

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS DO LABORATÓRIO DA UNIDADE DE INSUMOS BÁSICOS-BA DA BRASKEM

Jossenice Vieira Santos ¹

George Souza Mustafa ²

Resumo

Nos últimos anos, o aumento na produção de petroquímicos ocasionou também um aumento no volume de efluentes gerados; reduzir o impacto ambiental, agregar valor aos resíduos industriais e minimizar a exposição dos empregados a agentes químicos tem sido uma iniciativa cada vez mais discutida nas plantas industriais. Este trabalho apresenta o estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE) para a reutilização dos efluentes líquidos do laboratório de controle de qualidade da unidade de insumos básicos da Braskem no Pólo Petroquímico de Camaçari. No estudo foram avaliadas duas propostas de transferência do efluente líquido, nas quais foi identificada a oportunidade de redução da exposição dos técnicos a agentes químicos, com a redução de 16 horas para 2 horas dedicadas a atividade. A avaliação econômica da proposta indicada apresentou o custo específico de R\$ 0,23/análise, valor aproximadamente três vezes menor que a segunda proposta avaliada neste estudo.

Palavras-chave: Indústria Petroquímica; EVTE; Controle de Qualidade; Reutilização; Efluente Líquido.

Abstract

In recent years, the increase in the production of petrochemicals also caused an increase in the volume of effluents; reduce environmental impact, add value to industrial waste and minimize employee exposure to chemical agents has been increasingly discussed initiative in industrial plants. This paper presents the technical and economic feasibility study for the reuse of waste liquids from the quality control laboratory in the basic petrochemicals production facility of Braskem in the Petrochemical Complex of Camaçari. In the study included two proposals for transfer of liquid effluent, in which we identified the opportunity to reduce exposure to chemical technicians, with a reduction from 16 hours to 2 hours devoted to activity. The economic evaluation of the proposal indicated presented the specific cost of R\$ 0.23 / analysis, value about three times less than the second proposal evaluated in this study.

Keywords: Petrochemical Industry; TEFS; Quality Control; Reuse; Liquid Effluent.

1 INTRODUÇÃO

A atividade da indústria petroquímica representa um importante setor na produção industrial brasileira, sendo responsável pela transformação dos insumos derivados do petróleo e gás natural em diversos produtos utilizados em muitas outras indústrias na fabricação de uma grande variedade de bens de consumo.

Segundo Machado (2012), o setor petroquímico apresenta a característica de uma indústria de processo, formada por uma cadeia de etapas produtivas distintas e relacionada por meio de uma série de processos produtivos consecutivos. Dentro da cadeia produtiva, as unidades de processamento são divididas em três grupos, conforme representado na Figura 1.

¹ Aluno do curso de Graduação Química. E-mail: jossenice@hotmail.com

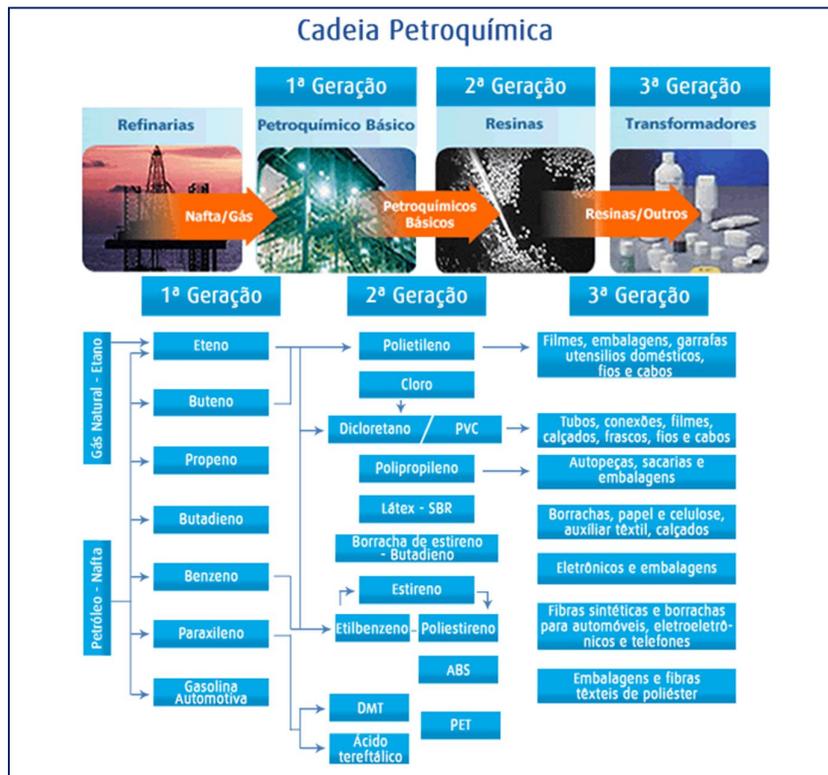
² Docente da Universidade Salvador - UNIFACS, Mestre em Engenharia Química pela UFBA. E-mail george.mustafa@unifacs.br

1ª geração: também conhecida como centrais petroquímicas ou unidades de insumos básicos.

2ª geração: na sequência da cadeia, estas unidades utilizam os produtos provenientes da 1ª geração para produção de uma maior diversidade de produtos.

3ª geração: responsáveis pela transformação dos produtos obtidos na 2ª geração em bens de consumo que serão utilizados nas indústrias fora da cadeia petroquímica.

Figura 1- Cadeia Petroquímica



Fonte: <http://www.frentequimicopetroplastico.com.br>

Devido a crescente demanda por produtos petroquímicos, foi registrado um aumento significativo nos volumes produzidos em toda a cadeia, e consequentemente um aumento nos volumes de rejeitos industriais: efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões gasosas.

Com a implementação das primeiras Leis de Proteção Ambiental, na década de 70, a indústria petroquímica iniciou a execução de ações para melhorar os seus processos e práticas visando adequar-se às exigências determinadas pelos órgãos ambientais, reduzir os custos das suas operações e proporcionar o desenvolvimento sustentável; com isso as iniciativas com

foco em saúde, segurança e meio ambiente (SSMA) tornaram-se fundamentais nas políticas internas das empresas.

No processo de produção de petroquímicos, uma importante etapa é o controle de qualidade, o qual é realizado através de análises que fornecem os dados de alguns parâmetros que auxiliam a equipe da operação e engenharia na avaliação das condições de eficiência do processo e na especificação dos produtos, de acordo com a solicitação dos clientes.

Este trabalho possui como objetivo geral realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica para reutilização do efluente líquido do laboratório de controle de qualidade da Unidade de Insumos Básicos da Bahia (UNIB-1). Os objetivos específicos são:

- Realizar dimensionamento de equipamentos para transferência do efluente;
- Realizar dimensionamento de novo alinhamento para transferência;
- Avaliar a viabilidade técnica do processo;
- Avaliar a viabilidade econômica dos sistemas de transferência avaliados; e
- Apresentar o sistema mais viável técnico e economicamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

A indústria petroquímica é classificada como um dos setores da indústria química, caracterizada pela transformação dos insumos derivados do petróleo ou gás natural em uma grande variedade de produtos utilizados nas mais diversas atividades industriais.

As atividades petroquímicas surgiram nos Estados Unidos em 1920, com a fabricação de isopropanol e do glicol; o seu desenvolvimento foi motivado pela demanda por substâncias explosivas (tolueno e glicerina) no período da Segunda Guerra Mundial.

No Brasil, a primeira indústria petroquímica iniciou a sua operação em 1948, no estado do Paraná. Na década de 50, outras unidades industriais foram instaladas no estado de São Paulo, com a construção de duas fábricas de poliestireno. A produção de petroquímicos no Brasil consolidou-se a partir 1952, com a construção da Refinaria Presidente Bernardes, na cidade de Cubatão - São Paulo, o que possibilitou a instalação de uma cadeia industrial naquela região estimulando, com isso a atividade petroquímica no país.

A criação da Petrobrás, em 3 de outubro de 1953, foi determinante para impulsionar o desenvolvimento da atividade, pois a implantação das unidades de refino possibilitou o suprimento das matérias primas para a indústria petroquímica. Com isso, nas décadas de 60 e 70 foi observado a expansão da atividade petroquímica para outras regiões do país, como por exemplo: Rio de Janeiro, Pernambuco, Bahia e Rio Grande do Sul.

2.2 PETROQUÍMICA BÁSICA

As unidades da indústria petroquímica básica, também conhecidas como Unidades de Insumos Básicos ou Centrais de Matéria Prima, estão situadas no início da cadeia de produção e são responsáveis pela transformação do gás natural ou dos insumos obtidos do refino do petróleo, como por exemplo: nafta e condensado. A principal rota de produção das quatro centrais instaladas no Brasil é através do craqueamento térmico da nafta em grandes fornos de pirólise.

As quatro centrais brasileiras (UNIB-1, UNIB-2, UNIB-3 e UNIB-4) são controladas pela Braskem e estão localizadas respectivamente nas cidades de Camaçari, Triunfo, Santo André e Duque de Caxias. Dentro da cadeia, estas unidades são responsáveis pela produção de aproximadamente 48,3% (Abiquim-2013) do volume de petroquímicos que irão suprir as demais unidades industriais da 2ª geração e, em algumas raras situações, também suprem diretamente as unidades da 3ª geração. Os principais produtos das centrais são: eteno, propeno, xilenos, benzeno, tolueno e 1,3-butadieno.

Os volumes produzidos nas centrais são elevados, e conseqüentemente os efluentes gerados também, com isso, destinar este efluente de forma adequada e segura é uma das iniciativas de atuação responsável da Braskem para minimizar os impactos ambientais da sua atividade e consolidar a sua imagem de empresa inovadora e sustentável junto aos clientes, integrantes e comunidade.

2.3 CONTROLE DE QUALIDADE

No processo de produção de petroquímicos, uma importante etapa é o controle de qualidade, que consiste na avaliação das características químicas e físico-químicas da matéria prima, insumos, correntes intermediárias, efluentes gerados e o produto final. O controle de qualidade é realizado através de análises, executadas pela equipe do laboratório, das amostras coletadas no processo. Estas análises fornecem os dados de diversos parâmetros que auxiliam

a equipe da operação e engenharia na avaliação das condições de eficiência do processo e no monitoramento ambiental; desta forma, as perdas são minimizadas, garantindo um melhor desempenho da produção e a especificação do produto final.

O procedimento do controle de qualidade compreende três etapas principais: a coleta da amostra, realizada em pontos específicos do processo; o ensaio analítico, realização das análises químicas e físico químicas; e o descarte das amostras residuais após realização das análises. Na primeira etapa do controle, que consiste na coleta das amostras no processo, a representatividade das amostras coletadas é fundamental para garantir a assertividade das análises realizadas, portanto os procedimentos de amostragem devem ser bem definidos e orientados de acordo com o estado físico da corrente do processo, o tipo e a quantidade de análises que serão realizadas.

Devido à elevada quantidade de correntes existentes no processo petroquímico básico, é necessária uma grande diversidade de ensaios analíticos, os mais utilizados são:

- Análises químicas, caracterizadas pela avaliação da composição: cromatografia gasosa, cromatografia líquida e espectrometria de massa.
- Análises físico-químicas, caracterizada pela avaliação das propriedades físicas e alguns componentes específicos: densidade, pH, condutividade, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, faixa de destilação etc.

Para garantir a representatividade das amostras analisadas, são coletados volumes acima do necessário para determinadas técnicas analíticas, com isso volumes significativos de amostras são descartados nos laboratórios de controle de qualidade. Também contribuem para o volume descartado a própria alíquota analisada da amostra e, eventualmente, os reagentes utilizados durante a análise.

2.4 EFLUENTES LÍQUIDOS

A Norma Regulamentadora – NBR 9800/1987, classifica como efluentes de processo industrial os despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial.

Ainda de acordo com a NBR 9800/1987, também são considerados efluentes líquidos industriais: águas de resfriamento poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico gerado as instalações do estabelecimento.

Estes efluentes podem ser classificados de acordo com os critérios abaixo (MUSTAFA, 1998):

- Características físico químicas: orgânicos e inorgânicos.

Os efluentes orgânicos abrangem os despejos contaminados com compostos orgânicos e os inorgânicos são provenientes da água de processo, condensado e drenagem pluvial que apresentam apenas traços de compostos orgânicos na sua composição.

- Tipo de regime de fluxo: contínuos e intermitentes.

Os efluentes gerados permanentemente durante o processo produtivo são considerados contínuos e àqueles efluentes gerados esporadicamente ou gerados durante alguma manobra operacional específica e nas paradas de manutenção são classificados como efluentes intermitentes.

Os efluentes gerados no laboratório de controle de qualidade são caracterizados como:

- Contínuos e Orgânicos: os efluentes provenientes do volume excedente das amostras coletadas e das alíquotas analisadas.
- Contínuos e inorgânicos: provenientes da água de lavagem das vidrarias.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 BRASKEM

Ao longo da década de 1990, a indústria química e petroquímica mundial iniciou o processo de consolidação das suas atividades, operacionalizando algumas fusões e aquisições de plantas industriais, originando grandes conglomerados. Em agosto de 2002 com a integração das empresas Copene, OPP, Trikem, Proppet, Nitrocarbono e Polialden, a Braskem é criada e integra as atividades das unidades de 1ª e 2ª gerações para produção dos insumos básicos petroquímicos, produtos intermediários e resinas termoplásticas.

Atualmente a Braskem é líder nas Américas em produção de petroquímicos e resinas, e a maior produtora mundial de biopolímeros, possui capacidade instalada superior a 16

milhões de toneladas por ano. As 40 unidades industriais localizadas no Brasil, Estados Unidos, Alemanha e México, são responsáveis pelo suprimento de 70% da demanda brasileira por resinas termoplásticas e 3,5% da produção mundial (BRASKEM, 2014).

As quatro unidades da 1ª geração, apresentaram um fator operacional médio de 90,0% nos últimos 3 anos e foram responsáveis por 46,0% da produção da empresa em 2014, garantindo o suprimento da matéria prima para as unidades de 2ª geração instaladas no Brasil e a exportação de produtos aromáticos e outros intermediários (1,3-butadieno, isopreno e ETBE). Os volumes de produção das UNIBs e a estratégia de exportação contribuíram significativamente para o excelente resultado financeiro da empresa em 2015.

4.2 UNIB-1

A unidade de Insumos básicos da Bahia, localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari, foi fundada em 12 de janeiro de 1972, denominada Companhia Petroquímica do Nordeste (COPENE) e iniciou suas operações em junho de 1978 com a capacidade instalada para produção de eteno de 460.000 t/ano; após a implantação de projetos de ampliação, a capacidade de produção de eteno alcançou os atuais 1.280.000 t/ano. Em setembro de 2001, a empresa Odebrecht em parceria com o grupo Mariani, assumiu o controle da companhia e em julho de 2002 teve a sua denominação social modificada para Braskem S.A – UNIB-1.

A UNIB-1 é constituída por 4 unidades de produção e uma unidade termo elétrica, seguem abaixo as unidades e seus respectivos produtos principais:

- Aromáticos I (UA-I): benzeno, tolueno, para xileno, orto xileno e 1,3-butadieno.
- Olefinas I (UO-I): eteno, propeno, hidrogênio e metano.
- Aromáticos II (UA-II): benzeno, tolueno, xilenos mistos, 1,3-butadieno e isopreno.
- Olefinas II (UO-II): eteno, propeno, hidrogênio e metano.
- Termo elétrica (UTE): vapor e energia elétrica.

O processo produtivo da UNIB-1 baseia-se no craqueamento térmico da nafta bruta, leve e pesada nos fornos de pirólise das unidades da UO-I (12 fornos) e UO-II (10 fornos).

O produto do craqueamento da nafta, o efluente dos fornos, é resfriado e nas etapas seguintes, nas unidades de olefinas e aromáticos, ocorrem diversos processos de separações e algumas reações para a produção dos insumos básicos. Ao longo das etapas de produção, faz-se necessário avaliar a eficiência do processo para garantir o melhor desempenho operacional e minimizar as perdas. Um dos procedimentos empregados para avaliação é o controle de

qualidade das correntes intermediárias e dos produtos finais que é realizado através de análises executadas pela equipe do laboratório.

4.3 LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE

O laboratório de controle de qualidade da UNIB-1 (LCQ) realiza o monitoramento analítico do processo através de análises *on line*, realizadas pelos analisadores em linha instalados diretamente nas áreas operacionais ou através das análises *off line*, realizadas nos equipamentos instalados no LCQ e operados pelos analistas químicos. O plano analítico contempla aproximadamente 12.000 análises mensais e abrange todas as etapas do processo da UNIB-1, exceto o monitoramento da água de processo, água de resfriamento e condensados gerados, pois estas análises são realizadas pelos respectivos laboratórios das empresas tratadoras destes sistemas.

Devido à complexidade da unidade de insumos básicos, são necessários diversos ensaios analíticos para realização do controle de qualidade do processo, os principais ensaios realizados no LCQ são:

- Análises da composição química: realizadas através da cromatografia.
- Análises físico químicas: densidade, pH, condutividade, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, faixa de destilação, índice de fluidez, umidade etc.

Para garantir a confiabilidade do resultado analítico, a etapa da coleta das amostras é muito importante. Com isso, para garantir a representatividade são realizadas coletas de volumes de amostras maiores que o necessário para os ensaios analíticos. O volume excedente, que constitui o efluente líquido do LCQ, é descartado em um sistema específico de drenagem, o qual inclui o vaso de efluentes líquidos localizado na área externa do laboratório e objeto deste estudo.

5 SITUAÇÃO ATUAL

O efluente do vaso de descarte do LCQ é drenado mensalmente, através de manobra manual executada pelo operador de campo, para um vaso de transferência portátil; em seguida a equipe da limpeza industrial desloca o vaso portátil para a unidade de separação de água e óleo. Esta manobra atende parcialmente aos padrões de segurança e higiene ocupacional definidos pela equipe de SSMA, e também gera impacto na produtividade das equipes

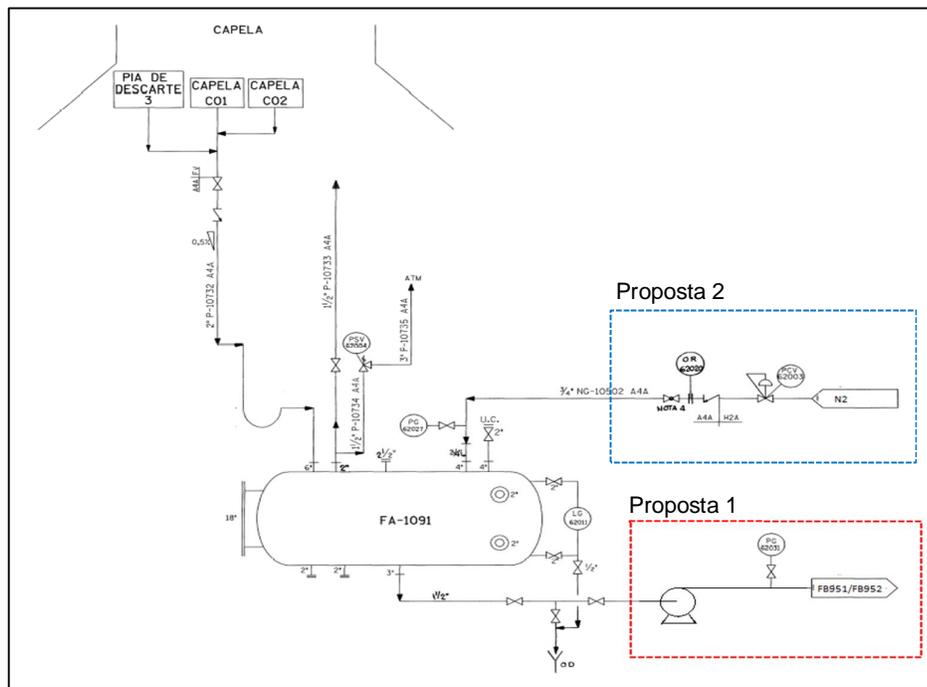
envolvidas: operação, laboratório e limpeza industrial, pois exige, aproximadamente, 16 horas/mês totais dos técnicos.

6 SITUAÇÃO PROPOSTA

Proposta 1: Realizar a transferência do efluente do vaso para o tanque de nafta, através de uma bomba centrífuga.

Proposta 2: Realizar a transferência do efluente do vaso para o tanque de nafta, através de pressurização com nitrogênio, disponível na rede de utilidades do laboratório.

Figura 2 - Situações propostas



Fonte: adaptado do Sistema de Gestão de Engenharia Braskem– Documentos

6.1 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA

6.1.1 Vazão, Composição e Propriedades do Fluido

A vazão mássica foi definida em 4.800 kg/h, baseada no tempo requerido de 32 minutos, para realização da transferência do conteúdo do vaso (2583 kg). As análises para determinação da composição e propriedades do fluido foram realizadas no LCQ da UNIB-1.

445

Na Tabela 1 foram reportados apenas os componentes considerados relevantes para ilustrar a característica da amostra; na Tabela 2 são apresentadas as propriedades do fluido nas temperaturas de 29°C e 35°C, consideradas para os cálculos nos flanges de sucção e descarga da bomba, respectivamente.

Tabela 1- composição mássica média da corrente do vaso

Componente	%massa
n-Pentano	2,930
Isopreno	3,514
Hexano	2,298
Benzeno	12,483
Heptano	1,633
Tolueno	4,017
Para-Xileno	17,740
Orto-Xileno	6,626

Tabela 2- propriedades do fluido em 29°C e 35°C

Temperatura	29,0	35,0	°C
ρ	801	801	kg/m ³
Viscosidade	0,71	0,68	cP
PVR	0,483	-	kgf/cm ² g

6.1.2 Critérios de Projeto

Os critérios utilizados para o dimensionamento da bomba foram os seguintes:

- Linha de sucção: $0,5 \text{ m/s} \leq v_{\text{recomendada}} \leq 1,0 \text{ m/s}$;
- Linha de descarga: $1,0 \text{ m/s} \leq v_{\text{recomendada}} \leq 3,0 \text{ m/s}$;
- Linha de sucção: $0,05 \text{ kgf/cm}^2 \leq \Delta P/100\text{m} \leq 0,09 \text{ kgf/cm}^2$;
- a) Linha de descarga: $0,35 \text{ kgf/cm}^2 \leq \Delta P/100\text{m} \leq 0,50 \text{ kgf/cm}^2$;
- b) $90\% Q_{\text{BEP}} \leq Q_{\text{Projeto}} \leq 105\% Q_{\text{BEP}}$; e
- c) $\text{NPSH}_{\text{disponível}} = \text{NPSH}_{\text{requerido}} + 1,5 \text{ m}$.

6.1.3 Cálculos na Sucção e Descarga da Bomba

A velocidade recomendada e a perda de carga nas tubulações da sucção e descarga da bomba foram calculadas a partir das Equações 1 e 2, respectivamente.

$$V = \frac{4.Q}{\pi.\rho .D^2} \quad (1)$$

$$\Delta P = f. \frac{L_{total}}{D} . \frac{v^2}{2.g} \quad (2)$$

Onde:

- f , representa o fator de fricção de Darcy;
- L_{total} , representa o comprimento dos trechos retos da tubulação e os comprimentos equivalentes dos acessórios instalados na tubulação;
- v e D , representam respectivamente a velocidade do fluido na linha e o diâmetro interno da tubulação.

Os resultados calculados estão apresentados na Tabela 3.

A tubulação com diâmetro nominal de 2,5 polegadas e interno 0,062 m foi selecionada para a sucção e foi avaliada que a tubulação existente 1^{1/2} polegadas e diâmetro interno de 0,0410 m. Ambas atenderam aos critérios de projetos determinados.

Tabela 3 – Velocidade e perda de carga na sucção/descarga

Parâmetro	Sucção	Descarga	Unidade
V	0,55	1,39	m/s
L_{total}	25,15	220,96	m
ΔP	0,014	1,114	kgf/cm ²
ΔP (100m)	0,06	0,50	kgf/cm ²

Após a especificação das tubulações, a partir das Equações 3 e 4, foi calculada a pressão no flange de sucção/descarga e $NPSH_{disponível}$. Os resultados estão na Tabela 4.

$$P_{fs} = P_{vs} + (Z_s - \Delta P_s). \gamma \quad (3)$$

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{fs} - P_{vs}}{\gamma} \quad (4)$$

Tabela 4 - Dados e resultados na sucção/descarga

Parâmetro	Sucção	Descarga	Unidade
Z	4,03	16,29	m
ΔP	0,18	1,37	m
Z	0,32	1,30	kgf/cm ² g
V_{flange}	0,88	3,29	m/s
P_{vapor}	0,48	0,54	kgf/cm ² g
Parâmetro	Sucção	Descarga	Unidade
P_{flange}	0,74	3,20	kgf/cm ² g
$NPSH_{\text{disp}}$	3,25	-	m
<i>Head</i>	9,47	39,60	m

6.1.4 Avaliação do Modelo da Bomba

Com os dados de *head* bomba, vazão volumétrica e NPSH, foram consultadas as curvas de desempenho das bombas dos fabricantes Sulzer, KSB, Omel e Worthington.

- Vazão volumétrica (Q_{projeto}): 6,0 m³/h
- H_{bomba} : 31,3 m
- $NPSH_{\text{disponível}}$: 3,2 m

A bomba selecionada, do fabricante KSB, atende aos critérios estabelecidos do Q_{BEP} e NPSH. No entanto, uma bomba similar poderá ser utilizada. Seguem abaixo os dados da bomba selecionada:

- Modelo: RPH 025-180.1
- Tipo: centrífuga horizontal
- $Q_{\text{proj}}/Q_{\text{BEP}}$: 99,01%
- $NPSH_{\text{req}}$: 1,04 m
- Rotor: 179,0 mm
- Rotação: 2863 rpm
- Eficiência: 28,20 %
- Potência: 1,98 kW

6.2 VOLUME DE N₂ PARA TRANSFERÊNCIA DO EFLUENTE LÍQUIDO

De acordo com as dimensões do vaso de descarte, o volume total corresponde a 3,04 m³. O procedimento proposto para a manobra manual de transferência determina que o processo seja realizado quando o volume de líquido atingir 60 % do volume total. Nesta condição, o volume de hidrocarbonetos no interior do vaso será de 1,82 m³ e o vaso deverá ser pressurizado com o nitrogênio a 6,0 kgf/cm² g. Ao final da manobra, o vaso deverá ser despressurizado para um ponto de baixa pressão adequado.

O nitrogênio utilizado para transferência apresenta pureza de 99,9 % vol, portanto para o cálculo do volume necessário, o gás foi considerado puro e ideal. A Lei de Boyle foi empregada no cálculo da expansão isotérmica do gás após a manobra. O volume final foi determinado pela Equação 5

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (5)$$

Onde,

- Pressão do nitrogênio do header no tempo inicial da manobra, P₁: 6,0 kgf/cm² g
- Volume ocupado pelo nitrogênio no vaso no tempo inicial, V₁: 1,22 m³
- Pressão no destino final do fluido no tanque de nafta bruta, P₂: 3,27 kfg/cm² g

Logo, o volume final do nitrogênio no interior do vaso após a transferência corresponde a 2,24 m³. O tempo necessário para realizar a transferência após alinhamento do nitrogênio, é calculado a partir das Equações 6 e 7. A Equação 8 refere-se ao desenvolvimento das Equações 6 e 7.

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad (6)$$

$$\Delta P = k \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \quad (7)$$

$$t - t_0 = \frac{1}{C^2} \left(-\sqrt{V\left(\frac{B}{C} - V\right)} - \frac{B}{C} \tan^{-1} \frac{\sqrt{V\left(\frac{B}{C} - V\right)}}{V - \frac{B}{C}} \right) \quad (8)$$

Onde,

- A, corresponde a área transversal da tubulação;

- k, constante de proporcionalidade para o sistema em estudo;
- $B = \frac{A^2 \cdot n \cdot R \cdot T}{k}$
- $C = \frac{A^2 \cdot P_2}{k}$

7 ANÁLISE TÉCNICA

A análise técnica foi realizada considerando a transferência do efluente do vaso para o tanque de nafta bruta, que possui teto tipo flutuante. A pressão no ponto de descarga do efluente é 3,20 kgf/cm² g.

Baseado nos resultados calculados para a situação proposta 1, foi possível especificar a bomba centrífuga citada anteriormente. A instalação de uma bomba irá permitir a transferência do efluente com uma vazão de 4.800 kg/h no intervalo em tempo de 32 min para escoamento do volume total de hidrocarbonetos do vaso para o tanque, a implementação na rotina de atividades da operação, com frequência mensal, irá permitir uma redução de 16,0 horas totais dedicadas à atividade para aproximadamente 2,0 horas.

Para a transferência do efluente através da pressurização com nitrogênio, foi avaliada a pressão máxima de operação do vaso, e de acordo com o desenho de projeto e folha de dados do equipamento, a pressão máxima de operação é de 8,0 kgf/cm² g, portanto a pressão de 6,0 kgf/cm² g especificada pelo procedimento para realização da transferência atende ao critério de pressão para operação do vaso. Neste procedimento não será realizada a transferência total do efluente; após equalização da pressão do nitrogênio um volume residual de hidrocarbonetos permanecerá no vaso, garantindo que não ocorra passagem de gás para a tubulação de descarga e conseqüentemente para o tanque.

8 ANÁLISE ECONÔMICA

Para avaliação econômica, foi aplicado o método determinístico de análise de investimento denominado Valor Anual Uniforme Equivalente, VAUE, o qual consiste em determinar a série uniforme anual (A) equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade, TMA, (MUSTAFA, 2010). Para determinar o VAUE, utiliza-se a Equação 9.

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad (9)$$

Onde:

- P, é igual ao Investimento total (R\$) e equivale aos custos diretos e indiretos;
- i, corresponde a Taxa de juros (10,5 % a.a), definida pela equipe de projetos da Braskem; e
- n, é o tempo de vida útil do investimento equivalente a 10 anos.

Em seguida calculam-se os custos específicos, Equação 10. Através dos custos específicos (CE) é possível comparar, em bases econômicas, as duas propostas de transferência do efluente. A instalação proposta que apresenta o menor CE é considerada a mais atrativa.

$$CE = \frac{A + CF + CV}{n^\circ \text{ de análises}} \quad (10)$$

Onde:

- A, equivale ao investimento fixo anualizado ou a série uniforme anual;
- CF, corresponde aos custos fixos;
- CV, corresponde aos custos variáveis; e
- n° de análises é igual a 144.000/ano

8.1 CUSTOS PROPOSTA 1 - INSTALAÇÃO DA BOMBA

Na Tabela 5, são apresentados os custos referentes ao investimento direto, os quais foram avaliados a partir de consultas às empresas fornecedoras de serviços (contratos vigentes com a Braskem), materiais e equipamentos. Na Tabela 6, são listados os fatores de estimativa para os custos indiretos (MUSTAFA, 2010) e os respectivos valores calculados.

Tabela 5 – Investimento direto avaliado

Itens	Custo (R\$)
Equipamentos principais - bomba centrífuga	17.000
Materiais de aplicação tubulações 2,5"	429
Materiais de aplicação instrumentos	7.000
Materiais de aplicação materiais elétricos	3.100
Materiais de aplicação pintura	1.000
Obras civis	3.850
Montagem industrial instalações de equipamentos	1.200
Montagem industrial instalações dos materiais	14.000
Frete, seguros e taxas	350
Peças Sobressalentes - 1 ano	700
TOTAL	48.629

Tabela 6 - Investimento indireto estimado

Itens	Estimativa	Custo (R\$)
Gerenciamento empreendimento	6% IF	4.084
Projeto Conceitual e Estudo de Engenharia	7% ID	3.404
Projeto básico	3% ID	1.458
Projeto de detalhamento	6% ID	2.917
Serviços de procura, inspeção e diligenciamento	3% ID	1.458
Pré-operação	1% ID	486
Contingências	20% ID	9.725
TOTAL		23.536

ID equivale ao valor total do investimento direto: R\$ 48.629; e IF equivale ao investimento fixo (custos diretos e indiretos), cujo valor é igual R\$ 68.077. O investimento total, investimento direto somado ao investimento indireto, é de R\$ 72.162; que após ser anualizado equivale ao VAUE (A) no valor de R\$ 114.266/ano.

Os custos fixos referentes à proposta, com a inclusão de todos os respectivos impostos e taxas pagas pela empresa são:

- Mão de obra de operação: avaliada a mediana salarial do operador pleno em regime de trabalho no turno e duas horas mensais dedicadas à atividade. Valor anual calculado de R\$ 2.232/ano.

- Mão de obra de manutenção: avaliada a mediana salarial do mecânico pleno em regime de trabalho administrativo e duas horas semestral dedicado à atividade. Valor anual calculado de R\$ 924/ano.
- Materiais de manutenção: avaliada com base na proposta comercial enviada pelo fornecedor, com lista de consumíveis sugeridas para o período de um ano. Considerada o histórico de falhas para bombas similares instaladas na UNIB-1. Valor anual calculado de R\$ 946/ano.

Valor total calculado referente aos custos fixos é de R\$ 4.102/ano.

No cálculo dos custos variáveis foi considerado aplicável apenas o consumo de energia, cujo valor de referência considerado, R\$ 270/MWh, foi avaliado pela base praticada na UNIB-1. A bomba selecionada possui potência de 1,98 kW e, em caso de operação contínua, o custo anual com energia seria de R\$ 4.683/ano. No entanto, a bomba irá operar apenas uma hora por mês, portanto o custo anual calculado de energia para a operação do sistema é de R\$ 6,53/ano.

O custo específico por análise calculado para a proposta de transferência do efluente com o sistema de bomba equivale a R\$ 0,82/análise.

$$C_{\text{especific}} = \frac{114.266,97 + 4.102,00 + 6,53}{144.000} = \text{R\$ } 0,82/\text{análise}$$

8.2 CUSTOS PARA PROPOSTA 2 – TRANSFERÊNCIA COM N₂

As instalações para implementação da proposta 2 já são existentes, pois este sistema foi instalado em 1994. Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os custos referentes aos investimentos direto e indireto respectivamente. Alguns instrumentos e trechos das instalações são provenientes do projeto original e não foram considerados nos custos. Os demais itens foram contabilizados conforme procedimento adotado para proposta 1.

Tabela 7 - Investimentos diretos avaliados

Itens	Custo (R\$)
Materiais de aplicação instrumentos	12.000
Montagem e instalação industrial	4.000
Frete, seguros e taxas	150
TOTAL	16.150

Tabela 8 – Investimentos indiretos estimados

Itens	Estimativa	Custo (R\$)
Projeto Conceitual e Estudo de Engenharia	7% ID	1.130
Projeto de detalhamento	6% ID	969
Serviços de procura, inspeção e diligenciamento	3% ID	484
Pré-operação	1% ID	161
TOTAL		2.745

O ID calculado é de R\$ 16.150. O investimento total, investimento direto somado ao investimento indireto, é de R\$ 18.895; que após ser anualizado equivale ao VAUE (A) no valor de R\$ 29.920/ano.

Os custos fixos referentes à proposta, com a inclusão de todos os respectivos impostos e taxas pagas pela empresa são:

- Mão de obra de operação: semelhante à avaliação da proposta 1, cujo valor anual calculado é de R\$ 2.232/ano.
- Mão de obra de manutenção: foi considerado fator de estimativa de 2 % do investimento fixo (MUSTAFA, 2010), cujo valor calculado é de R\$ 18.895; portanto o valor anual calculado de mão de obra de manutenção é de R\$ 378/ano.
- Materiais de manutenção: similar ao item anterior. Foi empregado fator de estimativa de 2 % do investimento fixo; com isso, o valor anual calculado para materiais de manutenção é de R\$ 378/ano.

O valor total calculado referente aos custos fixos é de R\$ 2.988/ano.

No cálculo dos custos variáveis foi considerado aplicável apenas o consumo de nitrogênio, cujo valor de referência utilizado na UNIB-1 é de R\$ 0,56/Nm³. O volume consumido mensalmente durante a manobra é de 2,2 m³, o qual corresponde a 14,1 Nm³. O custo anual corresponde a R\$ 95/ano.

O custo específico por análise calculado para a proposta de transferência do efluente utilizando o nitrogênio equivale a R\$ 0,23/análise.

$$C_{\text{especif}} = \frac{29.919,19 + 2.987,82 + 94,94}{144.000} = \text{R\$ } 0,23/\text{análise}$$

9 CONCLUSÕES

As duas propostas apresentadas para a transferência do efluente líquido do Laboratório de Controle de Qualidade da UNIB-1 para o tanque de matéria prima de nafta bruta foram avaliadas de acordo com os critérios técnicos estabelecidos para os respectivos sistemas propostos:

- Proposta 1- Instalação de uma bomba centrífuga na área em declive próxima ao vaso.
- Proposta 2 - Pressurização do vaso com nitrogênio na pressão de 6,0 kgf/cm² g.

Conforme citado na avaliação técnica, o modelo de bomba especificada, ou similar, atende integralmente a todos os critérios técnicos determinados e apresentados neste estudo. De acordo com os cálculos realizados a proposta de transferência por pressurização do vaso com nitrogênio a 6,0 kgf/cm² g atende tecnicamente, assim como está adequado às condições de operação segura para o sistema.

Na análise econômica, foi considerado o custo específico por análise realizada no Laboratório de LCQ da UNIB-1:

- Proposta 1 - custo específico calculado de R\$ 0,82 por análise;
- Proposta 2 - custo específico calculado de R\$ 0,23 por análise.

Portanto, de acordo com o estudo de viabilidade técnica econômica realizado (EVTE), a proposta 2 – Pressurização do vaso de descarte com nitrogênio na pressão de 6,0 kgf/cm² g é a proposta indicada para realizar a transferência do efluente líquido do Laboratório de Controle de Qualidade da UNIB-1 para o tanque de nafta bruta.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Anuário da Indústria Química Brasileira**. Indústria Química Brasileira.

Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-SobreSetor>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

BRASKEM. **Relatório Anual 2014**. Disponível em:

<http://www.braskem.com.br/portal/braskem/files/braskem_RA_2014_final>. Acesso em: 08 de abril de 2016.

KSB. **Curva Característica da Bomba**. Disponível em:< https://www.ksb.com/ksb-en/Select_your_pumps_and_valves/ksb-easysselect/>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MACHADO, L.E. **Petróleo e Petroquímica**, 2012. Disponível em:

<http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1378402007.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2016

MUSTAFA, G.S. **Reutilização de Efluentes Líquidos em Indústria Petroquímica**. 1998.

Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes>.

Acesso em: 2 mar. 2016.

MUSTAFA, G.S. **Operações Unitárias da Indústria Química** – Equipamento de Transferência e Armazenamento de Fluidos. Salvador, 2012.

MUSTAFA, G. S. **Avaliação Econômica de Projetos Industriais**. Salvador, 2010.

SULZER. **Catálogo de Bombas** – Curva Característica da Bomba. São Paulo, [1990]. Acervo físico Biblioteca de Documentação Orientadora da UNIB 1 – Braskem.

TORRES, M.E. **A Evolução da Indústria Petroquímica Brasileira**. Disponível em:

<http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3330>. Acesso em: 14 abr. 2016.

WORTHINGTON. **Catálogo de Bombas** – Curva de Performance. São Paulo, 1980. Acervo físico Biblioteca de Documentação Orientadora da UNIB 1 – Braskem.