

Minimização do Consumo de Água: O caso de uma refinaria de petróleo

C.M.Higa¹, B.E.P.C.Delgado¹, E.M.Queiroz¹, F. L. P. Pessoa¹

¹*Department of Chemical Engineering, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Bloco E, Escola de Química, sala 209, Av. Pau Brasil, s/nº, Ilha do Fundão, CEP:21949900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Cx Postal: 68542 / tel:+552125627603
email: pessoa@eq.ufrj.br*

Atualmente a água está tornando-se um recurso valioso devido sua eminente escassez. Conseqüentemente torna-se necessário controlar o seu uso. A contaminação da água pode reduzir sua disponibilidade, principalmente a água subterrânea. Legislações específicas têm sido elaboradas, e o reuso de água tornou-se prática constante nas indústrias.

Assim metodologias têm sido propostas com objetivo de minimizar o consumo de água. Neste trabalho, o procedimento algorítmico heurístico Diagrama de Fontes de Água (DFA) foi aplicado para determinar metas para o mínimo consumo de água em uma refinaria de petróleo Brasileira em situações envolvendo a presença de múltiplos contaminantes através do reuso e reciclo de correntes de água e de efluentes.

Este estudo refere-se ao sistema de utilidades de uma refinaria de petróleo devido ao seu grande consumo de água, em torno de 90% do consumo total. O sistema consiste de uma estação de tratamento de água, sistema de geração de vapor, craqueamento catalítico, torres de resfriamento, dessalinização e estação de tratamento final de efluentes.

No problema são considerados três contaminantes (cloretos, amônia, fenol) e pH como parâmetro de controle. O presente trabalho estudou a possibilidade de regeneração de efluentes para reuso ou reciclo dentro da planta. O novo fluxograma proposto com a regeneração apresentou redução no consumo de água de 163,5 t/h para 155,4 t/h, o que representa 4,95%. A análise econômica realizada com base em dados extraídos da literatura, mostrou uma redução no custo anual total de 1,2% ou US\$85,2 mil/ano. O resultado demonstrou a aplicação da metodologia DFA na indústria.

Palavras-chave: máximo reuso, regeneração e reuso, minimização de efluentes, refinaria de petróleo.

1. INTRODUÇÃO

Refinarias de petróleo apresentam grande consumo de água. Em torno de 90% da vazão de água captada é utilizada em sistemas de resfriamento e 10% no processo e outras atividades. A legislação para controle da qualidade e vazão de descarte de efluentes está cada vez mais rigorosa a fim de manter a qualidade dos recursos hídricos. Assim, as indústrias têm procurado reduzir a vazão de efluente gerada através do reuso e da regeneração e reuso de água. Este objetivo pode ser atingido através de diversos procedimentos mas, os métodos algorítmicos são mais fáceis de serem aplicados por engenheiros de processo.

O sistema de utilidades objeto deste estudo é dotado das seguintes unidades: Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), Estação de tratamento de água (ETA), Sistema de Geração de Vapor (SGV), com cinco caldeiras de média pressão e sistema elétrico, com destaque para a co-geração, com capacidade de gerar 6 MW. O consumo de água em tempo seco é em média de 150 t/h, sendo cerca de 40% desta água destinada aos processos de geração de vapor, craqueamento catalítico e dessalgação de petróleo.

O objetivo deste estudo é o de mostrar a metodologia do Diagrama de Fontes de Água (DFA) para opção de máximo reuso, em desenvolvimento na UFRJ, aplicada a rede de água de uma refinaria de petróleo e, através dela, propor modificações no fluxograma de água de processo de modo a ter um mínimo de consumo de água. Essa redução será feita considerando as limitações de entrada de contaminantes e de vazões e as oportunidades de reuso e/ou reciclagem interna de água.

Além disso, deseja-se eliminar o consumo de água bruta no processo de dessalgação. Com as modificações propostas esperam-se obter as seguintes vantagens sobre o fluxograma existente: i) Redução no consumo de energia usada para bombear água bruta captada para o tanque de armazenamento em terra; ii) Redução no consumo de produtos químicos tanto na ETDI como na ETA; iii) Prover a ETDI maior confiabilidade operacional pela redução do volume a ser tratado e assim dar melhor flexibilidade à produção de óleo diesel e asfaltos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Wang e Smith (1994) estenderam o procedimento da Tecnologia do Ponto de Estrangulamento (Tecnologia *Pinch*) para a Integração Mássica e usando o conceito de curva composta limite (curva composta de operações e curva limite de vazão de água) e transferência vertical, estimaram metas para o consumo mínimo de água em sistemas com um contaminante e múltiplos contaminantes. Posteriormente, Wang e Smith (1995) apresentaram uma extensão da metodologia, considerando correntes com restrição de vazão, perdas de vazão ao longo do processo e múltiplas fontes de água. Conceitos de reciclo local de vazão e de divisão de operações foram introduzidos. O método de Wang e Smith (1994) não é adequado para todas as situações. Um exemplo é a falha em determinar a meta de consumo mínimo de água quando são introduzidos processos de regeneração, devido ao deslocamento da concentração *pinch*. Outro problema deste método é a necessidade de dividir operações para atender a meta de consumo mínimo de água. Esta divisão é impossível de ser realizada em situações práticas. Além disso, o procedimento torna-se muito complexo quando múltiplos contaminantes estão presentes.

Visando transpor os problemas relacionados ao método de Wang e Smith (1994), Castro *et al.* (1999) propuseram um procedimento baseado em grades de concentração no qual a meta de consumo mínimo de água e a síntese da rede de operações que usam água são obtidas simultaneamente. O procedimento foi aplicado em sistemas com um contaminante e considerou o reúso como única alternativa para reduzir a vazão de efluentes líquidos. Um algoritmo para obtenção de metas de consumo de água considerando regeneração e reúso também foi apresentado, porém resultou na proposta de divisão de operações na rede final.

Gómez *et al.* (2001) desenvolveram um procedimento algorítmico que pode ser resolvido manualmente baseado na construção de grades de concentração e nas propostas de Wang e Smith (1994) e de Castro *et al.* (1999). Após o consumo mínimo de água ser determinado pelo método gráfico de Wang e Smith (1994), o método requer que seja construída uma grade de concentração utilizando concentrações máximas de entrada e saída. Todos processos são alocados nesta grade e são calculadas as vazões de água nos intervalos de cada processo, priorizando o uso de água proveniente da própria operação e depois o reúso de água proveniente de outras operações ou outras fontes externas de água. Ao final, as vazões utilizadas em todos os intervalos de uma mesma operação são somadas. Este procedimento foi sugerido por Kuo e Smith (1998) e demonstrado por Gómez *et al.* (2001). O exemplo de Olesen e Poley (1997) foi resolvido utilizando este método e o resultado obtido para vazão de consumo de água foi o mesmo (157,14 t/h). O método torna-se trabalhoso se forem consideradas muitas operações.

O procedimento algorítmico Diagrama de Fontes de Água (DFA) proposto por Gomes *et al.* (2007) pode ser considerado como um aperfeiçoamento dos procedimentos de Castro *et al.* (1999) e de Gómez *et al.* (2000). O DFA consiste na representação das concentrações das operações de entrada e saída em intervalos e utiliza regras heurísticas para o cálculo de vazões que atendam a transferência de massa em cada intervalo. O procedimento algorítmico DFA é capaz de considerar diversas situações como: (i) reúso, (ii) múltiplas fontes de água, (iii) perdas de vazão ao longo do processo, (iv) restrição de vazão, (v) regeneração e reúso e (vi) regeneração e reciclo. O procedimento DFA considera todas restrições propostas por Wang e Smith (1995). Mirre *et al.* (2007) apresentou uma extensão do DFA para múltiplos contaminantes. Foi considerada a transferência simultânea de todos em relação a um contaminante de referência e aplicado apenas para máximo reúso.

Gomes *et al.* (2007) mostra também a aplicação do DFA em sistemas com múltiplos contaminantes, regeneração, múltiplas fontes de água, perda de vazão e vazões fixas. Foi criada uma representação para considerar a transferência simultânea de todos contaminantes, em relação a um contaminante de referência. Em alguns exemplos o fluxograma final obtido precisa ter alguma vazão corrigida para atender as concentrações máximas permitidas. Isto indica a necessidade de uma melhor avaliação do método para escolha do contaminante de referência. Além disso, em problemas com regeneração e reúso, todos contaminantes são regenerados até a mesma concentração fixa, como nos outros métodos disponíveis na literatura. A fim de considerar a regeneração diferenciada dos contaminantes Delgado (2003) propôs um novo procedimento para selecionar regeneradores com eficiência diferenciada para cada contaminante. As concentrações de água regenerada são calculadas a partir da eficiência dos regeneradores selecionados. A concentração de água regenerada é inserida no DFA como nova fonte de água externa para reúso ou reciclo. O procedimento DFA e limitações operacionais específicas para a refinaria de petróleo foram aplicados no presente trabalho.

3. METODOLOGIA

A metodologia do DFA foi aplicada em uma refinaria de petróleo. O sistema de analisado consistiu de quatro operações com três contaminantes: cloretos (A), amônia (C), fenol (D) e pH (B) como parâmetro de controle. As quatro operações são: (I) sistema de geração de vapor (SGV), (II) sistema de craqueamento catalítico fluido

(FCC), (III) torres de resfriamento (TRG), (IV) dessalgadora como mostra o fluxograma simplificado da Figura 1. A Tabela 1 apresenta os dados das operações referentes à vazão (t/h), concentração dos contaminantes na entrada (C_e), concentração dos contaminantes na saída (C_s) e quantidade de massa trocada (Δm_k).

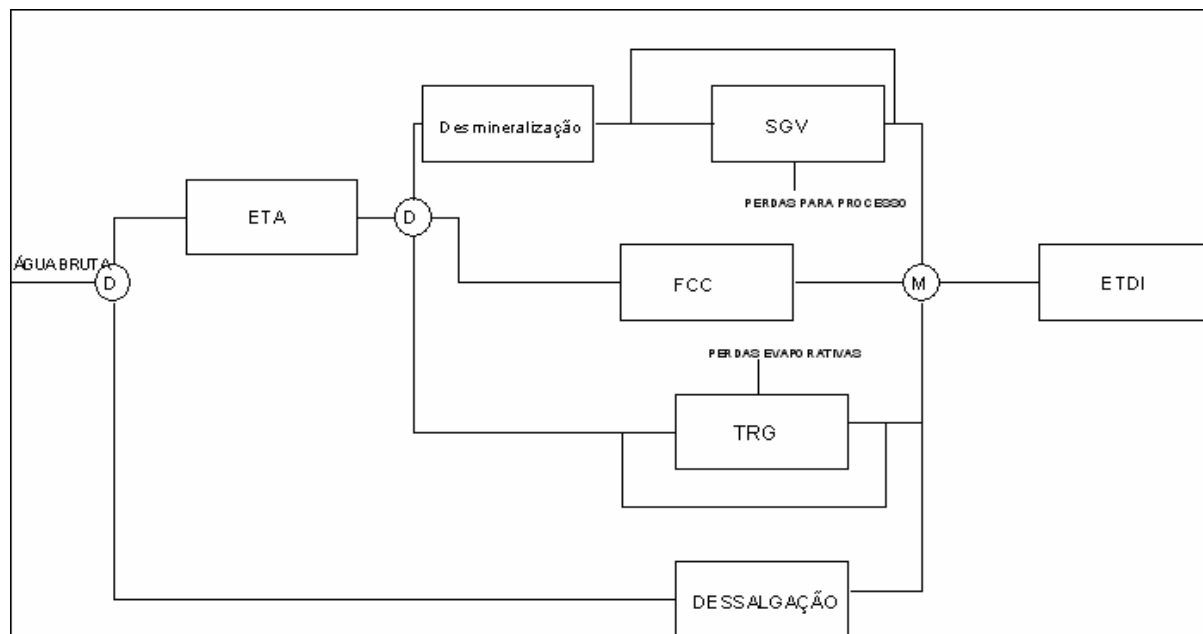


Figure 1: Fluxograma Simplificado da Refinaria de Petróleo

Tabela 1 – Dados operacionais

Operação	Vazão (t/hr)	C_e (ppm)	C_s (ppm)	Δm_k (kg/h)
Água Bruta	163,4	A = 2,1 B = 5,5 C = 0,0 D = 0,0	- - - -	- - - -
ETA	155	A = 2,1 B = 5,5 C = 0,0 D = 0,0	A = 0,5 B = 7,0 C = 0,0 D = 0,0	- - - -
I – SGV	50	A = 0,5 B = 7,0 C = 0,0 D = 0,0	A = 300 B = 10,5 C = 0,0 D = 0,0	1,4975 - 0,0000 0,0000
II – FCC	5	A = 10 B = 7,0 C = 0,5 D = 0,0	A = 50 B = 9,0 C = 600 D = 150	0,2000 - 2,9975 0,7500
III – TRG	100	A = 0,5 B = 7,0 C = 0,0 D = 0,0	A = 8,0 B = 9,0 C = 5,0 D = 0,5	0,1875 - 0,1250 0,1250
IV - Dessalgadora	8,4	A = 100 B = 7,0 C = 50 D = 75	A = 1660 B = 8,0 C = 100 D = 5,0	13,1040 - 0,4200 0
V – ETDI	163,4	A = 450 B = 9,0 C = 100 D = 25	A = 100 B = 7,0 C = 5,0 D = 0,0	0 - 0 0

O procedimento Diagrama de Fontes de Água (DFA) é baseado na tecnologia *pinch*, e foi aplicado em problemas envolvendo múltiplos contaminantes por Gomes (2002). Em problemas envolvendo múltiplos contaminantes, a rede de transferência de massa de todos contaminantes ocorre simultaneamente. Quando a rede de transferência de massa é estabelecida apenas para o contaminante de referência, geralmente, a concentração limite de entrada é atendida para todos contaminantes presentes. Para isso é considerado que a transferência simultânea dos contaminantes segue uma determinada razão de concentração em cada operação. No presente trabalho é considerado que a razão de transferência de massa dos contaminantes é linear em cada operação conforme sugerido por Wang e Smith (1994). Isto é, a quantidade transferida entre os contaminantes em cada operação é dada por (1):

$$\frac{\Delta C_{m,k}}{\Delta C_{n,k}} = cte \quad (1)$$

onde k representa a operação e m e n os contaminantes.

Esta razão é utilizada para calcular as novas concentrações para o reuso entre correntes, partindo da concentração do contaminante de referência. Este contaminante deve ter a maior possibilidade de reuso entre operações, isto é, o contaminante de referência é aquele com a menor concentração de entrada nas operações. Se mais de um contaminante satisfaz este critério, então a escolha é baseada na diferença, em cada operação, para cada possível contaminante de referência de acordo com a equação (2):

$$\Delta CR_j = C_{ERj} - C_{ENTj} \quad (2)$$

onde C_{ER} é a concentração do efluente da operação que utiliza água limpa (operação de referência) e C_{ENT} é a concentração de entrada máxima na operação onde a água pode ser reutilizada. O contaminante de referência é aquele com maior valor de ΔCR_j . Embora qualquer contaminante possa ser escolhido como referência, este critério torna o cálculo do DFA mais fácil.

Essas relações devem ser mantidas em cada operação.

As concentrações do contaminante de referência são ordenadas em uma grade de concentrações. Uma operação é escolhida como referência para suprir água para outras operações. A operação de referência deve utilizar apenas água limpa.

Então a quantidade de massa transferida em cada operação em cada intervalo é calculada, em kg/h. A expressão usada no cálculo é dada por (3).

$$\Delta m_{ki} = f_{Lk} (C_{fi} - C_{ii}) \quad (3)$$

onde Δm_{ki} é a quantidade de contaminante a ser transferida na operação k no intervalo i; f_{Lk} é a vazão na operação k; C_{fi} é a concentração final do intervalo i, C_{ii} é a concentração inicial do intervalo i; $k = 1, \dots, N_{op}$; e $i = 1, \dots, N_{int}$, onde N_{op} é o número de operações e N_{int} é o número de intervalos.

Para obter o mínimo consumo de água, três regras devem ser satisfeitas para selecionar a fonte de água a ser utilizada em cada operação em cada intervalo de concentração: i) usar fontes de água externas apenas quando fontes internas não estão disponíveis, ii) transferir a maior quantidade de contaminantes possível dentro do intervalo de concentração, iii) para operações presentes em mais de um intervalo, nos intervalos seguintes, a vazão continua até o final da mesma operação; esta heurística evita divisão de operações (Gomes et al., 2007).

Para aplicar o procedimento DFA, são necessários os seguintes dados de processo: i) identificar operações que utilizam água; ii) balanço hídrico dessas operações (rede de transferência de água); iii) identificar vazão limite das operações; iv) identificar todos contaminantes e suas concentrações (Gomes et al. (2007), Mirre et al. (2007)).

4. RESULTADOS

As principais restrições operacionais com relação aos contaminantes cloretos, amônia, fenol e ao parâmetro pH são:

- A caldeira deverá receber sempre água limpa devido às suas restrições operacionais.
- A concentração de cloretos na entrada da dessalgação deverá ser inferior a 100 ppm, para garantir a especificação do petróleo no processo de dessalgação.

- Concentração de amônia na entrada da ETDI inferior a 252 ppm para garantir que quando juntadas outras correntes descartadas no estudo apresentado a concentração seja inferior a 35 ppm que é o limite máximo na entrada para o tratamento.
- O pH da água utilizada na dessalgadora deve ser igual a 7, e não mais 5,5, evitando assim problemas de corrosão entre outros.
- Preferência ao reúso de água da FCC (II) na dessalgadora (IV), devido à contaminação do petróleo por fenóis que são removidos em grande parte na dessalgadora (IV).
- As vazões das operações SGV(I), FCC(II), TRG(III) e dessalgadora(IV) foram consideradas fixas, ou seja, objetivou-se manter a mesma vazão utilizada atualmente na refinaria.
- Evitar o reúso de água da purga de SGV(I) e do seu reciclo de condensado. O reúso da purga de SGV(I) precisaria de tratamento prévio para remoção de sólidos suspensos.

Obedecendo estas restrições foram gerados DFA's para os múltiplos contaminantes, considerando como referência o contaminante A (cloretos), representados nas Figuras 2 e 3. As concentrações do contaminante de referência foram calculadas conforme Eq (1). As Figuras 2 e 3 mostram duas opções de reúso entre as operações. No DFA da Figura 2 considerou-se o reúso das operações III, II e I na dessalgadora (IV).

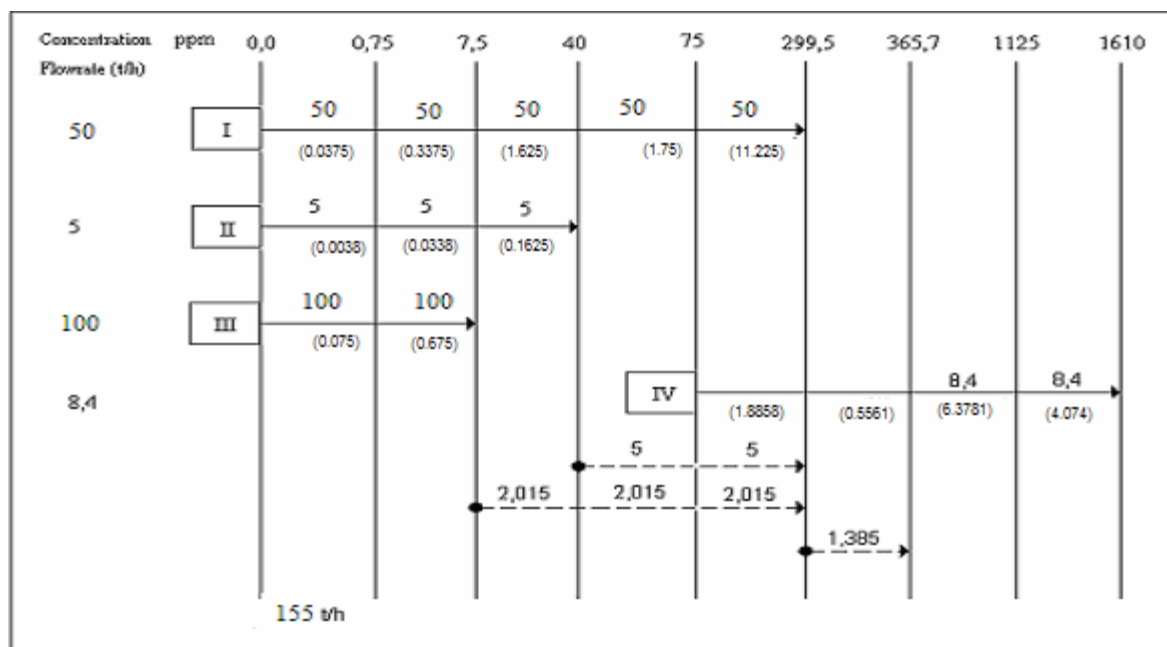
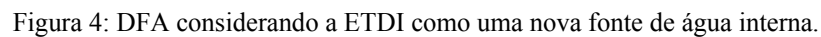


Figura 2: DFA com reúso das operações TRG(III), FCC(II) e SGV(I) na dessalgadora (IV)

Entretanto, o reúso de água da FCC (II) na dessalgação (IV) não é possível devido a concentração máxima de entrada da amônia. Na Figura 3 água não foi permitido o reúso de água da FCC (II) na dessalgação(IV) e a vazão de reúso das operações de TRG (III) e SGV (I) aumentaram.

A seguir, a hipótese de reciclar água da ETDI para a dessalgadora foi analisada com o objetivo de reduzir o consumo de água bruta e, conseqüentemente, de água oriunda da ETA nesta operação. A água proveniente da ETDI é considerada uma fonte interna de água com concentração de 100 ppm de cloretos (A). Com isso, foi possível reúso de 4,9 t/h de água tratada na ETDI na dessalgadora(IV), conforme mostra a Figura 4. Foi também priorizado o reúso de água da FCC(II) visando a remoção de fenóis na dessalgadora(IV).



A Tabela 2 apresenta técnicas de tratamento viáveis para remoção de amônia. A técnica de *stripping* (R) foi escolhida para remoção do contaminante amônia (C) porque tem a maior eficiência e custo menor que o tratamento com lodos ativados. *Stripping* (R) foi então incluída antes da dessalgadora (IV) para reduzir a concentração de amônia, conforme mostra a Figura 5.

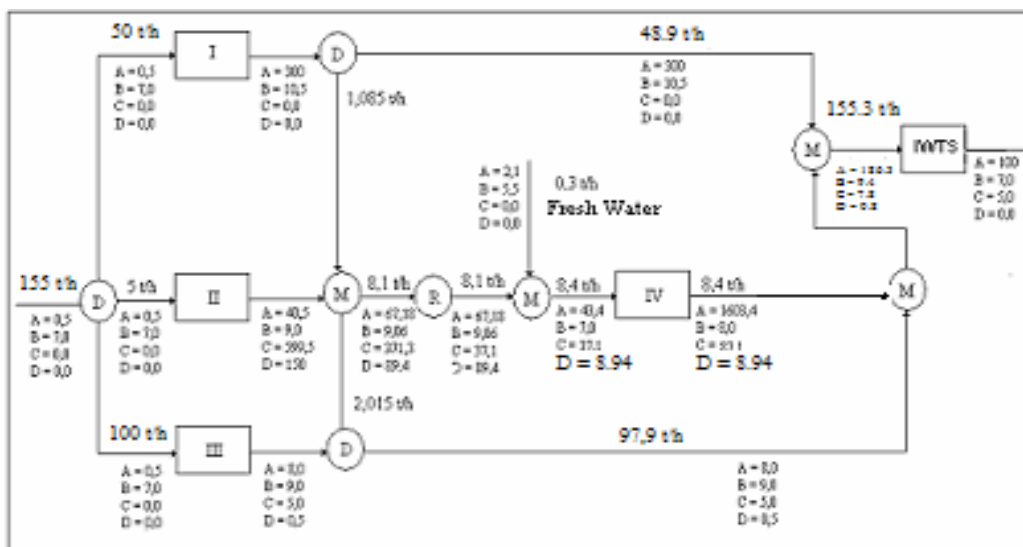


Figura 5: Fluxograma com reuso das operações FCC(II) e SGV(I) na dessalgadora (IV)

Para adaptação do pH calculado ao especificado para a dessalgação (IV) e para o ajuste das concentrações dos contaminantes é adicionada água bruta, conforme mostra o fluxograma da Figura 5. Como a eficiência do *stripping* (R) está ligada diretamente ao pH alcalino do efluente, este deve ser posicionado antes da adição da água bruta, conforme mostra a Figura 5. Na Figura 5, a redução na vazão de consumo de água limpa foi de 8,2 t/h ou 5%.

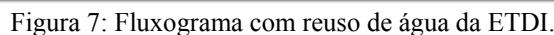
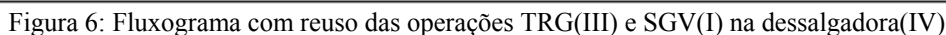
Tabela 2 – Tratamento de amônia, eficiência e custo.

Tratamento	Eficiência (%)	Custo (US\$/m ³)
Lodos Ativados	> 90	0,0106 – 0,1321
Coagulação/Sedimentação	= 25	0,0132 – 0,1320
Floculação		
Filtração após lodos ativados	= 25	0,0053 – 0,0264
Adsorção em carvão	= 30	0,0185 – 0,2642
Stripping	> 90	0,0106 – 0,0660
Osmose inversa	> 50	183,24 – 305,42

Fonte: Doerr et al. Chemical Engineering Progress, p.19-31, 1998.

Outras opções para diminuir a quantidade de água proveniente da operação FCC (II) são: i) aumentar a vazão de água limpa para a dessalgadora (IV) permitindo assim que haja uma diluição da concentração de amônia da água reusada da FCC (II), ou ii) aumentar a vazão de água reusada da TRG(III) e SGV(I) na dessalgadora(IV). Na Figura 3, o reuso de água proveniente da FCC (II) foi proibido e a vazão de água reusada das operações TRG(III) e SGV(I) foi aumentado. Na Figura 6 é mostrado o fluxograma sem o reuso da FCC(II) na dessalgadora(IV). A redução da vazão de consumo de água limpa foi de 8,1 t/h (4,95%) conforme mostra a Figura 6. Água limpa também foi adicionada para ajustar o pH da dessalgação (IV) na Figura 6, conforme anteriormente realizado na Figura 5.

Finalmente, é considerada a possibilidade de reciclar água tratada na ETDI para a dessalgação (IV) com o objetivo de reduzir o consumo de água bruta e, conseqüentemente, de água oriunda da ETA. O reuso de água do SGV(I) também é reduzido e o reuso da FCC(II) é priorizado, conforme mostra o fluxograma da Figura 7. A água proveniente da ETDI é considerada uma fonte interna de água. O consumo de água limpa foi reduzido de 163,5 t/h para 155,1 t/h (5,1%).



Água limpa também foi adicionada para ajustar o pH na Figuras 7, conforme anteriormente realizado nas Figuras 5 e 6. Na Figura 7 também foi incluído um regenerador para reduzir a concentração de amônia na entrada da dessalgação (IV). A concentração de fenol é reduzida na dessalgação (IV).

A Tabela 3 apresenta os resultados de vazão e da avaliação econômica. Os dados econômicos foram extraídos de Wang e Smith (1994), Módenes et al. (2003) e Gunaratnam et al. (2005). Para cálculo do custo com tratamento biológico para remoção de sólidos suspensos seria necessário determinar a vazão tratada, conforme Gunaratnam et al. (2005). Esta vazão é calculada através balanço de massa na entrada da dessalgação (IV). Mas a concentração máxima de entrada de sólidos suspensos na dessalgação (IV) não está disponível. Então são

utilizadas as vazões das operações SGV (I) reusadas na dessalgação (IV) nas Figuras 5 e 6 correspondentes a 1,1 t/h e 1,69 t/h respectivamente.

Tabela 3 – Resultados

	Sem reuso	Máximo reuso com regeneração de amônia e sólidos suspensos (Figura 5)	Máximo reuso com regeneração de sólidos suspensos (Figura 6)	Máximo reuso com regeneração de amônia (Figura 7)
Vazões	(t/h)	(t/h)	(t/h)	(t/h)
ETA	155	155	155	155
Água Bruta (t/h)	163,5	155,3	155,4	155,1
Água regenerada (t/h)	-	8,1 / 1,1	1,69	8,3
Vazão de efluente (t/h)	163,5	155,3	155,4	155,1
Redução total de vazão (%)	-	5	4,95	5,1
Custo	(US\$/ano)	(US\$/ano)	(US\$/ano)	(US\$/ano)
Custo ETA (US\$/ano)	5.665.250	5.665.250	5.665.250	5.665.250
Custo água bruta (US\$/ano)	70.262	66.779	66.822	66.693
Custo de investimento com amortização anual (US\$/ano)	121.196	125.508	118.780	124.193
Custo operacional (US\$/ano)	7.160.364	7.146.280	7.077.564	7.146.120
Custo anual total (US\$/ano)	7.281.560	7.271.788	7.196.344	7.270.313
Custo anual total (R\$/ano)	13.660.206	13.641.874	13.500.341	13.639.108

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou o procedimento DFA para síntese de fluxogramas com regeneração e reuso de água e com múltiplos contaminantes.

O fluxograma com menor custo anual total é o segundo (Figura 6) sem a regeneração de amônia e sem reuso de água da FCC (II), conforme resultado da avaliação econômica. Porém para reutilizar água de SGV(I) na dessalgadora (IV) seria necessário remover sólidos suspensos. O tratamento biológico com lodos ativados e filtração poderia ser utilizado para remoção de sólidos suspensos. A Tabela 2 mostra que essa técnica apresenta um custo maior que *stripping*. Mas a vazão da SGV(I) tratada para reuso na dessalgadora (IV) é menor (1,69 t/h) enquanto na *stripping* é de 8,1 t/h (Figura 5) e 8,3 t/h (Figura 7). Na Figura 6 o consumo de água foi reduzido de 163,4 t/h para 155,4 t/h (4,95%) Este resultado corresponde a uma redução do custo anual total de 1,17 % ou US\$85,2 mil/ano.

A maior redução de vazão de consumo de fonte externa de água foi obtida com reuso do efluente da FCC (II) e água reciclada proveniente da ETDI para a dessalgação (IV), Figura 7. Foi obtida redução no consumo de água de 163,4 t/h para 155,1t/h (5,1%). Entretanto a redução do custo anual total foi menor, 0,15% ou US\$11,2 mil/ano. Neste fluxograma, o fenol, cuja presença reduz a qualidade do petróleo, teve a concentração no efluente final reduzida com o reuso de água da FCC (II) na dessalgadora (IV). O fenol é geralmente removido na dessalgação. Outra vantagem é a melhora na qualidade da água utilizada na dessalgação. A fonte de água externa é imprópria (água bruta) para uso na dessalgadora, porque seu pH é muito baixo (em torno de 5,5), causando problemas como corrosão, que reduz o tempo de vida útil do equipamento. Os efluentes procedentes da unidade de craqueamento catalítico fluidizado FCC (II), purga das caldeiras e da estação de tratamento de despejos

industriais (ETDI) tem pH excelente na faixa de 7.0-8.0. Assim, o presente trabalho alcançou o objetivo de melhorar o pH da água destinada para a dessalgadora.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento a CAPES.

7. REFERÊNCIAS

Castro, P.; Matos, H.; Fernandes, M.C.; Nunes, C.D.; Improvements for mass-exchange networks design; Chemical Engineering Science; 54, p. 1649-1665; 1999.

Delgado, B.E.P.C., Minimização de Efluentes Aquosos em Plantas Industriais - Extensão do Algoritmo Diagrama de Fontes de Água para Regeneração Diferenciada, 2003 f. Tese (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, (2003).

Gomes, J.F.S. *Procedimento para Minimização de Efluentes Aquosos*. 2002. 230 f. Tese (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, (2002).

Gomes, J.F.S., Queiroz, E.M., Pessoa, F.L.P., (2007) Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant Journal of Cleaner Production, 15, 474 – 485.

Gómez, J.; Savelski, M.J.; Bagajewicz, M.J.; On a systematic design procedure for single component water utilization systems in process plants; Chemical Engineering Communications, 186, 183-203, 2001.

Gunaratnam, M.; Alva-Argáez, A.; Kokossis, A.; Kim, J.K.; Smith, R.; “Automated Design of Total Water Systems”, Ind. Eng. Chem. Res., vol. 44, pp. 588-599, 2005.

Mirre, R.C.; Delgado, B.E.P.C.; Queiroz, E.M.; Pessoa, F.L.P.; Water Source Diagram for Multiple Contaminants: Maximum Reuse, Chemical Engineering Science, submitted, 2007.

Módenes, A.N., Menon, R., Ravagnani, M.A.S.S.; Redução da emissão de Poluentes Líquidos por Reutilização de Água em Processos Industriais; Acta Scientiarum. Technology, Maringá, 25 (2), p. 127-132, 2003.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Edition, New York (2003).

Higa, C. M., Penha, N. P. *Minimização de Efluentes Aquosos: O Caso de uma Refinaria de Petróleo*. Projeto Final de Curso em Engenharia Química.– Escola de Química. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, (2006).

Wang, Y.P., Smith, R., (1994) “Wastewater Minimization”; *Chemical Engineering Science*, 49, 981-1006.

Wang, Y.P., Smith, R., (1995) “Wastewater Minimization with flowrate constraints”; *Trans IChemE*, vol. 73, Part A; 1995.

Minimisation of Water Consumption: The Case of an Oil Refinery

Many methodologies were proposed aiming to minimize water consumption. In this work the heuristic algorithmic procedure Water Sources Diagram (WSD) was applied for targeting the minimum process water consumption in a Brazilian oil refinery in cases involving the presence of multiple contaminants in water streams. This study involves the process itself and the utility system of the oil refinery due to its large consumption of water, almost 90% of the total consumption. The equipments present are the water treatment station, steam generation, catalytic cracking, cooling towers, petroleum desalination and effluent treatment station.

Considering three contaminants (chloride, ammonia, phenol) and pH as controlled parameters, a new mass exchange network was proposed with a reduction in water consumption from 163,4 t/h to 155,4 t/h, which represents a reduction of 4,95%. An economic analysis was carried out. It was found a cost reduction of 1,2 % or US\$ 85.215,97/a. This shows the applicability of WSD methodology in real cases.

Keywords: water re-use, regeneration and reuse, wastewater minimization, multiple contaminants, mass exchange networks synthesis.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.