

IV-196 – MINIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA COM O REUSO DE EFLUENTE (ÁGUA RETIFICADA E REJEITO DE ULTRAFILTRAÇÃO) EM REFINARIA DE PETRÓLEO

Diego Botelho Ruas⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Atualmente é Engenheiro de Meio Ambiente da Refinaria Duque de Caxias (REDUC/PETROBRAS).

Márcia Borges de Mendonça

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente é Engenheira de Processo da Refinaria Duque de Caxias (REDUC/PETROBRAS).

Carla Muniz Gamboa

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Atualmente é Gerente de Meio Ambiente da Refinaria Duque de Caxias (REDUC/PETROBRAS).

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Washington Luiz, km 113,7, Campos Elíseos, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, CEP 25.225-010, Brasil. Tel.: +55 (21) 2677-2159, Fax: +55 (21) 2677-2159. E-mail: diegoruas@petrobras.com.br

RESUMO

No atual cenário de escassez e conflitos entre os usos múltiplos da água, particularmente em regiões de maior desenvolvimento industrial, ações de minimização e racionalização do uso dos recursos hídricos são de suma importância na gestão ambiental de indústrias, em particular nas refinarias de petróleo pelo uso intensivo de água nos processos produtivos. A prática do reuso de água e efluente em refinarias vem evoluindo ao longo dos anos tendo como principal desafio reduzir o consumo de água sem comprometer a otimização do processo, ou seja, preferencialmente a rentabilidade do negócio não pode ser afetada pela redução no consumo de água. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as práticas de reuso de efluente (principalmente as águas retificadas e rejeito de ultrafiltração) realizadas em refinaria de petróleo tendo em vista a minimização do consumo interno de água. Devido a boa qualidade em termos de NH_3 e H_2S ($28,3 \pm 13,0$ e $23,0 \pm 6,9 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente), a água retificada da Unidade de Tratamento de Água Ácida 1 (UTAA-1) foi reusada diretamente para atender a demanda nas dessalgadoras da Unidade de Destilação de Petróleo (U-DEST), obtendo vazão média de reuso de $49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Da mesma forma, a Unidade de Tratamento de Água Ácida 2 (UTAA-2) apresentou elevada eficiência de remoção NH_3 e H_2S na água ácida, com valores acima de 99%, possibilitando vazão média de reuso direto de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de água retificada para atender a demanda de água na lavagem de gases da Unidade de Hidrotratamento de Diesel (U-HDT). Por sua vez, considerando o reuso em cascata, o rejeito de ultrafiltração foi direcionado para a entrada na alimentação dos clarificadores da Estação de Tratamento de Água da refinaria, proporcionando reuso de aproximadamente $55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. De acordo com todas as práticas internas avaliadas, a refinaria obteve vazão média de reuso de $125 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o que representa minimização anual de $1.093.743 \text{ m}^3$ de água. Este trabalho demonstrou a minimização do consumo interno de água em refinaria de petróleo por meio da adoção de práticas de reuso de efluente que possibilitaram, principalmente, a racionalização dos recursos hídricos e redução da poluição hídrica pela menor geração de efluentes industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, água retificada, rejeito de ultrafiltração, refinaria de petróleo.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural abundante no planeta e essencial ao desenvolvimento da vida humana em praticamente todas as suas atividades urbanas, industriais e agropecuárias. Todavia, além de ser finita, cada vez mais a água passou a dispensar maior preocupação devido à grande poluição hídrica e concomitante dificuldade no seu tratamento com custos relativamente baixos, tanto para fins de abastecimento humano para atender ao consumo da população moderna, como para as demandas industriais nos seus processos produtivos.

Alinhada com a gestão ambiental de recursos hídricos e efluentes, as indústrias estão investindo gradativamente em projetos de racionalização e minimização do uso da água nas suas instalações e processos, principalmente por meio de ações que visam à redução de desperdícios, eliminação de perdas e diminuição no consumo, com medidas de reuso da água. Neste sentido, a prática de reuso da água e efluente vem evoluindo ao longo dos anos por meio de uma série de fases e objetivos, tais como: conservar os recursos naturais, eliminar a poluição hídrica nos mananciais e garantir a disponibilidade hídrica em regiões áridas (HESPANHOL *et al.*, 2007).

O reuso implementado nas operações unitárias das indústrias tem como principal desafio reduzir o consumo de água sem comprometer a otimização do processo, ou seja, preferencialmente a rentabilidade do negócio não pode ser afetada pela redução no consumo de água. Neste estudo de caso, avaliaram-se algumas práticas de reuso de efluente na planta industrial da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), pertencente ao sistema de Petróleo Brasileiro S. A. (PETROBRAS).

A REDUC está localizada estrategicamente às margens da Baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro, sendo inaugurada em 1961, mas as obras para sua instalação tiveram início em 1952. Desde então, passou por várias ampliações, com destaque para as realizadas na década de 1960 que ocasionaram a elevação da capacidade produtiva da refinaria principalmente pela entrada em operação da Unidade de Craqueamento Catalítico. Na década de 1970 entraram em operação as duas unidades Conjuntos de Lubrificantes, e ao longo da década de 1990 foram implantadas as Unidades de Tratamento de Águas Ácida (UTAA's), de Recuperação de Enxofre, de Separação de Propeno, além da nova planta de secagem de óleo diesel.

As ampliações realizadas fizeram a produção diária passar dos iniciais 90.000 barris de petróleo/dia para cerca de 237.500 barris/dia. Atualmente, a REDUC é considerada uma indústria nacional de grande porte do setor petrolífero, a refinaria mais complexa do sistema PETROBRAS produzindo 54 diferentes tipos de derivados de petróleo, sendo os principais a gasolina, GLP, óleo diesel, QAV, lubrificantes, parafinas, óleo combustível, nafta, propeno e asfalto.

As refinarias de petróleo são uma combinação muito complexa de operações e sistemas interdependentes. Tipicamente, as refinarias são conhecidas por fazerem uso intensivo de água para atender as diversas utilizações no processo produtivo, tais como: dessalgação do petróleo, geração de vapor, resfriamento de produtos intermediários e finais, rede de água de combate a emergência, uso doméstico. Dentre os usos hídricos supracitados, a principal utilização de água na refinaria em termos de quantidade é no resfriamento, utilizando trocas térmicas cujo fluido de refrigeração é a água, sendo o mais utilizado no refino de petróleo nacional. Verifica-se baixa utilização de “*air-coolers*” que aproveitam o ar para essa finalidade nas refinarias do país (COLLARES, 2004).

Para atender a demanda nos seus diferentes processos industriais, atualmente a Refinaria Duque de Caxias realiza a captação e adução de água bruta oriunda de dois diferentes mananciais do estado do Rio de Janeiro: rio Guandu e barragem Saracuruna. De forma resumida, o sistema de tratamento de água na refinaria consiste nas etapas de pré-cloração, clarificação, filtração, descloração, desmineralização e polimento da água. A pré-cloração tem o objetivo de reduzir a matéria orgânica e cor presente na água bruta. Em seguida, ocorre a clarificação da água com a utilização contínua de agentes coagulantes e produtos auxiliares, produzindo água clarificada, adequada para atender a reposição de torres de resfriamento, serviços e processos. Os clarificadores visam remover principalmente os sólidos suspensos (turbidez) e colóides contidos na água. Após a clarificação, a água passa por filtros de areia (reduzindo a turbidez residual da etapa de clarificação) e, posteriormente, parte da água passa pelo processo de pós-cloração que visa remover os microrganismos patogênicos presentes, tornando a água potável para consumo humano. O restante da água filtrada é enviada para as etapas de desmineralização em trocadores iônicos, após passagem por descloradores, visando produzir água para a geração de vapor em unidades termelétricas da refinaria. Particularmente, a água bruta da barragem Saracuruna, por apresentar boa qualidade, pode ser tratada diretamente em sistema de ultrafiltração com membranas semipermeáveis, produzindo água para atender as caldeiras de produção de vapor.

Conforme já mencionado, a prática de reuso de água e efluente nas indústrias mostra-se como uma importante ferramenta de gestão ambiental tendo em vista a conservação e racionalização do uso de recursos hídricos. O conceito de reuso de água pode ser classificado da seguinte forma (HESPANHOL *et al.*, 2007):

- ✓ *Reuso*: uso da água residuária ou água de qualidade inferior, tratados ou não;
- ✓ *Reuso indireto*: uso da água residuária ou água de qualidade inferior, em sua forma diluída, após lançamento em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- ✓ *Reuso direto*: uso planejado de água de reuso, conduzindo ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- ✓ *Reuso em cascata*: uso do efluente industrial originado em um determinado processo que é diretamente utilizado em um processo subsequente;

Neste presente trabalho, avaliaram-se as práticas de reuso de efluentes (água retificada e rejeito de ultrafiltração) realizadas pela refinaria visando alcançar a minimização e racionalização na utilização dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

UNIDADES OPERACIONAIS

Por meio da análise das ações do *Programa de Minimização do Uso de Água* da refinaria em estudo, avaliaram-se os resultados obtidos na economia e conservação da água, em termos quali-quantitativos, ao longo dos anos de 2009 e 2010.

As vazões das correntes hídricas das unidades operacionais em estudo foram obtidas através de hidrômetros instalados nas linhas das tubulações, com medição contínua e indicação por instrumentação integrada com sistema computacional à distância (SDCD). As unidades operacionais avaliadas na refinaria foram: (a) Unidades de Destilação Atmosférica e a Vácuo (U-DEST); (b) Unidades de Tratamento de Águas Ácidas (UTAA-1 e UTAA-2) e (c) Unidade de Ultrafiltração da Estação de Tratamento de Água – ETA (UFA).

O mapeamento das vazões nas unidades operacionais foi avaliado durante todo ano de 2009 e 2010, evitando distorções de sazonalidade.

DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Todas as análises físico-químicas deste trabalho foram realizadas de acordo com os métodos padronizados pela APHA (2005), em laboratório com certificado emitido pelo órgão ambiental estadual.

Foram analisadas amostras retiradas do afluente e efluente das Unidades de Tratamento de Águas Ácidas para determinações, principalmente, de amônia (NH_3) e sulfetos (H_2S) visando avaliar a eficiência de remoção desses contaminantes e qualidade da água retificada. Por sua vez, as análises de monitoramento dos parâmetros turbidez, carbono orgânico total (COT), cloretos, sílica total, alcalinidade, sódio (Na), SDI (*silt density index*) e *break point* foram realizadas nas amostras de águas bruta, clarificada e ultrafiltrada da ETA com o objetivo de avaliar possíveis impactos da recirculação do rejeito da ultrafiltração na etapa de clarificação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

BALANÇO HÍDRICO DA REFINARIA

No período avaliado, a refinaria realizou captação média de água bruta de aproximadamente $2.043 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para atender a demanda nas suas diferentes unidades operacionais. Considerando a carga média processada de petróleo bruto, a refinaria obteve um consumo de $1,18 \text{ m}^3$ de água por m^3 de petróleo processado. Esse resultado está de acordo com os valores típicos reportados em refinarias mundiais: entre $0,7$ a $1,2 \text{ m}^3$ de água por m^3 de petróleo processado (COELHO *et al.*, 2006).

A Figura 1 apresenta o balanço hídrico da refinaria no período avaliado. Verifica-se que a demanda de água clarificada para atender as torres de resfriamento (*make up*) representa o maior consumo da refinaria: 50% do total, corroborando com os dados de outros autores (MERÇON & CARVALHO, 2007).

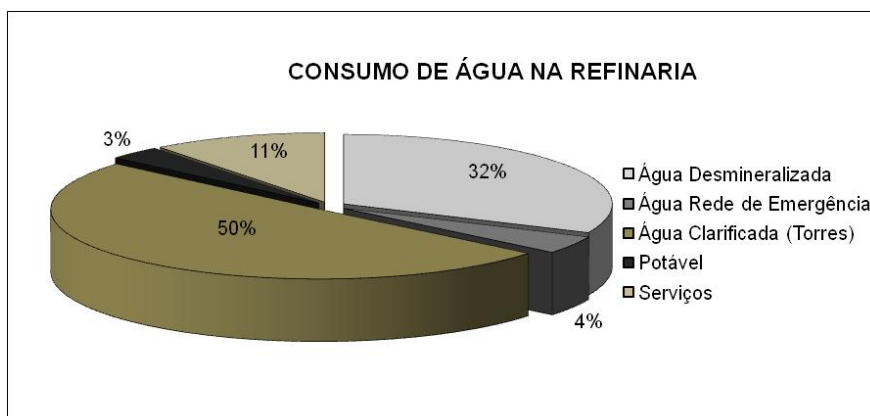


Figura 1: Balanço hídrico na refinaria.

REUSO DE ÁGUA RETIFICADA DA UTAA-1 NAS DESSALGADORAS DA U-DEST

As águas ácidas são normalmente ricas em amônia e sulfetos, mas é normalmente pobre em sólidos dissolvidos totais. Por sua elevada concentração de NH_3 e H_2S , as correntes internas e individuais das águas ácidas oriundas da unidade de craqueamento e da destilação têm efeito altamente prejudicial ao tratamento biológico da Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) devido à alta carga de contaminantes (DIYA'UDDEEN *et al.*, 2011). Neste sentido, a refinaria instalou ao longo dos anos Unidades de Tratamento de Águas Ácidas com o objetivo de realizar o pré-tratamento das águas ácidas por processo de retificação ou estripagem (arraste) com vapor tendo em vista a redução na concentração de amônia e sulfetos, antes do envio ao sistema de tratamento biológico.

As águas ácidas geradas nos vasos de topo da U-DEST e na unidade de craqueamento da refinaria são enviadas para serem tratadas na UTAA-1 que opera com uma única torre de estripagem (esgotamento), com vazão de carga de 40 a 60 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ e temperatura da torre controlada entre 118 a 125 °C.

Por outro lado, a injeção de água para realizar a diluição no óleo cru antes das dessalgadoras tem as seguintes finalidades: diluir a concentração de sais, reduzir o espaçamento entre gotículas de água (aumentando a força de atração entre as gotículas de água quando submetidas ao campo elétrico e favorecendo o “coalescimento”) e solubilizar eventuais cristais de sais dispersos no petróleo (BRESCIANI, 2009).

Desta forma, como oportunidade de reuso direto, avaliou-se que por sua excelente qualidade (Tabela 1), a água retificada poderia atender a demanda nas dessalgadoras da U-DEST através de controle de vazão do fundo da torre da UTAA-1, com opção de envio para Estação de Tratamento de Despejos Industriais, simultaneamente ou não.

Tabela 1: Resultados médios mensais do monitoramento de NH_3 e H_2S na UTAA-1 no ano de 2010.

MÊS	AFLUENTE		EFLUENTE		REMOÇÃO (%)	
	NH_3 (mg L^{-1})	H_2S (mg L^{-1})	NH_3 (mg L^{-1})	H_2S (mg L^{-1})	NH_3 (%)	H_2S (%)
JAN	1646,0	3903,0	22,0	30,0	98,7	99,2
FEV	4300,0	4600,0	28,4	26,6	99,3	99,4
MAR	4158,0	4737,0	23,0	30,0	99,4	99,4
ABR	5135,0	4336,0	24,0	20,0	99,5	99,5
MAI	4348,0	4824,0	21,1	25,5	99,5	99,5
JUN	6949,0	7347,0	24,0	28,3	99,7	99,6
JUL	5495,0	8088,0	22,7	28,6	99,6	99,6
AGO	4570,0	7823,0	24,0	15,0	99,5	99,8
SET	4730,0	5498,0	22,0	22,0	99,5	99,6
OUT	5820,0	6513,0	26,0	24,0	99,6	99,6
NOV	5706,0	5441,0	35,0	19,0	99,4	99,7
DEZ	4730,0	2619,0	68,0	7,0	98,6	99,7

Os valores médios de NH_3 e H_2S na água retificada da UTAA-1 resultaram em $28,3 \pm 13,0$ e $23,0 \pm 6,9 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, e a vazão de reuso de água retificada para as dessalgadoras atingiu uma vazão média de $46 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Figura 2). Vale ressaltar que a remoção dos contaminantes na UTAA da refinaria apresentou elevada eficiência de remoção, alcançando valores acima de 98%.

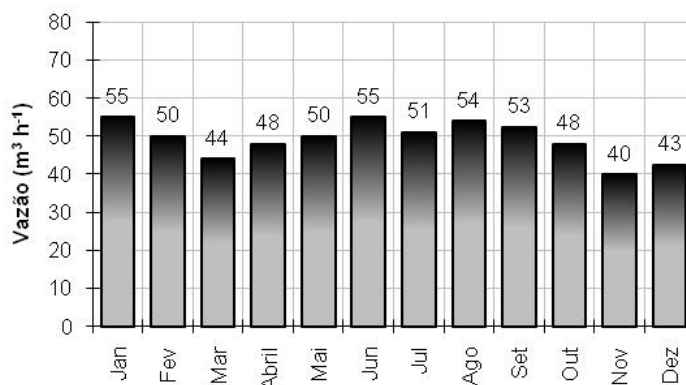


Figura 2: Vazão de água retificada da UTAA-1 reusada nas dessalgadoras da U-DEST.

O reuso de água retificada das Unidades de Tratamento de Águas Ácidas, para atender a demanda de água nas dessalgadoras da Unidade de Destilação de petróleo, mostrou-se como boa prática ambiental uma vez que permitiu minimizar o uso de água e a geração de efluentes na refinaria. Vale ressaltar que a adequada qualidade da água retificada da UTAA-1 foi fundamental para a prática do reuso nas dessalgadoras.

REUSO DE ÁGUA RETIFICADA DA UTAA-2 NA LAVAGEM DE GASES DA U-HDT

A UTAA-2 possui duas torres de esgotamento para promover a retificação individual de H_2S e NH_3 das águas ácidas geradas na Unidade Hidrotratamento de Diesel e Instáveis (U-HDT). O gás com enxofre do topo da primeira torre é direcionado para a Unidade de Recuperação de Enxofre tendo em vista a produção de enxofre sólido elementar, enquanto o gás amoniacal do topo da segunda torre é direcionado para queimador, realizando a conversão em nitrogênio (N_2). Por sua vez, a U-HDT tem como principal objetivo hidrotratar derivados de petróleo da fração de óleos médios para serem incorporados na produção de óleo diesel da refinaria, com baixo teor de enxofre e nitrogenados, atendendo às exigentes especificações do mercado. A UTAA-2 opera com vazão de carga de 30 a $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, temperatura e pressão controlada de 90 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e 0,5 a $0,7 \text{ kgf cm}^{-2}$, respectivamente, na segunda torre.

A U-HDT possui demanda de água de boa qualidade para realizar a lavagem dos gases gerados no processo de hidrotratamento visando remover teores de NH_3 e H_2S e evitar a formação de sais de amônio (polissulfeto, sulfato, bissulfato, bicarbonato) nas linhas de processo das partes frias da unidade. Por sua boa qualidade, a água retificada da UTAA-2 mostrou-se como excelente opção de reuso direto para atender a demanda de água na U-HDT. Vale destacar que após o reuso, a água ácida gerada pela lavagem dos gases na U-HDT retorna para o início do tratamento da UTAA-2, fechando o circuito e evitando impactos de carga amoniacal e de enxofre na ETDI.

A Tabela 2 apresenta os resultados de monitoramento da UTAA-2 no ano de 2010, alcançando valores médios de NH_3 e H_2S na água retificada de $5,9 \pm 4,9$ e $2,6 \pm 1,8 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Vale ressaltar que a remoção dos contaminantes na UTAA-2 da refinaria apresentou elevada eficiência de remoção, alcançando valores acima de 99%.

Tabela 2: Resultados médios mensais do monitoramento de NH₃ e H₂S na UTAA-2 no ano de 2010.

MÊS	AFLUENTE		EFLUENTE		REMOÇÃO (%)	
	NH ₃ (mg L ⁻¹)	H ₂ S (mg L ⁻¹)	NH ₃ (mg L ⁻¹)	H ₂ S (mg L ⁻¹)	NH ₃ (%)	H ₂ S (%)
JAN	6772,0	10413,0	19,2	2,6	99,7	100,0
FEV	3906,0	10973,4	1,9	1,8	100,0	100,0
MAR	3514,2	7446,5	4,2	1,2	99,9	100,0
ABR	3988,0	10882,0	8,5	1,5	99,8	100,0
MAI	5717,0	8917,0	7,4	3,3	99,9	100,0
JUN	6674,0	12770,0	6,4	2,1	99,9	100,0
JUL	5990,0	11208,0	8,1	1,2	99,9	100,0
AGO	5346,0	14923,0	4,9	2,8	99,9	100,0
SET	5585,0	14179,0	2,3	6,0	100,0	100,0
OUT	6450,0	14501,0	3,3	1,5	99,9	100,0
NOV	8003,0	14467,0	0,9	6,5	100,0	100,0
DEZ	3501,9	13325,7	4,1	1,0	99,9	100,0

A vazão de reuso de água retificada como água de processo para a lavagem de gases da U-HDT atingiu uma vazão média de 20 m³ h⁻¹, conforme apresentado na Figura 3.

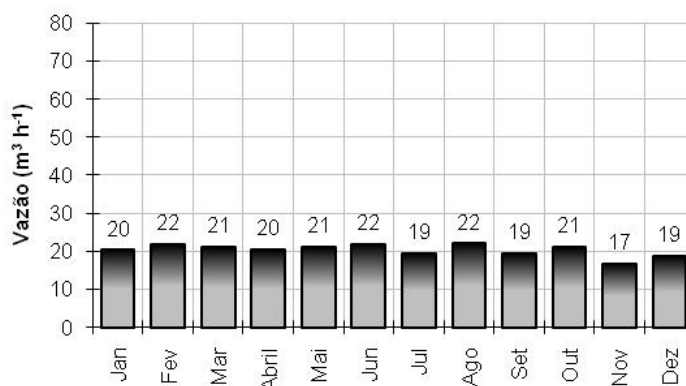


Figura 3: Vazão de água retificada da UTAA-2 reusada na lavagem de gases da U-HDT.

REUSO DE REJEITO DE ULTRAFILTRAÇÃO NA CLARIFICAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL

A utilização de membranas semipermeáveis em refinarias trata-se de uma evolução da operação nas etapas de clarificação e filtração, consideradas tratamento convencional, com objetivo de substituir os elementos filtrantes de areia, antracito e outros elementos minerais, por elementos sintéticos para atender condições mais exigentes, ou ainda funcionar como pré tratamento de sistemas de osmose reversa. A eficiência de remoção das impurezas da água pela etapa de ultrafiltração (turbidez, colóides, microrganismos) é função de alguns fatores, tais como: tipo de membrana utilizada, método de aplicação da força motriz e características da água (HABERT *et al.*, 2006). Desta forma, a UFA é um processo aplicado com a principal finalidade de preparar a água para a desmineralização (remoção de íons) visando atender a demanda de água para a geração de vapor a ser utilizado nas unidades operacionais da refinaria. Ao longo das carreiras de ultrafiltração da água bruta, deve-se realizar a lavagem periódica das membranas, gerando rejeito da ultrafiltração, devido ao aumento da perda de carga, e assim garantir a qualidade da água produzida (COLLARES, 2004).

O sistema de ultrafiltração instalado na refinaria, e avaliado neste estudo, opera com vazão total de 600 m³ h⁻¹, sendo a planta composta por quatro módulos de 150 m³ h⁻¹, com taxa de filtração de membrana de aproximadamente 0,0544 m³ m⁻².h⁻¹ e pressão transmembrana máxima de 10 *psi*. O procedimento de lavagem

das membranas utiliza parte da vazão do permeado (retrolavagem com água ultrafiltrada), gerando o rejeito de ultrafiltração, sendo requerido quando as membranas obstruem-se e não são capazes de produzir a vazão de projeto referente ao permeado.

O rejeito gerado na retrolavagem das membranas de ultrafiltração reusado na unidade de clarificação da refinaria pode ser considerado como *reuso em cascata* uma vez que o efluente industrial originado em um determinado processo (ultrafiltração) é diretamente utilizado em outro processo (clarificação). Neste sentido, o reuso do rejeito da UFA direcionado como alimentação dos clarificadores da ETA, alcançou reuso de aproximadamente $55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, conforme apresentado na Figura 4. Considerando a vazão de alimentação dos clarificadores, a vazão de rejeito da UFA representou 5% de reuso ao longo do período avaliado.

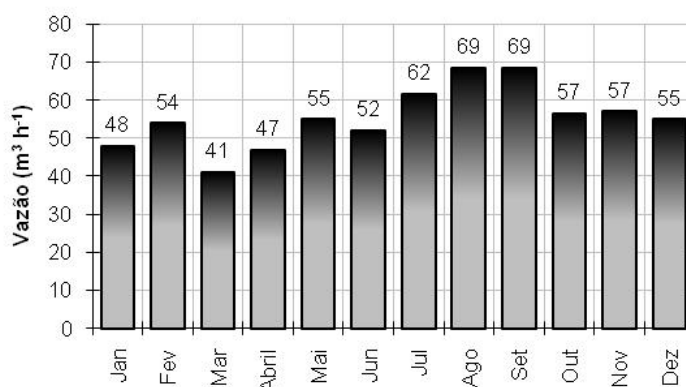


Figura 4: Vazão de rejeito da ultrafiltração reusado na etapa de clarificação.

Em termos de turbidez, os resultados médios na entrada e saída da ultrafiltração foram de $3,7 \pm 1,7$ e $0,6 \pm 0,9$ NTU, respectivamente, devido à boa qualidade de água bruta do ponto de captação da barragem Saracuruna. Desta forma, o rejeito da UFA foi alinhado para a entrada dos clarificadores alimentados com água bruta de qualidade inferior do rio Guandu que apresentou resultados de turbidez de $20,0 \pm 19,5$ NTU (máximo de até 88,0 NTU) no período avaliado. Pela maior turbidez do rio Guandu, o rejeito da UFA não promoveu impactos na qualidade de água clarificada produzida.

De acordo com os resultados obtidos no monitoramento da água ultrafiltrada na ETA da refinaria (Tabela 3), verificou-se que a ultrafiltração foi capaz de atingir $\text{SDI} < 1$ (*Silt Density Index*), produzindo água adequada até para uma etapa de osmose reversa (COLLARES, 2004).

Tabela 3: Resultados monitoramento da qualidade da água ultrafiltrada.

MÊS	TURBIDEZ (NTU)	TOC (mg L ⁻¹)	SDI	Alc. (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Cl (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	NO ₃ (mg L ⁻¹)	Sílica (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)
JAN	0,73	0,10	< 0,10	13,90	8,00	5,30	0,10	32,00	0,50	7,30	2,68
FEV	0,48	0,13	< 0,10	15,30	4,00	5,20	0,10	0,00	0,80	7,30	2,98
MAR	0,40	0,14	< 0,10	10,00	6,00	4,20	0,10	6,00	0,80	7,40	0,55
ABR	0,65	0,10	< 0,10	8,00	12,00	3,50	0,09	8,00	0,90	7,40	2,20
MAI	0,63	0,13	< 0,10	19,70	6,00	3,90	0,10	4,00	1,50	7,80	4,01
JUN	0,54	0,10	< 0,10	27,80	8,50	8,70	0,10	4,30	1,30	9,80	3,42
JUL	0,50	0,10	< 0,10	40,00	4,00	7,00	0,10	2,00	0,90	8,60	2,01
AGO	0,63	0,10	< 0,10	24,00	8,00	6,10	0,10	4,00	0,60	8,30	2,21
SET	0,54	0,10	< 0,10	24,00	12,00	5,30	0,10	4,00	0,90	9,30	5,03
OUT	0,57	0,10	< 0,10	47,00	8,00	17,80	0,13	4,00	0,60	9,80	4,83
NOV	0,63	0,10	< 0,10	30,00	4,00	11,00	0,10	8,00	0,80	8,40	2,70
DEZ	0,64	0,16	< 0,10	6,00	2,00	5,30	0,30	0,10	2,00	2,00	6,80

RESULTADOS GERAIS DE REUSO NA REFINARIA

De acordo com os resultados obtidos, a refinaria alcançou vazão média de reuso de $125 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o que representa minimização anual de água de $1.093.743 \text{ m}^3$, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados gerais de reuso na refinaria.

REUSO	VAZÃO MÉDIA DE REUSO ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	VOLUME ANUAL MINIMIZADO (m^3)
Água retificada da UTAA-1 nas dessalgadoras da U-DEST	49,2	430.557
Água retificada da UTAA-2 na lavagem de gases da U-HDT	20,4	178.283
Rejeito de ultrafiltração na clarificação da ETA para a produção de água industrial	55,4	484.903
TOTAL	125,0	1.093.743

CONCLUSÕES

As práticas internas de reusos na Refinaria Duque de Caxias permitiram minimizar o consumo de água, promovendo racionalização dos recursos naturais e redução na geração de efluentes industriais. Na refinaria em estudo, o reuso de efluente para atender a demanda de água nas dessalgadoras ou para a lavagem de gases de unidades de processo apresentou-se como excelente prática ambiental e deve ser adotada tendo em vista a economia do uso interno de água. Particularmente, os reusos em questão demonstram aplicabilidade devido, principalmente, à excelente qualidade das águas retificadas geradas pelas Unidades de Tratamento de Águas Ácidas da refinaria.

Vale destacar que o reuso de rejeito da unidade de ultrafiltração visando à produção de água clarificada apresentou-se também como uma ação ambientalmente correta para a minimização dos recursos hídricos.

Neste sentido, com as práticas de reuso de efluentes apresentadas neste trabalho, a refinaria alcançou uma economia de 6% no consumo de recurso hídricos para atender a demanda nas unidades de processos, o que representa um volume total anual de $1.093.743 \text{ m}^3$ de água economizada.

Desta forma, de acordo com os resultados deste estudo, demonstrou-se que a minimização do consumo de água com o reuso de efluente (água retificada e rejeito de ultrafiltração) em refinaria de petróleo possibilitou, principalmente, a racionalização dos recursos hídricos e redução da poluição hídrica pela menor geração de efluentes industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21th edn. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Washington, DC, USA, 2005.
2. BRESCIANI, A. E. Análise do processo de dessalgação de petróleo: otimização do uso da água. São Paulo, 2009. Tese de Doutorado-Universidade de São Paulo, 2009.
3. COELHO, A.; CASTRO, A.V.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA JR., G.L. Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation process. *Journal Hazard Material*. v.137, p. 178-184, 2006.
4. COLLARES, S. Avaliação do uso de recursos hídricos em refinarias de petróleo: um estudo de caso na Petrobras. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal Fluminense, 2004.
5. DIYA'UDDEEN, B.H.; DAUD, W.M.A.W; AZIZ, A.R.A. Treatment technologies for petroleum refinery effluents: a review. *Process Safety and Environmental Protection*. v.89, p. 95-105, 2011.
6. HABERT, A.C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação por Membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.
7. HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, M. C. C. Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria. Rio de Janeiro: Federação das Indústrias do Rio de Janeiro - FIRJAN/SEBRAE, 2007 (Manual).
8. MERÇON, F; CARVALHO F. H. S. Conservação de água e reuso e reciclo de efluente em refinaria de petróleo. In 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.