

# *Monografia de Graduação*

## **Novos Sistemas Microemulsionados Aplicados na Recuperação de Óleos Usados**

**Wagner Luís Novaes de Lima**

**Natal, novembro de 2004**

**WAGNER LUÍS NOVAES DE LIMA**

Monografia

**Novos Sistemas Microemulsionados Aplicados na  
Recuperação de Óleos Usados**

“Prefiro chorar as lágrimas da derrota a ter a  
vergonha de não ter lutado”.

Anônimo

## **Agradecimentos**

Agradeço a Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis-ANP, que através da comissão gestora PRH14 contribuiu financeiramente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>13</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>32</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>34</b>
<b>PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>

# 1

---

## INTRODUÇÃO

Os óleos lubrificantes representam cerca de 2% dos produtos derivados de petróleo e são largamente empregados para fins industriais. Após um período pré-determinado pelo fornecedor, os óleos lubrificantes sofrem alterações em suas estruturas formando compostos oxigenados, poliaromáticos, resinas, lacas e podem ser contaminados com metais. O produto resultante da degradação deste óleo é considerado perigoso por ser tóxico e apresentar grande potencial de risco ao meio ambiente e à saúde pública.

O descarte indiscriminado deste óleo agride o meio ambiente e desperdiça uma promissora fonte de recursos e, portanto, se faz necessário desenvolver tecnologias para a sua recuperação. De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 9/93), é crime ambiental descartar na natureza, comercializar, fornecer, transportar, queimar ou dar qualquer outro destino, que não seja a recuperação, aos óleos usados.

Sendo assim, a questão da reciclagem de óleos lubrificantes usados ganha cada vez mais espaço no contexto da conservação ambiental.

Nos países desenvolvidos, a coleta de óleos usados é geralmente tratada como uma necessidade de proteção ambiental. Na França e na Itália, um imposto sobre os óleos lubrificantes custeia a coleta dos mesmos. Em outros países, esse suporte vem de impostos para tratamento de resíduos em geral. Nos Estados Unidos e Canadá, ao contrário do que ocorre no Brasil, normalmente é o gerador do óleo usado quem paga ao coletor pela retirada do mesmo.

Entre 1991 e 1993, a ONU financiou estudos sobre a disposição de óleos usados. A principal conclusão desses estudos foi que a solução para uma disposição segura de óleos lubrificantes usados é o re-refino.

Os óleos lubrificantes estão entre os poucos derivados de petróleo que não são totalmente consumidos durante o seu uso. Fabricantes de aditivos e formuladores de óleos lubrificantes vêm trabalhando no desenvolvimento de produtos com maior vida útil, o que tende a reduzir a geração de óleos usados. No entanto, com o aumento da aditivação e da vida útil do óleo, crescem as dificuldades no processo de regeneração após o uso.

Dentre os processos de separação existentes, iremos estudar a extração como método para a recuperação de óleos lubrificantes usados.

Há muitos anos, a extração vem sendo empregada como uma poderosa técnica laboratorial de separação. Sua aplicação industrial teve início quando se buscava uma alternativa capaz de remover hidrocarbonetos aromáticos do querosene. Desde então, a extração tem despertado grande interesse industrial sendo aplicada em diversas áreas tecnológicas, tais como: extração de metais, manufaturas de antibióticos, purificação de elementos físeis e no combate à poluição. Entretanto, é na indústria de petróleo que ela obtém a mais larga aplicação.

Entre os inovadores processos de separação destacam-se a extração por microemulsão. Os sistemas microemulsionados vêm sendo crescentemente utilizados em processos de separação devido à sua capacidade de solubilizar dois líquidos de polaridades diferentes, reduzir a tensão superficial/interfacial e produzir uma grande área interfacial entre a fase contínua e a fase dispersa.

Assim, os sistemas microemulsionados se mostram potencialmente capazes de atuar na remoção dos compostos originados da degradação parcial do óleo, recuperando-o para o seu uso original.

# 2

---

## OBJETIVO

Nossa proposta visa o desenvolvimento de sistemas microemulsionados e seus respectivos estudos a fim de selecioná-los para o processo de extração dos componentes de degradação do óleo lubrificante do tipo mineral para, enfim, reutilizá-lo na sua função original.

### 2.1. Objetivos específicos

Para que alcancemos os nossos objetivos com sucesso, realizaremos as seguintes etapas em nosso trabalho:

- Avaliação dos componentes dos sistemas microemulsionados (tensoativo, cotensoativo, razão C/T, fase orgânica e fase aquosa) que possuam poder de extração dos componentes de oxidação responsáveis pela degradação de óleos lubrificantes.
- Determinação de sistemas de microemulsão através do uso de diagramas de equilíbrio pseudoternários. Selecionaremos então o sistema e a região deste sistema que melhor se adapte ao processo de extração do óleo usado.
- Extração líquido-líquido utilizando para isto a microemulsão. Os estudos de extração serão realizados em reatores a contato simples com agitação, a uma temperatura constante de  $27 \pm 1$  °C.
- Otimização do processo de extração utilizado.

# 3

---

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Óleos Lubrificantes

A mais antiga manifestação de lubrificação de que se tem notícia é de uma gravura encontrada no Egito, no túmulo de RA-EM-KA, 1700 A.C., onde se vê um tipo de trenó transportando um monumento de pedra e um homem que despeja um líquido para lubrificar os deslizadores do trenó. Resíduos de gordura animal foram efetivamente encontrados no eixo de uma carruagem enterrada no túmulo de Yuua e Thuiu, de cerca de 1400 A.C..

A principal função de um lubrificante é a formação de uma película que impede o contato direto entre duas superfícies que se movem relativamente entre si. Com isso, o atrito entre as partes é reduzido a níveis mínimos quando comparado ao contato direto, exigindo uma menor força e evitando o desgaste dos corpos.

Com a evolução dos lubrificantes, estes passaram a acumular novas funções como proteção contra a corrosão, auxílio à vedação, transferência de calor e retirada de produtos indesejáveis do sistema, entre outras.

Os lubrificantes podem ser divididos em quatro tipos:

- Minerais: São óleos obtidos a partir da destilação do petróleo;
- Graxos: São óleos de origem vegetal ou animal;
- Compostos: São misturas de óleos minerais e graxos;
- Sintéticos: São lubrificantes sintetizados em laboratório por processo de polimerização.

### 3.2. Óleos Usados

Óleos usados são quaisquer óleos lubrificantes de base mineral ou sintética impróprios para o uso a que estavam inicialmente destinados, nomeadamente, os óleos usados de motores de combustão, sistemas de transmissão, óleos minerais para máquinas, turbinas e sistemas hidráulicos.

Os óleos usados contêm produtos resultantes da deterioração parcial dos óleos em uso, tais como compostos oxigenados (ácidos orgânicos e cetonas), compostos aromáticos polinucleares de viscosidade elevada, resinas e lacas. Além dos produtos de degradação do básico, estão presentes no óleo usado os aditivos que foram adicionados ao básico, no processo de formulação de lubrificantes e ainda não foram consumidos, metais de desgaste dos motores e das máquinas lubrificadas (chumbo, cromo, bário e cádmio) e contaminantes diversos, como água, combustível não queimado, poeira e outras impurezas. Pode conter ainda produtos químicos, que, por vezes, são inescrupulosamente adicionados ao óleo e seus contaminantes característicos.

### **3.2.1. Re-refino de Óleos Usados**

Um processo de re-refino deve compreender etapas com as seguintes finalidades:

- Remoção de água e contaminantes leves;
- Remoção de aditivos poliméricos, produtos de degradação termo-oxidativa do óleo de alto peso molecular e elementos metálicos oriundos do desgaste das máquinas lubrificadas (desasfaltamento);
- Fracionamento do óleo desasfaltado nos cortes requeridos pelo mercado;
- Acabamento, visando a retirada de compostos que conferem cor, odor e instabilidade aos produtos, principalmente produtos de oxidação, distribuídos em toda a faixa de destilação do óleo básico.

Um processo de re-refino deve ter, imprescindivelmente, baixo custo, flexibilidade para se adaptar às variações de características das cargas e não causar problemas ambientais.

O processo clássico de re-refino consiste na desidratação e na remoção de leves por destilação atmosférica, tratamento do óleo desidratado com ácido sulfúrico e neutralização com adsorventes.

A tendência atual segue nos princípios dos processos de desasfaltamento através de evaporadores de película ou T.D.A. (Torre Ciclônica de Destilação). O subproduto de fundo da destilação geralmente é empregado como componente de asfaltos. No tocante à etapa de acabamento, as unidades de hidroacabamento são as selecionadas no caso de maiores escalas. Para unidades menores, o acabamento por absorção é mais econômico. Na Europa, os principais processos envolvem o desasfaltamento térmico ou a propano e o acabamento por adsorção,

enquanto nos Estados Unidos, em função da maior escala das plantas existentes, são usados processos de desasfaltamento seguidos de hidroacabamento

### **3.3. Microemulsão**

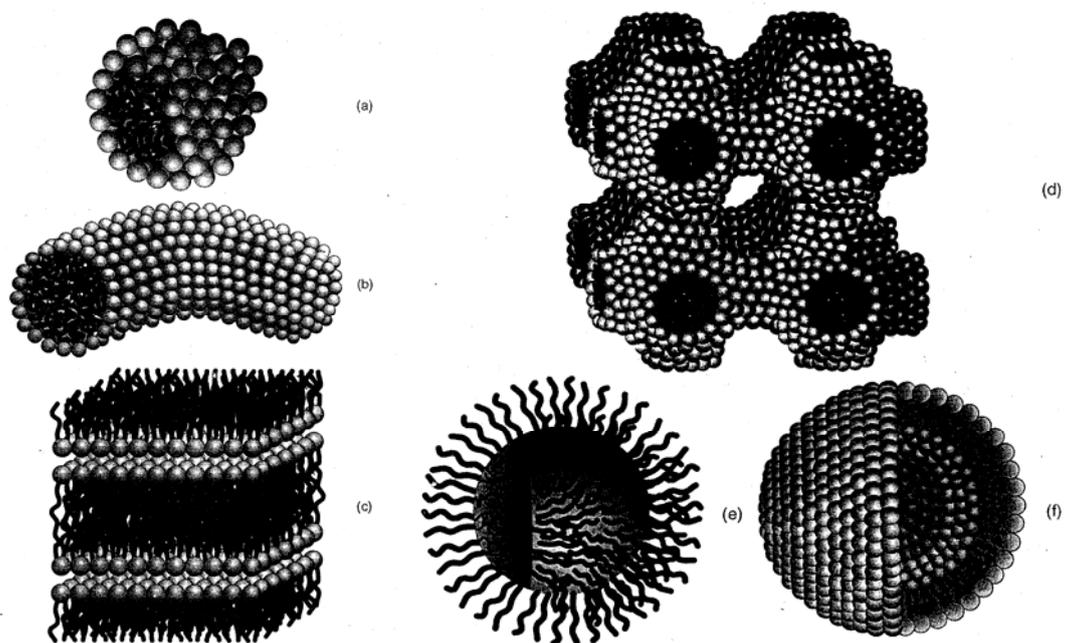
Microemulsões são sistemas dispersos, termodinamicamente estáveis, transparentes ou translúcidos, monofásicos, formados a partir de uma aparente solubilização espontânea de dois líquidos, normalmente imiscíveis, na presença de tensoativo e, na maioria dos casos um cotensoativo (Robb, 1982).

Misturando-se adequadamente água, um hidrocarboneto hidrofóbico (óleo) e componentes anfílicos apropriados, fluidos macroscopicamente homogêneos podem ser formados sem que seja necessário adicionar qualquer trabalho (Schulman e Roberts, 1982). Estes meios são líquidos multicomponentes que possuem grande estabilidade, baixa viscosidade e geralmente são opticamente transparentes e isotópicos (Clause; Nicolas-Morgantine; Zardba; *et alii*, 1987; Scriven, 1982; Prince, 1977).

#### **3.3.1 Estruturas das Microemulsões**

Os grupos polares das moléculas anfílicas sofrem interações solvofílicas (afinidade com o solvente) com solventes polares como a água, enquanto o grupo não polar sofre interações solvofóbicas (repulsão ao solvente) com a água. Os grupos polares querem permanecer na água enquanto os grupos apolares querem deixar. Em solventes não polares os papéis dos grupos polares e apolares são invertidos.

Para minimizar estas interações solvofóbicas desfavoráveis, as moléculas anfílicas tendem a se agregar espontaneamente para formar uma variedade de estruturas como as mostradas na figura 1 (Stockes, 1997).



**Figura 1** – Exemplos de estruturas auto-organizadas formadas pela associação de moléculas anfifílicas.

- (a) micelas esféricas; (b) micelas cilíndricas; (c) bicamadas; (d) estruturas bicontínuas;  
(e) micelas inversas; (f) vesículas esféricas.

A conformação adotada depende de vários fatores, dentre os principais a concentração e estrutura química do tensoativo.

Em água, moléculas anfifílicas formam configurações esféricas e cilíndricas chamadas micelas (figura 1.a e 1.b), arranjadas de modo que os grupos polares se direcionem para o solvente (água) e a cadeia não polar fique isolada no agregado para escapar de um ambiente polar desfavorável. Micelas inversas, com a orientação oposta, são encontradas em óleos (figura 1.e); nestes, a cadeia apolar está voltada para o óleo e o grupo polar está agregado.

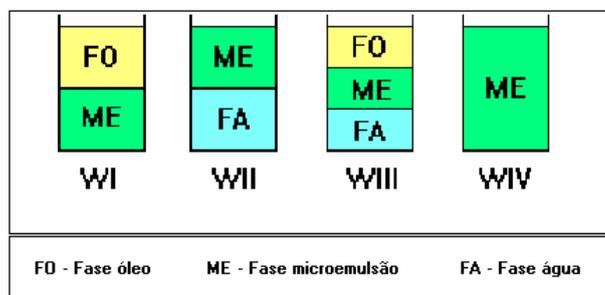
Em sistemas contendo óleo e água, as moléculas anfifílicas naturalmente se adsorvem na interface óleo-água. Esta adsorção reduz a tensão interfacial consideravelmente e permite a formação de macroemulsões, que são dispersões coloidais líquido-líquido clássicas consistindo de gotículas de água ou óleo suspenso em um meio aquoso ou oleoso contínuo, com moléculas anfifílicas na interface.

### 3.3.2 Classificação de Winsor

As microemulsões podem existir em equilíbrio com outras fases, aquosas ou orgânicas, formando sistemas multifásicos. Em 1950, Winsor propôs uma classificação baseada na natureza das fases envolvidas.

A Figura 2 ilustra os quatro tipos de sistemas, segundo a classificação de Winsor, onde:

- Winsor I (WI) → Quando a fase microemulsionada está em equilíbrio com uma fase orgânica em excesso.
- Winsor II (WII) → Quando a fase microemulsionada está em equilíbrio com uma fase aquosa em excesso.
- Winsor III (WIII) → É caracterizado por ser um sistema trifásico, onde a microemulsão está em equilíbrio com as fases aquosa e orgânica ao mesmo tempo.
- Winsor IV (WIV) → É um sistema monofásico, em escala macroscópica, constituído por uma fase única.

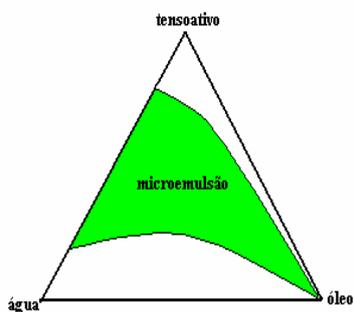


**Figura 2** – Classificação de Winsor para sistemas microemulsionados

### 3.3.3 Diagrama de Fases

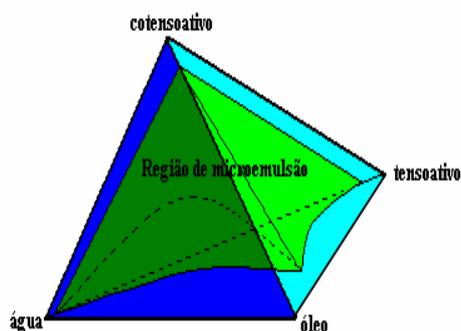
Os sistemas microemulsionados formados por três ou mais constituintes podem ser representados em diagramas onde, de acordo com as proporções de cada um, pode-se delimitar a região de microemulsão.

Os diagramas ternários representam diretamente sistemas microemulsionados formados por três componentes, ou seja, água, óleo e tensoativo. Sua representação pode ser feita em um diagrama de triangular onde cada constituinte puro ocupa um vértice do triângulo, como na figura 3.



**Figura 3** – Diagrama ternário indicando a região de microemulsão.

Os diagramas quaternários descrevem sistemas onde cada vértice do tetraedro corresponde a um dos quatro constituintes (água, óleo, tensoativo e cotensoativo) puros de uma microemulsão (figura 3). Estas representações são pouco utilizadas, pois são de difícil construção, visualização e interpretação. Como alternativa geralmente se estabelece como constante uma das variáveis de composição, obtendo-se os diagramas pseudoternários, que são de fácil manuseio.



**Figura 4** - Diagrama de fases quaternário, mostrando a zona de microemulsão

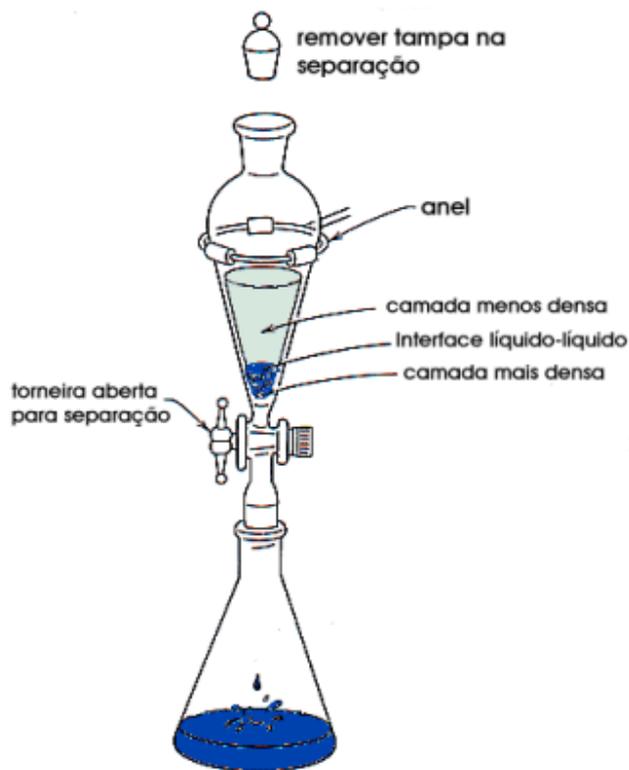
### 3.4. Extração Líquido-Líquido

A extração de substâncias pode ser feita de diferentes maneiras, as quais envolve normalmente uma extração simples, onde a amostra é deixada em contato com o solvente a frio por um tempo determinado, com ou sem agitação, ou por uma extração exaustiva que utiliza um aparelho com solvente aquecido, passando continuamente através da amostra.

Outra maneira usada nos laboratórios de pesquisas é através do extrator Soxhlet. Esta extração é mais rápida, e envolve o aquecimento da amostra a cerca de 70° C. Utiliza-se normalmente como solvente o álcool etílico, que fica em refluxo contínuo até que o solvente, que passa pelo sifão do soxhlet, fique incolor. A metodologia desta extração é amplamente utilizada por pesquisadores que trabalham com produtos naturais.

#### 3.4.1 Extração Líquido-Líquido Descontínua

Na extração descontínua utiliza-se um funil de separação, onde ambos os solventes são adicionados. Com a agitação do funil de separação, o soluto passa a fase na qual está o solvente com maior afinidade. A separação é feita, então, sendo que a fase mais densa é recolhida antes. A extração líquido-líquido descontínua é indicada quando existe uma grande diferença de solubilidade do soluto nos dois solventes (grande  $K_D$ ).



**Figura 5** – Ilustração de um esquema de extração líquido-líquido

### 3.4.2 Extração Líquido-Líquido Contínua

Na extração líquido-líquido contínua, o solvente orgânico passa continuamente sobre a solução contendo o soluto, levando parte deste consigo, até o balão de aquecimento. Como o solvente está sendo destilado, o soluto vai se concentrando no balão de aquecimento. É um processo útil para quando a diferença de solubilidade do soluto em ambos os solventes não é muito grande.

### 3.5. Propriedades de Óleos Lubrificantes Re-refinados

**Tabela 1** - Propriedades dos óleos (ASTM<sup>1</sup>, 1998)

PROPRIEDADES	IMPORTÂNCIA	LIMITE TÍPICO
1. Cor ASTM <sup>1</sup>	Reflete a pureza do produto	Máximo 1,0
2. Viscosidade	Está ligada a capacidade de transferência de calor do óleo.	a 40°C: 11,0 mm <sup>2</sup> /s (mín) a 100°C: 3,0 mm <sup>2</sup> /s (máx.)
3. Índice de Viscosidade	Indica a variação da viscosidade com a temperatura e está relacionada com a aromaticidade do produto.	Naftetênico.: 0 a 40 Parafínico.: 80 a 105
4. Ponto de fulgor	Está relacionado com a volatilidade e com a segurança no armazenamento.	Naftetênico.: -1 a -58°C Parafínico.: -9 a -18 °C
5. Ponto de fluidez	Escoamento do óleo à baixa temperatura.	Mín.: 140 °C
6. Ponto de anilina	Relacionado como poder de solvência.	84 <sup>o</sup> C (máx)
7. Tensão interfacial (T.I.)	Indica contaminação por produtos polares solúveis e o início da degradação do óleo.	40 mN/m (mín)
8. Índice de acidez	Indica a degradação oxidativa do óleo.	Máx. 0,03 mg KOH/g
9. Estabilidade à oxidação	Define a vida útil do óleo.	IAT(máx):0,5 gKOH/g Borra, %máx: 0.15 T. I. a 25 °C: mín 10 dina/cm min
10. Teor de água	Está relacionada a perdas nas propriedades elétricas.	35 mg/Kg (máx.)
11. Rigidez dielétrica	Indica contaminação por água ou partículas sólidas condutoras.	30 Kv (mín) a 100°C
12. Fator de potência	Indica contaminação e deterioração do óleo	Máx 0,50%

<sup>1</sup> ASTM – American Society for Testing and Materials – Manual com as normas para os produtos de petróleo

# 4

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 4.1. Construção de Diagramas de Fases

Para delimitarmos o domínio de existência de microemulsão, resolveu-se construir diagramas de fase de tipo pseudoternário.

As marcações da faixa de transição de equilíbrio neste tipo de diagrama foram feitas como mostra a figura 9. Prepararam-se pontos no binário cotensoativo/tensoativo–fase orgânica e titulou-se com a fase aquosa. Inicialmente o ponto estava na zona microemulsionada caracterizada por ser límpida ou translúcida. Certo momento, o ponto se deslocou para uma zona de equilíbrios bifásicos ou trifásicos, notados pela turbidez da solução. Calcula-se suas frações mássicas e plota-se o gráfico. Utilizamos para isto o programa computacional Grapher versão 1.28.

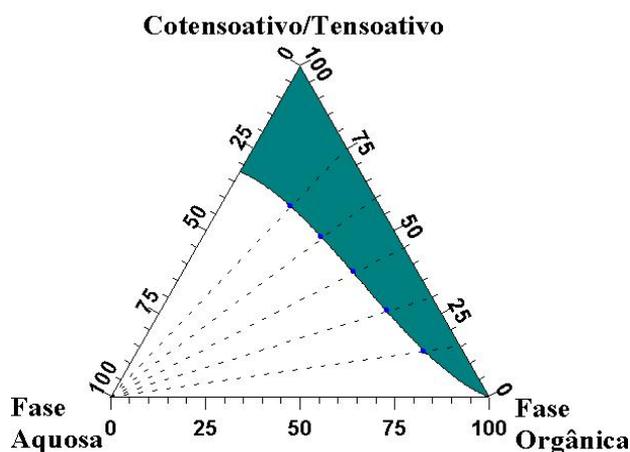
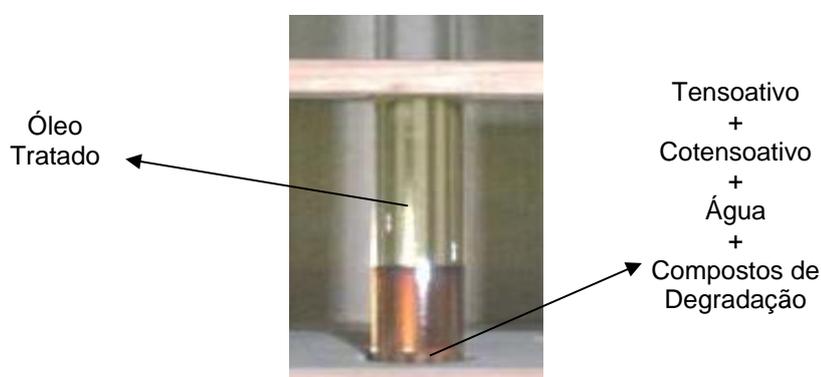


Figura 6 – Construção de diagramas de fases

#### 4.2. Extração com Microemulsão

O estudo da extração foi realizado pelo método a contato simples e à temperatura ambiente. O sistema em extração foi posto com razão de 4:1, sendo uma medida de microemulsão para quatro do óleo lubrificante usado. O sistema em estudo foi agitado por cerca de 5 minutos, em seguida mantido em repouso até completa separação das fases. Em seguida, coletou-se a fase superior onde se encontra o óleo tratado e a fase inferior onde se encontram os compostos oxidados. As frações de óleos coletadas foram analisadas quanto à cor ASTM, por método (ASTM 1500), por espectroscopia na região do infravermelho e por Índice de Acidez Total (ASTM D-974). A extração acontece como mostrado na figura abaixo.



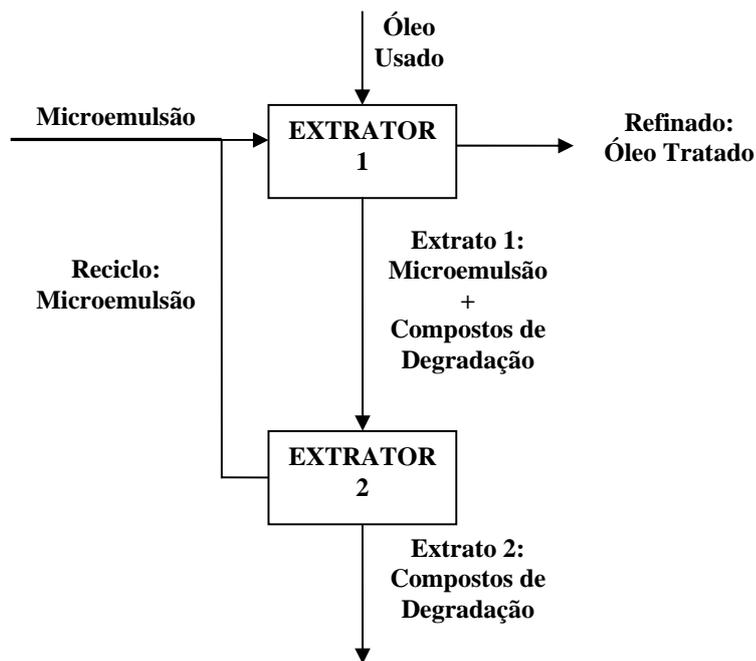
**Figura 7** – Extração de compostos de degradação por microemulsão

#### 4.3. Re-Extração com Microemulsão

O processo de re-extração consiste em submeter o extrato inicial a um tratamento e reutilizá-lo no sistema de origem. No caso de sistemas microemulsionados, o extrato do sistema pode ser tratado com soluções ácidas, alcalinas, salinas ou com alteração na temperatura. Com isto há separação de duas fases: a microemulsão e os compostos de degradação. Trabalhando em sistemas ideais, estas duas fases serão completamente imiscíveis, isto é, a microemulsão voltará ao sistema sem perdas de massa. Entretanto, iremos trabalhar com sistemas reais, ou seja, devemos considerar que o sistema possui perdas em massa.

O objetivo de se realizar um processo de re-extração é reduzir os custos do sistema aproveitando todo o potencial de extração existente na microemulsão.

A figura 8 mostra o fluxograma proposto para o processo, incluindo a etapa de re-extração.



**Figura 8**– Fluxograma de blocos proposto do processo de tratamento de óleo lubrificante usado

---

# 6

---

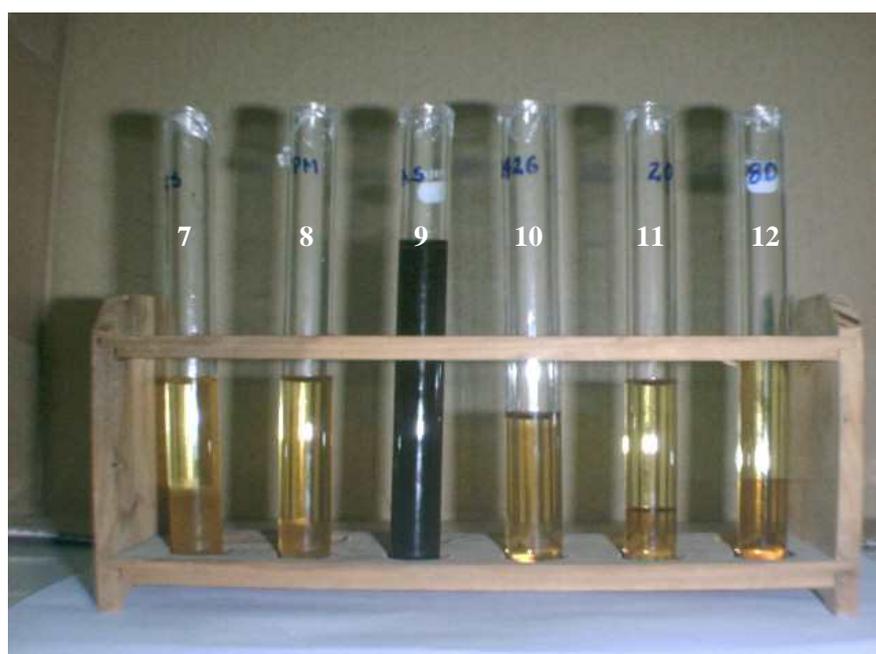
## RESULTADOS

### 6.1. Seleção de Tensoativos

Através de análises bibliográficas encontram-se sempre novas classes de tensoativos que possuem capacidade de extração de compostos polares degradativos. Com isto, resolveu-se estudar qualitativamente o potencial de extração dos compostos de degradação de óleos lubrificantes usados de vários tensoativos. São eles com seus respectivos códigos experimentais: Triton X114 [1], Óleo de Coco Saponificado (OCS) [2], Amida 60 [3], Triton N101 [4], Láuril Éter Sulfonato de Sódio (LESS) [5], Nonil Fenol Etoxilado (NFE) [6], Tensiofix PM [7], Tensiofix CS [8], Ácido Sulfônico [9], Tensiofix 8426 [10], Tween 20 [11] e Tween 80 [12]. Esta análise foi feita com razão de 2:1, sendo duas medidas de óleo usado para uma de tensoativo. O resultado é mostrado através das figuras 9 e 10.



**Figura 9** – Extração de compostos de degradação por tensoativos



**Figura 10** – Extração de compostos de degradação por tensoativos

Dentre estas amostras, apenas em duas não se obteve quantidade de refinado suficiente para submissão a análises. Foram elas: [9] e [10].

Com a separação de fases, analisou-se a fase superior (refinado) por índice de acidez. Estes resultados estão expressos na tabela abaixo.

**Tabela 2** – Resultados das análises de IAT

Pontos	IAT
1	0,00
2	0,17
3	0,29
4	0,02
5	0,39
6	0,22
7	2,34
8	1,61
9	-
10	-
11	0,25
12	0,15

Analisando estes resultados, observamos excelentes valores com os pontos [1] e [4]. A acidez foi reduzida a valores dentro da especificação, indicando que os óleos tratados por estes tensoativos podem ser reutilizados em sua função originais, sendo este o objetivo inicial deste projeto. Os tensoativos que proporcionaram estes resultados fazem parte de uma mesma classe de

moléculas, os Triton. Com isto, deve-se prosseguir com os estudos enfatizando esta classe de tensoativos.

Um outro Tensoativo que daremos prosseguimento nos estudo é o Tensiofix 8426. Através de estudos na literatura observamos que este pode ser um grande aliado no tratamento dos óleos lubrificantes.

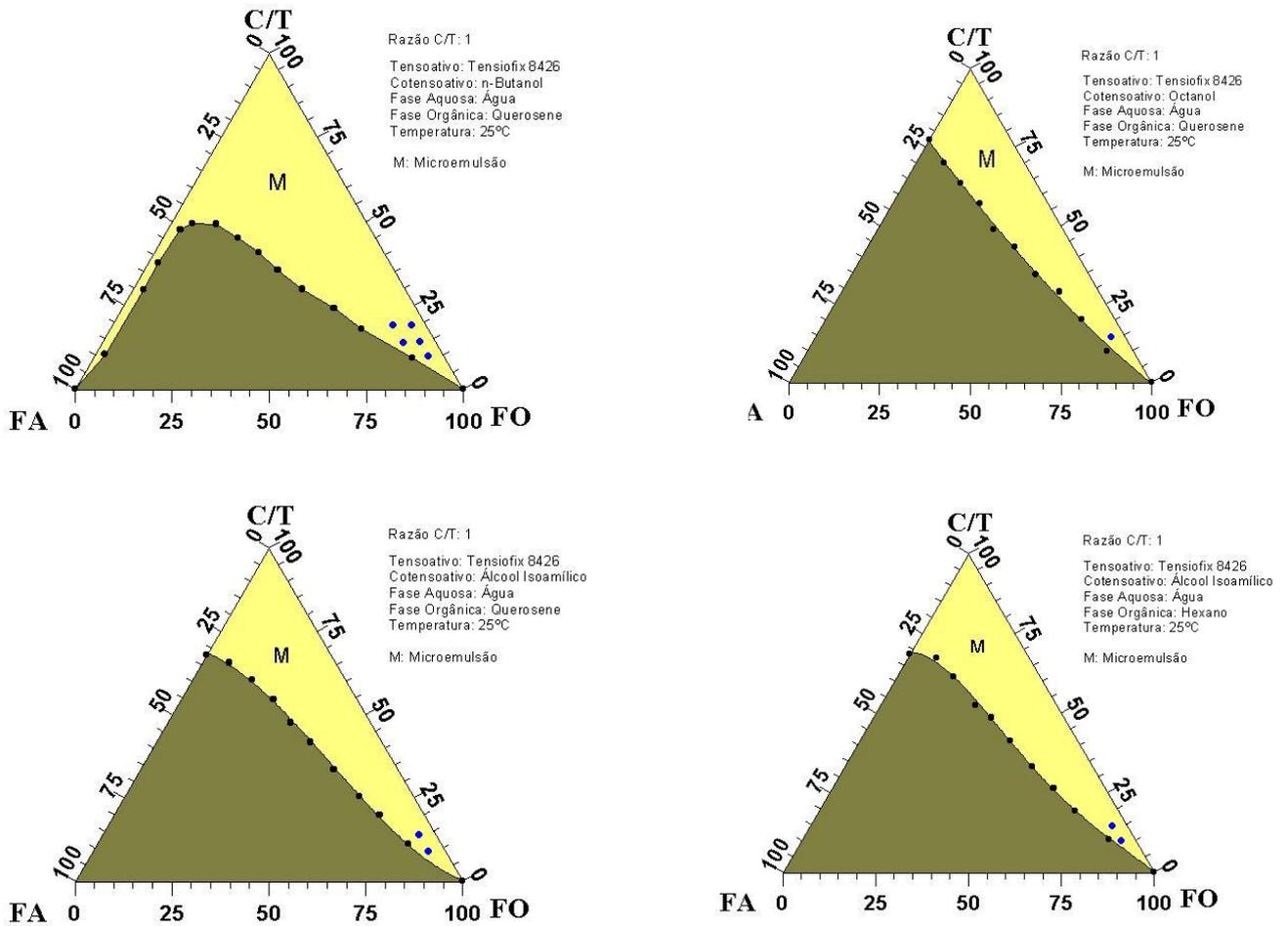
## **6.2 Construção de Diagramas**

Dividiremos esta seção em outras duas. A primeira demonstrará os resultados obtidos com o Tensiofix 8426 e a outra com o Triton X-114.

### **6.2.1 Tensiofix 8426**

A figura 10 apresenta o diagrama com as delimitações das diferentes regiões de Winsor. Após a construção dos diagramas foram escolhidos pontos no diagrama pseudoternário de cada sistema e foram realizadas as extrações dos compostos oxidados do óleo usado.

Os pontos de extração escolhidos também estão mostrados na figura 11.



**Figura 11** – Diagramas selecionados para a extração com seus respectivos pontos.

A tabela 3 informa a composição de cada ponto de extração escolhido.

**Tabela 3** – Composição dos pontos de extração

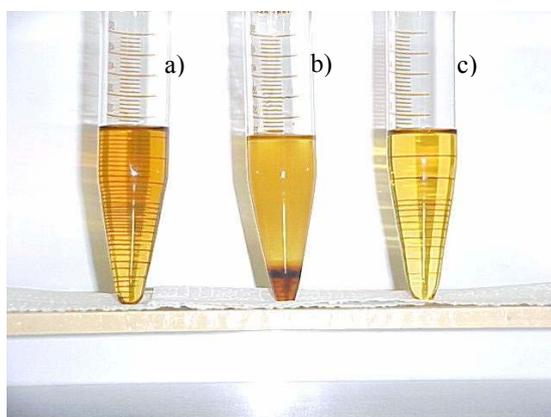
<b>PONTO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>FRAÇÕES</b>
<b>1</b>	8426 / Butanol / Querosene	10% C/T, 5% FA e 85% FO
<b>2</b>	8426 / Butanol / Querosene	15% C/T, 5% FA e 80% FO
<b>3</b>	8426 / Butanol / Querosene	20% C/T, 5% FA e 75% FO
<b>4</b>	8426 / Butanol / Querosene	15% C/T, 10% FA e 75% FO
<b>5</b>	8426 / Butanol / Querosene	20% C/T, 10% FA e 70% FO
<b>6</b>	8426 / Octanol / Querosene	15% C/T, 5% FA e 80% FO
<b>7</b>	8426 / Isoamílico / Querosene	10% C/T, 5% FA e 85% FO
<b>8</b>	8426 / Isoamílico / Querosene	15% C/T, 5% FA e 80% FO
<b>9</b>	8426 / Isoamílico / Hexano	10% C/T, 5% FA e 85% FO
<b>10</b>	8426 / Isoamílico / Hexano	15% C/T, 5% FA e 80% FO

Feita a extração dos compostos de oxidação do óleo usado, o óleo recuperado passa por um processo de avaliação que envolve análises de índice de acidez, cor, entre outros. Com isto, foi feito a análise de cor do óleo recuperado. Estes resultados estão expressos na tabela 4.

**Tabela 4** – Análise de Cor pelo Método ASTM

PONTO	COR ASTM
Óleo Usado	3,3
1	2,3
2	2,3
3	2,2
4	2,3
5	2,3
6	2,3
7	2,4
8	2,5
9	2,7
10	2,9

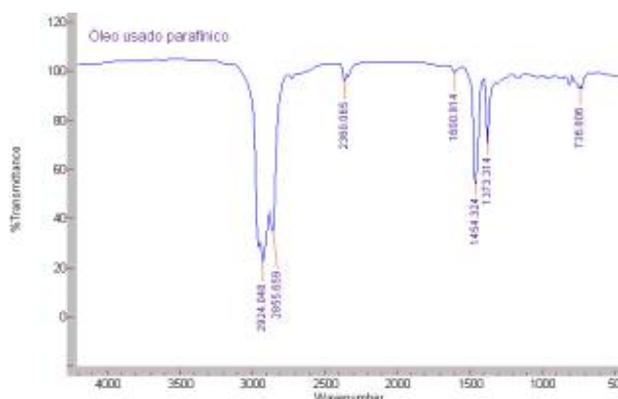
A eficiência deste processo pode ser visualizada também pela figura 12 que apresenta o processo de extração.



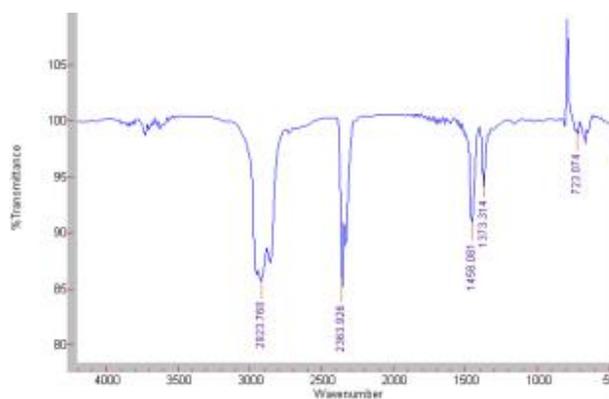
**Figura 12** – (a) Óleo usado antes da extração, (c) óleo tratado e (b) processo de extração com microemulsão.

As amostras coletadas também foram avaliadas quanto a altura da banda a  $1720\text{ cm}^{-1}$ , obtida por meio de análise espectrofotométrica de infravermelho, onde a faixa de  $1700\text{ a }1760\text{ cm}^{-1}$  representa a região mais importante do espectro para os estudos de oxidação de lubrificantes, pois nela absorvem os compostos contendo ligações C=O (com deformação axial).

O melhor resultado encontrado foi o Ponto 2, onde a banda característica do grupo carbonila desapareceu. Este resultado é mostrado na figura 14. A figura 13 é o infravermelho obtido com o óleo usado para critério de comparação.



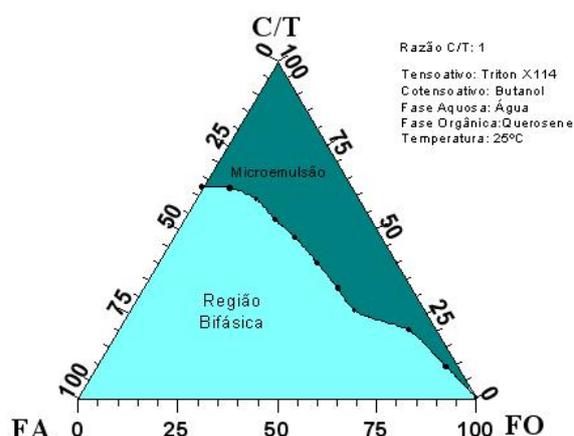
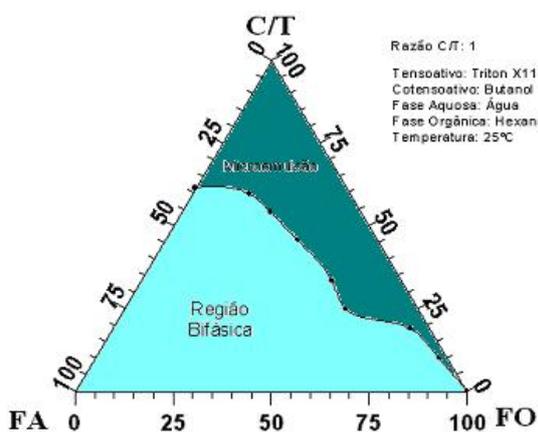
**Figura 13** – Espectrofotometria do óleo usado



**Figura 14** – Espectrofotometria do Ponto 2

### 6.2.2 Triton X-114

Foi realizado então a construção dos diagramas de fase contendo o Triton X-114. A figura 16 apresenta este resultado.



**Figura 16** – Diagramas com o Triton X114

Os sistemas da figura 16 foram feitos com a seguinte composição:

- Tensoativo: Triton X114;
- Cotensoativo: Butanol;
- Razão C/T: 1;
- Fase Aquosa: Água;
- Fase Orgânica: Hexano e Querosene.

**6.2. Estudo Cinético de Transferência**

Um ponto de mesmos constituintes

- Tensoativo: Tensiofix 8426;
- Cotensoativo: Octanol;
- Razão C/T: 1;
- Fase Aquosa: Água;
- Fase Orgânica: Hexano.

e mesma composição

- C/T: 15%;
- FA: 5%;
- FO: 80%.

onde FA é a fração mássica da fase aquosa e FO é a fração mássica da fase orgânica, foi submetido a avaliação cinética de extração. Esta avaliação é dividida em dois itens: velocidade de agitação e tempo de agitação.

### 6.2.1. Velocidade de Agitação

Um Extrator Moris com controle de velocidade foi utilizado para este experimento com velocidades de agitação da palheta variando entre 10 e 55 Hz. Os resultados são mostrados na tabela abaixo.

**Tabela 5** – Resultados das análises de IAT

Velocidade (Hz)	IAT
10	0,10
25	0,11
40	0,10
55	0,11

Pode-se observar que não houve mudança no valor do IAT em decorrência da velocidade de agitação utilizada. Por isto, tomou-se como base uma velocidade de 30Hz para o prosseguimento dos experimentos.

### 6.2.2. Tempo de Residência

Este experimento realizou-se em um Extrator Moris, onde foi feita a coleta de amostras para análises de índice de acidez. Na tabela abaixo, pode ser observado o resultado deste estudo.

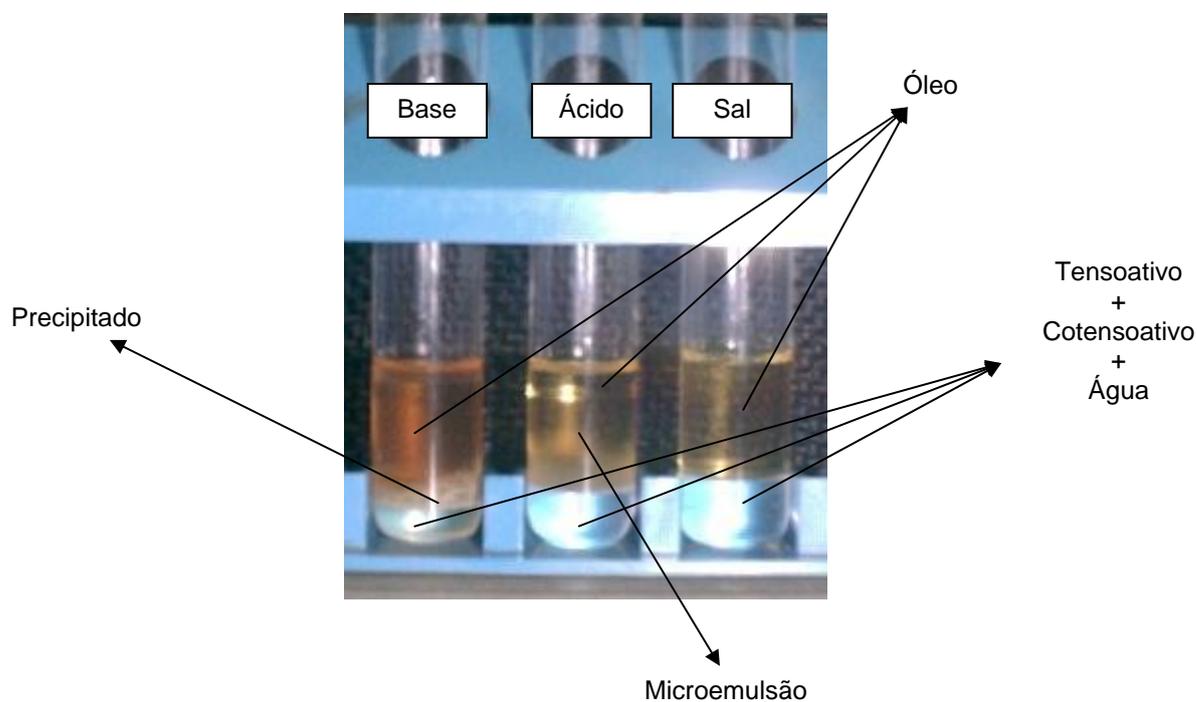
**Tabela 6** – Resultados das análises de IAT

Tempo (Seg)	IAT
15	0,11
30	0,12
60	0,12
120	0,11
240	0,11
480	0,10

Como pode ser analisado, o tempo de residência no reator do sistema em uso não afeta significativamente o valor de IAT da solução. Com base nisto, pode se concluir que a reação de extração é instantânea e, baseado nisto, prosseguiu-se os estudos.

### **6.2.3. Estudo da Influência de Aditivos para a Extração Sem o Uso de Solventes Orgânicos**

Com a finalidade de promover melhores resultados para as extrações do item anterior, resolveu-se submetê-los a aditivos salinos, ácidos e alcalinos e avaliar seus resultados. Estes são mostrados a seguir.



**Figura 17** – Extração de compostos de degradação por microemulsão com aditivos

Como vemos, ao alcalinizar o sistema houve a formação de um precipitado na interface e a coloração da fase superior se tornou mais escura. Isto mostra que a base reagiu com o óleo, entretanto não extraiu os compostos de degradação. Fato este que pode ser observado melhor pela fase inferior, onde nesta fase não houve qualquer mudança no seu estado.

Com a adição de ácido houve a formação de um sistema em Winsor III, onde a fase superior é o óleo, a fase inferior é a água e a fase intermediária é a microemulsão, ou seja, a maior parte do óleo foi contaminada ainda mais pela presença de agentes tensoativos, álcoois e água provenientes da microemulsão. Ainda assim, não houve nenhum arraste de componentes para a fase extrato (fase inferior) inviabilizando este aditivo e este sistema.

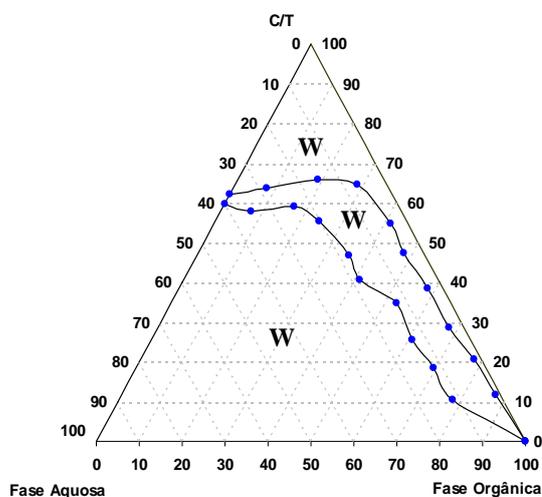
Na presença de um aditivo salino, não houve nenhuma mudança significativa do sistema tornando este aditivo sem uso prático.

### 6.3. Óleo Usado como Fase Orgânica

Com o objetivo de encontrar diferentes composições de sistemas microemulsionados para a extração de compostos de degradação de óleos iremos estudar o comportamento de alguns tensoativos frente à utilização de óleo parafínico usado. Através de um processo qualitativo identificamos que a classe denominada Triton possui um alto potencial de extração dos compostos desejados. Entre os Triton o que nos apresentou melhor resultado foi o Triton X114. E, com este, construímos diagramas de fases com as regiões de microemulsão delimitadas.

- Tensoativo: Triton X114;
- Cotensoativo: Butanol;
- Razão C/T: 1;
- Fase Aquosa: Água;
- Fase Orgânica: Óleo Parafínico Usado;
- Temperatura: 27 °C.

O diagrama referente ao sistema descrito está mostrado na figura abaixo.



**Figura 18** – Diagrama com Óleo Parafínico Usado**6.4. Extração com Microemulsão**

Baseado no diagrama de fase obtido utilizando óleo parafínico usado resolvemos estudar o potencial de extração deste sistema em diferentes concentrações. A tabela 6 indica a nomeação dada a cada ponto de extração escolhido.

**Tabela 6** – Composição dos pontos de Extração

PONTO	COMPOSIÇÃO (%)		
	C/T	FA	FO
A	10	0,5	89,5
B	15	0,5	84,5
C	20	0,5	79,5
D	3	2	95
E	8	2	90
F	15	2	83
G	20	2	78
H	25	2	73
I	30	2	68
J	40	2	58
K	15	10	75
L	15	15	70
M	15	20	65
N	15	25	60

Os resultados obtidos através de análises de IAT (Índice de Acidez Total) mostraram ótimos resultados. Os melhores pontos foram utilizando 2% de água e porcentagem de matéria ativa (C/T) superior a 15%. No ponto F, o IAT foi igual a 0,01 mg<sub>KOH</sub>/g<sub>óleo</sub>. Através de análise da tabela 1 vemos que o ponto obteve o IAT inferior ao máximo permitido (IAT<sub>máx</sub> = 0,03 mg<sub>KOH</sub>/g<sub>óleo</sub>).

É interessante notarmos que o ponto F está localizado numa região de Winsor I. Quando aumentamos a porcentagem de água no sistema (pontos: K, L, M e N) o sistema entra em Winsor III e, devido a isto, o valor de IAT aumenta.

Entretanto, quando diminuimos a quantidade de água a um valor limitado pela curva de equilíbrio WIV-WI, não há separação de fases já que em Winsor WIV o sistema é homogêneo.

## **6.5. Re-Extração com Microemulsão**

A fim de utilizarmos a microemulsão presente no extrato na re-injeção no extrator, iremos estudar alternativas para a separação do sistema microemulsionado dos compostos de degradação extraídos. Para este tratamento disponibilizamos de técnicas com soluções ácidas, alcalinas, salinas e com modificação de temperatura.

### **6.5.1. Recuperação de Microemulsão por Soluções**

Os resultados obtidos com o estudo de soluções estão mostrados na tabela 3. O extrato utilizado neste estudo foi obtido da extração com o seguinte sistema:

- Tensoativo: Triton X114;
- Cotensoativo: Butanol;
- Razão C/T: 1;
- Fase Aquosa: Água;
- Fase Orgânica: Óleo Parafínico Usado;
- Temperatura: 27 °C.

A extração foi realizada nas seguintes concentrações:

- C/T: 15%;
- FA: 2%
- FO: 83%.

**Tabela 7** – Estudo da recuperação da microemulsão por solução ácida, alcalina e salina.

SOLUÇÃO	ÁCIDA	ALCALINA	SALINA
<b>OCORRÊNCIA</b>	Houve separação em duas fases do extrato. Entretanto a fase contendo microemulsão recuperada foi mínima, portanto considerada desprezível.	Não houve separação de fases. A solução alcalina inserida reagiu com o extrato, porém não houve recuperação da microemulsão.	Houve separação de duas fases: uma sólida e outra líquida. Todavia constatamos que a fase sólida era constituída totalmente de sal precipitado, com isso, não houve recuperação do sistema microemulsionado.

### 6.5.2. Recuperação de Microemulsão por Modificação de Temperatura

Para este estudo foi utilizado um banho termostático digital com célula de circulação. Inicialmente aquecemos o banho gradativamente a uma temperatura de 80 °C, entretanto não houve modificação. Assim, resolvemos resfriar gradativamente a solução. Em 15 °C foi iniciado o processo de separação de fases. Com isso, podemos recuperar a microemulsão nesta temperatura.



**Figura 19** – Sistema de Aquecimento

# 7

## CONCLUSÕES

Através dos resultados já discutidos, pode-se concluir que:

- **Diagramas**

- Os diagramas utilizando o Triton X114 como tensoativo com solventes orgânicos convencionais (querosene e hexano) apresentam um vasto domínio de região microemulsionada insaturada (WIV);
- Utilizando o óleo usado (parafínico), os sistemas com Triton X114 se comportam de maneira diferente se comparados com os resultados com querosene e hexano. Em sistemas com o óleo parafínico há o surgimento de uma região saturada em óleo (WI);
- Os diagramas apresentam extenso domínio de região microemulsionada, principalmente com concentrações de matéria ativa superiores a 25 %.

- **Extração**

- Os sistemas utilizando processos saturados em óleo apresentaram um alto potencial de extração dos compostos de degradação, chegando a um processo satisfatório com  $IAT = 0,01 \text{ mg}_{\text{KOH}}/\text{g}_{\text{óleo}}$  (ponto F);
- O aumento da porcentagem da água em sistemas de Winsor I prejudica o tratamento do óleo;
- A extração em sistemas saturados com óleo mostrar-se mais eficiente que os duplamente saturados (óleo e água).
- A cinética não possui grande influencia na extração concluímos então que o processo como sendo de reação instantânea;
- Os tensoativos da família dos Triton possuem grande capacidade de extração de produtos oxidativos;

- **Re-extração**

- A adição de soluções ácidas, alcalinas e salinas foi ineficaz no processo de tratamento do extrato;
- A recuperação da microemulsão através da diminuição da temperatura se mostrou eficiente em temperaturas abaixo de 15 °C, sendo este o ponto de equilíbrio do sistema.

---

# 8

---

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, L. P. “*Extração de Tungstênio Contido em Rejeitos de Scheelita Lixiviados com EDTA Utilizando Agentes Extratantes Não Convencionais*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 1993.
- ATWOOD, D.; FLORENCE, A. T.. *Surfactants Systems*. 1ª.edição, London: Chapman and Hall, 1983.
- BARROS NETO, E. L. “*Extração de Cobre Utilizando Microemulsões: Otimização e Modelagem*”. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 1996.
- BOWMAN, W. F. e STACHOWIAK, G.W.. New Criteria to Assess the Remaining Useful Life of Industrial Turbine Oils. *Lubrication Engineers*, 52 (10), 745-750, 1996.
- COATES, J. P. e SETTI, L. Infrared Spectroscopic Methods for the Study of Lubricant Oxidation Products. *ASLE Transactions*, 29 (3), 394-401, 1985.
- DE OLIVEIRA, M. D. “*Estudos de Novos Sistemas Microemulsionados Utilizando Óleos Vegetais Como Fase Óleo*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DQ/PPGQ, 1994.
- DE LA SALLES, W. F. “*Sistemas Microemulsionados Para a Solubilização de Depósitos Parafínicos*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 2000.
- EGOROVA, K. A.; ZUSEVA, B. S. e ZAITSEVA, A. N.. Mechanism of Action of Antioxidant Addives in Mineral Oils. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel*, n. 7, 51-53, 1978.
- JOVANOVIC, N.; SKALA, D.; MARJANOVIC, M.; et alii, The Possibility of Zeolite Application in the Used Motor Oil Refining Process. *Zeolites*, 653-658, 1985.
- LUCENA NETO, M. H. “*Extração de Gálio Utilizando Microemulsões*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 1999.

MOULIK, S. P. e PAUL, B. K.. Structure, Dynamics and Transport Properties of Microemulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 78, 99-195, 1998.

RAMOS, A. C. S. “*Extração de Tungstênio Utilizando Microemulsões*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 1995.

ROBB, I. D. *Microemulsions*. 1ª edição, New York: Plenum Press, 1982.

SILVA, A. C. M. “*Recuperação de Óleos Isolantes por Adsorção*”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: DEQ/PPGEQ, 2000.

# 9

---

## ANEXO I - PUBLICAÇÕES



## 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

### REMOÇÃO DE COMPOSTOS OXIDADOS DE ÓLEOS ISOLANTES USADOS POR EXTRAÇÃO COM MICROEMULSÃO

A. Cristina M. Silva<sup>(1)</sup>, Wagner L. N. de Lima<sup>(1)</sup>, Tereza N. Castro Dantas<sup>(1)</sup>, Afonso A. Dantas Neto<sup>(1)</sup> e Célio L. Cavalcante Jr.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Engenharia Química – PRH-ANP-14  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Av. Senador Salgado Filho, s/n, Campus Universitário, Lagoa Nova  
59.072-970, Natal, RN, Brasil – e-mail: tereza@quimica.ufrn.br  
Rede N/NE de Pesquisa em Combustíveis e Lubrificantes

<sup>(2)</sup>Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Campus do Pici, Bl. 709 - 60.455-760, Fortaleza, CE, Brasil  
Tel: (55)(85)288-9611 - Fax: (55)(85)288-9601 – e-mail: celio@ufc.br

**Resumo** – A presença de compostos oxidados em um óleo isolante para transformador pode provocar falhas e descargas elétricas. Estes compostos são oriundos do processo termo-oxidativo. A remoção dos compostos oxidados garante uma extensão da vida útil do óleo isolante.

Compostos oxidados dos óleos isolantes são normalmente removidos via processo de adsorção em argilas ativadas. Este trabalho propõe-se a investigar a capacidade das microemulsões para extrair os compostos degradados do óleo isolante.

O tensoativo comercial Tensiofix 8426 e os álcoois isoamílico, octanol e butanol foram utilizados na extração dos compostos oxidados. As frações de óleos coletadas foram analisadas por espectroscopia na região do infravermelho, na faixa de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ . Análises do Índice de Acidez Total (IAT) (ASTM-3339) e da cor ASTM (ASTM 1500) também foram realizadas.

Os resultados obtidos indicam que a extração com microemulsão é um método promissor na remoção de compostos oxidados do óleo isolante.

Palavras-Chave: Óleo Isolante, Compostos Oxidados, Extração, Microemulsão

**Abstract** – The presence of oxidate compounds in transformer insulating oil may cause failures and electric discharges. These compounds are derived from thermo-oxidative process. The removal of oxidate compounds can cause an increase in a commercial life cycle of insulating oil.

Normally, oxidate compounds of insulating oils are removed by adsorption process using activated clays. In this work one investigates the capacity of the microemulsion to extract the degradation products from insulating oil.

Commercial surfactant Tensiofix B8426 and the isoamyl, butanol and octanol alcohols were used in the extraction of oxidate compounds. Oil fractions collected were analyzed by infrared spectroscopy in the range 4000-600  $\text{cm}^{-1}$ . Total Acid Number (IAT) (ASTM-3339) and color ASTM (ASTM 1500) were done too.

The obtained results show that the extraction by microemulsion is a promising method to removal oxidate compounds from insulating oil.

Keywords: Insulating Oil, Oxidate Compounds, Extraction, Microemulsion

**DETERMINAÇÃO DE CONTAMINANTES POLARES POR ESPECTROSCOPIA  
NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES  
USADOS**

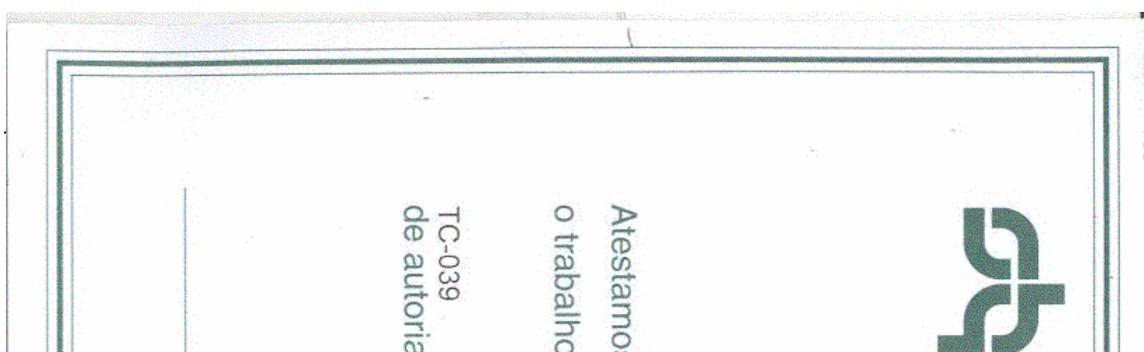
A. Cristina M. Silva <sup>(1)</sup> (PG), Wagner L. N. de Lima <sup>(1)</sup> (IC), Tereza N. Castro Dantas <sup>(1)</sup> (PQ), Afonso A. Dantas Neto <sup>(1)</sup> (PQ) e Célio L. Cavalcante Jr. <sup>(2)</sup> (PQ)

<sup>(1)</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Química – PRH-ANP-14

<sup>(2)</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC) Departamento de Engenharia Química Departamento de Engenharia Química -

*Palavras Chave:* infravermelho, óleo de transformador, compostos polares

**Resumo:** Óleos minerais de transformadores são constituídos de uma mistura de hidrocarbonetos: parafínicos, naftênicos e aromáticos. A presença de compostos polares no óleo de transformador, embora em pequena quantidade, pode causar falhas e descargas elétricas nos transformadores. Estes compostos polares são principalmente devido ao processo de degradação oxidativa. Neste trabalho foram utilizados sistemas microemulsionados para a extração dos compostos polares de um óleo de transformador usado de base parafínica. A eficiência do método foi comprovada utilizando a análise do Índice de Acidez Total (IAT) e a espectroscopia na região do infravermelho.





XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química  
II Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada  
26 a 29 de setembro de 2004  
Curitiba - Paraná - Brasil

Curitiba, 12 de julho de 2004.

Prezados Autores:

É com muito prazer que comunicamos que o seguinte trabalho completo foi  
aceito SEM MODIFICAÇÕES para apresentação e publicação nos Anais em CD-  
Rom  
do XV COBEQ - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Título  
Utilização do Octil-fenol Etoxilado na Extração de Compostos Polares do  
Óleo  
de transformador Degradado

Número do Trabalho: 2977

Área: 05 - Fenômenos de Transporte e Sist. Particulados

Autores :                   Silva, Ana Cristina Morais  
Lima, Wagner Luís Novais  
                                Castro Dantas, Tereza Neuma  
                                Cavalcante Jr., Célio Loureiro

Formato da apresentação: Poster

Salientamos que o trabalho completo, somente, será publicado nos anais  
após  
o pagamento da inscrição de pelo menos um dos autores até 31/07/2004.

Contando com sua presença no COBEQ 2004, subscrevemo-nos.

Atenciosamente,

Prof. PhD. Marcelino Luiz Gimenes  
Aznar  
Comitê Científico

Prof. Dr. Martin

# 10

---

## **ANEXO II – RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

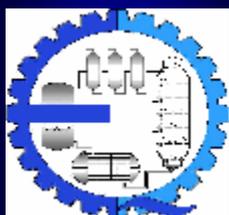


**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**



## Relatório de Estágio Supervisionado

Engenharia de Processos: Treinamento Prático em Plantas de Óxido de Etileno e Seus Derivados



**Orientadores:** Drº João Fernandes de Souza  
Engº Caio César Carlos Costa



**Camaçari**

**Setembro de 2004**



**WAGNER LUÍS NOVAES DE LIMA**

Estágio Supervisionado Realizado na Oxiteno Nordeste S/A

**Engenharia de Processos: Treinamento Prático em Plantas  
de Óxido de Etileno e Seus Derivados**

“Tudo é sonho ou loucura no começo, mas já  
tantos sonhos se realizaram que não temos o  
direito de duvidar de mais nenhum.”

Monteiro Lobato



## AGRADECIMENTOS

Em um momento tão especial, gostaria de agradecer à todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste estágio. É certo que minha memória é falha e algumas pessoas podem não ser citadas. Desde já, peço sinceras desculpas pela omissão.

Inicialmente gostaria de agradecer Àquele que esteve comigo nos momentos bons e nos momentos difíceis de minha estadia em Salvador, Deus. Sou eternamente grato à Ele por ter me tratado com tanto amor e carinho durante toda a minha vida; de ter me abraçado e me amado como filho.

Aos meus pais Waldir Bento de Lima (*in memorian*), Wanda Lúcia Novaes Bento de Lima, meus irmãos Fábio Henrique Novaes de Lima e Ana Mônica Novaes de Lima que juntamente com meus avós (Mattos (*in memorian*) e Wanda (*in memorian*), Byron e Maria) são as pessoas mais importantes da minha vida e àquelas a qual dedico profundo amor.

Entretanto, este estágio não seria realizado se não fosse o apoio de duas importantes instituições: a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e a Oxiteno Nordeste S/A. À UFRN por ter me qualificado para a função de engenheiro químico e à Oxiteno por ter me possibilitado a oportunidade de colocar em prática os conhecimento adquiridos na minha formação acadêmica.

Aos meus orientadores de estágio, professor João Fernandes de Souza e ao engenheiro Caio César Carlos Costa pelo conhecimento distribuído ao longo deste período. Aos engenheiros William de Sá Novaes e Hidalgo Pereira de Assis Santos pelo apoio e atenção dedicada, além da co-orientação deste estágio.

Aos demais amigos da Célula Produtora da Oxiteno que com paciência me ajudaram a crescer como profissional, capacitando me para enfrentar as rotinas diárias de um engenheiro químico numa indústria de grande porte. Fica registrado os meus sinceros agradecimentos à Afonso Guedes Alvarenga, Osvaldo Ferraz, à *minha amiga* Cristiane Carneiro P. da Cunha, Antônio Jorge Borges da Silva, Milton Lopes de Lima, Renato Gomes e Souza e Salvador Olimpo L. de Lemos.

Não posso esquecer de agradecer à ANP e aos professores participantes do Programa de Recursos Humanos ANP – PRH14 em especial aos professores Afonso Avelino Dantas



Neto, Eduardo Lins de Barros Neto e José Romualdo Dantas Vidal por terem me presenteado com este estágio.

Ao Laboratório de Tecnologia de Tenssoativos: Alcides, Kaline, Claudinha, Everlane, Cristina, Priscila, Luciana, Érika e em especial à professora Tereza Neuma de Castro Dantas por participar de maneira ativa na formação do caráter profissional que hoje tenho.

Ao Laboratório de Processos de Separação: Geraldine, Fabíola, Alfredo, Carla e Leonardo que apesar de pouco tempo de convívio, pude passar bons momentos.

Aos meus amigos e companheiros de estágio Valdêmia Silva de Araújo e George Aguiar da Silva pelos momentos de trabalho sério e os de descontração também.

Agradeço também aos amigos conquistados na cidade de Salvador que me acolheram com muito carinho suprimdo, em parte, a falta do calor de minha família em Natal. São alguns deles: Simone, Robério, Karine , Kao, Pastor Renato, Tiagão, Thiaguinho, Verônica, Danilo, Ethina, Marília, Silvinha, Leidiane, Ana Carla, Maíse, Carlinha, Daniella, Juliana, Marcão, Ingrid, Aline, Vivi, Paulo, Adriana, Michele, Luís, Mari, Isa, Tia Deo, Tia Beta, Tavares e Albertinho, além de Luciano e sua família Elma e Bruno.

Aos meus eternos “irmãos” Márcio Silva Bezerra e Kalyanne Keyly Pereira Gomes por tudo que passamos nos últimos anos. Sou muitíssimo grato pelos momentos inesquecíveis que estivemos juntos.

Sem esquecer também dos meus amigos engenheiros Maria Bianca, Marina Rabelo, Marina Áurea, Pedro Paulo, Huganisa, Felipe, Daliane, Andréia e tantos outros que passaram pela minha vida.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para o sucesso deste estágio: **Muito Obrigado!**

Wagner Luís Novaes de Lima

**SUMÁRIO**

	RESUMO	1
1	INTRODUÇÃO	2
2	HISTÓRICO DA EMPRESA	3
3	PRODUTO OXITENO	6
3.1	Produtos da Oxiteno Camaçari	10
3.1.1	Etanolaminas	10
3.1.1.1	Reação de Etanolaminas	10
3.1.1.2	Produtos e Aplicações	11
3.1.2	Etilenoglicóis	12
3.1.2.1	Reação de Etilenoglicóis	12
3.1.2.2	Resumo do Processo de Etilenoglicóis	13
3.1.2.3	Produtos e Aplicações	14
3.1.3	Éteres Glicólicos	15
3.1.3.1	Reação de Éteres Glicólicos	15
3.1.3.2	Resumo do Processo de Éteres Glicólicos	15
3.1.3.3	Produtos e Aplicações	16
3.1.4	Derivados Etoxilados	17
3.1.4.1	Reação de Etoxilação	18
3.1.4.2	Resumo do Processo de Etoxilação	18
3.1.4.3	Produtos e Aplicações	19
4	FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
4.1	Descrição do Processo da Produção de Óxido de Eteno	20
4.1.1	Química Básica	20
4.1.2	Reação de Absorção de Óxido de Eteno	22
4.1.3	Sistema de Remoção de CO <sub>2</sub>	26
4.1.4	Seção de Desorção (Stripping) e Reabsorção de Óxido de Etileno	30
4.1.5	Tratamento de Água de Reciclo e Desorção (Stripping) de CO <sub>2</sub>	33
4.2	Descrição do Processo da Produção de Etanolaminas	35
4.2.1	Reação e Recuperação de Amônia	35



4.2.2	Secagem e Purificação	35
4.3	Balanço Hídrico	36
4.3.1	Balanço de Materiais	36
4.3.2	Balanço de Materiais em Sistemas Sem Reações Químicas	38
4.3.2.1	Balanço Global	38
4.3.2.2	Balanço Por Componentes	39
4.3.3	Balanço de Materiais em Sistemas Com Reações Químicas	40
4.3.4	Balanço de Materiais em Sistemas Múltiplos	41
4.4	Perda de Carga	42
4.4.1	Fluido	42
4.4.1.1	Fluidos em Movimento	42
4.5	Bombas	48
5	ATIVIDADES REALIZADAS	52
5.1	Balanço Hídrico na Unidade de Óxido II	52
5.1.1	Procedimento de Trabalho	52
5.1.2	Balanço Hídrico Global	53
5.1.3	Balanço Hídrico para a Área 7100	55
5.1.3.1	Reator de Óxido: D-7110	55
5.1.3.2	Reator de Óxido: D-7120	56
5.1.3.3	Coluna de Absorção: D-7115	57
5.1.4	Balanço Hídrico para a Área 7200	58
5.4.1.1	Coluna de Pré – Saturação: D-7200	58
5.4.1.2	Coluna Contactora: D-7210	59
5.4.1.3	Coluna de Pré – Saturação e Coluna Contactora: D-7200 e D-7210	60
5.1.4.4	Coluna de Regeneração de Carbonato: D-7220	61
5.1.5	Balanço Hídrico para a Área 7300	62
5.1.5.1	Coluna de Stripping de Óxido: D-7310	62
5.1.5.2	Coluna de Reabsorção de Óxido: D-7340	63
5.1.5.3	Coluna de Stripping de CO <sub>2</sub> : D-7340	64
5.1.6	Balanço Hídrico para a Área 7400	65



---

5.1.6.1	Coluna de Purificação de Óxido: D-7410	65
5.2	Avaliação das Bombas G-1675 A/B na Transferência de Etanolaminas	66
5.2.1	Procedimento de Trabalho	66
5.2.2	Levantamento de Dados	67
5.2.3	Cálculo da Carga da Bomba (H)	68
5.2.4	Análise dos Resultados Obtidos	69
5.3	Acompanhamento dos Totalizadores de Etileno e Oxigênio	71
5.4	Auditoria Interna de Desvios e Segurança Operacional	72
6	TREINAMENTOS REALIZADOS	74
7	CONCLUSÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	76
8	CONCLUSÃO DO ESTÁGIO	77
9	BIBLIOGRAFIA	78

---

**SUMÁRIO DE FIGURAS**

1	Distribuição das Unidades Oxiteno	3
2	Modelo Organizacional em Células de Trabalho	4
3	Aplicações de Alguns dos Produtos da Oxiteno Camaçari	10
4	Reações de Etanolaminas	11
5	Reações de Etilenoglicóis	13
6	Reações de Éteres Glicólicos	15
7	Reações de Etoxilação	18
8	Reação de Formação de Óxido de Eteno	20
9	Reação Paralela do Etileno	21
10	Reação de Oxidação do Etileno	21
11	Fluxograma do Processo Simplificado de Reação e Absorção de Óxido de Etileno	25
12	Fluxograma do Processo Simplificado do Sistema de Remoção de CO <sub>2</sub>	29
13	Fluxograma do Processo Simplificado do Sistema de Desorção e Reabsorção de Óxido de Eteno	32
14	Fluxograma do Processo Simplificado do Sistema de Desorção de CO <sub>2</sub>	34
15	Exemplo Genérico de um Sistema	37
16	Regimes de Escoamento	44
17	Funcionamento de uma Bomba	49
18	Página Inicial da Planilha	53
19	Balanço Hídrico Global da Unidade de Óxido II	54
20	Balanço Hídrico do Reator de Óxido D-7110	55
21	Balanço Hídrico do Reator de Óxido D-7120	56
22	Balanço Hídrico da Coluna de Absorção	57
23	Balanço Hídrico da Coluna de Pré-Saturação	58
24	Balanço Hídrico da Coluna Contactora	59
25	Balanço Hídrico do Conjugado Coluna de Pré-Saturação e Contactora	60
26	Balanço Hídrico da Coluna de Regeneração de Carbonato	61
27	Balanço Hídrico da Coluna de Stripping de Óxido	62
28	Balanço Hídrico da Coluna de Reabsorção de Óxido	63



29	Balanço Hídrico da Coluna de Stripping de CO <sub>2</sub>	64
30	Balanço Hídrico da Coluna de Purificação de Óxido	65
31	Dados da Sucção da Bomba	67
32	Dados da Descarga da Bomba	67
33	Cálculo da Carga na Sucção da Bomba	68
34	Cálculo da Carga na Descarga da Bomba	69

---



## **SUMÁRIO DE TABELAS**

---

1	Principais Aplicações dos Derivados de Óxido de Eteno	8
2	Matriz de Distribuição da Capacidade de Produção da Oxiteno	9

---



## RESUMO

Após alguns anos adquirindo conhecimento teórico referente à práticas exercidas pelo engenheiro químico, é necessário que utilizemos este conhecimento de maneira prática. A disciplina de Estágio Supervisionado vem suprir a necessidade natural de cada profissional de estar próximo à sua área de atuação. Assim, temos a oportunidade de se inteirar com a realidade vivida por um engenheiro químico aprendendo a cada dia sobre ética, profissionalismo e atividades exercidas pela função. Este Estágio Supervisionado foi realizado na Oxiteno Nordeste S/A localizado no Pólo Petroquímico de Camaçari durante o período de maio de 2004 à setembro do mesmo ano. O estágio foi orientado pelo professor da UFRN Dr. João Fernandes de Souza e pelo engenheiro da Oxiteno Caio César Carlos Costa. Durante o período de estágio foram desenvolvidas algumas atividades, onde as principais foram: balanço hídrico da Unidade de Óxido II, avaliação das bombas G-1675A/B na transferência de etanolaminas, acompanhamento dos totalizadores de etileno e oxigênio e auditoria interna de desvios e segurança operacional.



# 1

---

## INTRODUÇÃO

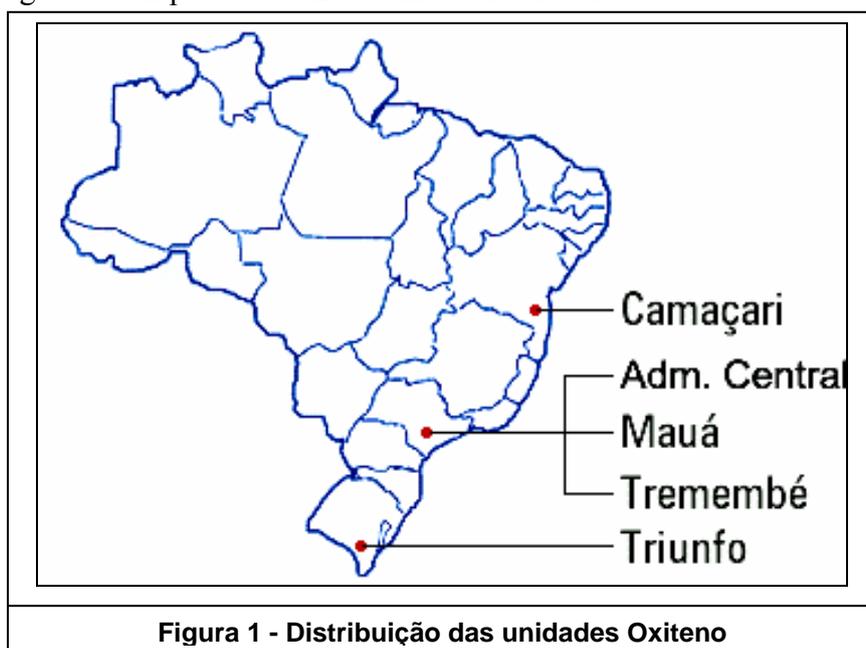
O crescimento tecnológico mundial tem sido cada vez mais acentuado. A cada dia a demanda por materiais industrializados tem crescido e isto implica numa necessidade crescente de mão-de-obra especializada. Em virtude destes fatos, a engenharia química tem se tornado um ramo de fundamental importância para o crescimento industrial formando profissionais habilitados a trabalhar com a criação, o desenvolvimento e a supervisão de processos industriais, tendo em vista sempre uma produção que combine eficiência com qualidade, sem esquecer a preocupação constante com a saúde, a segurança e o meio ambiente.

Assim, a Oxiteno tem acolhido estudantes de todo o Brasil a fim de que estes possam adquirir conhecimento prático numa indústria e qualifica-los para o mercado competitivo existente. É fornecido aos futuros profissionais treinamentos sobre temas abrangentes como educação ambiental, segurança e prevenção de acidentes, conservação auditiva, como proceder em situações de emergência, e temas específicos de sua atuação na empresa como leitura e interpretação de fluxogramas de processos e de engenharia, estudos detalhados sobre equipamentos, ética profissional, entre outros, para o caso de profissionais em engenharia química.

## 2

### HISTÓRICO DA EMPRESA

A Oxiteno é uma das maiores companhias química do país, com ampla atuação no mercado interno e externo. Controlada pelo grupo Ultra, a Oxiteno possui quatro diferentes unidades industriais: Camaçari-BA, Mauá-SP, Tremembé-SP e Triunfo-RS, sendo a administração geral da empresa localizada em São Paulo-SP.



O Grupo Ultra gerencia, não apenas a Oxiteno, mas também dois outros negócios distintos:

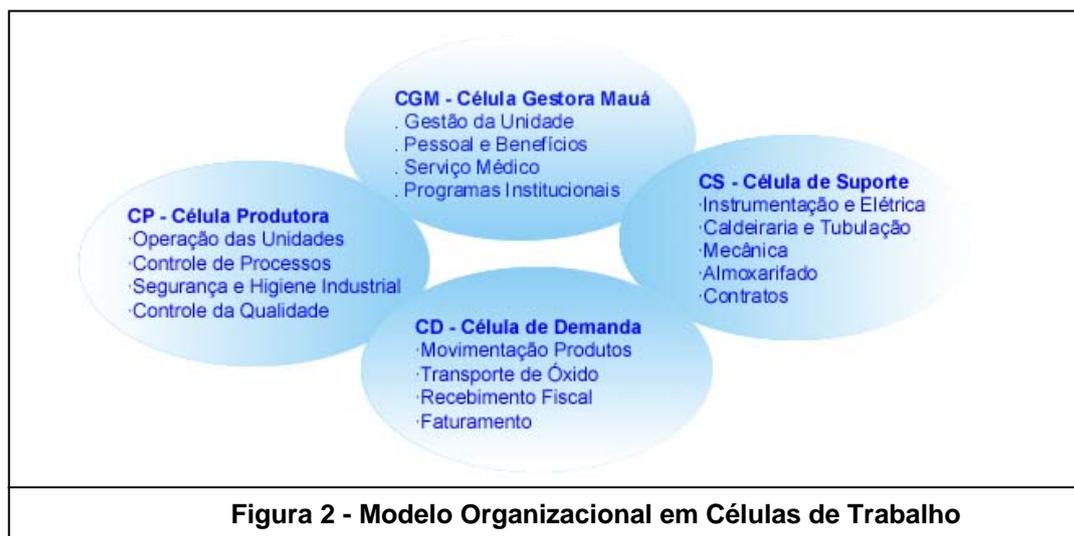
- **OXITENO:** indústria química e petroquímica;
- **ULTRAGAZ:** distribuição de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo);
- **ULTRACARGO:** transporte e armazenamento de produtos químicos, petroquímicos e de GLP.

A Oxiteno foi fundada em 14 de Outubro de 1970, resultado de uma associação de grupos privados nacionais. Hoje, a Oxiteno é uma das poucas grandes empresas do setor Químico com capital 100% nacional.

Uma das maiores empresas privadas da América do Sul, a Oxiteno atua nos setores Químico e Petroquímico, sendo a única produtora brasileira de Óxido de Etileno e seus derivados, Etilenoglicóis, Etanolaminas e Éteres Glicólicos, e uma das principais produtoras brasileira de tensoativos e especialidades químicas.

A Oxiteno adota o Modelo Organizacional em Células de Trabalho. Como benefícios deste modelo, destaca-se a ampliação da agilidade no atendimento das necessidades e expectativas de nossos clientes, aumento de capacitação para absorver e entender com rapidez mudanças tecnológicas e tendências de mercado, redução dos níveis hierárquicos e maior participação dos funcionários nos processos decisórios e compartilhamento das informações.

Estas Célula de Trabalho são formadas por grupo de pessoas interdependentes trabalhando em conjunto e de forma contínua, com atribuições e responsabilidades compartilhadas, visão generalista, objetivo comum, valorização do trabalho do outro e da equipe e liderança compartilhada. Os Coordenadores atuam como facilitadores apoiando as equipes de trabalho com consultorias técnicas, organização dos processos de comunicação e informações, com ações efetivas para incrementar os níveis de capacitação, desenvolvimento e transferência de responsabilidade/autonomia para essas equipes de trabalho, num processo de gestão aberta e flexível.



**Figura 2 - Modelo Organizacional em Células de Trabalho**



Com um trabalho de equipe harmônico e perfeitamente integrado aos objetivos do Brasil, de reduzir importações e conquistar autonomia tecnológica, a Oxiteno produz mais de 400 mil toneladas por ano, exporta para mais de 40 países, atendendo a mercados como o Japão, Estados Unidos, Canadá e Europa. Isto comprova o alto padrão de qualidade dos produtos Oxiteno.

Tais operações se iniciam na segunda geração petroquímica e se estendem às especialidades químicas, atendendo a mais de 30 segmentos de mercado, destacando-se os de agroquímicos, alimentos, cosméticos, couros, detergentes, embalagens para bebidas, fios e filamentos de poliéster, fluidos para freios, petróleo, tintas e vernizes.

A Oxiteno possui um Sistema de Qualidade que engloba a gestão da qualidade, saúde, segurança, meio ambiente e responsabilidade social. No início de 2002, foi certificada pela norma SA 8000, sendo no mundo, a primeira indústria química/petroquímica a obter o certificado. A SA 8000 é uma norma de responsabilidade social com códigos de conduta para as empresas, que se comprometem a manter a integridade, a saúde e a segurança do trabalhador.

A Empresa também é a primeira do gênero a receber Certificação QS 9000/98, exigida pelas principais empresas do setor automobilístico. Nos dias 5 e 6 de agosto do ano passado, passou pelo processo de auditoria necessário para a obtenção da certificação da ISO 14000, da qual saiu vitoriosa mais uma vez. Uma das últimas conquistas foi a premiação com o Prêmio Pólo este ano.

# 3

## PRODUTOS OXITENO

A etimologia da palavra Oxiteno deriva da junção de duas palavras bem conhecidas dentro da química, **ÓXI**do e e**TENO**. Como o próprio nome sugere, a Oxiteno é uma empresa química e petroquímica que trabalha no ramo de produção de óxido de eteno e alguns de seus derivados. Sendo a primeira e única indústria petroquímica do Brasil que produz óxido de eteno, etilenoglicóis, etanolaminas e éteres glicólicos. Nesta seção serão apresentados os principais produtos da Oxiteno – Camaçari/ Ba, bem como suas principais aplicações.

**O óxido de eteno ou mais popularmente conhecido com óxido de etileno é um dos mais importantes derivados do eteno, sendo produzido a partir da reação deste com o oxigênio pelo método de oxidação catalítica. Esta reação é controlada para propiciar a formação de um anel de três átomos (dois de carbono e um de oxigênio). O óxido de eteno é o mais importante éter cíclico. Pode se apresentar na forma de líquido ou gás incolor com odor semelhante ao do éter.**

**O óxido de eteno é uma molécula muito reativa pois o anel formado pelos átomos de carbono e oxigênio é extremamente tensionado e pode ser aberto facilmente. Devido a esta característica é que o óxido de eteno é um dos mais versáteis intermediários químicos. O óxido de eteno foi primeiramente preparado em 1859 por Wurtz utilizando a reação entre o hidróxido de potássio e a etilenocloridrina. A produção industrial por esse processo teve início em 1914. O oxidação catalítica do eteno foi descoberta em 1931 por Lefort e foi, gradualmente, substituindo o processo via etilenocloridrina. Atualmente o óxido de eteno é produzido industrialmente pelo processo de oxidação direta do etileno com o oxigênio em leito catalítico de prata, tecnologia utilizada pela Oxiteno licenciada junto com a “Scientific Design Company” que será descrita detalhadamente nas seções seguintes.**

**Seu derivado mais importante é o monoetilenoglicol, utilizado na fabricação de poliéster e em aditivos de arrefecimento automotivo. O óxido de eteno é também utilizado na produção de uma série de derivados como intermediários de síntese,**



solventes e tensoativos. Outra aplicação do óxido de eteno é, em mistura com outros gases, como esterilizante para materiais e instrumentos hospitalares, embalagens de uso farmacêuticos, cosméticos e alimentos.

A partir da reação do óxido de eteno com diversas matérias primas, conhecidas como etoxilação, pode-se obter uma grande quantidade de produtos com aplicação industrial. Variando-se não só a matéria prima de origem, mas também o número de unidades de óxido de eteno adicionado por molécula, pode-se multiplicar este número de produtos, pois cada grau de etoxilação pode determinar propriedades diferentes ao produto final. Este fato faz com que uma matéria prima dê origem a não só um produto mas a uma família de produtos etoxilados. Estas famílias de produtos e suas principais aplicações são mostradas na tabela 1.

**Tabela 1 – Principais Aplicações dos derivados do ácido de eteno**

<b>Derivados</b>	<b>Principais Aplicações</b>
<b>Etilenoglicóis</b>	Intermediário de síntese para fios, fibras e garrafas de poliéster (PET), anticongelantes, resinas para barcos e piscinas, líquidos para freios, fluídos de refrigeração e arrefecimento e plastificantes.
<b>Etanolaminas</b>	Agentes de absorção para gases industriais, alcalinizantes para óleos lubrificantes, detergentes, cosméticos e intermediários de síntese para alcanolamidas.
<b>Alcanolamidas</b>	Espessantes e estabilizantes para produtos detergentes e cosméticos.
<b>Éteres Glicólicos</b>	Solventes para tintas e vernizes, tineres, detergentes e componentes para líquidos de freios.
<b>Acetato de Éter Glicólicos</b>	Solvente para tintas e vernizes para diversas aplicações (couro, madeira, metal, etc.) e tineres.
<b>Alquilfenóis etoxilados</b>	Tensoativos não – iônicos utilizado em formulações de detergentes, ceras óleos lubrificantes, defensivos agrícolas, cosméticos resinas, polímeros, tintas, lubrificantes, auxiliares na indústria têxtil, de couros, de cerâmicas, de papel e celulose, e auxiliar para extração de petróleo e minério.
<b>Álcoois Graxos Etoxilados</b>	Tensoativos não – iônicos utilizados em formulações de detergentes, cosméticos, tintas, defensivos agrícolas, auxiliares na indústria têxtil e de couros, intermediário na síntese para tensoativos aniônicos.
<b>Ésteres de Sorbitan Etoxilados</b>	Emulsionantes utilizados na indústria de cosméticos, óleos lubrificantes, fragrância, têxteis e farmacêutica.
<b>Polietilenos Glicóis</b>	Umectantes e agentes de consistência em formulação de cosméticos, fármacos, plásticos e resinas, desmoldante para borrachas, estabilizante dimensional para madeira, aditivos para óleos lubrificantes e auxiliar de processo para cerâmica.
<b>Aminas Graxas Etoxiladas</b>	Adjuvantes para defensivos agrícolas, antiestáticos para resinas, emulsionantes e lubrificantes para produtos auxiliares têxteis.
<b>Óleos Vegetais Etoxilados</b>	Tensoativos utilizados como lubrificantes e emulsionantes em formulações de cosméticos, auxiliares têxteis e de mineração.
<b>Ácidos Graxos Etoxilados</b>	Emulsionantes para indústria de cosméticos, aditivos para alimentos, tratamento de água, óleos lubrificantes e para auxiliares têxteis.
<b>Copolímeros Etoxilados e propoxilados</b>	Tensoativos de baixa espuma para tratamento de água, detergentes especiais, polímeros e tintas auxiliares de processo para indústria têxtil e de suco – álcool e auxiliar de penetração de petróleo.
<b>Hidroxietilcelulose e Hidroxietilamido</b>	Espessantes para indústria de tintas, argamassa, têxtil, alimentos e cosméticos.
<b>Polióis</b>	Intermediário de síntese para espumas de poliuretano.



A Tabela 2 apresenta a matriz de distribuição da capacidade de produção anual de óxido de etileno e seus derivados praticada pela Oxiteno Camaçari.

<b>Unidades</b>	<b>Capacidade de Produção (ton/ano)</b>
Óxido de Etileno	<b>260.000</b>
Etilenoglicóis	<b>285.000</b>
Etanolaminas	<b>45.000</b>
Éteres Glicólicos	<b>25.000</b>
Etoxilados	<b>100.000</b>

Embora o óxido de etileno represente um dos maiores volumes de produção da Oxiteno, ele não é considerado um produto final e sim um intermediário na produção de seus derivados que representam os principais produtos acabados comercializados pela Oxiteno. Entre os derivados químicos produzidos a partir do óxido de etileno descritos na Tabela 2, aqueles produzidos pela Oxiteno Nordeste – Camaçari / BA são apresentados a seguir assim como uma descrição sucinta dos processos envolvidos. Já o processo de óxido de eteno será descrito mais detalhadamente nos próximos tópicos.

Apesar de não ser divulgada, os produtos da Oxiteno Camaçari estão sempre em contato com a população de maneira indireta. Estes produtos servem como aditivos na formulação de diversos bens já conhecidos. Alguns destes produtos são mostrados na figura 3.



Figura 2 – Aplicações de alguns dos produtos da Oxiteno Camaçari

### 3.1. Produtos da Oxiteno Camaçari

#### 3.1.1 Etanolaminas

##### 3.1.1.1 Reação de Etanolaminas

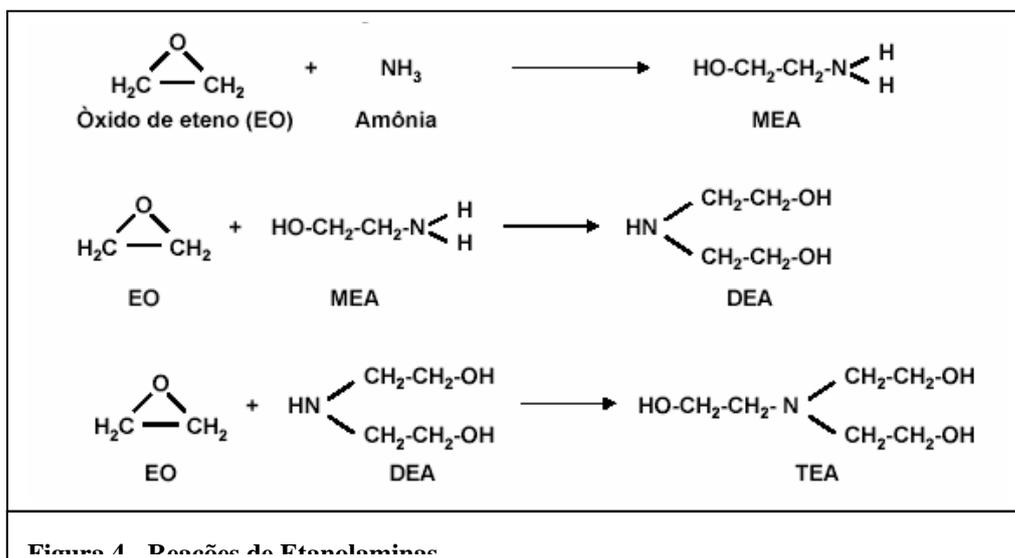
Etanolaminas são moléculas bifuncionais derivadas da reação da Amônia com Óxido de Etileno (EO) e apresentam-se como três homólogos: a Monoetanolamina (MEA), Dietanolamina (DEA) e Trietanolamina (TEA).

As etanolaminas são produzidas pela reação contínua em fase líquida de óxido de etileno e um reciclo de solução amoniacal. Monoetanolamina (MEA) é a mais simples das etanolaminas e é produzida pela reação de amônia ( $\text{NH}_3$ ) com óxido de eteno (EO). Reagindo-se MEA com EO produz-se o Dietanolamina (DEA) e a partir desta, adicionando-se mais EO, chega-se a Trietanolamina (TEA). A presença de água aumenta a velocidade de reação de EO com  $\text{NH}_3$  para formação de aminas. A água pode ser considerada um catalisador para a reação, aumentando a taxa de reação em temperaturas relativamente baixas.

A mistura EO - Solução de  $\text{NH}_3$  reage em uma série de reatores adiabáticos com resfriadores intermediários. O óxido de etileno é alimentado em cada um dos estágios do reator e

completamente convertido na saída do último estágio onde o efluente é uma mistura contendo etanolaminas, água e amônia não reagida e pequenas parcelas de subprodutos.

As principais reações são descritas na figura 4:



Monoetanolamina, dietanolamina e trietanolamina são produtos pouco voláteis à temperatura ambiente, higroscópicos, de odor amoniacal, podendo apresentar-se na forma sólida ou líquida dependendo da temperatura e do grau de pureza.

### 3.1.1.2 Produtos e aplicações

A Oxiteno produz as seguintes etanolaminas:

- Monoetanolamina 99% (MEA);
- Dietanolamina 99% (DEA);
- Dietanolamina 99% em Solução Aquosa;
- Trietanolamina 85% (TEA 85);
- Trietanolamina 99% (TEA 99);
- Trietanolamina 99% em Solução Aquosa.

Com aplicações em:



- ☐ Detergentes;
- ☐ Defensivos agrícolas;
- ☐ Tratamento de gases;
- ☐ Aditivos para cimento.

Outras aplicações:

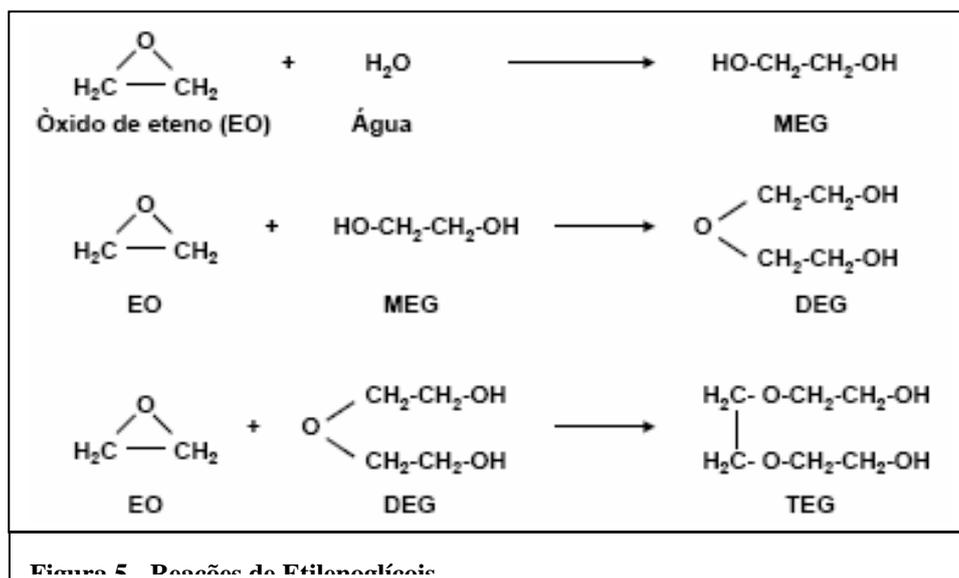
Monoetanolamina e Dietanolamina são recomendadas como intermediários de síntese para reação com ácido graxo ou óleo de coco com o fim de fabricar as correspondentes alcanolamidas, cujas propriedades possibilitam sua utilização em vários segmentos industriais tais como detergentes, óleos lubrificantes, produtos para higiene e toucador, flotação de minérios, etc.

As etanolaminas também podem ser utilizadas na formulação de produtos farmacêuticos, de agentes de dispersão de colas, gomas, látex e reveladores fotográficos, como acelerador de vulcanização de borracha, como inibidor de corrosão, controlador de pH, intermediário de síntese, agente umectante de lacas, tintas, ceras e polidores, agente polimerizante e catalisador para resinas poliuretânicas.

### **3.1.2 Etilenoglicóis**

#### *3.1.2.1 Reações de Etilenoglicóis*

Monoetilenoglicol (MEG) é o mais simples dos etilenoglicóis e é produzido pela reação de água com óxido de eteno. Reagindo-se MEG com óxido de eteno produz-se o Dietilenoglicol (DEG) e a partir deste, adicionando-se mais óxido de eteno, chega-se ao Trietilenoglicol (TEG). O esquema das reações de obtenção destes compostos e sua estrutura molecular são mostrados na Figura 5.



Todas as reações acima ocorrem simultaneamente, e a distribuição dos produtos depende fundamentalmente da razão inicial de água e óxido de etileno, e secundariamente da quantidade de glicóis reciclados.

### 3.1.2.2 Resumo do Processo de Etilenoglicóis

Uma parte da corrente de óxido de etileno, absorvido em água, proveniente da área de reabsorção das plantas de óxido, é bombeada para um trocador de calor para que a corrente seja aquecida, sendo enviada posteriormente para os reatores de glicóis. Sendo o reator adiabático e a reação do óxido com a água para formação dos glicóis exotérmica, a temperatura de mistura se elevará ao longo do reator, iniciando com 115°C e atingindo cerca de 161°C na saída do mesmo. O efluente dos reatores serão encaminhados para o sistema de evaporação que consiste de 7 (sete) estágios ou efeitos, passando um para o outro por diferença de pressão, que são responsáveis pela redução da concentração de água no sistema de 86% para 20% em peso. Ao final do último efeito, o efluente é bombeado para uma coluna de secagem. Quando especificado em água, os glicóis são enviados para as colunas purificadoras, que irão separar os vários tipos de glicóis (MEG, DEG, TEG e glicóis mais



pesados) formados durante a reação. Depois de separados eles são enviados para a tancagem de MEG, DEG, TEG e REPEG, respectivamente.

### 3.1.2.3 Produtos e aplicações

A Oxiteno produz os seguintes tipos de etilenoglicóis:

- ☐ Monoetilenoglicol (MEG):
  - Grau Fibra (MEG-GF);
  - H (MEG-H);
  - Grau Industrial (MEG-GI);
  - Grau Capacitor (MEG-GC).
- ☐ Dietilenoglicol (DEG);
- ☐ Trietilenoglicol (TEG).

Aplicações:

- ☐ Poliéster;
- ☐ Resinas;
- ☐ Agentes de síntese;
- ☐ Agentes umectantes e plastificantes;
- ☐ Aditivos para arrefecimento;
- ☐ Aditivo para cimento;
- ☐ Fluidos de freio.

Outras aplicações:

Os etilenoglicóis também podem ser utilizados na formulação de tintas de impressão, na produção de condensadores eletrolíticos (MEG-GC), no tratamento de gases, na formulação de fluidos hidráulicos resistentes ao fogo, na formulação de óleos para usinagem, na formulação de polidores para superfícies, em formulações de defensivos agrícolas, na

extração de solventes, na fabricação de pastas pigmentadas e massa corrida para paredes, na formulação de óleos para usinagem e na síntese de explosivos.

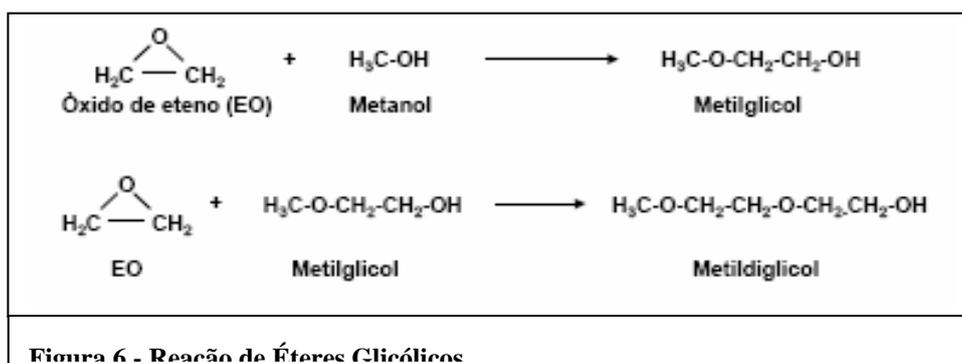
### 3.1.3 Éteres Glicólicos

#### 3.1.3.1 Reações de Éteres Glicólicos

Os Éteres Glicólicos são produtos resultantes da reação de álcoois ou Fenol com o Óxido de Etileno. Devido à sua natureza bifuncional (álcool-éter) são ótimos solventes, apresentando miscibilidade tanto com substâncias polares quanto com apolares.

Os éteres glicólicos são produzidos pela reação de álcoois ou fenol com óxido de eteno. Na Oxiteno Nordeste são usados os álcoois Metanol e Butanol. O esquema das reações de obtenção destes compostos e sua estrutura molecular são mostrados na Figura 6, partindo-se de metanol.

O processo de fabricação de éteres glicólicos envolve a reação catalítica entre o óxido de etileno e o álcool. O óxido de etileno também reage com o éter do monoetilenoglicol e homólogos superiores para formar éteres do di, tri e polietilenoglicóis. Apesar de não haver limite teórico para o tamanho da cadeia molecular que pode ser formada, o éter do tetraetilenoglicol é normalmente o maior homólogo obtido.



E assim por diante para produzir éteres homólogos mais pesados.



### 3.1.3.2 *Resumo do Processo de Éteres Glicólicos*

O álcool proveniente dos tanques, alimenta o sistema de reação. A bomba de alimentação do reator recebe o catalisador, KOH, em sua sucção e fornece a mistura líquida, álcool/catalisador, para o sistema de reação.

O óxido de etileno proveniente da coluna de purificação de óxido, alimenta o reator de éteres.

A alimentação do óxido no reator se dá conforme a campanha. Para a campanha de éteres glicólicos leves, o óxido é misturado ao álcool pré-aquecidos no misturador. Em seguida, esta é introduzida no primeiro módulo do reator tubular. No total, a mistura reacional percorre os 13 módulos do reator, cujo volume total é de 68,25 m<sup>3</sup>. No caso pesados, a vazão de óxido é dividida em partes iguais. A primeira é misturada ao álcool, pré-aquecido, seguido da alimentação do primeiro módulo do reator. A mistura, reagentes e produtos, percorre os quatro primeiro módulo onde então é resfriada. Neste ponto, o meio reacional é misturado a segunda parte da vazão de óxido e novamente introduzido no reator no quinto estágio. Este resfriamento intermediário, do meio reacional se faz necessário para que a temperatura da reação não se eleve de forma a vaporizar o meio reacional.

Efluente do reator segue por diferença de pressão até o flash box (vaso separador de líquido-vapor), onde é flasheado antes de ser introduzido na Coluna de Álcool, fazendo com que o álcool não reagido seja removido pelo topo e reciclado para o tanque de álcool. Já a mistura de éteres, retirada como produto de fundo, é enviada para as colunas de destilação dos vários tipos de éteres(mono, di e triéteres glicólicos), que posteriormente serão enviados para suas respectivas tancagens.

### 3.1.3.3 *Produtos e Aplicações*

A Oxiteno produz os seguintes tipos de éteres glicólicos:

- Metilglicol (EMMEG);
- Metildiglicol (EMDEG);
- Etilglicol (EEMEG);
- Etildiglicol (EEDEG);



- ☐ Etiltriglicol (EETEG);
- ☐ Butilglicol (EBMEG);
- ☐ Butildiglicol (EBDEG);
- ☐ Butiltriglicol (EBTEG);
- ☐ Isobutilglicol (EIBMEG);
- ☐ Isobutildiglicol (EIBDEG);
- ☐ Isobutiltriglicol (EIBTEG);
- ☐ Isopropilglicol (EIPMEG);
- ☐ Isopropildiglicol (EIPDEG);
- ☐ Isopropiltriglicol (EIPTEG).

Aplicações:

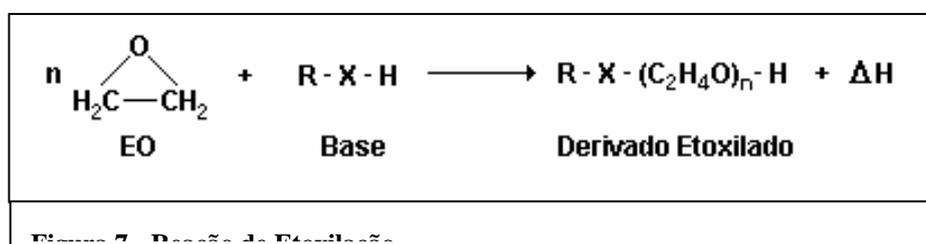
- ☐ Tintas e Vernizes;
- ☐ Fluidos hidráulicos;
- ☐ Intermediários de síntese;
- ☐ Detergentes.

### **3.1.4 Derivados Etoxilados**

Nas Unidades Químicas, temos um processo semi-contínuo, ou seja, em batelada. A partir da reação do óxido de etileno com diversas matérias primas – conhecida como etoxilação – pode-se obter grande quantidade de produtos com aplicação industrial. Variando-se não só a matéria prima de origem, mas também o número de unidades de óxido de etileno adicionados por molécula, pode-se multiplicar este número de produtos, pois cada grau de etoxilação pode determinar propriedades diferentes ao produto final. Este fato faz com que uma matéria prima dê origem não a um só produto mas a uma família de produtos etoxilados.

### 3.1.4.1 Reações de Etoxilação

A reação de alcoxilação pode ser resumida como sendo uma policondensação do Óxido de Etileno sobre a Base, e pode ser representada pela seguinte equação:



Onde:

R = radical orgânico;

X = na maioria dos casos um átomo de oxigênio, ou no caso das aminas, nitrogênio;

n = grau de etoxilação;

$\Delta\text{H}$  = é a variação de entalpia da reação. Como se trata de uma reação exotérmica, existe liberação de energia durante a reação.

### 3.1.4.2 Resumo do Processo de Etoxilação

A reação de etoxilação ocorre nos reatores da planta I ou II, do tipo batelada, com recirculação externa, e capacidade de 7 m<sup>3</sup> e 12 m<sup>3</sup>, respectivamente. Operam com vácuo total, na partida da reação, produzidos através dos sistemas de vácuo. A pressão máxima de reação é de 3,5 Kgf/cm<sup>2</sup>g. A recirculação dos reatores é feita através de suas bombas, que fornecem fluxo através de seus trocadores de calor. Esses equipamentos fazem a troca de calor da base ou do meio reacional.

Após a fase de reação é executada a neutralização do produto para acerto do pH nos desodorizadores. Terminada a neutralização, é executada a desodorização (remoção de



impurezas e subprodutos remanescentes da reação principal) da batelada nos próprios desodorizadores para posterior filtração. Concluída a fase de filtração, o produto é analisado e após aprovação é envasado ou transferido para a tancagem final.

Como as unidades são multipropósito, são feitas lavagens nos equipamentos e tubulações entre os produtos a fim de evitar contaminações. As lavagens devem ser minimizadas, pois são tempos improdutivos e geram efluentes. Para isso, é importante otimizar a seqüência dos produtos na programação de produção.

### *3.1.4.3 Produtos e Aplicações*

Os etoxilados são bastante empregados nas indústrias de detergentes, alimentos, farmacêutica, têxtil, agrícola, etc.

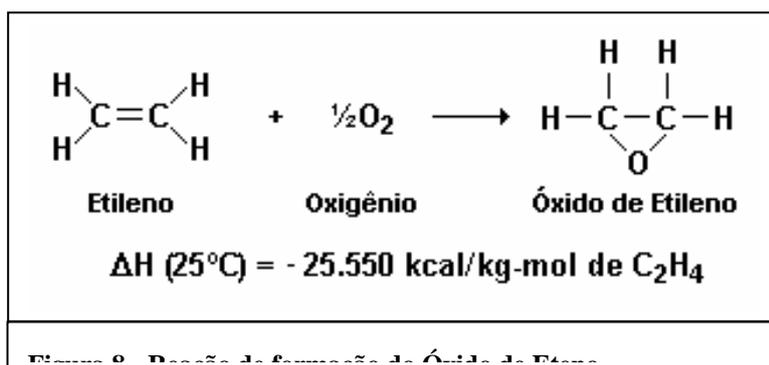
# 4

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

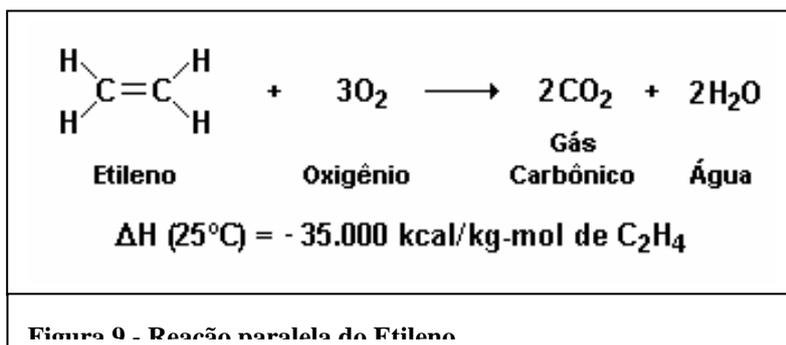
### 4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DA PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE ETENO

#### 4.1.1. Química Básica

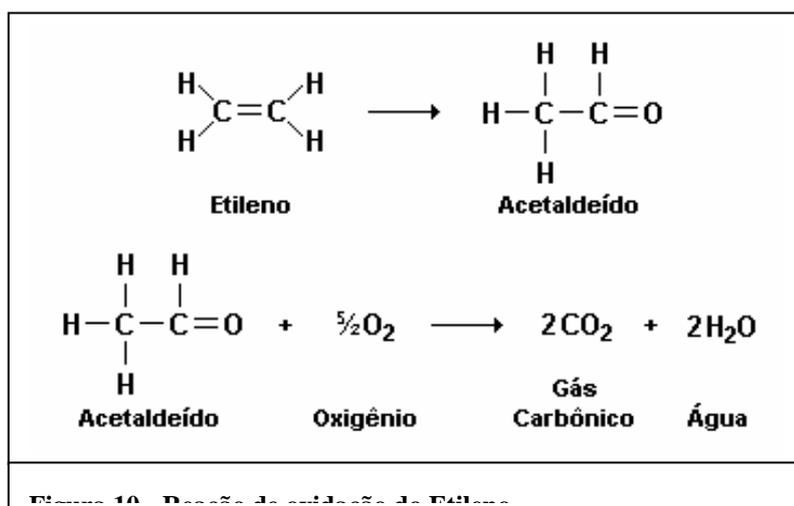
Atualmente o óxido de eteno é produzido industrialmente apenas pelo processo de oxidação direta do etileno com oxigênio em leito catalítico de prata, tecnologia utilizada pela Oxiteno licenciada junto com a “Scientific Design Company”. O oxigênio pode ser proveniente do ar ou oxigênio puro. Nas unidades de produção de óxido de etileno da Oxiteno é utilizado oxigênio puro. A reação é representada na figura 8:



Além do óxido de etileno, dióxido de carbono e água são formados como subprodutos. A água e o dióxido de carbono podem ser formados por duas diferentes rotas. Na primeira, o etileno reage diretamente com o oxigênio formando dióxido de carbono e água com a formação de diversos componentes de oxidação intermediários de vida extremamente curta. A etapa que controla o mecanismo de reação é a reação do etileno com o oxigênio molecular. A equação global é apresentada na figura 9 como segue:



O dióxido de carbono também pode ser formado a partir da oxidação do óxido de etileno. Nesse caso, primeiramente o óxido de etileno sofre isomerização passando a acetaldeído. O acetaldeído é então rapidamente oxidado a dióxido de carbono e água. A etapa que controla o mecanismo de reação é a isomerização do óxido de etileno. A equação na qual expressa tal reação está apresentada abaixo:



Devido ao acetaldeído formado ser rapidamente oxidado, observa-se somente uma pequena quantidade de acetaldeído presente nas correntes de processo. Além do acetaldeído, uma baixíssima quantidade de formaldeído é também formado no reator, porém o mecanismo de reação exato é desconhecido.

Os aldeídos são separados do óxido de etileno nas seções de purificação e na unidade de etileno glicol. Nos reatores de glicol nenhum outro subproduto é formado em uma quantidade apreciável.



Uma pequena quantidade de óxido de etileno é hidrolisado a etileno glicol no sistema de água de reciclo e nas seções de purificação.

Uma pequena quantidade de alguns ácidos orgânicos também são formados na água de reciclo. Porém, não se sabe com certeza se esses ácidos são formados realmente na sistema de água de reciclo ou nos reatores. O mais provável é que os ácidos orgânicos sejam produtos de oxidação do etileno glicol, que acumula-se na água de reciclo como resultado da hidrólise do óxido de etileno. Entretanto, as quantidades de tais subprodutos formados são baixíssimas e não afetam apreciavelmente o rendimento da planta.

Uma unidade de produção de óxido de etileno pode ser subdividida em áreas para possibilitar uma melhor compreensão do processo global, como segue.

#### **4.1.2. Reação e Absorção de Óxido de Eteno**

Oxigênio, fora do limite de bateria, passa através do filtro de oxigênio, M-7100. Sendo então misturado com a alimentação de gás em um sistema especial de injeção, a estação de mistura de oxigênio, H-7102. Esse sistema é utilizado para permitir uma injeção rápida e segura de oxigênio puro numa corrente rica em hidrocarbonetos, o gás de reciclo.

Etileno, também fora do limite de bateria, passa através de um leito de captura de enxofre composto de óxido de zinco, D-7150, onde essencialmente todo ácido sulfídrico presente no etileno é removido. O etileno livre de enxofre é então misturado ao gás de reciclo através de um misturador estático.

A concentração de dióxido de carbono na alimentação do reator é normalmente mantida a 7% (volume), controlada pela quantidade de CO<sub>2</sub> removida no sistema de remoção de dióxido de carbono. Argônio e outras impurezas como nitrogênio e etano presentes nas matérias – primas, são permitidos de forma a terem juntos uma concentração de 14,4% (volume), metano é adicionado para completar o balanço de massa e também atua também como estabilizante de reação.

Para controlar a reação de oxidação próxima do ponto ótimo e minimizar as reações indesejáveis, uma pequena quantidade de inibidor, cloro etano, é introduzido na alimentação do reator.



O gás que alimenta os reatores é pré - aquecido no lado dos tubos dos trocadores de calor, E-7111/ E-7121, pela troca de calor com os gases efluentes do reator. O gás então flui do topo para a base dos reatores, D-7110/ D-7120, onde o etileno presente é parcialmente convertido a óxido de etileno e subprodutos, CO<sub>2</sub> e água. A alimentação de gás é aquecida até a temperatura de reação na seção superior do reator que é preenchida com gás inerte, nitrogênio. O gás aquecido então entra na seção catalítica do reator onde aproximadamente 9% do etileno é reagido por passe. A seletividade de etileno a óxido de etileno é em média 81,4 (mol) no início de operação do catalisador.

O calor de reação é removido através da injeção de água saturada que circula pelo casco do reator. A circulação da água é promovido por efeito termosifão com 2 – 4% de vaporização. A mistura das duas fases que deixa o casco do reator flui para os vasos de separação flash, F-7110 A/B e F-7120 A/B, onde o vapor e a água são separados. Sendo água retornada novamente ao reator. Um parte do vapor é utilizado para pré - aquecer a alimentação de reposição da água vaporizada até a temperatura de saturação através de contato direto em um leito com recheio. O vapor seco é então enviado ao coletor de vapor. A temperatura de reação é regulada pelo controle da pressão dos vasos de separação flash.

Os gases na saída dos reator são resfriados rapidamente com água líquida saturada pelos trocadores de calor, E-7112 e E-7122. A mistura vapor – água que deixa os cascos fluem para os vasos de separação flash instalados em cima dos trocadores de calor, F-7112 e F-7122, onde o vapor é separado da água e enviado ao coletor de vapor.

Os gases efluente dos reatores ainda passam através dos cascos dos trocadores de calor E-7111 e E-7121, e são resfriados. Os gases resfriados alimentam a coluna de absorção (Scrubber/ KO Drum), D 7115, onde entram em contato contra – corrente com uma corrente de água de reciclo pobre em óxido de etileno absorvendo todo óxido formado nos reatores e uma pequena quantidade de outros gases que também são dissolvidos na água de reciclo que são recuperados no topo da coluna de reabsorção e comprimidos de volta a seção de reação através do sistema de remoção de CO<sub>2</sub>. A água, subproduto formado na reação, é condensada na coluna de absorção. O produto de fundo da coluna de absorção, água de reciclo rica em óxido de etileno, flui para a área de desorção (stripping) e reabsorção para a recuperação do óxido de etileno.



O gás de reciclo, após removido o óxido de etileno, sai pelo topo da coluna de absorção e flui através de um vaso de retenção de líquido construído na parte inferior da coluna de absorção para o compressor de recuperação de gás de reciclo, C-7110, onde é comprimido para recuperar a pressão perdida no circuito do gás de reciclo.

A maior parte do gás de reciclo comprimido é reciclado diretamente como alimentação dos reatores, exceto uma parte de gás que é desviada enviada ao sistema de remoção de CO<sub>2</sub>. O gás de reciclo tratado retorna e é recombinado ao sistema de gás de reciclo e então flui através de outro vaso de retenção de líquido, F-7145, para remoção de alguma umidade remanescente. Para o controle da concentração de nitrogênio e argônio, que entra como impurezas junto com o oxigênio, em aproximadamente 12% (volume) no gás de reciclo, uma pequena quantidade deste gás que deixa a coluna de absorção e purgado para queima nas caldeiras.

O fluxograma de processos simplificado da área de reação e absorção de óxido de etileno esta apresentado na Figura 11:

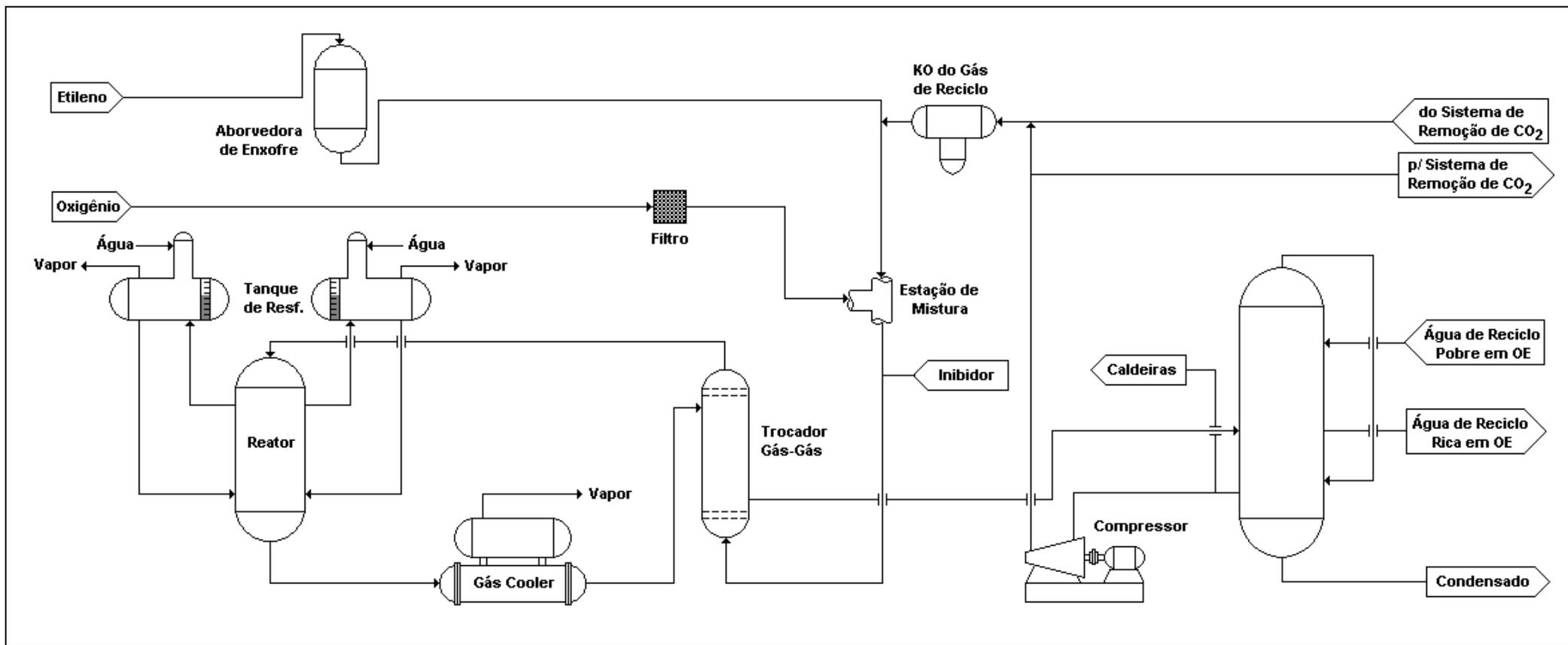


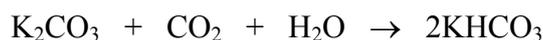
Figura 11 – Fluxograma do Processo Simplificado de Reação e Absorção de Óxido de Eteno



### 4.1.3. Sistema de Remoção de CO<sub>2</sub>

O gás de reciclo recuperado na coluna de absorção, D-7115, é combinado com os gases vindos do compressor de recuperação C-7320. O volume de gás total alimenta a seção inferior da coluna pré – saturadora (Contactor KO/ Presaturador Drum), D-7200. Nesta seção a temperatura do gás de reciclo é elevada pelo contato direto com uma corrente de água de lavagem de gases que flui da seção superior para seção inferior da coluna pré – saturadora.

O gás aquecido é então enviado para coluna contactora, D-7210, onde entra em contato contra – corrente com uma solução de carbonato de potássio vinda da coluna regeneradora (Regenerator/ Regenerator Feed Flash Drum), D-7220, reduzindo a concentração de dióxido de carbono presente no gás de reciclo. Na coluna contactora o carbonato de potássio é convertido a bicarbonato de potássio pela reação com o dióxido de carbono segundo a equação abaixo.



O gás de reciclo tratado, produto de topo da coluna contactora, é resfriado na seção superior da coluna pré – saturadora pela troca de calor através de contato direto com água de lavagem de gases que reduz a quantidade de água presente na alimentação do reator a níveis que não iniba a atividade do catalisador. O processo de lavagem do gás de reciclo tratado com água também garante a remoção completa de carbonato de potássio que possa ser arrastado junto com o gás de reciclo antes que retorne a seção de reação. O volume de água aquecida na seção superior da coluna pré – saturadora flui para seção inferior da coluna. A água de lavagem de gases resfriada sai pelo base da seção inferior da coluna e é recirculada através das bombas de água de lavagem para o topo da própria coluna passando antes através do refrigerador de água de lavagem, E-7201.

A solução rica em bicarbonato da base da coluna contactora flui para um vaso flash localizado na seção superior da coluna regeneradora por diferença de pressão provocada por um processo de expansão sofrido pelo gás de reciclo. No vaso flash da coluna regeneradora, essencialmente todos os hidrocarbonetos dissolvidos na solução de carbonato rica são recuperados em fase vapor pelo topo e resfriado pelo pós – refrigerador, E-7323, do compressor de recuperação, C-7320. Esse sistema garante que a concentração de



hidrocarbonetos presentes nos vapores ventado para atmosfera permaneçam em níveis de ppm.

A solução remanescente no vaso flash da coluna Regeneradora flui também por expansão até pressão de operação da coluna, que opera aproximadamente a pressão atmosférica.

Na coluna regenera, o CO<sub>2</sub> é desorvido (Stripping) da solução rica em bicarbonato através da degradação térmica do bicarbonato de potássio utilizando vapor, que é alimentado tanto diretamente pela injeção de vapor vivo, como indiretamente pelo refeedor da coluna regeneradora, E-7220. A reação de degradação térmica do bicarbonato de potássio está apresentada abaixo.



O vapor fornece calor para desabsorver o CO<sub>2</sub> e restabelecer o calor sensível perdido pelo gás de reciclo durante o processo de expansão. O balanço energético entre o vapor adicionado diretamente e indiretamente é ajustado de forma a manter a solução em aproximadamente 30% (peso) equivalente em carbonato. O topo da seção de regeneração contém principalmente CO<sub>2</sub> e água que são ventados para atmosfera. O glicol presente no vapor de topo da coluna regeneradora é produzido pela hidrólise de uma pequena quantidade de óxido de etileno presente no gás de reciclo que alimenta a coluna pré – saturadora.

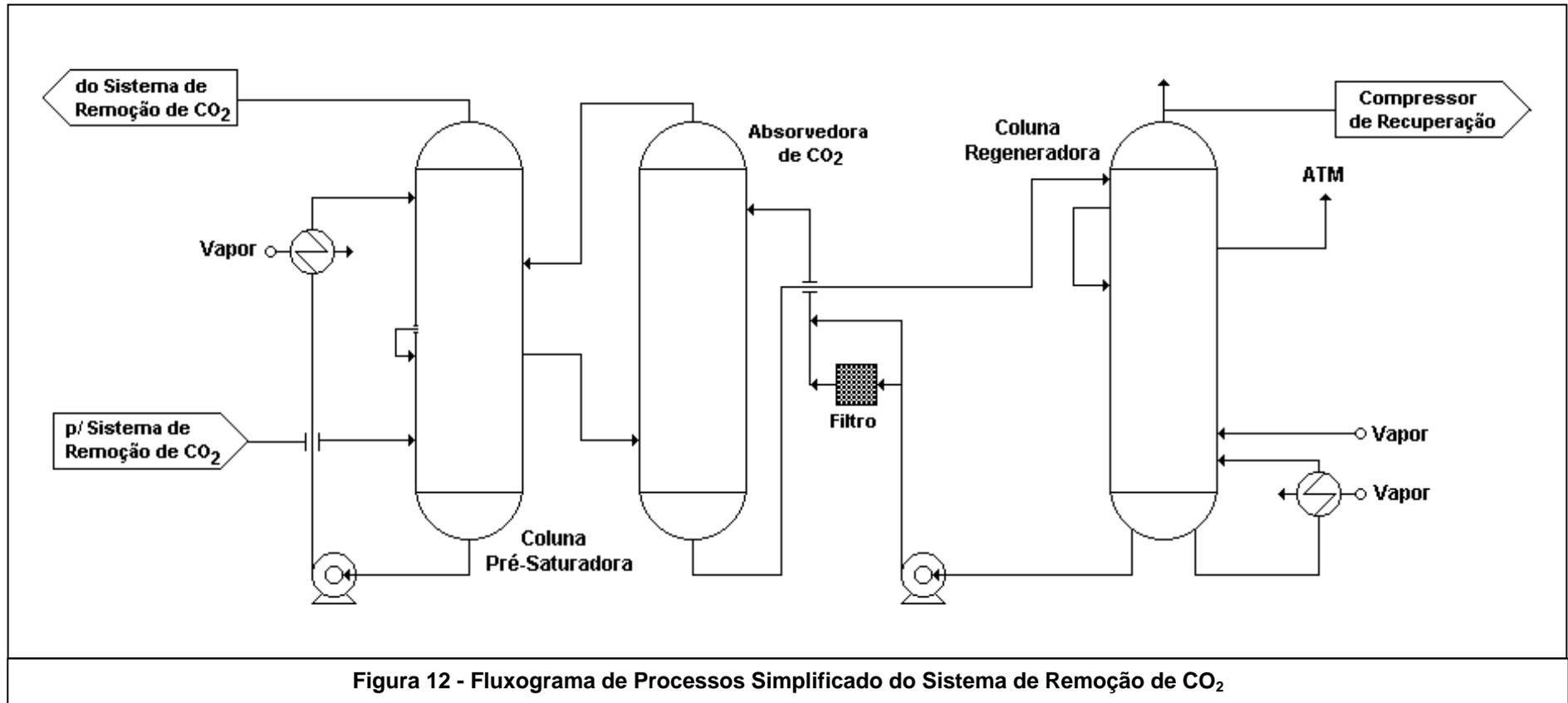
A solução de carbonato regenerada que sai pela base da seção de regeneração sofre expansão flash no vaso flash de carbonato, F-7221. A pressão do vaso é mantida pelo ejetor do vaso flash de carbonato, G-7221. O vapor recuperado é comprimido pelo ejetor e enviado de volta a seção de regeneração. A solução de carbonato regenerada que sai do vaso flash de carbonato é recirculada de volta para a coluna contactora via bombas de solução de carbonato. Para permitir a remoção de material particulado, uma parte da solução de carbonato regenerada é passado através do filtro de solução de carbonato, M-7220, antes de retornar a coluna contactora.

Para evitar a formação excessiva de espuma a solução deve ser mantida acima de 25% (peso) equivalente a K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Para concentrações da solução na faixa de projeto, a formação excessiva de espuma é minimizada pela adição contínua de uma pequena quantidade de agente anti – espumante.



A reposição de solução de carbonato é realizada por uma solução de KOH que é armazenada no tanque de estocagem de carbonato, F-7230, que é bombeado e combina-se com a solução de carbonato regenerada na entrada do vaso flash de carbonato. Durante as partidas da unidade, a solução de carbonato inicial é suprida pela dissolução de  $K_2CO_3$  com água desmineralizada no tanque de dissolução de carbonato, F-7231.

O fluxograma de processos simplificado da área de Sistema de Remoção de  $CO_2$  esta apresentado na Figura 12:





#### 4.1.4. Seção de Desorção (Stripping) e Reabsorção de Óxido de Etileno

A água de reciclo rica em óxido de etileno vinda da coluna de absorção (Scubber/ KO Drum), D-7115, passa através dos recuperadores de calor, E-7312 A/B, onde troca calor com o produto de fundo da coluna de desorção de óxido de etileno, D-7310. A água de reciclo rica em óxido é aquecida sofrendo vaporização flash no topo da coluna de desorção, sendo portanto o óxido de etileno recuperado como vapor no topo da coluna. O calor necessário para a desabsorção do óxido de etileno é suprido pela injeção direta de vapor vivo e indiretamente pelo refeedor da coluna, E-7310. O óxido de etileno é desorvido até atingir uma concentração pré determinada no produto de fundo da coluna. Além do óxido de etileno, etileno, etano, oxigênio, nitrogênio, argônio e metano dissolvidos na água de reciclo também são desabsorvidos.

A água de reciclo pobre em óxido que sai como produto de fundo da coluna de desorção é bombeada passando por dois trocadores recuperadores de calor em série, E-7311 A/B, que troca calor com a alimentação da coluna de desorção, água de lavagem rica, onde é resfriada. A água de lavagem pobre pré – resfriada é resfriada novamente em dois trocadores de calor dispostos em paralelo, E-7313 A/B, com água de refrigeração antes de retornar ao topo da coluna de absorção (Scrubber/ KO Drum), D-7115.

A concentração de glicóis aumenta devido a contínua formação de uma pequena quantidade de glicol no sistema de água de reciclo. A concentração de glicol é controlada por uma corrente de purga no sistema na saída dos recuperadores de calor e enviada para a unidade de tratamento de água de reciclo, U-7350, onde é deionizada e utilizada como refluxo nos evaporadores de glicol.

Uma pequena quantidade de agente anti – espumante é constantemente adicionado ao sistema de água de reciclo via sistema de injeção de anti – espumante para prevenir a formação excessiva de espuma.

Os produtos de topo da coluna desorção, óxido de etileno e gases dissolvidos, passam através dos aeros condensadores da coluna de desorção, E-7311 A/B/C/D, onde a maior parte da água e os componentes mais pesados são condensados. As duas fases que deixam os aeros – condensadores fluem até o vaso de refluxo da coluna, F-7311, onde as fases vapor e líquida são separadas. A fase líquida retorna completamente como refluxo da coluna enquanto a fase



vapor combina-se com o produto de topo da coluna de desorção de CO<sub>2</sub>, D-7340 e são enviados a coluna de reabsorção de óxido, D-7320.

O óxido de etileno presente na corrente gasosa é absorvido com água de processo na coluna de reabsorção. Dióxido de carbono e outros gases não condensáveis combina-se com uma corrente de metano, diluente, que são succionados pelo compressor de recuperação, C-7320, passando antes pelo vaso de retenção de líquido, F-7320, e comprimidos de volta a seção de reação através do sistema de remoção de CO<sub>2</sub>.

Para melhorar a absorção de óxido de etileno na seção inferior da coluna de reabsorção, parte do produto de fundo da coluna é resfriada e recirculada através do leito inferior da coluna. A corrente é resfriada no resfriador de fundo da coluna, E-7322, utilizando também um sistema de “bypass” para controlar e manter a temperatura em níveis desejados.

A água de processo que alimenta o topo da coluna de reabsorção vem de fora do limite de bateria do tanque de água de processo e é resfriada no trocador de calor, E-7321. O fluxo de água é ajustado de forma que a concentração de óxido de etileno no produto de fundo da coluna seja adequada. Uma pequena quantidade de água de reabsorção é desviada e alimenta uma coluna de lavagem de gases, D-7330, para remover o óxido de etileno presente nos gases ventados na seção de purificação. A solução com óxido absorvido que deixa a coluna alimenta o leito da coluna de reabsorção e o produto de topo da coluna é ventado para atmosfera. O produto de fundo da coluna de reabsorção é bombeada para a coluna de desorção de CO<sub>2</sub>, D-7340.

O fluxograma de processos simplificado da área de Sistema de Desorção e Reabsorção de Óxido de Eteno esta apresentado na Figura 13:

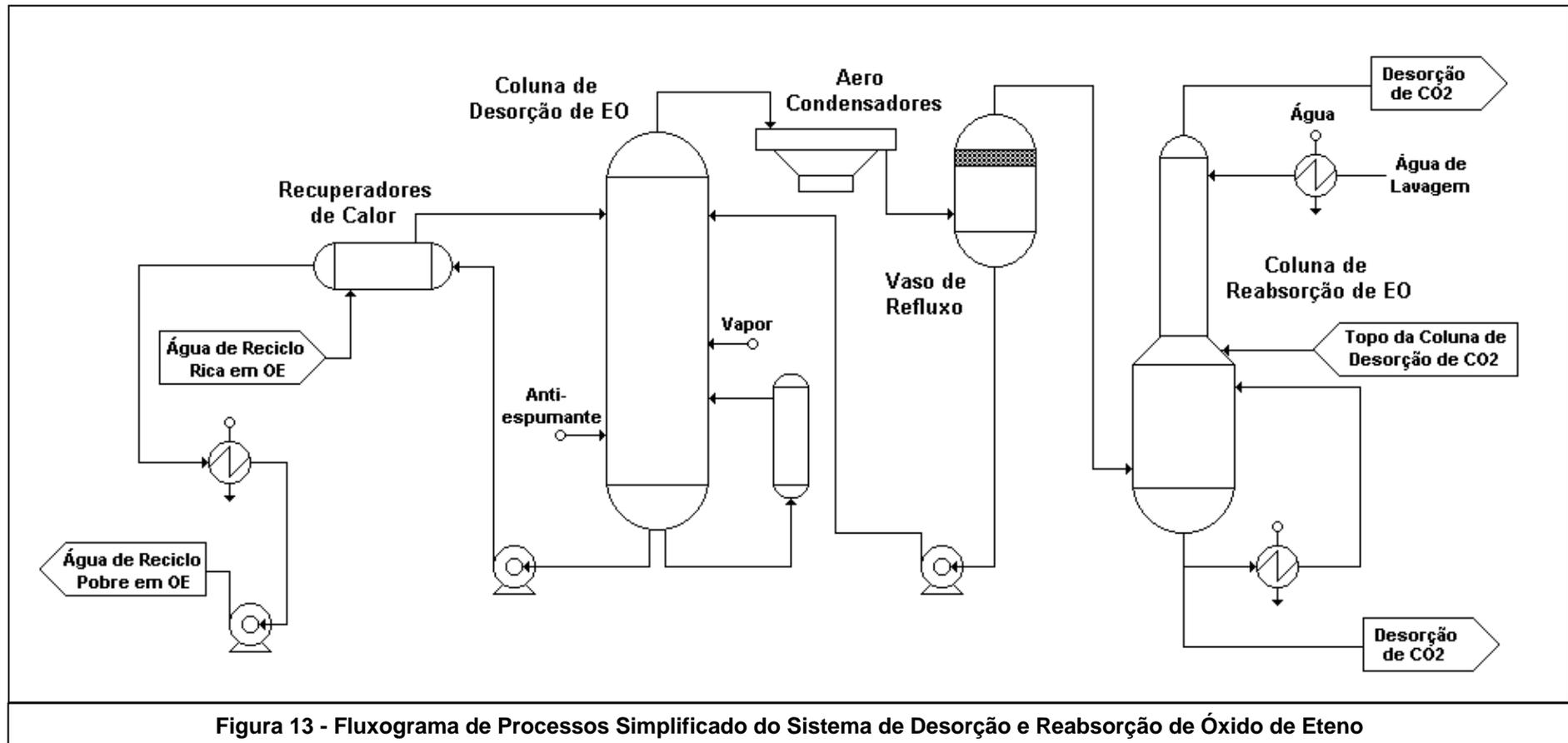


Figura 13 - Fluxograma de Processos Simplificado do Sistema de Desorção e Reabsorção de Óxido de Eteno



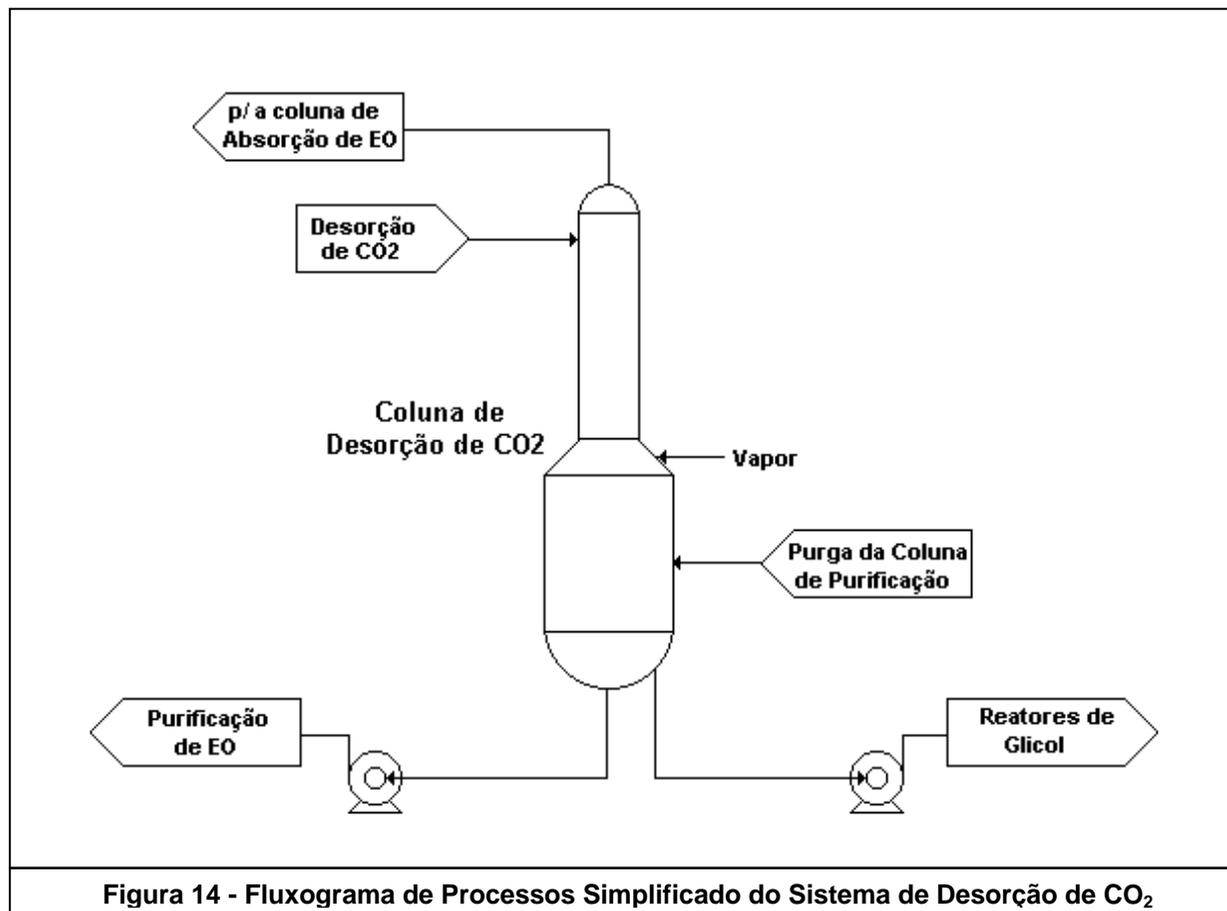
#### 4.1.5. Tratamento de Água de Reciclo e Desorção (Stripping) de CO<sub>2</sub>

O produto de fundo da coluna de reabsorção contém CO<sub>2</sub> dissolvido que pode provocar problemas de corrosão na unidade de glicol, onde a maioria dos equipamentos são construídos em aço carbono. Portanto, o dióxido de carbono presente no produto de fundo da coluna de reabsorção é removido na coluna de desorção de CO<sub>2</sub>, D-7340, pela injeção de vapor de baixa pressão pela seção inferior da coluna. o produto de topo da coluna é reciclado de volta a coluna de reabsorção.

O fluxograma de processos simplificado da área de desorção de CO<sub>2</sub> esta apresentado na Figura 14 em anexo.

A água de reciclo purgada do sistema de água é processada na unidade de tratamento de água de reciclo, U-7350, para remover uma pequena quantidade de impurezas ionizadas que são formadas nos reatores de óxido de etileno e no sistema de água de reciclo. A deionização da purga da água de lavagem é necessária para prevenir problemas de corrosão na unidade de glicol e permitir o uso da corrente para separação e produção de monoetilenoglicol.

Durante os ciclos de regeneração, água desmineralizada é utilizada para lavagem do leito ânion iônico com o propósito da eliminação de impurezas. Os efluentes dos ciclos de regeneração são enviados para os tanques de efluentes da unidade, onde é realizada a correção de pH e posteriormente descarregados no sistema de coleta de efluentes da fábrica. A água de reciclo tratada é utilizada com refluxo nos evaporadores de glicol.



## **4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DA PRODUÇÃO DE ETANOLAMINAS**

### **4.2.1. Reação e Recuperação de Amônia**

A produção de etanolaminas é realizada pela adição de óxido de etileno e amônia em solução em um reator tubular. Para que todo o óxido seja consumido no reator, injeta-se amônia excedente. Este excesso de amônia, em solução aquosa, é separado das etanolaminas através da Coluna de Stripper de Amônia, D-1530, e enviado para o Tanque de Solução Amoniacal, F-1521, onde a amônia em solução é reciclada para o reator. O make-up (reposição) de amônia é realizado na Coluna de Absorção de Amônia, D-1520, que é acoplada em cima do Tanque de Solução Amoniacal. As etanolaminas são enviadas para a seção de Secagem e Purificação.

### **4.2.2. Secagem e Purificação**

Nesta seção, remove-se a água restante e as aminas são refinadas e especificadas, gerando os produtos finais através de uma série de colunas de destilação que operam em vários níveis de vácuo.

O produto de fundo da Coluna de Stripper de Amônia é enviado por diferença de pressão para a Coluna de Secagem, D-1610. Nesta coluna, a água em mistura com as etanolaminas proveniente da solução amoniacal é retirada pelo topo e armazenada no Tanque de Água de Reciclo, F-1620. Esta água é retornada para o tanque F-1521 onde a amônia é dissolvida nela e retornada ao reator.

O produto de fundo, etanolaminas, passam por um conjunto de 4 colunas a fim de separar seus componentes: Monoetanolaminas (MEA), Dietanolaminas (DEA), Trietanolaminas (TEA) e Resíduos (TEA D – fração mais pesada das etanolaminas). Na primeira coluna de separação (Coluna de MEA, D-1640) separa-se pelo topo a MEA e os demais componentes saem pelo fundo. O produto MEA é então bombeado para a tancagem intermediária para análises e, após liberação, enviado para a tancagem final.

A Coluna de DEA Splitter, D-1660, é alimentada com o produto de fundo da Coluna de MEA. O objetivo desta coluna é de recuperar, pelo topo, resquícios de MEA que não foi retirada na D-1640.

O produto de fundo alimenta a Coluna de DEA, D-1650, após ser separado suas fases no Tambor de Flash, F-1656. No topo desta coluna obtemos DEA como produto. Este, é encaminhado para tancagem intermediária e, após análise e liberação, é bombeado para o tanque final.

A alimentação da Coluna de TEA, D-1670, é realizada pelo produto de fundo da D-1650. Como produto de topo desta coluna temos a TEA que é enviada para o tanque intermediário e em seguida para a tancagem final. E como produto de fundo temos a TEA D (fração pesada das etanolaminas). A TEA D é bombeada para a tancagem intermediária e então, segue para o tanque final.

### 4.3. BALANÇO HÍDRICO

**Antes de falar especificamente sobre o balanço hídrico, partiremos do princípio discutindo sobre o balanço de materiais de uma forma geral, já que o balanço hídrico nada mais é do que um balanço de massa com apenas um componente, a água.**

#### 4.3.1. Balanço de Materiais

Para efeito de balanço de material, um *sistema* pode ser definido como uma região, com limites definidos arbitrariamente, na qual entram e saem correntes de matéria contendo uma ou mais espécies químicas, que interagem ente si no interior dos referidos limites. Pode ocorrer que dois ou mais sistemas troquem energia. Nesse caso eles podem ser agrupados num bloco. Os balanços materiais devem ser feitos por sistema. Os balanços de energia deverão ser feitos para o bloco.

Seja então um sistema no qual entram  $p$  correntes e do qual saem  $q$  correntes:

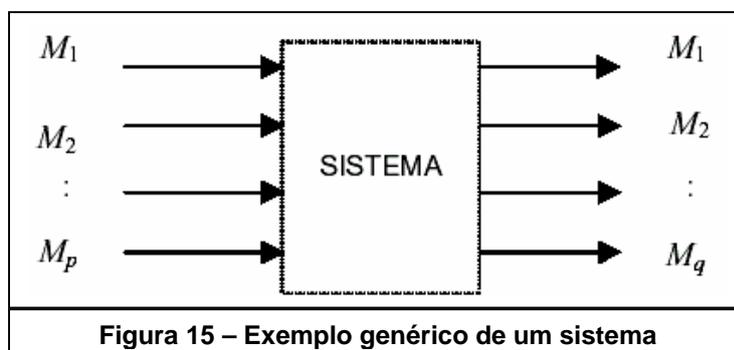


Figura 15 – Exemplo genérico de um sistema

$M_j$  é a taxa (molar ou mássica) de entrada no sistema através da corrente  $j$ ;  $j = 1 \dots p$ ;

$M_k$  é a taxa (molar ou mássica) de saída do sistema através da corrente  $k$ ;  $k = 1 \dots q$ ;

As taxas de entrada e saída de matéria podem variar com o tempo, podendo ficar nulas por determinados períodos. Em sistemas que operam em bateladas (*descontínuos*), em geral as taxas de saída são nulas durante o carregamento. Depois podem ser todas nulas durante o período de processamento. Finalmente, durante a descarga, apenas as taxas de entrada são nulas.

Sistemas de *fluxos contínuos* são aqueles no qual matéria é alimentada e retirada continuamente.

As taxas de entrada ou saída de massa de um sistema são também chamadas *vazões mássicas*. As unidades de vazão mássica resultarão da relação entre uma unidade de massa e uma de tempo (M/T). No S.I. a unidade de vazão mássica é kg/s.

*Vazão molar* é a taxa de entrada ou saída de matéria em que são usadas quantidades molares (moles ou kmoles, por exemplo). As taxas de entrada ou de saída de matéria podem ser também expressas em termos de *vazão volumétrica*. As unidades de vazão volumétrica serão dadas pela relação de uma unidade de volume por uma de tempo ( $L^3/T$ ). No S.I. a unidade de vazão volumétrica é  $m^3/s$ . A equação (4.1) não é geralmente válida para taxas molares ou volumétricas.

Um sistema é definido como em *estado estacionário* quando todas as taxas de alimentação e retirada são constantes e quando não existe acúmulo ou perda de massa no seu interior.

Define-se *fração mássica* de um componente numa corrente como a relação entre a taxa mássica desse componente em relação à taxa total:

$$X_i = \frac{m_i}{M} \quad (4.1)$$

Onde  $m_i$  é a taxa de entrada (molar ou mássica) do componente  $i$  numa corrente qualquer ( $i = 1 \dots n$ ) e  $M$  é a taxa mássica total dessa corrente.

*Fração molar* é definida de forma semelhante, substituindo as taxas mássicas por taxas molares.

A soma das frações mássicas ou molares será

$$\sum X_i = \sum \frac{m_i}{M} \quad (4.2)$$

Sendo

$$\sum m_i = M \quad (4.3)$$

Então,

$$\sum X_j = 1 \quad (4.4)$$

### 4.3.2 Balanço de Materiais em Sistemas Sem Reações Químicas

#### 4.3.2.1. Balanço Global

A lei da conservação da matéria garante que, num determinado instante, a taxa total de entrada de massa num sistema é igual à taxa total de massa que sai dele mais a taxa molar ou mássica de acúmulo de massa no seu interior. Em termos matemáticos:

$$\sum M_j = \sum M_k + dM_{ac}/dt \quad (4.5)$$

onde  $dM_{ac}/dt$  é a taxa (molar ou mássica) de acúmulo no sistema. Em estado estacionário,  $dM_{ac}/dt = 0$ .

Assim

$$\sum M_j = \sum M_k \quad (4.6)$$

#### 4.3.2.2. Balanço por Componentes

Para um sistema no qual estão envolvidos  $n$  componentes, o balanço de massa para cada componente será

$$\sum m_{i,j} = \sum m_{i,k} + dm_{ac,i}/dt \quad (4.7)$$

onde  $dm_{ac,i}/dt$  é a taxa (molar ou mássica) de acúmulo do componente  $i$  no sistema. Em estado estacionário,  $dm_i/dt = 0$  então,

$$\sum m_{i,j} = \sum m_{i,k} \quad (4.8)$$

*O objetivo dos balanços materiais é conhecer todas as taxas de entrada e saída do sistema.*

Para sistemas com  $n$  componentes, e  $c$  correntes ( $c = p + q$ ), existem  $n \times c$  variáveis para as taxas dos componentes individuais e  $c$  variáveis para as taxas totais. Portanto, existem  $n \times c + c$  variáveis cujos valores devem ser determinados.

O número total de equações será, portanto,  $n + c$ .

O número de informações ( $N$ ) que define matematicamente o problema será a diferença entre o número total de variáveis e o número total de equações que podem ser escritas:

$$N = n \times c + c - (n + c). \quad (4.9)$$

Rearranjando e simplificando, vem:

$$N = n \times (c - 1) \quad (4.10)$$

Se o regime não for estacionário o número  $N$  deverá ser acrescido das  $n$  taxas de acúmulo dos componentes no sistema.

As variáveis que devem ser fixadas podem ser taxas ou relações entre as taxas. O número de graus de liberdade  $N$  determina quantas variáveis devem ser fixadas, mas não quais devem ser essas variáveis. Em sistemas simples, o problema fica matematicamente

definido se for conhecido o valor de pelo menos uma das taxas, não nula, total ou individual, de entrada ou saída do sistema.

As correlações mais comuns entre as taxas de entrada e saída do sistema são as frações mássicas (ou frações molares).

Para determinar os valores desconhecidos será necessário montar um sistema com  $E$  equações, dado por:

$$E = c \times (n + 1) - v \quad (4.11)$$

onde  $v$  é o número de dados de taxas (ou vazões).

### 4.3.3 Balanço de Materiais em Sistemas Com Reações Químicas

As Equações escritas para o balanço de massa global são válidas também para sistemas nos quais ocorrem reações químicas. Em termos de balanço molar, porém, elas nem sempre se verificam porque o número de moléculas dos produtos nem sempre é igual ao dos reagentes.

As equações de balanço material por componente, porém, são válidas, tanto em termos mássicos como em termos molares, desde que se inclua a taxa de transformação química do componente no interior do sistema. A equação do balanço material para o componente  $i$  fica:

$$\sum m_{i,j} + dm_{i \text{ reação}}/dt = \sum m_{i,k} + dm_{ac,i}/dt \quad (4.12)$$

onde

$dm_{\text{reação}}/dt$  é a taxa de transformação química do componente  $i$  no sistema.

Se o sistema está em regime estacionário, então  $dm_{ac}/dt = 0$  e  $dm_{\text{reação}}/dt$  é constante.

$$\sum m_{i,j} + m_{\text{reação}} = \sum m_{i,k} \quad (4.13)$$

Também neste caso existirão  $n \times c + c$  variáveis cujos valores devem ser determinados.

Para  $r$  reações independentes, essas equações conterão  $n \times c + c + r$  variáveis, sendo  $n \times c + c$  valores de taxas de entrada e saída e  $r$  valores das taxas das reações envolvidas. Assim, o número de informações complementares ( $N_r$ ) necessárias para definir matematicamente o problema será :

$$n \times c + c + r - (n + c) \quad (4.14)$$

Rearranjando e simplificando, vem:

$$N_r = n \times (c - 1) + r \quad (4.15)$$

As  $N_r$  informações podem ser valores das taxas ou relações entre eles. Para que o problema fique matematicamente definido, é necessário que seja conhecido o valor de pelo menos uma das taxas de entrada ou saída do sistema ou o valor de pelo menos uma taxa de cada grupo de reações independentes. Os valores das taxas das reações envolvidas, porém, podem não estar diretamente explicitados.

O número de equações ( $E_r$ ) que deve necessário para resolver um sistema com reação química será:

$$E_r = c \times (n + 1) - v + r \quad (4.16)$$

#### 4.3.4 Balanço de Materiais em Sistemas Múltiplos

Seja um conjunto de  $s$  sistemas interligados por  $c$  correntes, onde estão presentes  $n$  componentes e onde não ocorrem reações químicas. O número total de variáveis que o sistema pode conter é dado por  $c \times (n + 1)$ . Agora poderão ser escritas  $n \times s$  equações de balanço material mais  $c$ . O número total de equações será então  $n \times s + c$ .

O número de graus de liberdade  $N_m$  é obtido pela diferença entre o número de variáveis e o número de equações:

$$N_m = c \times (n + 1) - (n \times s + c) \quad (4.17)$$

Simplificando, vem

$$N_m = n \times (c - s) \quad (4.18)$$

Se no conjunto de sistemas ocorrerem  $r$  reações independentes, então o número de graus de liberdade deverá ser acrescido de  $r$ .

$$N_{m,r} = n \times (c - s) + r \quad (4.19)$$

O número de equações que são necessárias para resolver o sistema será

$$E_{m,r} = c \times (n + 1) - v + r \quad (4.20)$$

## 4.4 PERDA DE CARGA

### 4.4.1. Fluido

Um fluido é definido como uma porção de matéria que se deforma quando submetido a uma força cortante. Decorre dessa definição que um fluido estará em repouso (estático) sempre que não existir qualquer força cortante agindo sobre ele.

Fluidos são constituídos por moléculas e, portanto, quando considerados a nível microscópico, eles são descontínuos. As teorias desenvolvidas para prever os movimentos das moléculas tomadas individualmente são muito complexas. Mesmo a teoria da cinética dos gases e a mecânica estatística, que vão ao nível microscópico, consideram grupos estatísticos de moléculas em vez de moléculas individuais. Na prática da engenharia é comum tratar os fluidos na sua forma macroscópica e considerá-los como meios contínuos. Os resultados serão válidos desde que o número de moléculas seja grande o suficiente para que a média estatística de suas propriedades seja válida, ou seja, varie de forma praticamente contínua de ponto a ponto.

#### 4.4.1.1 Fluido em Movimento

##### A equação do movimento

Para um fluido que passa através de uma superfície, pode ser definido o fluxo de quantidade de movimento como o produto do fluxo de massa pela velocidade.

$$\text{Fluxo de quantidade de movimento} = (\rho \cdot v) \cdot v \quad (4.21)$$

Esse tipo de transferência de quantidade de movimento é chamado convecção. Um outro tipo de fluxo de quantidade de movimento ocorre de molécula a molécula por causa dos gradientes de velocidade gerados pelas forças de tensão (forças viscosas). Além da convecção e das forças viscosas, as forças externas que também afetam a quantidade de movimento do sistema são as forças resultantes da pressão e as do campo gravitacional.

O princípio da conservação da quantidade de movimento (2ª lei de Newton) garante que, para um sistema isolado constituído de pontos materiais, a quantidade de movimento (QM) se mantém constante, a não ser que sejam aplicadas forças externas sobre ele:

$$\{\text{Taxa de acúmulo de QM}\} = \{\text{Taxa de entrada de QM}\} - \{\text{Taxa de Saída de QM}\} + \{\Sigma\text{Forças externas}\} \quad (4.21)$$

Assim, a variação da quantidade de movimento de um sistema em relação ao tempo resultará da combinação da quantidade líquida que entra no sistema por convecção,  $(\rho.v).v$ , devida às tensões geradas pelas forças viscosas ( $\tau$ ), a resultante das forças de pressão externa (P) e das forças de campo gravitacional ( $mg$ ). Para um volume infinitamente pequeno pode ser demonstrado que:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho v = -[\nabla \cdot \rho v v] - \nabla P - [\nabla \cdot \tau] + \rho g \quad (4.22)$$

onde:

$\partial/\partial t .\rho v$  é a taxa acúmulo de quantidade de movimento ( $M/L^2T^2$ );

$[\nabla.\rho v v]$  é a taxa de variação da quantidade de movimento devida à convecção;

$\nabla P$  é a taxa de variação da quantidade de movimento devida à pressão;

$[\nabla.\tau]$  é a taxa de variação da quantidade de movimento devida a forças viscosas;

$\rho g$  é a taxa de variação da quantidade de movimento devida à força gravitacional;

A equação (4.22) é a Equação do Movimento em notação vetorial. De acordo com essa notação, os colchetes significam que, depois de efetuadas operações indicadas em seu interior, serão obtidos vetores.

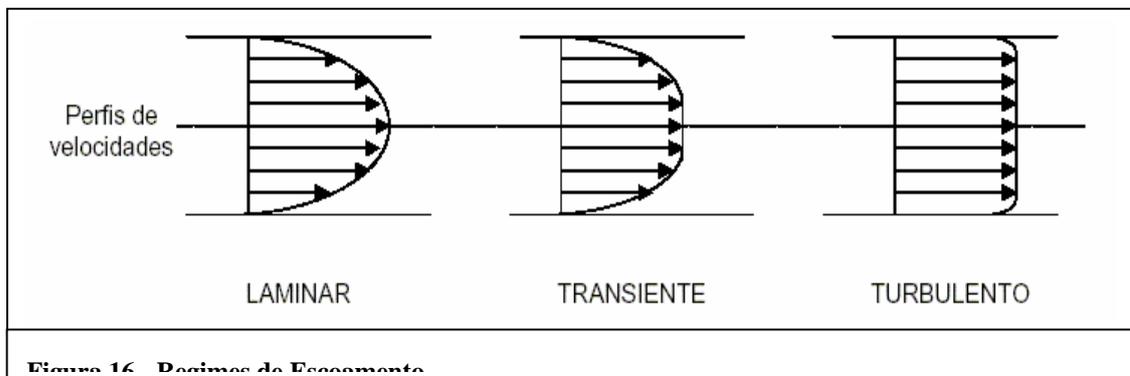
Aplicando a Equação do Movimento para um sistema de três coordenadas que acompanha o movimento do fluido, considerando a densidade constante, as tensões das forças viscosas constante e que o sistema se movimenta juntamente com o fluido, obtêm-se:

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + \rho g \quad (4.23)$$

onde  $\mu$  é a viscosidade do fluido. A Equação acima é a equação de Navier-Stokes, desenvolvida em 1822, para descrever o movimento de um fluido no espaço.

### Regimes de escoamento

De acordo com os experimentos realizados por Reynolds (1883), o escoamento de fluidos pode ser classificado em três categorias: regime laminar, regime de transição e regime turbulento. Esses regimes refletem a forma como grupos de moléculas se deslocam no interior da massa de um líquido em movimento. Os perfis de velocidade correspondentes a cada regime de escoamento no interior de um duto circular estão mostrados na Figura 16.



O regime de escoamento de um fluido pode ser determinado através de um número adimensional chamado Número de Reynolds ( $Re$ ), definido pela equação abaixo:

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (4.24)$$

onde:

$v$  é a velocidade média de deslocamento do fluido;

D é o diâmetro da seção tubular por onde escoo o fluido;

$\rho$  é a densidade do fluido;

$\mu$  é a viscosidade do fluido;

O regime será laminar para  $Re < 2100$ , de transição para  $Re$  entre 2100 e 3000 e turbulento para  $Re > 3000$ .

### **Fluxo de fluidos em dutos**

A densidade dos líquidos é pouco afetada pela temperatura e muito pouco pela pressão, na maioria dos casos. Assim, as equações gerais que descrevem o movimento de líquidos podem ser consideravelmente simplificadas quando se desconsidera o efeito da temperatura e da pressão sobre a densidade. Além disso, muitas equações empíricas foram desenvolvidas, permitindo uma simplificação adicional em muitos casos. Os gases, por sua vez, são compressíveis, isto é, a sua densidade é consideravelmente afetada pela pressão. Assim, em princípio, as equações simplificadas do movimento não podem ser usadas. Para pequenas variações relativas de pressão, o erro cometido, assumindo densidade constante, pode ser pequeno o suficiente para usar as equações que consideram a densidade constante.

#### Perda de Carga

A Perda de Carga em um escoamento decorre do atrito interno entre partículas do fluido em movimento (turbulência) e do atrito do fluido com as paredes do conduto.

A equação semi-empírica que pode e deve ser utilizada em todas as situações e para todo e qualquer fluido é a expressão de Darcy-Weisbach, conhecida como Fórmula Universal:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4.25)$$

onde:

$h_f$  é a perda de carga (L)

$f$  é o fator de fricção (adimensional)

- L é o comprimento do duto (L)  
 D é o diâmetro interno do tubo (L)  
 v é a velocidade do fluido (L/T)  
 g é a aceleração da gravidade (L/T<sup>2</sup>)

Face às dificuldades na quantificação do fator de atrito  $f$ , no meio técnico são ainda bastante comuns as chamadas fórmulas práticas, obtidas de forma empírica por diversos pesquisadores, pela observação de inúmeras situações, com o tratamento estatístico dos dados.

Para aplicar a Equação 06 é necessário levar em conta o regime de escoamento do fluido. Em regime laminar o movimento predominante dos agrupamentos de moléculas é na direção do movimento do fluido como um todo. A perda de carga decorre das colisões entre as moléculas ou grupos de moléculas, ou seja, dos efeitos viscosos. As colisões de moléculas do fluido com as paredes do duto não têm efeito significativo. Assim, o fator de fricção é determinado como segue abaixo.

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4.26)$$

Para escoamento em regime turbulento, os efeitos viscosos são menos significativos e a perda de carga é mais afetada pelo atrito das moléculas do fluido entre si e com as paredes do duto. Agora, o fator de fricção dependerá da rugosidade da tubulação ( $\varepsilon$ ).

Existem várias equações empíricas desenvolvidas para determinar o fator de fricção em função do número de Reynolds, da rugosidade e do diâmetro da tubulação. A mais precisa é a de Colerbrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,868589 \cdot \ln \left[ \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (4.27)$$

onde:

- $\varepsilon$  é a rugosidade da tubulação (L)  
 D é o diâmetro interno do tubo (L)

O inconveniente da equação demonstrada é que ela não é explícita para  $f$ , obrigando a utilizar métodos iterativos para sua determinação. Para evitar esses métodos, foram construídos diagramas, conhecidos como diagramas de Moody, em que  $f$  pode ser lido em função do número de Reynolds e a rugosidade relativa da tubulação ( $\varepsilon/D$ ).

Existem equações em que  $f$  é explícito, tais como:

$$f = \frac{1}{\left( A - \frac{(B - A)^2}{C - 2 \cdot B + A} \right)^2} \quad (4.28)$$

$$A = -0,868589 \cdot \ln(0,27 \cdot \varepsilon/D + 12/Re)$$

$$B = -0,868589 \cdot \ln(0,27 \cdot \varepsilon/D + 2,51 \cdot A/Re)$$

$$C = -0,868589 \cdot \ln(0,27 \cdot \varepsilon/D + 2,51 \cdot B/Re)$$

Uma equação mais simples, porém menos precisa que as anteriores, é a equação de Churchill (1973), também válida para  $Re > 2.100$ :

$$f = \frac{1,3255}{\left[ \ln \left( 0,27 \cdot \frac{\varepsilon}{D} + \left( \frac{5,74}{Re} \right)^{0,9} \right) \right]^2} \quad (4.29)$$

As instalações para transporte de fluidos sob pressão, de qualquer porte, são constituídas por tubulações montadas em seqüência, unidas por acessórios de natureza diversa como válvulas, curvas, derivações, registros, conexões de qualquer tipo e, eventualmente, uma máquina hidráulica como uma bomba ou uma turbina. Nos trechos retilíneos, de diâmetro constante e de mesmo material, a perda de carga unitária é constante, desde que o regime seja permanente.

A presença de qualquer um destes acessórios concorre para que haja, localmente, alteração de módulo ou de direção da velocidade média e, conseqüentemente, de pressão. Há, portanto, um acréscimo de turbulência que produz perdas de carga que devem ser somadas às perdas distribuídas. Tais perdas recebem o nome de Perdas de Carga Localizadas ou Perdas de Carga Singulares.

Para a maioria dos acessórios e conexões utilizados não existe um tratamento analítico para o cálculo da perda de carga. É um campo experimental, pois a avaliação dessas perdas depende de diversos fatores de difícil quantificação.

De forma geral, para cada acessório a perda de carga pode ser expressa por uma equação do tipo:

$$h_l = K_f \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.30)$$

onde K é um coeficiente adimensional que depende da geometria da conexão, do número de Reynolds, da rugosidade da parede e, em certos casos, das condições do escoamento. V é uma velocidade de referência, em geral a velocidade média.

Os valores de  $K_f$  podem ser obtidos através da equação:

$$K_f = K_1/Re + K_\infty \cdot (1 + 0,0254/D) \quad (4.31)$$

Onde D é o diâmetro interno da tubulação em metros.

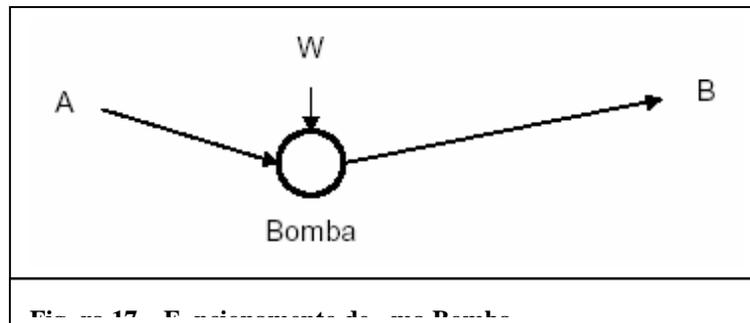
## 4.5 BOMBAS

Bombas podem ser definidas como equipamentos usados para movimentar líquidos entre um ponto e outro onde a soma das energias externa, cinética e potencial é maior. Casos desse tipo são muito comuns em quase todos os tipos de instalações industriais.

Entretanto, existe muita variedade quanto às características físico-químicas do líquido a ser transferido, a vazão, as diferenças de pressão e as distâncias e elevações entre esses pontos. Assim, existe uma grande variedade de tipos de bombas, cada um deles projetado para atender melhor cada caso específico.

### Consumo de Potência

O consumo de potência numa bomba é determinado pelas características do sistema ao qual ela deve atender. O problema pode ser colocado nos seguintes termos: seja transferir uma vazão mássica  $Q_m$  de um líquido de um ponto A, a uma elevação  $z_a$  para um ponto B, a uma pressão  $P_b$  e uma elevação  $z_b$ . No ponto A as condições do líquido são: pressão  $P_a$ , temperatura  $T_a$  e densidade  $\tilde{a}$ . Para fazer a transferência, uma bomba é instalada num ponto qualquer entre A e B. As conexões entre o ponto A e a bomba e dela até o ponto B são feitas através de tubulações, como mostrado na Figura 17.



A bomba pode ser considerada um sistema de fluxo contínuo que recebe energia mecânica através de um eixo. Em geral, a energia térmica trocada através da carcaça da bomba pode ser desprezada. A Primeira Lei da Termodinâmica pode ser aplicada a esse sistema:

$$U_d + P_d V_d + m v_d^2 / 2 + m g z_d - (U_s + P_s V_s + m v_s^2 / 2 + m g z_s) = W \quad (4.32)$$

Os índices  $d$  e  $s$  indicam "descarga" e "sucção", respectivamente.

Em geral, as cotas  $z_s$  e  $z_d$  poderem ser consideradas as mesmas e assim os termos  $mgz_s$  e  $mgz_d$  se cancelam. O mesmo ocorre com os termos de energia cinética se as diferenças entre as velocidades do fluido na sucção e na descarga não forem muito grandes. Fazendo essas simplificações, dividindo a expressão restante por tempo, e substituindo  $V/t$  por  $Q_v$  (vazão volumétrica), têm-se:

$$U_d/t + P_d Q_{vd} - (U_s/t + P_s Q_{vs}) = W/t \quad (4.33)$$

Fluidos incompressíveis tem densidade constante. Portanto a vazão volumétrica na sucção pode ser considerada igual à vazão volumétrica na descarga:  $Q_{vd} = Q_{vs} = Q_v$ . A expressão acima pode ser então rearranjada para:

$$P = W/t = (\Delta U)/t + Q_v(P_d - P_s) \quad (4.34)$$

A equação anterior mostra que a energia mecânica total transferida pelo eixo da bomba para o fluido se transforma parte em energia de pressão e parte em energia interna, que se traduz por um aumento da temperatura do fluido que está sendo bombeado. Em geral, o aumento de temperatura não é o objetivo do bombeamento.

Definindo então a **eficiência** da bomba ( $\eta$ ) como a relação energia utilizada no aumento da energia de pressão e a energia total transferida pelo eixo, teremos:

$$\eta = \frac{Q_v(P_d - P_s)}{P} \quad (4.35)$$

Rearranjando, têm-se:

$$P = \frac{Q_v(P_d - P_s)}{\eta} \quad (4.36)$$

Nos cálculos de bombas é comum substituir a diferença de pressão entre a descarga e a sucção pela altura manométrica, que equivale a uma altura de líquido que daria a mesma diferença de pressão:

$$P_d - P_s = \rho gh \quad (4.37)$$

A equação fica então:

$$P = \frac{Q_v \rho gh}{\eta} \quad (4.38)$$

### Cavitação

A maior parte das bombas tem duas regiões internas: uma região onde ocorre a sucção do líquido no interior da carcaça, onde a pressão cai devido à turbulência e à fricção e uma região de compressão onde o líquido é comprimido até a o ponto de descarga. Se na região de sucção a pressão cair até a pressão de vapor do líquido, este entrará em ebulição incipiente, formando-se bolhas de vapor. Ao passar para a região de compressão, as bolhas se condensam rapidamente no interior do líquido e contra as partes internas da carcaça ou rotor da bomba. Fenômeno semelhante pode ocorrer quando o líquido contém gases dissolvidos. Ao se reduzir a pressão os gases se desprendem, voltando a se dissolver quando a pressão aumenta. Esse fenômeno é chamado cavitação. Ele é sempre danoso, podendo causar vibrações excessivas e erosão das partes internas da bomba.

Para evitar o fenômeno da cavitação é necessário que a pressão No interior da bomba seja sempre suficientemente alta para que não ocorra vaporização ou desprendimento de gases. A diferença entre a pressão absoluta do líquido num ponto qualquer e a sua pressão de saturação é chamada "Net Positive Suction Head", abreviada para NPSH.

O NPSH disponível ( $NPSH_d$ ), geralmente determinado no bocal de sucção da bomba, é

$$NPSH_d = P_{suc} - P^{Sat} \quad (4.39)$$

onde:

$P_{suc}$  é a pressão absoluta no bocal de sucção da bomba

$P^{Sat}$  é a pressão de saturação do líquido nas condições de bombeamento.

Depois que o líquido passa pelo bocal de sucção da bomba, ele entra na região da admissão onde a pressão diminui ainda mais. Em seguida ele passa para a região de bombeio onde a pressão sobe até a pressão de descarga. A cavitação pode ocorrer na região de admissão. Assim, é necessário garantir que nessa região a pressão esteja sempre acima da pressão de saturação do líquido. A perda de pressão na região de admissão é o NPSH requerido pela bomba ( $NPSHr$ ).

Os fabricantes de bombas geralmente fornecem curvas em que é indicado o  $NPSHr$  em função da vazão volumétrica de líquido, para que não ocorra cavitação. Sempre que for especificada uma bomba será necessário verificar o NPSH disponível, que deverá ser sempre maior que o NPSH requerido.

## 5

---

### ATIVIDADES REALIZADAS

#### 5.1. BALANÇO HÍDRICO NA UNIDADE DE ÓXIDO II

**O Balanço Hídrico consiste em quantificar toda água consumida para fins industriais na Unidade Oxiteno Camaçari. Elaborar este balanço visa ampliar não só o conhecimento sobre a quantidade de água consumida, mas também de todo efluente que é gerado na Unidade. Foi feito um balanço baseado nas linhas reais do processo com dados obtidos dos painéis da sala de controle. Comporá o balanço os seguintes tipos de água:**

- ▣ **Água Desmineralizada;**

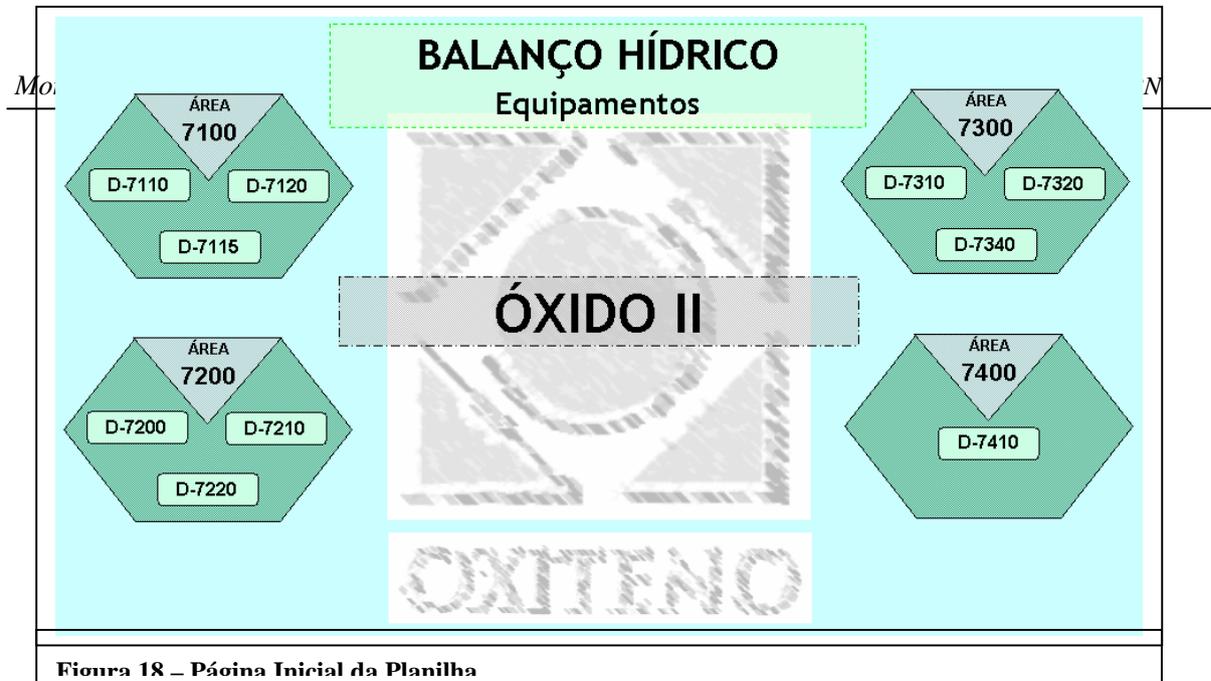
- ☐ **Água Clarificada;**
- ☐ **Água Potável;**
- ☐ **Água Produzida no Processo.**

**Em nosso projeto, foi realizado o balanço hídrico apenas para a unidade de Óxido II devido o tempo disponível para o estágio ser curto. Entretanto este trabalho serve como base para todas as outras unidades: Óxido I, Glicóis, MEG GI, Éteres, Aminas, Etoxilados e Utilidades.**

### **5.1.1. Procedimento de Trabalho**

Iniciou-se tomando as seguintes condições:

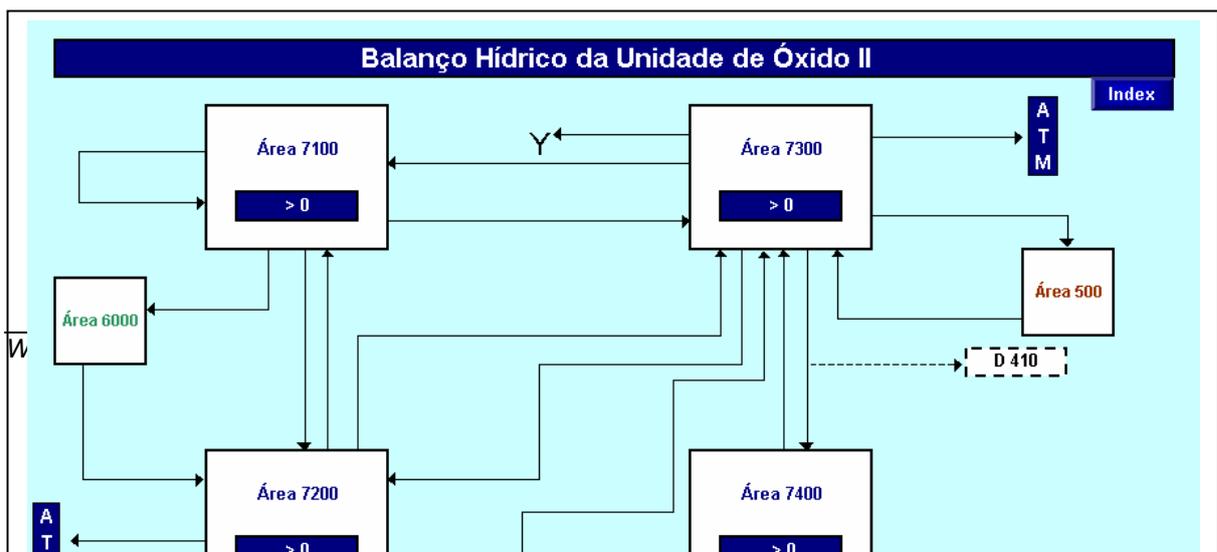
- ☐ Preparou-se uma planilha de cálculo no programa Microsoft Excel;
- ☐ Primeiramente catalogou-se as correntes de entrada e saída por área. Tendo em mãos suas vazões reais, a partir de consultas aos painéis da sala de controle, fez-se a diferença entre os valores de saída e os valores de entrada das correntes do sistema em kg/h;
- ☐ Verificou-se as áreas em que ocorriam geração ou consumo de água;
- ☐ Partindo-se da Seletividade da reação, considera somente a água gerada na reação, tendo em vista que uma tendência da reação de produção de óxido é a formação de CO<sub>2</sub> e água;
- ☐ Este resultado é obtido por balanço estequiométrico da reação de formação de CO<sub>2</sub> e água, obtendo-se assim a quantidade de água formada nos dois reatores;
- ☐ A partir daí, segue-se o caminho da água pela planta com o auxílio dos fluxogramas de processo.



### 5.1.2. Balanço Hídrico Global

Foi realizado inicialmente o balanço hídrico dividindo-o por área. A unidade de Óxido II apresenta as seguintes áreas: 7100 (Reação e Absorção), 7200 (Seção de Carbonato), 7300 (Stripping e Re - absorção) e 7400 (Purificação).

Assim, seu balanço está descrito na figura 19.



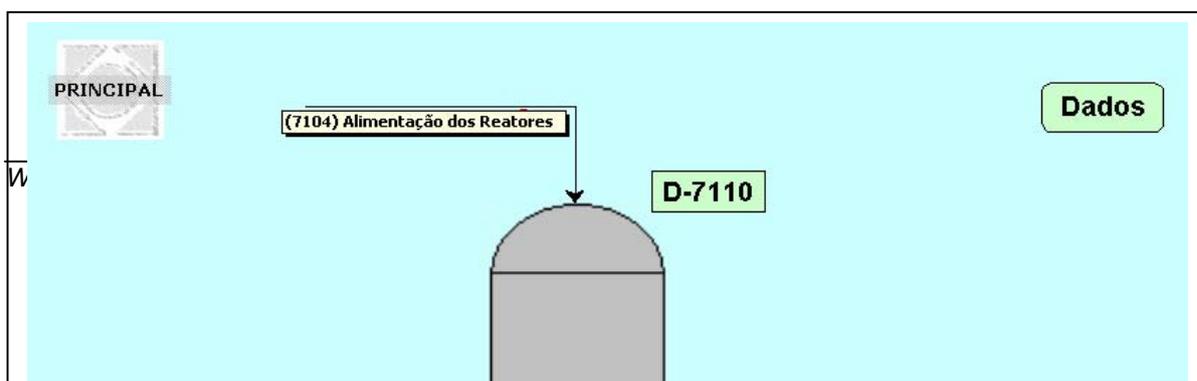
Os quadros preenchidos em azul e escritos com letras brancas mostram se há acúmulo de água. As áreas 500 e 6000 representam a Unidade de Glicóis e Utilidades, respectivamente.

Analisando a figura 19, percebemos que todas as áreas apresentadas mostram acúmulos. Entretanto, a planta de Óxido II trabalha de maneira contínua e em estado estacionário, por isso, concluímos que os dados coletados mostram valores incoerentes. Com isso, resolvemos fazer o balanço hídrico para os principais equipamentos de cada área, para assim, encontrarmos a causa desta incoerência.

### 5.1.3. Balanço Hídrico Para a Área 7100

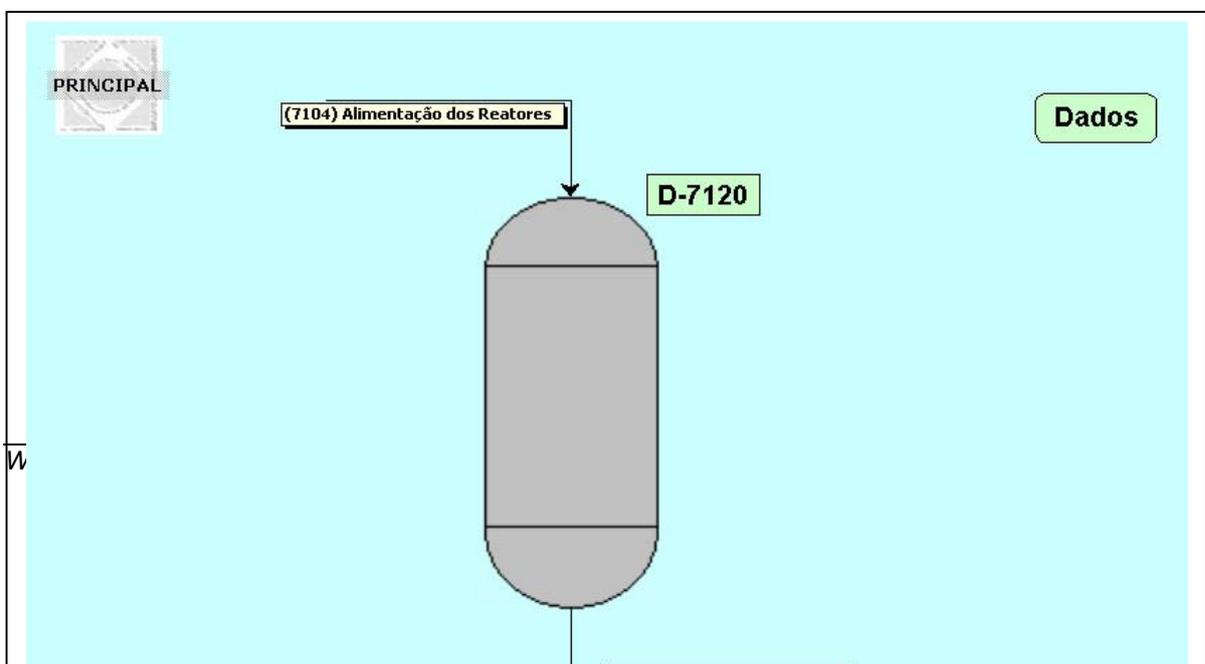
A Área 7100 é composta pelo sistema de Reação e Absorção de Óxido de Etileno e tem como principais equipamentos os Reatores de Óxido (D-7110 e D-7120) e a Coluna de Absorção de Óxido (D-7115).

#### 5.1.3.1. Reator de Óxido: D-7110



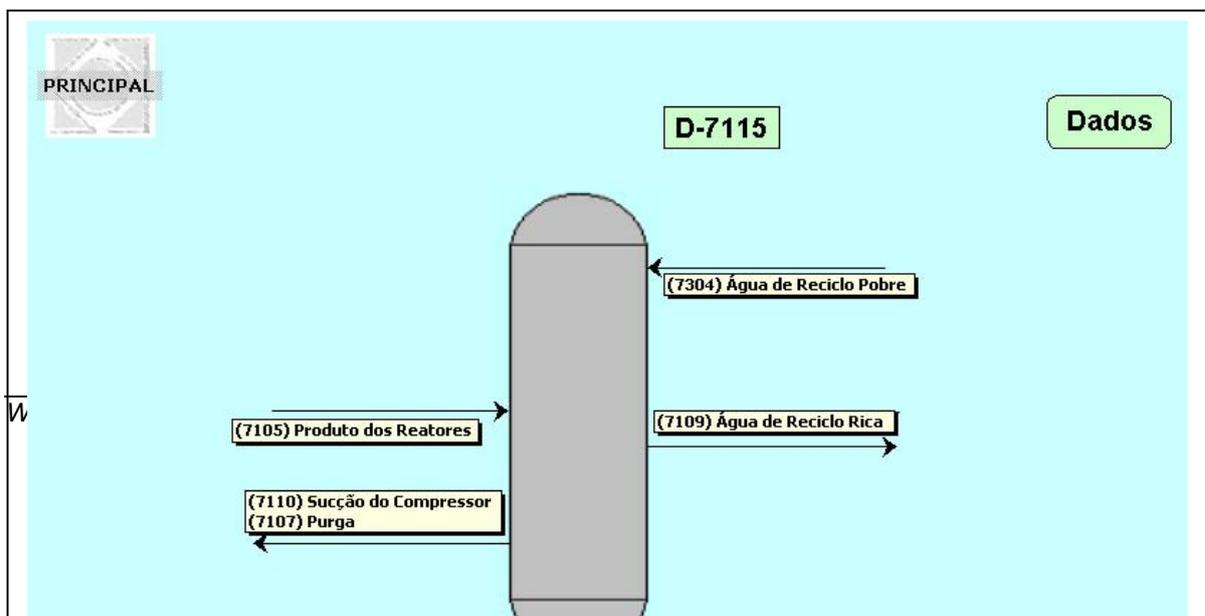
Analisando os dados obtidos, observamos que o produto de saída do reator possui maior quantidade de água do que a entrada. Isto ocorre devido haver uma reação secundária onde, nesta, o etileno reage com o oxigênio produzindo água e gás carbônico (ver seção 4.1.1.). Apesar de indesejada, esta reação ocorre devido o catalizador não possuir seletividade de 100%.

### 5.1.3.2. Reator de Óxido: D-7120



Como descrito para o D-7110, há diferença na quantidade de água nas linhas de saída e a entrada do reator. Esta diferença é justificada pela reação secundária do sistema.

### 5.1.3.3. Coluna de Absorção: D-7115



A Coluna de Absorção (fig. 22) é alimentada com água oriunda dos Reatores de Óxido (D-7110 e D-7120) e da Coluna de Stripping de Óxido (D-7310). A água vinda dos reatores é decorrente da reação de degradação do óxido. Diferentemente, a água da coluna serve para absorver o óxido existente no sistema e retirá-lo em solução (Água de Reciclo Rica) como mostra a Figura 22. A outra saída representa a quantidade de água que sai juntamente com o gás de reciclo.

#### **5.1.4. Balanço Hídrico Para a Área 7200**

A Área 7200 constitui o Sistema de Carbonato. Neste sistema ocorre a remoção de CO<sub>2</sub> do gás de reciclo. Os principais equipamentos do sistema de carbonato são: Coluna de Pré - Saturação (D-7200), Coluna Contactora (D-7210) e a Coluna de Regeneração de Carbonato (D-7220).

### 5.1.4.1. Coluna de Pré – Saturação: D-7200

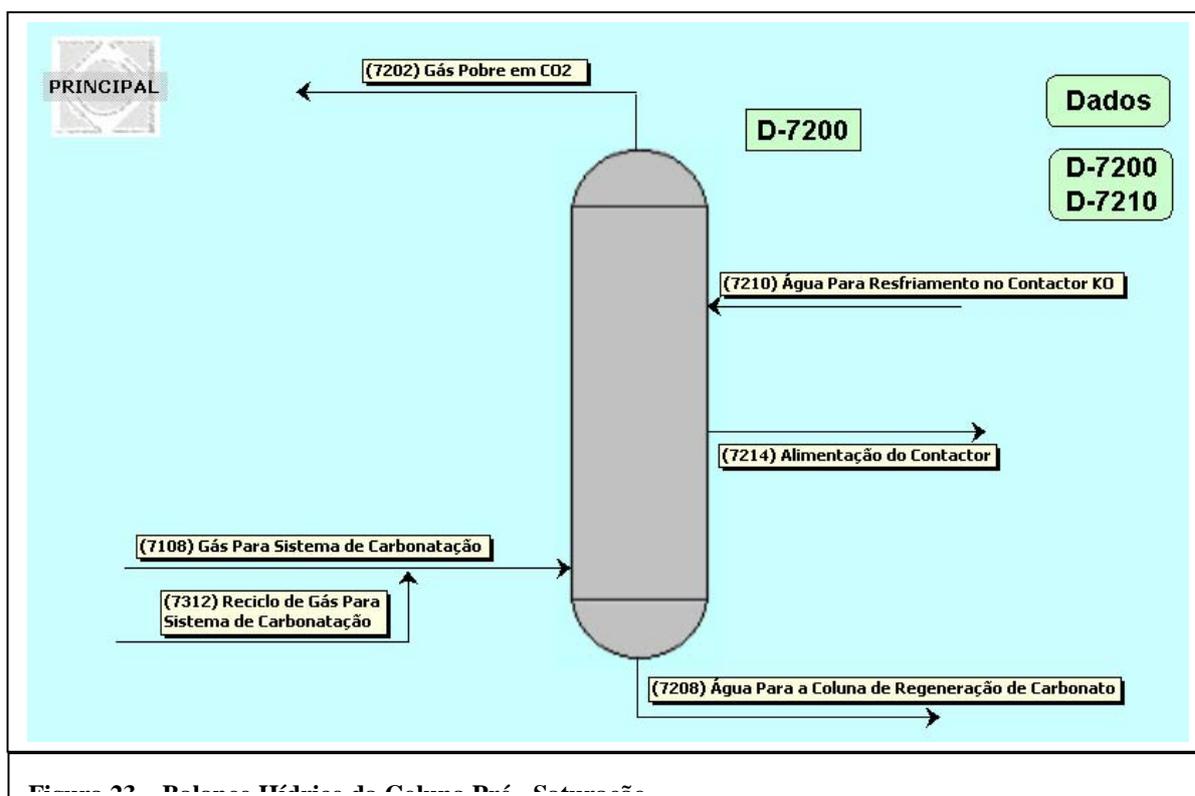
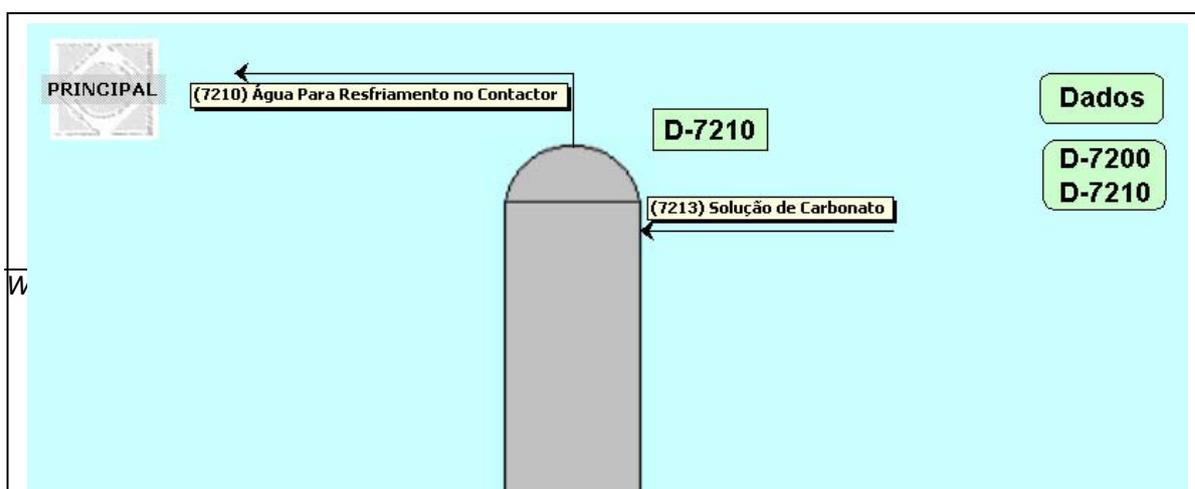


Figura 22 – Balanço Hídrico da Coluna Pré – Saturação.

A Coluna de Pré – Saturação, D-7200 possui duas entradas e três saídas. As entradas representam o Gás de Reciclo oriundo da Coluna de Absorção, D-7115, e a água de resfriamento e as saídas que enviam água de volta ao sistema de Gás de Reciclo (pequena parte), sistema de regeneração de carbonato e para a Coluna Contactora como alimentação.

Durante a realização do balanço hídrico para a Coluna de Pré – Saturação, observamos muitas linhas sem indicação de fluxo. Como estas linhas estão localizadas em pontos muito altos, não foi possível fazer as medições em área das linhas não medidas.

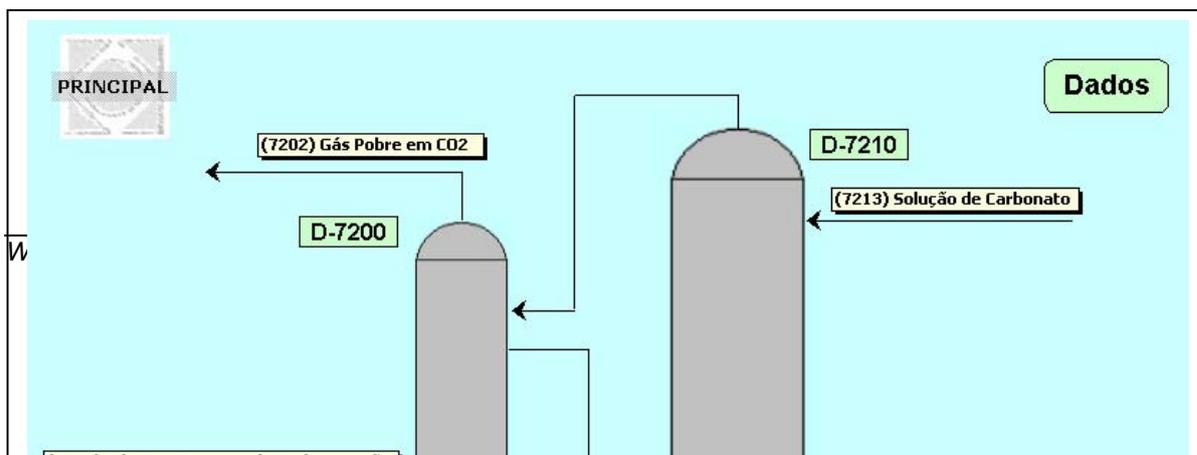
### 5.1.4.2. Coluna Contactora: D-7210



A Coluna Contactora, D-7210, possui duas entradas e duas saídas que representam a saída da Coluna de Pré – Saturação e a solução de carbonato (entradas) e água de resfriamento e alimentação da Coluna de Regeneração de Carbonato (saídas).

Igualmente a Coluna de Pré – Saturação, na Coluna Contactora existem muitas linhas sem quantificação de vazão. Estas linhas de fluxos também estão localizadas em pontos altos do equipamento tornando difícil a sua medição.

#### 5.1.4.3. Coluna de Pré – Saturação e Contactora: D- 7200 e D-7210



Como dito nas seções anteriores (ver seção 5.1.4.1. e 5.1.4.2.) a medição de vazão das linhas não quantificadas das Colunas D-7200 e D-7210 são localizadas em pontos de altura elevada, tornando difícil as suas medições. Assim, resolveu-se ampliar o volume de controle para o balanço hídrico desta área. Tomamos como novo volume de controle a região que envolve as duas colunas. Com isto, a Figura 25 mostra o balanço para esta nova região.

#### **5.1.4.4. Coluna de Regeneração de Carbonato: D-7220**

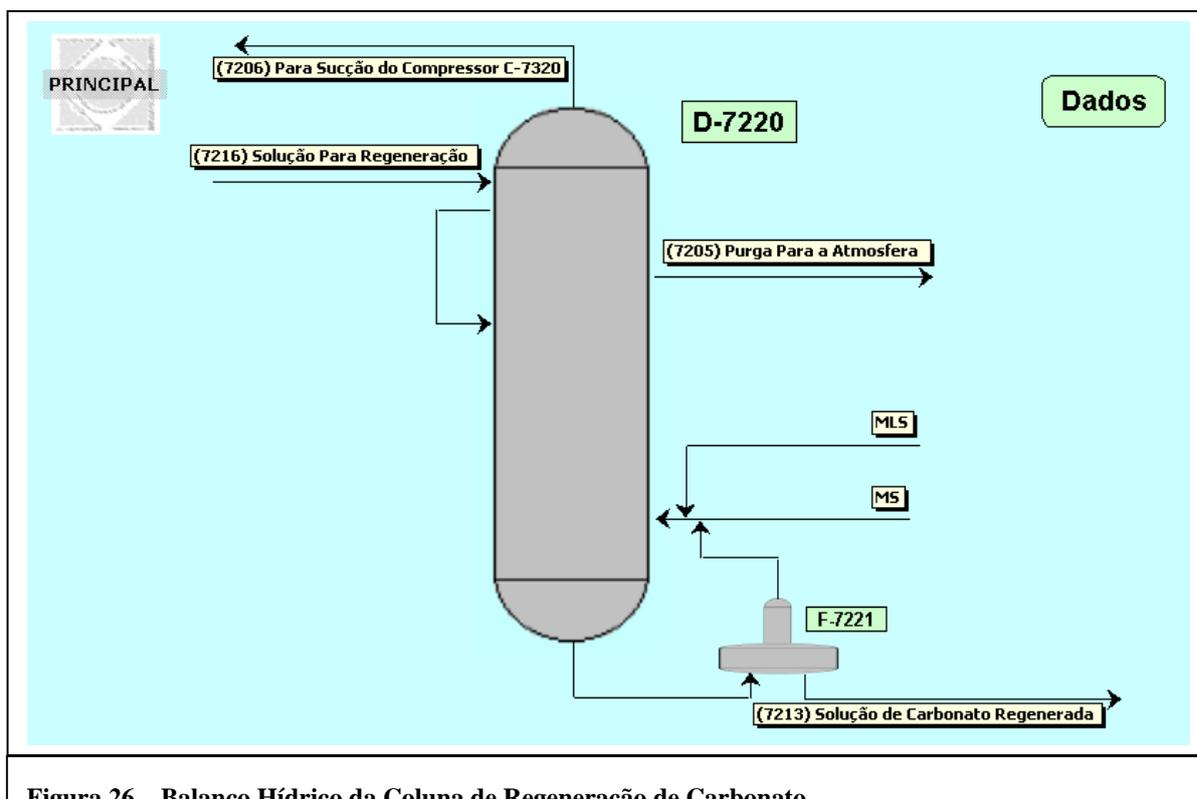


Figura 26 – Balanço Hídrico da Coluna de Regeneração de Carbonato

A Coluna de Regeneração de Carbonato (fig. 26) possui três entradas de água e três saídas. As entradas representam: a solução de bicarbonato para a regeneração e “vapor vivo” (alimentação direta na coluna). O “vapor vivo” é alimentado pôr duas fontes distintas, MS (vapor de 13 Kg/cm<sup>2</sup>) e MLS (vapor de 3 Kg/cm<sup>2</sup>), que servem para diminuir a pressão parcial do CO<sub>2</sub> no sistema facilitando a sua remoção.

As saídas do sistema são: gás de reciclo com CO<sub>2</sub> parcialmente removido, Purga de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (juntamente com vapor d’água) e saída de solução com carbonato regenerado.

### 5.1.5. Balanço Hídrico Para a Área 7300

A Área 7300 é constituído pelo Sistema de Stripping e Reabsorção de Óxido de Etileno e Stripping de CO<sub>2</sub>. Os principais equipamento que estão contidos nesta área são a Coluna de Stripping de Óxido (D-7310), Coluna de Reabsorção de Óxido (D-7320) e Coluna de Stripping de CO<sub>2</sub> (D-7340).

### 5.1.5.1. Coluna de Stripping de Óxido: D-7310

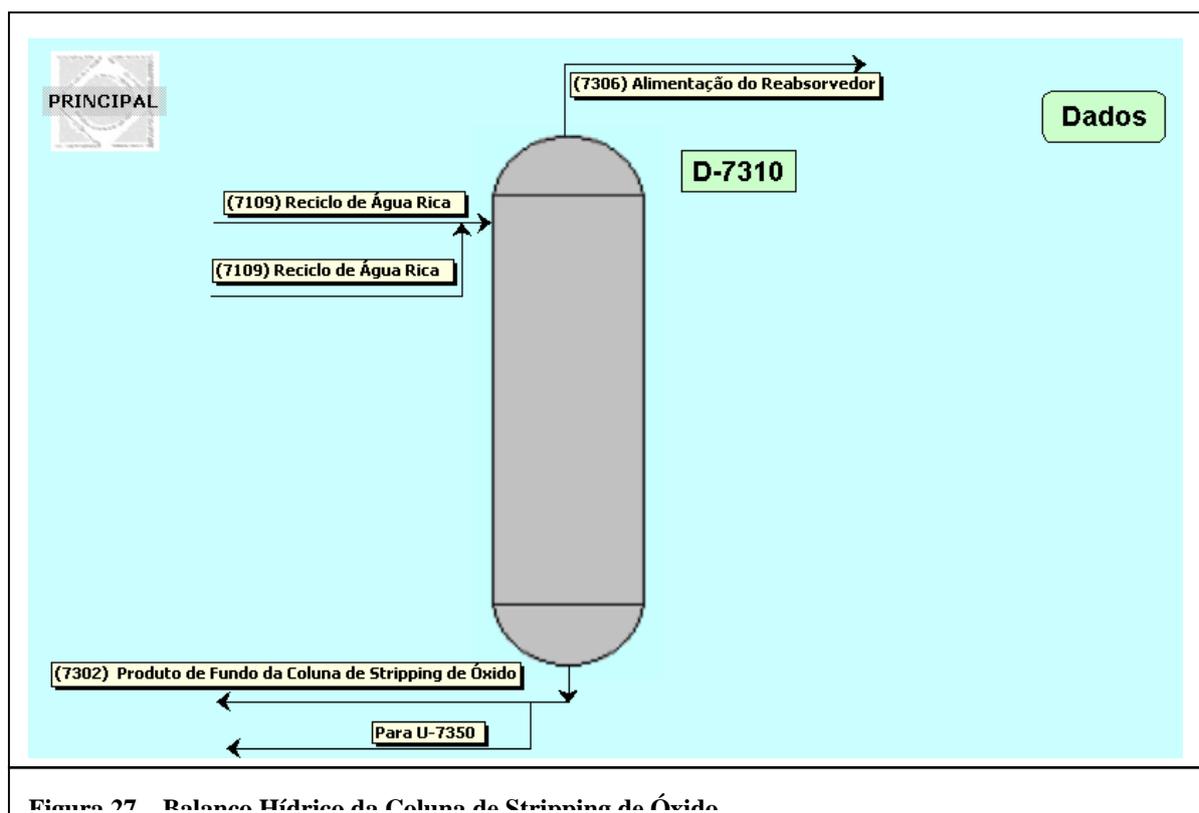


Figura 27 Balanço Hídrico da Coluna de Stripping de Óxido

Na Figura 27 observamos o balanço hídrico para a Coluna de Stripping de Óxido. Vemos então que existem duas entradas e três saídas de água no sistema. As duas entradas apresentam a mesma descrição. Isto ocorre porque são dois pontos de desvio do sistema de Água de Reciclo, água rica em óxido de etileno. Na verdade são duas correntes contendo a mesma composição.

Quanto à saída, o produto de topo da coluna, óxido de etileno, não está completamente isento de água. O produto de fundo da coluna é dividido em duas partes

onde uma parcela segue para o sistema de Água de Reciclo, como água pobre em óxido de etileno, e a outra para a Unidade de Desmineralização de Água, U-7350.

### 5.1.5.2. Coluna de Reabsorção de Óxido: D-7320

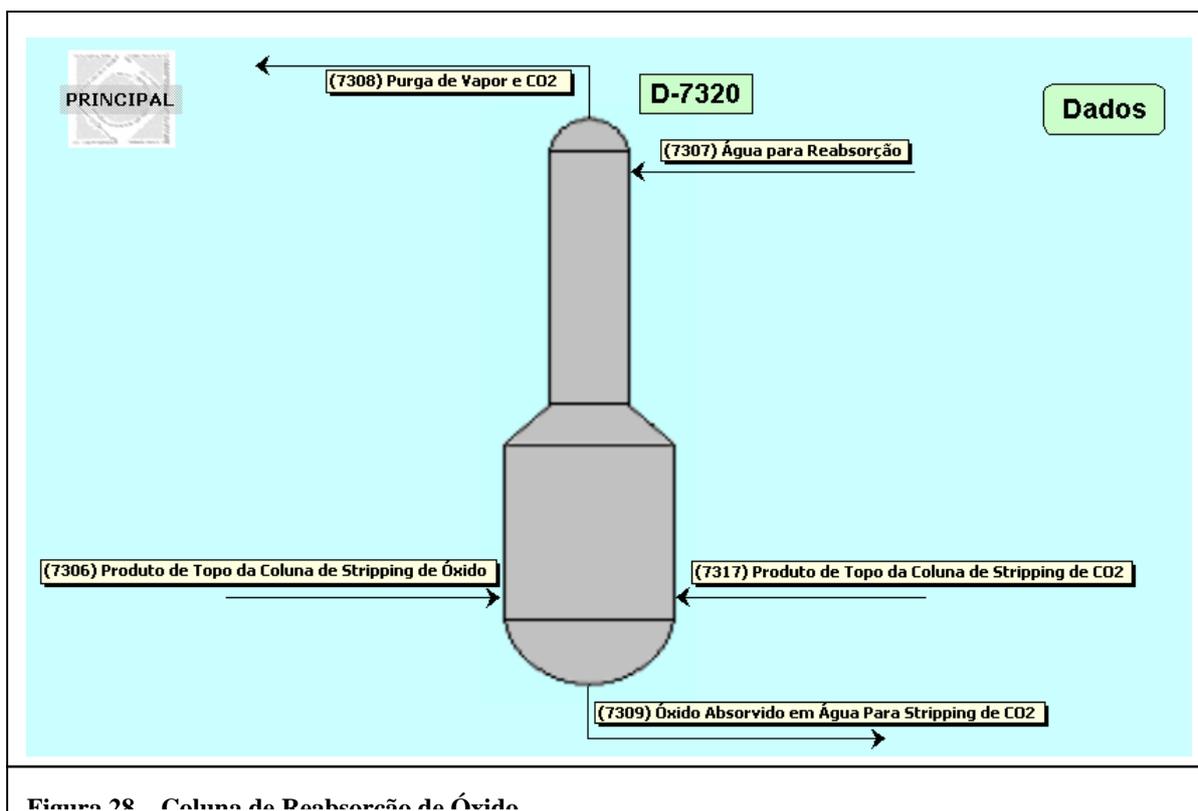


Figura 28 Coluna de Reabsorção de Óxido

Após a desorção do óxido (stripping), o fluxo segue para a Coluna de Reabsorção de Óxido, D-7320, para que possa entrar em contato com água purificada. Assim, a D-7320 apresenta três entradas de água e duas saídas, como podemos observar na Figura 28. Além do produto de topo da coluna D-7310 e da água para a reabsorção, existe reciclo oriundo da Coluna de Stripping de CO<sub>2</sub> que também possui água em seu fluxo.

As saída de água é basicamente o produto de fundo onde se localiza o óxido absorvido, entretanto, existe água saído pelo topo da coluna como purga de vapor.

### 5.1.5.3. Coluna de Stripping de CO<sub>2</sub>: D-7340

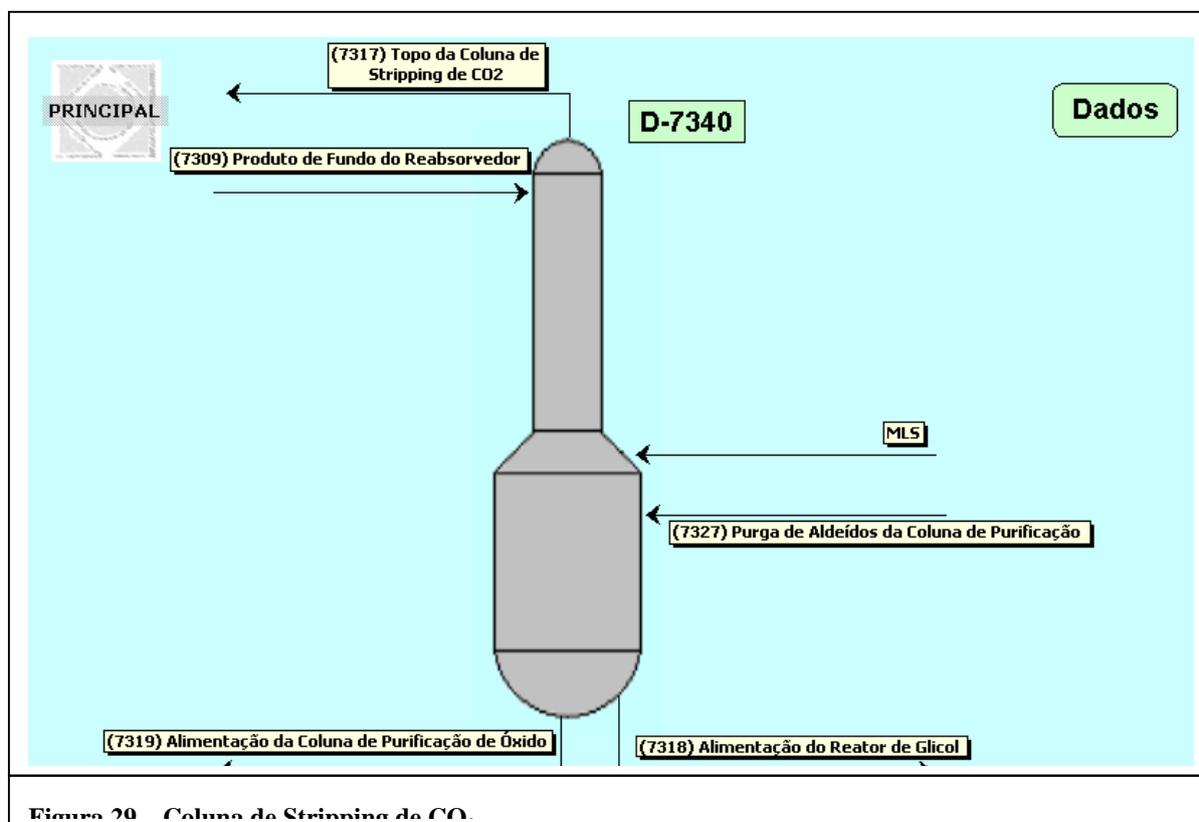


Figura 20 Coluna de Stripping de CO<sub>2</sub>.

O produto de fundo da D-7320 é enviado para a Coluna de Stripping de CO<sub>2</sub>. Nesta coluna há duas entradas de água e três saídas. Água é enviada para a coluna pelo produto de fundo da D-7320, como dito, pela linha de purga oriunda da Coluna de Purificação, D-7410, e como “vapor vivo” MLS (vapor de 3 Kg/cm<sup>2</sup>).

A saída da água é observada em três linhas: na retirada de CO<sub>2</sub> pelo topo da coluna e nos dois fluxos no fundo da coluna onde um segue como alimentação da Coluna de Purificação e o outro é a alimentação dos Reatores de Glicóis (Área 500).

### 5.1.6. Balanço Hídrico Para a Área 7400

A Área 7400 é constituída pelo Sistema de Purificação de Óxido de Etileno. O principal equipamento que está contido nesta área é a Coluna de Purificação de Óxido (D-7410).

#### 5.1.6.1. Coluna de Purificação de Óxido: D-7410

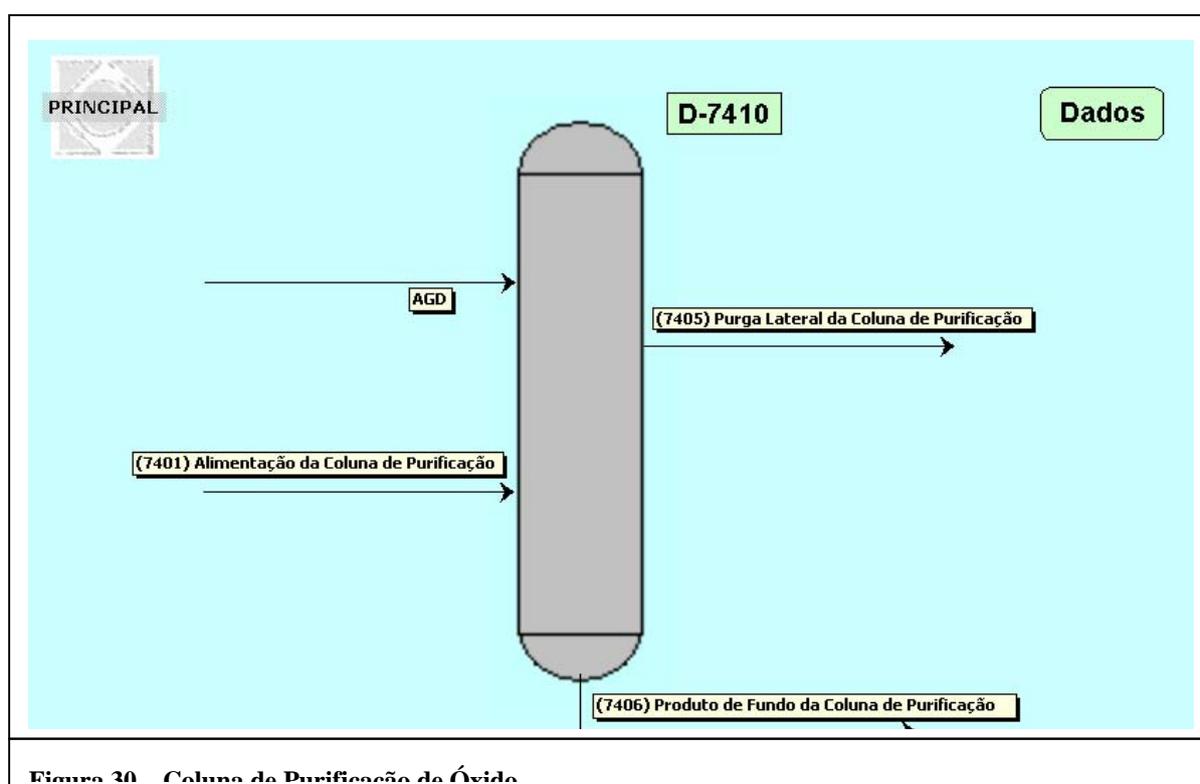


Figura 30 Coluna de Purificação de Óxido

O balanço realizado para a Coluna de Purificação, D-7410, considera duas entradas e duas saídas. Nas entradas temos o produto de fundo da D-7340 e AGD (água desmineralizada). E nas saídas cadastramos a purga de aldeídos que segue para a D-7340 e o produto de fundo da Coluna que é enviado para o D-7320.

## **5.2. AVALIAÇÃO DAS BOMBAS G-1675A/B NA TRANSFERÊNCIA DE ETANOLAMINAS**

Após o processo reacional, as etanolaminas passam por colunas de separação (ver seção 4.2.). Os produtos das colunas são enviados, através de bombas, para tanques intermediários que, após avaliados quanto as especificações, são bombeados para a tancagem final.

Entretanto, o produto de fundo da Coluna de TEA, D-1670, não mais precisa passar pela tancagem intermediária podendo então ser enviado diretamente para o tanque final. Assim, foi solicitado a inserção de um linha para o by-pass do Tanque Intermediário de Resíduos, F-1730C, para enviar a TEA D diretamente para o Tanque Final de Resíduos, F-2203A. Todavia, este desvio provoca a inutilização de uma bomba, G-1733, que se localiza na saída do tanque intermediário, por isso, é necessário se fazer uma avaliação das bombas G-1675A/B a fim de saber se estas possuem capacidade para transferir a TEA-D para a tancagem final na vazão desejada.

### **5.2.1. Procedimento de Trabalho**

Este trabalho foi desenvolvido na seguinte ordem:

- ▣ Levantamento de dados sobre as bombas G-1675A/B;
- ▣ Levantamento dos isométricos das linhas envolvidas na transferência de TEA D;
- ▣ Construção de uma planilha eletrônica no Microsoft Excel;
- ▣ Cálculo da perda de carga na sucção e na descarga da G-1675A/B;
- ▣ Cálculo do NPSH na sução das bombas;
- ▣ Avaliação dos resultados obtidos.

### 5.2.2. Levantamento de Dados

Inicialmente, foi realizado o levantamento de dados do sistema, do fluido, das linhas envolvidas e dos acidentes e acessórios encontrados ao longo das tubulações. Os dados da sucção e da descarga são descritos nas figuras que seguem.

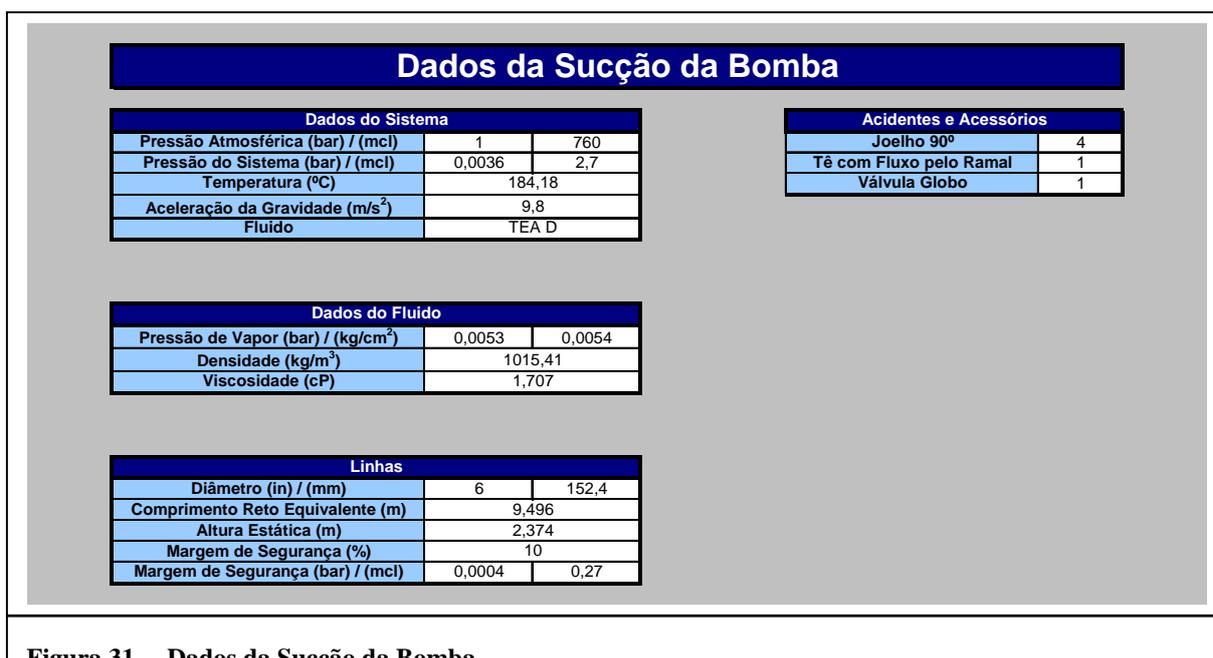
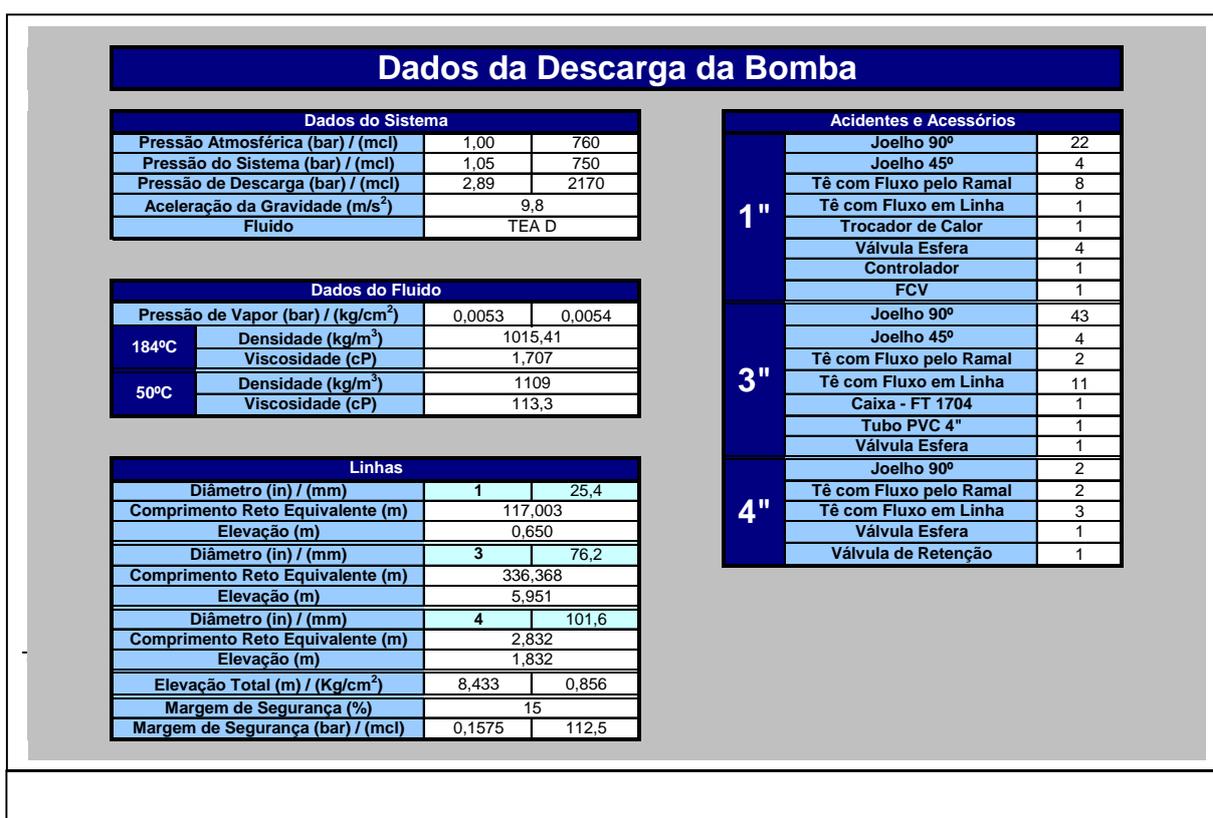


Figura 31 - Dados da Sucção da Bomba



Na Figura 31, a pressão do sistema representa a pressão encontrada na Coluna de TEA. E na figura 32, representa a pressão medida no Tanque Final de Resíduos.

### 5.2.3. Cálculo da Carga da Bomba (H)

Feito o levantamento dos dados, realizou-se o cálculo da carga na sucção ( $H_s$ ) e na descarga ( $H_D$ ) a fim de se ter a carga total (H). Entretanto, para isto, foi necessário calcular a perda de carga do sistema em ambas condições, sucção e descarga, e também, o calcular o NPSH, para assim, sabermos se a bomba sofre cavitação.

Assim sendo, é mostrado nas figuras abaixo os devido cálculos. A figura seguinte mostra os cálculos realizados na sucção da bomba.

Cálculo da Carga na Sucção ( $H_s$ )									
Vazão [m <sup>3</sup> /h]	Perda de Carga		$H_s$		NPSH <sub>R</sub>		NPSH <sub>D</sub>		Observação
	[bar]	[m]	[bar]	[m]	[bar]	[m <sub>a</sub> ]	[bar]	[m <sub>a</sub> ]	
0,1	0,3527	3,5444	1,9900	19,9979	0,0058	0,0585	0,1804	1,8127	---
2	0,3528	3,5454	1,9899	19,9967	0,0058	0,0585	0,1803	1,8116	---
4	0,3532	3,5494	1,9894	19,9923	0,0058	0,0585	0,1798	1,8071	---
6	0,3538	3,5554	1,9888	19,9857	0,0058	0,0585	0,1792	1,8005	---
8	0,3545	3,5624	1,9880	19,9780	0,0058	0,0585	0,1784	1,7928	---
10	0,3554	3,5715	1,9870	19,9680	0,0058	0,0585	0,1774	1,7828	---
12	0,3564	3,5815	1,9859	19,9569	0,0058	0,0585	0,1763	1,7718	---
14	0,3576	3,5936	1,9846	19,9437	0,0058	0,0585	0,1750	1,7585	---
15	0,3583	3,6006	1,9838	19,9359	0,0058	0,0585	0,1742	1,7508	---
20	0,3623	3,6408	1,9794	19,8917	0,0058	0,0585	0,1698	1,7065	---
25	0,3672	3,6901	1,9740	19,8376	0,0058	0,0585	0,1644	1,6524	---
30	0,3732	3,7504	1,9674	19,7712	0,0058	0,0585	0,1578	1,5861	---
35	0,3802	3,8207	1,9597	19,6939	0,0058	0,0585	0,1501	1,5087	---
40	0,3881	3,9001	1,9510	19,6065	0,0058	0,0585	0,1414	1,4213	---
45	0,3972	3,9916	1,9410	19,5059	0,0058	0,0585	0,1314	1,3208	---
50	0,4072	4,0920	1,9300	19,3954	0,0058	0,0585	0,1204	1,2102	---
55	0,4180	4,2006	1,9182	19,2760	0,0058	0,0585	0,1085	1,0908	---
60	0,4301	4,3222	1,9048	19,1423	0,0058	0,0585	0,0952	0,9571	---
65	0,4427	4,4488	1,8910	19,0030	0,0058	0,0585	0,0814	0,8178	---
70	0,4567	4,5895	1,8756	18,8482	0,0058	0,0585	0,0660	0,6630	---
75	0,4715	4,7382	1,8593	18,6846	0,0058	0,0585	0,0497	0,4994	---
80	0,4879	4,9030	1,8413	18,5033	0,0058	0,0585	0,0317	0,3181	---
85	0,5046	5,0708	1,8229	18,3187	0,0058	0,0585	0,0133	0,1335	---
90	0,5223	5,2487	1,8034	18,1231	0,0058	0,0585	-0,0062	-0,0621	Zona de Cavitação
95	0,5416	5,4427	1,7822	17,9097	0,0058	0,0585	-0,0274	-0,2755	Zona de Cavitação
100	0,5611	5,6386	1,7607	17,6942	0,0058	0,0585	-0,0489	-0,4910	Zona de Cavitação
105	0,5825	5,8537	1,7372	17,4576	0,0058	0,0585	-0,0724	-0,7276	Zona de Cavitação
110	0,6037	6,0667	1,7139	17,2233	0,0058	0,0585	-0,0957	-0,9619	Zona de Cavitação
115	0,6271	6,3019	1,6881	16,9646	0,0058	0,0585	-0,1215	-1,2206	Zona de Cavitação
120	0,6501	6,5330	1,6628	16,7103	0,0058	0,0585	-0,1468	-1,4748	Zona de Cavitação

Figura 33 – Cálculo da Carga na Sucção da Bomba  
Wagner Luís Novaes de Lima

Analisando a Figura 33, observamos que as bombas G-1675A/B não sofre cavitação, pois estas não operam com vazão superior a 40 m<sup>3</sup>/h na sucção.

Cálculo da Carga na Descarga (H <sub>D</sub> )										
Vazão [m <sup>3</sup> /h]	Perda de Carga (bar)				Perda de Carga Total		H <sub>D</sub>		H	
	1"	3"	4"	Equip.	[bar]	[m]	[bar]	[m]	[bar]	[m]
0,1	0,2133	0,6642	0,1824	0,5000	1,5599	15,6758	2,3991	24,1089	0,4091	4,1110
0,2	0,2203	0,6809	0,1824	0,5000	1,5836	15,9139	2,4228	24,3471	0,4329	4,3503
0,4	0,2779	0,7144	0,1824	0,5000	1,6747	16,8294	2,5139	25,2625	0,5244	5,2702
0,6	0,3550	0,7478	0,1824	0,5000	1,7852	17,9399	2,6244	26,3730	0,6356	6,3873
0,8	0,4584	0,7813	0,1824	0,5000	1,9221	19,3156	2,7613	27,7487	0,7733	7,7708
1,0	0,5883	0,8148	0,1825	0,5000	2,0856	20,9587	2,9248	29,3918	0,9378	9,4238
1,5	1,0247	0,8985	0,1827	0,5000	2,6059	26,1873	3,4451	34,6204	1,4592	14,6634
2,0	1,6210	0,9821	0,1828	0,5000	3,2859	33,0207	4,1251	41,4538	2,1405	21,5102
2,5	2,3826	1,0658	0,1830	0,5000	4,1314	41,5174	4,9706	49,9505	2,9868	30,0145
3,0	3,2991	1,1495	0,1832	0,5000	5,1318	51,5706	5,9710	60,0037	3,9916	40,1120
3,5	4,3824	1,2332	0,1835	0,5000	6,2991	63,3011	7,1383	71,7342	5,1642	51,8966
4,0	5,6170	1,3168	0,1838	0,5000	7,6176	76,5510	8,4568	84,9841	6,4893	65,2128
5,0	8,5693	1,4842	0,1844	0,5000	10,7379	107,9076	11,5771	116,3407	9,6173	96,6468
6,0	12,1833	1,6515	0,1852	0,5000	14,5200	145,9147	15,3592	154,3478	13,4081	134,7413
7,0	16,4190	1,8189	0,1861	0,5000	18,9240	190,1715	19,7632	198,6046	17,8221	179,0987
8,0	21,3237	1,9862	0,1871	0,5000	23,9970	241,1512	24,8362	249,5843	22,9061	230,1889
9,0	26,8592	2,1536	0,1883	0,5000	29,7011	298,4730	30,5403	306,9061	28,6221	287,6301
10,0	33,0199	2,3209	0,1895	0,5000	36,0303	362,0765	36,8695	370,5096	34,9646	351,3674
11,0	39,8005	2,4883	0,1909	0,5000	42,9797	431,9126	43,8189	440,3457	41,9279	421,3427
12,0	47,1954	2,6556	0,1924	0,5000	50,5434	507,9219	51,3826	516,3550	49,5070	497,5068
13,0	55,3532	2,8230	0,1940	0,5000	58,8702	591,5998	59,7094	600,0329	57,8501	581,3483
14,0	63,9850	2,9903	0,1957	0,5000	67,6710	680,0410	68,5102	688,4741	66,6689	669,9708
15,0	73,4216	3,1577	0,1975	0,5000	77,2768	776,5718	78,1160	785,0049	76,2931	766,6862
16,0	83,5091	3,3250	0,1994	0,5000	87,5335	879,6437	88,3727	888,0768	86,5693	869,9537

#### 5.2.4. Análise dos Resultados Obtidos

Para que a bomba G-1675 A/B tenha a capacidade de transferir a TEA D do fundo da D-1670 diretamente para o F-2203 A é necessário que a pressão de descarga da bomba ( $P_{desc}$ ) supere as forças contrárias encontradas pelo fluido. Estas forças são: a perda de carga ( $h_f$ ) e a pressão do Tanque Final de Resíduos ( $P_{tanque}$ ).

Em fluxo normal, a linha funciona com uma vazão de aproximadamente 150 litros/h o que representa 0,15 m<sup>3</sup>/h. Entretanto há variações neste valor, por isto, resolvemos prosseguir a análise com um valor de 0,2 m<sup>3</sup>/h por segurança.

Em resumo, se

$$P_{desc} > h_f + P_{tanque}$$

significa dizer que a bomba tem capacidade suficiente de transferir o produto. Sendo assim, verificamos que:

$$P_{desc} = 2,89 - 5\% = 2,75 \text{ bar}$$

$$h_f + P_{tanque} = 1,5836 + 0,0500 = 1,6336 \text{ bar}$$

Como a pressão fornecida pela bomba supera em 1,12 bar os impedimentos causados pelas linhas, concluímos que a modificação de projeto proposta pode ser implementada sem que haja a necessidade de mudança nas bombas G-1675A/B.

### 5.3. ACOMPANHAMENTO DOS TOTALIZADORES DE ETILENO E OXIGÊNIO

Na Oxiteno, o acompanhamento do faturamento do etileno e do oxigênio pelos fornecedores é realizado através de medidores de vazão. Estes medidores são chamados de totalizadores.

No total existem seis totalizadores de etileno (dois da BRASKEM e quatro da Oxiteno, sendo dois em cada unidade de óxido) e três totalizadores de oxigênio (um da White Martins e dois da Oxiteno, sendo um em cada unidade de óxido).

O cálculo da diferença de medição entre os totalizadores serve para indicar se os medidores dos fornecedores estão operando com coerência de valores, ou seja, não estão registrando mais do que realmente estão fornecendo. Quando a diferença de medição atinge valores superiores a 0,5%, significa que esses instrumentos estão necessitando de calibração. Além disto, a medição de vazão serve também para se calcular a seletividade da reação de óxido.

O cálculo desta diferença é bem simples:

$$\text{Vazão Diária} = (\text{medida do dia atual} - \text{medida do dia anterior}) \times f \quad (5.1)$$

Onde  $f$  é um fator de calibração do equipamento.

Com a vazão calculada, obtém-se a diferença:

$$Diferença = \frac{(VazãoA - VazãoB)}{VazãoA} \quad (5.2)$$

Onde A e B, são dois medidores distintos.

#### **5.4. AUDITORIA INTERNA DE DESVIOS E SEGURANÇA OPERACIONAL**

A cada mês é realizado na Oxiteno serviços de auditoria interna que pode ser de desvios ou de segurança operacional.

Na Auditoria de Desvios é realizado visitas as áreas avaliando os riscos de acidentes entre os funcionários e gerenciamento organizacional do local. Posteriormente, é efetivado medidas de prevenção e solução de problemas na organização das áreas. Foi realizado auditoria nas seguintes áreas:

- ☐ Caldeiraria;
- ☐ Laboratório de química;
- ☐ Instrumentação;
- ☐ Sub-estação;
- ☐ Unidade de Utilidades.

A Auditoria de Segurança Operacional avalia e soluciona a situação de equipamentos e linhas em áreas produtivas da Oxiteno. Como exemplo: vazamentos, corrosões e outras não conformidades. Durante o estágio foi realizado auditoria nas seguintes áreas:

- Unidade de Utilidades;
- Linhas de Metano.

# 6

---

## TREINAMENTOS REALIZADOS

A Oxiteno possui amplo programa de realização de palestras e treinamentos para seus funcionários. Esses eventos envolvem, normalmente, profissionais de diversos setores da empresa e abrangem temas distintos, tendo como intuito primordial a melhor qualificação profissional e capacitação técnica de seus funcionários.

Neste contexto, o Programa de Estágio da Oxiteno inclui a participação de seus estagiários em palestras e treinamentos realizados não apenas como ouvintes, mas como participantes do corpo da empresa expondo suas dúvidas e sugestões para melhoria dos temas abordados.

Além de treinamento sobre assuntos que englobem todo o corpo funcional da empresa, os estagiários passam por treinamentos específicos da área em que vai atuar.

Alguns dos treinamentos assistidos, com seus principais assuntos abordados, são apresentados a seguir:

### Educação Ambiental

- ☐ Noções de Meio Ambiente;
- ☐ Escassez de água;
- ☐ Premissas para Levantamento de Aspectos e Impactos;
- ☐ Produtos Químicos Tóxicos;
- ☐ Coleta Seletiva;
- ☐ Tratamento de Efluentes;
- ☐ Aterro Sanitário;
- ☐ Lixos;
- ☐ Emissões Fugitivas;

**Segurança e Prevenção de Acidentes**

- ☐ Noções de segurança;
- ☐ Acidente do Trabalho;
- ☐ Causas de Acidentes do Trabalho;
- ☐ Riscos Profissionais;
- ☐ Equipamentos de Proteção Individual;
- ☐ Investigação de Acidentes;
- ☐ Análise dos Acidentes;
- ☐ Campanhas de Segurança;
- ☐ Brigada de Incêndio;
- ☐ Extintores;
- ☐ Operação de Caminhão de Incêndio.

**Treinamento de Processos**

- ☐ Estudo das Unidades de Óxido I e Óxido II;
- ☐ Estudo da Unidade de Glicóis;
- ☐ Estudo da Unidade de Aminas;
- ☐ Estudo da Unidade de Éteres;
- ☐ Estudo da Unidade Química;
- ☐ Leitura e Interpretação de Fluxograma de Processo e Engenharia;
- ☐ Intertravamento das unidades;
- ☐ Noções de Caldeiras, Turbo Gerador e Malha de Vapor.

### **Conservação Auditiva**

- Intensidade de Ruídos;
- Tipos de Protetor Auricular;
- Uso Correto de Protetores Auricular;

# 7

---

## CONCLUSÕES DAS ATIVIDADES REALIZADAS

- **BALANÇO HÍDRICO NA UNIDADE DE ÓXIDO II:** Após o balanço de águas realizado na unidade de Óxido II, verificou-se a necessidade de calibração de alguns instrumentos de medição de vazão, além de análises químicas de cromatografia, a fim de saber a composição real de algumas correntes;
- **AVALIAÇÃO DAS BOMBAS G-1675A/B NA TRANSFERÊNCIA DE ETANOLAMINAS:** Analisando a perda de carga calculada, observamos que a pressão fornecida pelas bombas supera em 1,12 bar os impedimentos causados pelas linhas. Assim, concluímos que a modificação de projeto proposta pode ser implementada sem que haja a necessidade de mudança nas bombas G-1675A/B;
- **ACOMPANHAMENTO DOS TOTALIZADORES DE ETILENO E OXIGÊNIO:** Após avaliar o comportamento dos medidores de vazão de etileno (Braskem e Oxiteno) e oxigênio (White Martins e Oxiteno), verificamos que a diferença de medição não atingiu valores superiores a 0,5%. Por isto, concluímos que não será necessário calibração dos totalizadores.

# 8

---

## CONCLUSÕES DO ESTÁGIO

Os conhecimentos adquiridos durante minha vida acadêmica na Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo Departamento de Engenharia Química foram de fundamental importância para o total sucesso deste estágio. As aulas assistidas e as experiências passadas foram bem aproveitadas no decorrer deste período. Todavia, é perceptível a imensa distância ainda existente entre as indústrias e as universidades brasileiras de uma maneira geral.

A busca pelo equilíbrio teórico e prático dentro da universidade deve ser constante. E é neste contexto que se insere a disciplina de Estágio Supervisionado. Com o intuito de aproximar os estudantes do departamento às rotinas vividas diariamente pelos engenheiros químicos em uma indústria, o Estágio Supervisionado tem alcançado seus objetivos.

Na Oxiteno Nordeste S/A pude conviver com os engenheiros, de maneira que, obtive crescimento profissional acentuado. Com a vivência com os demais colegas de profissão, pude aprender sobre as rotinas diárias vividas por engenheiros químicos num empresa de grande porte, além do conhecimento sobre profissionalismo e ética profissional.

O contato próximo com profissionais de áreas distintas também foi de grande valia. Pude ver a importância que cada membro tem num contexto industrial, sendo cada um *indispensável* para o crescimento da instituição.

Assim, concluo com grande êxito e sucesso este estágio, sabendo que os conhecimentos e momentos vividos estarão marcados para sempre no meu caráter profissional e pessoal.

# 9

---

## BIBLIOGRAFIA

- ▣ Manuais de Procedimentos Internos (PI's);
- ▣ Manuais de Normas Técnicas de Operação (NTO's);
- ▣ Fluxogramas de Engenharia: Unidade Química e Petroquímica;
- ▣ Fluxogramas de Processo: Unidade Química e Petroquímica;
- ▣ COMPANY, S. D., *Process Volume*, Ethylene Oxide Plant Vol. 2, New Jersey, 1995;
- ▣ MATTOS E. E., *Bombas Industriais*, Ed. Interciência;
- ▣ OXITENO, *Óxido de Etileno – Manual de Segurança e Manuseio*, 2001;
- ▣ OXITENO, *Apostila de Mecânica dos Fluidos*, 2003.