

# REDES DE REUSO DE ÁGUAS INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO

**Leonardo Oliveira Santos de Santana**<sup>1</sup>; Edna dos Santos Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em engenharia química;( Iniciação científica – EMBRAPPII); leosantana049@gmail.com

<sup>2</sup>Doutora em química; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; ednasa@fieb.org.br

## RESUMO

Dada a escassez dos recursos hídricos, se tornou fundamental nos últimos anos a economia e o reuso de água, direcionando o consumo de águas com qualidade inferior, fora dos padrões de potabilidade, para usos menos nobres como o industrial, o que aumenta a sustentabilidade ambiental. Neste sentido, a aplicação da chamada economia circular na indústria hoje, visa então atender diretrizes ambientais e a sustentabilidade dos processos. Nesse contexto, o estudo e a implementação de metodologias para o reuso de águas industriais são importantíssimas e essa solução vem sendo desenvolvida e estudada nos últimos anos como alternativa para a diminuição do consumo de águas que poderiam ter usos mais nobres. Tendo isso em vista, esse trabalho objetivou fazer uma revisão sistemática sobre redes de reuso de água industriais visando gerar um panorama geral do que está sendo discutido e pesquisado sobre este tema. Verificou-se um número crescente de publicações, sendo a maioria com foco em tratamento de efluentes industriais para remoção de contaminantes específicos e metodologias aplicadas para otimizar as redes de reuso de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, consumo de água, redes de reuso.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo de água nas indústrias e a visão fim de tubo que por anos prevaleceram nos modelos de produção, resultando na poluição do meio ambiente e na escassez de água em algumas regiões<sup>1</sup> dão espaço hoje à busca por soluções sustentáveis, que implicam em um sistema de produção mais limpos, ao mesmo tempo que continuam trazendo lucros e que tenham relevância social<sup>2</sup>. Além disso as indústrias são desafiadas a fazer cada vez mais o uso consciente da água devido às regulamentações ambientais cada vez mais rígidas sobre a descarga de águas residuais, devido a seus impactos adversos nos ecossistemas naturais<sup>3</sup>.

Neste contexto, o gerenciamento de recursos hídricos se faz essencial na busca por processos ótimos que promovam conservação e uso racional da água<sup>4</sup>. Dessa forma, uma das estratégias a serem aplicadas é o uso das redes de reuso de águas residuais<sup>3,5</sup>, que tem por finalidade o aumento na eficiência na utilização de água, reduzindo ao máximo o descarte e a perda de águas e efluentes nas indústrias, conservando os ecossistemas e reduzindo e prevenindo a poluição.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sistemática de publicações produzidas nos últimos anos, visando gerar um panorama geral do que está sendo discutido e pesquisado sobre a temática de redes de reuso de água dentro de uma planta ou entre plantas industriais.

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nas bases de pesquisa dos periódicos CAPES, do Web of Science, Scielo, Google acadêmico e Scopus. Utilizou-se na pesquisa a combinação das seguintes palavras chave: “Reuse network near industrial”, “industrial water reuse network and optimization and effluent or wastewater”, “non linear program and industrial effluent or wastewater and treatment”, “reuse network and analysis of industrial effluent”, “reuse near industrial and methods of treatment and industrial effluent or wastewater”, “industrial effluent treatment plant and methods of treatment and optimization”, entre outras. O período de busca foi delimitado em 10 anos (entre 2008 e outubro de 2018).

Nos resultados obtidos da busca de artigo nas bases de dados foram aplicados os seguintes critérios de exclusão: publicações que não tinham o artigo completo disponível, aderência aos objetivos da pesquisa informacional, duplicidade nas diferentes plataformas.

A partir da pesquisa realizada nas plataformas foi elaborada uma planilha no Microsoft Excel® e as publicações encontradas foram ordenadas e agrupadas. Posteriormente, as informações contidas nos artigos foram cruzadas para compor os resultados deste resumo expandido.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas dos conjuntos de palavras chave nas bases geraram uma quantidade grande de artigos, fez-se então a exclusão de alguns artigos de acordo com critérios como duplicidade dos artigos, temas destoantes do objetivo da pesquisa, já que a busca por palavras chave traz artigos que apesar de possuírem as palavras pesquisadas, não se aderem ao tema. Um dado importante é o presente na Tabela 01, onde podemos observar o número de artigos encontrados por conjunto de palavras chave.

Conjunto de palavras chave	Nº artigos Pesquisa preliminar	Nº artigos selecionados	% (selecionados/ preliminar)
Reuse network near industrial	8	5	62,5
Industrial water reuse network and optimization and effluent or wastewater	20	14	70,0
Industrial effluent or wastewater and treatment and non-potable	13	3	23,1
Nonlinear program and industrial effluent or wastewater and treatment	4	4	100,0
Analysis and industrial effluent or wastewater and treatment and non-potable	3	0	0,0
Reuse network and analysis of industrial effluent	14	8	57,1
Reuse near industrial and methods of treatment and industrial effluent or wastewater	22	13	59,1
Computer simulation of reuse network and optimization	20	0	0,0
Computer simulation or nonlinear problem and network and industrial effluent or wastewater	6	5	83,3
Industrial effluent treatment plant and methods of treatment and optimization	18	7	38,9
Analysis and industrial effluent or wastewater and treatment and non-potable	26	2	7,7
<b>Total</b>	<b>154</b>	<b>61</b>	<b>39,6</b>

Tabela 1: Quantitativo dos artigos encontrados, selecionados e baixados nas bases de pesquisa.  
Fonte: Própria, 2018.

O conjunto que mais gerou resultado foi: “analysis and industrial effluent or wastewater and treatment and non-potable”. Os dados do gráfico são da pesquisa preliminar, após aplicação dos critérios de exclusão tivemos os resultados por combinação de palavras chave contidos na Tabela 1, onde podemos encontrar o percentual de aproveitamento geral e por palavra chave. Nesse caso a combinação que mais teve artigos aderentes ao tema foi: “Computer simulation or nonlinear problem and network and industrial effluent or wastewater” com 83% de aproveitamento dos artigos (após passarem pelos critérios de exclusão).

Após pesquisa preliminar com as palavras chave acima citadas, o número total de artigos foi reduzido segundo os critérios de exclusão e divididos em 3 grandes grupos, a dizer:

- I- Artigos sobre redes de reuso de águas;
- II- Artigos sobre tratamento de efluentes (que incluem a otimização dentro das ETEs);
- III- Temática diversa (Produção mais limpa, otimização de processos, etc.).

Dos 49 artigos baixados nas bases no levantamento bibliográfico, 15 deles falam sobre redes de reuso, trazendo os desafios do design ótimo para a rede, modelos de otimização, como centralizada e descentralizada, além desses temos os trabalhos que tratam de estratégias para gestão e reuso utilizando a metodologia de diagrama de fontes de água, além e trabalhos que inferem sobre modelos de programação não linear (MINLP) para o desenvolvimento de redes de reuso de água.

A maior parte dos artigos (23) abordam a temática do tratamento do efluente, trazendo novas metodologias e estudos para melhoria de processos dentro das plantas de tratamento e operações unitárias modificadas com a finalidade de melhorar a eficiência, ou atender melhor a necessidade específica de um contaminante.

Por fim temos artigos que tem temática diversa, que trazem metodologias de integração de processos no que tange o reaproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos, otimização de processos e metodologias de produção mais limpa aplicada ao consumo de água e aproveitamento de efluentes na indústria, além de estudos sobre a pegada hídrica e metodologias de gerenciamento de águas superficiais e residuais.

No gráfico da figura abaixo podemos encontrar o número de artigos (figura 02) e seus respectivos anos de publicação (figura 01). A linha de tendência desse gráfico demonstra um aumento significativo de publicações nos últimos anos.

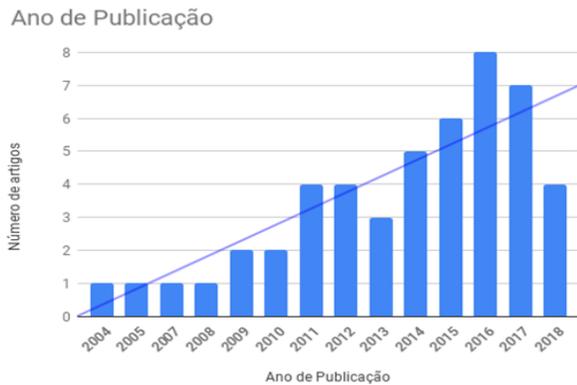


Figura 01: Número de artigos baixados por ano de publicação.  
Fonte: Própria, 2018.

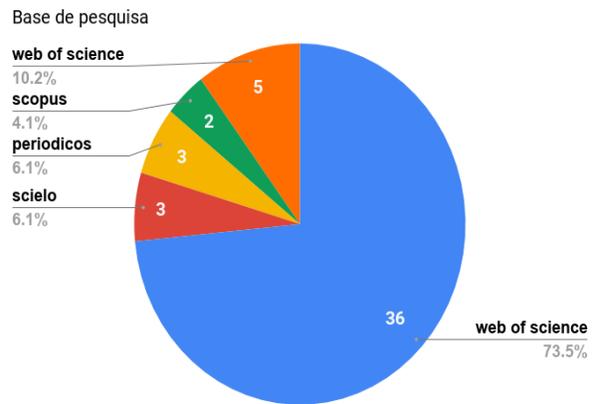


Figura 02: Número de artigos de acordo com a base de pesquisa  
Fonte: Própria, 2018

Além disso, pode-se observar a partir dos artigos encontrados trabalhos muito avançados de Alnouri<sup>3, 5, 6</sup> tratando de temas como a integração de zonas industriais, nos chamados eco parques industriais, locais onde as indústrias compartilham recursos de forma integrada, fazendo uso até mesmo de redes de reuso de água. Em seus trabalhos Alnouri aborda a síntese de redes ótimas de reuso de água levando em conta o local de tratamento (centralizado ou descentralizado)<sup>3</sup> a topologia local e as chamadas barreiras, obstáculos às tubulações da rede<sup>6</sup>, assim como o tratamento multicontaminante e com contaminante única, levando em conta aspectos como a mistura ou não dos efluentes em uma única linha a ser direcionada para tratamento<sup>5</sup>.

Esse tipo de pesquisa abre espaço para a elaboração de tecnologias que promovem o reuso de águas residuais, otimizando essas redes, abre espaço também para implementação otimizada dos chamados eco parques industriais, parques industriais que compartilham recursos, inclusive água de reuso. Levando em consideração aspectos como a topologia, barreiras onde a rede não pode passar, e formas ótimas de mistura das correntes de efluentes.<sup>3,5,6</sup>

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, portanto, a partir dos dados obtidos nas bases de pesquisa, que o número de artigos referentes ao tema aumentou nos últimos anos. Isso aconteceu devido à busca de novas soluções, economicamente viáveis e ambientalmente amigáveis que visam atender a sustentabilidade dos processos.

O número de artigos científicos e teses encontrados que se enquadram diretamente ao tema é considerável, o que demonstra que esse campo de estudo, embora relativamente novo já se encontra com pesquisas avançadas, abrindo espaço para a criação de novas tecnologias de otimização de redes de reuso de águas industriais.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Mierzwa, J. C; Hespanhol, I. Água na indústria: uso racional e reuso [1ª reimpr.]- São Paulo, oficina dos textos,2017.
- <sup>2</sup> Neto, G. C. O; et al. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. 2015.
- <sup>3</sup> Alnouri, S. Y.; Linke, P.; El-Halwagi, M. M. A synthesis approach for industrial city water reuse networks considering central and distributed treatment systems. 2014
- <sup>4</sup> Mirre, R. C.; Ferreira, S. C. L.; Dias, A. R.; Pessoa, F.L.P. Conservação e reuso de águas usando o método diagrama de fontes de água para processos em batelada: um estudo de caso. 2012
- <sup>5</sup> Alnouri, S. Y.; Linke, P.; El-Halwagi, M. M. Synthesis of industrial park water reuse networks considering treatment systems and merged connectivity options. 2016
- <sup>6</sup> Alnouri, S. Y.; Linke, P.; El-Halwagi, M. M. Water integration in industrial zones: a spatial representation with direct recycle applications. 2014.