

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade 2

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2018

Luis Miguel Schiebelbein

(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade 2

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade 2 / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.2)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-025-4
DOI 10.22533/at.ed.254190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Na continuidade do Volume I, a obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume II, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados nas grandes áreas temáticas de Qualidade da Água, Recursos Hídricos no Abastecimento, Utilização Agrícola dos Recursos Hídricos & Sustentabilidade, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume II, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA POLÍTICA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE CANÁPOLIS-MG	
<i>Roberta Christina Amancio</i>	
<i>Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909011	
CAPÍTULO 2	12
AVALIAÇÃO DA EUTROFIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS AÇUDE DA MACELA E JACARECICA ITABAIANA-SE DO ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS-IQAR	
<i>Maria Caroline Silva Mendonça</i>	
<i>Helenice Leite Garcia</i>	
<i>Valdelice Leite Barreto</i>	
<i>Carlos Alexandre Borges Garcia</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909012	
CAPÍTULO 3	22
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA RIBEIRA USANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	
<i>Carlos Eduardo Oliveira Santos</i>	
<i>Lucas Cruz Fonseca</i>	
<i>José do Patrocinio Hora Alves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909013	
CAPÍTULO 4	31
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS LANÇADAS POR BACIAS DE DETENÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL, DF – BRASIL.	
<i>Carolinne Isabella Dias Gomes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909014	
CAPÍTULO 5	40
AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS DA REGIÃO CELEIRO DO RS	
<i>Marieli da Silva Marques</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909015	
CAPÍTULO 6	47
COMPARAÇÃO DE ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO UTILIZADO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DURANTE PERÍODO DE SECA, SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
<i>Leandro Gomes Viana</i>	
<i>Patrícia Silva Cruz</i>	
<i>Dayany Aguiar Oliveira</i>	
<i>Ranielle Daiana dos Santos Silva</i>	
<i>José Etham de Lucena Barbosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2541909016	

CAPÍTULO 7 55

UTILIZAÇÃO DA CAFEÍNA COMO INDICADOR DE CONTAMINAÇÃO POR ESGOTO DOMESTICO NO AÇUDE BODOCONGÓ EM CAMPINA GRANDE, PB

Alvânia Barros De Queiróz
Neyliane Costa De Souza
Márcia Ramos Luiz
Geralda Gilvania Cavalcante
Lígia Maria Ribeiro Lima

DOI 10.22533/at.ed.2541909017

CAPÍTULO 8 66

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO – IQAR PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS ALGODOEIRO E GLÓRIA

Anairam Piedade de Souza Melo
Helenice Leite Garcia
Maria Caroline Silva Mendonça
Valdelice Leite Barreto
Carlos Alexandre Borges Garcia

DOI 10.22533/at.ed.2541909018

CAPÍTULO 9 77

ANÁLISE DA ESCASSEZ HÍDRICA NO PAÍS NO PERÍODO 2012-2016 E DAS AÇÕES DE GESTÃO EM ÁREAS CRÍTICAS

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira
Teresa Luísa Lima de Carvalho
Laura Tillmann Viana

DOI 10.22533/at.ed.2541909019 .

CAPÍTULO 10 92

DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: OTIMIZAÇÃO EVOLUTIVA CONSIDERANDO CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Marcos Rodrigues Pinnto
Marco Aurélio Holanda de Castro
João Marcelo Costa Barbosa
Josér Valmir Farias Maia Junior

DOI 10.22533/at.ed.25419090110

CAPÍTULO 11 100

CONSIDERAÇÕES E REFLEXÕES SOBRE O QUADRO DE CRISE NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – MG: O CASO DA BACIA DO ALTO RIO DAS VELHAS

Bernardo Ribeiro Filizzola
Cristiano Pena Magalhães Marques
Rodrigo Silva Lemos
Antônio Pereira Magalhães Junior Guilherme Eduardo Macedo Cota

DOI 10.22533/at.ed.25419090111

CAPÍTULO 12 111

SÍNTESE DE SISTEMAS DE TRATAMENTO FINAL DE EFLUENTES INDUSTRIAIS NA SELEÇÃO DE CENÁRIOS DE REÚSO DE ÁGUA

Reinaldo Coelho Mirre
Mariana de Souza dos Santos
Dalal Jaber Suliman Abdullah Audeh

André Luiz Hemerly Costa Fernando Luiz

Pellegrini Pessoa

DOI 10.22533/at.ed.25419090112

CAPÍTULO 13..... 120

FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Patrícia Silva Cruz

Leandro Gomes Viana

Dayany Aguiar Oliveira

Ranielle Daiana dos Santos Silva

José Etham de Lucena Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.25419090113

CAPÍTULO 14..... 128

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Gilson Bárbara

Marcelo José Romagnoli

Dagmar Aparecida de Marco Ferro

DOI 10.22533/at.ed.25419090114

CAPÍTULO 15..... 131

DIAGNÓSTICO DAS COMUNIDADES RURAIS DIFUSAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO

Eduardo Jorge de Oliveira Motta

DOI 10.22533/at.ed.25419090115

CAPÍTULO 16..... 141

DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO E FORMULAÇÃO DE PROJETOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA PARA A REGIÃO RURAL DA CIDADE DE BELÉM – PA

Roberta Andrade Ribeiro

Ana Carla Bezerra Santos

Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes

Maria Ludetana Araújo

Antônio de Noronha Tavares

Rubens Takeji Aoki Araujo Martins

Gustavo Neves Silva

DOI 10.22533/at.ed.25419090116

CAPÍTULO 17 150

ANÁLISE DE CENÁRIOS COM REDUÇÃO DA DEMANDA DA ORIZICULTURA NA BACIA DO RIO SANTA MARIA COM APLICAÇÃO DO MODELO CRUZ

Christhian Santana Cunha

Rafael Cabral Cruz

Tatiani Coletto

Vinicius Ferreira Dulac

DOI 10.22533/at.ed.25419090117

CAPÍTULO 18..... 161

IDENTIFICAÇÃO DOS ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS NA PESCA E AQUICULTURA NO PARÁ APLICANDO O ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO NORMALIZADO

Elias Fernandes de Medeiros Junior

DOI 10.22533/at.ed.25419090118

CAPÍTULO 19	167
ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA DO MILHETO IRRIGADO COM ÁGUA CINZA TRATADA	
<i>Mychelle Karla Teixeira de Oliveira</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<i>Francisco de Assis de Oliveira</i>	
<i>Allana Rayra Holanda Sotero</i>	
<i>Wellyda Keorle Barros de Lavôr</i>	
<i>Ricardo André Rodrigues Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.25419090119	
CAPÍTULO 20	174
DESENVOLVIMENTO DO MILHETO CV. CEARÁ IRRIGADO COM ÁGUA CINZA TRATADA	
<i>Ricardo André Rodrigues Filho</i>	
<i>Mychelle Karla Teixeira de Oliveira</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<i>Francisco de Assis de Oliveira</i>	
<i>Allana Rayra Holanda Sotero</i>	
<i>Wellyda Keorle Barros de Lavôr</i>	
DOI 10.22533/at.ed.25419090120	
CAPÍTULO 21	181
AVALIAÇÃO DA TAXA DE DECRÉSCIMO DE UMIDADE PARA DIFERENTES AMOSTRAS DE ÁGUA, AREIA E CAVACO DE MADEIRA	
<i>Adelino Carlos Maccarini</i>	
<i>Marcelo Risso Errera</i>	
<i>Marcelo Rodrigues Bessa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.25419090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	187

SÍNTESE DE SISTEMAS DE TRATAMENTO FINAL DE EFLUENTES INDUSTRIAIS NA SELEÇÃO DE CENÁRIOS DE REÚSO DE ÁGUA

Reinaldo Coelho Mirre

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto de Química
Rio de Janeiro – RJ

Mariana de Souza dos Santos

Universidade do Federal do Rio de Janeiro,
Escola de Química
Rio de Janeiro – RJ

Dalal Jaber Suliman Abdullah Audeh

Universidade do Federal do Rio de Janeiro,
Escola de Química
Rio de Janeiro – RJ

André Luiz Hemerly Costa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto de Química
Rio de Janeiro – RJ

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
de Química
Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo aplicar o método Diagrama de Fontes de Efluentes (DFE) na síntese de redes (estruturas) de tratamento final centralizado e distribuído de efluentes, visando reduzir a vazão de efluente a ser tratado e o seu custo necessário. Pretende-se incorporá-lo a um dos estágios de avaliação de cenários de reúso de água do modelo P+ÁGUA, criado como auxílio à tomada de

decisão para o uso racional da água na indústria. A abordagem foi aplicada a cenários de reúso em processos de uma refinaria de petróleo. Os resultados apontam a vantagem do tratamento distribuído em relação ao centralizado, uma vez que a configuração distribuída alcançou uma redução de vazão de cerca de 23%, em comparação ao centralizado. Neste caso, a síntese de sistemas de tratamento final de efluentes torna-se uma avaliação importante na seleção de cenários com redução do consumo de água e da geração de efluentes, sendo um suporte ao gerenciamento de recursos hídricos na indústria, e contribuindo para a disponibilidade prioritária do abastecimento para consumo humano.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso de água, tratamento distribuído de efluentes, diagrama de fontes de efluentes, integração de processos.

ABSTRACT: This work aims to apply the Wastewater Sources Diagram (WSD) to the synthesis of networks (structures) of distributed and centralized wastewater end-of-pipe treatment in order to reduce the wastewater flow rate to be treated and the costs required. Furthermore, the WSD method can be incorporated to the one of steps of evaluation of water reuse scenarios of CP-WATER model, that was created to provide support to decision making for the rational water consumption

within industrial processes. This approach was applied to water scenarios in oil refinery processes. The results pointed out the benefit of distributed treatment in comparison with centralized treatment network, since the distributed configuration reached a flow rate reduction of about 23%. In this case, the synthesis of wastewater treatment systems aiming to reduce the water consumption and the wastewater generation becomes an important evaluation, being a support to the water resources management in industry, and contributing to the availability priority of supply for human.

KEYWORDS: Water reuse, distributed wastewater treatment, wastewater sources diagram, process integration.

1 | INTRODUÇÃO

Diante do panorama atual de disponibilidade de recursos hídricos para o meio urbano, a preocupação com a distribuição de água nas atividades industriais reflete a importância de se reajustar seu padrão de produção e consumo, buscando meios que levem ao maior aproveitamento possível. Em refinarias de petróleo, por exemplo, há grande consumo de água nos processos industriais, relacionado principalmente aos sistemas de resfriamento e de geração de vapor.

A Integração de Processos Químicos, campo de atuação da Engenharia de Processos Químicos, é uma abordagem holística voltada para o projeto e a operação de processos, em uma análise integrada de produção (DUNN e EL-HALWAGI, 2003). Para tanto, desenvolve e aplica técnicas que visam solucionar ineficiências em processos, analisando o processo global e as interações entre suas etapas. A aplicação de métodos gerais e sistemáticos de Integração de Processos busca essencialmente o uso eficiente de energia e a redução de impactos ao meio ambiente, seja visando à redução de perdas de matéria-prima e de consumo de água e energia, e/ou na redução de emissões de gases e geração de efluentes. Neste sentido, a Integração de Processos constitui um importante canal para a sustentabilidade dos processos industriais.

Uma importante ferramenta da Integração de Processos é o método algorítmico-heurístico Diagrama de Fontes de Água (DFA) (GOMES *et al.*, 2007), que orienta a alocação de correntes hídricas para gerar redes (ou fluxogramas) com máximo reaproveitamento (reúso e/ou reciclo) nas operações, incluindo a análise de restrições de processo e regeneração de contaminantes, proporcionando a redução da necessidade de captação e consumo de água, além de tratamento e descarte de efluentes. O DFA utiliza dados de vazão e concentração de contaminantes nas operações para gerar um diagrama de intervalos de concentração, o qual tem como premissa assimilar carga mássica de contaminantes. O método é apresentado em detalhes no trabalho de Gomes *et al.* (2007), e pode ser aplicado a diferentes setores da indústria de processos. Para auxiliar no gerenciamento sustentável do uso racional da água em processos industriais foi criado um modelo integrado chamado P+ÁGUA

(MIRRE, 2012). Este modelo procura selecionar oportunidades de reaproveitamento geradas pela aplicação do DFA, que sejam promissoras para estudos subsequentes de viabilidade de implantação. O modelo incorpora o método DFA às práticas de estratégia de gestão ambiental Produção mais Limpa (P+L), e a seleção de cenários considerados promissores leva em conta fatores como custo operacional, realinhamento de correntes, investimento eventual em processos regenerativos e atribuição de valor para potencial de impactos negativos de contaminantes na interação socioambiental do descarte de efluentes. MIRRE *et al.* (2013) aplicaram o procedimento de filtragem preliminar de cenários de reúso do P+ÁGUA a um estudo de caso de refinaria de petróleo, e observaram a flexibilidade do modelo na seleção envolvendo poucos cenários alternativos obtidos com o DFA.

Uma análise que pode ser contemplada pelo P+ÁGUA refere-se ao tipo de tratamento final de efluentes. Neste caso, o tratamento pode ocorrer tanto por abordagem centralizada quanto por configuração distribuída. Na primeira, os efluentes são unificados para serem tratados por uma sequência de técnicas em uma central, enquanto que na segunda, as correntes são tratadas em série/paralelo, de modo individualizado ou por correntes unificadas por características afins; ao contrário da centralizada, a configuração distribuída tem como vantagem a possibilidade de diminuir a vazão de efluente a ser tratado, permitindo reduzir custos operacionais e de investimento.

Para a síntese de sistemas de tratamento final de efluentes, Húngaro (2005) desenvolveu um procedimento para seleção da sequência de tratamento para um conjunto de correntes de efluentes, em função da eficiência de remoção. O algoritmo gerou a menor vazão para o tratamento distribuído, relativamente à configuração centralizada. As heurísticas apresentadas por Húngaro (2005) constituem a base para o desenvolvimento do DFE, proposto por Delgado (2008). A partir do DFA, Delgado (2008) adaptou a síntese de sistemas de regeneração diferenciada e para tratamento final distribuído de efluentes, selecionando e determinando a sequência de técnicas de tratamento. O procedimento para tratamento distribuído foi chamado de Diagrama de Fontes de Rejeitos (DFR), ou Diagrama de Fontes de Efluentes (DFE), conforme denominado por Pacheco (2014), que aplicou o método DFE a dados típicos de refinarias de petróleo, demonstrando sua aplicabilidade e a importância de se analisar as redes de tratamento de efluentes.

O objetivo deste trabalho é aplicar o método DFE ao cenário base do estudo de caso de uma refinaria de petróleo e enquadrá-lo aos estágios de aplicação do modelo P+ÁGUA. Com isso, a ideia é demonstrar que a técnica pode ser empregada para um cenário real e complexo, tornando-se um instrumento complementar na tomada de decisão em relação aos cenários promissores de reúso.

2 | METODOLOGIA

Inicialmente, a aplicação do DFA reduz a necessidade de investimento imediato em técnicas de tratamento de efluentes, uma vez que prioriza o máximo reúso nas operações. Por outro lado, o DFE pode reduzir a vazão de efluente final a ser tratado, de acordo com a estrutura da rede do tratamento empregada. Assim, a incorporação do DFE ao modelo DFE complementa a análise de seleção de oportunidades de cenários de reúso do P+ÁGUA. A Figura 1 esquematiza os principais estágios de aplicação do modelo P+ÁGUA, os quais levam à seleção de alternativas promissoras de cenários de reúso e/ou reciclo de correntes, mostrando a proposta de alocação complementar do DFE, antecedente à análise do potencial de impacto do descarte de efluentes do modelo.

O procedimento DFE está descrito em detalhes no estudo de Pacheco (2014). Possui uma estrutura na forma de diagrama de intervalos de concentração, semelhante à abordagem do DFA, porém com foco voltado nas concentrações originais de cada efluente, de descarte do contaminante de referência e daquelas relativas ao efluente tratado (C_{kt}^e), obtidas pela eficiência de remoção (RR) do efluente no regenerador. O objetivo é alcançar uma rede com vazão mínima de efluente a ser tratado e que possa atender à máxima concentração de descarte dos contaminantes. A quantidade de contaminante a ser removido em uma dada operação é obtida pelo produto da vazão da corrente de efluente, em t/h, pela diferença entre a concentração do contaminante na operação e a concentração de descarte deste contaminante, em ppm.

A representação das operações no DFE é dada por setas que partem da concentração de descarte e vão até o valor de concentração original do contaminante de referência do efluente, em ordem crescente de concentração. A cada operação, alinham-se as suas respectivas vazões. A vazão de efluente a ser tratado prioriza a mistura com efluente de maior concentração disponível (mais “sujo”), a partir do intervalo de menor concentração. Neste caso, são observadas duas regras (PACHECO, 2014): (i) realizar o cálculo da vazão de efluente a ser tratado através de tratamento externo somente quando não houver efluente “interno” com concentração menor que a do efluente a ser tratado disponível para mistura. Na disponibilidade de efluente interno, usar preferencialmente o proveniente da mesma corrente; (ii) para uma determinada corrente de efluente, a vazão a ser tratada em um determinado intervalo deve remover a quantidade de massa do respectivo intervalo. Partindo do último intervalo de cada operação no DFE, realiza-se a síntese da rede de tratamento distribuído de efluentes.

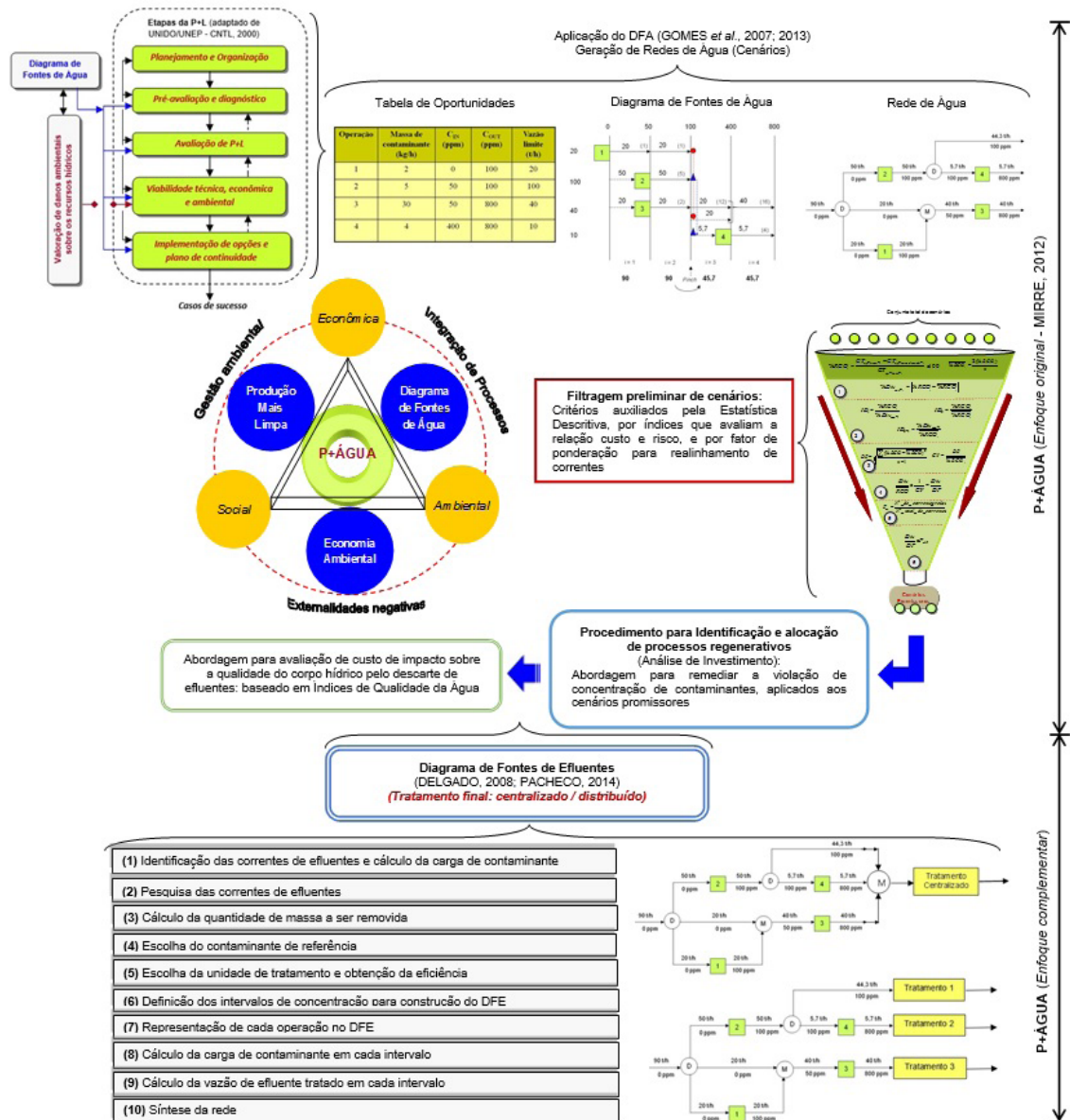


Figura 1 – Representação do modelo P+ÁGUA, considerando os principais estágios de aplicação associados à seleção de cenários promissores de reúso e adaptação da síntese de tratamento final de efluentes ao modelo.

2.1. Caso de estudo: processos hídricos em uma refinaria de petróleo

Os dados de balanço hídrico do cenário base (inicial) de uma refinaria de petróleo foram obtidos do estudo de Mirre (2012). A Figura 2 ilustra o diagrama de blocos representativo deste processo, com suas operações representadas e as correntes devidamente numeradas. Embora a estação de tratamento de despejos industriais (ETDI) esteja colocada como um bloco único, o DFE pode ser aplicado às correntes de entrada da ETDI, para verificação das configurações de tratamento final de efluentes, utilizando alternativamente as correntes afluentes do ponto de mistura M. Como o objetivo aqui é demonstrar o emprego do DFE para um cenário complexo, sua aplicação contemplará somente o cenário base, não se voltando aos cenários promissores de reúso gerados com a aplicação do DFA.

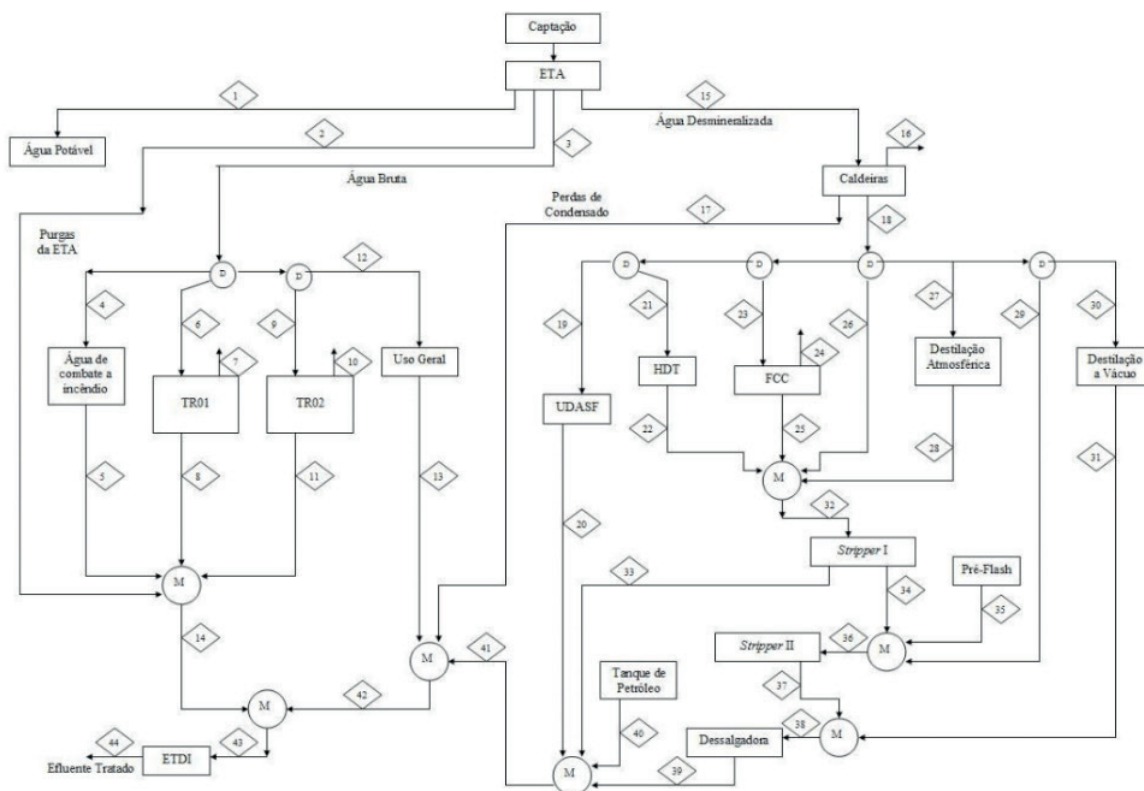


Figura 2 – Rede de água do cenário base de uma refinaria de petróleo (MIRRE, 2012)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a aplicação do DFE, o cenário base da refinaria de petróleo considera a presença de sete contaminantes representativos, os quais são identificados apenas por letras (A, B, C, D, E, F, G), tendo seus respectivos valores de concentração. Da mesma forma, as técnicas de tratamento não são aqui identificadas, pois inicialmente não se pretende denominar as operações de tratamento (a ser realizado em um estágio posterior de aplicação do modelo adotado), mas em estabelecer uma possibilidade de configuração adequada. No entanto, as prováveis técnicas devem apresentar suas respectivas eficiências de remoção, estabelecidas na Tabela 1. As concentrações de descarte dos contaminantes (Cd) são utilizadas de acordo com a legislação, e definidas em estudo prévio (MIRRE, 2012). Para o tratamento centralizado, utiliza-se a corrente resultante do ponto de mistura M (OP 1+2), da Figura 2, afluyente da ETDI (corrente 43); já para a consideração de tratamento distribuído, as correntes são analisadas separadamente (correntes 14 / OP 2, e 42 / OP 1, a montante do misturador M). Cada técnica foi determinada para remoção de um dado contaminante. Neste estudo, os contaminantes A e B não são passíveis de tratamento, dada a indisponibilidade de informações necessárias.

Centralizado		Distribuído			
OP 1 + 2		OP 1		OP 2	
Tratamento	Eficiência	Tratamento	Eficiência	Tratamento	Eficiência

T1 (para E)	0,90	T1' (E)	0,90		0,90
T2 (C)	0,95	T2' (C)	0,95	T2'' (C)	0,95
T3 (D)	0,95	T3' (D)	0,95	T3'' (D)	0,95
T4 (D)	0,95	T4' (D)	0,95		0,95
T5 (G)	0,95	T5' (G)	0,95		0,95
T6 (F)	0,95	T6' (F)	0,95		0,95

Tabela 1 – Eficiências de remoção de contaminante em função do tratamento considerado

As Figuras 3 e 4 ilustram o diagrama de intervalos do DFE e a rede de tratamento obtida para a análise da configuração centralizada, respectivamente. Para resolver este problema, cada diagrama foi elaborado considerando o tratamento individualizado dos contaminantes; porém, a obtenção posterior da rede total é realizada pela integração das contribuições individuais de cada sequência de tratamento. As Figuras 5 e 6 apresentam o resultado para a obtenção do diagrama e da rede de tratamento distribuído, respectivamente.

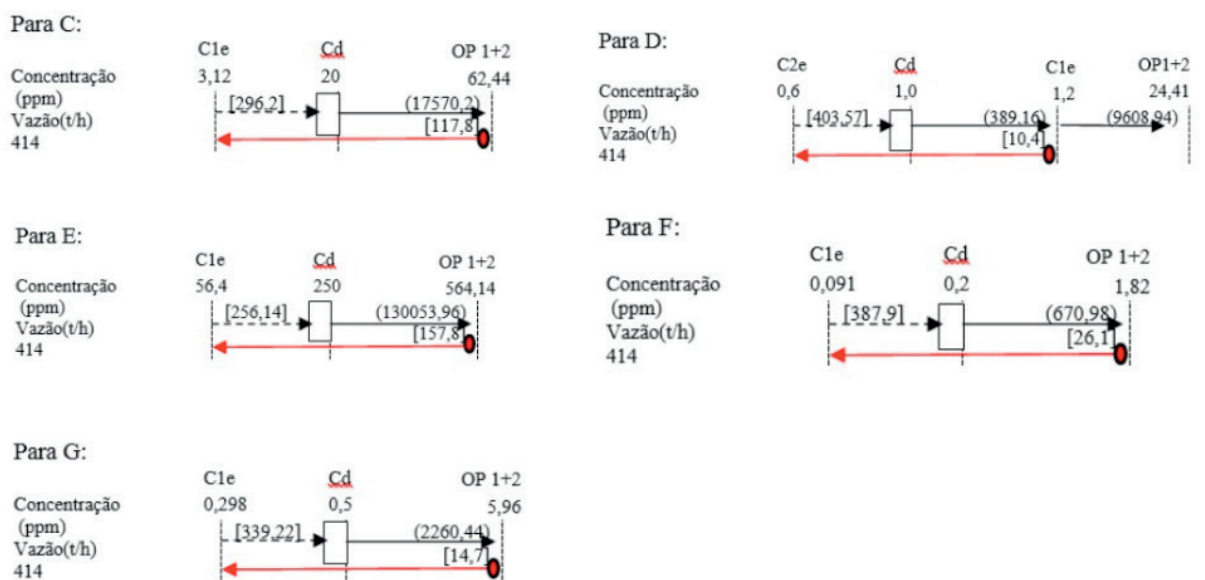


Figura 3 – Representação do diagrama de intervalos de concentração considerando tratamento centralizado

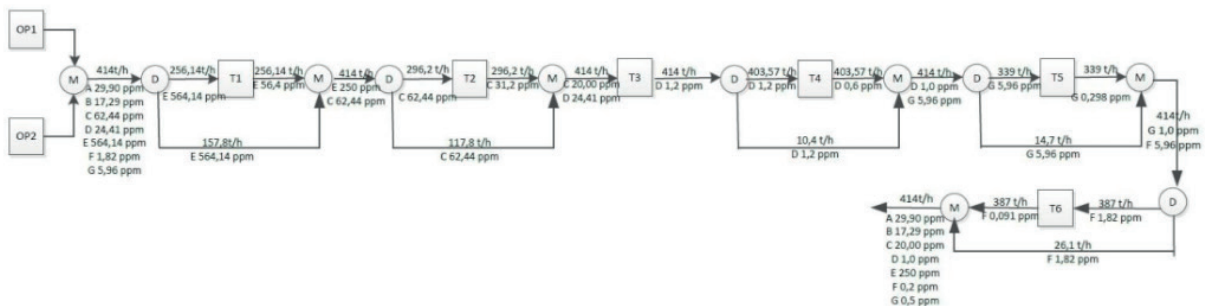


Figura 4 – Rede de tratamento centralizado

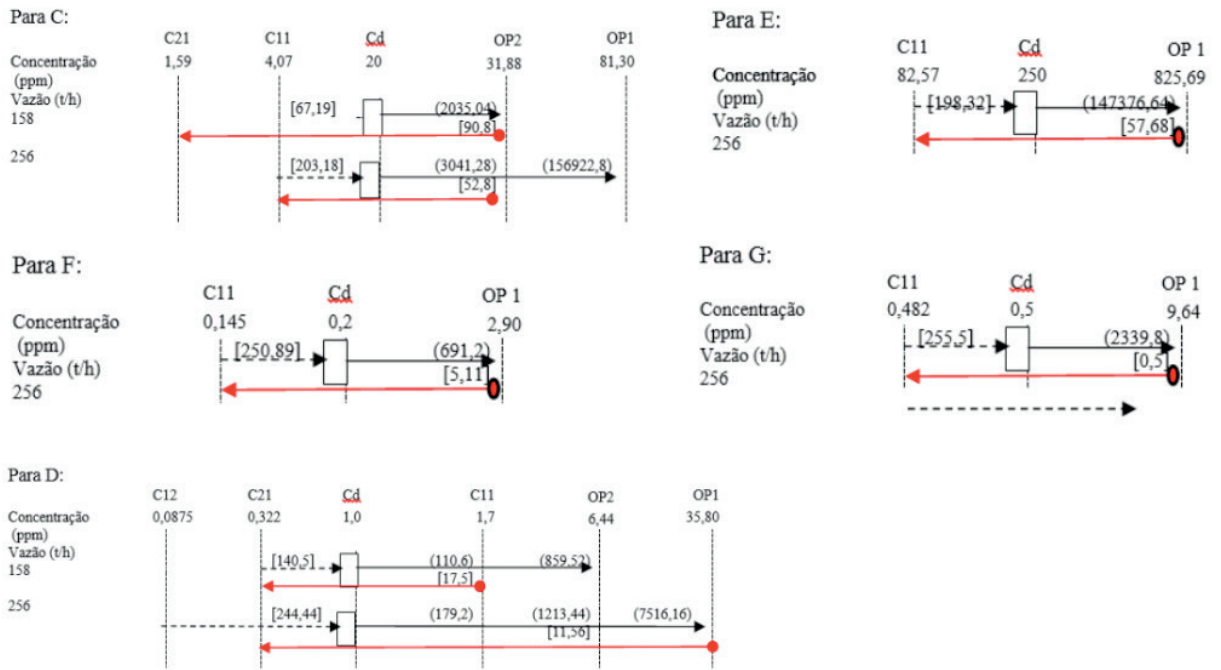


Figura 5 – Representação do diagrama de intervalos de concentração considerando tratamento distribuído

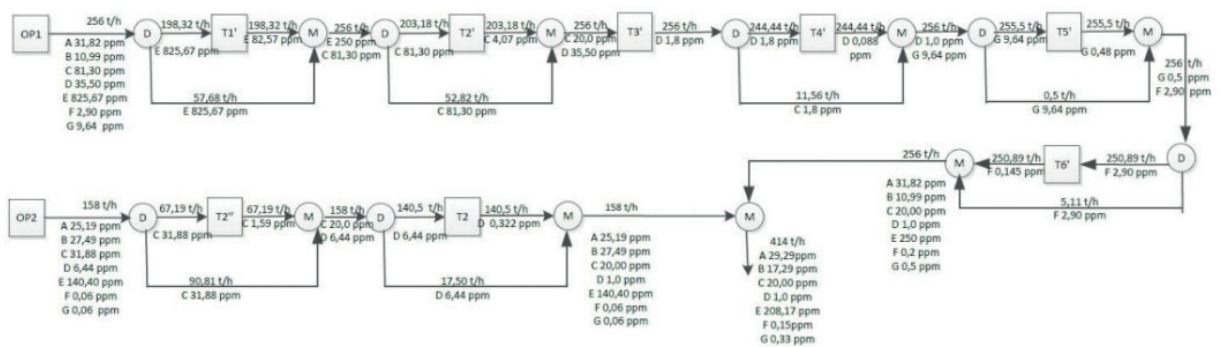


Figura 6 – Rede de tratamento distribuído

A partir da vazão a ser tratada em cada tipo de tratamento, verifica-se que o tratamento centralizado gera 2.095,91 t/h, enquanto que o distribuído necessita tratar uma parcela menor do efluente, 1.616,02 t/h. Deste modo, tem-se uma redução de vazão de cerca de 23% em relação ao centralizado, que se pode traduzir em redução proporcional de custos, constituindo, assim, um incentivo para a análise detalhada deste tipo de tratamento.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo aplicar o procedimento algorítmico-heurístico DFE a um cenário base de processos hídricos refinaria de petróleo, visando demonstrar a redução de vazão de efluente a ser tratada por meio de sua configuração de tratamento. Adicionalmente, propõe incorporar o método DFE ao modelo de gerenciamento integrado de recursos hídricos denominado P+ÁGUA. Foi possível verificar que o

DFE pode ser empregado como norteador da rede de tratamento final de efluentes para um caso industrial, à medida que a configuração distribuída levou à menor vazão de tratamento, viabilizando o alcance de benefícios econômicos e ambiental em relação ao centralizado. Entretanto, vale destacar que estudos adicionais devem ser conduzidos no sentido de selecionar adequadamente as técnicas de tratamento disponíveis e aprimorar a abordagem para o tratamento simultâneo de complexos sistemas multicontaminantes.

REFERÊNCIAS

DELGADO, B. E. P. C. **Síntese de sistemas de regeneração e tratamento final de efluentes**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Rio de Janeiro: UFRJ, 2008, 451 p.

DUNN, R. F.; EL-HALWAGI, M. M. Process integration technology review: background and applications in the chemical process industry. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 78, n. 9, p. 1011-1021, 2003.

GOMES, J. F. S.; MIRRE, R. C.; DELGADO, B. E. P. C.; QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Water sources diagram in multiple contaminant processes: maximum reuse. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 4, p. 1667-1677, 2013.

GOMES, J. F. S.; QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 5, p. 474-485, 2007.

HUNGARO, L. M. **Desenvolvimento de algoritmo para síntese de tratamento distribuído para efluentes líquidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Rio de Janeiro: UFRJ, 2005, 139 p.

MIRRE, R. C. **Metodologia para o gerenciamento sustentável do reúso de águas e efluentes industriais por meio da Integração de Processos**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Rio de Janeiro: UFRJ, 2012, 656 p.

MIRRE, R. C.; YOKOYAMA, L.; PESSOA, F. L. P. P+ÁGUA: um modelo para seleção de oportunidades sustentáveis de reúso de efluentes industriais a partir da Integração de Processos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4, 2013, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: UNIP, 2013, p. 1-10.

PACHECO, L. C. **Síntese da rede de água e do sistema de tratamento distribuído de efluentes em refinarias**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Rio de Janeiro: UFRJ, 2014, 159 p.

SOBRE O ORGANIZADOR

Luis Miguel Schiebelbein - Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-025-4

