REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

EFICIÊNCIA DE BACTÉRIAS NA BIORREMEDIAÇÃO DE CORANTES AZÓICOS EM EFLUENTES TÊXTEIS

EFFICIENCY OF BACTERIA IN THE BIOREMEDIATION OF AZO DYES IN TEXTILE EFFLUENTS

EFICIENCIA DE BACTERIAS EN LA BIORREMEDIACIÓN DE COLORANTES AZOICOS EN EFLUENTES TEXTILES

Analice Andretti Gomes

Graduanda em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

E-mail: analiceandretti@gmail.com

Orcid: https://orcid.org/0009-0001-2490-7948

Raquel Fidelis da Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

E-mail: raquelfidelisdasilva@gmail.com

Orcid: https://orcid.org/0009-0009-0568-6308

Diego da Silva Sales

Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais, Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

E-mail: dsales@iff.edu.br

Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4462-7150

Camila Mendonça Romero Sales

Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais, Instituto Federal Fluminense Campus Campos Centro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

E-mail: camila.sales@iff.edu.br

Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6524-2113

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

Resumo

Este estudo teve como objetivo mapear os gêneros bacterianos mais investigados na biorremediação de corantes azóicos e identificar aqueles que apresentam maior eficiência de descoloração em condições controladas. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática de abordagem qualitativa na base Scopus, abrangendo o período de 2013 a 2025 e conduzida segundo as diretrizes PRISMA, contemplando as etapas de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos. Ao final do processo, foram analisados 15 artigos que reportaram taxas de descoloração variando entre 78,20% e 100%. Os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* apareceram como os mais recorrentes, sendo testados principalmente contra os corantes Reactive Black 5, Metanil Yellow G e Congo Red. Além da redução na intensidade de cor, vários trabalhos destacaram diminuições em parâmetros como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e concentração de Cr(VI), acompanhadas de análises de fitotoxicidade, o que indica avanços importantes para a aplicação ambiental e industrial dessas técnicas. A discussão dos resultados reforça que a biorremediação representa uma alternativa promissora para a descoloração de efluentes têxteis, embora a maior parte das pesquisas ainda tenha sido desenvolvida em condições laboratoriais controladas, o que evidencia a necessidade de expandir os testes para cenários reais de aplicação. A relevância deste trabalho está em sistematizar dados dispersos sobre microrganismos capazes de degradar corantes azóicos, evidenciando a eficiência de gêneros bacterianos específicos e destacando seu potencial uso em processos industriais complexos, em especial no setor têxtil, onde o tratamento de efluentes ainda representa um desafio ambiental e econômico significativo.

Palavras-chave: Biorremediação; Corantes Azóicos; Indústria Têxtil; Bactérias; Efluentes.

Abstract

This study aimed to map the most investigated bacterial genera in the bioremediation of azo dyes and identify those that present higher decolorization efficiency under controlled conditions. A systematic review with a qualitative approach was conducted in the Scopus database, covering the period from 2013 to 2025 and following PRISMA guidelines for identification, selection, eligibility, and inclusion of studies. A total of 15 articles were analyzed, reporting decolorization rates ranging from 78.20% to 100%. The genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Enterobacter* were the most frequently investigated, mainly tested against the dyes Reactive Black 5, Metanil Yellow G, and Congo Red. In addition to color reduction, several studies highlighted decreases in biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), and Cr(VI) concentration, along with phytotoxicity tests, indicating significant advances for environmental and industrial applications of these techniques. The discussion of results reinforces that bioremediation is a promising alternative for the decolorization of textile effluents, although most research has been carried out under

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

controlled laboratory conditions, evidencing the need to expand tests to real application scenarios. The relevance of this work lies in systematizing scattered data on microorganisms capable of degrading azo dyes, highlighting the efficiency of specific bacterial genera and their potential use in complex industrial processes, especially in the textile sector, where wastewater treatment remains a significant environmental and economic challenge.
Keywords: Bioremediation; Azo dyes; Textile industry; Bacteria; Effluents.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo mapear los géneros bacterianos más investigados en la biorremediación de colorantes azoicos e identificar aquellos que presentan mayor eficiencia de decoloración en condiciones controladas. Se realizó una revisión sistemática con enfoque cualitativo en la base de datos Scopus, abarcando el período de 2013 a 2025 y siguiendo las directrices PRISMA para la identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los estudios. En total se analizaron 15 artículos, que reportaron tasas de decoloración entre 78,20% y 100%. Los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Enterobacter* fueron los más investigados, principalmente frente a los colorantes Reactive Black 5, Metanil Yellow G y Congo Red. Además de la reducción del color, varios estudios destacaron disminuciones en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de Cr(VI), junto con pruebas de fitotoxicidad, lo que indica avances importantes para la aplicación ambiental e industrial de estas técnicas. La discusión de los resultados refuerza que la biorremediación representa una alternativa prometedora para la decoloración de efluentes textiles, aunque la mayoría de las investigaciones aún se ha desarrollado en condiciones de laboratorio controladas, lo que evidencia la necesidad de ampliar las pruebas a escenarios reales de aplicación. La relevancia de este trabajo radica en sistematizar datos dispersos sobre microorganismos capaces de degradar colorantes azoicos, destacando la eficiencia de géneros bacterianos específicos y su potencial uso en procesos industriales complejos, especialmente en el sector textil, donde el tratamiento de efluentes sigue siendo un desafío ambiental y económico significativo.
Palabras clave: Biorremediación; Colorantes azoicos; Industria textil; Bacterias; Efluentes.

1. Introdução

A indústria têxtil compreende todos os processos que ocorrem desde a plantação ou fabricação das fibras a confecção de tecidos e roupas. Só no Brasil, segundo a Abit (2023), em 2021 foram faturados 190 bilhões de reais e produzidas 8,1 bilhões de peças, correspondendo a 2,16 milhões de toneladas de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

produtos.

Estima-se que processo utilize em média entre 50 a 100 litros de água por quilo de fibra produzida, além do consumo de poluentes químicos que requerem tratamento específico. Por isso, o setor tem sido foco crescente de pesquisas que visem desenvolver tecnologias de tratamento eficazes e de baixo custo (Arslan-Alaton; Gursoy; Schmidt, 2008).

O efluente têxtil costuma ser caracterizado pela alta salinidade e pH, valores elevados de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO) e coloração visível (Babu *et al*., 2007). Além disso, pode conter metais pesados, surfactantes, óleos e outros poluentes (Ariffin *et al*., 2009).

Os corantes utilizados na coloração de tecidos podem ser classificados em diferentes grupos de acordo com sua composição química. Entre eles se destacam os corantes azóicos que compõem cerca de 60% dos corantes distribuídos pelo mundo pela sua variedade e adesão em fibras (Saha; Rao, 2019). Esses corantes são compostos insolúveis em água, cuja reação acontece com fibras preparadas com um agente de acoplamento solúvel em água e com afinidade com a celulose. Alguns corantes dessa categoria e seus intermediários já foram classificados como carcinogênicos, por isso tem se destacado os estudos relacionados às técnicas de remoção deles dos efluentes industriais (Guaratini; Zanoni, 2000).

A toxicidade desse grupo de corantes se deve a sua estrutura química de ligação dupla entre nitrogênios (–N=N—) e por conterem aminas e carbonos aromáticos capazes de reagir e oxidar quando em contato com a água e com outras substâncias nela dissolvidas. Tanto os corantes puros, quanto os produtos dessas reações podem causar distúrbios na saúde humana, indo de alergias até infecções a danos graves no sistema reprodutor e no cérebro (Ihsanullah *et al*., 2020).

A biorremediação é uma das técnicas aplicáveis ao tratamento de águas residuárias, na qual são utilizados organismos vivos para degradar compostos químicos poluentes de forma sustentável (Gaylarde; Bellinaso; Manfio, 2009).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

Sua aplicação no setor têxtil é pensada para a degradação de corante como meio de baratear os custos de tratamento da água residuária mantendo a eficácia encontrada em tratamentos eletroquímicos (Patel *et al*., 2022).

Diante disso, observa-se uma lacuna na literatura quanto à análise sistemática da viabilidade do uso da biorremediação na remoção de corantes azóicos, especialmente no que se refere à identificação dos gêneros bacterianos mais recorrentes e eficientes nesse processo. Por se tratar de uma classe de corantes amplamente comercializada, a adoção de uma técnica de tratamento de menor custo e de aplicação relativamente simples se mostra de grande interesse para o setor.

Nesse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão-problema: **quais gêneros bacterianos mais investigados na biorremediação de corantes azóicos apresentam maior eficiência de descoloração em condições controladas, e como essa eficiência varia entre diferentes grupos, corantes e fatores experimentais?** Assim, o trabalho tem por objetivo comparar a eficiência de distintos gêneros bacterianos nesse processo, identificando aqueles com melhor desempenho e relacionando-os às condições de aplicação, a partir de uma revisão sistemática realizada na base Scopus entre 2013 e 2025.

2. Metodologia

Esta pesquisa é caracterizada como uma revisão sistemática de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa. A condução seguiu as diretrizes do método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), o qual estabelece um checklist de 27 itens e um fluxograma estruturado em quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão, descritas a seguir (Gil, 2022; Moher *et al*., 2009; Prodanov; Freitas, 2013).

- *Identificação*

A etapa inicial envolveu a busca de estudos na base Scopus, realizada em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

20 de junho de 2025, por meio da seguinte *string*: *(TITLE-ABS-KEY ("textile industry") AND TITLE-ABS-KEY (treatment) AND TITLE-ABS-KEY (bioremediation) AND TITLE-ABS-KEY (wastewater) AND TITLE-ABS-KEY (bacteria) AND TITLE-ABS-KEY ("azo dyes")).* As referências foram exportadas em formato RIS e importadas no Zotero[1], totalizando 47 artigos únicos que seguiram para as etapas de triagem e análise.

- *Seleção*

Foram aplicados filtros específicos na base Scopus, considerando o tipo de documento, categoria e o intervalo temporal. Optou-se por selecionar apenas artigos de periódicos, na categoria "*Environmental Science*", publicados entre 2013 e 2025, excluindo-se trabalhos de revisão e mantendo exclusivamente estudos originais. A leitura de títulos e resumos resultou na exclusão de 20 artigos que não atendiam ao escopo definido, permanecendo 27 estudos para a análise integral dos textos.

- *Elegibilidade*

Foram submetidos à leitura integral 27 artigos, dos quais 12 acabaram excluídos por apresentarem limitações, como ausência de informações metodológicas claras, enfoque em temáticas não diretamente ligadas à escopo dessa pesquisa ou pela indisponibilidade do texto completo para consulta. O processo de triagem e análise foi realizado de maneira independente por dois revisores, havendo conferência conjunta nos casos de discordância, o que garantiu a aplicação uniforme dos critérios de inclusão e exclusão.

- *Inclusão*

Concluído o processo de seleção, 15 artigos atenderam integralmente aos critérios definidos e compuseram a amostra desta revisão. O fluxograma PRISMA ilustra as etapas de triagem e análise, indicando os quantitativos correspondentes

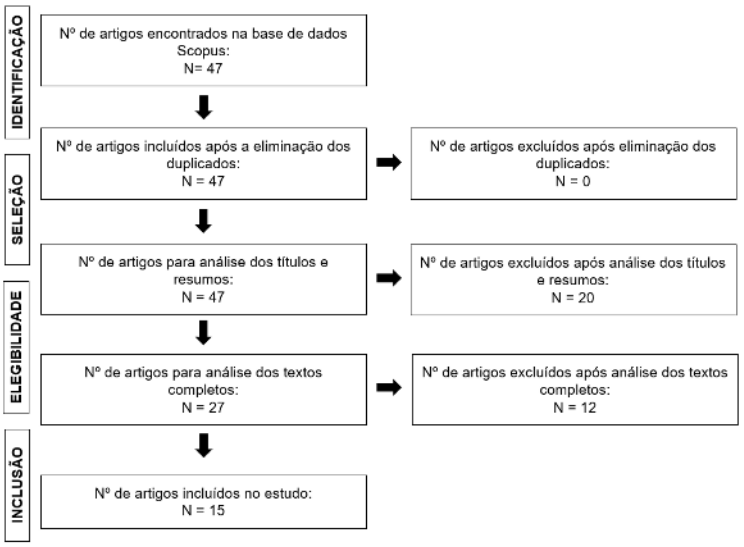
[1] https://www.zotero.org/

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

em cada fase, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma da seleção dos artigos.



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2009).

- *Procedimentos de Revisão Linguística*

Com a finalidade de evidenciar o uso de recursos de apoio linguístico, o Quadro 1 apresenta as formas de aplicação do ChatGPT no desenvolvimento deste manuscrito, prática já relatada em pesquisa anterior (Coutinho; Sales; Sales, 2025).

Quadro 1: Uso do ChatGPT no processo de elaboração do manuscrito.

Aspecto	Descrição
Finalidade de uso	Revisão gramatical e aprimoramento da coesão e fluidez textual.
Traduções	Apoio na tradução do abstract e do resumen.
Limitações de uso	A ferramenta não participou da análise dos dados nem da construção do conteúdo científico, restringindo-se ao refinamento linguístico e às traduções mencionadas.

Fonte: Coutinho, Sales e Sales (2025).

3. Resultados e Discussão

A pesquisa realizada na base de dados Scopus encontrou 47 artigos relacionados ao tema, dos quais 15 atenderam aos critérios definidos e foram selecionados como referência para este trabalho. A partir do Quadro 2, é possível

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

visualizar os estudos escolhidos para análise, organizados em título, periódico e citação (autor/data).

Quadro 2: Artigos selecionados para a análise.

Nº	Título	Periódico	Autor/Data
1	*Biodegradation of textile wastewater: Enhancement of biodegradability via the addition of co-substrates followed by phytotoxicity analysis of the effluent*	*Water Science and Technology*	Ceretta *et al.* (2017)
2	*Biological Degradation of the Azo Dye Basic Orange 2 by Escherichia coli: A Sustainable and Ecofriendly Approach for the Treatment of Textile Wastewater*	*Water*	Ikram *et al.* (2022)
3	*Decolorization and detoxification of azo dye by halo-alkaliphilic bacterial consortium: Systematic investigations of performance, pathway and metagenome*	*Ecotoxicology and environmental safety*	Guo *et al.* (2020)
4	*Development and characterization of a halo-thermophilic bacterial consortium for decolorization of azo dye*	*Chemosphere*	Guo *et al.* (2021)
5	*Using indigenous bacterial isolate Nesterenkonia lacusekhoensis for removal of azo dyes: A low-cost ecofriendly approach for bioremediation of textile wastewaters*	*Environment, Development and Sustainability*	Prabhakar, Gupta e Kaushik (2022)
6	*Decolourization of azo dye using a batch bioreactor by an indigenous bacterium Enterobacter aerogenes ES014 from the waste water dye effluent and toxicity analysis*	*Environmental Research*	Al-Ansari *et al.* (2022)
7	*Biodegradation of Reactive Yellow-145 azo dye using bacterial consortium: A deterministic analysis based on degradable Metabolite, phytotoxicity and genotoxicity study*	*Chemosphere*	Singh *et al.* (2022)
8	*Environment friendly degradation and detoxification of Congo Red dye and textile industry wastewater by a newly isolated Bacillus cohnni (MW406977)*	*Environmental Technology & Innovation*	Kishor *et al.* (2021)
9	*Decolorization of textile azo dye Novacron Red using bacterial monoculture and consortium: Response surface methodology optimization*	*Water Environment Research*	Guembri *et al.* (2021)
10	*Efficient reduction of Reactive Black 5 and Cr(VI) by a newly isolated bacterium of Ochrobactrum anthropic*	*Journal of Hazardous Materials*	Cheng *et al.* (2021)
11	*Study of simultaneous bioremediation of mixed reactive dyes and Cr(VI) containing wastewater through designed experiments*	*Environmental Monitoring and Assessment*	Mishra e Maiti (2019)
12	*Biodecolorization of Reactive Yellow-2 by Serratia sp. RN34 Isolated from Textile Wastewater*	*Water Environment Research*	Najme *et al.* (2015)
13	*Biodecolorization of Reactive Black-5 by a metal and salt tolerant bacterial strain Pseudomonas sp. RA20 isolated from Paharang drain effluents in Pakistan*	*Ecotoxicology and Environmental Safety*	Hussain *et al.* (2013)
14	*Decolourisation of dyes and its mixture by Providencia sp. VNB7 isolated from textile effluent treatment plant*	*Journal of Industrial Pollution Control*	Patil *et al.* (2016)
15	*Oerskovia paurometabola can efficiently decolorize*	*Ecotoxicology and*	Franca *et al.*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

	azo dye Acid Red 14 and remove its recalcitrant metabolite	*Environmental Safety*	(2020)

Fonte: Autoria própria (2025).

- *Estratégias de Otimização da Biorremediação*

Um dos grandes desafios quanto a utilização de bactérias no tratamento das águas residuárias têxteis é a baixa biodegradabilidade característica delas e as condições extremas de pH, temperatura e salinidade que apresentam. Entre as possibilidades para solucionar esse problema e viabilizar a biorremediação está o enriquecimento do efluente pela adição de nutrientes como glicose e amido.

O estudo de Ceretta *et al.* (2017) sugere o uso de amido de batata, um subproduto da indústria de alimentos que poderia ser beneficamente reaproveitado, como fonte de carbono para auxiliar na degradação do corantes azóicos Direct Black 22 (DB22). Os autores utilizaram um consórcio bacteriano não identificado, coletado do efluente industrial do setor de coloração de uma empresa argentina e compararam amostras sem adição de nutrientes e com a adição do amido. Entre elas, a descoloração foi maior nas amostras com adição de amido, na qual chegou a uma diminuição de 80,39% na cor, além de apresentar redução no pH, DBO e DQO. No teste de fitotoxicidade com a *Lactuca sativa*, a taxa de germinação foi de 83,3% com adição de amido, comparado a 71,1% na amostra sem adição de nutrientes.

Ikram *et al.* (2022) trouxeram a glucose como opção para o enriquecimento do efluente, observando que sua adição é capaz de aumentar a degradação do corante Basic Orange 2 pela *Escherichia coli*, uma bactéria muito utilizada na qualificação da água. Com a adição de glucose e a determinação de outras condições ideais, o estudo chegou a uma descoloração máxima de 89,88%.

Outras pesquisas, como Guo *et al.* (2020, 2021) e Prabhakar, Gupta e Kaushik (2022), sugerem a utilização de bactérias extremófilas como alternativa. Utilizando isolados bacterianos resistentes a altos níveis de pH, salinidade ou temperatura, eles visam dispensar ou reduzir a necessidade da adequação do efluente ao tratamento biorremediativo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

No estudo de Guo *et al.* (2020), os autores exploraram a combinação do uso de microrganismos halófilos e alcalófilos e da adição de extrato de levedura para degradar o corante Metanil Yellow G (MYG), atingindo a taxa de 93,27% de descoloração em 16 horas.

Os estudos de Cheng *et al.* (2021), Mishra e Maiti (2019) e Najme *et al.* (2015) trazem uma importante contribuição relacionada a redução de cor na presença do cromo hexavalente, um íon comum entre os efluentes têxteis e que, além de interferir no funcionamento do tratamento biológico, é considerado carcinogênico.

Najme *et al.* (2015) destacam que a presença do composto Cr(VI) impacta negativamente na descoloração realizada pela bactéria escolhida pela ação tóxica no crescimento celular e na atividade dos micro-organismos, embora não impossibilite a sua utilização. Ela atingiu 95,3% (±1,3) de descoloração de Reactive Yellow 2 pela *Serratia sp.* RN34 em 72 horas na ausência de Cr(VI) e 84,1% (±1,2) em 98 horas quando o Cr(VI) se encontrava presente em concentrações menores do que 10 mg/L.

Na pesquisa de Cheng *et al.* (2021), foram utilizados isolados bacterianos de *Ochrobactrum anthropi* para degradar um efluente industrial chinês, o corante Reactive Black 5 e o composto cromo hexavalente. Os resultados analisados foram da cepa bacteriana S1, que conseguiu descolorir completamente o corante em 72 horas nas temperaturas de 30°C e 35°C e remoção de até 80% do cromo hexavalente em determinadas condições. Já em Mishra e Maiti (2019), foi investigada a descoloração do Reactive Red 21 (RR21), Reactive Orange 16 (RO16) e remoção do Cr(VI) pela bactéria *Pseudomonas aeruginosa* 23N. Em uma situação estática e condições ideais por 48 horas, a descoloração foi de 88,5% para o Reactive Red 21 e 92,3% para o Reactive Orange 16 e a remoção do Cr(VI) foi de 99,1 ± 0,5%.

Esses resultados evidenciam que tanto o enriquecimento nutricional do efluente quanto o uso de bactérias adaptadas a condições extremas representam alternativas eficazes para superar as limitações inerentes à baixa biodegradabilidade dos corantes azóicos. Além disso, os estudos que incorporam

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

a presença do cromo hexavalente mostram que a biorremediação pode ser aplicada inclusive em cenários com contaminantes de elevada toxicidade, ampliando as possibilidades de uso desses processos em ambientes industriais complexos.

- *Diversidade Bacteriana, Corantes e Co-contaminantes*

É necessário considerar que durante o processo industrial, é possível que o efluente apresente diversos corantes dissolvidos, cada um com suas próprias composições e características físico-químicas.

Os estudos como o de Prabhakar, Gupta e Kaushik (2022), no qual os testes com uma bactéria alcalófila foram realizados em 11 corantes e na mistura deles, e de Patil *et al.* (2016), que utilizou 10 corantes separados e uma mistura de todos eles denominada DM10, se tornam essenciais. No primeiro caso, a taxa de descoloração individual variou na faixa de 91–100% e atingiu 95% na mistura em uma simulação de efluente, enquanto no segundo estudo a descoloração variou entre 77 e 98% para os corantes separados e foi de 77% para o DM10. Todos os resultados consideram as condições ideais para a realização dos experimentos.

Al-Ansari *et al.* (2022) também analisaram corantes diferentes, mas com o objetivo de comparar a ação de uma mesma bactéria em compostos químicos. A bactéria *Enterobacter aerogenes* ES014 é analisada como eficiente na descoloração de três diferentes corantes após 48 horas: Acid Orange, com 82,3% de remoção, Methyl Orange, com 78,2% e Congo Red, com 81,5%. O mesmo gênero de bactérias foi utilizado por Singh *et al.* (2022) para atingir 98,78% de eficiência na descoloração do Reactive Yellow 145 nas condições ideais de 500 mg/L, 35°C e pH 7,0 e, posteriormente, 100% de germinação de sementes de *Cicer arietinum* e *Vigna mungo*.

Ainda em relação à similaridade dos gêneros de bactérias escolhidas, os bacilos mostram-se eficientes em três estudos: Guembri *et al.* (2021), Guo *et al.* (2021) e Kishor *et al.* (2021). Todos obtiveram taxas satisfatórias de descoloração, variando entre 84 e 95%. Além disso, a pesquisa de Kishor *et al.*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

(2021), realizada em uma amostra de efluente real com o corante Congo Red, pontuou redução em diversos parâmetros físico-químicos relacionados a eutrofização de corpos hídricos, como DBO, DQO, Nitrogênio e Fósforo, e a produção de enzimas conhecidas pelo potencial de reduzir toxicidade em efluentes industriais, como a lacase e a azoreductase.

No estudo de Hussain *et al.* (2013), foi utilizado o corante Reactive Black 5 nos testes de biorremediação com diversos isolados bacterianos, em que a *Pseudomonas sp.* RA20 obteve a maior porcentagem de descoloração: 98,5% em 24 horas e em pH 8. Diferente de outras pesquisas mencionadas, na qual o autor aponta estudos anteriores para justificar a escolha da bactéria, o artigo destaca que poucas bactérias do gênero *Pseudomonas* são conhecidas pela capacidade de descolorir efluentes, sendo esse relato uma adição importante à literatura e que a descoloração foi possível a partir da manutenção das condições ideais para a bactéria. No entanto, estudos mais recentes atingiram resultados satisfatórios com essa bactéria. Mishra e Maiti (2019), a utilizaram para descolorir eficientemente três corantes e reduzir o Cr(VI) e Guembri *et al.* (2021), a referenciam como comumente pesquisada, junto ao gênero bacilos, por seu crescimento rápido e cultivo simples.

Outra questão considerada no tratamento de biorremediação com bactérias para os corantes azóicos é a diferença entre os tratamentos aeróbio e anaeróbio. Diferente do anaeróbio, é conhecido que o tratamento aeróbio isolado tem pouca eficiência pelas características recalcitrantes dos compostos azóicos, embora possa ser utilizado de forma complementar ou a partir de enriquecimento (Şen; Demirer, 2003). A comparação entre os tratamentos pode ser observada no trabalho de Franca *et al.* (2020), que testou a remoção do corantes azóicos Acid Red 14 (AR14) utilizando *Oerskovia paurometabola* em um reator sequencial anaeróbio-aeróbio com um efluente têxtil simulado em laboratório. Os autores apontaram o tratamento estático e anaeróbio como mais eficiente após atingir 100% de descoloração e remover as aminas intermediárias produzidas no processo de degradação química do composto.

Esses estudos evidenciam que a escolha da bactéria e das condições de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

tratamento é determinante para a eficiência da descoloração e para a remoção de compostos tóxicos, como o Cr(VI). Dessa forma, a multiplicidade de estratégias observada contribui para o avanço no uso sustentável de microrganismos no tratamento de efluentes têxteis complexos.

- *Síntese Comparativa dos Resultados*

O Quadro 3 apresenta uma síntese dos resultados de descoloração em condições ideais e dos testes de fitotoxicidade, permitindo observar a diversidade de corantes, espécies bacterianas e metodologias aplicadas.

Quadro 3: Resultados da descoloração em condições ideais e dos testes de fitotoxicidade selecionados para a análise.

Corante	**Bactéria**	**Remoção de cor em condições ideais**	**Tempo (h)**	**Taxa de germinação pós-tratamento**	**Planta utilizada**	**Autor**
Congo Red	*Bacillus cohnni (RKS9)*	95%	48	100%	*Phaseolus mungo*	Kishor *et al.* (2021)
Direct Black 22 (DB22)	Culturas mistas enriquecidas com nutrientes	80,39%	96	83,3%	*Lactuca sativa*	Ceretta *et al.* (2017)
Reactive Black 5	*Ochrobactrum anthropi*	100%	72	-	-	Cheng *et al.* (2021)
Basic Orange 2	*Escherichia coli*	89,88%	72	-	-	Ikram *et al.* (2022)
Novacron Red	*Bacillus filamentosus* e *Bacillus subterraneus*	84%	24	-	-	Guembri *et al.* (2021)
Reactive Black 5	*Pseudomonas sp.*	98%	24	-	-	Hussain *et al.* (2013)
Metanil Yellow G	Consórcio com *Halomonas, Marinobacter* e *Clostridiisalibacter*	93,27%	16	80%	*Cucumis sativus*	Guo *et al.* (2020)
Metanil Yellow G	*Bacillus sp.*	92,10%	36	96% e 100%	*Cucumis sativus* e *O. sativa*	Guo *et al.* (2021)
Mistura de 10 corantes denominada DM10*	*Providencia sp.*	95%	24	-	-	Patil *et al.* (2016)
Reactive Yellow 2	*Serratia sp.*	88%	48	86,70%	*Vigna radiata*	Najme *et al.* (2015)
Reactive Red 21 e	*Pseudomonas aeruginosa*	88,50% e 92,30%	48	100%	*Vigna radiata*	Mishra; Maiti, 2019

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

Reactive Orange 16						
Acid Red 14	*Oerskovia paurometabola*	100%	24	-	-	Franca *et al.* (2020)
Acid Orange, Methyl Orange e Congo Red	*Enterobacter aerogenes*	82,30%, 78,20% e 81,50%	48	94,30%	*Arachis hypogaea*	Al-Ansari *et al.* (2022)
Reactive Yellow 145	*Enterobacter asburiae* e *Enterobacter cloacae*	98,78%	12	100%	*Cicer arietinum* e *Vigna mungo*	Singh *et al.* (2022)
Mistura contendo 11 corantes**	*Nesterenkonia lacusekhoensis*	95%	192	100%	*Vigna radiata*	Prabhakar, Gupta e Kaushik (2022)

Fonte: Autoria Própria (2025).

*Reactive Red 195, Reactive Black 5, Golden Yellow 145, Chrysophenine G, Acid Orange II, Methyl Red, Acid Black 210, Methyl Orange, Indigo Carmine e Amaranth.

**Methyl Red, Tartrazine, Ponceau S, Reactive Red 35, Evans Blue, Acid Red 3R, Acid Red, Violet C BL, Reactive Violet, Red AG e Methyl Orange.

Os gêneros de bactéria mais presentes nas pesquisas apresentadas são *Bacillus sp.*, em 20% dos estudos, e *Pseudomonas sp.* e *Enterobacter sp.*, em 13,4% dos trabalhos cada. Entre os corantes, os mais utilizados foram o Reactive Black 5 e o Methyl Orange, cada um correspondendo a 20% dos artigos, seguido dos corantes Metanil Yellow G, Congo Red e Methyl Red, cada um presente em 13,4% dos artigos selecionados.

Observou-se que a escolha das bactérias na metodologia de 87,7% dos trabalhos utilizou testes de laboratório para isolar diferentes espécies e verificar a descoloração delas com o corante puro em meios de cultura, sendo essas espécies derivadas ou não de um efluente real coletado. Foram escolhidas para as pesquisas as que apresentaram maior descoloração inicial.

Outro fator mencionado com frequência para a escolha das bactérias, tanto para direcionar o isolamento em meio de cultura quanto como método único de escolha, foi a preexistência de literatura quanto ao potencial de descoloração, que aparece em 33,3% dos trabalhos e é o caso dos gêneros *Bacillus*, *Enterobacter* e *Pseudomonas*.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

Quanto à escolha dos corantes, apenas 8 dos trabalhos selecionados justificam a escolha do corante para o teste. Dentre esses 8 trabalhos, em 75% o motivo se relaciona principalmente à incidência do uso do corante no país onde a pesquisa foi realizada ou na taxa de uso global.

De forma geral, os dados reunidos indicam que poucos gêneros bacterianos concentram a maior parte das aplicações, ao mesmo tempo em que alguns corantes aparecem de forma recorrente nos experimentos. Esse cenário evidencia a preferência por microrganismos e compostos já consolidados na literatura, o que contribui para reforçar sua eficácia, mas também aponta a necessidade de ampliar os estudos com novas espécies e diferentes tipos de corantes.

4. Conclusão

Os resultados reunidos nesta revisão sistemática evidenciam que a biorremediação se apresenta como uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento de efluentes têxteis contaminados por corantes azóicos. As taxas de descoloração observadas variaram entre 78,20% e 100%, mostrando consistência entre diferentes estudos e condições experimentais. Além da redução visível da cor, destacaram-se benefícios adicionais como a diminuição de parâmetros de carga orgânica (DBO e DQO), pH e Cr(VI), frequentemente acompanhados de análises de fitotoxicidade, que apontaram para a possibilidade de reaproveitamento dos efluentes tratados em aplicações agrícolas.

A análise também revelou a predominância de alguns gêneros bacterianos, como *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter*, recorrentes na maioria das pesquisas revisadas e frequentemente associados a corantes específicos, como Reactive Black 5, Metanil Yellow G, Congo Red e Acid Red 14. Essa recorrência reforça a eficácia desses microrganismos, mas também evidencia a tendência da literatura em concentrar esforços em organismos já amplamente descritos, o que limita a diversidade de alternativas testadas. Ainda assim, os dados reunidos demonstram que a aplicação de bactérias, isoladas ou em consórcios, pode ser

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

adaptada para diferentes contextos, desde que consideradas as particularidades do efluente.

Apesar dos avanços identificados, este estudo apresenta limitações importantes. A revisão considerou apenas artigos disponíveis na base Scopus, o que pode restringir a amplitude da análise. Além disso, a maioria dos trabalhos foi conduzida em condições laboratoriais controladas, que não refletem a complexidade química e operacional dos efluentes industriais reais. Outro aspecto a ser ressaltado é a concentração de pesquisas em poucos gêneros bacterianos já consolidados, o que reduz a possibilidade de identificar novas espécies ou consórcios com desempenho potencialmente superior.

Diante dessas limitações, recomenda-se que futuras investigações ampliem a diversidade de microrganismos estudados, avaliem combinações de espécies que possam atuar de forma sinérgica e, principalmente, avancem para testes em escala piloto e industrial. A integração da biorremediação com técnicas físico-químicas já empregadas no setor têxtil também se apresenta como caminho promissor para elevar a eficiência, reduzir custos e tornar os processos de tratamento mais sustentáveis. Assim, este estudo contribui ao sistematizar evidências científicas dispersas e reforçar a necessidade de transpor o conhecimento gerado em laboratório para a prática industrial, aproximando a pesquisa acadêmica das demandas reais da sociedade e da economia.

Referências

ABIT. **Perfil do Setor**. 2023. Disponível em: https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor. Acesso em: 7 dez. 2023.

AL-ANSARI, M. M. *et al.* Decolourization of azo dye using a batch bioreactor by an indigenous bacterium Enterobacter aerogenes ES014 from the waste water dye effluent and toxicity analysis. **Environmental Research**, v. 205, 2022.

ARIFFIN, M. *et al.* Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry Using Chitosan. **Journal of Chemical and Natural Resources Engineering**, v. 4, p. 43–53, 2009.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, H.; SCHMIDT, J. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117–130, 2008.

BABU, B. *et al.* Textile technology: Cotton textile processing: Waste generation and effluent treatment. **Journal of Cotton Science**, v. 11, p. 141–153, 2007.

CERETTA, M. B. *et al.* Biodegradation of textile wastewater: Enhancement of biodegradability via the addition of co-substrates followed by phytotoxicity analysis of the effluent. **Water Science and Technology**, v. 2017, n. 2, p. 516–526, 2017.

CHENG, H. *et al.* Efficient reduction of reactive black 5 and Cr(VI) by a newly isolated bacterium of Ochrobactrum anthropi. **Journal of Hazardous Materials**, v. 406, 2021.

COUTINHO, T. B.; SALES, D. da S.; SALES, C. M. R. Biodiversidade, Fragmentação de Habitats e Epidemiologia da Febre Maculosa Brasileira. **Revista PPC –Políticas Públicas e Cidades**, v. 14, n. 6, p. 1, 2025.

FRANCA, R. D. G. *et al.* Oerskovia paurometabola can efficiently decolorize azo dye Acid Red 14 and remove its recalcitrant metabolite. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 191, 2020.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASO, M. de L.; MANFIO, G. P. Aspéctos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 34, p. 35–43, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo, SP: Editora Atlas Ltda, 2022.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, p. 71–78, 2000.

GUEMBRI, M. *et al.* Decolorization of textile azo dye Novacron Red using bacterial monoculture and consortium: Response surface methodology optimization. **Water Environment Research**, v. 93, n. 8, p. 1346–1360, 2021.

GUO, G. *et al.* Decolorization and detoxification of azo dye by halo-alkaliphilic bacterial consortium: Systematic investigations of performance, pathway and metagenome. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 204, 2020.

GUO, G. *et al.* Development and characterization of a halo-thermophilic bacterial consortium for decolorization of azo dye. **Chemosphere**, v. 272, 2021.

HUSSAIN, S. *et al.* Biodecolorization of reactive black-5 by a metal and salt tolerant bacterial strain Pseudomonas sp. RA20 isolated from Paharang drain effluents in Pakistan. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 98, p. 331–338, 2013.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

IHSANULLAH, D. *et al.* Bioremediation of dyes: Current status and prospects. **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, 2020.

IKRAM, M. *et al.* Biological Degradation of the Azo Dye Basic Orange 2 by Escherichia coli: A Sustainable and Ecofriendly Approach for the Treatment of Textile Wastewater. **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 13, 2022.

KISHOR, R. *et al.* Environment friendly degradation and detoxification of Congo red dye and textile industry wastewater by a newly isolated Bacillus cohnni (RKS9). **Environmental Technology and Innovation**, v. 22, 2021.

MISHRA, S.; MAITI, A. Study of simultaneous bioremediation of mixed reactive dyes and Cr(VI) containing wastewater through designed experiments. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 12, 2019.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, v. 339, n. jul21 1, p. b2535–b2535, 2009.

NAJME, R. *et al.* Biodecolorization of Reactive Yellow-2 by Serratia sp. RN34 Isolated from Textile Wastewater. **Water Environment Research**, v. 87, n. 12, p. 2065–2075, 2015.

PATEL, H. *et al.* A Recent and Systemic Approach Towards Microbial Biodegradation of Dyes from Textile Industries. **Water**, v. 14, 2022.

PATIL, N. P. *et al.* Decolourisation of dyes and its mixture by Providencia sp. VNB7 isolated from textile effluent treatment plant. **Journal of Industrial Pollution Control**, v. 32, n. 2, p. 623–628, 2016.

PRABHAKAR, Y.; GUPTA, A.; KAUSHIK, A. Using indigenous bacterial isolate Nesterenkonia lacusekhoensis for removal of azo dyes: A low-cost ecofriendly approach for bioremediation of textile wastewaters. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 4, p. 5344–5367, 2022.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ªed. Novo Hamburgo - RS: Feevale, 2013. Disponível em: Acesso em: 18 jul. 2023.

SAHA, P.; RAO, B. Biotransformation of Reactive Orange 16 by alkaliphilic bacterium Bacillus flexus VITSP6 and toxicity assessment of biotransformed metabolites. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, 2019.

ŞEN, S.; DEMIRER, G. N. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. **Water Research**, v. 37, n. 8, p. 1868–1878, 2003.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 22/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/djpy2159
Pages: 1-19

SINGH, A. L. *et al.* Biodegradation of Reactive Yellow-145 azo dye using bacterial consortium: A deterministic analysis based on degradable Metabolite, phytotoxicity and genotoxicity study. **Chemosphere**, v. 300, 2022.