

Monografia de Graduação

Estudo da viabilidade técnica para o aproveitamento da água associada à produção de petróleo utilizando a osmose reversa

Andressa Bezerra de França

Natal, junho de 2004

BEZERRA DE FRANÇA, Andressa – Estudo da Viabilidade Técnica para o Aproveitamento da Água Associada à produção de Petróleo Utilizando a Osmose Reversa. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia Ambiental, Natal/RN, Brasil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Lúcia de Medeiros Lula da Mata.

RESUMO:

A água associada à produção de petróleo, chamada água produzida, recebendo um tratamento adequado pode ser descartada com segurança em superfície e sub-superfície, reinjetada no próprio poço com a finalidade de estimular a produção ou até mesmo ser reutilizada. O tratamento proposto neste trabalho utiliza a tecnologia de membranas para alcançar a especificação necessária qualquer que seja o destino final desejado. Em vista disso, foi estudada uma planta que foi utilizada como referência, para a qual foi feito o dimensionamento e com isso foi possível comprovar a viabilidade técnica do processo.

Palavras Chaves:

- Água produzida, osmose reversa e petróleo.

ABSTRACT

The water associated to the production of petroleum, called produced water, receiving an appropriate treatment can be discharged with safety in surface or sub-surface, re-injected in the same well with the purpose of stimulating the production or even being reused in the surface. The treatment proposed in this work uses the technology of membranes to reach the necessary specification for any of the purposes above. In view of that, we studied a plant that we used as reference, for which was made the sizing and with that it was possible to prove the technical viability of the process.

Esta monografia é dedicada:

A Deus, por iluminar o caminho de meus passos, e a minha família, que foi de fundamental importância para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por sua infinita bondade e sabedoria e a força que Ele me concedeu nos momentos de dificuldades, que não foram poucos, para que eu não desistisse de meu objetivo e conseguisse vencer.

À minha família pelas constantes palavras de incentivo e paciência que tiveram comigo, mesmo nos momentos de puro *stress*. Em particular a meus pais, Luiza e Fernando, pelos momentos de extrema felicidade que passamos juntos e pelos ensinamentos que me conduziram sempre pelos caminhos do bem; meus irmãos, Fernando Júnior, André Felipe e Thiago pela nossa união, amizade e paciência que tiveram comigo.

A meu namorado, Sócrates Alexandre, pelo companheirismo, dedicação e incentivo que foram muito importantes nesta fase de minha vida.

A todos os meus amigos, aqueles antigos e os que conquistei durante essa longa caminhada por todos os momentos felizes que vocês me proporcionaram, pela paciência de me ouvir e me dar uma força quando precisei.

Aos professores Ana Lúcia e Wilson da Mata (DEQ/UFRN e DEE/UFRN)) pelos ensinamentos que me proporcionaram.

Aos demais professores do DEQ/UFRN que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação.

A ANP, através da comissão gestora do PRH-14, e ao CNPq pelo apoio financeiro que me foi concedido através dos projetos de pesquisa que participei ao longo do curso.

A todos acima citados e a outros que não aparecem na lista de forma explícita, mas que sempre serão reconhecidos. **Muito obrigado!**

SUMÁRIO

Lista de Figuras	2
Lista de Quadros	2
CAPÍTULO I – Introdução	3
1 – Introdução	4
CAPÍTULO II - Aspectos Teóricos e Revisão Bibliográfica	6
2 - Aspectos Teóricos e Revisão Bibliográfica	7
2.1 – Operação Crossflow	8
2.1.1 – Critérios que devem ser observados com cuidado para se ter um bom desempenho num projeto	12
2.1.2 – O fator concentração	14
2.1.3 – Dinâmica do fluido	15
2.1.4 – Empacotamento da membrana	16
2.1.5 – Critérios do projeto	17
2.2 – Princípio da Osmose	18
2.2.1 – A Osmose Reversa	18
2.2.2 – Processo de Dessalinização por OR	20
2.3 – Tratamento para água produzida usando a tecnologia de membranas	22
2.3.1 – Ultrafiltração (UF)	22
2.3.2 – Nanofiltração (NF)	24
2.3.3 – Osmose Reversa (OR)	24
2.4 – Impacto Ambiental	25
2.5 – Especificação da água de injeção	26
CAPÍTULO III – Estudo da Planta	30
3.1 – Ultrafiltração (UF)	31
3.2 – Nanofiltração (NF)	34
3.3 – Osmose Reversa (OR)	36
CAPÍTULO IV – Materiais e Métodos	40
4.1 – Pré-tratamento	41
4.2 – O processo em si	41
CAPÍTULO V – Resultados e Discussões	43
CAPÍTULO VI – Conclusões	46
CAPÍTULO VII – Bibliografia	48
Anexo 1 – Relatório de estágio supervisionado	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Filtração Normal	10
Figura 2: Empacotamento da membrana polimérica	10
Figura 3: Operação <i>crossflow</i>	11
Figura 4: Máquina que realiza operação <i>crossflow</i>	12
Figura 5: Representação do processo de osmose normal	18
Figura 6: Representação do processo de osmose reversa	19
Figura 7: Processo de auto-limpeza da membrana	20
Figura 8: Esquema de um típico sistema de tratamento por OR	21
Figura 9: Funcionamento da membrana PAN	23
Figura 10: Medida de hidrofiliicidade	24
Figura 11: Fluxograma do processo de tratamento de água produzida utilizando a tecnologia da membrana	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Especificações das membranas G-50	32
Quadro 2: Aplicações das membranas G-50	33
Quadro 3: Dimensões e pesos das membranas G-50	33
Quadro 4: Especificações das membranas DS – 5	35
Quadro 5: Dimensões e pesos das membranas DS – 5	36
Quadro 6: Especificações das membranas DS – 3	37
Quadro 7: Percentagem de rejeição da membrana DS – 3	38
Quadro 8: Dimensões e pesos das membranas DS – 3	39
Quadro 9: Índice de espécies iônicas em várias etapas do processo	44

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1 - Introdução

Do ponto de vista do consumo, obter apenas o suprimento mínimo de água necessário já é um esforço em algumas áreas geográficas; em outras áreas a água disponível vem sendo contaminada com poluentes que a tornam imprópria para o uso. Cada vez mais, aqueles que no passado tinham a seu dispor uma grande quantidade de água, hoje em dia já sentem a sua escassez.

Do ponto de vista da geração, as atividades regulatórias e econômicas estão forçando cuidadosos tratamentos de água e o seu reuso. Assim, quer esteja fluindo dentro ou fora de uma indústria, a água é um recurso essencial que apresenta desafios próprios de purificação.

No presente item serão lembrados de forma objetiva os motivos que deram origem a este trabalho.

A Unidade de Negócios de Exploração e Produção no Rio Grande do Norte e Ceará (UN-RNCE) produz aproximadamente 50.000 m³/dia de água associada (inerente ao processo) à produção de petróleo que é de 17.000 m³/dia.

Parte da água produzida é tratada e reinjetada nas jazidas como recuperação secundária de óleo e o restante é transportada com o petróleo, tratada e descartada em terra ou no mar. Em qualquer das etapas, o tratamento deve atender às especificações técnicas de utilização e à legislação vigente. A demanda de reinjeção da água produzida visando à recuperação secundária (aumento da produtividade da jazida pela injeção de fluidos como água ou gás) é de 15.000 m³/dia.

A injeção de água com o objetivo de recuperação secundária de óleo tem sido uma operação corriqueira por muitos anos na Petrobrás. Entretanto, o descarte de água visando evitar a poluição, tanto de mananciais de água potável na superfície quanto da água do mar, vem se tornando cada vez mais importante.

Independente da razão que se escolher para injetar a água, do ponto de vista operacional, há dois objetivos principais a serem alcançados através da especificação da água: evitar o *plugueamento* da formação injetora e prevenir a corrosão dos equipamentos de superfície, das linhas, das colunas e dos revestimentos dos poços injetores. Portanto, a

especificação da água deve atender limites padrões de qualidade físico-química e microbiológicas, propiciando uma reinjeção e/ou descarte que atenda aos objetivos especificados.

A seguir são destacados os principais parâmetros utilizados no controle de qualidade de uma determinada água para uma dada finalidade na indústria do petróleo:

- Sólidos e óleo em suspensão;
- Presença de microorganismos;
- Presença de ânions potencialmente geradores de incrustações;
- Salinidade total associada à distribuição catiônica dos sais;
- Custo de tratamento;
- Custo de captação;
- Corrosividade associada ao teor de CO₂, de H₂S e de O₂;
- Disponibilidade;
- Sazonalidade.

Nas últimas décadas, especialmente nos últimos anos, os órgãos que cuidam da preservação do ambiente têm-se manifestado contra o descarte das águas produzidas tanto nos oceanos quanto em terra e, para permiti-lo, tem estabelecido critérios rígidos, tanto em relação ao teor de óleo como à presença de metais pesados e de certos produtos químicos.

A filtração convencional é um dos principais processos existentes para se atingir a especificação da água, na qual os sólidos e o óleo em suspensão são removidos. No entanto, em muitas aplicações, sobretudo na reinjeção de água em reservatórios ou jazidas, há necessidade de filtrações especiais, normalmente lentas e de altos custos.

Dentre as técnicas existentes atualmente, destaca-se a *osmose reversa* devido a sua capacidade em remover partículas extremamente pequenas (5 a 15 angstroms). Entretanto, poucos estudos tem sido desenvolvidos para comprovar a eficiência desta técnica.

CAPÍTULO II

ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Aspectos teóricos e revisão bibliográfica

Para uma melhor compreensão deste projeto e, levando-se em conta tratar-se de um tema pouco explorado até o momento, foi necessário se fazer uma boa revisão bibliográfica de forma a dar um suporte técnico-científico consistente ao desenvolvimento do trabalho. Como esperado, a revisão ficou bastante limitada, pois poucos artigos foram encontrados relacionados ao assunto em tela. Periódicos nacionais e internacionais foram consultados exaustivamente, além de vários sites na internet. Foram pesquisados artigos que abordam os principais métodos de tratamento de água associada ao petróleo afim de enquadrá-la dentro das normas ambientais para descarte em superfície ou subsuperfície, reuso ou reinjeção além da busca de dados para dimensionar a planta em escala piloto. Alguns conceitos serão aqui lembrados para uma melhor compreensão do assunto.

Tratamento de água

Pode ser definido como qualquer procedimento ou método que altera a composição química ou comportamento natural de um corpo d'água.

Corpos d'água

São classificados como água de superfície ou água subterrânea. A maioria da água pública ou municipal vem dos corpos d'água de superfície como rios, lagos, e reservatórios. Já a água utilizada em propriedades privadas, a maioria vem de corpos d'água subterrâneo bombeado de poços. Independente do tipo de corpo d'água que é usado para abastecimento à água continuará sendo um recurso fundamental para a vida dos seres vivos. Em vista disso, não pode haver desperdício nem a poluição destes corpos já que a necessidade sempre vai existir e este recurso está cada vez mais escasso.

Água Produzida

Durante a produção de petróleo de uma jazida, independente do mecanismo de produção (primário, secundário ou terciário), é comum a produção de água associada. A consequência desse fato é a geração de grandes volumes de água a serem descartadas, muitas vezes no mar. Esta água é denominada de *água produzida*. Segundo Oliveira e Oliveira (2000) geralmente contém altos teores de sais e uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos, cuja composição varia durante a vida do campo, e cujo volume tende a crescer à medida que o campo envelhece.

Com base nos artigos analisados, foi possível efetuar-se uma comparação entre os diversos processos de remoção de contaminantes da água produzida e a escolha do processo que melhor se enquadra com as necessidades dos campos produtores da UN-RNCE, sendo escolhido o método de tratamento por membranas. Após a escolha deste método, foi escolhida uma planta a ser tomada como referência e a partir dela foi proposto um dimensionamento.

2.1 – A operação *Crossflow*

Felizmente, a tecnologia forneceu a potencialidade para vencer estes desafios. Entre as tecnologias de tratamento de água, a filtração com *crossflow* emergiu como uma das mais eficazes.

Na prática, a água é um subproduto de toda exploração de óleo e gás. Quando o óleo e o gás são trazidos à superfície, vêm acompanhados de variadas quantidades de água que é chamada de água produzida, que tende a aumentar com a idade do poço. Segundo Nicolaisen (2002), a quantidade da água produzida nos Estados Unidos é, por exemplo, oito vezes maior do que a quantidade do óleo produzida.

No começo do ciclo de vida do poço, a água produzida representa apenas um problema de eliminação e é freqüentemente reinjetada em poços de eliminação. Este método da eliminação não impõe nenhuma exigência específica na qualidade e na composição da água produzida, apenas seus componentes não devem obstruir os poros na formação em que é injetada. Mais tarde, no ciclo de vida do poço, é comum usar freqüentemente técnicas de aumento da recuperação, que envolvem injeção de água ou vapor sob o óleo restante no reservatório, muitas vezes com a água injetada percorrendo um caminho na formação porosa aumentando o efeito de recuperação. Neste caso, a composição da água injetada é mais importante. A situação ideal exige que esta água tenha aproximadamente a mesma composição que a água natural, mas sem nenhum constituinte que possa causar a obstrução dos poros na formação. Estes constituintes prejudiciais são principalmente minerais que causam a precipitação, tal como sulfatos e carbonatos, e, em alguns casos, também o óleo e constituintes oleosos. A idéia de usar a água produzida como técnica de aumento da recuperação é óbvia, mas apresenta problemas, já que a água produzida deve ser essencialmente livre de óleo e a abrandadores.

Quando as técnicas de aumento da recuperação têm que ser aplicadas ao poço, a quantidade da água produzida é freqüentemente maior do que a quantidade requerida para a injeção, e parte da água produzida transforma-se em um problema de eliminação. A injeção em poços de eliminação é particularmente cara e incômoda em situações *offshore*, e a situação ideal seria poder dispor da água produzida diretamente no oceano, que no caso, os regulamentos ambientais devem ser observados. Isto significa que o índice do óleo, de metais pesados, etc. deve estar em conformidade com os limites locais de eliminação determinados, o que significa outra vez que a água produzida deve ser tratada para estar em acordo com estes limites.

Por outro lado, a água está transformando-se num produto cada vez mais escasso em muitas partes do mundo. Assim, a água produzida pode ser vista como um recurso natural em vez de um problema ambiental ou de eliminação, e há diversas possibilidades de tratá-la e adequá-la ao uso. O obstáculo principal é o custo e a complexidade de tratá-la a uma qualidade e a uma composição apropriada para permitir que a água seja usada com segurança. Muitas tecnologias ajudam a algumas das etapas necessárias para purificar a água produzida, mas é necessário um número significativo de tecnologias para conseguir o resultado desejado. A purificação econômica da água produzida para uma dada aplicação pode envolver ao mesmo tempo somente uma ou mais tecnologias.

O tipo mais familiar de filtração em tratamento de fluídos é a filtração normal, como representado na Figura 1. Aqui, um meio filtrante remove os contaminadores de uma corrente que está sendo introduzida produzindo uma corrente livre das impurezas. As telas ásperas, os filtros multi-media, e os filtros *bag* e de cartucho são exemplos de produtos da filtração que se operam na categoria normal, e removem as substâncias com tamanhos de 0,1 microns ou maiores. Uma vez que o meio se torna carregado, podem ser lavadas novamente como com os filtros multi-media, ou ser rejeitado e substituído como com os filtros de cartucho. O método de limpeza do meio filtrante (re-lavação ou recolocação) é baseado nos interesses econômicos e de disposição.

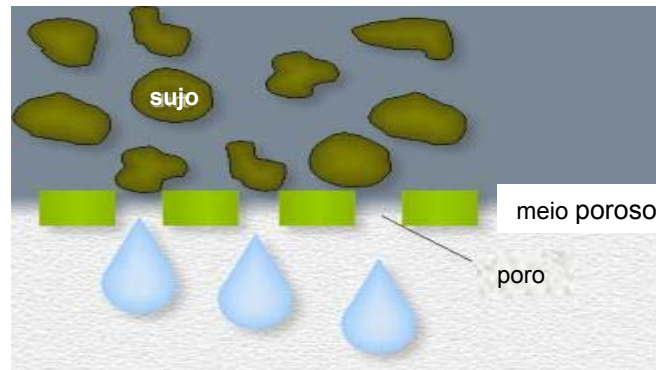


Figura 1: Filtração normal

Embora haja poucas escolhas do meio para o rejeito de substâncias menores que 0,1 microns, a escolha mais popular é certamente a membrana polimérica, empacotada em um elemento de membrana como mostrado na Figura 2. Os milhões de pequenos poros por pé quadrado da membrana permitem a passagem da água ao reter substâncias indesejadas – conforme o mecanismo descrito acima.

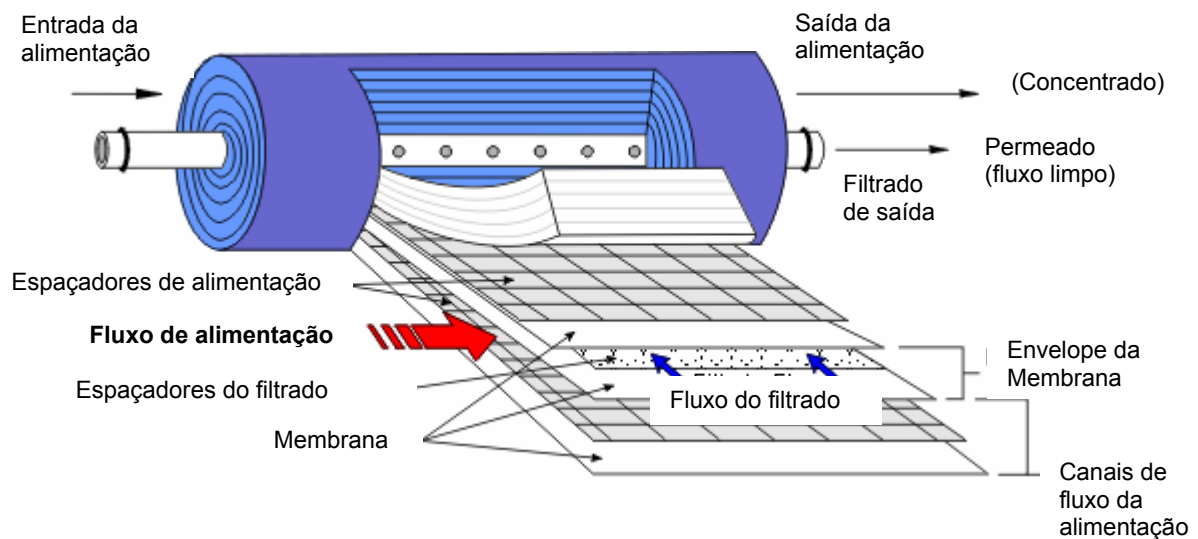


Figura 2: Empacotamento da membrana polimérica

Porém, por razões mecânicas, químicas e econômicas, a membrana filtrante não pode ser operada na forma normal se forem esperados resultados razoáveis. Primeiramente, a membrana polimérica é atualmente revestida por uma camada de revestimento protetor ou de sustentação. Um fluxo reverso através da membrana resulta na separação irreparável da membrana de sua camada de sustentação, ou na separação das linhas da colagem usadas dentro do empacotamento da membrana. Em segundo, o aumento contínuo da concentração na superfície da membrana resulta na precipitação irremovível dos sólidos nesta superfície, ou

no mínimo, impedem o fluxo da água e a rejeição do contaminante. Em terceiro lugar, a membrana é relativamente cara para filtros pequenos de cartucho, e sua recolocação freqüente em consequência da operação normal não é viável.

A solução é operar a membrana na forma *crossflow*, como ilustrado na Figura 3. De forma simplista, o sistema de filtração *crossflow* separa um fluxo de entrada em dois fluxos de saída ou efluente: fluido de alta concentração (concentrado) e fluido de baixa concentração (permeado). O de baixa concentração é aquele que atravessa a membrana semipermeável, enquanto o de alta concentração contém os constituintes retidos pela membrana.

Uma das vantagens da utilização do sistema de filtração *crossflow* é a sua habilidade de operação contínua em um modo de auto-limpeza, devido ao fato de que os sólidos suspensos e o soluto retido na membrana são constantemente expulsos da sua superfície pelo efeito da osmose reversa, enquanto que na filtração tradicional as partículas retidas são normalmente forçadas contra o filtro, levando-o ao entupimento.

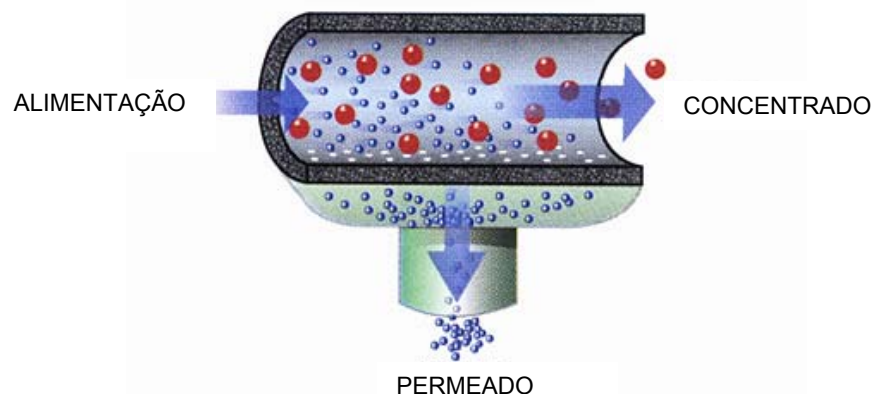


Figura 3: Operação *crossflow*

As operações *crossflow* caem tipicamente em uma de três categorias: ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), e hiperfiltração (HF), conhecida mais comumente como osmose reversa (OR). A mais comum das três é *osmose reversa* devido à potencialidade detalhada para a remoção de impureza dissolvida. As operações *crossflow* são realizadas em uma máquina tal como é mostrada na Figura 4. As máquinas incluem normalmente os elementos da membrana e as carcaças, interconectando tubos, bombas, pré-filtros e controladores e instrumentação necessária para a operação.

2.1.1 - Critérios que devem ser observados com cuidado para se ter um bom desempenho num projeto:

Serão aqui abordados alguns fundamentos operacionais e sistemáticos.

A escolha do tipo correto de membrana

Visto que a membrana representa de 15-40% do preço de uma máquina de OR e deve ser substituída periodicamente, a seleção cuidadosa é necessária. Muitos tipos estão disponíveis e cada um tem suas características próprias. Os critérios de seleção devem incluir a tolerância química, o grau de adaptação mecânica, o grau de limpeza, a separação, o desempenho do fluxo e o preço.

Ter uma máquina corretamente Projetada

Como ocorre com outros dispositivos mecânicos, a máquina de filtração *crossflow* tem melhor desempenho quando o projeto e os materiais realçam um ao outro. Uma vez que a membrana correta é escolhida, um projeto que forneça para taxas apropriadas de *crossflow*, pressões e recuperação do fluido de baixa concentração é essencial. As águas residuais têm maior grau de impurezas do que águas potáveis típicas, e requerem projetos mais conservadores. Os benefícios de um bom projeto de máquina podem ser o bom desempenho da operação e da separação, frequência mínima da limpeza e da recolocação da membrana, consumo razoável de potência e necessidade mínima de atenção para a da operação.



Figura 4: Máquina que realiza operação *crossflow*

Ter um pré-tratamento adequado

Não há provavelmente nenhum investimento melhor do que no equipamento que fornece a água de alimentação para o tratamento da membrana. O equipamento é relativamente barato, contudo tem benefícios consideráveis. Por exemplo, os filtros multi-média removem a turbidez e os metais oxidados (como o ferro e o manganês) com muita eficiência. Os filtros do cartucho ou de saco removem o material residual insolúvel à aproximadamente 5 microns. As bombas químicas são úteis para a injeção do ácido para criar sais solúveis ou para a injeção de agentes bio-controladores. Dependendo da natureza da alimentação de água, outros equipamentos como clarificadores ou filtros do carbono podem também serem apropriados.

Com um bom pré-tratamento, a membrana em uma máquina de *crossflow* não sustentará nenhuma carga maior do que a que é prevista para ela. O resultado é o melhor desempenho, e a despesa total mais baixa por parte do usuário.

A questão seria agora como determinar a membrana correta, o projeto e o pré-tratamento apropriados. A melhor maneira é desenvolver o emprego com uma aplicação e um programa teste-piloto. A aplicação teste, ou a verificação prática é a primeira etapa para determinar as características da máquina. Conduzido geralmente em nível da escala do laboratório ou de bancada, a aplicação do teste indica previsão dos níveis de rejeição da impureza, o grau de adaptação química, e as tendências de obstrução dos tipos de membranas testadas. Os resultados são normalmente de bastante confiança e limitam a escolha da membrana para não mais que duas, e também predizem se algum equipamento de pré-tratamento será necessário.

A informação obtida durante a aplicação do teste pode então ser utilizada no teste-piloto. Um teste piloto conduzido durante algumas horas permite que os dados de estado estacionário do desempenho sejam coletados e usados para o projeto em escala real. As mudanças na química da alimentação, na frequência de limpeza e na técnica da eficácia marcam papéis importantes na determinação da operação em estado estacionário.

Na maioria das situações, o objetivo do tratamento da filtração *crossflow* de águas residuais é obter uma corrente apropriada para a descarga ou reuso. Às vezes, entretanto, o objetivo pode ser a recuperação do soluto.

2.1.2 - O fator concentração

O fator químico marca um papel tão importante porque o sistema está constantemente concentrando contaminantes. De fato, não se deve pensar em um sistema de membrana para o processo de águas residuais como um “sistema de filtração”, ou um “purificador”, mas, especialmente como “um concentrador de resíduos”, aumentando constantemente as concentrações do contaminador, e produzindo a água purificada como um subproduto.

De acordo com Comb (1990), isto é importante visto que é o aspecto da concentração que é freqüentemente examinado superficialmente e pode ser a chave ao projeto bem sucedido de uma aplicação da membrana em águas residuais. Este fator “da concentração” que é o grau de concentração, relaciona-se igualmente aos sólidos solúveis e insolúveis. Com certeza, se os sólidos insolúveis se concentrarem em um ponto onde tendam a acumular-se dentro de um sistema, os problemas ocorrerão.

A concentração de impureza é bastante clara. O que freqüentemente não parece estar muito claro são os problemas abrigados no interior da composição dos sólidos solúveis. Como suas concentrações vão aumentando, determinadas espécies podem ultrapassar seu limite de solubilidade, criando um sólido insolúvel problemático.

Se não se compreender a química dos sólidos solúveis (ou dos sólidos insolúveis, para o caso citado) o resultado será problemas típicos de obstrução da membrana.

O fator da concentração é um fenômeno físico simples porque ao remover-se a água purificada de uma solução aquosa, o soluto restante torna-se mais concentrado. Se, por exemplo, forem removidos cinquenta por cento da água, os sólidos restantes serão concentrados por um fator de dois; se 75% da água for removida, o fator é quatro, e assim por diante.

A indústria de membrana tem aplicado o termo "recuperação" para este "grau de remoção da água" e isto é diretamente proporcional ao fator da concentração

2.1.3 - Dinâmica do fluido

Com certeza, depois do fator químico este é o fator mais importante. A capacidade de um sistema de membranas tratar com sucesso de alguma precipitação ou impureza e restos que resultam em um sistema, está diretamente relacionado com as características de escoamento do sistema.

Por exemplo, é importante operar um sistema de membranas com um grau elevado de velocidade de fluxo cruzado, se esforçando para criar turbulência e impedir a destruição da camada de água pura. Esta é uma camada relativamente estreita que se forma quando a água passa sobre a superfície de uma membrana da osmose reversa.

Se não se projeta corretamente, por exemplo, quando a relação da velocidade do *crossflow* contra a taxa permeabilidade é inadequada, esta camada pura da água deixará de existir e os resultados tornar-se-ão visíveis na qualidade do fluido de baixa concentração. Uma passagem maior de solutos ocorrerá sob tais circunstâncias.

É igualmente importante, entretanto, lembrar que a simples velocidade através da membrana deve ser mantida em níveis adequados a fim gerar "a turbulência". Assim, nos casos em que a taxa de penetração é relativamente baixa (sob condições de pressão osmótica elevada, por exemplo), em que a relação da velocidade do *crossflow* versus a taxa do fluido de baixa concentração pode ser adequada, a turbulência pode não ser.

Só as velocidades que são necessárias para sistemas específicos dependem da natureza do material a ser processado, do fator concentração do sistema (recuperação), e do canal de fluxo sobre a membrana (projeto, área de seção transversal, etc). Infelizmente, não podemos citar uma determinada taxa de fluxo que seja aplicável a todas as necessidades.

Testar piloto ou trabalhar os dados planejados que foram estabelecidos são os únicos métodos de determinar e estabelecer os critérios apropriados.

2.1.4 - Empacotamento da membrana

Os projetos do fluxo são dependentes do tipo de empacotamento usado na membrana. Existem diversos empacotamentos de membranas que foram desenvolvidos ao longo dos anos. A escolha do projeto vai depender da aplicação a que será submetido e também dos fatores econômicos.

Não há muito que se discutir quanto ao tipo de empacotamento usado nas aplicações de purificação da água fresca, pois o empacotamento tipo "*spiral-wound*" domina estas aplicações. Segundo Williamson e Paulson (1990), este dispositivo encontrou também muitas aplicações nas áreas de águas residuais.

O sucesso do dispositivo *spiral-wound* está relacionado à potencialidade para empacotar uma quantidade relativamente grande da área de superfície da membrana em um elemento relativamente pequeno ao manter um determinado grau limpeza, que é particularmente importante para processos de águas residuais.

Outros projetos foram usados também para aplicações de águas residuais e muitos destes foram aplicados com sucesso. Os exemplos são os projetos do tipo "placa e quadro", as membranas tubulares e as várias formas dos tipos de fibras das membranas.

Em todos os casos, inclusive na forma *spiral-wound*, o sucesso da aplicação deve aproximar a forma mais econômica e o grau de limpeza necessário de cada aplicação particular.

Em determinados casos, um projeto do tipo tubular ou um tipo de fibra podem ser a melhor aproximação ao tratar de níveis relativamente elevados de sólidos insolúveis, por exemplo.

Entretanto, devido às características econômicas atrativas e a promoção de turbulência criada pelo material do líquido espaçador, o projeto *spiral-wound* encontrou seu espaço nas aplicações de águas residuais a um grau sempre crescente, a ponto de agora ser, provavelmente, a seleção mais comum para uma dada aplicação de águas residuais.

Diversos projetos específicos deste tipo empacotamento estão disponíveis. Por exemplo, pode-se querer selecionar um projeto *spiral-wound* usando uma espessura diferente do material espaçador. Um projeto usando um espaçador do tipo tubular ao contrário do de tipo rede, aumenta a tolerância para carga de sólidos insolúveis mais pesados à custa de velocidades mais elevadas o que pode ser atrativo em determinados casos. Ou, um projeto do tipo solto ou combinação ajustada, desprovida de uma cobertura externa e conseqüentemente abdicando da necessidade de uma área total de suporte podem atender bem uma aplicação particular.

2.1.5. Critérios do Projeto

Em resumo, o que segue é uma lista dos critérios de projeto que são importantes serem consultados quando se está considerando a aplicação de um sistema *spiral-wound* a uma aplicação de águas residuais.

a) A química dos sólidos solúveis. Deve-se assegurar que a precipitação não ocorra depois da concentração dos sólidos solúveis da fonte da alimentação. A operação em uma corrente que contem 500 ppm de sulfato de cálcio, por exemplo, em um fator de recuperação de 10X (90%) não funcionará por muito tempo, por exemplo, visto que o sulfato de cálcio precipitado é por volta de 2000 ppm.

b) A filtração dos sólidos insolúveis. A maior parte dos sólidos insolúveis é melhor removida na operação de um sistema de membrana. Geralmente, se for possível realizar a filtração a cinco microns, as possibilidades de sucesso melhoram consideravelmente. Vale salientar também que a só a filtração simples que usa filtros de cartucho geralmente não é suficiente. Normalmente, uma pré-filtração mais prolongada seguido pela filtração do cartucho de 5 microns é o projeto mais viável.

c) A recuperação por elemento da membrana. Quanto mais baixa a percentagem de recuperação por dado elemento da membrana dentro do sistema, maiores as possibilidades para o sucesso. Uma recuperação de vinte por cento por elemento, por exemplo, é demasiadamente elevada. Um projeto bom deve estar bem abaixo desse nível.

d) Velocidade do fluxo através da superfície da membrana. Independentemente da percentagem de recuperação por elemento da membrana, a velocidade absoluta através da superfície da membrana deve ser considerada.

2.2 - Princípio da Osmose

Uma membrana de osmose de qualidade elevada é "semipermeável", o que significa que permite a passagem da água, mas impede que as partículas dissolvidas passem completamente. Se situarmos uma membrana entre dois compartimentos (Figura 5), e colocar a água salgada em um lado do recipiente e a água pura no outro lado, um princípio científico fundamental marca seu papel. Isto é, duas concentrações diferentes dos líquidos dentro do mesmo sistema tentarão alcançar o equilíbrio (isto é, a mesma concentração dos contaminadores) em ambos os lados da membrana. Naturalmente a única maneira para que isto aconteça é que a água pura passe através da membrana para o lado da água salgada em uma tentativa de diluir a solução de sal. Normalmente, para este experimento, utiliza-se uma membrana semipermeável de modo que o sentido da passagem seja um só, ou seja, do solvente puro para a solução. Esta tentativa de alcançar o equilíbrio é chamada OSMOSE.

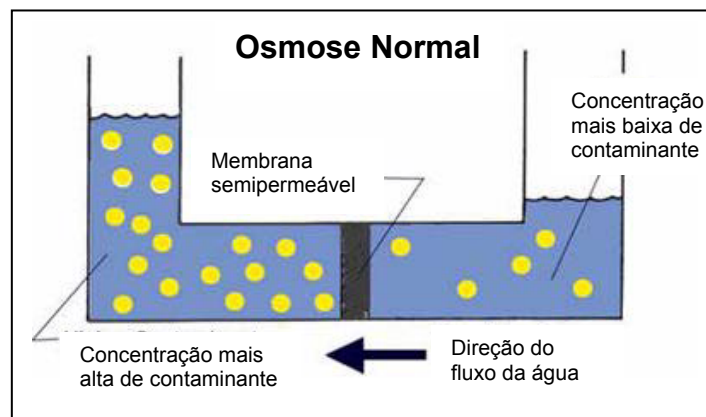


Figura 5: Representação do processo de osmose normal

2.2.1 - A Osmose Reversa (OR)

A osmose reversa é a reversão do fluxo natural da osmose. Por exemplo, em um sistema de purificação de água, o objetivo não é diluir a solução de sal, mas separar a água pura do sal e de outros contaminantes. Quando o fluxo osmótico natural é invertido, a água da

solução de sal é forçada através da membrana no sentido oposto pela aplicação da pressão (Figura 6), daí o termo OSMOSE REVERSA (OR)

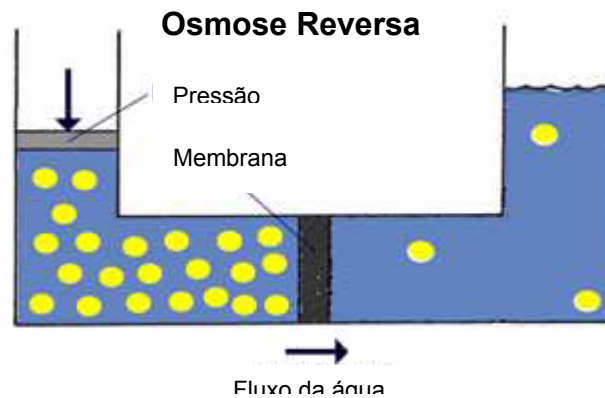


Figura 6: Representação do processo de osmose reversa

A osmose reversa, também conhecida como a hiperfiltração, é o processo de filtração conhecido de maior precisão. Este processo permite a remoção de partículas tão pequenas quanto íons de uma solução. A osmose reversa é usada para purificar a água e remover os sais e as outras impurezas a fim de melhorar a cor, o gosto ou as propriedades do líquido. Pode ser usada para purificar líquidos tais como o etanol e o glicol, que passarão através da membrana da osmose reversa, ao rejeitar outros íons e contaminadores da passagem. O uso mais comum para a osmose reversa está na purificação da água.

A osmose reversa usa uma membrana semipermeável, permitindo o líquido purificado passar por ela, ao rejeitar os contaminadores que remanescem. A maioria da tecnologia da osmose reversa usa um processo conhecido como o *crossflow* para permitir que a membrana limpe-se continuamente (Figura 7). O processo da osmose reversa requer uma força direcional para empurrar o líquido através da membrana, e a força mais comum é obtida através da pressão fornecida por uma bomba. Quanto mais elevada à pressão, maior a força direcional. Como a concentração do líquido aumenta à medida que os rejeitos vão sendo detidos pela membrana, a força direcional requerida para continuar concentrando o líquido aumenta.

A osmose reversa é capaz de rejeitar bactérias, sais, açúcares, proteínas, partículas, tinturas, e outros constituintes que têm um peso molecular de aproximadamente 150-250 daltons. A separação dos íons através da osmose reversa é mais eficiente para partículas carregadas. Isto significa que os íons dissolvidos que possuem uma carga, tal como sais, são

mais prováveis de serem rejeitados pela membrana do que aqueles que não são carregadas, como orgânicos. Quanto maior a carga e maior a partícula, mais provavelmente será rejeitada.

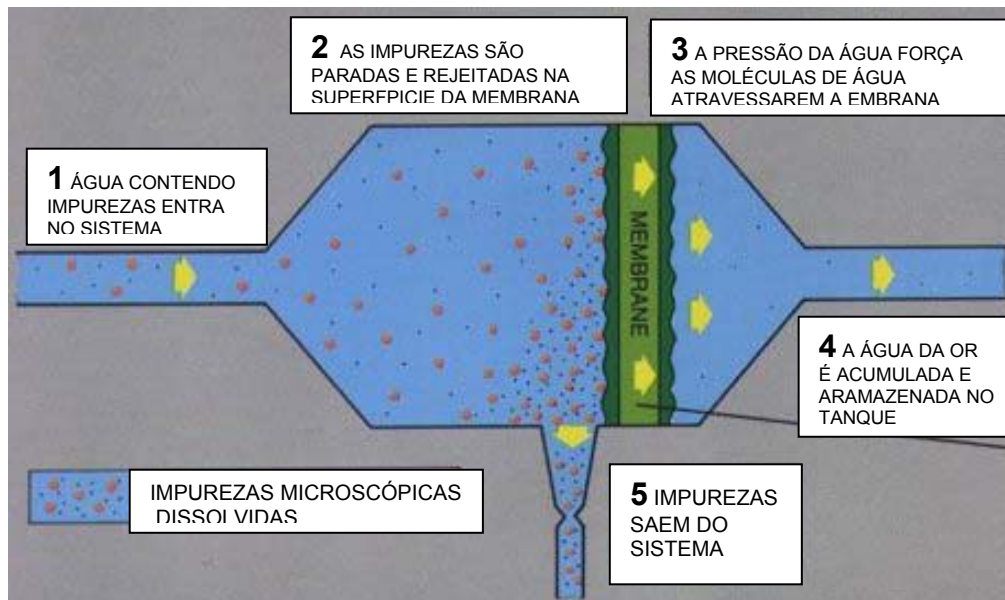


Figura 7: Processo de auto-limpeza da membrana

2.2.2 - Processo de Dessalinização por OR

Um sistema típico de tratamento de água por OR inclui dois elementos básicos de processo: um subsistema de pré-tratamento e a unidade de OR principal (Figura 8). De acordo com Morales e Barrufet (2002), a qualidade da água de alimentação determina a quantidade e o tipo de pré-tratamento necessário para realizar uma OR econômica, fator relevante em qualquer operação. As superfícies de membrana estão sujeitas à obstrução pelos materiais particulados, partículas inorgânicas (por exemplo, sais de carbonato e sulfatos de metais alcalinos terrosos), óxidos e hidróxidos de ferro, material orgânico (por exemplo, húmus, tanino, etc.) e material biológico (por exemplo, bactérias, fungos, algas).

Uma unidade de pré-tratamento típica consiste em um filtro de areia, um filtro de carbono ativado e um filtro de cartucho de profundidade. O filtro de areia é usado para remover impurezas maiores, porém, os filtros de areia podem entupir bastante depressa e a granulometria da areia permite que muitas impurezas menores atravessem.

O filtro de carbono ativado absorve orgânicos de peso molecular baixo e reduz a quantidade de cloro ou outros halogêneos, mas não remove sal. Este processo de absorção leva tempo, assim são limitadas taxas de serviço a um máximo de cerca de $62 \text{ Lmin}^{-1}/\text{m}$. A acumulação de sólidos pode requerer reversão do fluxo, porém isto pode resultar em perda do material de carbono ativado relativamente frágil. Depois de meses ou anos, diminui a capacidade de adsorção do carbono e se faz necessária a substituição ou reativação, um processo que não se realiza facilmente em campo. Estes filtros também podem necessitar serem mudados periodicamente para evitar crescimento bacteriano. Os hidrociclones, meio coalescente e materiais de argila orgânica, também podem ser usados para a remoção de óleo na parte de pré-tratamento destes sistemas.

No filtro de cartucho de profundidade, partículas restantes (em torno de 1 a 100 micron) são capturadas nas aberturas complexas de um material de filtro construído de algodão, celulose, fios sintéticos ou "blown" de microfibras como o polipropileno. Estes filtros têm densidade mais baixa no lado externo e densidade progressivamente mais alta para a parede interna. O efeito desta densidade graduada é apanhar partículas mais grossas fora da parede e as partículas menores na parede interna. Como as partículas se acumulam, a queda de pressão pelo filtro aumenta e quando a diferença de pressão entre a entrada do filtro e saída aumenta de 5 - 10 psi, relativo ao ponto de partida, o filtro é lavado novamente ou substituído. Depois do pré-tratamento para remover partículas suspensas, a água de entrada é pressurizada com uma bomba para exceder a pressão osmótica (tipicamente 200-400 psi, dependendo do sistema de OR e contaminantes). Uma porção da água (permeado) se difunde pela membrana de OR que deixa para trás sais dissolvidos e outros contaminantes com a água restante. Este "rejeito" ou "concentrado" é tirado fora como resíduo. A OR remove todos os componentes orgânicos e até 99 por cento de íons inorgânicos.

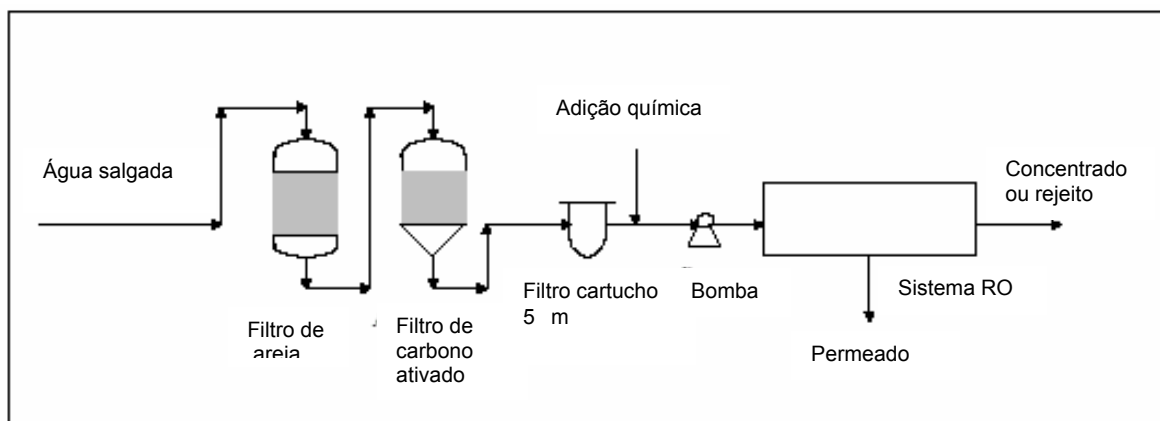


Figura 8: Esquema de um típico sistema de tratamento por OR.

A obstrução da membrana de OR é um fenômeno complexo que envolve a deposição de materiais na superfície da membrana que particularmente entopem o sistema. A acumulação de cálcio nas superfícies de membrana OR é causada pela precipitação de forma reduzida de sais solúveis da água concentrada em sais (especialmente CaCO_3 e BaSO_4). Várias substâncias químicas podem ser adicionadas para prevenir a obstrução da membrana. Por exemplo, ácido sulfúrico ou clorídrico é empregado reduzir pH e prevenir a precipitação de CaCO_3 . Ácido sulfúrico, apesar de mais seguro e mais barato que HCl, aumentará o conteúdo de íons de sulfato na água de alimentação e por conseguinte o risco de precipitação de 3CaSO_4 . A adição de polifosfatos ou, mais recentemente, policarboxilatos é empregado para prevenir a acumulação de CaSO_4 . A cloração, contínua ou em intervalos, é um método de pré-tratamento comum para prevenir o crescimento de bactérias e algas que podem causar obstrução no sistema ou degradação de membranas de acetato de celulose. A quantidade de cloro requerida é determinada pela quantidade de material orgânico na água de alimentação e pela temperatura de água.

2.3 – Tratamento para água produzida usando a tecnologia de membranas

No item anterior, verificamos que em uma unidade típica de tratamento de água por osmose reversa, um pré-tratamento seria necessário. Nesta etapa o uso de hidrociclones, meio coalescente ou materiais de argila orgânica poderiam ser utilizados para remover o óleo.

Neste item será apresentado um tratamento para a água produzida no qual apenas a tecnologia da membrana será utilizada.

2.3.1 – Ultrafiltração (UF)

Em 1990 foi desenvolvida uma membrana de poliacrilonitrila (PAN) na qual foi aplicada uma tecnologia de pós-tratamento que a torna bastante hidrofílica fazendo com que o óleo, a graxa e a gordura sejam repelidos pela membrana e assim, não a cubra, nem a obstrua (Figura 9).

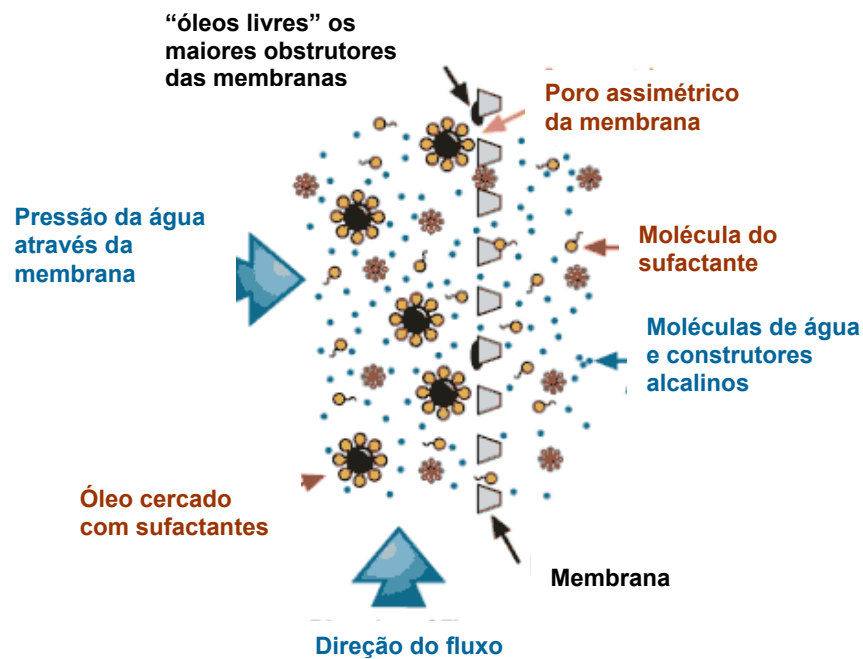


Figura 9: Funcionamento da membrana PAN

Segundo Nicolaisen (2002), a hidroflicidade é medida pelo contato de uma gota de água sobre a superfície do material a ser testado e medindo o ângulo de contato, um número elevado, com 180° sendo o máximo teórico, indica baixa hidroflicidade (ou alta oleoflicidade) e um baixo número indica hidroflicidade elevada. Se o número é baixo, a superfície do material da membrana permitirá que a água passe livremente através do material, enquanto que o óleo, pesado e gorduroso será retido. Na figura a seguir, vemos que o ângulo de contato da membrana PAN (Ultrafilic da M-Series) é somente 4° , o qual comparamos com os das membranas cerâmicas que é 30° e aos dos outros materiais poliméricos que varia de 44 a 112° .

Os passos seguintes das filtrações por membranas, tais como a nanofiltração ou osmose reversa, aproveitam do benefício da total remoção do óleo no passo inicial de Ultrafiltração (UF).

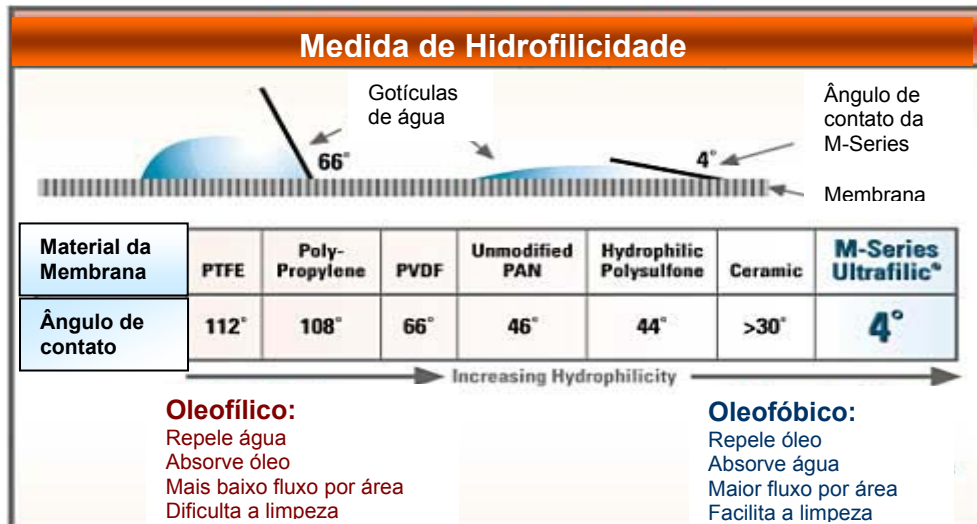


Figura 10: Medida de hidrofilicidade

2.3.2 – Nanofiltração (NF)

Quando a água de alimentação está bem perto do ponto de saturação com relação a um ou mais orgânicos ou minerais, o tratamento OR pode passar a ser ineficiente ou impossível devido ao risco de precipitação de várias espécies na superfície da membrana. Uma etapa intermediária de nanofiltração (NF) pode solucionar este problema, pois com a rejeição de moléculas orgânicas relativamente pequenas, o permeado de NF é ideal como a alimentação a uma etapa subsequente de OR.

2.3.3 - Osmose reversa (OR)

Tomando a membrana de UF como uma etapa de pré-tratamento, no qual o óleo e os metais da água produzida são removidos, e as membranas de NF como meios de amaciar a água produzida, o permeado da etapa de NF transformam-se na alimentação para membrana do OR.

Conseqüentemente, é possível aplicar uma membrana convencional do OR de dois-passes, contanto que a construção da forma tolere a temperatura da alimentação. O desafio agora se transforma simplesmente na escolha dos parâmetros de operação mais seguros e na maneira que mais atende às especificações requeridas do permeado resultante. O permeado da etapa de NF na verdade contém apenas o cloreto de sódio e quantidades pequenas de outros

sais monovalentes, que são rejeitados prontamente pelas membranas apropriadas de OR. O uso pretendido do permeado, por exemplo, para a alimentação de caldeira ou como água de irrigação, determina se o resultado pode ser alcançado em uma ou duas passagens de OR.

A princípio, uma água resultante da qualidade de água de beber é possível, com o obstáculo principal que surge por considerações estéticas.

2.4 – Impacto Ambiental e Legislação

O impacto ambiental provocado pelo descarte da água produzida é geralmente avaliado pela toxicidade dos constituintes e pela quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos presentes. Oliveira e Oliveira (2000) afirmam que os contaminantes presentes nas águas produzidas podem causar diferentes efeitos sobre o meio ambiente. Após o descarte, alguns destes contaminantes permanecem dissolvidos, ao passo que outros tendem a sair da solução. Acredita-se que os efeitos mais nocivos ao meio ambiente são aqueles relacionados aos compostos que permanecem solúveis após o descarte da água produzida.

Geralmente, a salinidade e o teor de óleo presente nas águas produzidas são os fatores determinantes para a escolha do(s) processo(s) de tratamento e do local de descarte do efluente tratado. Na indústria de petróleo, o termo óleo é normalmente empregado para descrever o material orgânico que, em águas produzidas, pode incluir hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, fenóis e ácidos carboxílicos. O material orgânico está presente nas águas produzidas tanto na forma dispersa como na forma dissolvida.

Em 1993, o EPA (*Environmental Protection Agency*), dos EUA, estabeleceu novos limites, em termos de teor de óleo e graxas (TOG) livres, para o descarte de águas produzidas em ambiente *offshore*. Atualmente, estes limites são de 29 mg/L, como média mensal, e de 42 mg/L, como limite máximo diário permitido.

Em recente revisão na Convenção de Paris para a prevenção de poluição marinha por fontes baseadas em terra, reduziu-se o limite de TOG livre médio mensal de 40 mg/L para 30 mg/L nos oceanos Ártico e Atlântico Nordeste (PARCOM). Todavia, no Mar do Norte o limite de TOG livre continua sendo de 40 mg/L como média mensal.

Dentre as substâncias indicadas pela PARCOM como de elevada toxicidade estão o mercúrio, o cádmio e seus compostos. Estes metais pesados estão presentes nas águas produzidas em quantidades detectáveis, e fazem parte da lista negra, segundo classificação da PARCOM. Existe também a chamada de lista verde, onde estão compostos que necessitam de estrito enquadramento dentro dos limites estabelecidos para descarte, e incluem outros metais pesados, alguns radionuclídeos e os hidrocarbonetos presentes a níveis de mg/L.

Segundo a resolução CONAMA 20/86, o conteúdo de óleo nos efluentes aquosos para descarte não deve exceder o valor de 20 mg/L, sendo necessário tratamento prévio destes efluentes, em planta de processo, antes de lançá-los diretamente ao mar.

2.5 – Especificação da água de injeção

Existem quatro fontes reais de água para injeção, sendo três naturais (água de manancial de superfície, água oceânica e água de aquíferos próximos à superfície) e uma artificial (água produzida juntamente com o óleo de poços produtores). Nenhuma delas é ideal, pois, para tal, esta fonte deveria apresentar as seguintes características:

Possuir farta quantidade de água em qualquer época do ano;

Localizar-se o mais próximo possível do local de uso;

O acesso entre a fonte e o local de uso seja fácil;

Possuir água mais clara possível, isto é, estar isenta de partículas em suspensão passíveis de causar entupimentos.

A água deve ser compatível com quaisquer sistemas rocha-fluidos, isto é, que não reaja quimicamente com a rocha, água de formação e óleo.

Ser facilmente deslocável;

Ser isenta de bactérias e de quaisquer outros microrganismos;

Não ser corrosiva, isto é, não conter oxigênio, gás sulfídrico e gás carbônico dissolvidos;

Estar isenta de anions potencialmente geradores de incrustações inorgânicas, isto é, não conter sulfatos e bicarbonatos.

Com a finalidade de se classificar tais fontes segundo a adaptação de suas águas às exigências da injeção, foram listados os principais parâmetros relativos a essas águas e, a cada parâmetro considerado, estabelecido um dado peso, proporcional a sua importância (de 2 a 6, os pesos):

Peso 6: sólidos suspensos; óleo remanescente

Peso 5: disponibilidade;

Peso 4: microrganismos; ânions potencialmente geradores de incrustações; custo de tratamento;

Peso 3: custo de adução; corrosividade.

Peso 2: teor de CO₂, de H₂S, de O₂, salinidade total associada à distribuição catiônica dos sais; sazonalidade.

Em seguida, para cada fonte foi atribuído um valor para cada parâmetro considerando-se o respectivo peso e o resultado foi o seguinte:

- 1- água oceânica: soma = 11
- 2- água de aquífero raso: soma = 16
- 3- água de mananciais: soma = 22
- 4- água produzida: soma = 34

Lembrando que a soma total de cada item por seu peso é de 45, onde a fonte ideal teria soma zero e, a pior possível, 45. Embora a água produzida seja a menos adequada, de acordo com a classificação anterior, nas últimas décadas, especialmente nos últimos cinco anos, os órgãos que cuidam da preservação do meio ambiente tem se manifestado contra o descarte das águas produzidas tanto nos oceanos como em terra e, para permiti-lo, tem estabelecido critérios rígidos, tanto em relação ao teor de óleo como à presença de metais pesados e de certos produtos químicos. Ultimamente, tem-se observado forte tendência em se reinjetar a água produzida, até porque em várias situações, as especificações exigidas para tal têm sido mais brandas do que as estabelecidas ao seu descarte. De acordo com Compagoni *et al.* (1998), essa reinjeção pode ou não estar vinculada a um projeto que vise à recuperação adicional de óleo; em vários casos recorre-se a outros reservatórios para onde a água é injetada, sem vínculo com produção de óleo.

A interação da água com o reservatório receptor pode ocasionar um dano à formação e comprometer as cotas de injeção previstas para o campo. Vários podem ser os mecanismos causadores de dano, porém é fundamental para qualquer dos casos, a caracterização mais completa possível da água a ser injetada no reservatório.

A especificação de uma água de injeção requer, obrigatoriamente, o levantamento de parâmetros básicos e do sistema rocha-fluido do reservatório receptor.

Durante a especificação da água a ser injetada, fatores relevantes a serem analisados são:

Partículas sólidas em suspensão

O inchamento de argilas

Migração de finos

Injeção de água oleosa

Este último ponto tem relevância principal na injeção de água produzida de horizontes produtores de petróleo. A presença de óleo neste processo tem como principais implicações o tamanho das gotas da emulsão formada e a concentração do óleo na água.

De acordo com as observações feitas em testes de fluxo de água oleosa em meio poroso, dependendo da concentração do óleo na água, as gotas de óleo se comportam como se fossem partículas sólidas, causando entupimento no meio poroso e, portanto, reduzindo sua permeabilidade e índice de injetividade.

A partir de certa concentração as gotas de óleo presentes na água de injeção se comportam de modo diferente dos sólidos em suspensão, pois podem coalescer formando uma fase oleosa contínua ou não, com conseqüências na permeabilidade relativa à água que está sendo injetada.

A presença de óleo e de seus sucedâneos é um dos fatores a serem monitorados, pois, o óleo, está sempre presente na água produzida, razão por que, quando há interesse de aproveitá-la para reinjeção, compondo um projeto de injeção de água, a redução da

quantidade de óleo é realizada até que sua concentração se estabiliza em níveis costumeiramente baixíssimos.

O óleo remanescente, mesmo em diminutas proporções, por exemplo, 5 ppm, pode bloquear os espaços porosos da rocha, especialmente os de baixa permeabilidade. Isto pode ocorrer pelo fato de as frações de óleo que permanecem na água, pesada e ultra-pesadas, são justamente as mais insidiosas e, além disto, podem tais frações fixar partículas inorgânicas nas paredes dos espaços porosos, que noutras condições fluiriam sem obstáculos.

Em geral as Unidades adotam o valor de até 5 ppm para esse índice, independentemente da natureza do óleo em questão e da permeabilidade do intervalo receptor. Em reservatórios de alta permeabilidade aquele valor para o índice pode ser bem mais elevado mesmo em se tratando de óleo polar. Portanto, para o índice relativo à quantidade de óleo presente na água a ser injetada não seja desnecessariamente rigoroso é essencial, em todos os casos, considerar o valor da polaridade relativa do óleo e o da permeabilidade do receptor; quanto maior a permeabilidade e menor a polaridade menos rigor deve ser exigido à quantidade de óleo presente na água a injetar.

CAPÍTULO III

ESTUDO DA PLANTA E DIMENSIONAMENTO

Segundo o tipo de tratamento proposto, tratamento da água produzida usando a tecnologia de membranas, a planta que servirá de referência é a que está esboçada na Figura 11 a seguir:

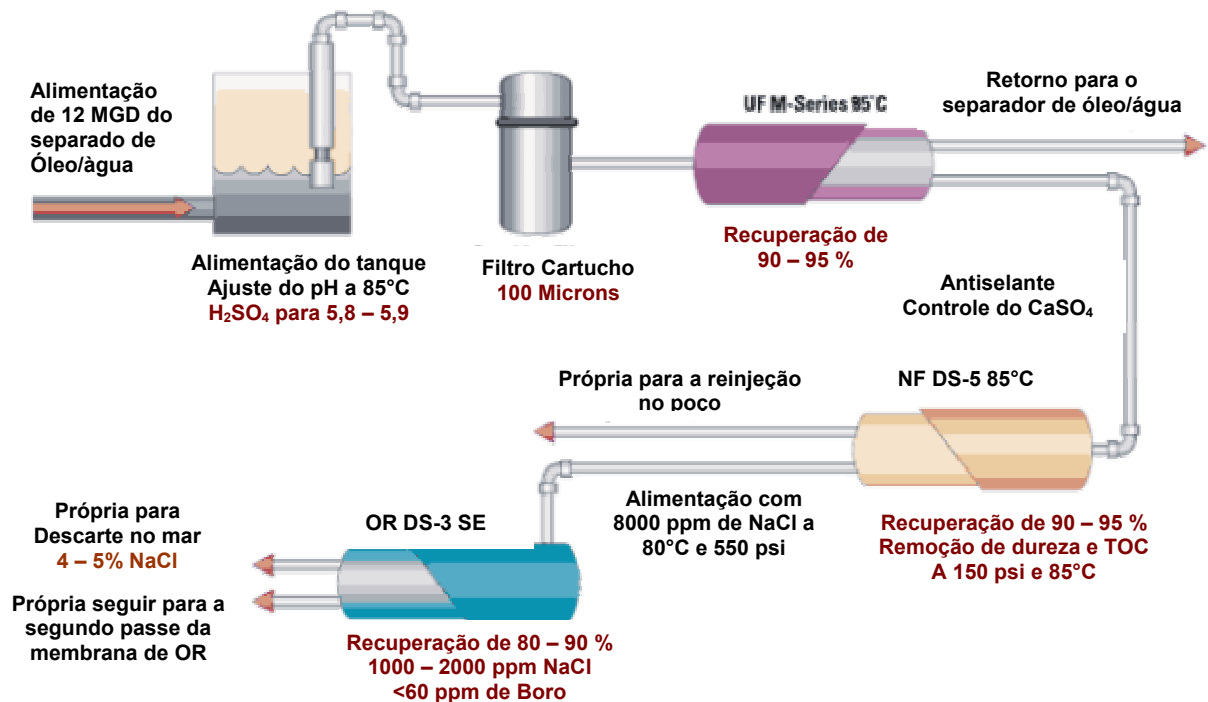


Figura 11: Fluxograma do processo de tratamento da água produzida utilizando a tecnologia da membrana

3.1 - Ultrafiltração (UF)

De acordo com Nicolaisen (2002), a ultrafiltração executada pela membrana da M-series, remove o óleo a níveis abaixo de 1,0 ppm e os sólidos suspensos deixam a alimentação após os pré-filtros. Durante 1.750 horas de operação, o declínio do fluxo foi alto o suficiente para exigir a limpeza da membrana apenas duas vezes e esta limpeza foi limitada à lavagem com água quente, o que restaurou as características originais do fluxo da membrana de UF.

Os passos seguintes das filtrações por membranas, tais como a nanofiltração ou osmose reversa, aproveitam do benefício da total remoção do óleo no passo inicial de Ultrafiltração (UF).

A membrana proposta para a etapa de ultrafiltração é a membrana da M-Series, porém, por falta de dados que especifiquem esta membrana, uma membrana equivalente, a G-50, foi utilizada para especificação.

❖ Informação da membrana

As membranas de Ultrafiltração G-50 são usadas para pré-tratamento de OR, redução de cor/TOC, separação óleo/água, remoção de sílica e ferro coloidal. Elas são caracterizadas por um empacotamento externo de fibra de vidro e espaçadores de alimentação padrão. Outros materiais de construção e espaçadores de alimentação especiais estão disponíveis. A superfície da membrana é lisa e resistente à obstrução.

❖ Especificações da membrana

pH indicado: de 2,0 -11,0 - alcance operacional e de 1,0 -11,5 - alcance de limpeza.

Tolerância de cloro: 1.000 ppm dia.

Designação de série: GM

❖ Especificações da membrana para cada modelo

Quadro 1: Especificações das membranas G-50

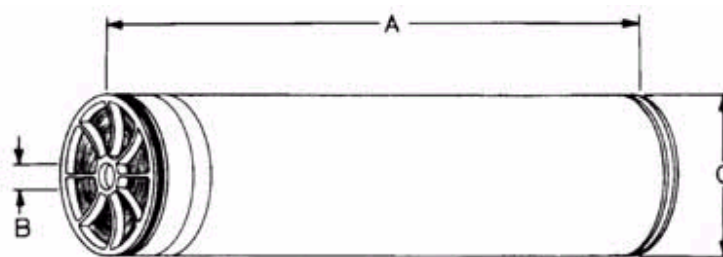
Modelo	GPD (m³/d)	Área ativa ft² (m²)
GM4026F	1.200 (4,54)	60 (5,57)
GM4040F	1.800 (6,80)	90 (8,36)
GM8040F	6.200 (23,44)	350 (32,52) pontos ou vírgulas?

❖ Aplicações típicas da G-50

Quadro 2: Aplicações das membranas G-50

Aplicação	Fluxo médio GFD (LMH)	Pressão média psig (kPa)	% Recuperação	Tratamento obtido
Pré-tratamento da OR				
Água do mar	23 (39,1)	120 (827,4)	50-90	SDI 0-0.04
Municipal	22 (37,4)	150 (1.034,3)	50-90	SDI 0.04
Água residual	25 (42,5)	65 (448,2)	50-80	NTU <0.02
Redução de cor e TOC em águas superficiais	15 (25,5)	105 (724)	70-90	Remoção de 78% do TOC
Separação óleo/água	7,5 (12,8)	105 (724)	70-90	Remoção de 99% dos óleos emulsificados
Remoção de ferro coloidal	30 (51)	100 (170)	75-95	Remoção de 99.5% do ferro coloidal
Remoção de sílica coloidal	30 (51)	100 (170)	50-95	Remoção de 99% da sílica coloidal

❖ Dimensão e peso da membrana para alguns modelos



Quadro 3: Dimensões e pesos das membranas G-50

Modelo	Dimensões, polegadas (cm)			Peso do componente seco, lbs. (kg)
	A	B	C	
GM4026F	26.25 (66.68)	0.625 (1.59)	3.88 (9.86)	6 (2.72)
GM4040F	40.00 (101.6)	0.625 (1.59)	3.88 (9.86)	12 (5.45)
GM8040F	40.00 (101.6)	1.187 (3.01)	7.88 (20.02)	32 (14.53)

3.2 - Nanofiltração (NF)

Quando a água de alimentação está bem perto do ponto de saturação com relação a um ou mais orgânicos ou minerais, o tratamento OR pode passar a ser ineficiente ou impossível devido ao risco de precipitação de várias espécies na superfície da membrana. Uma etapa intermediária de nanofiltração (NF) pode solucionar este problema, pois com a rejeição de moléculas orgânicas relativamente pequenas, o permeado da NF é ideal como a alimentação a uma etapa subsequente de OR. A membrana proposta para a etapa de nanofiltração é a Desal-5 (DS-5).

❖ Informação da membrana

Estas membranas são usadas para remoção/concentração de tintura, e filtração de cloreto de sódio. Elas são caracterizadas por um empacotamento externo de fibra de vidro e espaçadores de alimentação padrão. Outros materiais de construção e espaçadores de alimentação especial estão disponíveis.

Ânions di e multivalentes são rejeitados preferencialmente pela membrana enquanto rejeição de íon monovalente depende da concentração e composição da alimentação. Considerando que íons monovalentes atravessam a membrana, eles não contribuem à pressão osmótica permitindo assim, sistemas de DS-5 nanofiltração a operar a pressões de alimentação abaixo das de sistemas de RO.

❖ Especificação da membrana - DS-5

pH indicado: 2,0 -11,0 (alcance operacional) e 1,0 -11,5 (alcance de limpeza) para elementos de construções padrões.

Tolerância de cloro: 1.000 ppm-horas, descloração recomendada.

Temperatura de máximo: 122°F (50°C) com construção de elemento padrão e até 158°F (70°C) com construção de elemento especial.

❖ Especificações da membrana para cada modelo

Quadro 4: Especificações das membranas DS-5

Modelo	GPD (m ³ /d)	Rejeição de MgSO ₄	Area Ativa ft ² (m ²)
DK4040F	2,000 (7,56)	98%	90 (8,36)
DK8040F	8.000 (30,24)	98%	350 (32,52)
DL4040F	2.800 (10,58)	96%	90 (8,36)
DL8040F	10.200 (38,56)	96%	350 (32,52)

❖ Parâmetros de Projeto e Operação

Membrana: Thin film (TFM)

Pressão típica de operação: 70-400 psig (483-2.758 kPa).

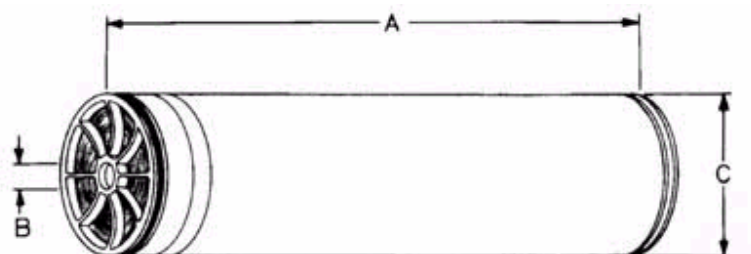
Pressão máxima: 500 psig (3.448 kPa).

Temperatura Máxima: 122°F (50°C).

pH Recomendado: alcance Operacional 2-11 (pH<1 com elemento de construção especial), alcance de limpeza 1-11,5.

Tolerância de cloro: 1.000 ppm-horas, descloração recomendada.

❖ Dimensões e peso da membrana para alguns modelos



Quadro 5: Dimensões e pesos das membranas DS-5

Modelo	Dimensões, polegadas (cm)			Peso do componente seco. (kg)
	A	B	C	
DK4040F	40,00 (101,6)	0,625 (1,59)	388 (9,86)	12 (5,45)
DK8040F	40,00 (101,6)	1,187 (3,01)	7,88 (20,02)	32 (14,53)
DL4040F	40,00 (101,6)	0,625 (1,59)	3,88 (9,86)	12 (5,45)
DL8040F	40,00 (101,6)	1,187 (3,01)	7,88 (20,02)	32 (14,53)

3.3 - Osmose reversa (OR)

Tomando a membrana de UF como uma etapa de pré-tratamento, no qual o óleo e os metais da água produzida são removidos, e as membranas de NF como meios de amaciar a água produzida, o permeado da etapa de NF transformam-se na alimentação para membrana do OR.

Conseqüentemente, é possível aplicar uma membrana convencional do RO de dois-passes, contanto que a construção da forma tolere a temperatura da alimentação. O desafio agora se transforma simplesmente na escolha dos parâmetros de operação mais seguros e na maneira que mais atende às especificações requeridas do permeado resultante. O permeado da etapa de NF na verdade contém apenas o cloreto de sódio e quantidades pequenas de outros sais monovalentes, que são rejeitados prontamente pelas membranas apropriadas de OR. O uso pretendido do permeado, por exemplo, para a alimentação de caldeira ou como água de irrigação, determina se o resultado pode ser alcançado em uma ou duas passagens de OR.

A princípio, uma água resultante da qualidade de água de beber é possível, com o obstáculo principal que surge por considerações estéticas.

A membrana proposta para a etapa de osmose reversa é a Desal-3 (DS-3).

❖ Informação da membrana

Estas membranas são usadas para a dessalinização da água salgada e concentração de fluxo de processo a 400 psig (2.758 kPa). Os componentes SE4025T são caracterizados por uma fita de empacotamento externo. Os componentes SE4026F, SE4040F, e SE8040F se caracterizam por possuírem uma fibra de vidro no empacotamento externo. Outros materiais de construção e espaçadores de alimentação especial estão disponíveis.

A DS-3, uma membrana *thin-film* de osmose inversa, é caracterizada pela elevada rejeição de cloreto de sódio e uma superfície de membrana lisa e resistente à obstrução.

❖ Especificações da membrana

Avaliação da membrana: 99,2% rejeição de NaCl comum. Baseado em 1.000 mg/L de NaCl na alimentação a 400 psig de pressão líquida (2.758 kPa) e 77°F (25°C).

Alcance de pH: Rejeição ótima a pH 5,5 -7,0, alcance operacional 2,0 -11,0, alcance de limpeza 1,0 -11,5.

❖ Especificações da membrana para cada modelo

Quadro 6: Especificações das membranas DS-3

Modelo	GPD (m³/d)	Rejeição Média/Minima de NaCl	Área ativa ft² (m²)
SE4025T	1.200 (4,54)	98,9%/97,5%	55 (5,11)
SE4026F	1.200 (4,54)	98,9%/97,5%	55 (5,11)
SE4040F	2.000 (7,56)	98,9%/97,5%	90 (8,36)
SE8040F	7.700 (29,11)	98,9%/97,5%	350 (32,52)

❖ Parâmetros de Operação e projeto

Membrana: Membrana de *thin-film* (TFM).

Pressão operacional típica: 300-500 psig (2,069-3,448 kPa).

Pressão Máxima: 500 psig (3.448 kPa).

Temperatura Máxima: 122°F (50°C).

pH Recomendado: Rejeição ótima a 5,5 -7,0, alcance operacional 2,0 -11,0, alcance de limpeza 1,0 -11,5.

Alimentação NTU: <1

Alimentação SDI: <5

Tolerância de cloro: 500 ppm-horas, descloração recomendada.

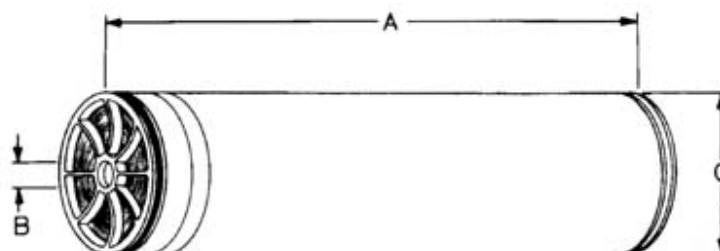
Fluxo do Permeado: Máximo não deve exceder especificações.

❖ Desempenho da membrana

Quadro 7: Percentagem de rejeição da membrana DS-3

Íon	Concentração da alimentação (mg/L)	% Rejeição
Sódio	68,0	99,0
Cálcio	80,0	99,8
Magnésio	21,0	99,7
Potássio	4,1	99,8
Bicarbonato	132,0	98,0
Sulfato	163,0	99,7
Cloreto	51,0	98,6
Sílica	9,3	>99,0
TDS	528,0	99,1

❖ Peso e Dimensões da membrana para alguns modelos



Quadro 8: Dimensões e pesos das membranas DS-3

Modelo	Dimensões, polegadas (cm)			Peso do componente seco, lbs. (kg)
	A	B	C	
SE4025T	25,00 (63,50)	0,625 (1,59)	3,88 (9,86)	5 (2,27)
SE4026F	26,25 (66,68)	0,625 (1,59)	3,88 (9,86)	6 (2,72)
SE4040F	40,00 (101,6)	0,625 (1,59)	3,88 (9,86)	12 (5,45)
SE8040F	40,00 (101,6)	1,187 (3,01)	7,88 (20,02)	32 (14,53)

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho, por se tratar de um estudo técnico e econômico para utilização da osmose reversa no tratamento da água associada ao petróleo, teve como metodologia principal o levantamento bibliográfico de dados relevantes para o dimensionamento do processo em escala piloto.

Dentro do levantamento realizado, foi escolhida uma planta como referência na qual o processo ocorre em duas etapas:

4.1 - Pré-tratamento

Uma determinada etapa de pré-tratamento da alimentação para um processo que utiliza membranas é necessária na maioria dos casos. O pré-tratamento pode incluir a filtração da partícula, o ajuste do pH como já foi dito anteriormente. No caso deste estudo piloto, a água produzida dos separadores de óleo foi levado a um tanque, o pH foi ajustado a 5,8 com ácido sulfúrico e foi conduzido a um tanque com um fundo cônico onde os sólidos fossem de depositando. Havia um pequeno transbordamento contínuo, que removia o óleo flutuante. A alimentação às membranas de UF foi filtrada por um filtro cartucho de 100 microns, que foi mudado aproximadamente na terceira semana.

4.2 - O processo em si

Após o tanque de pré-tratamento, a alimentação a 85°C entrou no equipamento de Ultrafiltração (UF), que foi operado na recuperação de 90% a 95% com o concentrado retornando aos separadores de óleo. O anti-escalante foi adicionado a permeado da ultrafiltração (UF) com a finalidade de impedir a acumulação do sulfato de cálcio na membrana subsequente de Nanofiltração. O equipamento de nanofiltração foi operado na mesma temperatura de recuperação de 90% a 95% com o concentrado da nanofiltração (NF) dentro das especificações para ser reinjetado no poço. O permeado da nanofiltração (NF) foi tratado na primeira etapa de osmose reversa (OR), também a 85°C, mas foi

refrigerado à temperatura ambiente antes da segunda etapa de OR para operar com rejeição máxima de sal. As etapas de OR foram operadas em uma recuperação combinada de 80% a 90%.

A recuperação total da água produzida excedeu 80%, considerando o reciclo do concentrado da UF e o uso do concentrado da OR para várias finalidades.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Baseado nos métodos de tratamento de água produzida que utilizam membranas de filtração, o procedimento escolhido como referência para o dimensionamento da escala piloto foi o que utiliza a combinação de processos de filtração, pois foi comprovado ter uma boa eficiência de remoção de contaminantes da água produzida, obtendo um nível de enquadramento satisfatório tanto para o descarte quanto para a reinjeção ou reuso. Essa conclusão foi obtida após analisar alguns resultados de rejeição de sais utilizando a planta esboçada na Figura 11. Os resultados podem ser visualizados no quadro a seguir.

Quadro 9: Índice de espécies iônicas em várias etapas do processo

	UF Feed	NF Feed	OR Feed	OR Permeate
Condutividade	19.550 μ S	19.550 μ S	11.130 μ S	375 μ S
Sódio	9.610ppm	9.610ppm	5.250ppm	144ppm
Cálcio	715ppm	715ppm	163ppm	5ppm
Magnésio	412ppm	412ppm	115ppm	2ppm
Potássio	174ppm	174ppm	77ppm	2ppm
Amônia	110ppm	110ppm	68ppm	2ppm
Cloreto	8.010ppm	8.010ppm	4.710ppm	114ppm
Sulfato	1.090ppm	1.090ppm	-	-
Óleo	10-50ppm	<1ppm	-	-

- ❖ Após a passagem pela membrana de ultrafiltração, com exceção do óleo, que foi praticamente removido, os outros parâmetros não sofreram alterações.
- ❖ As concentrações do sulfato e do óleo, após a passagem pela membrana de NF tornaram-se insignificantes.
- ❖ O sódio, o cálcio, o magnésio, o potássio, a amônia e o cloreto tiveram suas concentrações bastante reduzidas após a passagem pela membrana de osmose reversa.

- ❖ A água resultante apresenta boa qualidade podendo ser utilizada para irrigação, alimentação de caldeiras entre outros fins.

Os percentuais de rejeição são apresentados a seguir:

- Condutividade: %rejeição = $(19.550 - 375)/19.550 = 98\%$
- Sódio: %rejeição = $(9.610 - 144)/9.610 = 98,5\%$
- Cálcio: %rejeição = $(715 - 5)/715 = 99,3\%$
- Magnésio: %rejeição = $(412 - 2)/412 = 99,5\%$
- Potássio: %rejeição = $(174 - 2)/174 = 98,8\%$
- Amônia: %rejeição = $(110 - 2)/110 = 98,2\%$
- Cloreto: %rejeição = $(8.010 - 114)/8.010 = 98,5\%$
- Sulfato e óleo aproximadamente 100% de remoção.

Conforme observado, podemos verificar o alto pode de rejeição e comprovar a viabilidade técnica do processo escolhido.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Como conclusões deste trabalho, temos:

- ❖ A revisão bibliográfica realizada foi de fundamental importância para a fundamentação teórica do processo de tratamento de água produzida utilizando tecnologia de filtração por membranas.

- ❖ Com base nos artigos pesquisados um processo de tratamento da água produzida foi selecionado e dimensionado em escala piloto observando-se os campos produtores da UN-RNCE. Com base no processo selecionado, podemos observar que associando processos de tratamento juntamente com a osmose reversa, o aproveitamento da água associada à produção de petróleo é tecnicamente viável.

- ❖ Do ponto de vista de qualificação acadêmica para o estagiário, pode-se dizer que, o estágio no Departamento de Engenharia Química da UFRN foi de muita importância, uma vez que desenvolveu na estagiária outras formas de pensar e agir. Embora a estagiária tenha tido pouco contato com processos, o estágio mostrou que para ser tecnólogo ambiental faz-se necessário ter um conhecimento multidisciplinar e aplicar esses conhecimentos em prol do meio ambiente. A pesquisa realizada é voltada para o aproveitamento da água, no caso a água produzida. Com isso podemos reduzir o desperdício e preservar um bem já escasso e de extrema importância para os seres vivos

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFIA

CHERYAN, M., et al, **Reverse Osmosis of Milk with *Thin-film* Composite Membranes**. Journal of Membrane Science, Scheduled for 1990 Publication.

COMB, L., **Wastewater Recovery Using Reverse Osmosis**. Biennial Conference of National Water Supply Improvement Association – 20.08.90

COMPAGONI, E. & et. al . **Manual de Especificação de água de injeção**, Fevereiro-1998

GOULD, C., **Treating Industrial Water with Membrane Technology**.

MORALES, G. and BARRUFET, M. **Desalination of Produced Water Using Reverse Osmosis**. Texas A&M University, 2002

NICOLAISEN, B. **Membrane Filtration of Oil and Gas Field Produced Water**. *Crossflow* Business, Osmonics, Inc. 2002

NICOLAISEN, B. **Produced Water Pilot Study**. *Crossflow* Business, Osmonics, Inc. Larry, 2002.

OLIVEIRA, R. C. G. DE E OLIVEIRA, M. C. K. de. **Remoção de contaminantes tóxicos dos efluentes líquidos oriundos da atividade de produção de petróleo no mar**. Bol. téc. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 43 (2): 129-136, abr./jun. 2000

OSMONICS Inc., **Fundamentals of Osmo Systems**. Engineering Memo 13. Resolução CONAMA20/86

RUDIE, B. J., et al **Reverse Osmosis and Ultrafiltration Membrane Compaction and Fouling Studies Using UF Pretreatment**, Chapter 29, Reverse Osmosis and Ultrafiltration, edited by Sourirajan and Matsuura, ACS Symposium Series 281, Copyright 1985.

Separation & Filtration Systems - 03 01 95.

WILLIAMSON, J., PAULSON, D, **Select Engineering Principles of *Crossflow* Membrane Technology**. Second Regional Meeting of the American Filtration Society - 03 01 90.

www.contentsdirect.com

www.medonline.com.br

www.osmonics.com

www.springway.com.br/sist/sist-pt2.html

www.webofscience.com

Anexo I

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
SUPERVISIONADO

RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO EMPRESA CTGÁS

TÍTULO:

*Elaboração Do Procedimento Para
Ensaio De Emissões Em Queimadores
Queimadores Industriais A Gás Natural*

ESTAGIÁRIA:

Andressa Bezerra de França

ORIENTADORES:

*Márcia Maria Lima Duarte
Elierton Evangelista das Neves*

PERÍODO:

Agosto/2003 a Março/2004

ANDRESSA BEZERRA DE FRANÇA

**ELABORAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA ENSAIOS DE EMISSÕES EM
QUEIMADORES INDUSTRIAIS A GÁS NATURAL**

Relatório apresentado ao Departamento de Engenharia Química da UFRN como pré-requisito para obtenção do conceito na disciplina DEQ0330–Estágio Supervisionado, visando a conclusão do curso de graduação em Engenharia Química.

NATAL/RN
MARÇO DE 2004

França, Andressa Bezerra de – Elaboração do Procedimento para Ensaio de emissões em queimadores industriais a gás natural. Relatório de Estágio Supervisionado, UFRN, Departamento de Engenharia Química, PRH/ANP-14, Natal – RN.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Maria Lima Duarte

Supervisor: Eng^o. Elierton Evangelista das Neves

Colaboradores: Dartagnan Pereira de Souza

Lenildo Vieira da Silva

Resumo: O presente relatório tem caráter curricular para o estagiário. Realizado nas dependências do Centro de Tecnologias do Gás – CTGÁS, precisamente no Laboratório de Ensaio de Combustão – LEC, durante o período de 26/08/2003 a 05/03/2004, tem por objetivo buscar informações para a elaboração do Procedimento para ensaios de emissões em queimadores industriais a gás natural, visando reduzir problemas referentes a poluição do ar resultante das emissões liberadas por fontes estacionárias, em específico por queimadores industriais. Para tanto realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre os tipos de emissões que resultam dos processos de combustão e os limites de emissões permitidos para fontes estacionárias pontuais. Para tal, contamos com diversos órgãos de proteção ambiental a fim de obtermos referências sobre os limites máximos permitidos. Então realizaram-se alguns testes de ensaios de emissões em queimadores a gás natural, objetivando verificar a adequação dos mesmos à legislação vigente. Ao término do estágio verificou-se um enriquecimento do LEC quanto ao acervo bibliográfico e aos procedimentos laboratoriais. E, para o estagiário, o estágio apresentou-se como excelente fonte para complementar a sua formação acadêmica através da experiência prática.

Palavras-chaves: Gás Natural, Queimadores, Emissões

Dedico este trabalho a meus pais Fernando Varela de França e Luiza Maria Bezerra de França, que sempre me incentivaram e lutaram como puderam para me oferecer todas as condições para que o meu objetivo fosse alcançado.

Agradecimentos

A Deus, primeiramente, por sua infinita bondade e sabedoria e a força que Ele me concedeu nos momentos de dificuldades, que não foram poucos, para que eu não desistisse de meu objetivo e conseguisse vencer.

À minha família, pelas constantes palavras de incentivo e paciência que tiveram para comigo, mesmo nos momentos de puro *stress*. Em particular a meus pais, Luiza e Fernando, pelos momentos de extrema felicidade que passamos juntos e pelos ensinamentos que me conduziram sempre pelos caminhos do bem; meus irmãos, Fernando Júnior, André Felipe e Thiago, pela nossa união, amizade e paciência que tiveram para comigo.

A meu namorado, Sócrates Alexandre, pelo companheirismo, dedicação e incentivo que foram muito importantes nesta fase de minha vida.

A todos os meus amigos, aqueles antigos e os que conquisei durante essa longa caminhada por todos os momentos felizes que vocês me proporcionaram, pela paciência de me ouvir e me dar uma força quando precisei.

Às minhas grandes amigas do CEFET-RN, Cláudia Lourenço, Danielle Cristine, Kaline Juliene e Vanderlene Melo, que, por tantas vezes, me salvaram de apertos.

Às professoras Ana Lúcia da Mata e Márcia Duarte (DEQ/UFRN) e ao Professor Eduardo Lins (DEQ/UFRN), pelos ensinamentos que me proporcionaram. Aos demais professores do DEQ/UFRN que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação.

Aos amigos de curso, pelos divertidos momentos que passamos. Em especial, a Marina Áurea, Marina Rabelo, Paulo Henrique e Davidson Alves, pela amizade sincera. Aos amigos do CTGÁS, pelo companheirismo e colaboração em todos os momentos. Especialmente aos companheiros do Laboratório de Ensaio de Emissões, Elierton

Evangelista, Dartagnan Pereira e Lenildo Vieira, pela colaboração na realização deste trabalho. Aos amigos dos Laboratórios de Meio Ambiente do CTGÁS, principalmente Wendel, Paula e Sueilha, que, embora a convivência tenha sido passageira, foram atenciosos e companheiros.

À ANP, através da comissão gestora do PRH-14, e ao CNPq, pelo apoio financeiro que me foi concedido através dos projetos de pesquisa que participei ao longo do curso.

A todos acima citados e a outros que não aparecem na lista de forma explícita, mas que sempre serão reconhecidos. **Muito obrigado!**

Andressa Bezerra de França

Nomenclatura

SIGLAS

ABC - Agência de Cooperação Brasileira

ANP – Agência Nacional do Petróleo

CEFET/RN – Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte

CIDA - Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTGÁS – Centro de Tecnologias do Gás

CTPETRO – Programa do Ministério de Tecnologia para o Setor de Petróleo e Gás

DEQ – Departamento de Engenharia Química

EPA – *Environmental Protection Agency*

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GNC - Gás Natural Comprimido

GNL - Gás Natural Liquefeito

GSA - Gas Supply Agreement

GTB - Gas Transboliviano SA

HC - Hidrocarbonetos

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IT – Instrução de Trabalho

LEC – Laboratório de Ensaio de Emissões

PETROBRAS – Petróleo do Brasil S.A.

POTIGÁS – Companhia Distribuidora de Gás do Rio Grande do Norte

PRH – Programa de Recursos Humanos

REGÁS – Rede integrada de Pesquisas no Setor de Gás Natural

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia - Brasil SA

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UPGN - Unidades de Processamento de Gás Natural

VOC – Composto Orgânico Volátil

YPFB - Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos

Conceitos Básicos

- **Ar de combustão:** ar que reage quimicamente com o combustível no processo de queima.
- **Ar em excesso:** ar que passa através da câmara de combustão e dutos de tiragem, em excesso ao que é teoricamente necessário para combustão completa.
- **Ar primário:** ar misturado com combustível para atingir determinadas características antes de ser admitido na câmara de combustão.
- **Ar secundário:** ar necessário para realização da combustão, admitido para a zona de combustão, após a combustão com o ar primário ter começado.
- **Aspiração forçada:** é a diferença na pressão produzida pelos meios mecânicos que deixa o ar dentro do queimador com uma pressão maior que a atmosférica.
- **Aspiração induzida:** é a diferença na pressão produzida pelos meios mecânicos resultando em uma pressão negativa no aquecedor que serve para induzir o fluxo do ar de combustão.
- **Aspiração Natural:** é uma diferença na pressão resultante de uma tendência dos gases quentes da fornalha subirem, criando assim um vácuo parcial no aquecedor. Isto serve para arrastar o ar de combustão no queimador.
- **Atomização:** processo utilizado para transformar um combustível líquido para o estado mais próximo possível do gasoso, reduzindo-o a pequenas gotículas, de maneira a aumentar a superfície específica até aproximar-se da fase gasosa, a fim de haver uma mistura eficiente com o oxigênio e, conseqüentemente, uma boa combustão.
- **Burner block:** é um bloco refratário ao redor do componentes do queimador. O bloco dá forma à abertura do fluxo de ar do queimador e ajuda a estabilizar a chama. Os sinônimos são *burner tile*, *mulle block* e *quarl*.
- **Caldeira:** aparelho destinado à geração de vapor de água de uso comercial, residencial ou industrial.
- **Chama-piloto:** pequeno queimador cuja chama destina-se a acender o queimador principal.
- **Chaminé:** duto destinado a conduzir para a atmosfera, para o poço de ventilação ou para a chaminé coletiva, os gases de combustão provenientes de um aparelho de utilização.

- **Combustão completa:** oxidação completa de um combustível, com ou sem excesso de oxigênio.
- **Combustão incompleta:** queima com suprimento insuficiente de oxigênio, de forma que a substância a ser queimada é consumida parcialmente.
- **Combustão perfeita ou estequiométrica:** oxidação total de um combustível com a quantidade teórica exata do oxigênio necessário.
- **Combustão:** combinação, geralmente rápida, entre duas substâncias, combustível e comburente, que libera uma grande quantidade de calor.
- **Combustível fóssil:** qualquer combustível orgânico de ocorrência natural, tal qual petróleo, gás natural e carvão.
- **Combustível:** substância que queimará sob condições controláveis, fornecendo calor numa forma utilizável.
- **Damper:** é uma válvula ou placa móvel, para regular o fluxo do ar ou de outros gases ou o *draft* do fogão, fornalha ou *fireplace*.
- **Downstream ou jusante:** um ponto no fluxo de um fluido ou gás abaixo do ponto de referência. Indica a posição relativa de um componente de um sistema de combustão. Por exemplo, usando o fluxo de gás como um indicador, uma fornalha de gás será o *downstream* do medidor de gás fornecido a fornalha.
- **Draft:** é a diferença na pressão que causa o fluxo do ar de combustão no aquecedor. A pressão diferencial é causada pela diferença entre as densidades dos produtos de combustão no aquecedor e no cano da chaminé e a densidade do ar externo ao aquecedor.
- **Emissão** - liberação de material poluente à atmosfera.
- **Flashback:** é a queima anterior momentânea da mistura de combustível na câmara de mistura de um queimador, na câmara *plenum*, ou em um sistema de combustão; geralmente devido a um excesso do ar primário ou uma velocidade da mistura combustível demasiadamente baixa através da porta do queimador.
- **Fonte de emissão ou fonte** - qualquer processo ou atividade que libera poluentes para a atmosfera.
- **Fonte fixa ou estacionária** - Fonte fixa única, identificável, que libera substâncias poluentes para atmosfera.

- **Fonte pontual** - Fonte fixa com ponto único, perfeitamente identificável (chaminés, dutos, “vents”), que libera poluentes para o meio ambiente. Normalmente chamada apenas de fonte fixa.
- **Fornalha:** é um aparelho de cocção a gás que consiste em um compartimento fechado que utiliza o ar quente como meio de aquecimento.
- **Gás combustível:** gás usado para aquecimento, iluminação, geração de energia e propulsão.
- **Ignitor:** dispositivo para acender um ou mais queimadores direta ou indiretamente, podendo ser um meio elétrico (resistência, centelha etc). ou um meio térmico (chama-piloto).
- **Jusante:** expressão que se refere a um determinado objeto instalado após o de referência, no sentido de escoamento do fluído.
- **Mistura pobre:** é uma mistura ar/combustível cuja concentração do ar é mais do que suficiente para realizar uma combustão completa fazendo com que os gases resultantes da combustão contenham um excesso de oxigênio.
- **Mistura rica:** é uma mistura ar/combustível cuja concentração do ar não é suficiente para uma combustão completa.
- **Poder calorífico inferior:** quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade em volume ou massa de um combustível, quando queimado completamente em uma certa temperatura, permanecendo os produtos de combustão em fase gasosa (sem condensação do vapor d’água).
- **Poder calorífico superior:** quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade em volume ou massa de um combustível, quando queimado completamente em uma determinada temperatura, levando-se os produtos da combustão, por resfriamento, à temperatura da mistura inicial (o vapor d’água é condensado e o calor recuperado).
- **Produtos da combustão:** são os materiais resultantes da combustão, como o gás de chaminé e as cinzas.
- **Queimador de alta intensidade:** é um queimador no qual a combustão é completada dentro de um volume fixo resultando em uma combustão intensa maior que 1.000.000 btu.h/ft³.

- **Queimador *low-NO_x*:** é um queimador que é projetado para reduzir a formação de NO_x abaixo dos níveis gerados em queimadores convencionais durante a combustão normal.
- **Queimador *staged-air*:** é um queimador em que uma parte do ar combustível é injetada à jusante do *burner block* para misturar com os produtos de combustão e com o combustível instável da zona de combustão primária.
- **Queimador *staged-fuel*:** é um queimador *low-NO_x* no qual uma porção do combustível é misturada a todo o ar de combustão dentro do *burner block* para misturar com os produtos de combustão enquanto a segunda porção é injetada à jusante do *burner block* para fornecer a combustão atrasada.
- **Queimadores *premix*:** é um queimador equipado geralmente com um ventilador de ar, projetado para produzir uma pré-mistura de combustível e ar que possa se inflamar nas portas do queimador.
- **Queimadores principais:** queimadores destinados a assegurar a função térmica do aparelho.
- **Razão ar/combustível:** é a razão entre a vazão do ar e a vazão do combustível, quando ambos são medidas nas mesmas condições. A razão ar/combustível é recíproca à razão combustível/ar.
- **Registro de ar:** é aquela parte do queimador que pode aceitar ar de combustão através de um conjunto de aberturas em volta do queimador.
- **Taxa de aquecimento:** é a taxa em que o combustível é alimentado a um queimador, expressa em unidade de volume, calor ou peso por unidade de tempo.
- **Temperatura da chama:** é a temperatura alcançada, durante a combustão sustentada, dentro da chama do queimador.
- **Turn Down:** razão entre o máximo e mínimo fornecimento de combustível ao queimador.

1. Introdução Geral

Os desenvolvimentos industrial e urbano têm originado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias resulta na sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais, sendo responsável por danos à saúde, pela redução da produção agrícola, por danos nas florestas, degradação de construções e obras de arte e de uma forma geral origina desequilíbrios nos ecossistemas.

Os problemas de qualidade do ar encontram-se localizados em algumas áreas onde é maior a concentração urbana e a presença de grandes unidades industriais.

No entanto, a poluição do ar, devido às características da circulação atmosférica e devido à permanência de alguns poluentes na atmosfera por largos períodos de tempo, apresenta um caráter transfronteira e é responsável por alterações no nível planetário, o que obriga à conjugação de esforços em nível internacional.

São, deste modo, exigidas ações para prevenir ou reduzir os efeitos da degradação da qualidade do ar, o que já foi demonstrado ser compatível com o desenvolvimento industrial e social. A gestão da qualidade do ar envolve a definição de limites de concentração dos poluentes na atmosfera, a limitação de emissão dos mesmos, bem como a intervenção no processo de licenciamento, na criação de estruturas de controle da poluição em áreas especiais e apoios na implementação de tecnologias menos poluentes, como, por exemplo, o uso do gás natural (GN).

A aplicação do gás natural para geração de energia significa menos agressões ambientais, pois a combustão do gás é uniforme e apresenta baixo índice de emissão de poluentes. Além da eliminação de fumaça, há uma redução de até 98% do óxido de enxofre e 70% do óxido de nitrogênio, em relação ao óleo diesel, e de cerca de 90% de monóxido de carbono em relação à gasolina. Isto ocorre porque a queima do gás natural é mais completa do que a queima de outros combustíveis.

Dentro dessa esfera, que engloba o setor industrial e a questão ambiental, está inserido o presente trabalho, que tem caráter curricular e será apresentado da seguinte forma:

No Item 2, será feita uma rápida apresentação da empresa, mostrando seus objetivos e estrutura.

No Item 3, será apresentada a fundamentação teórica, enfocando os temas gás natural, emissões e os tipos de queimadores.

O Item 4 foi destinado à descrição das atividades propostas para o período de estágio.

No Item 5, serão apresentados os resultados alcançados e as discussões, numa forma de comparação com as atividades apresentadas no Item 4.

Nos Itens 6 e 7, serão apresentadas, respectivamente, as conclusões obtidas durante a realização deste trabalho e a bibliografia que foi usada como suporte para o desenvolvimento do mesmo.

2. A Empresa

2.1. Introdução

O Centro de Tecnologias do Gás – CTGÁS, situado na avenida capitão-mor gouveia, 1480, lagoa nova – Natal/RN, é um consórcio, resultado de uma inédita e bem-sucedida aliança entre senai e petrobras e deve cumprir um papel decisivo no desenvolvimento sustentado da indústria nacional, incentivando a competitividade empresarial e disseminando o uso de gás natural nos diversos segmentos de mercado.

O centro deve atender às demandas dos atores da cadeia produtiva do gás natural através das atividades integradas de pesquisa, assessoria e informação tecnológica.

O CTGÁS foi pensado a partir de dois modelos de gestão de tecnologias: o modelo dos centros de excelência da petrobras e o modelo dos centros nacionais de tecnologia do senai. A partir de sua estrutura localizada em natal-rn e mais em 14 outros estados da federação brasileira, o ctgás se propõe a atender o mercado nacional, através da rede nacional de núcleos de tecnologias do gás (regás), com os seguintes objetivos:

Elevar a disponibilidade e a confiabilidade dos sistemas de utilização do gn e de outros combustíveis gasosos;

Conscientizar e promover a utilização da energia de gás natural enfatizando aspectos de custo, eficiência, segurança e impacto ambiental;

Contribuir para o aumento da competitividade das indústrias com a utilização do gás natural;

Maximizar a eficiência energética dos sistemas de consumo para todos os segmentos de aplicação do gás natural;

Contribuir para a melhoria das condições ambientais do país, a partir do incentivo para a utilização da energia do gás natural em substituição a outras fontes ou insumos.

A sua moderna estrutura física, distribuída em mais de 14.000 m², conta com 11 laboratórios de serviços, 7 laboratórios de ensino, 7 oficinas-didáticas, 20 salas de aula, 2 auditórios com capacidade para 70 e 195 pessoas, 2 salas de videoconferência e biblioteca especializada em gás natural.

No âmbito internacional, o CTGÁS é o responsável brasileiro pela execução de um projeto de cooperação tecnológica firmado entre a abc (agência de cooperação brasileira) e a cida (agência canadense para o desenvolvimento internacional).

Além da sede em Natal/RN, o CTGÁS atua em âmbito nacional através da rede nacional de núcleos de tecnologias do gás natural – regás. São 16 núcleos distribuídos por 15 estados, vinculados administrativamente a uma unidade operacional do senai e tecnicamente suportados pelas unidades de negócios do CTGÁS. Cada núcleo segue uma configuração básica, e possui oficinas específicas.

O Centro de Tecnologia também presta serviços de consultoria, assistência técnica e desenvolvimento de equipamentos, contando, para isso, com os onze laboratórios de pesquisa aplicada. Cinco desses laboratórios – caracterização química, pressão, temperatura, vazão de gás e testes de cilindros – estão em fase de credenciamento junto ao inmetro. Entre os contratos de prestação de serviço estão o monitoramento da transferência de custódia no gasoduto Bolívia-Brasil e estudos de viabilidade econômica para redes de distribuição estadual.

Um desses serviços é o que vem sendo chamado de balanço energético. Enfatizando aspectos de custo, eficiência, segurança e impacto ambiental, os técnicos do CTGÁS

traçam um diagnóstico para as empresas medirem a viabilidade econômica e os benefícios ao adotarem o gás natural.

No item a seguir será apresentado o Laboratório de Ensaio de Combustão, pois este foi o local onde se realizaram as atividades contidas no plano de estágio.

2.2. LEC - Laboratório de Ensaio de Combustão

O Laboratório de Ensaio de Combustão está localizado no CTGÁS - Centro de Tecnologia do Gás (RN). Criado no ano de 2000, esse laboratório tem como objetivo o desenvolvimento de novas metodologias e a aplicação de técnicas experimentais e computacionais dirigidas à resolução de problemas relacionados à combustão, carbonização, economia de energia e fontes alternativas de energia.

O Laboratório de Ensaio de Combustão realiza ensaios para certificação e qualificação de queimadores e/ou sistemas de combustão industrial a gás natural, linha de pesquisa na qual insere-se o estágio. Outra linha de atuação do laboratório é a realização de ensaios de desenvolvimento, os quais compreendem estudos de avaliação e otimização de equipamentos de queima, bem como estudos da conversão de fornos e processos de fabricação de produtos cerâmicos ao uso do gás natural.

Este laboratório possui 2 bancos de ensaios de combustão (Figura 2.1 a seguir) capazes de realizar ensaios de queima de diversos produtos em escala real, possibilitando assim uma maior confiabilidade dos resultados obtidos.



Figura 2.1: Bancos de ensaios de combustão

Para a avaliação e qualificação de queimadores e sistemas de combustão industrial a gás dispõe-se de um conjunto de 7 diferentes trens de gás que podem ser usados para instalação e conexão de diversos tipos de queimadores ao banco de ensaio. Este conjunto de trens de gás estão mostrados na Figura 2.2:



Figura 2.2: Trens de Gás

Existe ainda 1 caldeira a gás do tipo flamotubular (Figura 2.3), utilizada para realizar testes de equipamentos que utilizem suprimento de vapor, para realizar estudos de avaliação da redução dos níveis de emissões (CO, NO_x e outros) por caldeiras a gás natural e também para capacitar operadores de caldeiras a gás natural.



Figura 2.3: Caldeira a gás do tipo flamotubular

O monitoramento e registro das variáveis dos ensaios são feitos em tempo real por um sistema de aquisição de dados composto por Controlador Lógico Programável – CLP e Supervisório (ver Figura 2.4).



Figura 2.4: Sistema de aquisição de dados

3. Aspectos Teóricos e Revisão da Literatura

3.1. Gás Natural

3.1.1. Introdução

O gás natural é um combustível fóssil, consistindo basicamente de uma mistura de hidrocarbonetos leves. É encontrado em rochas porosas no subsolo, podendo estar associado ou não ao petróleo. Ou seja, é composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, predominando o metano e, em menores quantidades, o etano, o propano e o butano, entre outros. No estado bruto, apresenta também baixos teores de contaminantes, como o nitrogênio, o dióxido de carbono, a água e compostos de enxofre. Legalmente, através da definição estabelecida na Lei nº 9.478/97, gás natural ou gás é todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros.

3.1.2. Uso do Gás Natural no Brasil e no Mundo

A utilização do gás natural no Brasil ainda não é de larga escala, tendo em vista a ênfase dada aos derivados do petróleo e à energia elétrica proveniente de fontes hídricas.

Tendo em vista os problemas da falta de investimentos ocorridos no setor elétrico ao longo de toda a década de 80, em especial na área de sistemas de transmissão, o gás natural surge como opção para o aumento da oferta de energia a partir da sua utilização como combustível em usinas termelétricas.

Desta forma, em 1993, teve-se a definição de uma meta energética por parte do Ministério de Minas e Energia, qual seja, a de aumentar a participação do gás natural na matriz energética brasileira de 2,5% em 1996 para 12% até o ano de 2010. Esta meta foi desdobrada em outras ações por parte da Petrobras, que a inclui em seu próprio

planejamento estratégico e também no plano tático, originando uma série de ações voltadas para viabilizar o objetivo em nível de governo.

3.1.3. Mercado

A expectativa da entrada de gás boliviano no Brasil através do Gasoduto Bolívia-Brasil, assim como o da Argentina, culminou no interesse de diversos setores da economia para a utilização do energético. Novas empresas de distribuição de gás canalizado foram consolidadas, outras foram privatizadas e reformularam suas estratégias de atuação. O apoio financeiro de seus novos acionistas vem disponibilizando o gás para novas regiões.

O segmento industrial avalia a melhor forma de introduzir o energético em seus processos produtivos. A oferta do gás possibilitou a estruturação de projetos termelétricos, que se multiplicam para suprir a carência da capacidade instalada de geração de energia elétrica.

3.1.3.1. Questão ambiental

A questão ambiental é tratada de forma genérica pelo país. Atualmente os problemas da poluição hídrica, da poluição atmosférica e da geração de resíduos sólidos começam a alertar para a necessidade de implementação das normas ISO-14.000 nas indústrias, com ênfase para a gestão ambiental. Na hipótese de que as restrições ambientais constituirão barreiras não-tarifárias crescentes e tenderão a abranger todos os setores cuja competição no mercado seja acirrada, a não-antecipação das restrições acarretará perdas de espaços atuais e futuros de competitividade.

O gás natural deverá cada vez mais fazer parte dos temas de debate sobre o assunto "meio ambiente" nos próximos anos. A difusão deste energético promoverá uma abertura

para novas tecnologias na área ambiental e uma adequação dos seus processos industriais para atender as novas legislações municipais, estaduais, federais e internacionais em vigor.

Combustíveis com menor emissão específica de carbono, de composto de nitrogênio e de enxofre, ou que contribuem menos, seja conjuntamente ou em separado, para a poluição atmosférica e o "efeito estufa", têm uma vantagem competitiva em relação aos demais. Assim, espera-se um aumento do consumo de GN e a diminuição do consumo de alguns derivados de petróleo.

3.1.3.2. Competitividade

A administração de incentivos ao segmento industrial com maior potencial de competitividade internacional motivará investimentos em conversões energéticas e implementação de estações de cogeração. No entanto, introduz-se, aliado ao conceito de tecnologia competitiva, o conceito de tecnologia apropriada. O gás natural contribuirá para que as exigências das normas internacionais sejam cumpridas.

3.1.3.3. Desenvolvimento

O desenvolvimento sustentável agrega ações que merecem um tratamento mais rigoroso, por constituírem variáveis de decisão dentro do cenário energético que começa a ser desenhado.

As variáveis de decisão dependem das estratégias para desenvolver o mercado. Tais estratégias se definem a partir de ações articuladas sobre a demanda e oferta de energia, as importações dos equipamentos, a disponibilidade de financiamentos, a questão social e ambiental e uma estrutura de serviços que suporte as necessidades do mercado.

Diante deste quadro, leva-se em consideração a necessidade de ganhos de eficiência nos setores produtivos brasileiros. Ganhos de eficiência incluem a melhoria da infraestrutura, o aumento da malha de gasodutos de transporte e da malha de distribuição de gás canalizado, e a modernização tecnológica.

3.2. A Cadeia Produtiva do Gás Natural

Como é comum na cadeia de valores do gás natural que exige a construção de projetos de infra-estrutura, existem vários contratos de longo prazo e acordos intergovernamentais que viabilizam a construção do gasoduto de ligação entre áreas produtoras e consumidoras deste energético. No caso brasileiro, o projeto do Gasoduto Bolívia-Brasil foi viabilizado pelo Acordo de Suprimento de Gás Boliviano - GSA (Gas Supply Agreement) entre Petrobras e YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos), que consolidou os entendimentos que até a data de sua assinatura estavam sendo conduzidos em nível governamental entre as duas nações. Os contratos de transporte do gás no trecho boliviano entre Petrobras e GTB (Gas Transboliviano SA) e no trecho brasileiro entre Petrobras e TBG (Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia - Brasil SA) e os contratos de fornecimento de gás entre a Petrobras e as cinco distribuidoras ao longo do gasoduto complementam a cadeia contratual original deste projeto de infra-estrutura.

Esta cadeia de valores é constituída pela ligação entre várias atividades econômicas que normalmente são separadas de forma a obter-se a melhor condição de transferência de valor para o consumidor final. A Agência Nacional do Petróleo - ANP é o agente federal encarregado de estabelecer a regulamentação referente à importação, ao transporte e à comercialização do gás natural no Brasil.

As atividades econômicas que compõem a estrutura da indústria de gás natural e suas respectivas estruturas de mercado podem ser resumidas nos seguintes grandes segmentos: exploração do gás natural, desenvolvimento e produção de gás natural, processamento, transporte e distribuição.

3.2.1. A Fase de Exploração

A exploração, primeiro elo da indústria de petróleo e gás natural, está dividida basicamente em pesquisa e perfuração. A pesquisa levanta os diversos fatores que indicam a formação de grandes acumulações de hidrocarbonetos, tais como: presença de rochas geradoras responsáveis pela geração dos hidrocarbonetos; presença de rochas porosas e permeáveis que permitam receber os hidrocarbonetos em seus espaços vazios; presença de trapas que tenham capacidade de armazenar grandes quantidades de hidrocarbonetos, e de rochas selantes que não deixam os hidrocarbonetos se perderem na superfície. Uma vez identificados todos estes fatores, é feita a perfuração do poço.

3.2.2. A Fase de Desenvolvimento e Produção

Depois de confirmada a existência de petróleo e gás natural, inicia-se a fase de desenvolvimento e produção. Até este ponto, as indústrias de petróleo e gás natural caminham juntas. Nas unidades de produção, parte do gás é utilizada como gás lift para reduzir a densidade do petróleo, facilitando sua extração, e parte é reinjetada com duas finalidades: recuperação secundária (que aumenta a pressão interna do reservatório) ou armazenamento em poços de gás não associado. O restante pode ser: (i) consumido internamente na geração de eletricidade e vapor; (ii) queimado em “flares”, caso não haja infra-estrutura suficiente que permita seu aproveitamento e (iii) escoada para Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) ou diretamente consumidas.

3.2.3. A Fase do Processamento

A parcela do gás natural produzida e conduzida através de gasodutos até as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) é tratada. Nestas UPGNs, ocorre a separação das frações mais leves do gás natural e obtêm-se o gás natural seco (metano e etano), o Gás Liquefeito de Petróleo - GLP (propano e butano) e a gasolina natural (pentano e superiores).

3.2.4. A Fase do Transporte

Das UPGNs, o gás seco pode ser transportado até os pontos de entrega para as companhias distribuidoras ou, eventualmente, diretamente a um grande consumidor. O transporte do gás natural pode ser feito: (i) por meio de dutos, forma convencional; (ii) em cilindros de alta pressão (como GNC - gás natural comprimido) e (iii) no estado líquido, como GNL - gás natural liquefeito, que pode ser transportado por meio de navios, barcaças e caminhões criogênicos, a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo seu volume reduzido em cerca de 600 vezes, facilitando o armazenamento. Nesse caso, para ser utilizado, o gás deve ser revaporizado em equipamentos apropriados.

3.2.5. A Fase de Distribuição

A partir do transporte do gás natural, seja por quaisquer meios existentes, este energético pode ser comprado pelas concessionárias de distribuição estaduais e então vendido para os consumidores finais através dos ramais de distribuição. O gás natural pode ser utilizado de diversas formas, desde a produção de calor e frio para o consumo industrial e residencial até a geração de eletricidade e a utilização como matéria-prima pela indústria de transformação.

3.2.5.1. A Companhia Potiguar de Gás – Potigás

A Potigás é uma sociedade de economia mista, responsável exclusiva pela distribuição de gás canalizado no Estado do Rio Grande do Norte. Fundada em novembro de 1993 (Lei Estadual nº 6502, de 26.11.1993), suas operações tiveram início em 8 de março de 1995.

O seu principal objetivo é promover a distribuição e comercialização do gás natural em nosso Estado, contribuindo para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte, a modernização de suas empresas e o bem estar do seu povo, trazendo uma fonte energética não poluente, competitiva, eficiente e segura.

A Potigás tem como compromisso atender as necessidades de energia de seus clientes através do baixo custo de sua energia, qualidade de serviço e confiabilidade no atendimento, garantindo um fornecimento de gás contínuo, com qualidade uniforme e sem riscos de interrupção. Para tanto, investe permanentemente na expansão e modernização da sua rede de dutos para atender a todos os segmentos da economia potiguar.

O mercado do Rio Grande do Norte apresenta um potencial de crescimento tal que indica a possibilidade das vendas de gás natural da Potigás virem a superar os 4 (quatro) milhões de metros cúbicos por dia, em um horizonte de 5 (cinco) anos. Entre os projetos previstos, destacam-se os seguintes:

Ampliação da Rede de Distribuição de Natal

Termelétrica do Vale do Açu (Termoaçu) e Unidades de Cogeração

Implantação do CIA (Centro Industrial Avançado) de Parnamirim

Pólo Gás-Sal

Fornecimento de Gás a Mossoró

Gás Natural para o comércio e domicílios

Pólo cerâmico de Açu e Seridó

Pólo Turístico

3.3. Aplicações e vantagens associadas ao uso do gás natural

3.3.1. Aplicações

O gás natural apresenta diversas aplicações: pode ser usado como combustível para fornecimento de calor, geração e cogeração de energia, como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes. Na área de transportes, é utilizado como substituto de outros combustíveis.

Na indústria de petróleo pode ser usado para injeção em reservatórios, visando aumentar a recuperação de petróleo (óleo + gás) e pode ser consumido dentro da própria indústria em virtude da disponibilidade no próprio local de trabalho, em substituição a outros produtos alternativos, com redução substancial dos custos.

Na indústria petroquímica, gás natural pode ser utilizado como matéria-prima principalmente para a produção de metanol, e na indústria de fertilizantes, para a produção de amônia e uréia.

No setor domiciliar, o gás natural pode ser usado para cocção de alimentos, em substituição ao GLP, para aquecimento de água e climatização de ambientes, em substituição à energia elétrica.

Para o setor de transporte, o gás natural caracteriza-se como uma opção técnica e economicamente viável de substituição do álcool e gasolina para os veículos de passeio. Também pode ser usado em veículos pesados, atualmente movidos a diesel. O gás natural reduz fortemente a emissão de resíduos de carbono, o que aumenta a qualidade do ar, reduz os custos de manutenção e aumenta a vida útil do motor.

A utilização do gás natural no setor energético permite a geração de energia elétrica, a partir de motores a combustão interna, turbinas a gás e até mesmo das recentes células a combustível.

O gás natural também é bastante utilizado em sistemas de cogeração de energia, que é a produção seqüencial de mais de uma forma útil de energia, a partir do mesmo energético. Desta forma, pode-se, por exemplo, ter um sistema a turbina a gás que gera energia elétrica e energia térmica, em que o energético pode ser aproveitado a partir dos gases de exaustão.

Como combustível industrial/comercial, o gás natural vem sendo utilizado na substituição de uma variedade de outros combustíveis alternativos, como: madeira, carvão, óleo combustível, diesel, GLP, nafta e energia elétrica, tanto em indústrias, como no comércio. Proporciona uma combustão limpa, isenta de agentes poluidores, ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como, por exemplo, a indústria de cerâmica e a fabricação de vidro e cimento.

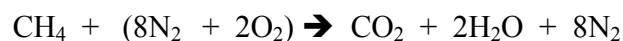
3.3.2. Vantagens

Dentre as vantagens macroeconômicas podemos destacar a diversificação da matriz energética, o fato de as fontes de importação serem regionais, a disponibilidade ampla, crescente e dispersa, a redução do uso do transporte rodo-ferro-hidroviário, a atração de capitais de risco externos, a melhoria do rendimento energético, a possibilidade de uma maior competitividade das indústrias e a geração de energia elétrica junto aos centros de consumo, o que faria com que os preços caíssem consideravelmente.

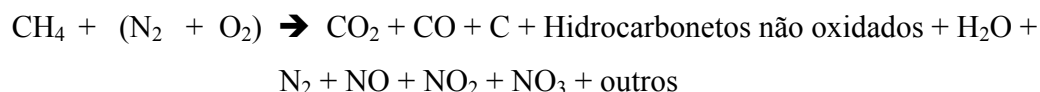
Quanto às vantagens ambientais, os produtos da combustão resultantes da queima do gás natural são os menos poluentes entre os gases produzidos pela queima de combustíveis fósseis. Em geral, a seguinte reação química ocorre dentro de uma câmara de combustão:



Quando a combustão se dá na forma completa, ideal, a reação de combustão é a seguinte (para o gás natural):



Mas, na realidade, a combustão se dá na forma incompleta, e daí se formam os compostos indesejáveis, poluentes do meio ambiente, conforme a seguinte equação não balanceada.



Desde logo, destacam-se o baixo teor de dióxido de carbono (CO_2) nos gases de escape, devido ao baixo teor de átomos de carbono no principal constituinte, o metano (mais de 80%), e as baixas emissões de SO_2 , já que no gás natural praticamente não existe o enxofre. Os NO_x aparecem, já que o oxigênio (O) e o nitrogênio (N) são dois dos principais componentes do ar, necessário à combustão do gás natural. Todavia, para este tipo de combustível tem havido um grande investimento com vista à criação de sistemas de queima de baixa emissão de NO_x . Os resultados têm sido bastante superiores aos conseguidos entre outros combustíveis, o que coloca os sistemas de queima com gás natural como os que conduzem a menores percentuais deste poluente. Por último, devemos atentar para o fato de que, por se tratar de uma combustão mais limpa, a mistura ar/combustível é mais facilmente conduzida a uma combustão quase completa, com baixa emissão de monóxido de carbono e partículas, necessitando por isso de menores excessos de ar.

O gás natural também é um combustível seguro, pois apresenta uma rápida dispersão de vazamentos, além de não exigir tratamento dos gases de combustão.

O usuário também se beneficia diretamente com o uso do gás natural, pois a adaptação das instalações existentes é simples, o investimento em armazenamento/uso de espaço é menor, a corrosão dos equipamentos e o custo da combustão também é reduzido, os custos com o manuseio do combustível e das instalações são menores quando comparados a outros combustíveis. Entre outras vantagens para o usuário, podemos citar ainda: combustão facilmente regulável, rendimento energético elevado, possibilidade de uma grande variação do fluxo, custos bastante competitivos com outras alternativas, entre outras.

3.3.3. Utilização de gás natural em equipamentos térmicos

Em um equipamento térmico, operando com qualquer combustível, busca-se atender os seguintes objetivos:

- a) Baixo custo operacional;
- b) Combustão completa com segurança e operacionalidade;
- c) Máxima eficiência térmica (transmissão de calor otimizada);
- d) Níveis de emissão de poluentes (SO₂, particulados, CO, hidrocarbonetos e NO_x) dentro dos níveis regulamentares.

Atender a estes objetivos simultaneamente supera a técnica tradicional de controle de combustão, tornando-se um processo de otimização complexo. As características do GN fazem dele uma excelente alternativa para os demais combustíveis, devido às seguintes vantagens:

- a) Encontra-se pronto para o consumo, não sendo necessárias manipulações ou preparação antes da combustão.
- b) O gás natural é facilmente miscível com o ar, obtendo-se um contato íntimo entre o combustível e o ar, reduzindo-se o excesso de ar necessário para assegurar a combustão completa. É fácil o controle da atmosfera da fornalha e a obtenção de uma chama longa, de combustão lenta, com liberação gradual e uniforme da energia.
- c) O gás se desloca e é manipulado com facilidade. Basta uma válvula para regular com precisão as vazões de ar e gás. Podem-se obter variações rápidas e grandes da vazão, mantendo-se constante a relação de mistura.
- d) O GN praticamente não contém impurezas. Seus produtos de combustão têm baixos níveis de poluição, comparativamente aos outros combustíveis. O teor de enxofre do GN é

muito inferior ao dos carvões e dos óleos combustíveis. Não origina depósitos de resíduos que contaminam a produção ou que afetem a eficiência do equipamento e/ou instalações. Isto simplifica e diminui os custos de operação e manutenção.

e) Em estado gasoso, o GN permite várias configurações e tipos de queimadores, além de grande flexibilidade no seu funcionamento. A eficiência dos sistemas de combustão à base de GN é em geral maior, porque permite maior flexibilidade de regulagem e controle dos equipamentos.

Entre as desvantagens do gás natural, pode-se citar:

a) A densidade do gás natural é muito menor do que a dos combustíveis sólidos e líquidos. Isto leva a dificuldades de armazenamento e de transporte.

b) Devido ao alto teor de hidrocarbonetos leves (alto teor de hidrogênio), os produtos da combustão possuem grande quantidade de vapor d'água. Assim, o calor específico dos produtos é alto, as temperaturas de combustão são mais baixas e existem os problemas devido à condensação do vapor.

c) A quantidade (massa) de combustível dentro da fornalha é muito pequena. Isso torna a combustão muito sensível à variação de consumo de ar e combustível e permite, em caso de necessidade, modificar a carga da fornalha instantaneamente. Ao mesmo tempo torna-se crítico o controle da combustão, pois uma interrupção da alimentação provocará a extinção da chama, o que está vinculado ao perigo de explosão ao recomeçar a alimentação. Por isso, nessas fornalhas normalmente são instalados vários queimadores.

O gás natural tem um grande espectro de aplicações, tanto em uso industrial quanto em uso doméstico. Na indústria do petróleo é utilizado na reinjeção em poços para recuperação secundária de petróleo, na produção de GLP e gasolina natural e é utilizado como matéria prima na indústria petroquímica e de fertilizantes. O uso doméstico é limitado à substituição do GLP e do gás de rua, em locais onde existe rede de distribuição de gás canalizado.

Na indústria o GN pode ser utilizado em caldeiras, em substituição ao óleo combustível, para gerar vapor, ou aquecer fluido térmico, utilizado no aquecimento das indústrias de alimentos, papel e celulose, têxtil etc pode ser ainda usado no acionamento de ventiladores, bombas e compressores e na geração de eletricidade. O GN pode ser utilizado na substituição do GLP em oxicorte. O uso em fornos industriais é amplo, sobretudo devido à ausência de cinzas e ao baixo teor de enxofre, que poderiam contaminar o produto. O contato direto dos produtos da combustão com produtos alimentícios, apesar de prática usual, não é recomendável devido à presença de hidrocarbonetos.

O uso do GN como combustível automotivo reduz sensivelmente a emissão de poluentes. É cerca de 21% mais barato que o óleo diesel e seu uso como combustível aumenta a vida do motor, reduzindo os custos de manutenção e consumo de óleos lubrificantes. Pode ser utilizado em motores de combustão interna (Otto, Diesel), em substituição à gasolina e ao óleo diesel.

O uso em turbinas a gás é recomendado, pois os demais combustíveis devem sofrer tratamento prévio, a fim de eliminar resíduos e evitar a contaminação a altas temperaturas. As turbinas a gás podem ser utilizadas para acionar bombas, compressores etc. Sua utilização mais importante é a geração de eletricidade, sobretudo em termoelétricas que trabalham em regime de ponta ou como unidades de emergência, pois podem entrar em operação em poucos minutos. O uso de turbinas a gás para geração termoelétrica vem aumentando, devido ao baixo investimento, baixo custo operacional e alto rendimento térmico. O uso de ciclo combinado (turbina a gás + caldeira de recuperação) permite atingir rendimentos da ordem de 55%, com baixa emissão de poluentes.

3.4. Emissão de poluentes

A queima de qualquer combustível (gasolina, madeira, álcool, diesel, gás natural, etc.) gera produtos poluentes para o meio ambiente. Uns mais, outros menos, mas todos

poluem. O resultado da queima desses combustíveis são vários compostos, dos quais podemos destacar os relatados a seguir.

3.4.1. Monóxido de Carbono (CO)

É um gás incolor, inodoro que mata animais e seres humanos se inalado em quantidade suficiente. O monóxido de carbono é rapidamente absorvido pelo sangue, isolando o oxigênio e que pode levar à morte por asfixia. As emissões deste gás são criadas pela pouca oxigenação das reações de combustão, resultantes de uma mistura rica de combustível ou qualquer restrição no suprimento de ar. Quando a combustão se dá de forma completa o CO dá lugar a um novo composto, o CO₂, não poluente.

3.4.2. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

É um grupo de poluentes que são agrupados em um único índice, para medição de emissões. Ele inclui todos os compostos nitrogenados, dentre eles: NO, NO₂, NO₃ e outros. Alguns compostos são irritantes para os olhos e sistema respiratório, criando dificuldades na visão e respiração. Também são danosos para as plantas e reagem na atmosfera para a formação do smog fotoquímico e chuva ácida. Os óxidos de nitrogênio são formados dentro das complexas reações químicas que tomam lugar inicialmente nas câmaras de combustão.

3.4.3. Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos, na forma de poluentes, são compostos contendo carbono e hidrogênio que não se oxidaram nas reações de combustão. Como principal componente dos combustíveis para motores de veículos atualmente, os HC aparecem de diversas formas sendo difícil de separar. Eles resultam dos efeitos de resfriamento brusco, onde a frente de

combustão é extinta pela presença de "superfícies frias" dentro da câmara de combustão. Uma mistura excessiva ar/combustível (mistura rica) pode também contribuir para o aparecimento de hidrocarbonetos que não passaram pelo processo de combustão. Por causa das inúmeras possibilidades de combinações carbono-hidrogênio é que a medida de emissão desses poluentes é feita em "massa total", ao invés de ser medido cada componente individualmente. Tal medida é denominada de "hidrocarbonetos totais". As emissões de hidrocarbonetos também são regulamentadas por duas principais razões: primeiro é que são considerados cancerígenos e por outra é que são prejudiciais à saúde. Os gases podem ser inalados ou absorvidos pela pele. De outro modo os hidrocarbonetos são fotoquimicamente reativos na atmosfera, contribuindo para a degradação da camada de ozônio e do smog atmosférico. Ambos os efeitos são altamente prejudiciais ao ambiente e seres humanos.

3.4.4. Emissões Evaporativas

Chamamos de emissões evaporativas aqueles hidrocarbonetos não queimados, daqueles veículos movidos a combustíveis líquidos voláteis (gasolina e álcool). Ocorrem quando o combustível evapora e escapa para a atmosfera. Tais emissões são causadas por limitações no sistema de controle de evaporações. Estas emissões são regulamentadas pelo fato de serem cancerígenas e reativas fotoquimicamente. Um exemplo de emissão evaporativa ocorre durante a operação de abastecimento do veículo. A tampa do tanque do combustível permanece aberta e neste momento os vapores escapam para atmosfera. Uma vedação imperfeita da tampa também provoca evaporação por período prolongado.

3.5. Efeitos da Poluição Atmosférica

Quanto a saúde humana a poluição atmosférica afeta o sistema respiratório, podendo agravar ou mesmo provocar diversas doenças crônicas tais como a asma, bronquite crônica, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar, doenças do coração e cancro do pulmão.

Os poluentes atmosféricos podem afetar a vegetação por duas vias: via direta e via indireta. Os efeitos diretos resultam da destruição de tecidos das folhas das plantas provocados pela deposição seca de SO_2 , pelas chuvas ácidas ou pelo ozônio, refletindo-se na redução da área fotossintética. Os efeitos indiretos são provocados pela acidificação dos solos com a conseqüente redução de nutrientes e libertação de substâncias prejudiciais às plantas, resultando numa menor produtividade e numa maior susceptibilidade a pragas e doenças.

Os efeitos negativos dos poluentes nos materiais resultam da abrasão, reações químicas diretas ou indiretas, corrosão eletroquímica ou devido à necessidade de aumentar a frequência das ações de limpeza. As rochas calcáreas são as mais afetadas, nomeadamente pela acidificação das águas da chuva.

Os odores são responsáveis por efeitos psicológicos importantes estando associados, sobretudo, aos locais de deposição e tratamento de resíduos sólidos e a algumas indústrias de que são exemplo as fábricas de pasta de papel.

3.6. Fontes Poluidoras

O ser humano ao interagir com o meio ambiente produz resíduos, uma parte dos quais causam problemas de poluição do ar. Tais problemas resultam das chamadas fontes de poluição fixas e fontes móveis.

Fontes fixas

No nível nacional destacam-se, pelas suas emissões, as Unidades Industriais e de Produção de Energia como a geração de energia elétrica, as refinarias, fábricas de pasta de papel, siderurgia, fábricas de cimento e a indústria química e de adubos. A utilização de combustíveis para a produção de energia é responsável pela maior parte das emissões de SO_x e CO_2 contribuindo, ainda, de forma significativa para as emissões de CO e NO_x . O

uso de solventes em colas, tintas, produtos de proteção de superfícies, aerossóis, limpeza de metais e lavanderias é responsável pela emissão de quantidades apreciáveis de Compostos Orgânicos Voláteis.

Existem outras fontes poluidoras que, em certas condições, podem se revelar importantes tais como:

- a. A queima de resíduos urbanos, industriais, agrícolas e florestais, feita muitas vezes, em situações incontroladas. A queima de resíduos de explosivos, resinas, tintas, plásticos, pneus é responsável pela emissão de compostos perigosos;
- b. Os fogos florestais são, nos últimos anos, responsáveis por emissões significativas de CO₂;
- c. O uso de fertilizantes e o excesso de concentração agropecuária são os principais contribuintes para as emissões de metano, amoníaco e N₂O;
- d. As indústrias de minerais não metálicos, a siderurgia, as pedreiras e áreas em construção, são fontes importantes de emissões de partículas.

Fontes móveis

Os veículos automotores, juntamente com os trens, aviões e embarcações marítimas, constituem-se nas chamadas fontes móveis de poluição do ar. Os veículos destacam-se como as principais fontes e podem ser divididos em leves, os quais se utilizam de gasolina ou álcool como combustível, e pesados, que se utilizam de óleo diesel. Os transportes rodoviários são uma fonte importante de poluentes, essencialmente devido às emissões dos gases de escape, mas também como resultado da evaporação de combustíveis. São os principais emissores de NO_x e CO, importantes emissores de CO₂ e de VOC, além de serem responsáveis pela emissão de poluentes específicos como o chumbo.

3.7. Queimadores

Queimadores são componentes que permitem a queima do gás.

O tipo de queimador é descrito normalmente pelo combustível que é utilizado para atear fogo, pelo método do fornecimento de ar e por exigências das emissões e também quanto ao local onde o gás combustível é misturado com o ar de combustão.

Segundo o método de fornecimento de ar, os queimadores podem ser:

Queimadores não aerados: queimadores nos quais o ar para combustão é obtido inteiramente na saída do queimador.

Queimadores aerados: queimadores nos quais parte do ar para combustão, chamado de “ar primário”, é arrastado pelo fluxo de gás e é misturado ao gás antes da saída do queimador. O ar remanescente, denominado “ar secundário”, é obtido após a saída do queimador. Estes queimadores consistem em: um injetor de gás, um corpo formando o tipo de mistura e um espalhador com abertura para a saída da mistura ar-gás.

Alguns combustíveis utilizados nos queimadores são o gás e o óleo. As exigências de emissão são dirigidas primeiramente para limitações de NO_x .

A Figura 3.1 ilustra um queimador de gás bruto (gás que não foi tratado ou limpo).

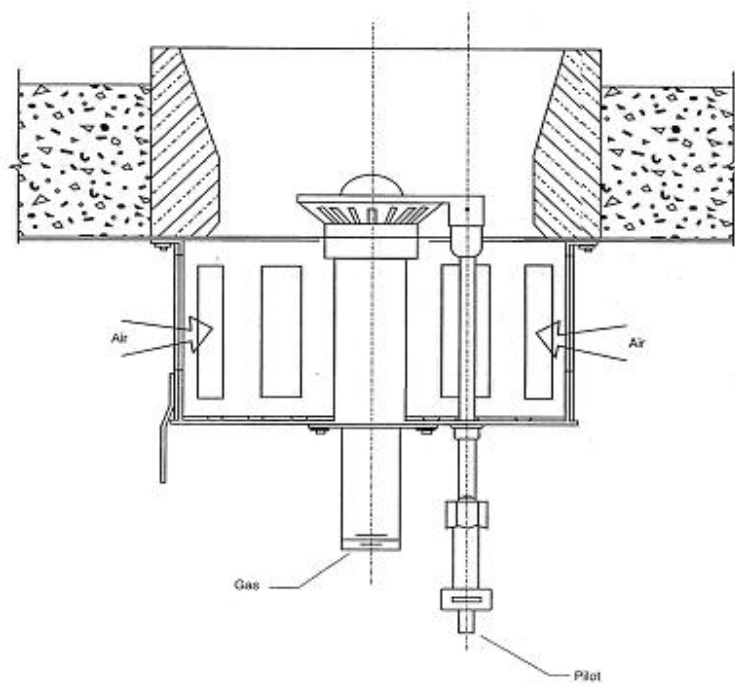


Figura 3.1: Queimador de gás bruto

A Figura 3.2 mostra um queimador *premix* de gás e a Figura 3.3 apresenta um queimador de parede radiante.

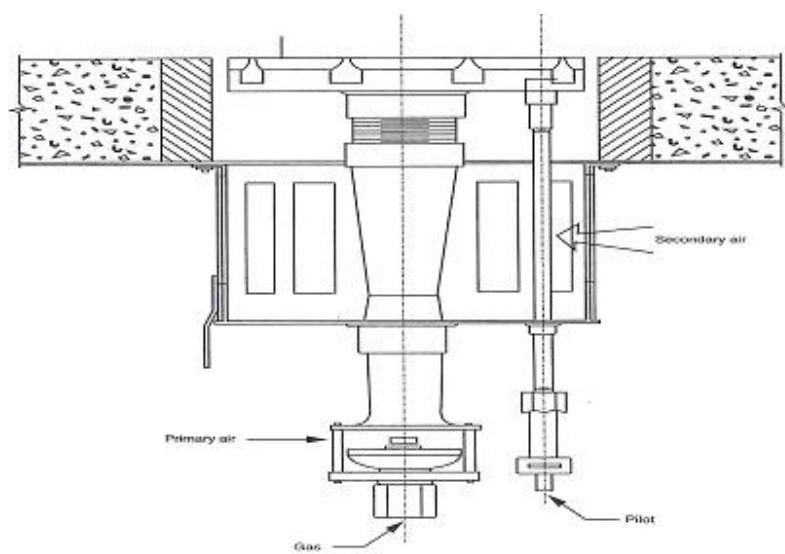


Figura 3.2: Queimador de gás *premix*

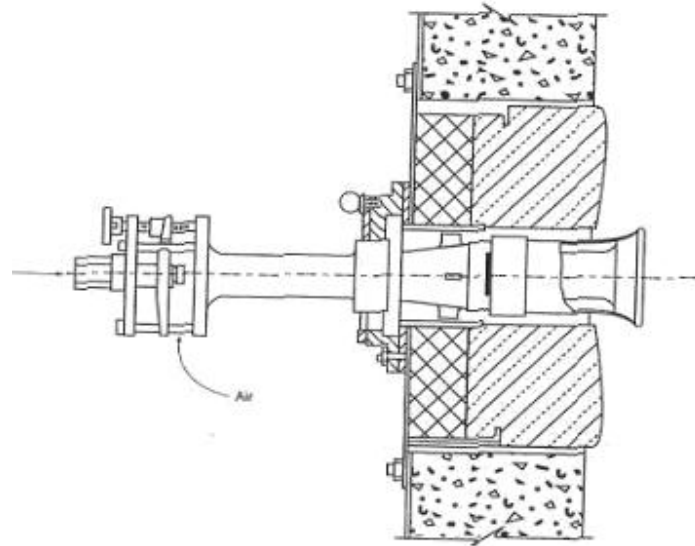


Figura 3.3: Queimador de parede radiante

A Figura 3.4 ilustra um queimador de óleo e gás combinado.

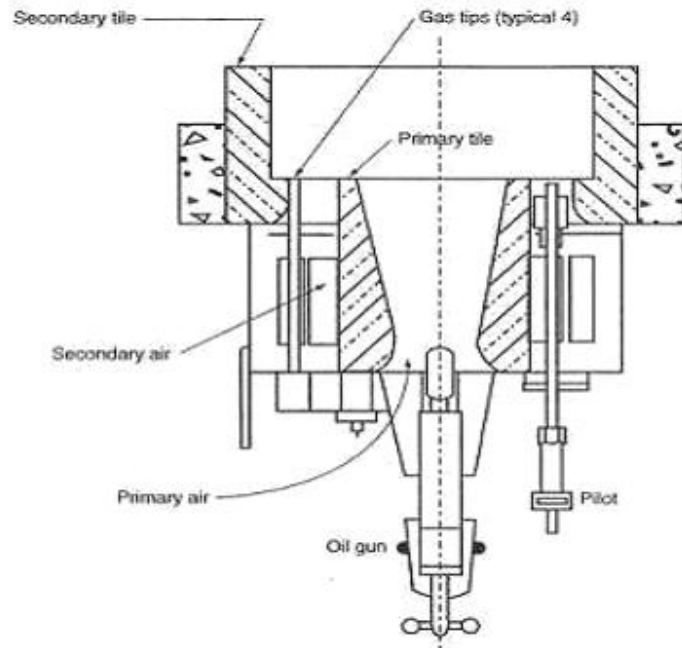


Figura 3.4: Queimador de óleo e gás combinado

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram um queimador *low-NO_x, staged-air*, de óleo e gás combinados e um queimador de gás *staged-fuel*, respectivamente.

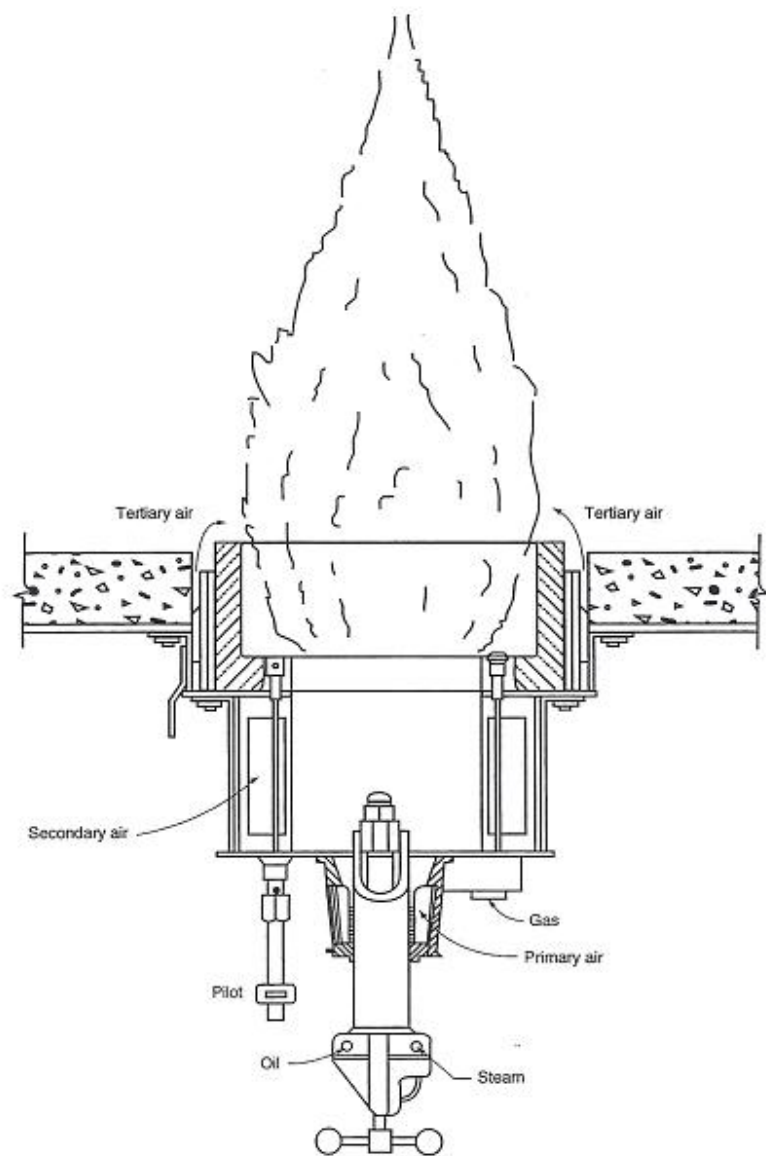


Figura 3.5: Queimador *staged-air* de óleo e gás combinados

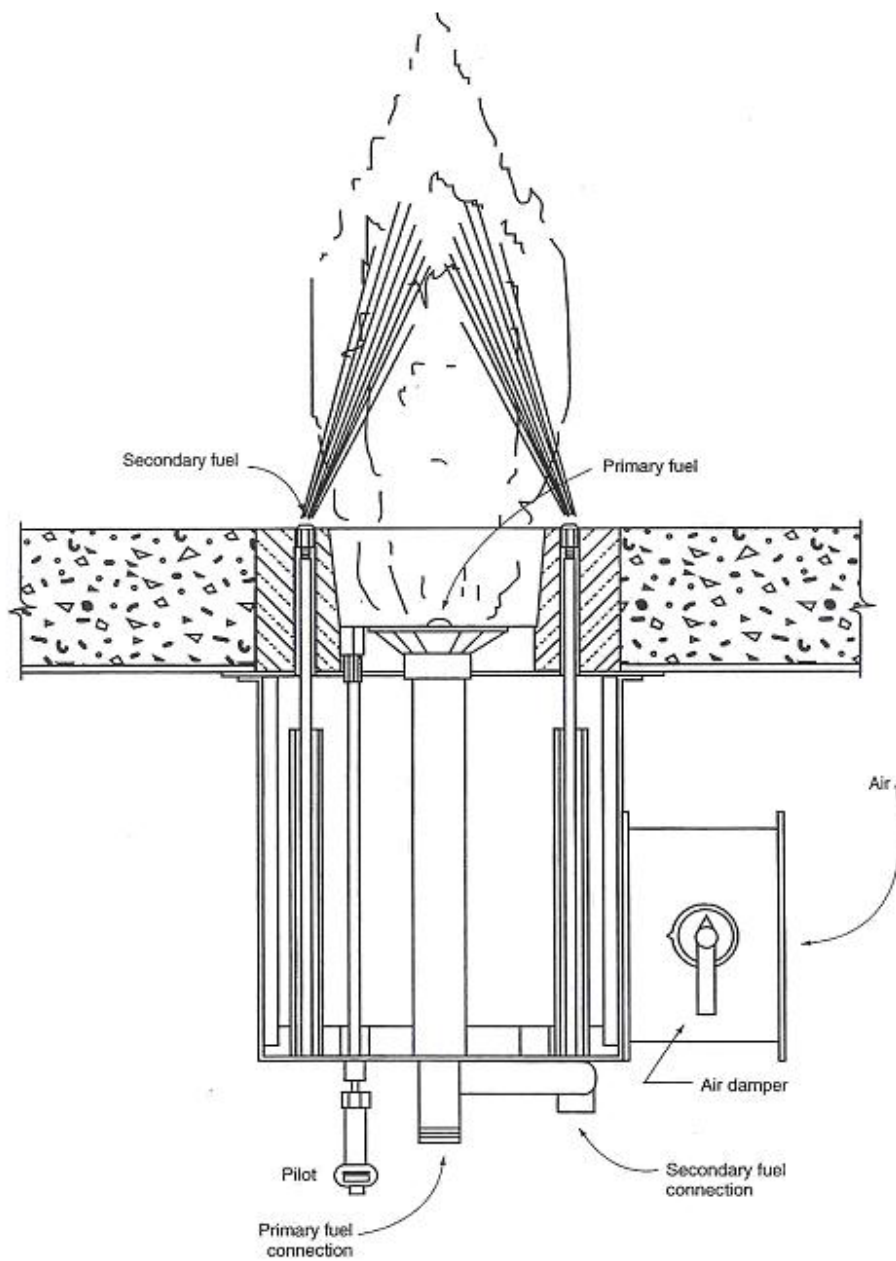
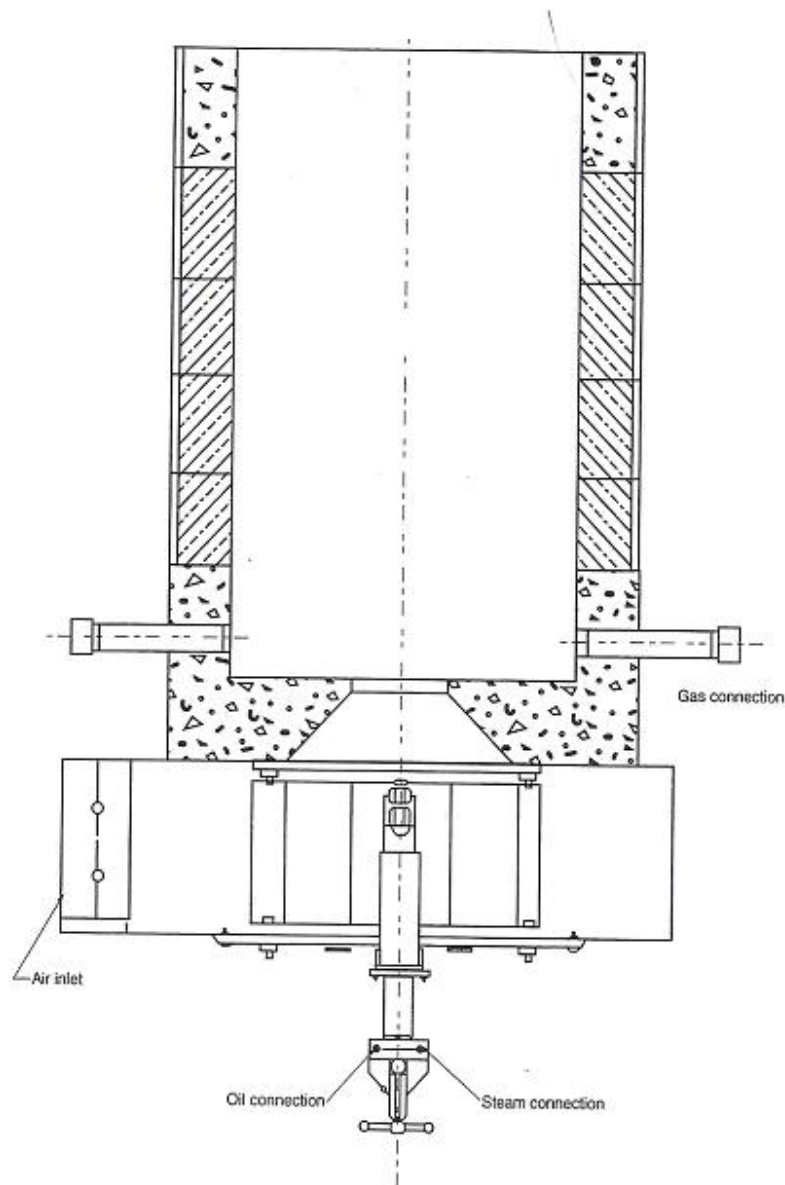


Figura 3.6: Queimador de gás *staged-fuel*

A Figura 3.7 ilustra um queimado *high-intensity* de óleo e gás combinados.



O: Figura 3.7: Queimado *high-intensity* de óleo e gás combinados o gás combustível é misturado com o ar de combustão:

a) Queimador de pré-mistura: o gás é misturado com o ar de combustão a montante do queimador, e a mistura combustível, com baixo excesso de ar, é introduzida na fornalha.

Como a mistura ar/combustível é de fácil explosão, esta mistura deve ser realizada somente dentro do corpo do queimador. Em caldeiras de pequena capacidade, gás a alta pressão pode ser queimado em queimadores de aspiração, onde o ar é aspirado pelo jato de gás (queimadores de indução). A quantidade de ar aspirado é proporcional à vazão do gás. Assim, ao variar o consumo de gás (potência do queimador), o coeficiente de excesso de ar permanece aproximadamente constante. O excesso de ar é regulado por uma válvula que ajusta a vazão de ar. Mas é mais comum utilizar um sistema de dois dutos, onde o ar de combustão é alimentado por um ventilador de tiragem forçada.

O uso de queimadores de pré-mistura permite redução do volume da fornalha, que é importante para as pequenas caldeiras. Eles são recomendados para a queima de combustíveis de baixo poder calorífico em caldeiras de pequeno porte. Entretanto, estes queimadores são grandes, comparados com outros tipos.

Os queimadores de pré-mistura incluem queimadores com pré-câmara de mistura, queimadores túnel, combustão catalítica (oxidação do combustível em um bloco refratário poroso, na presença de platina, sem a formação de chama). Estes queimadores são chamados sem chama, de chama azul ou de chama curta, uma vez que somente uma chama curta e pouco luminosa se forma na saída do queimador.

b) Queimador de chama de difusão: o gás e o ar são alimentados separadamente na fornalha, e a mistura é realizada ao mesmo tempo que a combustão, pelo processo de difusão turbulenta. As fornalhas das caldeiras de média e alta capacidade são dotadas de queimadores de chama de difusão ou do tipo intermediário. Quando utilizados com gás natural, os queimadores de difusão produzem uma chama luminosa de alta emissividade, devido à formação de fuligem. A forma mais simples é o bocal da tubulação de gás aberto, de seção redonda ou retangular. São construídos de tamanho pequeno, para uso residencial, até queimadores industriais de 500 kcal/h.

Os queimadores de difusão são simples, baratos, estáveis e extremamente flexíveis quanto a resposta à demanda. Eles formam uma chama longa e luminosa, de baixa temperatura. O comprimento e a forma da chama podem ser controlados distribuindo o ar secundário por vários pontos da câmara de combustão. Isto é conveniente quando é necessário um aquecimento uniforme em uma fornalha longa.

Eles normalmente funcionam com gás a baixa pressão ($> 60\text{mm CA}$) e as variações da pressão do gás devem ser estabilizadas por um regulador de pressão. O fator mais importante de projeto é a velocidade de combustão: se a velocidade de combustão for baixa e a velocidade de saída da mistura alta, a chama se torna instável, podendo se descolar do queimador e se extinguir, provocando a acumulação de mistura explosiva na fornalha. Um bom projeto de queimador e o controle da pressão e composição do gás podem prevenir esta situação.

c) Queimador de tipo intermediário: ar e gás são misturados parcialmente no queimador, e a mistura sofre adição de ar, por difusão, no interior da fornalha. Quanto maior for a mistura dentro do queimador, maior o seu desempenho.

A escolha de um queimador para gás é delicada, devido aos vários parâmetros que influenciam seu funcionamento: poder calorífico, temperatura e pureza do gás; pressão e temperatura do ar; comprimento, luminosidade e temperatura da chama; pressão e tipo de atmosfera no interior da fornalha. Mudanças da composição do combustível provocam importantes variações na velocidade da chama e nos limites de inflamabilidade e, estas propriedades de propagação da chama, afetam o projeto dos queimadores de gás. Assim, na escolha do queimador deve-se procurar atender as seguintes condições de uma boa combustão:

- a) Mistura ar/combustível homogênea, com excesso de ar mínimo, em toda faixa de operação;
- b) Baixa velocidade de saída, para evitar o descolamento da chama;
- c) Possibilidade de regular o volume e comprimento da chama, para assegurar o preenchimento da fornalha e evitar impacto sobre as paredes;
- d) Obtenção de uma chama luminosa para melhorar a transmissão de calor por radiação.

3.8. Considerações Ambientais para o uso de queimadores

3.8.1. Emissões de gás da chaminé

3.8.1.1. Óxidos de nitrogênio (NO_x)

A maioria dos óxidos de nitrogênio formados pelos queimadores está na forma de óxido de nitrogênio (NO). O NO é eventualmente transformado em dióxido de nitrogênio após a descarga na atmosfera.

Tendências da produção do NO_x

- a) Efeito do excesso de oxigênio: As concentrações de NO_x aumentará com o aumento do excesso de oxigênio em queimadores de gás bruto (que não foi tratado ou limpo) e diminuirá em queimadores premix. Isto é verdade para taxas adicionais de oxigênio do

queimador típico da refinaria. Como o excesso de ar é aumentado com facilidade para um queimador de gás bruto, a concentração de NO_x alcançará um máximo. Além deste ponto, a concentração de NO_x começa a declinar com facilidade com o aumento do excesso de oxigênio. Este máximo pode ocorrer em razões de excesso de ar por volta de 60-70 por cento (7-8 por cento de O_2 , base molhada).

A Figura 3.8 demonstra os efeitos que o excesso de oxigênio tem na produção de NO_x em queimadores de gás bruto.

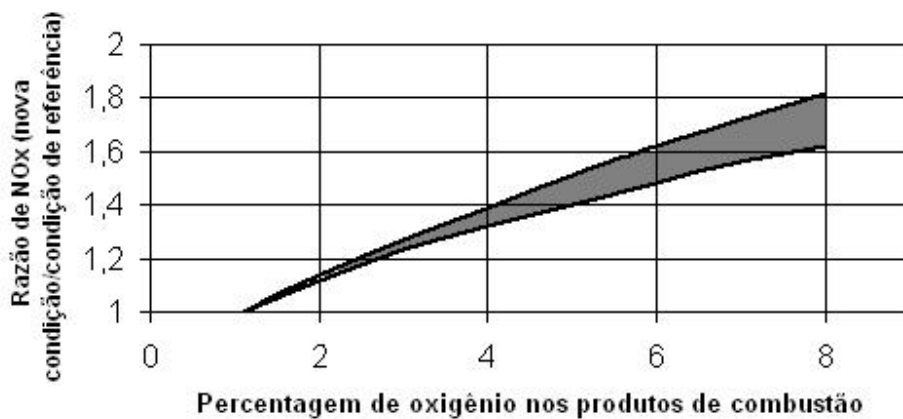


Figura 3.8: Efeitos do excesso de Oxigênio sobre a produção de NO_x

Fonte: Burners for Fired Heaters in General Refinery Services

Nota: A área compreendida entre as curvas, corresponde à variação da razão de NO_x para cada porcentagem de oxigênio nos produtos de combustão sendo, as curvas superior e inferior, correspondentes aos valores máximo e mínimo respectivamente.

b) Efeito da temperatura do ar de combustão: a produção de NO_x é favorecida pelas altas temperaturas. As temperaturas das chamas locais e as concentrações de NO_x aumentarão com o aumento da temperatura do ar de combustão.

A Figura 3.9 demonstra o efeito que a temperatura do ar de combustão tem na produção de NO_x .

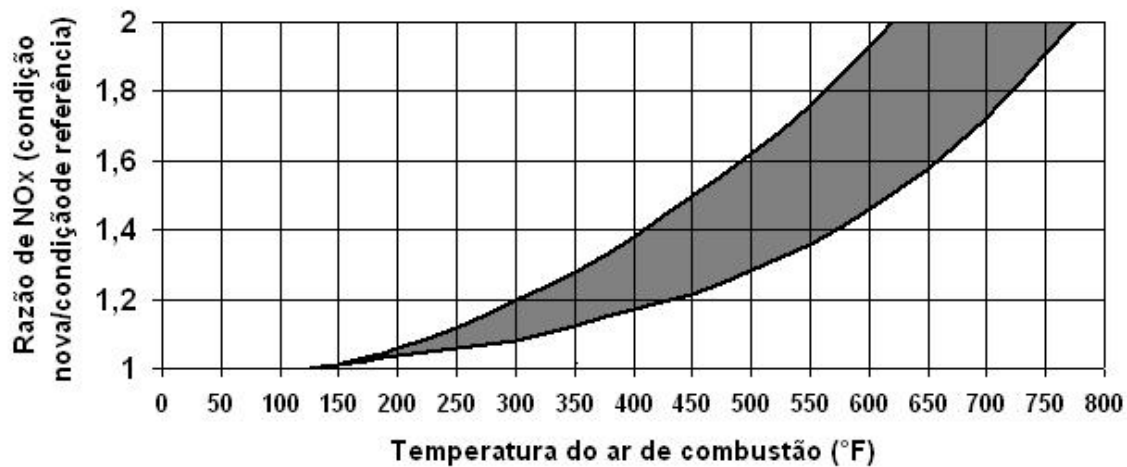


Figura 3.9: Efeitos da temperatura do ar de combustão sobre a produção de NO_x

Fonte: Burners for Fired Heaters in General Refinery Services

Nota: A área compreendida entre as curvas, corresponde à variação da razão de NO_x para cada temperatura do ar de combustão sendo, as curvas superior e inferior, correspondentes aos valores máximo e mínimo respectivamente.

c) Efeito da temperatura da fornalha: as concentrações de NO_x aumentarão com o aumento da temperatura da fornalha. A escolha do queimador pode ter um efeito na temperatura da fornalha afetando, desse modo, o NO_x. Os queimadores provocando diferentes variações de fluxos de calor dentro de uma fornalha produzirão testes padrões que vão diferir da temperatura da fornalha. O tipo de queimador e o grau de rotação afetarão as temperatura da caixa e a conversão a óxidos de nitrogênio.

A Figura 3.10 demonstra o efeito que a temperatura da fornalha tem na produção de NO_x.

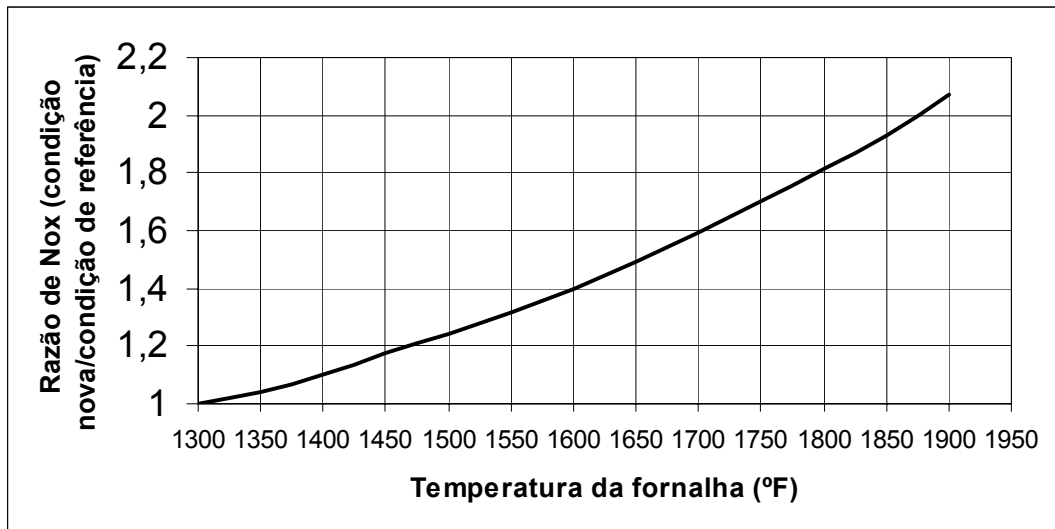


Figura 3.10: Efeitos da temperatura da fornalha sobre a produção de NO_x

Fonte: Burners for Fired Heaters in General Refinery Services

d) Efeito da umidade: Uma pesquisa notou a tendência da concentração de NO_x declinar com o aumento da umidade do ar de combustão.

e) Efeito do hidrogênio no gás combustível: as concentrações de NO_x tendem a aumentar quando a concentração de hidrogênio do gás combustível é aumentada. Aumentando a concentração de hidrogênio aumentará a temperatura da chama. O aumento da temperatura da chama produzirá mais NO_x.

A figura 3.11 demonstra o efeito que a concentração de hidrogênio do gás combustível tem na produção de NO_x.

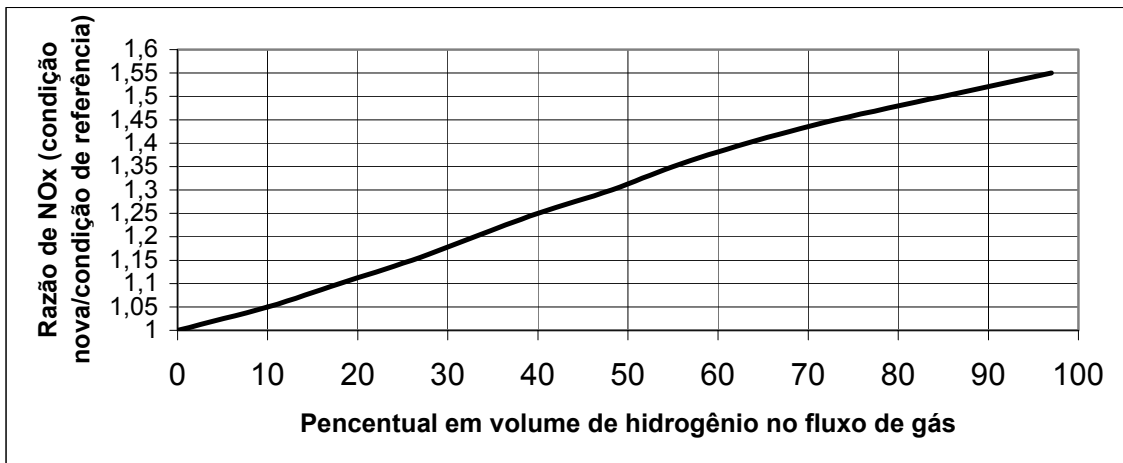


Figura 3.11: Efeitos da concentração de hidrogênio no gás sobre a produção de NO_x

Fonte: Burners for Fired Heaters in General Refinery Services

f) Efeito do nitrogênio no óleo combustível: Quanto maior a quantidade de nitrogênio no óleo combustível, maior o total de NO_x produzido.

A Figura 3.12 demonstra o efeito que o nitrogênio no óleo combustível tem na produção de NO_x .

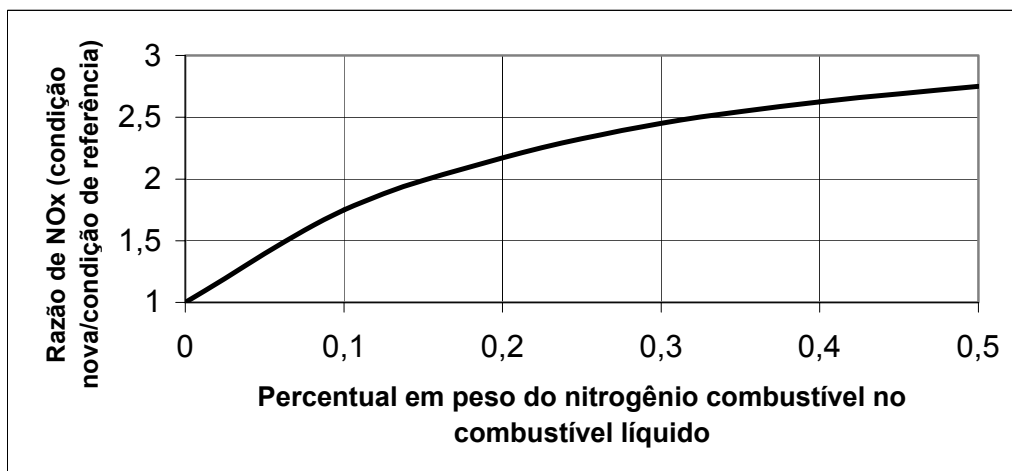


Figura 3.12: Efeitos do nitrogênio no óleo combustível sobre a produção de NO_x

Fonte: Burners for Fired Heaters in General Refinery Services

3.8.1.2. Óxidos sulfúricos (SO_x)

A produção de óxidos sulfúricos é uma função do enxofre, H₂S e de outros compostos de enxofre nos combustíveis. O dióxido de enxofre (SO₂) pode compor de 94-98% do total dos óxidos de enxofre produzidos. O restante é SO₃. A operação com taxas de excesso de ar baixas reduzirá a conversão de SO₂ a SO₃.

3.8.1.3. Monóxidos de carbono (CO) e inflamáveis

Os teores de monóxido de carbono e de combustíveis (hidrocarbonetos não queimados) que deixam o queimador aumentarão lentamente com a diminuição das taxas de excesso de ar. O aumento será acelerado quando os níveis de excesso de ar continuarem a declinar. Um aparecimento adicional no excesso de ar produzirá um aumento crítico nestes níveis.

O ponto no qual o nível de CO começa a desviar para o crítico é chamado de limite de faturamento. O limite de faturamento do CO vai variar de acordo com o combustível e o queimador.

A escala típica dos pontos de controle do monóxido de carbono varia entre 150 e 200 ppm. Esta mudança normalmente resulta na melhor eficiência total da escala do aquecedor. Certas localidades podem exigir limites de emissões mais baixos.

3.8.1.4. Particulados

Embora não tenha sido realizado o ensaio de avaliação de emissões de particulados, citaremos neste trabalho informações relevantes para serem utilizadas em possíveis trabalhos futuros.

Todos os combustíveis contêm ou produzirão particulados. Os particulados serão formados em maiores quantidades principalmente nos óleos combustíveis (especialmente

em óleos combustíveis pesados) se comparado aos gases combustíveis. Através do cano da chaminé, a cinza no combustível será transportada para fora como particulados. As reações de pirólises e polimerização podem produzir partículas sólidas ou altamente viscosas que permanecem sem queimar quando ateadado fogo aos combustíveis de óleo pesado. Estas reações contribuem para a quantidade de particulados.

Nem todos os particulados resultam dos combustíveis. Alguns podem vir de tubo ou linha de escala do combustível, assim como de um refratário desgastado.

3.8.2. Seleção e composição do combustível

A escolha do combustível terá um papel importante na quantidade de cada poluente que sai do queimador.

3.8.2.1. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Gases combustíveis geralmente produzirão níveis mais baixos de NO_x do que óleos combustíveis.

Combustíveis com temperaturas adiabática de chama mais altas geralmente produzirão mais NO_x. Combustíveis que produzem temperaturas de chama mais altas, normalmente produzirão maiores níveis de NO_x do que outros. Similarmente, a adição de C4+ insaturados normalmente aumentará as temperaturas de chama e as concentrações de NO_x.

3.8.2.2. Óxidos sulfúricos (SO_x)

A quantidade de enxofre ou H₂S no combustível ditará a quantidade de SO_x produzido.

3.8.2.3. Monóxido de carbono (CO) e inflamáveis

A combustão de hidrogênio e gases combustíveis ricos em parafina produzirão um mínimo de inflamáveis, inclusive de CO. A presença de hidrocarbonetos insaturados pode gerar reações de pirólises e polimerização, resultando em uma maior possibilidade de que os inflamáveis e CO sejam produzidos. Hidrocarbonetos insaturados, cloretos, aminas e os semelhantes podem plugar ou danificar as pontas do queimador alterando a mistura combustível/ar desejada. Isto pode aumentar os níveis de combustão.

Para os óleos pesados, a produção de níveis maiores de inflamáveis (incluindo o CO) é mais provável do que para os óleos mais leves. Componentes mais pesados não são facilmente atomizados e inflamados. É mais provável ocorrer as reações de polimerização e pirólise.

3.8.2.4. Particulados

Os combustíveis de óleos pesados são mais propensos a produzir maiores níveis de particulados do que os de óleos leves.

3.8.3 Excesso de Ar

A redução do excesso de ar terá efeitos sobre alguns tipos de emissões do queimador mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Efeitos da redução do excesso de ar nas emissões dos queimadores

Poluente	Efeito da redução do ar em excesso
NO _x	Diminui
SO _x	Sem mudança no SO _x total, porém menos SO ₂ será convertido a SO ₃
CO	Aumenta
Inflamáveis	Aumenta
Particulados	Aumenta

3.8.4. Seleção do queimador

O proprietário deve estar ciente que um queimador escolhido para limitar um poluente pode produzir mais emissões do que um outro. Um queimador projetado para produzir um mínimo de partículas pode produzir níveis altos de NO_x.

3.8.4.1. Óxidos de nitrogênio (NO_x)

A composição do combustível normalmente determinará o nível de NO_x alcançado em um queimador padrão. Os níveis de NO_x podem ser reduzidos em 30% se o queimador staged-air for melhor que os queimadores padrão que são empregados e reduzidos em 60% ou mais se o queimador staged-fuel (normalmente utilizado para os gases combustíveis apenas de aquecimento) também for melhor que os queimadores padrões que são empregados. Os níveis de NO_x alcançados em queimadores staged-fuel podem ser reduzidos ainda mais com a adição de gás combustível de recirculação, quer seja interna ou externamente à fornalha.

3.8.4.2. óxidos sulfúricos (SO_x)

As liberações equivalentes de calor resultarão em equivalentes emissões de SO_x em queimadores diferentes. As emissões de SO_x são função apenas da composição. Queimadores com capacidade de operação a razões mais baixas de excesso de ar produzirão menos SO₃. Queimadores com maiores rotações e/ou pressão do ar de combustão (como os queimadores de aspiração forçada) são mais prováveis a operar em baixas razões de excesso de ar que os padrões (queimadores de aspiração natural). Os queimadores com maiores rotações e/ou maior pressão do ar de combustão fornecem um grau de mistura que permite taxas de excesso de ar mais baixas. Isto fornece uma pressão parcial do oxigênio mais baixa, reduzindo assim a formação de SO₃.

3.8.4.3. Monóxido de carbono (CO) e inflamáveis

Queimadores com maior rotação e/ou maiores pressões do ar de combustão (como os queimadores de aspiração forçada) terão limites de faturamento de CO mais baixos. Estes queimadores fornecerão um nível superior de mistura que permite uma combustão melhorada a razões de excesso de ar mais baixas. As concentrações de inflamáveis e CO serão reduzidas a razões equivalentes de excesso de ar.

3.8.4.4. Particulados

Os queimadores com maior rotação e/ou maior pressão do ar de combustão (como os queimadores de aspiração forçada) são menos prováveis a produzir particulados. Eles fornecem um nível superior de mistura para reduzir a formação de particulados.

Uma maior atomização em partículas mais finas reduzirá as emissões de particulados.

Queimadores de alta intensidade podem reduzir consideravelmente os particulados formados nos produtos de combustão. Um alto nível de rotação, junto com a zona de reação a altas temperaturas, induz uma combustão superior de particulados. Assim os queimadores podem aumentar os níveis de NO_x substancialmente.

3.9. Legislação existente para o controle de emissões em fontes industriais pontuais

A componente ambiental tem, cada ano que passa, mais importância. Assim, normas ou resoluções que controlem a agressão ao meio ambiente como, por exemplo, o controle de emissões de poluentes atmosféricas, vem sendo elaborado pelos órgãos ambientais por todo o mundo.

No Brasil, essa preocupação com o meio ambiente também é crescente. A Resolução CONAMA 3/90 estabelece padrões de qualidade do ar e as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Porém, esses critérios não podem ser adotados quando está sendo avaliado o nível de emissões de fontes industriais pontuais, como os queimadores, por exemplo. Para este tipo de fontes poluidoras, está sendo elaborada uma outra resolução do CONAMA que dispõe sobre os limites de emissão de poluentes atmosféricos por fontes industriais pontuais. Com esta Resolução pretende-se ainda: estabelecer critérios para a determinação de limites de emissão de poluentes atmosféricos emitidos por fontes industriais pontuais, estabelecer que o limite nacional será menos restritivo e que limites mais rigorosos ficariam ao encargo dos Estados, de acordo com suas necessidades, definir que os limites de emissão são um dos instrumentos de controle ambiental, mas não o único, pois devem estar associados a critérios de capacidade de suporte do meio, dentre outras atribuições.

Em Portugal, a Portaria nº 286/93 dos Ministérios da Indústria e Energia e do Ambiente e Recursos Naturais, define os limites de concentração de poluentes na atmosfera para aplicação geral.

Os limites de emissão de poluentes, expressos em $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$, a que ficam sujeitas as fontes fixas de todos os estabelecimentos industriais, para um teor de 8 % de O_2 (*) e gás seco nos afluentes gasosos, estão apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Limite de emissões de poluentes para fontes fixas de estabelecimentos industriais conforme Portaria 286 de Portugal

Poluentes	Unidade em $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$
Partículas	300
Dióxido de enxofre (SO_2)	(**) 2700
Sulfeto de hidrogénio (H_2S)	50
Óxidos de nitrogênio (NO_x) expressos em NO_2	1500
Monóxido de carbono (CO)	1000
Compostos orgânicos, expressos em carbono total	50

(*) Para as instalações industriais e ou processos produtivos, em que se verifique ser mais adequado utilizar um valor de referência para o teor de O_2 diferente do indicado, serão publicadas notas técnicas do diretor-geral da Qualidade do Ambiente, especificando o valor a utilizar.

(**) Valor limite de emissão a cumprir após o ano 2000, aplicando-se até essa data os valores constantes da tabela que define a calendarização de redução do teor em enxofre nos combustíveis líquidos.

4. Descrições das Atividades Propostas

De acordo com o plano de estágio, as atividades propostas para a realização do estágio são as descritas a seguir:

Revisão bibliográfica

Esta etapa do projeto teve por objetivo realizar buscas de normas e procedimentos referentes a ensaios de emissões em queimadores a gás natural, bem como a leitura e interpretação do material disponível e pesquisado. Para tanto, utilizaram-se das mais variadas formas, dentre elas a internet e contatos com órgãos ambientais.

Procedimento de ensaio de emissões

Nesta etapa, os objetivos principais são divididos em três fases:

- a) Identificação da instrumentação existente e a que será necessária para a realização dos ensaios. Após essa identificação, será solicitada a instrumentação necessária que não estiver disponível no LEC.
- b) Elaboração de IT (Instrução de Trabalho) de manuseio de equipamentos e instrumentos

Para todos os equipamentos e instrumentos envolvidos no ensaio de emissões deverá, ser feita uma instrução de trabalho que oriente para a correta e eficiente utilização dos mesmos.

- c) Elaboração do Procedimento de Ensaio, conforme modelo CTGÁS.

Nesse procedimento, devem constar as possíveis condições de teste para o queimador bem como os passos detalhados para a realização dos ensaios de emissões. Dentro do procedimento, a IT citada no item anterior, deverá ser solicitada. Além disso, uma referência sobre os limites de emissões deverá ser citada.

Validação do procedimento de ensaios de emissões

Após a elaboração do procedimento, faz-se necessária a sua validação. Para tal, deve-se seguir a seguinte etapa:

- a) Montagem do queimador do Banco de Ensaios. Só após a montagem completa, os ensaios de emissões poderão ser realizados.
- b) Aquisição dos dados de ensaios.
Todos os dados deverão ser anotados em tabelas que constam no procedimento, para em seguida, ser analisados.
- c) Análise dos resultados
Tendo os dados dos ensaios em mãos e também os limites de emissões permitidos, pode-se comparar e verificar a adequação ou não, no nível ambiental, do queimador testado.

Caso o procedimento não esteja adequado, a otimização do mesmo poderá ser realizada.

Elaboração do relatório

Nesta última etapa do estágio, deve ser elaborado um relatório constando de uma breve introdução sobre o assunto abordado no mesmo, uma apresentação da empresa onde foi realizado o estágio, a fundamentação teórica dos assuntos abordados ao longo de todo o projeto, descrição e desenvolvimento das atividades propostas no plano de estágio, conclusões do trabalho, a bibliografia que servir de suporte para realização do mesmo e os anexos.

5. Desenvolvimento das Atividades e Discussões

Levantamento bibliográfico

Esta atividade foi desenvolvida ao longo de todo o período de estágio e apresentou resultados bastante satisfatórios, uma vez que contatos com órgãos ambientais importantes como, por exemplo, o CONAMA e EPA foram feitos, buscando referências sobre os limites das emissões para fontes fixas industriais. Apesar de não termos conseguido essas referências, pudemos diagnosticar a deficiência nessa questão, no entanto é certo que existe uma preocupação crescente em todo o mundo, inclusive no Brasil, conforme citado no item 3.9. Ao término do estágio o LEC passou a contar com ao menos uma referência acerca dos limites de emissões para fontes fixas industriais, devido à incorporação da Resolução 286 de Portugal. O acesso às referências existentes tornou-se mais claro devido à tradução de diversos artigos e também à incorporação de outros assuntos pesquisados.

Procedimento de Ensaio de Emissões

- a) A identificação da instrumentação existente e a necessária para a realização dos ensaios foi realizada e está apresentada na Figura 5.1. Após essa identificação foi solicitada a instrumentação necessária que não estava disponível no LEC.

- b) A Instrução de Trabalho (IT) do analisador de gás foi elaborada para indicar o manuseio correto do equipamento utilizado no ensaio de emissões da fornalha. A IT (instrução de trabalho) tem como itens constituintes o objetivo, as referências utilizadas, as definições pertinentes, o desenvolvimento de como deve ser utilizado o equipamento a que se refere e por último, os anexos se necessários.

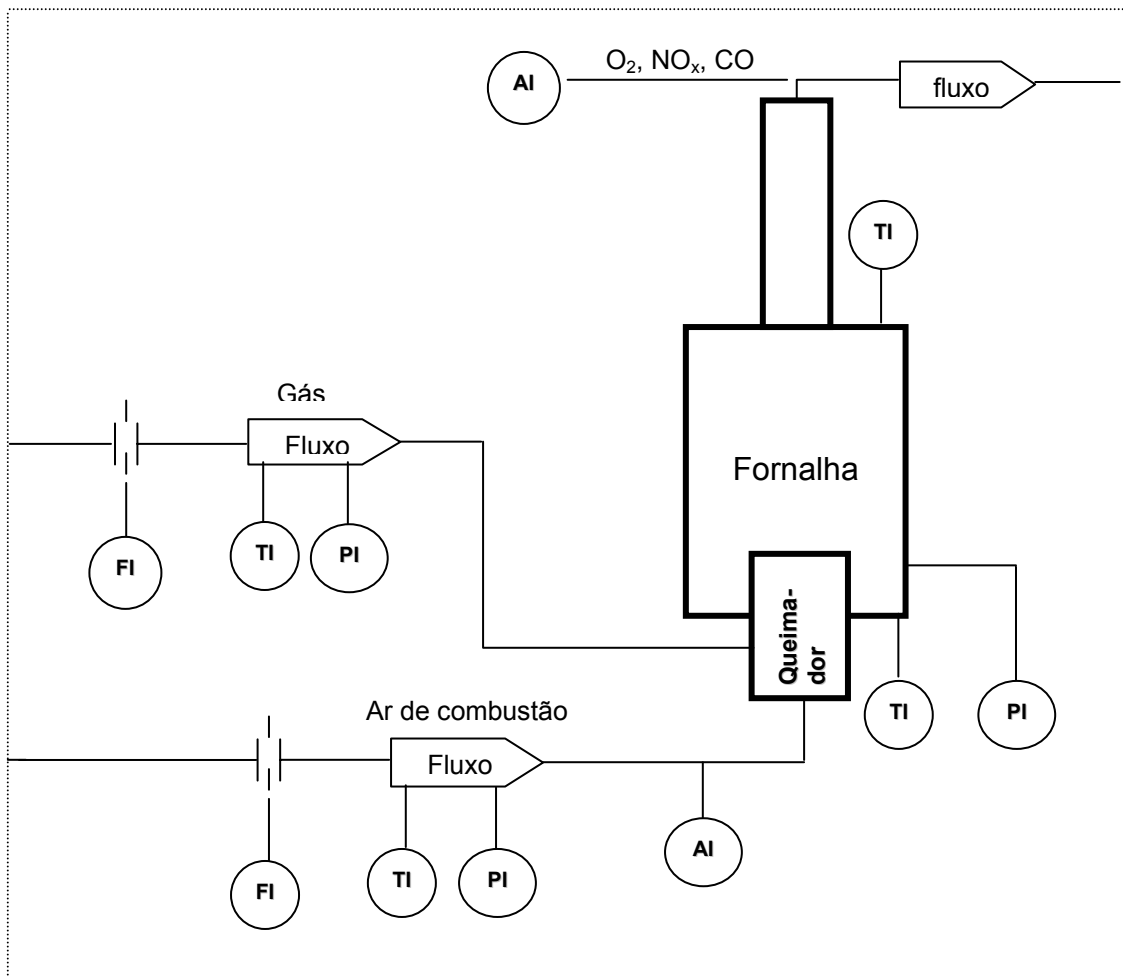


Figura 5.1: Instrumentação necessária

Onde:

FI: Indicador de vazão

TI: Indicador de Temperatura

PI: Indicador de Pressão

AI: Analisador de gás

A fornalha foi construída com uma estrutura em aço carbono, com isolamento interno de material refratário para as paredes e lastro e o teto em lâ de rocha.

- c) O procedimento de ensaio foi elaborado conforme o modelo CTGÁS. No procedimento constam todos os pontos de teste possíveis para a realização do ensaio de emissões, bem como suas descrições, como mostrado a seguir:

Identificação e detalhamento das condições de teste

Seis condições de teste são recomendados para serem testados quanto a seu desempenho na emissão de poluentes, porém o proprietário do queimador poderá especificar o número de condições de teste.

A seguir está a descrição dos seis pontos de teste.

- Condição A – as taxas do combustível e do ar são operadas na potência normal do queimador. Essa potência é determinada pelo fabricante do mesmo.
- Condição B – a taxa de ar permanece na potência normal e a do gás é operada na potência mínima determinada pelo fabricante do queimador. Esse ponto mede as emissões em uma mistura pobre.
- Condição C – a taxa de ar permanece na potência normal e a do gás é operada na máxima potência determinada pelo fabricante do queimador. Esse ponto mede as emissões em uma mistura rica.
- Condição D - a taxa de ar permanece na potência normal e a do gás é operada na um pouco acima máxima potência determinada pelo fabricante do queimador. Esse ponto mede as emissões em uma mistura mais rica possível.
- Condição E – as taxas do ar e do combustível são ajustadas para a mínima potência permitida a ambos.
- Condição F - as taxas do ar e do gás soa ajustada para a máxima potência permitida para ambos.

A solicitação da IT do analisador do gás foi feita dentro do procedimento, além da citação de uma referência sobre os limites de emissões.

O procedimento de ensaio tem como itens constituintes o objetivo, as referências utilizadas, as definições pertinentes, o desenvolvimento que contém a descrição das atividades e a seqüência na qual elas devem ser realizadas e por último, os anexos se necessários.

Por se tratar de um procedimento interno do CTGÁS, a IT e o procedimento não podem ser revelados na íntegra neste relatório.

Validação do procedimento de Ensaio de Emissões

- a) Foi feita a montagem do queimador do banco de ensaios e nele utilizamos um queimador de difusão, com as devidas adaptações.
- b) Foi feito um treinamento explicando o funcionamento do queimador, além dos ajustes das condições de ensaios que foram testados. Os ensaios de emissões foram realizados estando a seqüência do teste descrita a seguir:

Seqüência de teste do queimador

Será descrita aqui, a seqüência utilizada para realização dos ensaios de emissões de queimadores, com o intuito de validar o procedimento de teste elaborado pela estagiária.

Um queimador de difusão foi escolhido aleatoriamente para ser testado. Do manual do queimador, retiramos a tabela a seguir:

Tabela A3.1: Capacidades do ar de combustão em $Nft^3/h = scfh$

Especificação do queimador	Pressão do ar através do queimador em OSI				
	1,0	4,4	8,0	12,0	16,0
4422-2	420	910	1270	1500	1920
4422-3	810	1800	1450	3100	3600
4422-4	1320	2600	3820	4500	5500
4422-5	2050	4350	6300	7650	9050
4422-6	3100	7200	10300	12700	14750

Nota 1: O queimador testado tem especificação 4422-5 e pressão de operação normal de 8 osi.

Nota 2: Os testes foram realizados usando a proporção estequiométrica da razão ar/combustível, ou seja, 10:1.

Nota 3: $1 \text{ OSI} = 1,73 \text{ "CA} = 1,73 \times 25,4 \text{ mmCA} = \underline{1,73 \times 25,4 \text{ mbar}}$

10

onde CA = coluna de água

Para iniciar os testes, é necessário conhecer as pressões diferenciais para o ar de combustão e para o gás natural em cada ponto de teste. Para isso, tomemos a equação simplificada de Bernoulli a seguir:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \times \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

P = Diferença de pressão em um dado ponto (OSI)

Q = Vazão numa determinada diferença de pressão (Nft³/h)

Sabendo que a placa de orifício utilizada tem especificação de 810, utilizamos a Figura A3.1, que foi obtida do manual do queimador, para estabelecermos os valores das pressões diferenciais para cada ponto de teste:

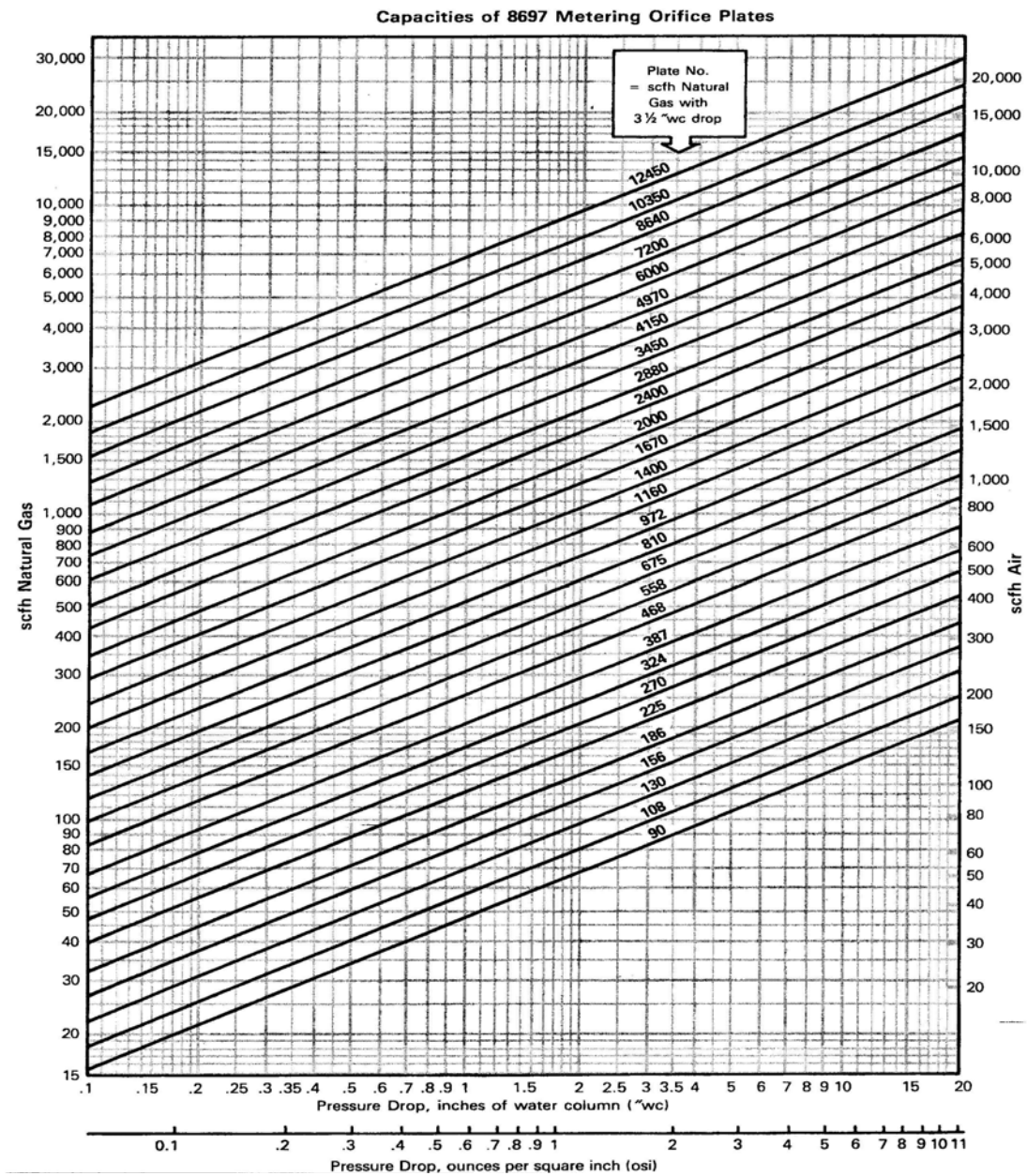


Figura A3.1: Capacidade das placas de orifício

Com base na Equação 1 e na Figura A3.1, podemos construir a tabela a seguir que mostra a diferença de pressão necessária para realizar os ensaios nos pontos de teste desejados.

Tabela A3.2: Pressões de operação para os pontos de teste

	Condição A	Condição B	Condição C	Condição D	Condição E	Condição F
□P Gás (m bar)	5,3	0,57	11,1	> 11,1	0,57	11,1
□P Ar (m bar)	35,2	35,2	35,2	35,2	4,4	70,4

Por problemas operacionais, só foi possível realizar os ensaios para as condições A e E, mas para as outras, o procedimento é o mesmo.

Primeiramente as condições operacionais foram estabilizadas e em seguida foi inserida a sonda do analisador de gás para a coleta de dados. Vale mencionar que para cada ponto testado, a inserção da sonda foi variada para que a amostragem fosse válida. Os resultados obtidos estão descritos a seguir:

Condição A:

Poluentes	Unidade	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
CO	mg/m ³ N	12,64	11,5	11,5
NO	mg/m ³ N	75,2	67,6	75,2
NO _x	mg/m ³ N	77,1	69,5	77,1
SO ₂	mg/m ³ N	0	0	0

Condição E:

Poluentes	Unidade	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
CO	mg/m ³ N	485,3	481,8	469
NO	mg/m ³ N	0	1,88	3,76
NO _x	mg/m ³ N	0	1,88	3,76
SO ₂	mg/m ³ N	6,1	6,1	6,1

- c) Os dados de ensaios foram adquiridos e anotados nas devidas tabelas, constantes no procedimento, para uma posterior análise como descrito anteriormente.

d) Análise dos resultados

Comparando os dados obtidos com os da Tabela 3.2 que estabelece os limites de emissões de poluentes para fontes fixas de estabelecimentos industriais, podemos verificar que o queimador está dentro dos padrões ambientais propostos pela legislação consultada, no caso, a portuguesa.

Ao procedimento foram feitas algumas correções nos níveis seqüenciais e semântico tornando-o mais claro e eficiente.

Elaboração do relatório

A existência do mesmo comprova o cumprimento desta etapa.

Quanto à execução desta etapa, pode-se dizer que foi cumprida sem nenhum problema, visto que desde o início do estágio havia uma preocupação por parte do estagiário, da orientadora e do supervisor na elaboração do relatório para evitar tumultos de última hora.

6. Conclusões

Como conclusões deste trabalho, podemos dizer que a partir da realização do mesmo:

▶▶ O LEC passou a dispor de informações relevantes acerca do tema emissões de fontes estacionárias. Com a pesquisa bibliográfica realizada verificou-se que uma resolução brasileira ainda está sendo feita, que, por todo o mundo, esse é um assunto que não tem sido tratado com a devida importância. Para a realização dos testes preliminares, até o término da resolução brasileira, podem contar no momento com padrões de referência de Portugal.

▶▶ O LEC dispõe agora de um procedimento de ensaio de emissões para queimadores, bem como uma IT para manuseio do analisador de gás. Os mesmos poderão gerar lucros, pois serão utilizados para testar a adequação ambiental de queimadores, quando solicitado por fornecedores ou proprietários de todo o Brasil.

▶▶ Enfrentaram-se alguns problemas quanto à aquisição de materiais. Porém, nada de difícil solução.

Do ponto de vista de qualificação acadêmica para o estagiário, pode-se dizer, sem a menor sombra de dúvida, que o estágio no LEC foi de muita importância, uma vez que desenvolveu na estagiária outras formas de pensar e agir. Pois, embora a estagiária tenha tido pouco contato com processos, o estágio mostrou que para ser engenheiro químico não é preciso entender apenas os fenômenos físico-químicos que caracterizam sua profissão. Faz-se necessário também conhecer até que ponto esses processos podem afetar o meio ambiente, além de fornecer as condições e a seqüência correta para que tais processos venham a ocorrer com segurança e dentro dos padrões ambientais.

7. Bibliografia

- Burners for Fired Heaters in General Refinery Services; API Publication 535; First edition, July 1995.
- DIN 4787
- DIN 4788
- <http://cogen.mit.edu/emissions.cfm>
- <http://gasa.dcea.fct.unl.pt/gasa/gasa98/gasa98/edu/ap/cga/port286.html>
- [http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Polui%C3%A7%C3%A3o%20ar%20\(2\).htm](http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Polui%C3%A7%C3%A3o%20ar%20(2).htm)
- <http://www.deh.gov.au/atmosphere/airquality/standards.html>
- <http://www.gasbrasil.com.br/tecnicas/glossario/e.asp>
- <http://www.gasenergia.com.br>
- <http://www.gasnet.com.br>
- <http://www.gmdobrasil.com.br/composicao.htm>
- <http://www.maurolemes.hpg.ig.com.br/resolucoesconama.htm>
- <http://www.mma.gov.br/port/conama/>
- http://www.pbgas.pb.gov.br/informacoes_gas.shtml
- http://www.pr.gov.br/sema/a_qualidar.shtml
- <http://www.qualar.org/>
- http://www.vcapcd.org/emissions_inventory.htm
- <http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/Emissions.html>
- JOYNT Bob e Wu Stephen; Nitrogen Oxides Emissions Standards for Domestic Gas Appliances - Environmental Consultant e Combustion Engineering Consultant; February 2000
- Manual do analisador de gás UNIGAS 3000+.
- Manual do Queimador
- Natural Gas Manual; Industry Glossary; Canadian gas Association.
- PINHEIRO Paulo César da Costa e VALLE Ramon Molina. Controle de Combustão: Otimização do Excesso de ar. In: II CONGRESSO DE EQUIPAMENTOS E AUTOMAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PETROQUÍMICA, 09-11 Agosto 1995, Rio de Janeiro, RJ.

- PINHEIRO Paulo César da Costa. O Gás Natural e sua Utilização em Equipamentos Térmicos. In: II SEMINÁRIO DE GERENCIAMENTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PETROQUÍMICA, 12-13 Junho 1996, Guarulhos, SP.
- Portaria nº 286/93 dos Ministérios da Indústria e Energia e do Ambiente e Recursos Naturais de Portugal
- Resolução CONAMA 3/90
- www.comgas.com.br
- www.ctgas.com.br
- YONEYAMA Takashi. Controladores de Razão, 2003.