

## TECNOLOGIAS DE OXIDAÇÃO AVANÇADA: QUAIS OS BENEFÍCIOS?

CINTIA MARANGONI  
 CLARISSA STEFANI TEIXEIRA  
 JÉSSICA DE MATOS FONSECA  
 REGINA DE FÁTIMA PERALTA MUNIZ MOREIRA

Nos últimos anos, os processos oxidativos avançados despertaram interesse crescente para enfrentar desafios ambientais e de tratamento de resíduos. Essas tecnologias oferecem uma abordagem inovadora e eficaz para a degradação de poluentes orgânicos e inorgânicos, com aplicabilidade em vários setores industriais. Além de garantir conformidade regulatória, permitem a reutilização da água e a recuperação de produtos, reduzindo custos. Investir em tais tecnologias melhora a imagem da empresa e fortalece relações com partes interessadas, gerando vantagem competitiva.

Por serem eficazes na degradação de poluentes orgânicos persistentes, o desenvolvimento de processos oxidativos avançados é amplamente estudado para tratar efluentes industriais. Porém, a preocupação crescente com desafios ambientais e avanços em áreas como nanotecnologia ampliam suas aplicações, incluindo temas como transição energética e descarbonização, com desenvolvimento de catalisadores, semicondutores e reatores. Diversas indústrias podem se beneficiar dessas tecnologias, conforme descrito neste documento com exemplos de aplicações em vários setores.

As Tecnologias de Oxidação Avançada (AOTs), são processos baseados na geração de

radicais livres in-situ, principalmente o radical hidroxil (OH), que possui alto poder oxidante. São técnicas químicas ambientalmente amigáveis, que podem ser usadas em processos de síntese de compostos de valor agregado ou degradação de compostos indesejáveis. Com aplicações desde a escala laboratorial até industrial, seja utilizando uma técnica isolada, combinada ou com processos híbridos ou intensificados, é normalmente de fácil implementação. Desta forma, o campo de aplicação de AOTs é vasto e apresenta elevada potencialidade para

o sucesso de um desenvolvimento sustentável.

**AGRICULTURA** – A produção limpa de alimentos no campo, livres de pragas, contaminantes químicos e microbiológicos, exige o emprego de técnicas aprimoradas. AOTs, como luz ultravioleta (UV) e ozonização, podem ser utilizadas como etapas na desinfecção e redução de poluentes em água para irrigação. Já combinações de luz UV, peróxidos, plasma frio, ozônio ou nanopartículas metálicas produzidas por síntese verde (à base de cobre, zinco e prata), podem ser aplicadas em plantas/frutas e sementes para combater fungos e controlar a germinação, respectivamente. O resultado é a preservação da qualidade dos alimentos e redução de perdas pré- e pós-colheita.

**AQUICULTURA** – A qualidade da água utilizada no cultivo e manejo de peixes afeta diretamente as condições sanitárias e o sabor da carne desses animais. O uso simultâneo ou separado de ozônio e peróxido de hidrogênio no cultivo tanto de peixes como trutas, tilápias, bagres, salmão, enguias e linguados quanto de crustáceos como camarão, moluscos e plantas já demonstrou resultados muito superiores a tecnologias de cultivo convencionais. Quando usados simultaneamente, ozônio e peróxido



de hidrogênio também contribuem para a eliminação de odores desagradáveis das piscinas de criação e sistema de recirculação de água na aquicultura.

**AVICULTURA** – A radiação UV e o ozônio têm ação sanitizante na avicultura, melhorando a saúde das aves e a economia do setor. A aplicação de AOTs na limpeza do chão reduz a proliferação de bactérias, vírus e outros organismos, protegendo a saúde animal e humana. A automatização com robôs monitorados para aplicar gás ozônio e luz UV-C já mostrou resultados na sanitização de ambientes e aves. Desinfetar ovos com luz pulsada, plasma frio ou ozônio aumenta o tempo de estocagem, inativa microrganismos e mantém suas características. Tratar a água de lavagem com ozônio ou luz UV melhora o controle sanitário, contribuindo para a segurança alimentar e redução de desperdícios.

**HEALTH CARE** – A degradação e remoção de fármacos em correntes residuais é desafiadora devido ao surgimento de contaminantes emergentes. As AOTs são eficientes para este fim. Ainda, com relação aos cuidados com a saúde, AOTs também tem usos estéticos como o clareamento dental utilizando peróxidos de hidrogênio

e de carbamida como agentes clareadores. Um dos desafios é substituir o peróxido de hidrogênio, responsável pelo aumento de sensibilidade nos pacientes. Há décadas o uso de ozônio no tratamento de infecções é observado. As recentes discussões sobre a ozonoterapia têm potencializado sua utilização como tratamento complementar para eliminação de germes e bactérias da pele humana, além de tratamento de queimaduras, cicatrização de feridas crônicas, dores articulares, problemas circulatórios e inflamações intestinais (Associação Brasileira de Ozonioterapia).

**PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS** – A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) estima que anualmente cerca de 1/3 da produção mundial de alimentos é perdida. AOTs podem ser utilizadas como tecnologias complementares para aumentar o tempo de vida útil dos alimentos. As inovações tecnológicas no setor envolvem a minimização de riscos de contaminação cruzada e o aumento da segurança alimentar aplicando-se plasma frio e de luz UV para desinfecção de superfícies de alimentos; ozônio para desinfecção de ambientes, água e de embalagens, além da preservação e melhoria nutricional dos alimentos e

nanopartículas metálicas antimicrobianas em embalagens. Além disso, a fotodegradação de microrganismos e do etileno, gás acelerador do amadurecimento de frutas climatéricas, pode ser catalisada por óxidos semicondutores incorporados em embalagens ou em sistemas acoplados a câmaras de armazenamento, AOT conhecida como fotocatalise heterogênea. A geração de resíduos desses processos é mínima, sendo os seus principais produtos o gás carbônico e a água e, o catalisador é reutilizável.

**INDÚSTRIAS DE VINHOS E BEBIDAS NÃO-ALCOÓLICAS** – Nas indústrias de bebidas, as aplicações de AOTs são muitas, mas destacam-se na sanitização e melhoria da qualidade dos produtos utilizando ozônio e do ácido peracético para sanitizar garrafas de vidro ou barricas para vinho e ambiente de processamento. O ozônio também pode ser utilizado em sistemas Clean-in-Place (CIP), como auxiliar na inativação de leveduras indesejáveis e a sua aplicação no processamento de vinhos melhora o rendimento da fermentação alcoólica, a pigmentação do mosto, as propriedades físico-químicas como a cor, o pH, e a estabilidade oxidativa, e a aumenta a concentração de compostos voláteis e de ésteres agradáveis.



## SEU GRANDE PARCEIRO PARA O FORNECIMENTO DE EMULSÕES E CERAS À BASE DE PARAFINA E MATÉRIAS PRIMAS RENOVÁVEIS!

- ✓ +30 anos de mercado
- ✓ Certificação ISO 9001
- ✓ Formulações personalizadas
- ✓ + 20 segmentos atendidos
- ✓ Laboratórios Próprios
- ✓ Presença Global (subsidiárias na Europa)

### SEGMENTOS DE ATUAÇÃO:



☎ Telefone: +55 (11) 4133-8111  
☎ WhatsApp: +55 11 98930-4939  
✉ E-mail: marketing@gequimica.com.br



Entre em contato!





**MATERIAIS (DE CONSTRUÇÃO CIVIL, VIDRO, CERÂMICAS, SEMICONDUTORES E OUTROS) –** Neste setor, os materiais tecnológicos com funções autolimpantes, sanitizantes, propriedades importantes para o tratamento passivo da poluição atmosférica ou com maior resistência são largamente conhecidos. A aplicação de radiação UV e plasma frio em fibras poliméricas resulta em melhora significativa da sua resistência mecânica. Tintas, materiais cerâmicos, pisos, revestimentos, concreto, asfalto, telhas, vidro, louças sanitárias podem ser produzidos com adição de semicondutores ativos sob ação da luz, conferindo propriedades fotocatalíticas que atuam na destruição de microrganismos, na decomposição de poluentes atmosféricos e na modificação da molhabilidade para garantir propriedades autolimpantes.

A manutenção de fachadas de edifícios é significativamente reduzida. As argamassas fotocatalíticas também podem reduzir a poluição ambiental e melhorar a qualidade do ar nas cidades. Além disso, esses materiais combatem a poluição causada por alguns dos gases poluidores como os óxidos de nitrogênio, mitigando o efeito estufa. Na indústria automotiva, revestimentos autolimpantes são aplicados no exterior dos veículos para repelir sujeira e fuligem, reduzindo a necessidade de lavagens frequentes.

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS PLÁSTICOS E OUTROS RESÍDUOS SÓLIDOS –** Materiais plásticos são recalcitrantes e difíceis de serem removidos do ambiente natural. AOTs permitem o uso da luz solar para modificar a estrutura química desses resíduos, produzindo monômeros recicláveis enquanto ainda pode gerar hidrogênio dessas reações. Por meio da oxidação fotocatalítica e o desenvolvimento de catalisadores fotossensíveis, materiais plásticos residuais podem ser convertidos em monômeros recicláveis evitando que estes contaminem o meio ambiente. Apesar da existência de alguns gargalos tecnológicos que são transpostos para melhorar a

atividade dos catalisadores (sobretudo sob luz solar), a possibilidade de obtenção de materiais recicláveis e hidrogênio verde, simultaneamente, é, sem dúvida, merecedora de muita atenção. As AOTs, como o Processo Fenton, também já demonstraram que é possível reciclar a areia de fundição contaminada após um processo de oxidação, contribuindo significativamente para a redução do impacto ambiental e para a economia do setor de fundição. Outros exemplos são a reciclagem de resíduos eletrônicos, recuperação de óleos, carbono e aço a partir de resíduos da borracha, degradação de fibras têxteis descartadas e decomposição de resíduos de papel e celulose para obtenção de novas fibras.

**TÊXTIL –** O setor têxtil é considerado um dos mais poluentes devido a elevada demanda hídrica em processos. Os efluentes necessitam tratamentos específicos devido a variabilidade de composição, toxicidade e presença de compostos persistentes. Por isso, processos oxidativos como Fenton, fotoquímicos, ozônio, processos sonoquímicos ou fotocatalise heterogênea são usados no tratamento. Porém, as aplicações neste setor não se limitam

**SETOR TÊXTIL**

Eliminação de resíduos químicos, surfactantes, detergentes e agentes de acabamento, de têxteis resulta em tecidos mais limpos, aumentando o conforto e a usabilidade	Melhora na solidez da cor, aumentando a resistência de tecidos ao desbotamento e à migração de corantes durante a lavagem e exposição à luz solar
Incrementos em repelência à água, resistência a óleo e propriedades antiestáticas, remoção de manchas, resistência ao amassamento	Degradação de contaminantes, alérgenos e irritantes reduzindo o risco de formação de odor, manchas e degradação devido a atividade microbiana

**USO DE AOTs PERMITE AUMENTO DE QUALIDADE, MELHORA EM PROCESSOS E MODIFICAÇÃO DE PROPRIEDADES**

**Agência Europeia Ambiental aponta uma pegada carbônica do setor de até 270 kg**

**AOTs tornam a produção têxtil mais sustentável ao reduzir o uso de tratamentos químicos e melhorar a eficiência no tratamento de águas residuais.**

**A UNIPELLI AGORA É**



**UP QUÍMICA**

Com a expansão do mercado, renovamos nossa identidade visual para refletir uma atuação mais abrangente. A nova marca expressa modernidade, agilidade e a diversidade de segmentos que servimos.

E enquanto celebramos 20 anos de dedicação, nossa essência, comprometida com a qualidade e a excelência no atendimento, não só permanece firme, mas também está em um processo contínuo de aprimoramento.

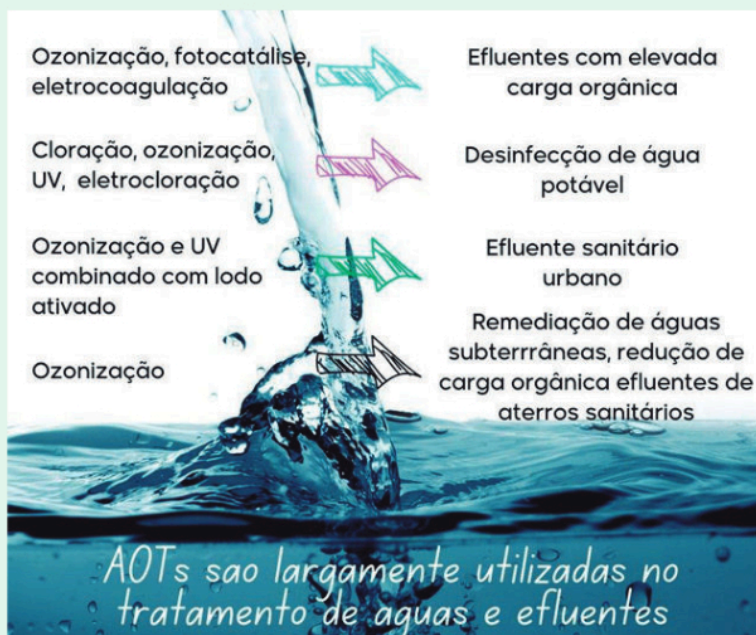




ao tratamento de efluentes. O pré-tratamento de tecidos celulósicos, a limpeza e branqueamento de tecidos, preparando-os para o beneficiamento secundário e terciário, a funcionalização de tecidos são exemplos. O uso de plasma frio também é uma inovação para melhorar a resistência ao mofo e fungos, assim como a solidez das cores em tecidos tingidos. Combinado com nanopartículas, o plasma pode funcionalizar tecidos para aplicações ambientais e médicas. Adotando práticas de zero descarga, o uso de ozônio na produção de jeans, além de produzir melhor acabamento e aparência, pode reduzir o consumo de água em até 80% em relação aos processos convencionais.

**TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS, ÁGUA POTÁVEL E ÁGUA PARA REÚSO** – Estações de tratamento de águas e efluentes enfrentam desafios em remover poluentes como fármacos, hormônios, pesticidas, vírus, bactérias e outros. As AOTs são eficientes, usadas há décadas, preenchendo a lacuna entre processos físicos e biológicos. Efluentes têxteis, hospitalares, de indústria farmacêutica, chorume de aterros sanitários, efluentes industriais oleosos, esgoto sanitário, laticínios, de papel e celulose, tintas, frigoríficos, etc, podem ser tratados por AOTs combinadas com processos convencionais dando lugar a estações de tratamento de efluentes mais compactas e eficientes. Além disso, estas tecnologias permitem o reúso de água com maior eficiência, atendendo a um dos objetivos sustentáveis da ONU. Também, nesta aplicação, AOTs possuem papel relevante pois o novo Marco Regulatório de Saneamento busca universalizar acesso à água (99%) e esgoto (90%) até 2033. Mudanças exigirão expansão e investimentos em tecnologias como ozônio, luz UV, peroxidação catalítica e outras AOTs.

**DESCONTAMINAÇÃO DO AR** – Dispositivos empregando AOTs como ozônio, UV, ionização por plasma e degradação fotocatalítica são utilizados para purificar e descontaminar o ar. Essas



**1** A primeira fábrica de hidrogênio verde operando no país fica na usina hidrelétrica de Itumbiara (MG/GO).

O Brasil tem condições para produzir em larga escala o H<sub>2</sub>V devido à geração de energia limpa, como água, vento e incidência solar, e produção de biomassa. Atualmente há 15 plantas-piloto no país ou em processo de implantação, sendo a maioria voltada à produção a partir da eletrólise da água. O Nordeste é a região com maior número de projetos, destacando os estados do Ceará e Pernambuco.

A União Europeia anunciou construção ao final de 2024 da usina de H<sub>2</sub>V no Brasil no estado do Piauí.

Em Santa Catarina já está operando em Florianópolis uma usina, resultado do projeto H<sub>2</sub>Brasil, parceria Brasil-Alemanha.

O investimento global é de 2 milhões de euros.

O projeto recebeu investimentos de R\$14 milhões.



# A SUA MELHOR ESCOLHA EM TRANSPORTE DE PRODUTOS QUÍMICOS



UMA EMPRESA DO



[mkcargo.com.br](http://mkcargo.com.br)  
(51) 2101 1900

ACESSE MAIS  
INFORMAÇÕES  
ATRAVÉS DO  
QR CODE



Certificação  
ISO 9001





tecnologias superam as dificuldades de processos convencionais de filtração e adsorção que são sensíveis às condições ambientais ou limitadas à saturação. Assim, sistemas de geração de ozônio, luz UV e reatores fotocatalíticos, por exemplo, podem ser instalados e aplicados em unidades e superfícies ativas, respectivamente, para a destruição de microrganismos ou odores desagradáveis. Dióxido de titânio é utilizado no revestimento de superfícies ou incorporado em filtros de purificadores de ar ou sistemas de ventilação. Ozônio e peróxido de hidrogênio são particularmente eficientes para neutralização de voláteis orgânicos e odores.

**HIDROGÊNIO VERDE** – O hidrogênio verde (H2V) é parte essencial de um futuro neutro em carbono. É obtido a partir de uma fonte de energia renovável, como a energia solar. Então, o desenvolvimento de AOT que possibilite a quebra das moléculas de água na presença de um material semicondutor que é ativado pela luz solar garantirá uma fonte praticamente inesgotável de energia para produção de H2V. Além do uso da água pura, águas contaminadas (efluentes líquidos industriais ou esgoto doméstico) são também usadas em AOTs para obtenção do H2V. O potencial de desenvolvimento de materiais cada vez mais ativos e eficientes permitirá que esta tecnologia seja competitiva frente a outras de obtenção do H2V (como a eletrólise), com vantagens, enquanto destrói os contaminantes e microrganismos patogênicos presentes na água.

**RUMO À ECONOMIA DE BAIXO CARBONO** – A principal causa das alterações climáticas é o aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, como o CO2. Substituir ou eliminar completamente o uso de combustíveis fósseis, além de capturar o CO2 diretamente do ar abre novas perspectivas para o uso de combustíveis renováveis. A hidrogenação fotoeletrocatalítica do CO2 é uma AOT que promete transformar esse gás em combustíveis renováveis (como

o SAF - Sustainable Aviation Fuel, etanol, etc.), utilizando energia solar e um fotocatalisador (semicondutor) para o enfrentamento do aquecimento global e da crise energética de forma sincronizada.

**AOTs COMO PILARES FUNDAMENTAIS PARA A TRANSFORMAÇÃO** – Certamente, AOTs são ferramentas cruciais para abordar desafios ambientais e melhorar a eficiência dos processos industriais, prezando por uma produção mais limpa e sustentável. Investir nessas tecnologias não apenas fortalece a responsabilidade ambiental e sustentabilidade das indústrias, mas também

impulsiona a inovação e a eficiência operacional.

As universidades têm se firmado como um dos pólos de desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação no setor, fomentando a incubação de ideias, prospecção tecnológica e criação de soluções. No entanto, há uma considerável heterogeneidade nos níveis de maturação tecnológica de soluções desenvolvidas nas universidades. Enquanto uma parte destas já são amplamente comercializadas ou aplicadas na indústria, há uma outra parte, com grande potencial econômico, ainda estagnada nas fases de prova de conceito e prototipagem. ■

## AUTORAS



**Cintia Marangoni** é engenheira química, com mestrado e doutorado na mesma área. Atualmente é professora do departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina. Atua nos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e em Engenharia Têxtil da UFSC com ênfase em processos de separação.



**Clarissa Stefani** Teixeira é doutora em Engenharia de Produção e professora do Departamento de Engenharia do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina. Atua no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (Mestrado e Doutorado) e do Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação.



**Jéssica de Matos Fonseca** é engenheira de alimentos, doutora na área e mestre em engenharia química. É docente do departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos no mesmo departamento, desenvolvendo pesquisas na área de desenvolvimento de novos materiais para preservação em alimentos.



**Regina de Fatima Peralta** é Engenheira Química com mestrado e doutora em Química. Professora Titular na Universidade Federal de Santa Catarina, atua nos Programas de Pós-graduação em Química e Pós-Graduação em Engenharia Química, da UFSC, com ênfase em processos químicos aplicados à proteção ambiental e energias renováveis.