Scada

Conclusão

Este estudo investigou a aplicação do programa Elipse-SCADA na operação do processo de sistema de limpeza das unidades filtrantes da ETA de Aquiraz, com o objetivo de avaliar sua contribuição para a supervisão, controle e otimização dos processos de tratamento. Os resultados obtidos indicaram melhorias na eficiência operacional, com redução no tempo de resposta a falhas e aumento na precisão do monitoramento das variáveis críticas.

Como contribuição, o estudo reforça o papel do Elipse-SCADA como ferramenta estratégica para a modernização da gestão de ETAs. No entanto, foram identificadas algumas limitações, como os custos iniciais de implantação e a necessidade de capacitação técnica contínua.

A pesquisa respondeu à pergunta de como o Elipse-SCADA pode contribuir para a operação das ETAs, evidenciando que, com investimentos certos, o mesmo poderá ter potencial para melhorar a eficiência e a confiabilidade dos processos operacionais, bem como o monitoramento remoto e em tempo real das condições estruturais e operacionais e também os dados de qualidade de água.

Assim, pode-se trazer como mensagem principal do autor é que o Elipse-SCADA representa uma inovação tecnológica promissora para o setor de saneamento, com potencial para transformar a gestão das ETAs.

Referências Bibliográficas

1. ALBUQUERQUE, T. N.; BARRETO, F. M. S. Identificação do Ponto Ótimo de Lavagem de Um Sistema de Dupla Filtração Convencional de Bancada Através de Curva de Lodo. 30º Congresso ABES, 2019. Disponível em: <https://abes-dn.org.br/cadernos-tecnicos-revista-esa-ict/#>. Acessado em 02 de junho de 2025.
2. ARAGÃO, P. H. D. C. Proposta de Automação de Uma Estação de Tratamento de Água para Processos Industriais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34424>. Acessado em 01 de junho de 2025.
3. CASTRO, J. B. F.; SOUZA, J. C. S. Água Subterrânea e Automação no Saneamento. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2002. Disponível em: file:///C:/Users/003156/Downloads/_22569-Texto%20do%20artigo-2738-81551-10-20110815.pdf. Acessado em 03 de junho de 2025.
4. SILVA, F. R. M. Implantação e Desenvolvimento de Uma Rede de Automação Industrial e Sistema SCADA para Estação e Tratamento de Água Purificada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/c99eb7aa-5bac-4f49-8ba5-200737c0539a>. Acessado em 02 de junho de 2025.
5. VASCONCELOS, F. B.; ROCHA, M. X.; ALEXANDRIA, A. R. Automação em Um Sistema de Tratamento e Distribuição de Água: Um Estudo de Caso. Conexão, Ciência e Tecnologia. Fortaleza/CE, v.12, n. 3, 2018. Disponível em: file:///C:/Users/003156/Downloads/alisandraccf+Felipe_Artigo.pdf. Acessado em 03 de junho de 2025.



VARIAÇÃO SAZONAL DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO NO AÇUDE GAVIÃO, NO MUNICÍPIO DE PACATUBA – CE



Francisca Naiane da Silva Rocha (1)

1. Bióloga (UECE). Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos (UNILAB). Técnica em Saneamento na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

Resumo

Em geral, a utilização de índices é comum nos bons modelos de manejo da qualidade da água, sendo utilizados em estudos de recuperação de ambientes eutrofizados. Este trabalho tem como objetivo estimar a eutrofização no Açude Gavião, utilizando como indicador o Índice de Estado Trófico (IET). Observa-se que os valores de IET encontrados durante os meses chuvosos são bem maior que no período seco. Isso decorre do fato de que as chuvas são grandes responsáveis pelo carreamento superficial de nutrientes, enriquecendo os sistemas aquáticos com fósforo, principalmente. O reservatório foi classificado como hipereutrófico durante todo o período do estudo apresentando alta produtividade em relação às condições naturais, acarretando alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos.

Palavras-chave: IET, Pluviometria, Açudes, Qualidade de água, Usos múltiplos.

Este texto é um resumo do artigo 'Índice De Estado Trófico No Açude Gavião, Em Pacatuba – Ce' de Rocha, F. N. S. et al, publicado em 2022, disponibilizado na coletânea "Planejamento e Gestão Territorial em suas diversas amplitudes", Editora da Universidade Federal do Maranhão.

Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os dados fornecidos pela COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará), provenientes de amostras coletadas no açude Gavião, no ponto GAV05 (Figura 1), em campanhas realizadas em novembro de 2016, assim como em fevereiro, maio, agosto e novembro de 2017, que foi o mês com menor volume de precipitações (COGERH, 2018). Estas amostras foram submetidas às análises de fósforo total, (STANDARD METHODS, 2017) e clorofila a (WETZEL, 1983).

A escolha do ponto monitorado foi feita levando em consideração a importância estratégica dentro da bacia hidrográfica. Trata-se do ponto que apresenta maior profundidade média, estando localizado mais próximo à barragem do açude. Assim, reflete bem as mudanças ocorridas na estratificação e variáveis estudadas. As equações sugeridas para os cálculos do Índice de Estado Trófico através da transparência, clorofila a, fósforo e IET total apresentam-se a seguir (Equações 1, 2, 3 e 4).

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(1,77 - 0,42 \frac{\ln PT}{\ln 2} \right) \right) \quad (1)$$

$$IET(Cla) = 10 \left(6 - \left(0,92 - 0,34 \frac{\ln Cla}{\ln 2} \right) \right) \quad (2)$$

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \quad (3)$$

$$IET_{total} = \frac{IET(PT) + IET(Cla) + IET(DS)}{3} \quad (4)$$

Os valores encontrados através das fórmulas acima são classificados de acordo com o quadro 1.

Classificação do IET	
Grau de Trofia	Mín - Máx
Ultraoligotrófico	0 - 47
Oligotrófico	47 - 52
Mesotrófico	52 - 59
Eutrotófico	59 - 63
Supereutrotófico	63 - 67
Hipereutrotófico	> 67

Tab. 1 - Classificação do nível de trofia em reservatórios.¹

Os dados de pluviometria utilizados neste trabalho foram retirados da base de dados do site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), para a estação pluviométrica existente no Açude Gavião. As informações pluviométricas são fundamentais para se conhecer o regime de escoamento de uma bacia hidrográfica. O primeiro semestre do ano de 2017 foi caracterizado pela

pluviosidade abaixo da média histórica (203,4 mm). No mês da primeira e das duas últimas campanhas realizadas no Açude Gavião (novembro de 2016, agosto e novembro de 2017), a condição climática foi caracterizada pela presença de chuvas com média de 100mm e valor máximo de 160mm em novembro de 2016 (figura 1)

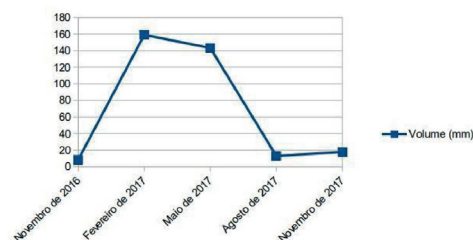


Fig. 1 - Variação do volume de chuvas no açude Gavião durante o período de estudo.²

O reservatório apresentou tendência de volume decrescente a partir de meados de 2015, permanecendo com volume reduzido em relação à média histórica durante todo o período de estudo, conforme pode ser observado na Figura 2.

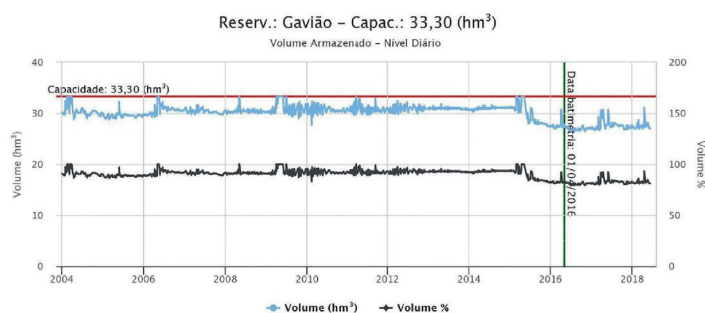


Fig. 2 - Variação histórica do volume armazenado no açude Gavião.³

Resultados e discussão

Os dados de transparência encontrados (IET DS), já que a presença de sólidos em suspensão impede a penetração dos feixes de luz na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e algas. Por isto, logo após findar o período de chuva e ocorrer a diminuição da transparência, ocorre o aumento da incidência de luz, que aliado a maior disponibilidade de nutrientes (fósforo) e, consequentemente, ao crescimento fitoplanctônico, causa a elevação da clorofila a no reservatório. De modo contrário, observam-se baixas concentrações de clorofila a nos períodos de maiores concentrações de material em suspensão.

¹ Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004)

² Fonte: Elaborada pela autora (2022)

³ Fonte: Funceme

O rápido crescimento populacional das cidades e a ocupação desordenada do solo são os principais fatores responsáveis por causar pressão ambiental nos recursos hídricos locais, aumentando, assim, a eutrofização. O excesso de fósforo surge em águas naturais por conta, principalmente, de descargas de esgotos domésticos e industriais. Fertilizantes, pesticidas e produtos químicos em geral também são fontes de fósforo que podem chegar até os corpos hídricos carregados pelas chuvas.

É importante observar que os valores de fósforo encontrados durante os meses chuvosos são maiores que no período seco (Tabela 1). Isso decorre do fato de que as chuvas são grandes responsáveis pelo carregamento superficial de nutrientes, enriquecendo os sistemas aquáticos com nitrogênio e fósforo, principalmente. Estes nutrientes tanto podem estar no solo, na coluna de água e/ou retidos nas plantas aquáticas presentes no espelho d'água, que findam por alterar o índice trófico do corpo hídrico. Corroborar para isso o fato de o fósforo ser o agente limitante em grande maioria dos corpos hídricos, além dele acumular-se nos reservatórios por não participar de processos bioquímicos e, por consequência, não passar ao estado gasoso (LIMA, 2007).

Em geral, há uma correlação entre valores maiores do parâmetro e o período de chuvas no Açude Gavião. O mês de agosto de 2017 apresentou o menor volume acumulado no período estudado e a segunda menor taxa pluviométrica dentre as campanhas. Todas as observações feitas acima corroboram com os valores de clorofila *a* encontrados durante este mesmo mês e que se mostraram bem acima dos demais. Tal fato é um claro indicativo de uma floração cianobacteriana (VIDAL, CAPELO NETO, 2013; 2014). Os resultados encontrados corroboram com outros trabalhos que concluíram que a dinâmica de nutrientes em reservatórios do semiárido é controlada, principalmente, pela variação sazonal das condições climatológicas e hidrológicas (CHELLAPPA et al., 2008).

Na Tabela 1, os valores de IET médio são mostrados para os períodos estudados, de forma que, em todos os períodos estudados, o reservatório pôde ser classificado como hipereutrófico, pois o valor do IET médio ficou em torno de 83,720. Este padrão de hipereutrofia se mantém inclusive ao analisarmos isoladamente o IET para as variáveis fósforo total (PT) e clorofila *a* (cla), todos os valores encontrados

foram acima do limite inferior requerido pela classe 2, de corpos hídricos adequados ao abastecimento (BRASIL, 2005).

Data da Coleta	PT (mg/L)	IET (PT)	Cl _a (mg/L)	IET (Cl _a)	DS (m)	IET (DS)	IET médio	Classificação
03/11/16	31,0	97,13	55,11	72,14	0,75	72,14	84,63	HPE
01/02/17	201,0	94,50	68,46	73,53	0,80	73,53	84,01	HPE
02/05/17	274,0	96,39	36,46	69,49	0,80	69,49	82,94	HPE
01/08/17	178,0	93,77	70,06	73,39	0,60	73,67	83,72	HPE
07/01/17	107,0	90,68	91,63	75,39	0,80	75,39	83,04	HPE
Média dos dados	158,2	94,5	64,34	73,53	0,75	73,60	83,72	HPE

Tab. 1 – Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.*

Em geral, mananciais que se encontram na classe eutrófica ou superior apresentam alta produtividade em relação às condições naturais, acarretando alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos. Como exemplo de inter-relação entre fatores naturais como determinantes de níveis de qualidade de água, podemos citar que em ambientes caracterizados pela conformação irregular de suas margens, onde é possível uma indesejável acumulação de matéria orgânica em baías ou reentrâncias, pode ocorrer o enriquecimento de nutrientes na coluna d'água pela decomposição deste material, piorando a qualidade das mesmas. Mas, por outro lado, o crescimento de uma vegetação litorânea mais consolidada nestas áreas permite uma melhoria na capacidade de absorção destes nutrientes disponíveis no corpo d'água, melhorando a qualidade (BATISTA et al., 2014).

Portanto, considera-se que a variabilidade das distribuições do Índice de Estado Trófico Modificado ao longo de um açude está intimamente condicionada às diversidades ambientais desse ambiente estudado. Dessa forma, como a resposta do Índice pode ser bem representada pela variação das concentrações de seus elementos constituintes, fósforo total, ortofosfato e clorofila *a*, o ponto de amostragem, assim como outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido, se tornam elementos fundamentais na distinção do grau de interferência humana ou natural na qualidade da água desse reservatório.

Conclusão

O efeito de diluição das concentrações de nutrientes na água dos reservatórios durante o período chuvoso pode, por um curto período de tempo, melhorar as características tróficas destes mananciais, mas as

* Fonte: Elaborado pela autora (2022)

cargas de fósforo recebidas devem agravar o estado trófico em longo prazo. Na maioria dos casos, o controle das atividades antrópicas é suficiente como medida restaurativa. A gestão das fontes de fósforo caracteriza-se como uma eficaz estratégia para o controle do processo de eutrofização de reservatórios (MEDIONDO, 2015).

O regime de chuvas do município de Pacatuba acompanhou a sazonalidade climática do estado do Ceará, bem como do nordeste brasileiro, concentrando as precipitações no primeiro semestre do ano. Foi observada variabilidade sazonal dos parâmetros entre os períodos de estiagem e chuvoso e os valores de IET verificados indicaram a presença de condições típicas de um quadro de eutrofização. Desta forma, o processo de alteração da qualidade da água do Açude Gavião, em termos físico-químicos, é mais intenso de janeiro a junho (período de chuvas), ao passo que as mudanças biológicas são mais expressivas nos meses posteriores (julho a dezembro – período de estiagem).

Por estar localizado em uma bacia hidrográfica de grande porte, pelas condições naturais do solo e práticas de manejo aplicadas na área (ocupações irregulares, desmatamento das margens, assoreamento dos afluentes), durante a quadra chuvosa ocorre o agravamento dos processos erosivos, com remoção de maiores quantidades de sedimentos, causando alterações na transparência da água do reservatório. Em conformidade com o disposto por Azevedo et al. (2008), este fato contribuiu, para a redução da zona eufótica (transparência).

Em açudes, a presença ou não de estratificação estável na coluna de água, bem como a interação entre o regime de mistura vertical e a disponibilidade de luz e de nutrientes, tem consequências importantes para o estado fisiológico, produtividade, estrutura, tamanho e composição taxonômica da comunidade de produtores e consumidores, aqui representados pelo fitoplâncton (KIMMEL et al. 1990).

Nos reservatórios do semiárido Nordeste, normalmente a concentração de clorofila *a*, representativa da produtividade fitoplanctônica, se relaciona intimamente ao ciclo hidrológico em razão do índice pluviométrico, sendo comum o registro de valores mais elevados de clorofila *a* nos meses mais quentes, em função do déficit hídrico provocado pela elevada evaporação, acarretando o aumento da concentra-

ção de nutrientes e, consequentemente, de organismos fitoplanctônicos.

Conclui-se que o estado hipereutrófico do Açude Gavião, identificado em todos os períodos estudados, está relacionado com as flutuações sazonais hidrológicas, controladas substancialmente pela chuva (FREIRE, 2000). Dessa forma pode-se verificar que o índice utilizado (IET) constitui uma metodologia bastante prática de avaliação da qualidade de corpos d'água, de fácil interpretação e divulgação dos resultados para o público.

Atualmente, o Gavião é a principal fonte de captação hídrica para o abastecimento humano na região metropolitana do município de Fortaleza, portanto a manutenção da qualidade de suas águas é crucial não apenas para a saúde pública, mas também para a segurança hídrica da população. Desta forma, é possível apontar a necessidade urgente da implementação de políticas eficazes de gestão dos recursos hídricos, com foco no controle das fontes de fósforo e na mitigação dos impactos das ocupações irregulares e do desmatamento das margens, a fim de garantir que o Gavião continue a fornecer água potável de forma segura e confiável para as futuras gerações.

Referências Bibliográficas

1. ANA – Agência Nacional de Águas. Indicadores de Qualidade: Índice de Estado Trófico. Portal PNQA. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portal/pnqa/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 03 de maio de 2018.
2. APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23 ed. Washington: APHA, 1207p., 2017.
3. BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE M. A. DE; IZIDIO N. S. de C.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará. *Revista Agroambiente*, v. 8, n. 1, pp. 39 –48, 2014.
4. CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 2, n. 2, p. 361–369. 1977.
5. CHELLAPPA, NT., CHELLAPPA, SL. and CHELLAPPA, S., 2008. Harmful Phytoplankton Blooms and Fish Mortality in a eutrophicated reservoir of Northeast Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 51, p. 833–841.
6. COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. Ficha Técnica dos Açudes. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dos-acudes-158>. Acesso em: 15/06/2018.
7. FREIRE, R. H. F. Aspectos limnológicos de três reservatórios que abastecem a região metropolitana de Fortaleza – Açudes Pacajus, Pacoti e Gavião. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Fortaleza: UFC. 2000. 308 f.
8. FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Portal Hidrológico do Ceará. Disponível em: <https://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/chuva/diaria>. Acesso em: 01/08/2018.
9. LAMPARELLI, M.C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
10. LIMA, F. F. Estado trófico do açude Acarape do meio com prognósticos usando modelagem matemática. 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
11. VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Aporte de nutrientes no período chuvoso em reservatório de abastecimento humano no Estado do Ceará. *Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. 2013.
12. VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18 (4), 402–407. 2014.
13. WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. 2nd ed. 1983. Philadelphia: Saunders College. 760 p.



O Ceará é pioneiro na construção de planos voltados para gestão de secas e serve de modelo para todo país

Os professores Francisco de Assis de Sousa Filho e Ticiana Marinho de Carvalho Studart, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC) falam para a Revista Inovação em Foco, especialmente sobre Plano Proativo de Secas em Cidades e o Projeto Cientista Chefe – Recursos Hídricos.

Ticiana possui graduação, mestrado e doutorado pela UFC, além de pós-doutorado no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Pesquisador nível 2 do CNPq e Bolsista de Inovação Tecnológica da Funcap no Projeto Cientista Chefe – Recursos Hídricos. Desenvolve pesquisas nas áreas de mudanças climáticas, governança adaptativa da água, gestão proativa de secas e sócio-hidrologia. Atualmente coordena a revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, o Plano Proativo de Secas em Cidades e atuou na coordenação e/ou elaboração de 11 planos de recursos hídricos de regiões hidrográficas do estado, recentemente finalizados.

Já Assis é graduado pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e, com doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (2006) e pós-doutorado na Columbia University. Pesquisador nível 1B do CNPq. Atua na área de Recursos Hídricos, com foco em alocação de água, planejamento hídrico, impactos das mudanças

climáticas e governança de sistemas hídricos, coordenando pesquisas no Grupo de Gerenciamento do Risco Climático para a Sustentabilidade Hídrica da UFC (GRC), assim como Diretor do Centro Estratégico de Política de Águas e Secas (CEPAS), como Cientista-Chefe em Recursos Hídricos da Funcap, e como coordenador da área de Recursos Hídricos da Rede Clima. Recebeu diversas homenagens acadêmicas e premiações, como o Prêmio Flávio Terra Barth da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, a Medalha Gonçalves de Aguiar do Estado do Ceará e a Medalha Paulo de Frontin do Centro de Tecnologia da UFC, principais comendas destas instituições

Revista Inovação em Foco: Como surgiu a ideia de desenvolver um projeto de gestão das secas?

Ticiana Studart e Assis Filho: A gestão de secas está assumindo particular importância na agenda política e institucional brasileira. O país está avançando na construção de uma Política Nacional de Secas e na definição de ferramentas específicas de gestão de secas

para um novo modelo de gestão mais proativo e baseado em risco. O Monitor de Secas do Brasil, implementado em 2013 pelo Governo Federal, em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), entre outras instituições, é um excelente exemplo dessa nova abordagem. O caminho a ser seguido consiste na construção de planos proativos de secas em diversas escalas espaciais, que dialogam entre si: estadual, regiões hidrográficas/bacias, hidrossistemas e dos usos de água, como o abastecimento urbano. O Estado do Ceará é o pioneiro no país na construção destes planos

Revista: Quais são os principais objetivos e metas desse projeto de gestão de secas?

TS e AF: O objetivo central do Projeto é assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades domésticas, econômicas e culturais da população urbana durante períodos de escassez hídrica, substituindo as abordagens reativas tradicionais por uma estratégia proativa e abrangente, antecipando-se aos problemas antes que se tornem crises. As metas do Projeto podem ser classificadas em diferentes aspectos: I. Prevenção e Alerta Precoce: (i) Implementar sistemas de monitoramento contínuo de indicadores hidrológicos, (ii) Estabelecer gatilhos de ação baseados em níveis de reservatórios e estados de seca (Normal, Alerta, Seca, Seca Severa); II. Mitigação de Impactos: (i) Promover práticas de conservação de água na população urbana; (ii)

Reduzir perdas no sistema de distribuição através de melhorias na eficiência operacional, (iii) Diversificar fontes de abastecimento e (iv) Implementar medidas de caráter normativo como restrições de uso e ajustes tarifários; III. Adaptação e Preparação: (i) Elaborar planos operacionais personalizados para diferentes cenários de seca; (ii) Desenvolver infraestrutura de contingência (interconexões, poços de emergência, sistemas móveis), (iii) Capacitar equipes técnicas para implementação das medidas previstas e (iv) Estabelecer protocolos claros de ação – o quê, quando, como, onde, por quem? IV. Resposta Coordenada: (i) Definir responsabilidades institucionais claras para cada fase da seca; (ii) Estabelecer canais de comunicação eficientes entre órgãos gestores, operadores e população, (iii) Implementar medidas graduais conforme a severidade da seca e (iv) Coordenar ações entre diferentes setores (residencial, comercial, industrial) V. Participação Social e Comunicação: (i) Envolver atores relevantes na elaboração e implementação do plano; (ii) Promover campanhas educativas sobre uso racional da água, (iii) Estabelecer canais de comunicação transparentes com a população e (iv) Desenvolver programas de conscientização sobre a importância da prevenção.

Revista: Quais tecnologias ou metodologias inovadoras estão sendo utilizadas para monitorar e gerenciar os recursos hídricos durante períodos de seca?

TS e AF: O projeto destaca uma abordagem inovadora e integrada, utilizando ferramentas tecnológicas avançadas e metodologias adaptativas. O diferencial reside na priorização da prevenção e resiliência, no lugar de apenas reagir às crises. Dois pontos merecem destaque: (i) a adoção de um “Relógio da Seca” – instrumento operacional que sintetiza, para a escala do abastecimento urbano, a leitura dos níveis meta dos Planos de Gestão Proativa de Secas de Hidrossistemas, definidos para os reservatórios. Esses níveis funcionam como gatilhos: ao ultrapassarem determinados limiares de volume, classificam o sistema como Normal, Alerta, Seca ou Seca Severa e orientam as ações construídas para cada estado, no plano operacional. (ii) O processo participativo da construção do plano, com a identificação de vulnerabilidades e de impactos das últimas secas, de acordo com a memória dos atores que efetivamente vivenciaram os eventos, com o propósito de identificar estratégias de adaptação, mitigação e respostas aderentes à realidade social.

Revista: Qual a contribuição da Cagece nesse projeto?

TS e AF: A Cagece, como companhia de abastecimento de água, desempenha um papel fundamental na elaboração do plano proativo de secas, dado que guarda a memória dos problemas operacionais associados ao abastecimento de água na cidade durante as secas, em cinco dimensões: operacional (quantidade e qualidade); econômica e financeira; regulatória, institucional e legal e social/ conflitos. A Cagece é ainda o ator chave na formulação de estratégias de preparação, mitigação e resposta às secas. O foco é a identificação de ações elegíveis que possam ser operacionalizadas em cada estágio de seca. O objetivo





destas estratégias é o de reduzir a vulnerabilidade do sistema às secas e, consequentemente, a severidade dos impactos.

Revista: Como a parceria entre órgãos do setor de recursos hídricos e a universidade tem contribuído para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis?

TS e AF: A parceria entre a Universidade Federal do Ceará e os órgãos do setor de recursos hídricos do Estado transcende a mera transferência de tecnologia, configurando-se como um verdadeiro ecossistema de inovação. Através da coprodução de conhecimento, do engajamento de múltiplos stakeholders e da aplicação de metodologias avançadas, o projeto busca não apenas resolver problemas imediatos, mas também construir a capacidade institucional e social para uma gestão hídrica mais eficiente, adaptável e sustentável a longo prazo.

Revista: De que forma o projeto ajuda a prever, mitigar ou adaptar-se aos efeitos das secas na região?

TS e AF: Em uma abordagem proativa, a memória das secas anteriores não é apagada com as primeiras chuvas. Pelo contrário, as lições aprendidas no passado influenciam as decisões das políticas, da infraestrutura, do armazenamento de água e da alocação hídrica no próximo evento. Atividades pré-evento são projetadas para aumentar os níveis de prontidão e melhorar as capacidades operacionais e institucionais para responder a um evento de seca. Outro fator importante é que os atores sociais estabelecem as regras do jogo, ou seja, assumem suas posições sobre regras de alocação, níveis de racionamento e outras estratégias para reduzir impactos potenciais numa etapa anterior ao evento, ainda sob o "véu da ignorância". Arbitrar conflitos durante uma crise sem regras predefinidas pode ser extremamente desafiador.

Revista: De que maneira a comunidade local é envolvida ou beneficiada por esse projeto de gestão de secas?

TS e AF: A participação e o benefício da comunidade local são aspectos centrais e explicitamente valorizados no projeto, que busca uma abordagem inclusiva e adaptada à realidade das populações. O projeto fomenta a participação ativa da comunidade na concepção e implementação das estratégias do plano. Isso é evidenciado através de metodologias

que envolvem workshops e reuniões com atores-chave. O foco central do projeto é assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades domésticas, econômicas e culturais da população. Ao antecipar e preparar medidas de resposta, o projeto busca garantir um acesso contínuo à água potável, promover a segurança alimentar e reduzir deslocamentos forçados durante secas.

Revista: Quais são as próximas etapas ou inovações planejadas para o desenvolvimento do projeto?

TS e AF: O projeto não se limita a um conjunto estático de ações; ele é concebido para ser dinâmico e adaptativo. A metodologia proposta segue o ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar e Agir), o que significa que o aprendizado e a otimização são intrínsecos ao processo. Após cada evento de seca, as lições aprendidas serão integradas ao plano para seu constante aprimoramento. **Revista:** Em que consiste o termo de cooperação celebrado entre a UFC, a Cagece e outros órgãos do setor de recursos hídricos voltado para gestão das secas? **TS e AF:** O termo de cooperação celebrado entre a Universidade Federal do Ceará (UFC), por meio do Projeto Cientista Chefe – Recursos Hídricos, a Cagece e outros órgãos do setor, tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma abordagem inovadora de planejamento proativo de secas, considerando diferentes escalas espaciais, como regiões hidrográficas, hidrossistemas e cidades. No caso específico da Cagece, o projeto busca a construção de metodologias e estratégias que possibilitem antecipar ações em cenários de escassez hídrica no abastecimento urbano e orientar a tomada de decisão de forma integrada e adaptativa.

Revista: Quando teve início e quais os principais avanços do projeto desde a sua idealização?

TS e AF: O projeto teve início em fevereiro de 2025, após a formalização do termo de cooperação entre os parceiros e a estruturação do plano de trabalho. O principal avanço até o momento está na construção de uma metodologia inovadora para a gestão de secas no abastecimento urbano, que combina o conhecimento técnico com o conhecimento tácito das equipes operacionais e gestores locais. Essa abordagem tem permitido desenvolver soluções mais contextualizadas e efetivas. Como parte do processo, foram realizados o mapeamento das áreas críticas, a modelagem preliminar da

rede de abastecimento e a promoção de oficinas com a equipe da Cagece, voltada ao levantamento dos principais problemas enfrentados durante a seca de 2012 a 2018 e a discussão de possíveis ações para lidar com esses desafios. Está prevista também uma oficina ampliada com outros atores locais para aprofundar o diagnóstico e validar diretrizes de ação locais. A metodologia será aplicada em oito cidades cearenses e, atualmente, encontra-se em fase piloto no município de Crateús. Com essa iniciativa, a Cagece torna-se a primeira empresa de saneamento do Brasil a desenvolver um Plano Proativo de Secas, posicionando-se como referência nacional em planejamento adaptativo frente a variabilidade climática.

Revista: Quais as expectativas dos resultados a partir das pesquisas implementadas a partir dessa parceria?

TS e AF: A principal expectativa é a elaboração de planos proativos de seca voltados aos sistemas de abastecimento urbano das cidades contempladas no projeto. Esses planos irão orientar a incorporação de ações específicas pela Cagece, fortalecendo sua capacidade de planejar e responder de forma antecipada e estruturada aos eventos de seca. Com isso, a empresa tende a se tornar mais resiliente frente à variabilidade climática, minimizando os impactos da escassez hídrica sobre a população. Além disso, espera-se que a metodologia desenvolvida possa ser replicada em outras cidades abastecidas pela Cagece.

Revista: Como essa parceria pode servir de modelo para outras regiões ou setores que enfrentam desafios similares?

TS e AF: A experiência desenvolvida nesta parceria demonstra a viabilidade de se construir, de forma colaborativa, estratégias proativas de enfrentamento da seca baseadas em ciência e em diálogo com os operadores do sistema. A integração entre conhecimento

técnico, científico e prático, aliada ao uso de metodologias adaptativas e participativas, pode inspirar outras regiões do país, especialmente aquelas situadas em contextos semiáridos ou sujeitos à variabilidade climática, a adotarem modelos semelhantes de planejamento e gestão.

Revista: Quais desafios técnicos ou logísticos vocês enfrentaram ao implementar esse projeto?

TS e AF: Entre os principais desafios estão: (i) a integração de bases de dados de diferentes instituições, com formatos e escalas variadas; (ii) a necessidade de articulação interinstitucional para alinhar objetivos e agendas; (iii) a recuperação da memória da seca através da identificação de técnicos que estavam, à época, em posições relacionadas às dimensões Operacional (quantidade e qualidade de água), Econômica e Financeira, Dimensão Regulatória, Institucional e Legal e Social/Conflitos.



Revista: Como os dados coletados e as análises realizadas podem influenciar as políticas públicas ou ações de gestão de recursos hídricos?

TS e AF: As análises desenvolvidas fornecem subsídios técnicos robustos para a formulação de políticas públicas mais resilientes à seca em cidades. Os dados coletados e as análises realizadas permitem identificar quais ações tomadas na seca que deram ou não certo, contribuindo para a priorização de investimentos e revisão de estratégias de gestão de secas urbanas e orientar ações preventivas. A partir da modelagem da rede de abastecimento urbano, torna-se possível avaliar cenários de risco e áreas vulneráveis, para propor ações direcionadas para reduzir os impactos da seca sobre a população. Esse conhecimento técnico qualificado fortalece a tomada de decisão e contribui para uma gestão de secas mais preventiva, eficiente e adaptativa.

Texto por: Eva Silva

sustenta bilingüedad





Desenvolvimento de Citros Utilizando Composto Orgânico de Lodo de Estação de Tratamento de Água

Rafael Santiago da Costa; Cristiano Dantas Araújo; Cailiny Darley de Menezes Medeiros; Fabrício Nunes de Araújo; Claudiane Quaresma Pinto Bezerra

Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Monitoramento de Índices Ambientais

Anna Patrícia de Lima; Heraldo Antunes Silva Filho; Antônio Vinícius da Silva Sousa; Jarbas Rodrigues Chaves

Estudo de Desempenho de Compósitos de Lignina Extraída do Bagaço de Caju (*Anacardium Occidentale* L) como Material Adsorvente de Corante Sintético Industrial

Francisco Edirlan de Sousa Freitas; Maria Valderez Ponto Rocha

Manejo de Resíduos Sólidos Gerados na Casa de Química de uma Estação de Tratamento de Água na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará

Francisca Naiane da Silva Rocha; Maria Regiane Araújo Cavalcante

Sustentabilidade na Construção: Aproveitamento do Lodo de Estação de Tratamento de Água na Produção de Tijolos Ecológicos

Cleyton Oliveira da Silva; Davi Fernandes Tomé

Inovação em Foco III

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece





DESENVOLVIMENTO DE CITROS UTILIZANDO COMPOSTO ORGÂNICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA



Rafael Santiago da Costa (1); Cristiano Dantas Araújo (2); Cailiny Darley de Menezes Medeiros (3); Fabrício Nunes de Araújo(4); Claudiane Quaresma Pinto Bezerra (5);

1. Engenheiro Agrônomo pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNI-LAB). Mestre e Doutor em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).
2. Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário Farias Brito (FBUNI). Mestre em Recursos Hídricos pela UNILAB. Engenheiro da CAGECE.
3. Engenheira Civil pela UFC. Mestra em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela UFC. Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da CAGECE.
4. Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UEVA). Pós-graduado em Gestão em Auditoria, Perícia e Licenciamento Ambiental pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Auxiliar de Engenharia da CAGECE.
5. Engenheira Civil pela UFC. Mestra em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela UFC. Coordenadora de Projetos da CAGECE.

Resumo

O processo de obtenção de água com padrões adequados para o consumo humano gera lodo, que apresenta propriedades químicas interessantes para a produção de compostos orgânicos, comumente utilizados na citricultura. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar doses de composto orgânico produzido com lodo de ETA no desenvolvimento de espécies cítricas em diferentes épocas de avaliação. A condução das espécies cítricas foi realizada no Pomar Experimental, localizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) São Gonçalo, em Tianguá-CE. O Pomar Experimental apresenta 84 plantas frutíferas distribuídas em 7 linhas, cada linha com 12 plantas. Foram selecionadas 2 linhas centrais que continham plantas de laranja e tangerina e após essa definição foi conduzido o experimento sob delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, referente a duas épocas de avaliação (desenvolvimento e floração) e seis doses (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg de composto orgânico) com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As variáveis avaliadas foram altura de plantas, diâmetro do caule e razão entre essas variáveis (ALT/DC), sendo as avaliações realizadas em duas épocas (desenvolvimento e floração). A altura de plantas e o diâmetro do caule foram superiores na época de floração, com incremento de 12,76 e 16,57%, respectivamente. As doses do composto orgânico de LETA incrementaram todas as variáveis avaliadas, com destaque para as doses de 2,4 e 5 kg planta⁻¹. Conclui-se que a adubação com composto orgânico de LETA é uma alternativa economicamente viável, pois melhora o desenvolvimento de espécies de citros.

Palavras-chave: Adubação orgânica; Fruticultura, Resíduos sólidos; Reúso agrícola.

Este texto é um resumo do artigo 'DESENVOLVIMENTO DE CITROS UTILIZANDO COMPOSTOS ORGÂNICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA' de Costa, R. S. et al, publicado em 2025, que será disponibilizado no XXXIX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Metodologia

A condução das espécies cítricas foi realizada no Pomar Experimental, que fica localizado em uma área da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) São Gonçalo, em Tianguá-CE (Figura 1). O Pomar Experimental é uma área demonstrativa que conta com 84 plantas frutíferas de diferentes espécies distribuídas em 7 linhas, cada linha com 12 plantas, que são adubadas com composto orgânico produzido com lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) em Jaburu, Tianguá-CE.



Fig. 1 – Área do Pomar Experimental, localizado na ETE São Gonçalo, Tianguá-CE.¹

Dessas 7 linhas, foram selecionadas 2 linhas centrais que continham 14 espécies cítricas (laranja e tangerina) e após essa definição foi conduzido um experimento sob delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, referente a duas épocas de avaliação (desenvolvimento e floração) e seis doses (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg de composto por planta) com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais (Figura 2).



Fig. 2 – Linha de cultivo das espécies de citros no Pomar Experimental, Tianguá-CE.²

O composto orgânico é oriundo do processo de compostagem aeróbica, através da mistura do lodo produzido na ETA Jaburu, restos de podas e mate-

riais orgânicos obtidos através da coleta seletiva da unidade. As leiras são montadas, irrigadas manualmente e reviradas e após o período de 6 meses é peneirado e utilizado para adubação. Uma amostra do composto finalizado foi coletada e enviada para análise no laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará (UFC), os resultados estão apresentados na Tabela 1.

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
(g/kg)								
1,26	0,1	1,26	10,23	12,21	390,6	32,9	66,7	93,1

Tab. 1 – Resultados analíticos do composto orgânico obtido do lodo da ETA Jaburu – CE.³

Antes da realização do início do experimento, foi realizada uma análise de solo para avaliar o nível de fertilidade do mesmo. Para tanto, foram coletadas amostras compostas, através de um caminhamento em zig-zag em toda a área do Pomar, e após isso, o solo foi misturado e retirado uma amostra, que foi encaminhada para o laboratório de Solos e Água da UFC e os resultados encontram-se na Tabela 2.

pH	P	Ca	Mg	K	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	Fe	Mn	Zn	Cu	C/N	MO	CE
H ₂ O	mg/kg	(cmol/kg)				%		(mg/kg)	%		(mg/kg)	%		-	dag/kg	ds/m
7,8	6,5	5,5	0,6	0,1	-	3,7	6,27	9,95	63	77,7	40,7	5	0,4	20,3	4,12	0,16

Tab. 2 – Resultados analíticos do solo da área do Pomar Experimental – Tianguá, Ceará.⁴

No que diz respeito à adubação, o composto orgânico foi aplicado trimestralmente, nas respectivas doses dos tratamentos, sendo disposto de forma manual através de um recipiente graduado, seguindo a projeção da copa. Atentou-se para o estado fitossanitário das plantas, então, durante a condução do experimento foi realizada a poda, utilizando uma tesoura de poda, retirando-se os ramos ladrões e galhos quebrados com presença de pragas com o intuito de melhorar a incidência de luz e potencializar a eficiência fotossintética das plantas.

A irrigação do Pomar foi realizada através de um sistema de irrigação do tipo ‘xique-xique’, utilizando efluente tratado de esgoto doméstico, oriundo da etapa final de tratamento da ETE São Gonçalo, em Tianguá-CE. O sistema de tratamento consiste em lagoa anaeróbica + lagoa facultativa + lagoa de maturação (em sistema de chicana).

Para acompanhamento do desenvolvimento das espécies de citros no Pomar Experimental, realizou-

^{1 2 3 4} Fonte: Elaborada pelos autores.

-se a mensuração da altura e do diâmetro do caule (base caulinar) de todas as repetições. Para essas avaliações utilizou-se uma trena graduada em cm e um paquímetro digital graduado em mm, sendo as medições realizadas duas épocas de avaliação (desenvolvimento e floração), com um intervalo de 6 meses de uma para outra, agosto de 2023 e fevereiro de 2024.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo pelo teste F realizou-se a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey, por meio do programa computacional Assistat 7.6 Beta com $P < 0,05$. Para os dados de natureza quantitativos, quando significativo pelo teste F, foi realizada a análise de regressão, as equações que melhor se ajustarem aos dados, foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F e com maior coeficiente de determinação, ou maior R^2 . Os gráficos foram confeccionados por meio do programa SigmaPlot versão 11.0.

Resultados e discussões

Observou-se que as variáveis altura de plantas (ALT) e diâmetro do caule (DC) foram influenciadas pelos fatores isolados: épocas e doses, no entanto, a interação entre os fatores mostrou-se não significativa (Tabela 3). No que diz respeito a variável razão altura/diâmetro do caule (ALT/DC), apenas o fator isolado doses foi significativo, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 3).

FV	GL	Quadrado Médio		
		ALT (cm)	DC (mm)	ALT/DC
Épocas (E)	1	5525,52*	946,96**	0,35 ns
Doses (D)	5	19549,54**	2876,81**	6,42**
Int. E x D	5	895,67 ns	81,54 ns	0,44 ns
Resíduo	36	1328,97	99,74	0,32
Total	47	-	-	-
Média Geral		178,94	58,02	3,32
CV (%)		20,37	17,21	17,05

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Tab. 3 – Análise de variância para altura de plantas (ALT), diâmetro do caule (DC) e razão ALT/DC em plantas de citros cultivadas sob diferentes doses de composto orgânico.*

Para altura de plantas foi verificado maior altura na segunda época de avaliação, indicando que as plantas se desenvolveram adequadamente ao longo do desenvolvimento do ciclo da cultura e ao fazer a comparação entre a fase de desenvolvimento e de floração, verificou-se um incremento de 12,76% (figura 3A). Em relação as doses do composto orgânico de LETA, ajustou-se uma equação quadrática,

encontrando o ponto máximo de 219,3 cm de altura de plantas na dose de 2,4 kg de composto por planta (Figura 3B).

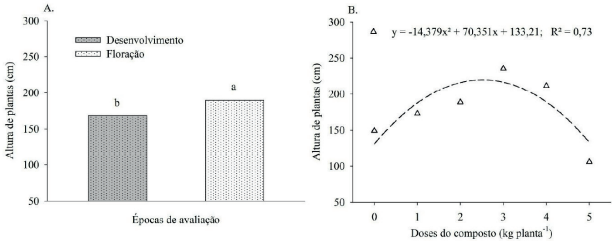


Fig. 3 – Altura de plantas de citros em diferentes épocas de avaliação (A) e submetidas a doses de composto orgânico de LETA (B).*

A utilização de compostos orgânicos fornece nutrientes que são absorvidos pelas raízes das frutíferas e são utilizados para diversas atividades metabólicas da planta, o que contribui para acúmulo de massa seca e favorece o pleno desenvolvimento das culturas (TAIZ et al., 2017). Em complemento, El-Aidy et al. (2018) avaliando o efeito da bioadubação orgânica no crescimento vegetativo, produtividade e qualidade dos frutos de laranjeiras ‘valência’ observaram resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa, pois verificaram que a aplicação de 50% adubo mineral + 50% composto orgânico melhorou o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos, associando esses resultados a liberação lenta dos nutrientes através do composto orgânico.

No que se refere ao diâmetro do caule, observou-se que as plantas incrementaram esta variável ao longo das épocas de avaliação e ao comparar as duas épocas avaliadas, nota-se um incremento de 16,57% na floração (Figura 4A). Para as doses do composto orgânico de LETA, foi verificado um incremento linear em função do aumento das doses, alcançando um acréscimo de 30,73% ao comparar a dose 0 com a dose de 5 kg por planta (Figura 4B).

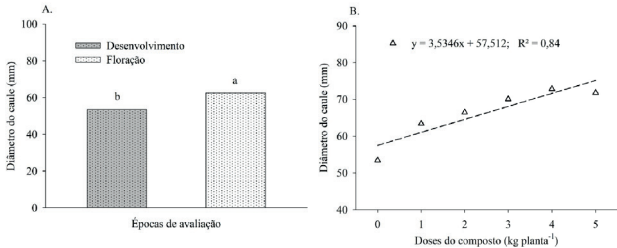


Fig. 4 – Diâmetro do caule de plantas de citros em diferentes épocas de avaliação (A) e submetidas a doses de composto orgânico de LETA (B).*

*** Fonte: Elaborada pelos autores.

Resultados semelhantes foram apresentados por Santos (2019), que ao avaliar doses crescentes do composto orgânico oriundo de esterco bovino e restos de poda no crescimento de mudas de moringa verificaram que a adição da dose de 420 g vaso⁻¹ promoveu incremento de 33,27% em relação a dose testemunha. Nesse sentido, podemos associar os resultados positivos para o incremento do DC ao fornecimento de nutrientes contidos no composto orgânico, uma vez que as plantas utilizam esses nutrientes para assimilação e transformação em biomassa vegetal.

Para a razão ALT/DC foi verificado incremento linear em função do aumento das doses do composto orgânico de LETA, alcançando um acréscimo de 30,73% ao comparar a dose 0 com a dose de 5 kg por planta (Figura 5).

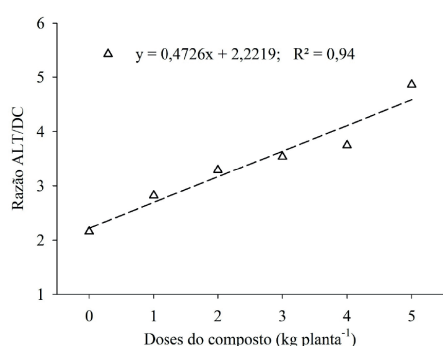


Fig. 5 – Razão ALT/DC de plantas de citros submetidas a diferentes doses de composto orgânico de LETA.*

O aumento da razão ALT/DC em função das doses de composto orgânico de LETA, apresentado na Figura 5, indica que o efeito do composto foi mais evidente sobre a altura de plantas do que sobre o diâmetro do caule. Isso possivelmente ocorreu pelo fato da altura das plantas ser uma variável mais facilmente incrementada, pois a planta investe rapidamente os nutrientes absorvidos em crescimento em altura.

Conclusão

A adubação com composto orgânico de LETA auxilia no crescimento em altura e diâmetro do caule de citros, sendo uma alternativa viável à substituição parcial de fertilizantes químicos. Os citros melhoraram seu desenvolvimento ao longo das épocas de avaliação e ao serem adubados com doses de 2,5 a 5 kg de composto por planta. A utilização de lodo

de ETA como fonte de nutrientes para produção de composto orgânico dá uma destinação ambientalmente correta aos resíduos gerados no processo de obtenção de água com padrões adequados para o consumo humano e pode incrementar a produtividade agrícola

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, E. S.; RIBEIRO, M. M.; VIANA, J. H.; PONTES, A. N. Panorama da disposição de resíduos sólidos urbanos e sua relação com os impactos socioambientais em estados da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 13, e. 20190263, p. 1-12, 2021.
- BARBOSA, K. C.; OLIVEIRA, C. D. S.; MOURA, R. R. O. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos na Colônia Reunida, Paragominas, Pará. *Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 9, p. e493810-e493810, 2023.
- BITENCOURT, G. A.; APOLARI, J. P.; SOUZA, G.; MONTEIRO, R. T. R. Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: Avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. *Scientia Plena*, v. 16, n. 12, p. 1-11, 2020.
- CARVALHO, M. S.; PAULILLO, L. F. O. Evolução das Relações Contratuais na Perspectiva dos Citricultores: um estudo de múltiplos casos de contratos entre 1978/79 a 2011/2012. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 56, p. 51-68, 2018.
- EL-AIDY, A.; ESA, W.; ALAM-ELDEIN, S. Effect of organic and bio-fertilization on vegetative growth, yield, and fruit quality of 'valencia' orange trees. *Journal of Productivity and Development*, v. 23, n. 1, p. 111-134, 2018.
- IORE, F. A.; RODRIGHER, S.; ITO, C. Y. K.; BARDINI, V. S. S.; KLINSKY, L. M. G. Quality of surface water and generation of sludge at water treatment plants. *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 5, p. 1-12, 2020.
- FLAUSINO, M. B.; LIMA, N.; CARVALHO, S. C.; FREITAS, D. M. A.; FIA, R. Quantificação do lodo gerado na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras e relação com a concentração de sólidos na água bruta. In: Congresso ABES/FENASAN, São Paulo. Anais... São Paulo-SP, 2017. p. 1-6.
- LACERDA, K. A. P.; MORAES, J. V. Q.; SILVA, Y. G.; OLIVEIRA, S. L. Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 40753-40763, 2020.
- MARCHIORI, L.; ALBUQUERQUE, A.; CAVALEIRO, V. Industrial solid wastes acting as barrier material for storing solid wastes and wastewaters-A critical review. In: IC SMGE2022-20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Anais... Australian Geomechanics Society, 2022. p. 4829-4833.
- MENEZES, P. V. Produção de mudas de cultivares de berinjela fertirrigadas com diferentes concentrações de solução nutritiva. 202135f. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrônoma), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2021.
- PANDEY, N. Role of plant nutrients in plant growth and physiology. In: Hasanuzzaman, M.; Fujita, M.; Oku, H.; Nahar, K.; Hawrylak-Nowak, B. (eds). *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Singapore. p. 51- 93, 2018.
- SANTOS, A. Y. O. Crescimento de mudas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) submetidas a doses crescentes de composto orgânico. 2019. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- SILVA, R. A.; AGRA, A. C.; ALEIXO, D. L.; NÓBREGA, V. R.; DANTAS, E. A. Situação econômica e produtiva da cultura dos citros no estado da Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 6, n. 3, p. 5, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p

* Fonte: Elaborada pelos autores.



DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÍNDICES AMBIENTAIS



Anna Patrícia de Lima (1) ; Heraldo Antunes Silva Filho (2) ; Antônio Vinícius da Silva Sousa (3) ; Jarbas Rodrigues Chaves (4)

1. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte (IFCE). Agente Comercial II da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
2. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte (IFCE).
3. Técnico em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte (IFCE).
4. Técnico de laboratório no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte (IFCE).

Resumo

Os índices ambientais são ferramentas que sintetizam, matematicamente, o resultado de diversos parâmetros avaliados em uma escala de fácil compreensão e divulgação. No âmbito meteorológico, a temperatura ambiente e a umidade relativa são parâmetros capazes de sustentar uma multiplicidade de índices ambientais relacionados ao conforto térmico. Determinar esses índices é importante e com isso, propõe-se o desenvolvimento e implantação de um equipamento portátil microcontrolado capaz de coletar dados ambientais de temperatura e umidade relativa do ar para o cálculo do Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Essa pesquisa tem como objetivo desenvolver um aparelho versátil e durável, capaz de monitorar e calcular esses parâmetros, visando expandir e facilitar sua aplicação, muitas vezes limitada pela baixa instrumentação disponível no mercado, no qual até existem aparelhos que realizam essas medições, entretanto os mesmos são de custo elevado e extremamente limitados, visto que normalmente, poucos deles são produzidos no Brasil. Além disso, são pouco flexíveis, uma vez estão ligados a softwares e códigos fechados. Dado o exposto, e devido ao baixo custo do software Arduino e da sua facilidade na utilização e programação, permitindo o funcionamento em módulos para adicionar novos recursos, desenvolveu-se um protótipo versátil e durável, capaz de monitorar e calcular os principais índices de conforto ambiental térmico visando expandir esses parâmetros e facilitar sua aplicação.

Palavras-chave: Arduino; Baixo custo; Índices Ambientais; Software.

Este texto é um resumo do artigo 'Desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento de índices ambientais' de Lima, A. P. et al, apresentado em 2024, na 21ª SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Metodologia

Para a composição do protótipo de índices ambientais, optou-se por utilizar tecnologias de software livre, selecionando-se uma plataforma similar ao Arduino Nano, devido à sua popularidade e custo acessível. O projeto foi dividido em duas etapas principais: inicialmente, a montagem dos componentes eletrônicos; em seguida, o desenvolvimento e aplicação do protótipo, que envolveu leituras e armazenamento de dados. A base para o desenvolvimento foi a plataforma de prototipagem similar ao Arduino Nano, acoplada a um sensor de temperatura e umidade modelo DHT22. Este sensor foi conectado diretamente à placa e programado para realizar leituras e cálculos dos índices ambientais. Este componente eletrônico assegura confiabilidade nas medições, oferecendo ajuste de tensão e operando com uma faixa de umidade relativa de 0 a 100% ($\pm 2\%$ RH) e uma faixa de temperatura de -40 a 80°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), com tempo de resposta inferior a 5 segundos, conforme especificações do fabricante. Para aprimorar a funcionalidade do protótipo, foram integrados um módulo RTC DS1302 e um módulo de Cartão SD, possibilitando o armazenamento de dados sincronizados com o tempo real. Além disso, um botão foi incorporado ao sistema para controlar funções de gravação de dados, complementado por um LED de sinalização que indica o status das operações. Essa configuração assegura que as medições de temperatura e umidade possam ser armazenadas de forma eficiente, com a data e hora exatas de cada leitura, facilitando análises futuras e comparações temporais precisas. Os ambientes de testes são abertos (áreas de convivência de instituições de ensino), e fechados (salas de aula e laboratórios). Essa pesquisa tem como objetivo desenvolver um aparelho versátil e durável, capaz de monitorar e calcular os principais índices de conforto ambiental térmico visando expandir esses parâmetros e facilitar sua aplicação, muitas vezes limitada pela baixa instrumentação disponível no mercado.

O protótipo contou com um desenvolvimento regido por seis fases: (1) estudo exploratório, (2) execução dos cálculos dos índices ambientais e implementação de um visor LCD para melhor visualização dos dados, (3) organização do visor LCD com implementação de botão para melhor manuseio e leds sinalizadores, (4) comparação e validação do sensor com equipamentos comerciais, (5) realização de teste com sílica em gel para visualizar a variação de valores, e (6) comparação do protótipo com um termômetro rastreável e com certificação ISO 9001.

A Figura 1 ilustra a primeira ligação do sensor a placa similar a Arduino nano e o estágio final do protótipo e a Figura 2 irá retratar as fases do protótipo.

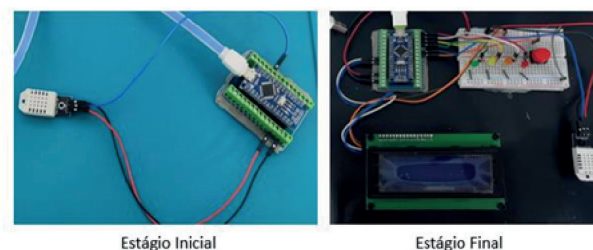


Fig. 1 – Esquema de ligações iniciais e finais dos componentes do DHT22 à placa Arduino¹

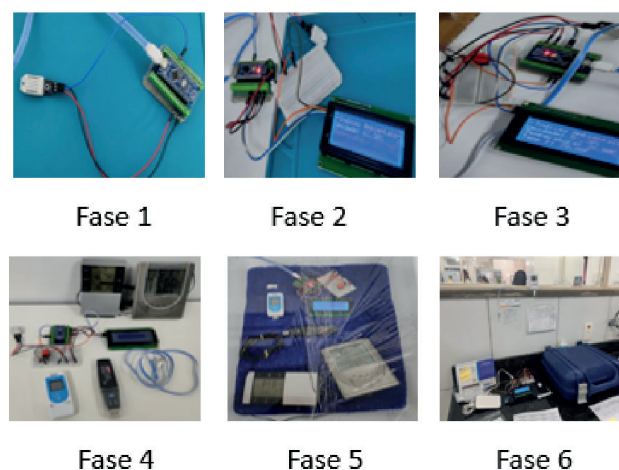


Fig. 2 – Fases do protótipo²

Resultados e discussão

Estudou-se sobre o sensor e mediante a isto, ligou-se ele diretamente a placa similar à do Arduino nano e inclui-se as bibliotecas Wire.h e dht.h, nas quais ao serem aplicadas ao código já mostra os valores reais de temperatura e umidade, onde visualizou-se que ambos estão bem relacionados. Existe uma correlação entre temperatura e umidade, e com isso visualizou-se que os dados obtidos pela leitura bruta do sensor mostraram uma boa resposta de ambas, como mostra a Figura 3.

¹ Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

² Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

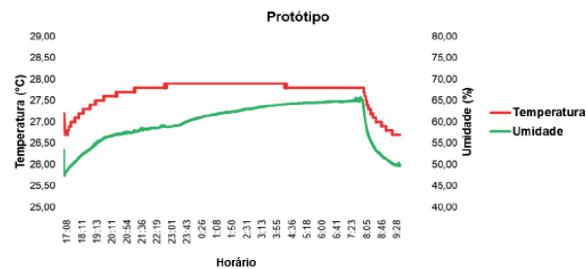


Fig. 3 – Relação Temperatura x Umidade*

Em virtude do que foi mencionado, comparou-se os resultados obtidos pelo sensor com dois termo-higrômetros para verificar sua precisão. Mediante precisão, adicionou-se um visor LCD para mostrar as leituras juntamente com a implementação dos cálculos dos índices ambientais.

Com o código pronto, implementou-se um botão para melhor visualização dos dados no visor e leds para sinalização visual do conforto térmico de cada índice calculado. Comparou-se seus resultados com os dois termo-higrômetros e dois equipamentos comerciais, onde todos mostraram eficiência em seus resultados.

O ápice dos resultados foi visualizado no teste com a sílica em gel, no qual submeteu-se todos os equipamentos em um recipiente submerso na sílica, e em seguida usou-se uma fonte de calor para visualizar como cada equipamento iria se comportar. Na Figura 4 é possível observar nos gráficos que o protótipo foi o primeiro a detectar o pico de elevação da temperatura e queda da umidade, mostrando sua eficiência para mudanças drásticas, já os demais equipamentos levaram um tempo maior a decair para o resultado real diante a situação submetida.

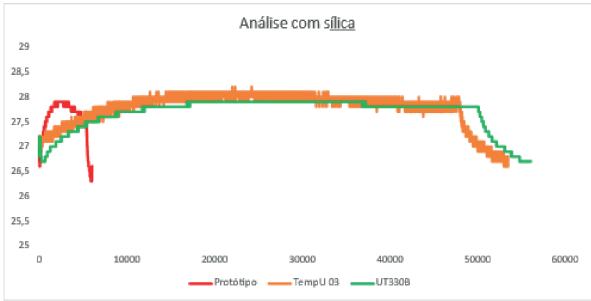


Fig. 4 – Validações do Protótipo*

Para melhor precisão da leitura de dados, submeteu-se o protótipo a uma sala do Laboratório Regional da CAGECE na unidade UNBBJ, no qual tem rastreabilidade creditada pela ISO 9001, onde tem sua temperatura e umidade monitorada por um termo-higrômetro certificado. Com base na Figura 5 têm-se que o protótipo respondeu muito bem ao ficar nesse ambiente e teve seus resultados bastante próximo com o esperado, confirmando sua eficiência.

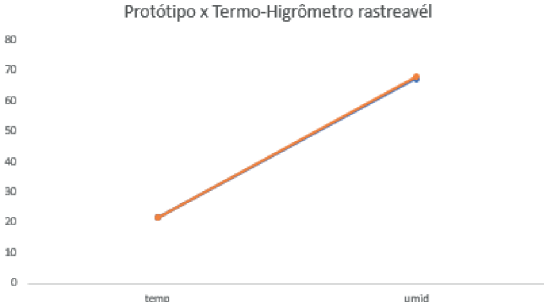


Fig. 5 – Teste com equipamento certificado*

Posto isso, o projeto apresenta um grande potencial sendo atrativo e inclusivo no dia a dia de quem sofre com exposição a esses índices, apresentando custo benefício e podendo ser criado de forma independente, além de fornecer cálculos dos índices ambientais, e implementação de novos sensores, do qual nenhum equipamento do mercado trás, cabendo ao usuário ajustá-lo manualmente.

Conclusão

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que: Este projeto estabelece uma base sólida para futuras pesquisas, uma vez que nos permite implementar o sensor em diversas localidades e adaptá-lo a diferentes cenários, ao mesmo tempo em que automatiza o processo de sua aplicação; A pesquisa se mostra relevante, especialmente para laboratórios que enfrentam limitações financeiras na aquisição de equipamentos comerciais. Por meio deste projeto, torna-se acessível um dispositivo econômico, prático e de uso amplo; Isso acarreta benefícios significativos, possibilitando que essa tecnologia seja aprimorada e expandida de acordo com requisitos específicos, proporcionando autonomia ao público em geral;

* ** Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Essa abordagem abre portas para o potencial aprimoramento e expansão contínua dessa tecnologia, adaptando-se às necessidades individuais e garantindo acessibilidade generalizada.

O propósito desse projeto é disponibilizar e compartilhar essa tecnologia ao público em geral. Em função disso, todos os materiais elaborados no decorrer da pesquisa estão disponíveis no link a seguir: <https://github.com/annapatticia06/Projeto-Indices-Ambientais.git>. Acessando esse endereço eletrônico é possível efetuar o download do código, bem como executar alterações na sua estrutura, conforme as necessidades de sua aplicação.

Referências Bibliográficas

1. Dilly, Rosiene Oliveira; MENDES, Luiz Felipe Carvalho. Aplicação em tempo real de monitoramento de umidade e temperatura utilizando Arduino. Caderno de Estudos em Sistemas de Informação, v. 2, n. 1, 2015.
2. Murta, José Gustavo Abreu. Sensores DHT11 e DHT22: Guia Básico dos Sensores de Umidade e Temperatura. 2019. Eletrogate 5 de janeiro de 2019. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
3. TODA MATÉRIA. Umidade do ar. Toda Matéria, [2023]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/umidade-do-ar/#:~:text=Em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20clima%20do,menor%20ser%C3%A1%20a%20amplitude%20t%C3%A9rmica>. Acesso em: 30 ago. 2023.
4. ELETROGATE. Índices ambientais com Arduino Nano. Blog Eletrogate, [2023]. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/indices-ambientais-com-arduino-nano/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

¹ Fonte: Dados da pesquisa elaborados pelo autor (2017).



ESTUDO DO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS DE LIGNINA EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CAJU (*ANARCADIUM OCCIDENTALE* L) COMO MATERIAL ADSORVENTE DE CORANTE SINTÉTICO INDUSTRIAL



Francisco Edirlan de Sousa Freitas(1); Maria Valderéz Ponto Rocha(2).

1. Doutorando em Engenharia Civil – Recursos Hídricos com área de concentração em Saneamento Ambiental – UFC. Mestre em Energia e Ambiente – Universidade Internacional da Lusofonia Afro-brasileira – UNILAB. Graduação em Química – Universidade Federal do Ceará – UFC com especialização em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário UniAteneu. Supervisor Técnico da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece.
2. Engenheira Química pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Mestre em Engenharia Química – UFC. Doutora em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Professora da Universidade Federal do Ceará – UFC. Pesquisadora do Grupo de Desenvolvimento de Processos Biotecnológicos – Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará – UFC.

Resumo

O presente trabalho investigou o uso da lignina do bagaço de caju e dos compósitos de nanopartículas magnéticas de lignina, na remoção de corantes têxteis industriais utilizando o corante reativo azul turquesa como modelo. Os adsorventes foram caracterizados por infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada a energia espectroscopia dispersiva de raios X (EDS). A influência dos parâmetros pH, concentração de corante, quantidade de adsorvente, temperatura no processo de adsorção, foram analisados, como também o comportamento cinético e isotérmico. Os melhores resultados de adsorção foram obtidos utilizando nanopartículas magnéticas de lignina (LIG-NPM) como adsorvente. O pH 2,0 favoreceu o processo de adsorção e a quantidade de adsorvente que apresentou melhores resultados foi 8 mg/mL. Os dados cinéticos foram melhores representados pelo modelo de pseudo-segunda ordem, com melhor coeficiente de correlação linear, e as isotermas de adsorção que melhor representou os dados experimentais foi a Isoterma de Langmuir. Os resultados obtidos neste estudo de adsorção comparados com os resultados disponíveis na literatura demonstram que o compósito LIG-NPM apresenta-se como um potencial adsorvente de corantes reativos e seu efeito magnético característico facilita o processo de separação.

Palavras-chave: Adsorção; Lignina; Corantes têxteis.

Este texto é um resumo do artigo 'Estudo Do Desempenho De Compósitos De Lignina Extraída Do Bagaço De Caju *Anarcadium Occidentale* L Como Material Adsorvente De Corante Sintético Industrial' de Freitas F. E. S. et al, publicado em 2024, disponibilizado na UNILAB.

Metodologia

Adsorbato

Uma solução estoque de corante reativo azul turquesa Q-G 125 foi preparado na concentração inicial de 1000 mg/L. A partir da solução foram realizadas diluições simples para a preparação dos ensaios de cinética de adsorção.

Preparação dos adsorventes

A lignina (Lig) foi extraída do fruto do caju bagaço por ácido seguido de tratamento alcalino para conforme metodologia descrita por Serpa et al. Depois de obter a lignina, a lignina-magnética compósito de nanopartículas (Lig-NPMs) foi sintetizado seguindo a metodologia descrita por Serpa et al.

Caracterização dos adsorventes

Os adsorventes Lig e Lig-NPMs foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (SEM) juntamente com energia dispersiva espectroscopia (EDS). As amostras foram secas a 50 °C por 24 horas e depositado em fita de carbono, e metalizado com ouro usando Metalizador Quorum QT150ES.

Ensaio de Adsorção

Nos ensaios cinéticos, em intervalos de tempo definidos, as alíquotas foram retiradas, centrifugadas e a concentração residual de

A Figura 1 ilustra a primeira ligação do sensor a placa similar a Arduino nano e o estágio final do protótipo e a Figura 2 irá retratar as fases do protótipo.

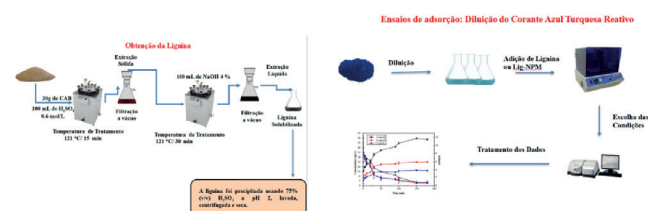


Fig. 1 – Ensaios de obtenção e Adsorção da Lignina¹

Caracterização da Lignina e Lignina-NPMs

As análises de FT-IR da lignina e do compósito Lig-NPMs foram realizadas em um espectrômetro de infravermelho por Transformada de Fourier utilizando um equipamento Cary 630 da Agilent Technologies.

Determinações das isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção foram realizadas em frascos Erlenmeyers de 125 mL, contendo 50 mL de solução de corante azul turquesa, numa faixa de concentração inicial de corante de 25 a 1000 mg/L.

Determinações da estabilidade operacional (Reciclo)

Os ensaios de estabilidade operacional foram realizados em frascos de Erlenmeyers de 125 mL, contendo 50 mL de solução de corante azul turquesa reativo.

Avaliação utilizando um efluente industrial

O efluente utilizado para a realização do experimento é proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto Industrial – ETE da Companhia Estadual de Saneamento do Ceará.

Resultados e discussão

Caracterização da lignina e do compósito de lignina conjugada com nanopartículas magnéticas

A lignina obtida do bagaço de caju e o compósito de lignina conjugada com nanopartículas magnéticas foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.

Caracterização dos adsorventes por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

No espectro de FTIR da lignina, foram identificadas bandas típicas desta molécula, em 3430 cm⁻¹, representando alongamento de grupos OH, em 2962 cm⁻¹ correspondendo ao alongamento CH de grupos metil ou metileno, 2854 cm⁻¹ referente a vibração CH de grupos metil ou metileno, banda a 1737 cm⁻¹ representando a ligação C=O, banda a 1550 cm⁻¹ representando vibrações dos anéis aromáticos.

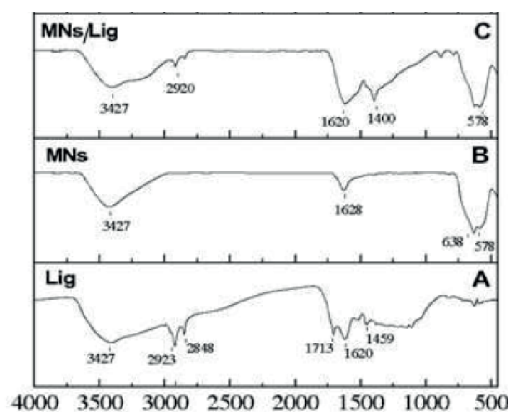


Fig. 2 – Espectros de FTIR das amostras: (A) lignina obtida do pré-tratamento ácido/alcalino (Lig) do bagaço de caju; (B) magnetita Fe3O4 (MNs); (C) lignina conjugada com magnetita (MNs/Lig).²

¹ Fonte: Elaboração própria a partir de metodologias do laboratório de bioprocessos (2022).

² Fonte: Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (2022).

Caracterização do adsorvente por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

Na Figura 3-B1 representa a lignina-NPM, observou-se a presença de áreas superficiais mais rugosas, ou seja, mais poros e espaços disponíveis, favorecendo uma maior eficiência nos processos de adsorção do corante azul turquesa, já na Figura 3-A1 observou-se em sua área ao longo das estruturas menos porosas, mostrando-se menos eficiente, conforme resultados encontrados nos processos de adsorção.

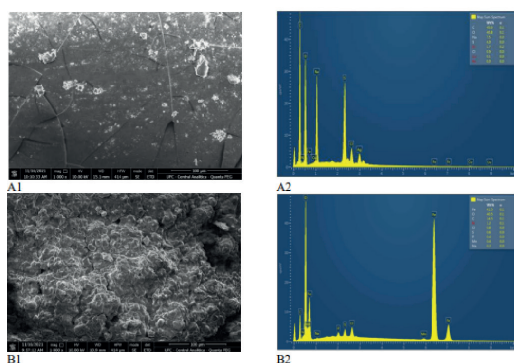


Fig. 3 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura (figuras com índice 1) e espectrograma de dispersão de energia EDS (figuras com índice 2) das amostras: (A1 e A2) lignina obtida do pré-tratamento ácido/alcalino (Lig) do bagaço de caju; (B1 e B2) composto de lignina conjugada com nanopartículas magnéticas sintetizadas (Lig-NPMs).³

Estudo da Carga do adsorvente – Lignina

Com o objetivo de estudar o desempenho da lignina extraída do bagaço de caju, diferentes ensaios foram realizados para avaliar o seu possível uso como adsorvente no tratamento de efluentes contendo o corante reativo azul turquesa.

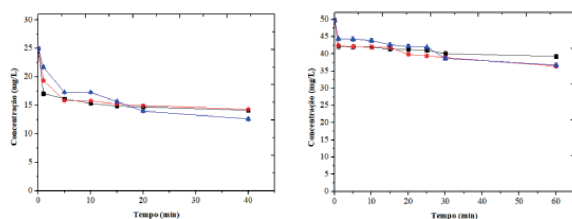


Fig. 4A / 4B – As Figuras 4A e 4B apresentam o perfil de concentração do corante nos ensaios da variação da concentração inicial do corante usando diferentes massas de adsorvente. Figura 4 – Cinética de adsorção do corante reativo azul turquesa usando a lignina como adsorvente a diferentes concentrações iniciais de corante e quantidade de adsorvente, com o processo conduzido a 25 °C e a solução de corante a pH 7,0. (A) 25 mg/L; (B) 50 mg/L. Proporção de adsorventes: (■) 4,0 mg/L; (●) 8,0 mg/L; (▲) 12 mg/L.⁴

Dos perfis analisados com diferentes concentrações de corante no estudo, observou-se um melhor desempenho no ensaio usando a menor concentração

de corante (25 mg/L).

Influência do pH no processo de adsorção usando lignina como adsorvente

O pH afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas, através das mudanças nas cargas superficiais, tanto do adsorvente quanto do adsorbato, fazendo com que assim as interações provocadas no sistema interfiram no processo (PURKAIT, NANDI, 2009).

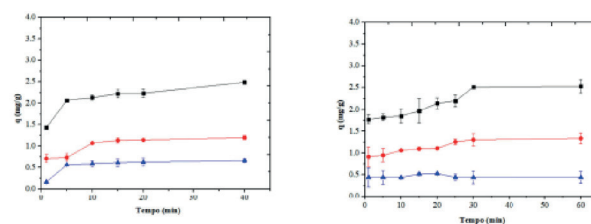


Fig. 5 – Quantidade adsorvida do corante azul turquesa por massa de lignina nos processos usando diferentes concentrações iniciais de corante e de adsorvente. (A) 25 mg/L; (B) 50 mg/L. Proporção de adsorventes: (■) 4,0 mg/L; (●) 8,0 mg/L; (▲) 12 mg/L.⁵

Estudo da influência do pH no processo de adsorção

O pH do meio de adsorção pode afetar muito a carga superficial do adsorvente e a ionização do adsorbato (Aichour et al., 2022).. Então, a influência do pH da solução (1 a 7 do corante azul turquesa GQ no processo de adsorção usando Lig-NPMs foi também avaliado e os dados de remoção, usando uma concentração inicial de corante de 100 mg/L, são apresentados na Figura 6 a porcentagem de remoção desse corante aumenta na medida que o pH da solução diminui para pH 2,0, atingindo uma remoção máxima de 68%, então diminui com o aumento do pH.

Esta etapa do estudo, realizou-se estudos da ciné-

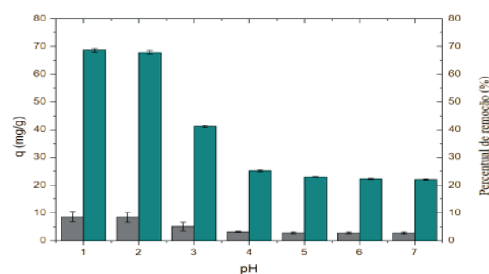


Fig. 6 – Capacidade de adsorção e Percentual de remoção do corante reativo azul turquesa, utilizando diversas faixas de pH.⁶

tica de adsorção variando a carga do adsorvente LigNPMs em diferentes concentrações iniciais de corante, com o intuito de se determinar o tempo de

³ Fonte: Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (2022)

^{4, 5} Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

equilíbrio entre as fases heterogêneas, sólida e líquida, presentes no processo de adsorção, bem como a capacidade de adsorção deste adsorvente. Nesta etapa, também diferentes modelos matemáticos foram avaliados para explicar o comportamento do processo cinético.

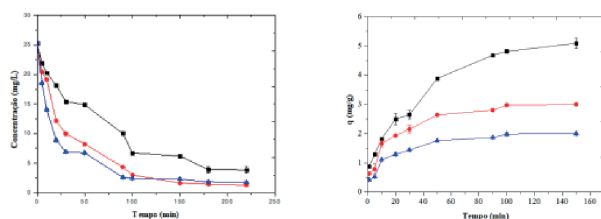


Fig. 7 – (A) Cinética de adsorção e (B) Capacidade de adsorção do corante reativo azul turquesa, com concentração inicial de 25 mg/L, no processo a 25 °C e pH 2,0, usando Lig-NPM como adsorvente em várias proporções de adsorvente. Proporções de adsorvente: (■) 4,0 mg/mL; (●) 8,0 mg/mL; (▲) 12 mg/mL.⁷

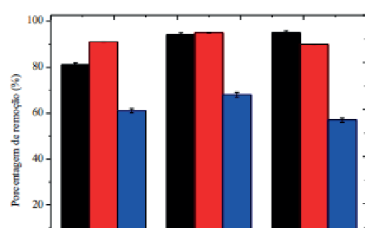


Fig. 8 – Percentual de remoção do corante reativo azul turquesa, usando a Lig-NPM como adsorvente em proporções de 4,0 mg/mL; 8,0 mg/mL e 12 mg/mL, em pH 2,0 e em concentrações iniciais de corante de: (■) 25 mg/L; (●) 50 mg/L e (▲) 100 mg/L.⁸

A Figura 8 mostra o comportamento do percentual de remoção utilizando o adsorvente em condições pré-estabelecida, como pH 2,0 e temperatura de 25 °C, o perfil do gráfico mostra que houve um aumento na remoção da concentração do corante à medida que aumentou a carga do adsorvente, fato observado na concentração de 25 mg/L do corante, para as demais concentrações, houve uma estabilização na remoção corante, tendo seu melhor desempenho para a concentração de 8,0 mg/L de adsorvente.

Conclusão

Os estudos demonstram que o processo de adsorção do corante sintético têxtil industrial reativo azul turquesa, utilizando o compósito sintetizado usado a lignina extraída do bagaço de caju (*Anarcadium occidentale* L) e com nanopartículas magnéticas (Lig-NPM), como adsorvente, apresenta resultado satisfatório, com porcentagem de remoção de 95% nas melhores condições usando uma concentração inicial de corante de 100 mg/L. O processo de adsorção

foi influenciado pelo pH da solução do meio, concentração inicial do adsorvato, quantidade de adsorvente e temperatura. As melhores condições encontradas para o processo foram utilizando o compósito de lignina (Lig-NPM) com concentração de 8,0 mg/mL em pH 2,0 e 25 °C. Também, este adsorvente pode ser reutilizado por até três ciclos sem nenhum processo de regeneração e facilmente separado do meio por ação magnética. Analisando os dados experimentais dos modelos cinéticos citados, sugerem que o mecanismo cinético majoritário é o de pseudo-segunda ordem indicando que o processo adsorptivo não sofre a maior resistência na camada limite. Também, foram aplicados dois modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich, sendo este primeiro, o modelo que apresentou a melhor correlação para o processo de adsorção estudado. O compósito de lignina (LigNPMs) também demonstrou-se eficiente na remoção de corantes de efluentes reais, obtendo uma diminuição da cor de 47%. Então, os resultados obtidos nesse estudo de adsorção, comparados com aos resultados disponíveis na literatura, demonstram o potencial uso do compósito Lig-NPMs como adsorvente, com boa remoção de corante. Somando-se a esse fato, tem-se do mesmo ser obtido de um resíduo da agroindústria do caju por um processo sustentável e esse adsorvente possui características que facilitam sua separação do meio diminuindo os custos com o processo de adsorção.

Referências Bibliográficas

- AKSU, Z.; GÖNEN, F. Binary biosorption of phenol and chromium(VI) onto immobilized activated sludge in a packed bed: Prediction of kinetic parameters and breakthrough curves. *Separation and Purification Technology*, v. 49, p. 205–216, maio 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586605003163>. Acesso em: 04. abr. 2022.
- ASNIN, L. D.; FEDOROV, A. A.; CHEKRYSHKIR, Y. S. Thermodynamics quantities of adsorption described by Freundlich isotherm. *Russian Chemical Bulletin*, v. 49, p. 178–180, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239225207_Thermodynamic_quantities_of_adsorption_described_b_y_Freundlich_isotherm. Acesso em: 16. jun. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – Abiquim – Relatório de desempenho de desempenho da indústria química no Brasil, 2020 – Anual.
- SILVA, N. C. G.; MACEDO, A. C.; PINHEIRO, D. T. P.; ROCHA, M. V. P. Phenol Biodegradation by *Candida tropicalis* ATCC 750 Immobilized on Cashew Apple Bagasse. *Journal of environmental Chemical Engineering*, v. 7, p. 01 – 09, 2019. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371930199X>. Acesso em 15. jun. 2022.
- ROCHA, M. V. P.; RODRIGUES, T. H. S.; MELO, V. M. M.; GONÇALVES, L. R. B.; MACEDO, G. R. Cashew apple bagasse as a source of sugars for ethanol production by *Kluyveromyces marxianus* CEO25. *Journal Industrial Microbiology Biotechnology*, v. 38, p. 1099–1107, 2011. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0889-0>. Acesso em 15. out. 2022.
- SERPA, J. F.; SILVA, J. S.; REIS, C. L. B.; MICOLI, L.; SILVA, L. M. A. E.; CANUTO, K. M.; MACEDO, A. C.; ROCHA, M. V. P. Extraction and characterization of lignins from cashew apple bagasse obtained by different treatments. *Biomass & Bioenergy*, v. 141, p. 105728, 2020. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details>. Acesso em: 20. out. 2022.

⁷ Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

⁸ Fonte: Elaborada pelos autores (2022).



MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NA CASA DE QUÍMICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ



Francisca Naiane da Silva Rocha (1); Maria Regiane Araújo Cavalcante (2)

1. Bióloga (UECE). Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos (UNILAB). Técnica em Saneamento na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).
2. Engenheira Ambiental e Sanitarista (IFCE). Mestre em Administração e Controladoria (UFC). Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos (UNILAB). Técnica em Saneamento na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

Resumo

A produção de água potável nas estações de tratamento, acarreta a geração de resíduos em todas as etapas. Para a proteção do meio ambiente e atendimento da legislação, torna-se necessário conhecer as propriedades desses resíduos gerados, para determinar os melhores métodos de tratamento e disposição final adequada. Com isso, o objetivo geral deste artigo é avaliar os resíduos sólidos gerados na casa de química de uma estação de tratamento de água na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. A pesquisa caracteriza-se por ser quantitativa, estudo de caso único, exploratória, com coleta de dados realizada a partir de levantamento bibliográfico e visitas em campo, com a caracterização, classificação e quantificação dos resíduos sólidos. Os principais resíduos gerados são embalagens de produtos químicos, classificados na Classe II B (inertes) conforme a NBR 10007/2004. A quantidade de embalagens dos produtos químicos oscila segundo a necessidade das dosagens aplicadas. As embalagens estão inclusas no processo de logística reversa, no qual a concessionária de água é responsável pelo recebimento destas embalagens vazias, providenciando seu recolhimento, higienização e encaminhamento para o destino final, que se dá, atualmente, por meio de leilões (bombonas e baldes) ou retorno ao fornecedor (cilindros). Conclui-se com a análise que a gestão de resíduos sólidos gerados na casa de química, observa as normas pertinentes e a legislação aplicável. Para pesquisas futuras, recomenda-se a mensuração e qualificação dos resíduos gerados em todas as unidades que compõem a ETA, bem como avaliar inúmeras estações de tratamento do mesmo porte.

Palavras-chave: ETA. Casa de Química; Resíduos Sólidos; Logística Reversa.

Este texto é um resumo do artigo 'Manejo De Resíduos Sólidos Gerados Na Casa De Química De Uma Estação De Tratamento De Água Na Região Metropolitana De Fortaleza, Ceará' de Rocha, F. N. S. et al, publicado em 2022, disponibilizado nos anais do 32 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Metodologia

Para a execução deste estudo sistemático, foi escolhida uma estação de tratamento de água (ETA) que tem como tecnologia de tratamento a filtração direta. A ETA em questão possui uma capacidade de tratamento de 216 m³ /h e atende ao município de Aquiraz, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, abastecendo cerca de 6.106 ligações ativas de água. O empreendimento possui uma área construída de cerca de 650 m² em um terreno com área aproximada de 3.080 m². A estação opera 24 horas por dia, todos os dias da semana.

A água bruta da ETA Aquiraz é oriunda de captação superficial localizada na Lagoa do Catu, ao entrar na ETA transpõe a torre de nível, em seguida, recebe aplicação de policloreto de alumínio (PAC23), polímero catiônico, finalizando com a aplicação de cloro gasoso para desinfecção. Na sequência, a água é direcionada para os filtros de fluxo ascendente (O1, O2 e O3) e após filtrada, ocorre nova aplicação de cloro gasoso tendo como finalidade a desinfecção. Posteriormente, a água é armazenada em reservatório apoiado (RAP), com capacidade de 300 m³. A partir desse trecho, parte da água segue para o reservatório elevado (REL O3), para ser utilizada na lavagem dos filtros, e parte é encaminhada para outro reservatório elevado (REL O4), de onde é encaminhada para a rede de distribuição (CAGECE, 2022; SNIS, 2023).

A pesquisa utilizou múltiplas formas de coleta de dados, prevalecendo o levantamento bibliográfico para compor o arcabouço teórico e a pesquisa exploratória de campo, composta de visitas técnicas para implantação da rotina operacional, capacitação da equipe de operadores, caracterização, classificação e quantificação dos resíduos sólidos gerados, com anotações em formulários de controle operacional.

Resultados e discussão

Na casa de química da ETA estudada, foi possível observar que os principais resíduos gerados são embalagens de produtos químicos, como bombonas, cilindros e baldes de plásticos, porém, a quantidade de embalagens dos produtos químicos (cloreto de polialumínio – PAC, polímero, cloro gasoso e hipoclorito) oscila de acordo com a necessidade das dosagens aplicadas, que, consequentemente, dependem da qualidade da água bruta recebida na estação.

As bombonas de PAC e polímero – comercializadas em bombonas de 1000L, são caracterizadas como Classe II B (inertes) visto que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, em acordo com a NBR 10007/2004. Conforme as informações contidas na ficha de informação de segurança de produtos químicos (FISPQ) do hipoclorito de cálcio, os baldes de 50 kg fornecidos também podem ser classificados, após sua higienização, como Classe II B, uma vez que não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados quando submetidos aos testes da NBR 10007/2004 e NBR 10006/2004.

As bombonas e baldes estão inclusos no processo de logística reversa, permitindo a minimização dos resíduos, o reaproveitamento e a utilização de métodos adequados para tratamento (BRASIL, 2022). O gerador (concessionária de água) é responsável pelo recebimento destas embalagens vazias, providenciando seu recolhimento, posterior higienização e encaminhamento para o destino final. Atualmente, este material é leiloado. Recomenda-se manter esse resíduo em local bem ventilado, seco, coberto e sob paletes, para evitar possíveis danos nas embalagens e consequentes contaminações ambientais.

O número de embalagens geradas, referente aos produtos químicos, resume-se a: aproximadamente 3 (três) bombonas (1000 l) de PAC por mês, que representa 4,200 m³/mês; cerca de uma bombona (1000 l) de polímero por mês, totalizando 1,400 m³/mês; aproximadamente 24 (vinte e quatro) cilindros de cloro gasoso por mês, que caracteriza 2,106 m³/mês; menos de um balde (45 kg) de hipoclorito de cálcio por semana, que corresponde a 0,030 m³/mês.

Os resíduos de manutenções e as lâmpadas queimadas, são recolhidos pela equipe da companhia de água e esgoto, local onde é realizada a destinação final destes resíduos ou encaminhamento para empresa adequada. Os resíduos encaminhados para a coleta convencional, isto é, resíduos oriundos dos serviços de limpeza do pátio, resíduos do laboratório, bem como rejeitos do banheiro e da casa do operador, têm como destino final o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), situado no município de Caucaia/CE.

O gerenciamento do resíduo dos cilindros de gás, por sua vez, é de responsabilidade da empresa tercei-

rizada pelo fornecimento do cloro gasoso. Desta forma, o trabalho não se deteve ao abordar o manejo deste resíduo especificamente. Outros tipos de resíduos gerados nas dependências da estação de tratamento de água, principalmente papéis (utilizado nas fichas de controle operacional) também não foram considerados por se tratar de uma quantidade insignificante.

No que se refere aos resíduos gerados especificamente na casa de química, é possível afirmar que as etapas de geração, segregação, acondicionamento, coleta, transporte e destinação final são executadas observando as normas pertinentes e a legislação aplicável, tendo ainda envolvidas neste processo empresas credenciadas e com regularidade quanto ao licenciamento ambiental.

Em geral, mananciais que se encontram na classe eutrófica ou superior apresentam alta produtividade em relação às condições naturais, acarretando alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos. Como exemplo de inter-relação entre fatores naturais como determinantes de níveis de qualidade de água, podemos citar que em ambientes caracterizados pela conformação irregular de suas margens, onde é possível uma indesejável acumulação de matéria orgânica em baías ou reentrâncias, pode ocorrer o enriquecimento de nutrientes na coluna d'água pela decomposição deste material, piorando a qualidade da mesma. Mas, por outro lado, o crescimento de uma vegetação litorânea mais consolidada nestas áreas permite uma melhoria na capacidade de absorção destes nutrientes disponíveis no corpo d'água, melhorando a qualidade (BATISTA et al., 2014).

Portanto, considera-se que a variabilidade das distribuições do Índice de Estado Trófico Modificado ao longo de um açude está intimamente condicionada às diversidades ambientais desse ambiente estudado. Dessa forma, como a resposta do Índice pode ser bem representada pela variação das concentrações de seus elementos constituintes, fósforo total, ortofosfato e clorofila a, o ponto de amostragem, assim como outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido, se tornam elementos fundamentais na distinção do grau de interferência humana ou natural na qualidade da água desse reservatório.

Conclusão

A área de saneamento básico passa por um momento de grande desafio na busca pela universalização e inovação dos seus processos para garantir os anseios econômicos, sociais e ambientais requeridos pela sociedade. As estações de tratamento de água funcionam como um dos principais equipamentos nessa busca, pois tem o papel de produzir água potável a ser consumida por inúmeras pessoas. Em paralelo a essa produção de água, ocorre a geração de resíduos sólidos, os quais precisam ser gerenciados com uma nova visão: sistêmica e ampliada. Quando se analisa o funcionamento das ETA, no tocante a geração e disposição dos resíduos, faz-se necessário uma discussão mais profunda para que a cultura de gestão de qualidade se torne uma prática diária.

Com o objetivo de melhorar a qualidade da água produzida, reduzir os custos e a geração de resíduos, a companhia realiza constantemente ajustes operacionais nos equipamentos e dosagem dos produtos químicos durante o tratamento. Esses ajustes são realizados conforme a qualidade da água bruta, impactando diretamente na quantidade gerada de embalagens dos produtos químicos, ou seja, quanto pior for a qualidade da água bruta a ser tratada, mais produto químico precisa ser utilizado para atendimento dos padrões de potabilidade e mais resíduos sólidos são produzidos.

Em consequência disso, foi constatado durante os levantamentos de campo, que os principais resíduos gerados são embalagens de produtos químicos, baldes, bombonas e cilindros, classificados na Classe II B (inertes) conforme a NBR 10007/2004. As embalagens estão inclusas no processo de logística reversa, no qual a concessionária de água é responsável pelo recebimento destas embalagens vazias, providenciando seu recolhimento, higienização e encaminhamento para o destino final, que se dá, atualmente, por meio de leilões (bombonas e baldes) ou retorno ao fornecedor (cilindros).

Conclui-se com a análise, que a gestão de resíduos sólidos gerados na casa de química da ETA Aquiraz, observa as normas pertinentes e a legislação aplicável, adotando a logística reversa e o transporte adequado desses resíduos. Para pesquisas futuras, recomenda-se a mensuração e qualificação dos resíduos gerados em todas as unidades que compõem a ETA, bem como avaliar inúmeras estações de tratamento do mesmo porte.

Referências Bibliográficas

1. ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.18 n.2. abr/jun 2013, 115-122.
2. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2022. Disponível em: <https://atlasesgotos.ana.gov.br>. Acesso em: 09 de março de 2023.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro-RJ, 2004.
5. CAGECE. Sistema Empresarial de Informações. Acesso em: 27 de dezembro de 2022.
6. JÚNIOR, E.M.V., DA SILVA, S.F., DE OLIVEIRA, A.C.B., DE VASCONCELOS, J.V.M. Implantação de procedimentos operacionais padrão em estações de tratamento de água. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária*. Recife, 2019.
7. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/rs>. Acesso em 28 de março de 2023.



SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO: APROVEITAMENTO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS



Cleyton Oliveira da Silva (1) ; Davi Fernandes Tomé (2)

1. Engenheiro Civil pela Universidade Estácio de Sá/ Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB/ Supervisor de Produção.
2. Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE / Técnico em Obras e Saneamento.

Resumo

A fabricação de tijolos é essencial na construção civil, mas seu processo tradicional gera resíduos e consome muitos recursos. Este estudo investiga a viabilidade da quantificação e reutilização do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Quixadá, Ceará, na fabricação de tijolos ecológicos. O objetivo principal foi quantificar o volume de lodo produzido na ETA ao longo dos anos de 2022 e 2023, e avaliar sua capacidade de transformação em tijolos ecológicos. A metodologia utilizada a formulação sugerida pela Association Française Pour L'Etude Des Eaux (AFEE), adaptada conforme as diretrizes de Elie (2023), que restringem a inclusão de lodo na composição dos tijolos a 3%, foram quantificados os volumes de lodo seco gerado nos anos de 2022 e 2023, totalizando 85,35 e 89,56 toneladas, respectivamente. A análise dos dados demonstra que a produção total estimada de tijolos foi de 28.186 unidades em 2022 e 29.395 unidades em 2023, indicando potencialidade na reutilização de resíduos e a estabilidade operacional ao longo do período estudado. Este estudo contribui significativamente para a gestão sustentável de resíduos, oferecendo uma solução ambientalmente amigável para o setor da construção civil, e aponta para futuras pesquisas em otimização de processos e avaliação de impacto ambiental.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos; Tijolos Ecológicos; Tratamento de Água.

Esse texto é um resumo do artigo 'Sustentabilidade Na Construção: Aproveitamento Do Lodo De Estação De Tratamento De Água Na Produção De Tijolos Ecológicos' de Silva, C.O. et al, publicado em 2025, que será disponibilizado no XIX Expressão Católica.

Metodologia

A metodologia empregada neste estudo consistiu na quantificação da produção de lodo para fabricação na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no município de Quixadá/CE conforme representado na Figura 1. A ETA é configurada como uma unidade convencional, composta pelas etapas de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

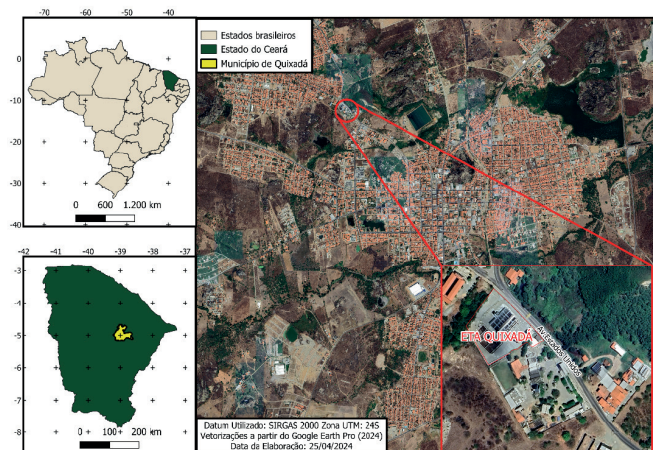


Fig. 1 – Localização da área de estudo.¹

A ETA foi projetada com uma capacidade nominal de tratamento de 360 L/s. A água bruta é proveniente do Açude Pedras Brancas, localizado a aproximadamente 40 km de distância da ETA. O processo de tratamento na ETA inicia nos floculadores, seguido pelos decantadores e filtros. A água utilizada na lavagem dos filtros é encaminhada para os leitos drenantes, onde o lodo é retido até atingir a umidade adequada para o descarte.

Os produtos utilizados no tratamento incluem Cloreto de Polialumínio (PAC-23), Cloro gasoso e Polímero catiônico em pó.

Na ETA Quixadá, os resíduos são gerados principalmente durante a lavagem dos filtros, a descarga dos decantadores e nos tanques utilizados para preparar soluções e suspensões de produtos químicos. Para lidar com esse passivo, foi desenvolvido o projeto da Estação de Tratamento de Resíduos Gerados (ETRG), que adota como metodologia o uso de Leitos Drenantes, com três módulos. O lodo retido nos leitos pode ser encaminhado para Aterros Sanitários, uma vez que, de acordo com a NBR 10004 (1987), os lodos provenientes das ETAs são classificados como resíduos sólidos e devem ser dispostos de forma a não causar danos ao meio ambiente. A água drenada dos

leitos, por sua vez, pode ser reutilizada no processo de produção, como na lavagem dos filtros, contribuindo para a redução do consumo de água e para a eficiência do sistema.

Quantificação de Lodo

Neste estudo, foi abordada a aplicação de formulações empíricas na estimativa da produção de lodo seco em ETAs. Considerando a relevância de compreender e prever a geração de lodo nessas instalações, exploramos uma formulação mencionada na literatura para tal fim.

Diversas abordagens foram propostas ao longo do tempo para estimar a produção de lodo em ETAs. Essas formulações, muitas vezes empíricas, oferecem uma maneira pragmática de relacionar variáveis operacionais e características da água bruta com a produção de sólidos. Tais estimativas são particularmente valiosas dadas as limitações de tempo e recursos associados a métodos mais diretos de determinação da geração de lodo, como ensaios de jarros e estações-piloto (KATAYAMA, 2012).

Neste estudo, foi utilizada a formulação proposta pela Association Française Pour L'Etude Des Eaux (AFEE) em 1983, conforme citado por Katayama (2012), expressa na equação 1.

$$P = (1,2 \cdot Tu + 0,07 \cdot C + 0,17 \cdot D + A) \cdot 10^{-3}$$

(1)

Onde "P" representa a produção de sólidos em kg de matéria seca por m³ de água bruta tratada, "Tu" é a turbidez da água bruta em unidades de turbidez (UNT), "C" é a cor aparente da água bruta em unidades de cor (uH), "D" é a dosagem de sulfato de alumínio em mg/L, e "A" representa outros aditivos, como polímeros, em mg/L que foram aplicados aos dados operacionais de 2022 e 2023.

Resultados e discussão

O açude Pedras Brancas tem mostrado sinais preocupantes de eutrofização, um fenômeno atribuído principalmente ao acúmulo de matéria orgânica durante os ciclos de enchimento e esvaziamento. O processo de eutrofização é agravado pela entrada excessiva de nutrientes, o que pode levar a um crescimento descontrolado de algas, deteriorando a qualidade da água e afetando a biodiversidade aquática local.

A turbidez da água bruta, um parâmetro crítico no processo de tratamento de água, está diretamente relacionada à quantidade de sólidos em suspensão e partículas presentes na água. Estas partículas são as responsáveis pela aparência turva da água e desempenham um papel crucial na qualidade da água tratada, além de influenciarem os custos operacionais e a eficiência do tratamento.

A relação entre a turbidez da água bruta e a produção de lodo é diretamente proporcional. Elevadas turbidezes indicam uma maior quantidade de partículas suspensas que devem ser removidas, resultando numa maior produção de lodo. Inversamente, baixas turbidezes sugerem menos partículas e consequentemente uma menor geração de lodo. Durante o processo de coagulação/floculação, coagulantes são adicionados para aglutinar as partículas finas em flocos maiores, que são posteriormente removidos, formando o lodo. Assim, uma turbidez mais alta exige mais coagulantes e resulta em mais lodo.

Este lodo não é meramente um resíduo, mas contém materiais recicláveis que podem ser reutilizados, como na produção de tijolos ecológicos. Essa prática não apenas diminui a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, mas também promove a sustentabilidade ao reutilizar recursos.

Em 2022, a turbidez iniciou alta em janeiro, diminuindo significativamente até maio e estabilizando-se posteriormente, alinhado com o período chuvoso do Nordeste brasileiro de janeiro a abril, quando a turbidez tende a ser mais elevada devido ao arraste de partículas para os mananciais. Após este período, de maio a dezembro, durante a estiagem, a turbidez manteve-se baixa.

Já em 2023, apesar dos baixos níveis de turbidez durante a maior parte do ano, observamos um pico nos meses de março e abril, refletindo os períodos chuvosos que caracterizaram esses meses. Esse aumento na turbidez durante os meses chuvosos destaca a importância de estratégias adaptativas na gestão da captação e tratamento de água, para lidar eficientemente com as flutuações naturais e garantir a continuidade na qualidade da água tratada e na sustentabilidade das operações de tratamento. O gráfico indica notáveis variações na cor aparente da água em 2022, com picos observados em março e agosto, seguidos por uma diminuição em novembro. Essas flutuações podem ser associadas a eventos

sazonais, como aumento na eutrofização devido a períodos de maior temperatura e incidência solar, que promovem o crescimento de algas e outros organismos aquáticos. Em contraste, o gráfico de 2023 apresenta uma cor aparente relativamente constante, em torno de 100 uH ao longo de todos os meses. Este padrão de estabilidade é provavelmente um reflexo da recuperação volumétrica do reservatório, que passou de 2,84% do seu volume em janeiro de 2022 para 21,18% em abril de 2023 (FUCEME, 2023).

A cor aparente da água é um parâmetro crítico nas operações de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), pois afeta diretamente a quantidade de lodo produzido. Aumentos na cor da água indicam maior presença de matéria orgânica e microorganismos, que exigem ajustes nos processos de coagulação e floculação para sua remoção. Consequentemente, isso leva a uma maior formação de lodo, uma vez que o volume e a natureza dos flocos formados durante o tratamento são intensificados.

O monitoramento da cor aparente da água é, portanto, fundamental não apenas para assegurar a qualidade da água, mas também como um indicador no cálculo estimativo da quantidade de lodo que será gerada em uma ETA. Este indicador é essencial para planejar a gestão e disposição adequada do lodo, sendo considerado um item crucial na formulação para a quantificação do lodo. As variações na cor impactam diretamente na eficiência dos processos de tratamento e nos custos operacionais relacionados à manipulação e tratamento do lodo. Conforme a figura 5, que detalha o uso de polímero catiônico em pó no tratamento de água, observamos informações importantes sobre a eficácia deste produto como auxiliar de floculação. O uso do polímero catiônico começou em agosto de 2022, o que é claramente evidenciado pelo aumento acentuado na linha azul escuro no gráfico.

Este aumento inicial reflete a fase de ajuste na dosagem do polímero, buscando alcançar a eficácia desejada no processo de floculação. Após o período inicial de ajustes, a quantidade do polímero usada estabilizou-se, sugerindo que a dosagem necessária para uma floculação eficaz foi alcançada e mantida. A estabilização indica que a dosagem encontrada é adequada para as condições correntes de operação e qualidade da água.

É importante notar que o uso de polímeros como auxiliares de floculação contribui diretamente para o aumento na quantidade de lodo produzido. Isso ocorre porque os polímeros melhoram a aglomeração de partículas, formando flocos maiores e mais densos que são mais facilmente removíveis por sedimentação. Assim, quanto maior a quantidade de polímero utilizada, maior tende a ser a quantidade de lodo gerado. Portanto, a monitoração contínua do uso do polímero é crucial, não apenas para entender sua eficácia na melhoria da qualidade da água tratada, mas também para gerenciar o volume de lodo produzido e otimizar o processo de tratamento de água.

A Figura 6 ilustra a variação na dosagem de coagulantes para a água bruta do açude Pedras Brancas, localizado em Quixadá, e destaca padrões significativos que se correlacionam diretamente com o ciclo sazonal no Nordeste do Brasil. Observa-se um incremento na dosagem de coagulantes no início do ano, particularmente nos meses de março e abril, que coincidem com o período chuvoso. Durante esta fase, a água bruta apresenta um aumento na turbidez e na quantidade de partículas, o que exige um ajuste na dosagem de coagulantes para assegurar a eficácia do tratamento. A análise mensal das dosagens de coagulantes reflete a resposta do processo de tratamento às flutuações nas características da água bruta. Essa adaptação dinâmica é crucial para manter a qualidade da água tratada dentro dos padrões regulamentares.

É importante acrescentar que o aumento na dosagem de coagulantes tem um impacto direto na geração estimada de lodo, principalmente nas fases de decantação e floculação do processo de tratamento. Consequentemente, uma maior dosagem de coagulantes não apenas melhora a eficácia na remoção de contaminantes, mas também aumenta o volume de lodo produzido. Este aspecto deve ser considerado no planejamento e na gestão dos resíduos gerados, pois implica maiores exigências tanto em termos de tratamento quanto de disposição do lodo. Esta correlação destaca a importância de um equilíbrio cuidadoso entre a dosagem necessária para alcançar a qualidade de água desejada e a gestão eficiente dos subprodutos gerados no processo.

Conforme observado na Figura 7, a geração estimada de lodo é maior entre os meses de janeiro e abril, período este que coincide com a estação chuvosa.

Durante esta fase, há um aumento na quantidade de impurezas na água, o que está diretamente relacionado com os dados apresentados nas Figuras 3 e 4, que monitora a turbidez da água bruta.

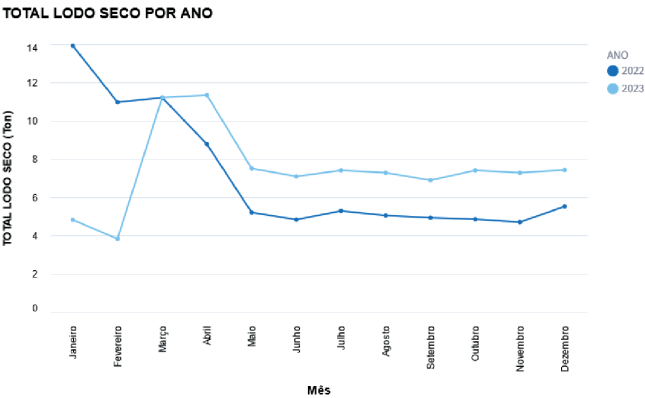


Fig. 2 - Variação estimada de lodo seco.²

Este estudo utilizou a formulação proposta pela Association Française Pour L'Etude Des Eaux (AFEE) para quantificação de lodo seco na fabricação de tijolos ecológicos, considerando as recomendações de Elie (2023), que sugere um limite máximo de 3% de lodo para manter a resistência adequada do material. A análise baseia-se na geração estimada de lodo seco nos anos de 2022 e 2023.

Com essa formulação foi possível chegar quantidade de total de lodo seco para os anos 2022 e 2023, que indica produções de 85,35 e 89,56 toneladas respectivamente.

Para quantificação de lodo seco na estimativa de produção de tijolos ecológicos, considerando as recomendações de Elie (2023), que sugere um limite máximo de 3% de lodo para manter a resistência adequada do material. A análise baseia-se na geração estimada de lodo seco nos anos de 2022 e 2023. Com base nos dados fornecidos pela Tabela 2, que detalha a geração de lodo total e a produção estimada de tijolos ecológicos nos anos de 2022 e 2023, uma análise cuidadosa revela padrões interessantes e implicações para a gestão do tratamento de água e reutilização de resíduos.

Durante o ano de 2022, a quantidade de lodo gerado variou significativamente ao longo dos meses, com um pico em janeiro de 13,92 toneladas e uma queda acentuada em maio para 5,22 toneladas. A produção de tijolos estimada seguiu a mesma tendência das

variações do lodo, refletindo a disponibilidade do material para reutilização. Essas flutuações podem estar relacionadas às instabilidades nos parâmetros de entrada como a turbidez e a cor da água, além das variações na dosagem dos produtos químicos usados no tratamento. Tais variações influenciam diretamente a quantidade de lodo produzido, afetando a continuidade e a eficiência da produção de tijolos. Em contraste com o ano anterior, 2023 mostrou uma maior estabilidade na produção de lodo e na fabricação de tijolos ecológicos, com menores variações mensais. Essa consistência pode ser atribuída à instabilidade dos parâmetros de turbidez e cor, bem como à dosagem dos produtos químicos. Esses fatores levaram a um controle mais efetivo do processo de tratamento, resultando em uma geração de lodo mais previsível e em um aproveitamento mais uniforme para a fabricação de tijolos.

Comparando os dois anos, nota-se que em 2023 a produção estimada de tijolos foi mais regular e próxima da média mensal, enquanto que em 2022 houve maior variabilidade. A redução significativa na geração de lodo em fevereiro de 2023, caindo para 3,84 toneladas, merece uma análise mais detalhada. Este declínio pode estar relacionado a mudanças na qualidade de água bruta, vazão de captação e ajustes finos nos processos de coagulação e floculação, que influenciaram a qualidade da água tratada e, por consequência, a quantidade de lodo produzido. Esses resultados indicam que a incorporação de lodo seco em limites aceitáveis pode ser uma alternativa sustentável e viável para a produção de tijolos ecológicos, atendendo à crescente demanda por materiais de construção mais sustentáveis. A utilização do lodo seco não apenas contribui para a gestão adequada de resíduos industriais, mas também reduz o impacto ambiental associado à extração de matérias-primas tradicionais.

Conclusão

Este estudo investigou a quantificação e a viabilidade de utilização do lodo gerado na ETA de Quixadá para a fabricação de tijolos ecológicos. Utilizando a formulação proposta pela Association Française Pour L'Etude Des Eaux (AFEE), adaptada com as recomendações de Elie (2023) que sugere um limite de incorporação de até 3% de lodo para manter a integridade estrutural dos tijolos.

Os resultados demonstraram uma variação significativa na estimativa na geração de lodo ao longo dos anos de 2022 e 2023, influenciada pela turbidez e cor da água e pela dosagem de produtos químicos.

As principais contribuições deste estudo incluem a validação da aplicabilidade de lodo de ETA na produção de tijolos ecológicos, proporcionando uma alternativa sustentável para o manejo de resíduos. Além disso, a pesquisa contribuiu para a literatura sobre gestão de resíduos em ETAs, apresentando uma solução prática e eco-friendly que pode ser replicada em outras regiões ou contextos com desafios semelhantes.

Para expandir a compreensão e a eficácia desta aplicação de lodo, recomendamos a realização de estudos de longo prazo focados na durabilidade e nas propriedades físicas dos tijolos ecológicos utilizando lodo de ETA. Seria benéfico explorar a otimização das formulações de lodo, variando as proporções e combinando-o com outros materiais recicláveis, para melhorar a qualidade e as características dos tijolos.

Futuras investigações também deveriam incluir análises de impacto ambiental detalhadas para avaliar a sustentabilidade da utilização de lodo de ETA em larga escala. Adicionalmente, a implementação de novas tecnologias para reduzir a quantidade de lodo gerado e a modelagem avançada para previsão e otimização dos processos de tratamento de água poderiam significativamente aumentar a eficiência operacional e ambiental das ETAs.

Referências Bibliográficas

1. Silva, L. F. (2018). Utilização de resíduos na produção de materiais de construção: uma alternativa sustentável. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, 15(2), 79–88.
2. ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES EAUX – AFEE. Traitment des boues de stations de production d'eau potable [S.l.]: AFEE, 1993
3. AKAMATSU, Claudio; ROSS, Natiéli C. M. Estudo de aplicação de lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos. 2017. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química– Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.
4. Buselatto, D. M., Wenzel, M. C., Rocha, G. H. da., Webber, J., Silva, S. R. da., & Andrade, J. J. de O.. (2019). Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(1), e–12270. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190001.0645>
5. FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Hidro CE Zend. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/>. Acesso em: 27 abr. 2024.
6. Souza Elie, C. H. D. Incorporação de resíduos de lodo da ETA no tijolo de solo-cimento: uma alternativa sustentável. Revisão Sistemática de Literatura. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Santa Maria, RS, Brasil, 2023.
7. Machado, A. O., & Araújo, J. A. Avaliação de tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e resíduos da construção civil. Em: XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2024, Resende-RJ. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/41220411.pdf> Acessado em 08 de abril de 2024.
8. Meert, R., Hastenpflug, D., & Andrade, J. J. de O.. (2021). Contribuição para o uso de lodo de estação de tratamento de água in natura como agregado miúdo em concretos de cimento Portland: Avaliação da consistência, massa específica, porosidade, absorção, resistência à compressão e tração na compressão diametral. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26(3), e13025. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13025>
9. Katayama, Victor Takazi. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. São Paulo, 2012. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.
10. Rodrigues, L. P.; Holanda, J. N. F.. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. Universidade Estadual do Norte Fluminense, LAMAV-CCT, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil.

gestão tecnologia





Canteiro de Obras Rurais: Edificação Projetada para se tornar Sede de Associação Comunitária no Contexto do Programa Água do Sertão

Cyntia Pereira; Antonio Negreiros; Flávia Mendes; Francisco Aragão; Patrícia Kelry.

Gestão do Atendimento ao Grande Cliente – Um Case de Sucesso em Companhia de Saneamento

Flávia Cristina da Silva Sousa Taleires; Luana Acário Braga Gaspar.

Identificação de Conluio em Licitações Públicas com Base no Algoritmo Graphsage

Marcos Leno Ferreira Pompeu; Raimir Holanda Filho

Possíveis falhas na correção do fator de potência, e geração de harmônicas após instalação de Inversor de Frequência

João Alves dos Santos Neto

Inovação em Foco III

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece





CANTEIRO DE OBRAS RURAIS: EDIFICAÇÃO PROJETADA PARA SE TORNAR SEDE DE ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA NO CONTEXTO DO PROGRAMA ÁGUA DO SERTÃO



Cyntia Pereira (1); Antonio Negreiros (2); Flávia Mendes (3); Francisco Aragão (4); Patrícia Kelry (5).

1. Tecnóloga da Construção Civil – Edificações (URCA). Pós Graduada em Gestão Ambiental (URCA). Gerente da Gerência de Obras do Programa Águas do Sertão – GOPAS (CAGECE).
2. Graduado em Engenharia Civil (UFC). Coordenador do Programa Águas do Sertão – UGP PAS da Secretaria das Cidades do Ceará (SCIDADES).
3. Graduada em Engenharia Civil (UFC). Mestranda em Engenharia Agrícola (UFC). Especialista em Saneamento do Programa Águas do Sertão – UGP PAS da Secretaria das Cidades do Ceará (SCIDADES).
4. Tecnólogo em Saneamento Ambiental (IFCE). Graduando em Engenharia Civil (UNINASSAU). Supervisor de Obras na Gerência de Obras do Programa Águas do Sertão – GOPAS (CAGECE).
5. Tecnóloga em Saneamento Ambiental (IFCE). Pós Graduada em Gestão Ambiental (FAS). Supervisora Técnico Social na Gerência de Obras do Programa Águas do Sertão – GOPAS (CAGECE).

Resumo

Na execução de obras civis, está inserido na planilha orçamentária, um item para a implantação de um canteiro de obras. Essa edificação, se dá pela necessidade de alocar um ponto de apoio para suporte da obra. O espaço deve ser funcional e também destinado à uma área de vivência, promovendo a melhoria do trabalho na construção civil. Em obras civis nas áreas rurais, especificamente em obras de Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotamento Sanitário, nunca foram vislumbradas a implantação de um canteiro de obras. Por meio do Programa Águas do Sertão (PAS) foi implementado uma inovação para este tipo de edificação, sendo desenhado uma tipologia de canteiro, nomeado de Canteiro de Obras Rurais, que contempla os critérios mínimos para a execução de uma obra de saneamento, e que ao término, essa estrutura não seja desmobilizada e se transforme na sede da associação da comunidade beneficiada. A construção do canteiro de obras rurais tem como um de seus objetivos o resgate da dignidade para os trabalhadores e demais envolvidos na execução da obra. Além disso, a execução de uma edificação que em vez de ser demolida, será utilizada como objeto para fortalecer o associativismo, atingindo um grande marco na história de uma associação, que luta incansavelmente para ser beneficiada por projetos que agreguem qualidade de vida para os seus associados. A relevância social deste projeto não consegue medir o tamanho do impacto que as intervenções executadas na comunidade vão somar positivamente na qualidade de vida da população beneficiada.

Palavras-chave: Canteiro, obras, associação, rural, saneamento.

Este texto é um resumo do artigo 'Canteiro de obras rurais: Edificação projetada para se tornar sede de associação comunitária no contexto do Programa Águas do Sertão' de Araújo, C. P. N. et al, publicado em 2025, disponibilizado nos anais do 33º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES.

Metodologia

Para viabilizar a execução do projeto do canteiro de obras rurais é necessário que a comunidade disponha de um terreno com área suficiente para a estrutura e com localização adequada, tanto para a logística da obra, como para uma futura sede de associação. Para isso, a equipe social do Programa Águas do Sertão – PAS realiza toda a articulação e tratativas junto a comunidade e município, em busca da área necessária. É realizada uma parceria entre a executora da obra e o proprietário do terreno, que pode ser este público ou privado, firmando-se um termo de doação do terreno para construção do canteiro de obra rural, como forma de contrapartida local, fazendo com que após término da obra, o local e a edificação que foi instalada passe a ser de posse da associação comunitária.

Uma característica muito relevante é que a aquisição do terreno é realizada através de doação do proprietário, não onerando custos agregados para implantação do projeto, pois o custo com a área a ser implantado o canteiro, já está incluso no orçamento da obra. Dessa forma, a otimização dos recursos públicos é muito eficiente pois o local não sofrerá a desmobilização estrutural, não sendo necessário nenhum custo a mais para que seja transformado na sede da associação local.

Para implantação deste projeto, ficam padronizadas as condições mínimas aceitas para instalação do canteiro de obra rural de SAA's e SES's rurais, que devem dispor dos seguintes ambientes: escritório, refeitório, almoxarifado e banheiros. Toda essa estrutura deverá ter suas metragens adaptadas a área disponibilizada, respeitando sempre os ambientes mínimos propostos. Importante salientar que as obras executadas pelo Programa Águas do Sertão podem receber essa estrutura, desde que possuam áreas suficientes e condições adequadas para a construção da referida edificação.

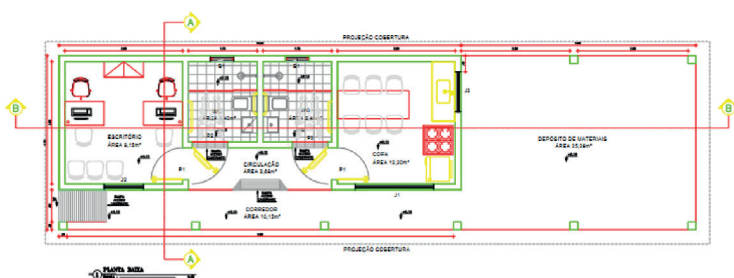


Fig.1 – Modelo de croqui do canteiro de obras rurais¹

Resultados e discussão

Com a implantação do projeto, podemos elencar a efetividade de inúmeros resultados que envolvem desde os trabalhadores da execução da obra, a associação contemplada com a edificação do canteiro, a população beneficiada com um bem que se torna patrimônio da sua comunidade, como toda a região que está inserida com os benefícios do projeto.

Podemos focar em alguns resultados tais como:

1. Garantir segurança e produtividade dos trabalhadores;
2. Garantir a otimização do espaço e a produtividade da obra;
3. Reduzir custos;
4. Otimizar recursos públicos;
5. Empoderar a comunidade beneficiada;
6. Fortalecer os laços de solidariedade em grupo;
7. Reunir esforços para desenvolver atividades de interesse comum;
8. Melhorar a qualidade de vida dos associados;
9. Promover o desenvolvimento socioeconômico da comunidade;
10. Promover o associativismo;
11. Resgatar a cidadania.

O Programa Águas do Sertão – PAS, de forma ainda muito tímida, implementou o primeiro projeto piloto do canteiro de obras rurais no Ceará, na execução da obra do Sistema de Abastecimento de Água na comunidade de Capim Grosso, no município de Russas, onde após o término da obra, a infraestrutura foi transformado na sede da associação comunitária local.

Pelos históricos das obras de saneamento, principalmente no que se refere ao saneamento rural, o Ceará está muito a frente se comparado aos outros estados do país, se tornando referência em saneamento rural, e este projeto torna o Ceará pioneiro novamente, pois no país não existe essa modalidade de execução de canteiro de obras.

Com a implantação deste projeto, verifica-se o processo contínuo de ganho de conhecimento, remodelando e inovando a forma de contratar obras rurais. Importante citar também os ganhos ambientais, pois não haverá entulhos de desmobilização para ser devolvido ao meio ambiente. Essa inovação busca atender à necessidade da população ser socialmente responsável e ambientalmente sustentável, a comunidade se fortalece com os benefícios e passam a adotar medidas que visam o benefício da sociedade e do meio ambiente.

¹ Fonte: Arquivo Pessoal



Fig. 2- Projeto piloto na comunidade de Capim Grosso no município de Russas-Ceará.²



Fig. 3- Projeto piloto na comunidade de Capim Grosso no município de Russas-Ceará.³

Conclusão

A relevância social deste projeto não consegue medir o tamanho do impacto que as intervenções executadas na comunidade vão somar positivamente na qualidade de vida da população beneficiada, isso é intangível. Doar uma infraestrutura, que foi útil para um grupo de trabalhadores, e a posterior se adequa para ser instalada a sede da associação comunitária local, beneficiando um grupo ainda maior de pessoas, é um fortalecimento social sem precedentes, não é simplesmente o fato da entrega do valor de um bem/patrimônio para uma comunidade, vai muito além de uma edificação.

Fortalecer o associativismo, ação que incentiva a autonomia da comunidade, permite incentivar laços de solidariedade entre os participantes daquela associação. É um projeto relevante e essencial para transformação de uma sociedade mais justa e sem onerar nenhum custo para o estado, uma transformação de visão, incluindo uma nova modelagem na contratação de licitação de obras de saneamento rural, que permite incluir o ganho de uma edificação como um patrimônio local.

O projeto pode ser replicado em qualquer licitação de obras de saneamento rural, desde que haja o interesse da comunidade em receber uma sede para sua associação, bem como o fomento do trabalho social para garantir a doação do terreno que receberá a edificação ou até mesmo habilitar essa área para um outro fim na localidade de intervenção do projeto.

Mediante o benefício recebido, que é um sistema de abastecimento de água ou esgotamento sanitário, que já garante a saúde e qualidade de vida da comunidade, existe em paralelo o ganho da infraestrutura, que não será demolida e sim transformada no espaço que vai permitir construir uma nova história desta população local. Esse cenário mostra a importância que as intervenções sociais têm na vida de cada pessoa que recebeu esse benefício, sem ferir seus valores, sua cultura, seus costumes e garantindo os direitos de cidadania, mesmo estando distante dos acessos dos grandes centros urbanos.

Referências Bibliográficas

1. CAGECE. Caderno de Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/documentos-publicacoes/documentos>.
2. [https://www.gov.br/Norma_Regulamentadora_\(NR-18\)_consulta_10/01/25](https://www.gov.br/Norma_Regulamentadora_(NR-18)_consulta_10/01/25).
3. [https://www.gov.br/Norma_Regulamentadora_\(NR-24\)_consulta_10/01/25](https://www.gov.br/Norma_Regulamentadora_(NR-24)_consulta_10/01/25).

² Fonte: Arquivo Pessoal

³ Fonte: Arquivo Pessoal



GESTÃO DO ATENDIMENTO AO GRANDE CLIENTE – UM CASE DE SUCESSO EM COMPANHIA DE SANEAMENTO



Flávia Cristina da Silva Sousa Taleires (1) ; Luana Acário Braga Gaspar (2).

1. Mestre em geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE); Especialista em Licenciamento Ambiental pela AVM – Faculdade Integrada – RJ. Graduada em geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Gerente de Atendimento ao Grande Cliente na Cagece.
2. Graduada em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Coordenadora de Atendimento ao Grande Cliente Particular.

Resumo

O trabalho em questão visa demonstrar uma estratégia da Companhia de Água e Esgoto do Ceará relacionada ao atendimento a grandes clientes. Após análise estratégica, a Companhia decidiu reestruturar a área antes trabalhada em uma coordenação e a modificou para o status de gerência, incluindo o atendimento dos órgãos públicos ao formato de atendimento ao grande cliente particular, replicando a estes a mesma metodologia com a figura dos executivos de relacionamento e analistas comerciais. Todo o acompanhamento é realizado por meio do sistema comercial e planilhas eletrônicas que permitem a verificação da fatura do cliente antes do próximo ciclo faturamento e pagamento, permitindo a revisão de distorções, fazendo a cobrança justa conforme o consumo. Além do acompanhamento de faturamento, a equipe realiza ações de cunho comercial, dando ao cliente todas as orientações necessárias a gestão do seu consumo. Estas ações, permitem que o cliente entenda sua fatura, realize seus pagamentos sem maiores questionamentos, garantindo assim a adimplência e o equilíbrio financeiro.

Palavras-chave: Grandes Clientes, Acompanhamento, Estratégia.

Este texto é do artigo 'Gestão do Atendimento ao Grande Cliente – Um Case de Sucesso em Companhia de Saneamento' de Taleires, F. C. S. S., Gaspar, L. A. B, publicado em 2023, no 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, link: https://cbesa.sigotech.online/storage/trabalhos/arquivos/completo/1200_tema_v.pdf

Metodologia

A metodologia aplicada nesse estudo é pautada na análise qualitativa dos resultados obtidos no trabalho de acompanhamento do atendimento ao grande cliente durante os anos de 2021 e 2022 e na comparação da alteração de metodologia de acompanhamento dos órgãos públicos, antes acompanhados na gerência de faturamento e seu desempenho após a reformulação, passando o acompanhamento para uma gerência específica de atendimento ao grande cliente, no mesmo formato dos grandes clientes particulares. A equipe de atendimento ao Grande Cliente dispõe de 25 colaboradores distribuídos entre 1 gerência, 2 Coordenações, 6 executivos de relacionamento, 9 analistas comerciais, 1 programação técnica, 2 fiscais de campo, 1 apoio administrativo, 1 apoio técnico e 2 estagiários de nível médio.

Atualmente, a equipe trata dados e monitora o faturamento de 1.202 (hum mil, duzentos e dois) grandes clientes particulares e cerca de 12.000 inscrições de órgãos públicos. Os particulares estão distribuídos em 4 grupos no qual identificam-se como carteiras de faturamento, correspondendo as seguintes quantidades por carteiras respectivamente: 304; 297; 308; 293 clientes. Já os órgãos públicos estão divididos por esferas: Federal, Estadual e Municipal.

Diariamente, a equipe de analistas comerciais verifica possíveis divergências de volume faturado, bem como atende de forma direta e individual os clientes, retirando dúvidas ou ainda realizando atendimentos a respeito de solicitações diversas. Com esse tipo de atendimento, o Grande Cliente não precisa se dirigir aos demais canais de atendimento.

Estratificando a equipe por coordenação, temos a seguinte distribuição:

Acompanhamento grande cliente particular: 1 coordenação; 4 executivos de relacionamento; 4 analistas comerciais e 2 fiscais de campo.

Acompanhamento grande público: 1 coordenação; 5 analistas comerciais e 1 apoio técnico. Os demais colaboradores estão ligados à gerência e atendem as coordenações sempre que demandados.

Todo o acompanhamento desses clientes é realizado por meio do sistema comercial da Companhia e registrado em módulo específico, para os clientes particulares, e em planilhas eletrônicas para os órgãos públicos. Este acompanhamento permite a realização de análises dos resultados qualitativos

e quantitativos, elaboração de relatórios e gráficos que permitam identificar as principais ocorrências que venham a contribuir na eficiência de arrecadação e na satisfação dos grandes clientes particulares e públicos em relação aos serviços prestados pela Companhia.

Em média, são abertos em torno de 700 serviços internamente, de maneira preventiva, com base nas análises das carteiras realizadas pela equipe de analistas comerciais dos grandes clientes particulares. Esses serviços impactam diretamente no faturamento, uma vez que o resultado poderá incidir em reajuste do faturamento bruto, de forma positiva ou negativa.

Mês	Quantidade de serviços internos 2021	Quantidade de serviços internos 2022
Janeiro	765	726
Fevereiro	752	736
Março	586	716
Abril	715	858
Maiο	560	697
Junho	724	730
Julho	618	744
Agosto	788	664
Setembro	719	780
Outubro	916	522
Novembro	709	578
Dezembro	791	652

Tab. 1 – Comparativo de serviços internos: 2021 – 2022¹

Em 2022 foram realizados 1.018 serviços de refaturamento, representando uma movimentação de aproximadamente R\$ 19 milhões no ano de 2022.

Os resultados alcançados podem ser acompanhados pelos indicadores da gerência, descritos a seguir:

- Índice de reclamação de água e esgoto dos grandes clientes particulares;
- Índice de eficiência de arrecadação do órgão público;
- Percentual de arrecadação do grande cliente particular.

Todos os indicadores citados, permeiam os objetivos de atendimento a este segmento de clientes, observando gestão, qualidade de atendimento e equilíbrio econômico financeiro.

¹ Fonte: das autoras/2023

Resultados e discussão

m 2022, a equipe de grandes cliente da Companhia passou por uma reestruturação, aproveitando-se da oportunidade para identificar, de forma minuciosa, pontos fortes e as oportunidades de melhoria.

Diante do resultado, foi criada a Gerência de Atendimento ao Grande Cliente, mantendo-se o atendimento ao grande cliente particular, que já fazia parte do escopo da Companhia inserido na Gerência de Relacionamento com o Cliente, e incorporando o atendimento a órgãos públicos, dando-lhes o status de grande cliente público e assim foi estabelecida uma nova metodologia de trabalho. Ao comparar os resultados obtidos na eficiência de arrecadação(grande cliente particular), notou-se, de forma global, um aumento na eficiência de arrecadação em 9 ciclos de faturamento, conforme demonstrado na tabela 2¹.

Mês	% arrecadação 2021	% arrecadação 2022
Janeiro	80,46	87,39
Fevereiro	98,91	97,44
Março	92,94	110,04
Abril	91,09	101,84
Mai	92,90	94,94
Junho	102,38	94,63
Julho	108,93	98,34
Agosto	96,28	112,60
Setembro	93,70	101,33
Outubro	95,35	98,95
Novembro	98,65	99,04
Dezembro	92,29	116,71

Tab. 2 – Comparativo de eficiência de arrecadação: 2021-2022²

Nota-se uma tendência de elevação na arrecadação em praticamente todos os meses de 2022. Apenas nos meses de fevereiro, junho e julho de 2022 percebe-se uma arrecadação menor que o mesmo período em 2021. Isso ocorreu em virtude de negociações realizadas com 2 grandes clientes com débitos vencidos, negociados em acordo judicial, em junho e julho de 2022. Já em fevereiro de 2022, a arrecadação apresentou-se menor em virtude das férias coletivas das indústrias, o que já é histórico.

Tratando-se dos resultados obtidos na arrecadação dos órgãos públicos, mesmo equilibrando o atendimento, aplicando a metodologia de carteiras

de acompanhamento com executivos e analistas comerciais específicos para este cliente, a forma de tratar os dados é diferente e neste caso, a arrecadação considera o arrecadado do mês, associado ao pagamento não identificado do órgão público dividido pela receita operacional (ROP) do mês anterior. O comparativo dos resultados pode ser observado na figura 1³.

Para os clientes particulares, o percentual de arrecadação envolve o faturamento líquido do mês anterior pela arrecadação do mês atual. Conforme a tabela 2 é possível observar que a adimplência destes clientes é considerável e permite uma segurança financeira, servindo de base em referência a aquisição de financiamentos.

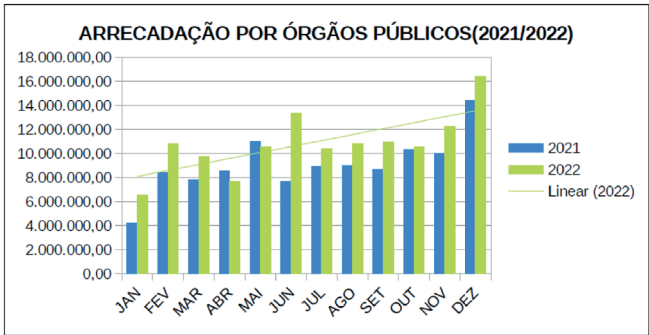


Fig. 1 – Arrecadação por órgãos públicos.*

Analizando a figura 1, observa-se a tendência de crescimento na arrecadação dos órgãos públicos em praticamente todos os meses de 2022. Os únicos meses que apresentaram queda foi em abril e maio/2022, estando relacionado a suspensão da arrecadação para ajustes das faturas considerando decretos de algumas prefeituras.

Comparando valores, notou-se um crescimento na arrecadação da ordem de 19,22% só com a mudança na metodologia de atendimento e acompanhamento.

O percentual de arrecadação dos grandes clientes particulares é calculado utilizando valores de arrecadação do mês corrente sobre valores de faturamento líquido do mês anterior, em que se tem:

$$\text{(arrecadação mês corrente/faturado líquido mês anterior)} \times 100$$

¹ Fonte: das autoras/2023

² Fonte: das autoras/2023

Para cálculos da eficiência, utilizam-se os valores de faturamento líquido, pois são estes que chegam aos clientes após uma análise do consumo.

Diversos são os motivos para refaturamento das contas, tais como erro no valor do serviço prestado, sistema de medição de esgoto, revisão de valores lançados em conta, vazamentos ocultos, dentre outros, de acordo com o demonstrado na figura 2¹. Todas essas questões são identificadas nas análises mensais pelos analistas comerciais que revisam as faturas, corrigem os possíveis erros e encaminham posteriormente para o cliente as faturas revisadas, seja por e-mail ou em meio físico dependendo da escolha feita pelo cliente. Essas ações evitam reclamações futuras e desgaste com o cliente, promovendo um melhor atendimento e satisfação. A eficiência da arrecadação do grande cliente particular é acompanhada pelo indicador: Percentual de arrecadação do grande cliente particular.

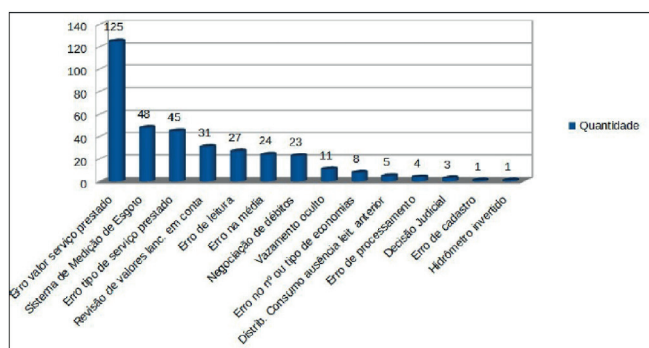


Fig. 2 – Principais motivos de refaturamento.*

Alguns autores (NEVES, MADURO, ARAÚJO e BITTENCOURT, 2017) consideram que o atendimento ao público, por não ser uma tarefa fácil, requer treinamento específico, considerando as diferenças de comportamento das pessoas. A equipe que atende ao órgão público não tem como analisar mensalmente todas as 12.000 inscrições em um período de 30 dias como ocorre no acompanhamento do grande cliente particular. Dessa forma, embora padronizado o atendimento, por tratar-se de um grupo específico e com um número muito grande de inscrições, o órgão público, em termos de análise de faturamento acompanha mensalmente os resultados de 7% das inscrições que representam 70% do faturamento, ou seja, as de maior impacto financeiro. As demais inscrições são analisadas por amostragem ou demanda.

O acompanhamento da arrecadação do órgão público acontece pelo indicador: Índice de Eficiência de

Arrecadação do Órgão Público – IEAP, cuja fórmula está descrita a seguir:

$$\left(\frac{\text{Arrecadação total dos órgãos públicos acumulada no mês} + \text{arrecadação não identificada acumulada dos órgãos públicos}}{\text{Receita Operacional do mês anterior dos órgãos públicos}} \right) \times 100$$

Com a mudança da estrutura de atendimento ao órgão público, notou-se uma tendência de crescimento na arrecadação. Isso dar-se-á ao acompanhamento direcionado, com análise de débitos e formas de cobranças mais eficientes.

Além do acompanhamento via sistema, uma outra ação que contribui representativamente na melhoria dos resultados são as visitas presenciais realizadas pela equipe de executivos junto aos seus respectivos clientes. Após uma análise de relatórios, verifica-se a situação do cliente e o executivo realiza a visita com propostas e orientações para uma melhor gestão do cliente a respeito de sua fatura.

Durante as visitas, os executivos de relacionamento procuram esclarecer os procedimentos realizados pela Companhia, tais como:

- Procedimento de medição individualizada;
- Estrutura tarifária e procedimento de ajuste de leitura dos condomínios;
- Monitoramento de consumo diário de água;
- Cálculo da fatura, valor do m³, valor de serviços;
- Teste no hidrômetro;
- Negociação de débito;
- Conservação do medidor;
- Sistema de medição de esgoto junto às indústrias (Calha Parshall);
- Uso de fonte alternativa;
- Dicas de retirada de vazamento oculto e visível;
- Entrega de material educativo acerca do uso racional da água ou utilização correta da rede coletora de esgoto, como folderes, cartazes ou cartilhas.

O acompanhamento mensal gera uma demanda de serviços que são executados parte pela equipe de fiscais de campo da gerência, parte com o apoio das outras unidades operacionais. Faz parte do procedimento de acompanhamento, uma vez ao ano a abertura de serviços de campo, mesmo que o cliente não tenha solicitado, verificação do funcionamento do hidrômetro, de fonte alternativa de abastecimento, vazamentos internos, dentre outros serviços, conforme o check list de verificação.

* Fonte: das autoras/2023

Conclusão

A percepção da gestão em realizar a mudança na estrutura de atendimento a órgãos públicos, incorporando os mesmos conceitos de atendimento, formas de acompanhamento, associados as políticas estabelecidas de faturamento, cobrança e desenvolvimento de indicadores de controle, promoveu uma melhoria interna na arrecadação desse segmento de clientes. Contudo, nos grandes clientes particulares, embora em 9 ciclos de arrecadação tenha-se uma melhoria em relação ao ano interior, não é tão expressiva quanto ao dos órgãos públicos, uma vez que essa metodologia direcionada ao grande cliente particular já alcançou um patamar de excelência.

Vale ressaltar que essa metodologia de acompanhamento e atendimento aos grandes clientes têm apresentado resultados bastante positivos do ponto de vista financeiro, pois os grandes clientes particulares e públicos representam em termos percentuais 17% da arrecadação total da Companhia.

Outro fator crucial aos bons resultados alcançados, é o relacionamento direto dos executivos de relacionamento com seus clientes. Esse “olhar” aproximado, com foco direcionado individualmente passa ao cliente mais confiança em todo o processo relacionado a prestação do serviço. Independente da empresa ser pública ou privada, o cliente deve ser seu foco de atuação e a satisfação deste seu objetivo de excelência.

Referências Bibliográficas

1. BEZERRA, Igor Salume. Qualidade do ponto de vista do cliente. São Paulo: Biblioteca 24horas, 2013.
2. KOTLER, P. e ARMSTRONG, G. Princípios de Marketing. 9. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
3. LAS CASAS, Alexandre Luzzi. Excelência em atendimento ao cliente-Atendimento e serviço ao cliente como fator estratégico e diferencial competitivo. São Paulo:M.Books do Brasil editora Ltda,2012.
4. NEVES, M.V.V; MADURO, M.R; ARAÚJO, P.C.D E BITTENCOURT,M.A: Qualidade do atendimento ao cliente – as percepções dos alunos quanto ao atendimento oferecido na secretaria da UEA de Itacoatiara-am. Disponível em <<http://revista.ufrb.br/index.php/adminrr/>> acesso em 30 de janeiro de 2023.



IDENTIFICAÇÃO DE CONLUIO EM LICITAÇÕES PÚBLICAS COM BASE NO ALGORITMO GRAPH SAGE



Marcos Leno Ferreira Pompeu (1) ; Raimir Holanda Filho(2)

1. Doutorado e Mestre em Informática Aplicada pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Bacharel em Ciência da Computação, Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Especialista em Engenharia de Software e Especialista em Controle de Processos pela Universidade Estácio de Sá – UNESA. Especialista em Automação Industrial pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR e Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
2. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Gestão de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Resumo

Este trabalho utiliza Redes Neurais em Grafos (Graph Neural Networks – GNN) para classificar licitações públicas que apresentam indícios de conluio. Para isso, o modelo GraphSAGE é utilizado para gerar os embeddings dos nós de um grafo bipartido formado por licitantes e licitações realizadas no período de 2010 a 2023, em 184 municípios do estado do Ceará, Brasil. Os dados foram obtidos junto ao Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE) e enriquecidos com informações políticas, socioeconômicas e demográficas obtidas do Tribunal Regional Eleitoral do Ceará (TRE-CE), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Receita Federal. A acurácia obtida pelo modelo de aprendizado de máquina supervisionado foi em torno de 90%, utilizando dados rotulados com base em um critério que considera licitações contendo um par de licitantes suspeitos de conluio devido à alta frequência de participação conjunta.

Palavras-chave: Licitação Pública, Conluio, GraphSAGE, Redes Neurais.

Este texto é um resumo do artigo 'Public Procurement Collusion Identification based on GraphSAGE Algorithm' de Marcos Leno Ferreira Pompeu e Raimir Holanda Filho, apresentado na 13a Conferência Internacional sobre Redes Complexas e suas Aplicações, 10 a 12 de dezembro de 2024 em Istambul, Turquia (<https://2024.complexnetworks.org/>), publicado em 2025 e disponibilizado em (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-82427-2_3)

Introdução

No Brasil, os municípios fazem parte da administração pública e precisam realizar processos licitatórios para a contratação de obras, serviços e aquisições públicas. O objetivo é selecionar a melhor proposta que atenda os critérios econômicos e a qualificação técnica exigida (CONSTITUIÇÃO, 1988).

Para que esse objetivo seja alcançado, é necessário garantir condições iguais para todos os licitantes. Essa equidade é comprometida quando há participantes que atuam em conluio, ou seja, firmam acordos entre si com o intuito de manipular o resultado da licitação. A forma mais comum de conluio é o bid rigging (ajuste de propostas).

O objetivo deste trabalho é classificar licitações públicas que envolvam participantes em conluio. Para isso, usa-se um grafo bipartido formado pelas relações entre licitantes e licitações realizadas em 184 municípios do estado do Ceará, no período de 2010 a 2023.

Metodologia

Aquisição de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram coletados do banco de dados público do Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE), que disponibiliza informações sobre licitações realizadas no estado do Ceará entre 2010 e 2023. Foram analisadas 277.526 licitações (com 658.887 propostas) envolvendo 109.035 licitantes.

Esses dados podem ser encontrados no repositório de dados abertos do TCE-CE (<https://api-dados-abertos.tce.ce.gov.br/docs/>) e acessados por meio de uma interface de programação de aplicativos (API). As informações sobre licitações podem ser obtidas via GET em "/licitacoes", enquanto os dados dos licitantes estão disponíveis em "/licitantes".

Grafo Bipartido

Seja o grafo bipartido $G(V,E)$ definido por $V=V_1 \cup V_2$ com $V_1 \cap V_2=\emptyset$. Nesse grafo, $V_1=\{u_1,u_2,...,u_n\}$ representa os licitantes e $V_2=\{b_1,b_2,...,b_m\}$ representa as licitações. Para cada licitante $u_i \in V_1$, há um vetor de características $f_{u_i} \in \mathbb{R}^d$, e para cada licitação $b_j \in V_2$, há um vetor de características $f_{b_j} \in \mathbb{R}^g$. O conjunto de arestas $E \subseteq V_1 \times V_2$ conecta os licitantes às licitações em que participam, representando as

propostas feitas pelos licitantes.

A Figura 1 ilustra o grafo bipartido formado pelos licitantes e pelas licitações, juntamente com os seus respectivos vetores de características.

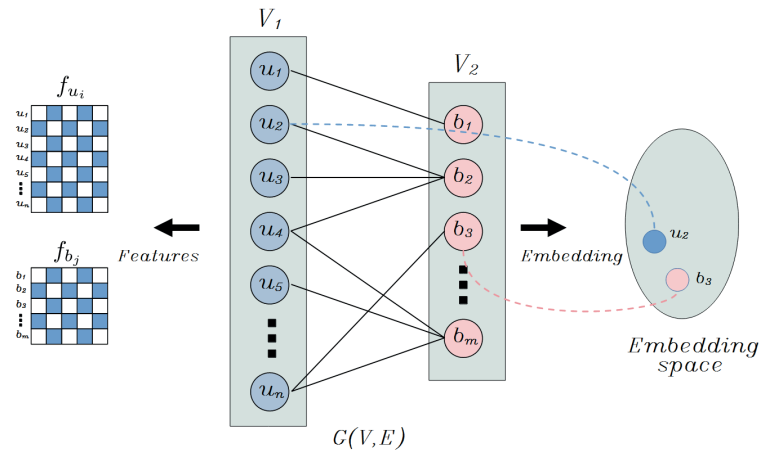


Fig. 1- Grafo Bipartido, Features e Embeddings¹

Vetores de Características (Features)

Os nós do grafo bipartido possuem características categóricas e numéricas, por exemplo, nome da cidade, data da licitação e número de licitantes. Entretanto, essas características não são suficientes para representar completamente o grafo.

Para solucionar isso, são realizados embeddings dos nós do grafo, considerando tanto as características quanto sua estrutura. O objetivo é encontrar uma função de mapeamento que reduza a dimensionalidade das características, preservando as relações entre os nós do grafo EDWARD(2023).

GraphSAGE

Este trabalho utiliza o algoritmo GraphSAGE para a geração de embeddings dos nós do grafo e classificação dos nós referentes a licitações suspeitas. Um dos benefícios desse algoritmo é a capacidade de aprender padrões indutivos, permitindo a generalização para novos dados (BHARTI, 2024).

Algoritmos transdutivos, como node2vec e Deepwalk, exigem retreinamento para incorporar características de nós não vistos. Em contraste, o GraphSAGE pode lidar com grafos desconhecidos sem a necessidade de retreinamento (BELLE, 2022).

Além disso, o GraphSAGE é escalável, o que significa

¹ Fonte: Adaptado de EDWARD(2023) e HEWEN(2024)

que ele apresenta bom desempenho em grafos de grandes dimensões. Isso é possível porque ele não agrega as informações de todos os nós vizinhos e limita o número de camadas processadas.

O GraphSAGE recebe como entrada o grafo com suas características, o número de nós amostrados por camada e o número de camadas k . Para cada camada k , realiza-se uma amostragem aleatória de nós. Após a amostragem o GraphSAGE utiliza uma função de agregação para reunir informações dos nós vizinhos. A geração dos embeddings é concluída ao término da execução do algoritmo em todas as camadas (BHARTI, 2024). Os embeddings gerados podem ser utilizados por modelos de aprendizado de máquina para classificação de nós ou predição de arestas.

Classificador

O classificador de licitações desenvolvido com o algoritmo GraphSAGE foi implementado utilizando a biblioteca PyTorch Geometric (PyG) (FEY, 2019). Essa biblioteca foi projetada para uso em redes neurais em grafos (GNNs) e oferece suporte a diversos algoritmos de aprendizado em grafos, incluindo o GraphSAGE.

O classificador recebe como entrada um grafo bipartido formado por licitações e licitantes. Cada nó do grafo possui características, sendo que apenas os nós das licitações possuem rótulos a serem utilizados no aprendizado de máquina supervisionado.

O algoritmo GraphSAGE empregado pelo classificador gera embeddings iniciais para cada uma das características dos nós do grafo bipartido. Esses embeddings iniciais são atualizados após as etapas de amostragem e agregação (BELLE, 2022).

A Figura 2 apresenta uma estrutura de grafo com o nó b_1 como alvo, representando uma licitação. Os vizinhos diretos (1 hop) desse nó são licitantes e, a uma distância de dois saltos (2-hop), esses licitantes se conectam a outras licitações.

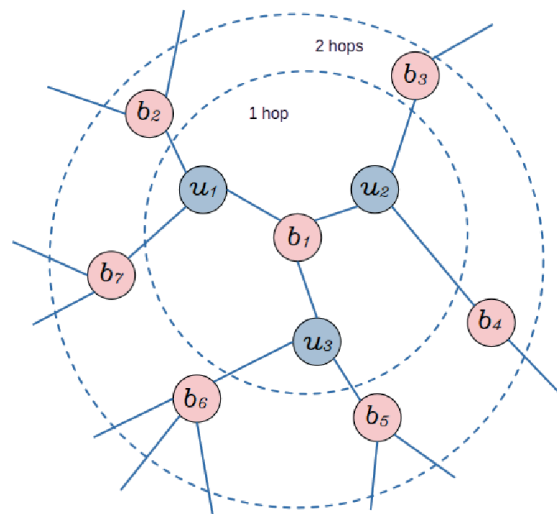


Fig. 2- Um grafo com o nó b_1 como alvo e com vizinhos diretos a 1-hop e 2-hop de distância²

Este trabalho adotou uma etapa de amostragem em duas camadas. Na primeira camada ($k=1$), realiza-se a amostragem aleatória de até 10 licitantes para cada nó de licitação. Na segunda camada ($k=2$), é feita uma amostragem de até 2 licitações próximas para cada licitante amostrado. A amostragem aleatória foi implementada por meio da classe NeighborLoader do PyTorch Geometric.

Durante a etapa de agregação, os embeddings dos licitantes na primeira camada são combinados com os embeddings das licitações da segunda camada às quais eles estão vinculados. Por fim, o embedding do nó de licitação original é atualizado ao incorporar os embeddings das licitações da segunda camada. A geração e o treinamento dos embeddings são realizados em batches para economizar recursos computacionais e viabilizar a análise de grafos em larga escala.

Durante o treinamento, o classificador ajusta os pesos das camadas responsáveis por gerar os embeddings para obter representações de nós que auxiliem na correta predição de licitantes com suspeita de conluio.

O GraphSAGE foi implementado utilizando a biblioteca PyTorch Geometric. O modelo foi configurado com duas camadas da classe SAGEConv. Utilizaram-se trinta e duas dimensões para as características de entrada, trinta e duas dimensões para a camada oculta e duas dimensões para a saída, representando as duas classes que se deseja prever.

² Fonte: Adaptado de (LABONNE, 2023)

Resultados e discussão

Os resultados obtidos com o Classification Report são apresentados na Tabela 1³ em termos de métricas como acurácia, precisão, recall e f1-score. A acurácia alcançada foi de 0,92, indicando um bom desempenho do modelo. O menor valor de precisão, recall e f1-score para a classe 1 pode ser explicado pelo desbalanceamento de classes, uma vez que houve menos licitações rotuladas como suspeitas em comparação às não suspeitas.

A matriz de confusão apresentada na Figura 3 mostra os valores detalhados de falsos positivos, falsos negativos, verdadeiros positivos e verdadeiros negativos do modelo. O AUC Score foi de 0,96, indicando bom desempenho do modelo na separação entre classes positivas e negativas.

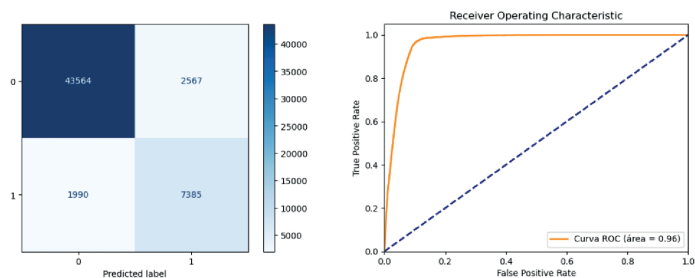


Fig. 3- Matriz de Confusão e Curva ROC³

Item	precision	recall	f1-score	support
Class 0	0.96	0.94	0.95	46131
Class 1	0.74	0.79	0.76	9375
accuracy			0.92	55506
Macro avg	0.85	0.87	0.86	55506
Weighted avg	0.92	0.92	0.92	55506

Tab. 1- Classification Report (GraphSAGE)³

Conclusão

Este trabalho utilizou um grafo bipartido formado por licitantes e licitações como entrada para o algoritmo GraphSAGE, implementado em PyTorch Geometric, para a classificação de licitações suspeitas.

Esse algoritmo foi escolhido por sua capacidade de analisar grafos em larga escala e de classificar nós sem a necessidade de retreinamento.

O algoritmo GraphSAGE gera embeddings que consideram tanto as características locais das licitações quanto as características dos licitantes. A agrega-

ção realizada pelo algoritmo adiciona informações importantes da estrutura do grafo aos embeddings das licitações.

Como não havia dados rotulados disponíveis, adotou-se uma abordagem alternativa para rotular licitantes que apresentassem vínculos fortes, com base em seu histórico de participação conjunta em licitações. Isso possibilitou avaliar um classificador de licitações suspeitas construído com o GraphSAGE.

Obteve-se um resultado de alta qualidade, justificado pela capacidade do GraphSAGE de gerar embeddings que auxiliam o classificador a fazer previsões mais precisas.

Embora este trabalho tenha utilizado dados reais, as licitações foram rotuladas por meio de um critério pré-estabelecido. Ainda assim, foi possível demonstrar que o GraphSAGE pode ser aplicado à classificação de dados representados por um grafo bipartido.

A vantagem de utilizar dados estruturados em forma de grafo, em vez de dados tabulares, é a possibilidade de transferir para a rede neural os relacionamentos existentes entre licitações e licitantes.

Como trabalho futuro, pretende-se investigar outros algoritmos de Redes Neurais em Grafos, com o objetivo de desenvolver novos métodos que auxiliem na detecção de licitações suspeitas. Isso é essencial, pois a participação de licitantes que atuam em conluio em licitações acarreta perdas econômicas significativas para o estado do Ceará.

Apesar da existência de entidades de auditoria, como o Tribunal de Contas do Ceará, é praticamente impossível que elas identifiquem todas as possíveis fraudes em licitações, devido ao grande volume de processos licitatórios realizados periodicamente. Entretanto, espera-se que este trabalho contribua para a auditoria de compras públicas.

³ Fonte: Elaborado pelos Autores

⁴ Fonte: Elaborado pelos Autores

Referências Bibliográficas

1. Edward Giamphy, Jean Loup Guillaume, Antoine Doucet, and Kevin Sanchis. A survey on bipartite graphs embedding. *Social Network Analysis and Mining*, 13(1):1–25, December 2023. <https://doi.org/10.1007/s13278-023-01058-z>.
2. Hewen Wang, Renchi Yang, and Xiaokui Xiao. Effective Edge-wise Representation Learning in Edge-Attributed Bipartite Graphs. In *Proceedings of the 30th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 3081–3091, New York, NY, USA, August 2024. ACM. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3637528.3671805>.
3. Bharti Khemani, Shruti Patil, Ketan Kotecha, and Sudeep Tanwar. "A review of graph neural networks: concepts, architectures, techniques, challenges, datasets, applications, and future directions." *Journal of Big Data*, vol. 11, no. 1, Springer Nature, Dec. 2024, doi:10.1186/s40537-023-00876-4.
4. Belle, R. Van Belle, C. Van Damme, H. Tytgat, and J. De Weerd, "Inductive Graph Representation Learning for fraud detection," *Expert Systems with Applications*, vol. 193, no. 116463, May 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2021.116463.
5. Labonne, Maxime, "Hands-On Graph Neural Networks Using Python: Practical techniques and architectures for building powerful graph and deep learning apps with PyTorch", 1st ed., Packt Publishing Ltd, 2023, ISBN: 978-1-80461-752-6.
6. Fey, M., & Lenssen, J. E. (2019). Fast Graph Representation Learning with PyTorch Geometric. In *ICLR Workshop on Representation Learning on Graphs and Manifolds*.
7. Federative Republic of Brazil. Constitution of the Federative Republic of Brazil of 1988. Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Accessed on: 4 september 2024. Art. 37, section XXI



POSSÍVEIS FALHAS NA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA, E GERAÇÃO DE HARMÔNICAS APÓS INSTALAÇÃO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA

João Alves dos Santos Neto(1)

1. Tecnólogo em Energia Renovável – Unifor – Pós Graduação em Eficiência Energética – Unifor

Resumo

Os inversores de frequência vêm a cada dia ganhando espaço nas empresas de saneamento, não só pelo controle de vazão devido à variação de velocidade, mas também pela economia em controle de picos de correntes no acionamento de cargas indutivas. Este estudo de caso tem como objetivo apresentar as possíveis distorções que um inversor de frequência pode provocar na correção do fator de potência após a sua instalação para o acionamento de cargas indutivas trifásicas. A unidade consumidora em estudo tinha o acionamento da sua carga feito por soft starter e contava com banco de capacitores em paralelo para a correção do fator de potência, com a substituição pelo inversor de frequência, que são consideradas cargas não lineares, o fator de potência passou a medir abaixo de 0,92. Esse trabalho ainda aponta as possíveis causas que provocam essa falha na correção do fator de potência e como corrigir, mostrando soluções para mitigar essas interferências causadas pelo inversor de frequência.

Palavras-chave: Inversor de Frequência, fator de potência.

Metodologia

O fator de potência é uma medida que indica a eficiência com que a energia elétrica está sendo utilizada em um sistema de corrente alternada, ele mostra a relação entre a potência ativa, que realiza trabalho útil, e a potência aparente que é a potência total fornecida. (Eletrobras-2018). Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma pesquisa em artigos, revistas e outras fontes de publicação literária para servir de base de estudo sobre o tema “Possíveis falhas na correção de fator de potência e harmônicas após a instalação de inversor de frequência”. Com o estudo das características e aplicações do inversor de frequência, foi possível identificar pontos bem relevantes sobre o tema que necessitam de uma atenção maior quando se trata de acionamento de CMBs – Conjunto motor e bomba – por inversor de frequência. Conforme a literatura, e diferente do que se pensa, os inversores de frequência não trazem só benefícios para os circuitos elétricos, este por sua vez quando não bem dimensionado pode causar sérios danos para todo o circuito, até mesmo causar interferência que pode implicar diretamente na qualidade de energia. Este trabalho tem como objetivo apontar possíveis soluções técnicas para corrigir as sucessivas variações no fator de potência de uma estação de captação de água bruta pertencente à Cagece (Companhia de água e Esgoto do Estado do Ceará). Essas variações no fator de potência acabam por gerar reativos indutivos, ou seja, um baixo fator de potência e por conseguinte muitas no faturamento da unidade consumidora. Essa unidade consumidora quando acionada por soft start, tinha um fator de potência dentro dos valores especificados pela concessionária que é de 0,92 e não gerava multa por baixo fator de potência. Essa condição passou a existir quando o acionamento do CMB – Conjunto Motor e Bomba – passou a ser feito por um inversor de frequência de 380/440 Volts/ modelo– “Danfoss VLT” (Aqua Drive FC-202/150-HP). conforme pode ser visto na Figura 1. Existem atualmente 02 (dois) tipos de inversores, os Vetoriais e os Escalares. O escalar mantém o torque do motor constante através da variação de tensão e frequência. O vetorial, por sua vez, calcula a cada instante a corrente do estator a fim de manter o torque constante (Revista Mecatrônica,2007).



Fig. 1 - Inversor de Frequência Danfoss VLT (Aqua Drive FC-202/150-HP) instalado na unidade consumidora*

A unidade consumidora em estudo fica localizada na cidade de Novo Oriente – CE a 38 Km da sede Crateús e pertencente a UN-BSC (Unidade da bacia dos sertões de Crateús). Essa captação de água bruta, também conhecida por “Açude Flor do Campo,” é responsável por parte do abastecimento de água da região. O sistema de bombeamento da unidade consumidora é formado 02 CMB's que funcionam em sua potência nominal, e acionados por soft starter. Nessa condição cada CMB funciona de forma individual, ou seja, nunca os dois juntos, pois um é reserva fria do sistema. Os 2 CMB's têm as mesmas características de vazão, altura manométrica, pressão, corrente e tensão de alimentação do motor, isso para proporcionar um funcionamento equilibrado e o consumo de energia mais eficiente.

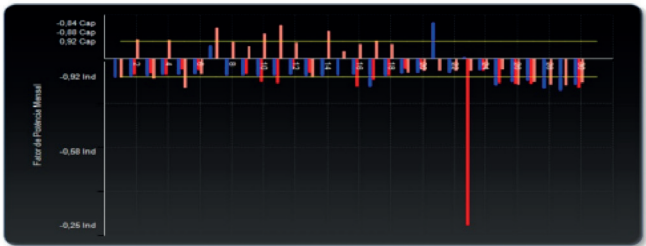


Fig. 2 - Telemedição da ENEL mostrando o fator de potência 0,92 como referência*

O inversor de frequência da marca “Danfoss VLT” (Aqua Drive FC-202/150-HP) assim como a maioria dos modelos de inversor frequência possui na sua estrutura interna um conjunto de dispositivos eletrônicos, entre eles o capacitor, que em alguns casos dispensa o uso de banco de correção de reativos indutivos em paralelo com o inversor de frequência. Os inversores de frequência mesmo tendo toda a sua funcionalidade não trazem apenas benefícios em um sistema de acionamento de motores, em alguns casos no quesito “qualidade de energia”, eles atuam como verdadeiros vilões, comportando-se em alguns casos como cargas não lineares, ou seja, cau-

* Fonte: Adaptado de (LABONNE, 2023)

sando deformação na onda senoidal, fenômeno esse que é também conhecido como harmônicas. (Revista Mecatrônica-2007).

Devido às características de chaveamento de circuitos eletrônicos, os inversores podem gerar harmônicas conforme pode ser observado na Figura 3. Esse fenômeno pode provocar na rede de alimentação sérios problemas às instalações elétricas, dentre esses problemas podemos destacar:

- Aquecimento e vibração do motor.
- Excesso de corrente no condutor do neutro
- Presença de DDP entre terra e neutro.
- Não correção do fator de potência, e até mesmo o disparo de dispositivos de proteção.(Revista Mecatrônica-2007)

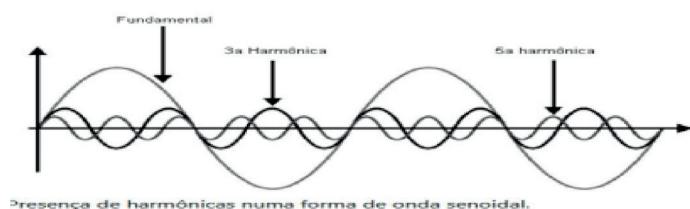


Fig. 3 – Onda senoidal com deformação de harmônica³

Os CMBs da unidade consumidora que aqui apresentamos como estudo de caso, têm apresentado em seu funcionamento algumas falhas. No entanto, a falha que mensalmente se mostra como mais agravante para a unidade consumidora são as sucessivas multas por baixo fator de potência, ou seja, a não correção dos reativos indutivos, que passou a ocorrer logo após a substituição dos soft starter por inversor de frequência, conforme pode ser observado na Figura 4 do gráfico da telemedição da concessionária.

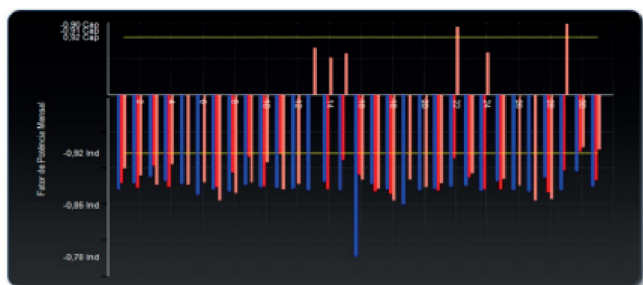


Fig. 4 – Telemedição da ENEL, Fator de potência abaixo de 0,92 após instalação do inversor de frequência.⁴

Segundo o fabricante Danfoss (Manual de instalação DANFOSS – 2023) os inversores de frequência tem como uma de suas características a de corrigir o fator de potência, no entanto, para tal se faz necessário a correta parametrização e instalação do inversor para que o mesmo tenha um funcionamento adequado como:

- A Parametrização do inversor de frequência com os dados do motor.
- A potência do inversor de frequência compatível com as características do CMB.
- O aterramento dentro dos padrões de segurança segundo NR-10 (Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)
- O cabo de aterramento dentro da NBR-5410 (Dependendo da potência do inversor)
- Obedecer à porcentagem adequada de variação da frequência e corrente para funcionamento em baixa rotação. (Esse parâmetro se não bem dimensionado pode gerar harmônicos no sistema elétrico comprometendo o funcionamento do inversor de frequência)
- Ambiente refrigerado, a depender da corrente de funcionamento do inversor de frequência, o controle da temperatura influencia no desempenho do mesmo.
- O comprimento do cabo entre a carga e o inversor de frequência não excedendo 03 metros
- Inversor sobredimensionamento quando comparado com carga (motor)

Resultados e discussão

O conjunto motor-bomba instalada na unidade consumidora em estudo, tem como característica uma "bomba marca KSB- 150/125-400GC e um motor WEG PREMIUN W-22 de 125 CV acionado por um inversor de frequência da marca "Danfoss VLT" (Aqua Drive FC-202/150- HP). Esse conjunto funcionava em sua potência nominal, ou seja, em condições ideais de operação antes da substituição do Soft Starters pelo inversor de frequência. Conforme pode ser observado na Figura 2, o fator de potência apresentava uma leitura dentro dos parâmetros estabelecidos pela concessionária para próximo de 0,92. (Data sheet WEG/KSB-2020).

³ Fonte: Elaborado pelos Autores

⁴ Fonte: Elaborado pelos Autores

Conclusão

O estudo aqui apresentado teve como objetivo identificar as possíveis causas que um inversor de frequência mal dimensionado pode causar em um sistema de acionamento de motores trifásicos, bem como causar interferências na correção do fator de potência, e provocar falhas no sistema de medição.

Foi observado que a não correção do fator de potência após a instalação do inversor de frequência mostra que um estudo detalhado a respeito da substituição deveria ter sido realizado a fim de evitar as sucessivas multas por baixo fator de potência que a unidade passou a registrar logo após a substituição.

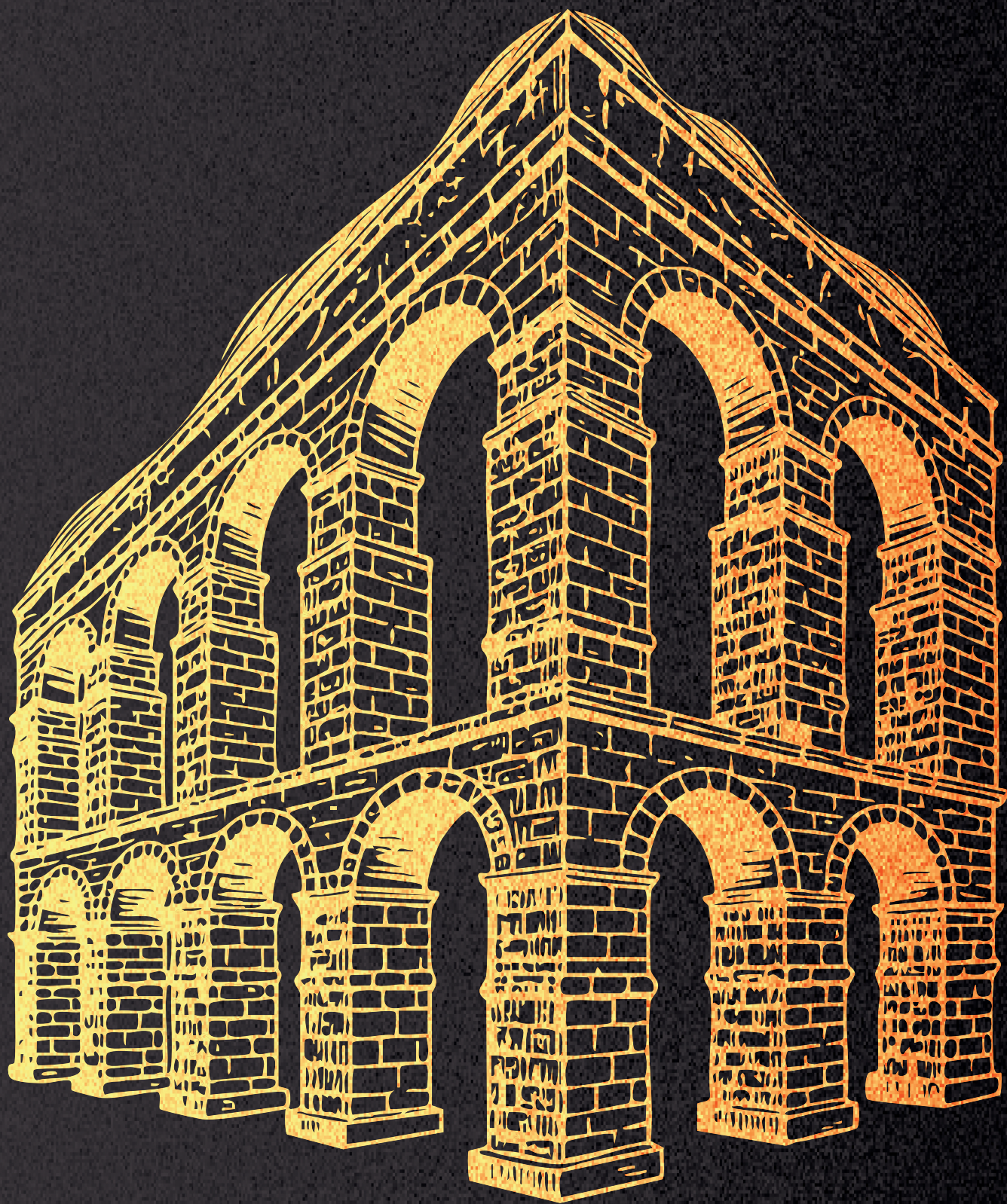
Com a pesquisa foi possível encontrar como sugestão de correção de fator de potência a instalação em série de banco de capacitores bem próximo a subestação, ou seja, distante da carga a fim de evitar a ressonância, fato esse que quando ocorre é muito prejudicial para a instalação.

Uma outra solução seria a instalação de filtros ativos para o controle de harmônicas, bem como reatores que eliminam a geração de harmônicas e ressonância em cargas trifásicas acionadas por inversor de frequência, evitando assim a geração de reativos indutivos.

Dentre os possíveis trabalhos que podem vir a ser realizados para o aprimoramento dessa estudo, sugere-se a utilização de outros equipamentos mais específicos como analisador de qualidade de energia para analisar as correntes do circuito, bem como o uso de analisadores de harmônicas, o uso desses equipamentos específicos podem facilitar uma melhor análise, e um melhor incremento de dados para uma maior assertividade na realização de estudos futuros.

Referências Bibliográficas

1. ALVES, Rafael Alves Ferreira; SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA. Metodologia para a Utilização de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento sob o Enfoque da Eficiência Energética p. 6, 2008.
2. ABNT NBR 7117-1:2020, ABNT NBR 7117: Aterramento Elétrico
3. COSTA. Inversor de frequência e a sua contribuição para a eficiência energética em sistemas de bombeamento. Brasilen Engenharia. Brasil, p. 120–132. maio 2012.
4. CALLEGARO, A.D.Callegaro; RHEINHEIMER, C.C Rheinheimer. Influência de Inversores de Frequência na Qualidade da Energia Elétrica. p. 6.
5. CAVALCANTE, Danilo B.Cavalcante; GOMES, Heber P.Gomes; MOURA, Jonathan J.P Moura. Modelagem de um sistema de bombeamento para o controle de vazão por conversor de frequência baseado na teoria de identificação de sistemas. 7, 2018
6. CASTRO, Gleston. Harmônicos e Inversor de Frequência. Mecatrônica: Mecatrônica Atual, [s. l], p. 22–27, 2007. Mensal.
7. FILTROS Activos de Potência para Melhoria da Qualidade de Energia Elétrica. Revista Voltium– Revista do Núcleo Estudantil do IEEE da Universidade do Minho Edição de 2000, pp. 26–31, p. 31, 2000.
8. FITTIPALDI, Hélio. Inversor de frequência. Mecatrônica: Mecatrônica Atual, São Paulo, p. 28–31, 2007. Mensal.
9. GOMES, Heber Pimentel Gomes. Sistemas de bombeamento: Eficiência Energética. João Pessoa: Universitária, 2009. 459 p.
10. (KARAVASILIS, Renato Gualda, et al. Estudo de motores acionados por conversores de frequência e influências no sistema isolante. 2008.
11. LUIZ GUSTAVO DE VARGAS VIANA. Conservação de energia no Brasil: Aplicação de inversores de frequência para fomentar a eficiência do uso da energia elétrica na indústria. 2010. 107 p. Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia — Universidade de Salvador – UNIFCS, Salvador, 2010.
12. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-10: Norma Regulamentadora. Brasília, 2004.
13. OLIVEIRA, André Luis de Oliveira e. Sousa1; MORAIS, Marcos Moraes da Silva2; PIRES, Igor Amariz Pires3. ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS NA ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DE MOTORES DE INDUÇÃO POR INVERSORES DE FREQUÊNCIA. Exacta, p. 15, 2012.
14. OLIVEIRA, Stanley César de Oliveira. Influência de Harmônicos no Fator de Potência 2011. 67 p. Universidade de São Francisco, Itatiba, 2011.
15. SILVA, Ricardo Silva Carvalho. ANÁLISE HARMÔNICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2013. 129 p. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
16. SIQUEIRA, José Batista Siqueira Filho. Metodologia para a correção do Fator de Potência na presença de Harmônicos. Revista Tecnologia Fortaleza, v. 21, p. 63–70, 2000.
17. WOLFF, Jeremias Wolff; SCHALLENBERGER, Guilherme Schallenberger. Correção do Fator de Potência e Redução da Distorção Harmônica em planta industrial por meio de Banco de Capacitor Dessintonizado. 7, 2013
18. WLAMIR RODRIGUES. Critérios para o uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água. 2007. 234 p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007





Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação: Cagece é 1ª ICT pública do Ceará

Cientista Chefe de Inovação do Governo do Ceará, o professor-associado da Universidade Estadual do Ceará (UECE), Samuel Façanha Câmara, é um dos entrevistados da 3ª edição da Revista Inovação em Foco. Doutor em Economia e pesquisador em Gestão da Inovação, líder de grupo de pesquisa no programa de pós-graduação em administração da UECE (PPGA-UECE). Em sua entrevista, Samuel detalha o funcionamento do Programa Cientista Chefe, fala sobre ecossistema de inovação no Ceará e muito mais.

Revista: Como funciona o Programa Cientista Chefe?

SF: O Programa Cientista Chefe é uma política do Governo do Estado do Ceará que procura associar o conhecimento científico e tecnológico da academia cearense aos desafios do Governo no nosso estado. O Cientista Chefe e suas equipes conduzem projetos que entregam inovação no setor público cearense.

Revista: Como você descreve o Ecossistema de Inovação do Ceará?

SF: O Ecossistema de inovação do Estado do Ceará vem evoluindo muito nos últimos anos, principalmente em cultura de inovação e na geração de valor pela transformação tecnológica, em inúmeros setores. Contudo, ainda precisamos evoluir e amadurecer nestes resultados e na intensidade e diversidade que as organizações cearenses propõem, desenvolvem e capturam valor pela inovação, gerando mais renda e trabalho para nosso povo. Existem muitos desafios, mas os atores de nosso ecossistema estão cada vez mais preparados e caminham na direção de enfrentá-los.

Revista: Quais projetos estão sendo desenvolvidos no âmbito de inovação no Estado?

SF: O Estado possui hoje um conjunto de políticas públicas de estímulo à inovação, tanto no âmbito privado quanto na esfera pública. Podemos citar o longo programa dos corredores digitais da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Educação Superior (Secitece), os editais de subvenção, da Funcap, voltados às empresas inovadoras e os Clusters Econômicos de Inovação da Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE) – Cientista Chefe–Funcap–Secite–CE, piloto que apresentou resultados e aprendizado relevantes rumo à interiorização da inovação. A estes, já citados, se juntam os 26 Cientistas Chefes em diferentes áreas de atuação do Governo, que pelo conhecimento produzido em nossas universidades entregam soluções inovadoras ao governo para que ele atue de forma mais assertiva e relevante.

Revista: De que maneira o ecossistema de inovação do Ceará tem impulsionado soluções tecnológicas ou metodológicas para empresas?

SF: O Ecossistema cearense possui algo muito relevante que é a sua diversidade e identidade, refletida nas suas instituições centrais como as Universidades, as comunidades de startups, os ambientes de inovação e as instituições de fomento como a Funcap. Este conjunto, já é capaz de propor e desenvolver soluções tecnológicas inovadoras em diversos setores, fruto de nosso capital humano (o cearense) que é nosso principal ativo.

Revista: Quais empresas públicas atuam hoje como ICT no Ceará?

SF: Que eu conheça, apenas as Cagece, o que merece destaque, por que me parece que a proposta é, para além da provedora de seus serviços tradicionais, exercer um papel de produtor e difusor de conhecimento e de inovação. O que me parece refletir a atuação da gestão estratégica atendida com o que vem ocorrendo em seu setor em outras partes do globo.

Revista: A Cagece tem no seu Estatuto o objetivo de atuar com Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Como você avalia o potencial de atuação da Cagece como ICT?

SF: A Cagece, como ICT, nasce em uma tradição de associação com as Universidades Cearenses, Brasileiras e Internacionais, buscando este tipo de conhecimento e o desenvolvimento de capacidades tecnológicas, que naturalmente habilita a instituição em seguir uma direção de maior robustez como executor de projetos e pesquisas e inovação, mantendo suas propensões à cooperação e integração ao ecossistema como um todo.

Revista: Quais ações podem ser mais desafiadoras na estruturação da empresa como ICT e qual o caminho ideal para superá-los?

SF: Alguns desafios aparecem nesta jornada, principalmente a relação de convergência entre o rigor do uso do conhecimento científico e a produção de soluções tecnológicas relevantes. A união do chamado Rigor Científico e Relevância Social é um caminho necessário para a plenitude do uso potencial de uma ICT, mas carrega em si as dificuldades de associar a forma como se pensa ciência e que se entrega valor para sociedade pelas soluções inovadoras.

Revista: De que forma a Cagece, como ICT, poderá favorecer a transferência de conhecimento e tecnologia para o setor de saneamento?

SF: A Cagece possui em sua história esta relação de colaboração em rede com outras instituições de nosso ecossistema este formato entrega para a Cagece a capacidade necessária e ao mesmo tempo rara de estabelecer seus processos inovativos de forma mais aberto, o que de muitas maneiras colocam os projetos inovadores da Cagece em uma rota de transferência de tecnologia efetivos com elevada capacidades de absorção e que reflete a atual maturidade das organizações envolvidas. Exemplo disso, a Cagece vem fazendo em programa de inovação aberta com a Funcap, buscando coproduzir soluções com startups e equipes de pesquisadores das universidades e, pelo que acompanho, evoluem muito bem.

Texto por: Eva Silva

Saiba Mais

O que é instituição ICT?

As Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs) são entidades públicas ou privadas que realizam atividades de pesquisa científica e tecnológica. Elas desempenham um papel fundamental na geração de conhecimento e na promoção da inovação, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país. As ICTs são um dos objetivos de aporte de recursos previstos na Lei nº 8.387/1991.

INOVACÃO

INOVAÇÃO

INOVAÇÃO



EFFLUENT

AGUA

INNOVATION



EFFLUENTES

ENERGIA



