

APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA EM PROCESSOS DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO

¹Augusto Cesar Mamona Alves; ¹Eduardo Aurino Almeida Souza; ²Reinaldo Coelho Mirre;
³Rosana Lopes Fialho

¹ Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Federal da Bahia, Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente

³ Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial

Resumo: Nas últimas décadas, tem sido crescente a necessidade de aprimoramento, integração e otimização dos processos na produção de petróleo, seja através da redução de efluentes, ou do consumo de água. Para isso, a utilização de algoritmos e modelos que gerem uma melhor gestão da água utilizada nos processos afirma o compromisso de aprimoramento diário e reforça a visão sustentável da empresa frente a seu futuro. Desta forma, tendo em vista os métodos mais promissores para a gestão sustentável da água, juntamente com a minimização de efluentes, surge a aplicação do método Diagrama de Fontes de Água (DFA). A aplicação de tal método gera cenários de reaproveitamento de correntes de efluentes dentro da própria planta industrial, que posteriormente devem ser analisados a fim de escolher aqueles que são mais promissores, considerando aspectos como viabilidade econômica, geografia da planta e legislação ambiental. Neste estudo foram utilizados como base alguns dados de uma refinaria de petróleo do Nordeste, onde inicialmente foi realizado o balanço hídrico da mesma, reconciliação de correntes, escolha de processos chave, simplificação do fluxograma geral, e aplicação da técnica de Integração de Processos com base na metodologia *Pinch*. Foram gerados sete cenários possíveis de reaproveitamento de água, e, a partir destes, foram escolhidos aqueles potencialmente promissores, gerando uma redução de até 49,7% do total de consumo de água da indústria.

Palavras-chave: Reuso de efluentes, Sustentabilidade, Diagrama de Fontes de Água, Consumo de Água.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o futuro do planeta é algo em foco nas últimas décadas. No final da década de 60 e no início dos anos 70, começou-se a estudar os meios de aliar o uso consciente de recursos ambientais juntamente com o desenvolvimento socioeconômico. É possível notar tal fato a partir da criação dos tratados entre as principais economias do mundo e seu compromisso em consumir a menor quantidade de recursos possíveis do planeta, aliado à menor descarga de efluentes possíveis. Outro ponto a ser destacado é a limitação da quantidade de água doce em rios e aquíferos do planeta, visto que, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), apenas 2,5% de toda a água do planeta é considerada potável, sendo que 69% são consideradas de difícil acesso por se encontrar em geleiras, e 30% correspondem a águas subterrâneas. Desta forma, toda a água proveniente de rios corresponde a apenas 1% de água doce do mundo.

Em decorrência da crescente demanda por energia e combustíveis, a necessidade de se produzir mais com menos tem sido crescente. O processo produtivo deve buscar o uso eficiente de matérias primas, insumos, água e energia, minimizando a geração de resíduos e os impactos ambientais decorrentes das atividades industriais. Assim, torna-se necessário necessário o uso de métodos que melhorem a gestão de água e efluentes, a fim de minimizar o consumo e gerar efluentes com padrões ambientalmente aceitáveis.

Dentre as metodologias voltadas para a gestão sustentável de água, tem-se o Diagrama de Fontes de Água. (Gomes et al., 2007) mostra-se como uma valiosa ferramenta capaz de orientar as correntes aquosas de um processo industrial para as melhores oportunidades de reaproveitamento, com a redução do consumo de água e da geração de efluentes.

A aplicação deste método algorítmico-heurístico requer o conhecimento do fluxograma de processos em estudo, assim como dados que compõem o balanço hídrico desta estrutura, como vazão de água e concentração de contaminantes relevantes. Com isso, é possível estabelecer restrições de processo e levantar diferentes de redes de águas, com possibilidades de reúso, reciclo e regeneração (descontaminação), as quais devem ser avaliadas de acordo com a viabilidade e o potencial de implementação prática na planta. O desenvolvimento desta ferramenta demonstrou sua flexibilidade para atender às distintas características dos processos industriais, conforme resultados satisfatórios já obtidos para setores de consumo intensivo de água, dentre os quais refinaria de petróleo (Ulson de Souza et al., 2009; Mirre et al., 2015), petroquímico (Siqueira Campos et al., 2009), de papel e celulose (Marques et al., 2008; Francisco et al., 2014, 2018) e siderúrgico (França, 2012).

A gestão consciente de água em plantas industriais no Nordeste Brasileiro mostra-se de suma importância, visto as recorrentes secas na região e o difícil acesso a água. Assim, a aplicação de uma ferramenta sistemática como o DFA em refinarias de petróleo do Nordeste colabora como importante alternativa atender não somente à necessidade de ajuste de consumo industrial, determinado por normas ambientais, como também a preservação de água disponível para abastecimento público.

O objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia que considere a aplicação do DFA de modo a avaliar a possibilidade de reutilização de águas em uma Refinaria de Petróleo do Nordeste Brasileiro. O cenário é elaborado a partir da proposta de uma rede de águas representativa da refinaria e do levantamento de dados para a realização do balanço hídrico do sistema. A escolha de uma rede promissora leva em

conta a redução de água captada da fonte de abastecimento industrial e de efluentes gerados, bem como fatores geográficos em relação às unidades operacionais.

2. METODOLOGIA

Para a aplicação do Diagrama de Fontes de Água, se faz inicialmente necessária a confecção do balanço hídrico da planta. Após a realização do mesmo, foram escolhidos aqueles processos de tratamento chave para aplicação do DFA.

Após a determinação dos processos que possuíam potencial para reuso de água, algumas unidades de processamento foram agrupadas por critério geográfico, a fim de facilitar a visualização do fluxograma de processo. Desta forma, foi possível obter dois fluxogramas da refinaria em questão: um fluxograma completo, com o balanço hídrico total da planta em questão; e um fluxograma simplificado, a fim de garantir a viabilidade de aplicação do DFA de forma manual.

Com o balanço hídrico já realizado e validado, foi feito o levantamento das concentrações. Aquelas correntes de processo que possuíam uma concentração prévia do contaminante em análise não possuíam necessidade de estimativa. Porém, certas correntes não possuíam a concentração determinada. Desta forma, as mesmas foram estimadas e realizadas a partir de parâmetros variacionais anteriormente calculados em outros trabalhos.

Para a aplicação do DFA, inicialmente se considera que cada operação pode ser descrita como um processo de transferência de massa, no qual o contaminante é transferido da corrente de processo para a corrente de água. Conseqüentemente, a concentração dos contaminantes presentes na água tende a aumentar.

Desta forma, no equipamento de transferência de massa, cada corrente possui uma vazão G_n , que possui uma concentração inicial $C_{io,n}$, e esta é levada até uma concentração final desejada $C_{fo,n}$. Além disso, no equipamento de transferência de massa, haverá uma outra corrente, a do agente extrator, com vazão f_n , de concentração inicial $C_{ie,n}$, e uma concentração final $C_{fe,n}$. Dito isso, o agente extrator será sempre a água.

O balanço de massa do equipamento pode ser representado, pela equação 1:

$$\Delta m_n = G_n(C_{io,n} - C_{fo,n}) = f_n(C_{ie,n} - C_{fe,n}) \quad (01)$$

Onde Δm_n é o parâmetro variacional, e descreve o comportamento da concentração do contaminante ao passar pela operação “n” em questão.

O processo de aplicação do DFA pode ser dividido em cinco etapas, sendo elas:

Etapa 1: Inicialmente, é necessário o fornecimento de dados de entrada das respectivas operações a serem analisadas, sendo elas as vazões limites, as concentrações de entrada e saída dos contaminantes, a carga mássica do contaminante e a operação em questão.

Etapa 2: É então realizada a divisão dos limites de concentração de cada corrente de processo. Gerando linhas baseadas nas faixas de diferentes concentrações. Esta representação encontra-se na Figura 1:

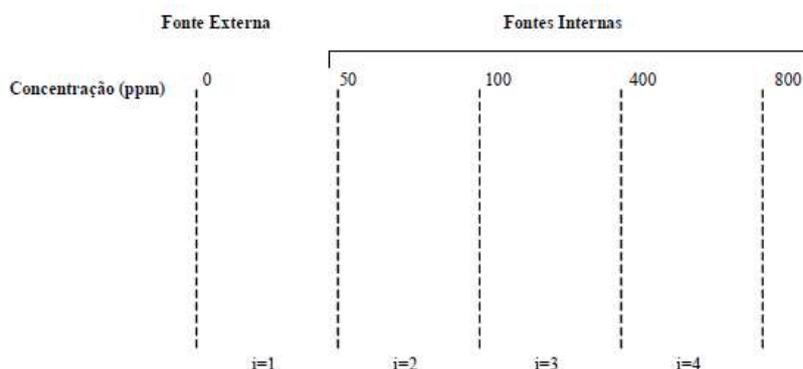


Figura 1: Representação da etapa 2 do DFA (Gomes *et al.*, 2002).

Etapa 3: As operações de transferência de massa são representadas pelas setas na Figura 2. Em sua raiz, tem-se a concentração máxima de entrada do processo, e seu final é considerado a concentração máxima de saída. As vazões estão representadas no lado esquerdo da figura.

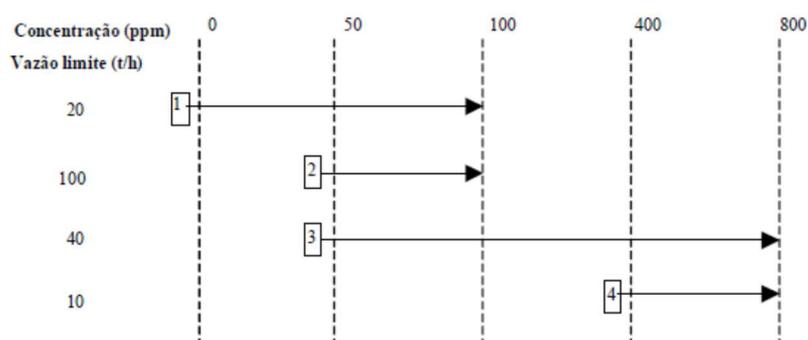


Figura 2: Representação da etapa 3 do Diagrama de Fontes de Água (Gomes *et al.*, 2007)

Etapa 4: Tem-se, nesta etapa, o cálculo da quantidade de contaminante transferida em cada processo “n” em cada intervalo de concentração i. Esta é feita através da Equação 2.

$$\Delta m_n = f_n(C_{fi} - C_{ii}) \quad (2)$$

Sendo que C_{fi} é a concentração final em (ppm) após o intervalo i e C_{ii} é a concentração inicial em (ppm) no intervalo i. Os

valores obtidos são alocados sobre a seta entre parênteses.

Etapa 5: São adotadas, então, três regras heurísticas para organizar as operações, garantindo que a vazão de água primaria seja mínima, sendo elas:

- Fontes externas de água só devem ser utilizadas quando fontes internas não estiverem disponíveis.
- A transferência de massa do contaminante dever ser a máxima possível para a operação.
- Para correntes que são alocadas para outras operações, a corrente deve prosseguir até o termino do intervalo de concentração da mesma.

Quando é atingida a concentração na qual a vazão total utilizada dentro do intervalo chega ao máximo e começa a declinar, o ponto limite de aproveitamento das correntes é obtido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tratamento de dados, a escolha de processos e a confecção do balanço hídrico, foi obtido o fluxograma, representado na Figura 3, representativo da refinaria, no qual se encontram os processos chave e as correntes de água com suas respectivas classificações.

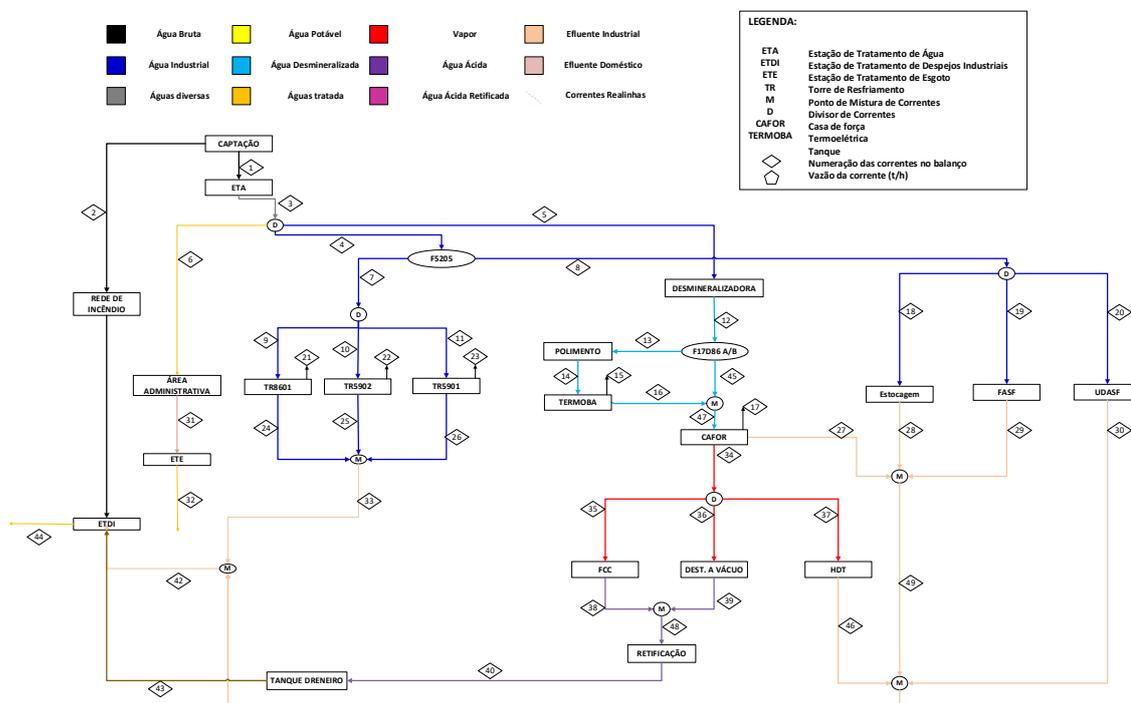


Figura 3: Representação simplificada do fluxograma de processos hídrico da refinaria.

As vazões das correntes de entrada e saída dos processos a serem utilizadas no Diagrama de Fontes de Água, juntamente com as

concentrações de cloreto, visto que tal componente é considerado representativo para a corrente, estão representadas na Figura 4.

Número da Corrente (TAG)	Vazão (t/h)	Concentração de Cloreto (ppm)
9	185	89
10	138	89
11	195	89
18	26,1	89
19	16,7	89
20	98,7	89
24	25,5	751
25	26,5	1049
26	47	589
27	7,8	10
28	26,1	523,2
29	16,7	842
30	98,7	92
35	86,3	0
36	149,99	0
37	37,3	0
38	86,3	102
39	149,99	140
46	37,3	10
47	7,8	0

Figura 04: Dados das correntes de entrada.

Após a aplicação do Diagrama de Fontes de Água, utilizando o algoritmo citado anteriormente, foram obtidos diversos cenários de reuso de água. Dentre eles, aquele com maior aproveitamento está representado no fluxograma de operações ilustrado na Figura 6.

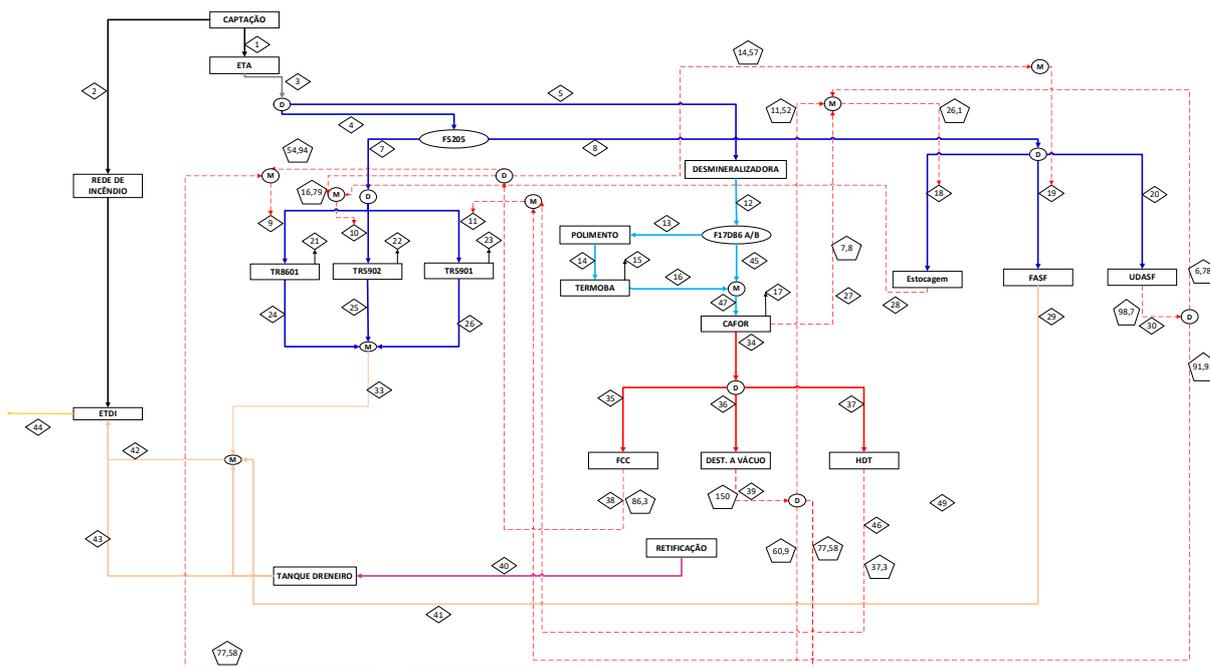


Figura 06: Fluxograma após o realinhamento de Correntes

De acordo com esta rede de águas foi possível reutilizar grande parte do efluente industrial advindo de processos internos da refinaria. Tal reutilização se deve à realocação de correntes que anteriormente eram dirigidas para a ETDI (Estação de Tratamento de Despejos Industriais). Após a utilização do DFA, as correntes de processo foram divididas, unidas e redirecionadas para outros processos.

Assim, foi proposto o reuso das correntes de efluente da Unidade de Desasfaltação (UDAF), Unidades de Destilação (Dest. à vácuo), Unidade de Craqueamento Catalítico Fluido (FCC), Unidade de Hidrotratamento e Hidrocraqueamento (HDT) e Casa de Força (CAFOR). As correntes dessas unidades foram redirecionadas em sua maioria para as Torres de Resfriamento (TR), além das unidades de Fabricação de Asfalto (FASF) e Estocagem de Produto Acabado

Aplicando as mudanças propostas, o DFA permitiu a redução do consumo total de água de 940,9 t/h para 473,15 t/h, ou seja, uma redução de 49,7% de toda a água captada, sem o comprometimento de nenhuma operação.

4. CONCLUSÃO

Após a aplicação do Diagrama de Fontes de Água, a redução de 49,7% do consumo total demonstrou o potencial do método como ferramenta de gestão consciente de água. É importante salientar, porém, que embora o cloreto seja representativo para os processos escolhidos, a aplicação não se faz, por si só, suficiente para a avaliação da viabilidade técnica, sendo necessária a aplicação do método para mais de um contaminante.

Outro ponto importante é a necessidade de análise rigorosa das questões geográficas da refinaria, como as saídas e alturas das tubulações dos equipamentos, o que vem acompanhado do custo de instalação de tubulações. Desta forma, também se faz necessária uma avaliação econômica do projeto de implementação do cenário de reuso.

Por fim, a aplicação do DFA para um contaminante se mostra importante para a geração de cenários prévios, e revela o potencial da refinaria em questão de reduzir seus efluentes e consumo de água.

5. REFERÊNCIAS

ANA (Agência Nacional de Águas). Água no Mundo: Situação da Água no Mundo. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acessado em 15 jun. 2018

AUDEH, D. J. S. A. Aplicação de Modelo para o Gerenciamento do Uso Racional de Água em Processos Químicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

FRANCISCO, F. S. Aperfeiçoamento e Extensão do Diagrama de Fontes Visando a Sustentabilidade, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

FRANÇA, A.L.F. Minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos em siderurgia. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

FRANCISCO, F.S., MIRRE, R.C., CALIXTO, E.E.S., PESSOA, F.L.P., QUEIROZ, E.M., Management of water consumption in pulp and paper industry – a case study using water sources diagram, Chemical Engineering Transactions, v. 39, p. 1255-1260, 2014.

FRANCISCO, F.S., MIRRE, R.C., CALIXTO, E.E.S., PESSOA, F.L.P., QUEIROZ, E.M., Water sources diagram method in systems with multiple contaminants in fixed flowrate and fixed load processes, Journal of Cleaner Production, v. 172, p. 3186-3200, 2018.

GOMES, J. F. S. Procedimento para Minimização de Efluentes Aquosos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

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.

MARQUES, S.V., SIQUEIRA CAMPOS, C.E.P., QUEIROZ, E.M., PESSOA, F.L.P., Water source diagram – an heuristic algorithmic methodology for reduction of water consumption. Computer Aided Chemical Engineering, v. 27, p. 1149-1154, 2009.

MARQUES, S.V., DELGADO, B.E.P.C., PESSOA, F.L.P., QUEIROZ, E.M., Reuse of water in the pulp and paper industry using the water source diagram as tool. Chemical Engineering Transactions, v. 13, p. 399-406, 2008.

MIRRE, R. C. Metodologia para o Gerenciamento Sustentável do Reúso de Águas e Efluentes Industriais por meio da Integração de Processos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

MIRRE, R.C.; YOKOYAMA, L.; PESSOA, F.L.P. Reúso de água em processos químicos: modelo integrado para gerenciamento sustentável. 1ª. Ed., Curitiba: Appris, 249 p., 2015.

MIRRE, R. C. Recuperação e Reuso de água na indústria de petróleo: Síntese de redes de transferência de massa. Universidade Federal do Rio de Janeiro 2007.

MOREIRA, R. G. Minimização de Efluentes em uma Unidade de Tratamento de Água Industrial, Universidade Federal da Bahia, 2009.