



**GRUPO XI
IMPACTOS AMBIENTAIS - (GIA)**

**SISTEMA DE CLORAÇÃO DE ANGRA I:
HIPOCLORITO DE SÓDIO GERADO A PARTIR DA ÁGUA DO MAR, UMA NOVA REALIDADE**

Nelri Ferreira Leite* e Carlos Cabral Gonçalves*

ELETRONUCLEAR

1.0 - INTRODUÇÃO

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo mostrar o estudo realizado pelos autores nos Sistemas de Água de Circulação e Serviço da Usina de Angra I, o qual levou à opção de uma reestruturação do sistema de cloração da Usina, substituindo o processo atual que utiliza cloro gasoso, por hipoclorito de sódio gerado a partir da água do mar. É feita uma abordagem em relação ao uso de cloro gasoso e suas implicações quanto aos aspectos de segurança industrial, manuseio, transporte, corrosão das instalações, custos de operação e manutenção do sistema de cloração. Aborda também o processo de cloração por geradores de hipoclorito através da eletrólise da água do mar, quanto aos aspectos de segurança, operação, manutenção das instalações e custos relativos da modificação do processo e compra dos eletrolisadores. Descreve ainda, as fases de implantação do projeto desde seu início com a desmontagem do sistema antigo com o cloro gasoso até a montagem, comissionamento e partida desse sistema novo que usa hipoclorito de sódio gerado no site da Usina de Angra I.

PALAVRAS-CHAVE

Água do mar, Sistema de Cloração, Hipoclorito de Sódio, Eletrólise, Angra 1

A aplicação de cloro como agente de desinfecção passou a ser efetiva ainda no final do século passado. É reconhecido pela sua grande eficiência biocida e é largamente utilizado devido ao baixo custo (quando comparado a outros biocidas). Sua utilização em sistemas de refrigeração industrial tem como finalidade a prevenção do crescimento de organismos no interior das tubulações e equipamentos, principalmente em tubos de trocadores de calor e condensadores. Incrustações nas linhas (biofouling) são indesejáveis por levarem a perda de eficiência de troca térmica, entupimentos, corrosão e até furos nesses equipamentos.

Devido ao alto risco proporcionado pelo cloro (Cl_2) em caso de vazamentos, este tem sido frequentemente substituído por outros produtos menos perigosos, como o hipoclorito de sódio (NaClO).

A geração de hipoclorito de sódio é uma solução racional que vem sendo largamente usada em usinas próximas ao mar (insumos são água do mar e eletricidade), pois dispensam a compra de produtos, transportes, estocagem e manuseio.

A química do processo de geração de hipoclorito de sódio é baseada na eletrólise parcial de cloreto de sódio contido na água do mar filtrada, quando esta é submetida a corrente contínua em uma câmara eletrolisadora contendo eletrodos anódicos e catódicos.

Hoje, com a utilização de novos equipamentos que foram aperfeiçoados no tocante às células eletrolíticas, ao tamanho ocupado e ao material utilizado para confeccionar os eletrodos, em conjunto

**ELETROBRAS TERMONUCLEAR S.A. - ELETRONUCLEAR*

Gerência de Engenharia de Angra 1

Rua da Candelária, 65, Centro, CEP.20091-020, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Tel. (021) 5887741 - Fax (021) 5887270

e-mail: nfleite@furnas.com.br

com o uso de água de mar como matéria prima, pode-se produzir hipoclorito de sódio a custo competitivo em relação ao uso de cloro gasoso.

2.0 - SISTEMA DE CLORAÇÃO USANDO CLORO GASOSO

Atualmente, a maior parte do cloro gasoso é produzido comercialmente por três tipos de células eletrolíticas: diafragma, membrana e mercúrio.

2.1 Reações

O cloro atua como agente biocida ao reagir com água gerando ácido hipocloroso (HClO). Nesta reação há ainda formação de ácido clorídrico (HCl) como subproduto.



2.2 Manuseio

Na temperatura e pressão ambiente, o cloro encontra-se no estado gasoso, possuindo alta densidade (quando comparado com o ar). Torna-se perigoso no caso de vazamentos, pois forma uma nuvem densa e de difícil dispersão. É altamente agressivo às mucosas do nariz, garganta e às vias respiratórias, provocando ainda graves irritações e queimaduras na pele e nos olhos.

Para ser manuseado requer a utilização de equipamentos de segurança (E.P.I.), como vestimentas, máscaras, óculos, assim como treinamento constante da equipe que manuseia o produto.

Durante a movimentação são requeridos cuidados especiais para evitar que ocorram quedas e/ou choques dos cilindros, que poderiam provocar um vazamento.

Deve ser acondicionado em locais secos, pois em presença de umidade, torna-se corrosivo a metais.

O cloro em presença de umidade torna-se extremamente corrosivo, devido a formação de ácido clorídrico, conforme reação (1).

2.3 Armazenamento

Na área próxima às instalações de armazenamento de cloro, há necessidade de detectores sensíveis a pequenos vazamentos do produto. É conveniente que as mesmas possuam dispositivos de segurança para o caso de vazamento, tais como: sistema de portas automáticas, sistema de exaustão e sistema de abatimento de gases.

As instalações devem ser a prova de fogo (o cloro não é inflamável mas sustenta combustão, tal como oxigênio) e localizadas a distância mínima de 15 (quinze) metros de outras instalações.

Há permanente necessidade de estoque de produtos para garantir disponibilidade do mesmo. Quanto maior o estoque, maior o nível de risco. Todas as instalações de armazenamento requerem licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

2.4 Operação

Após ser regulada a vazão do biocida, tanto o sistema de cloro gasoso quanto o sistema de hipoclorito de sódio gerado no local são operados automaticamente.

2.5 Manutenção

Devido a grande corrosividade do produto, o custo de manutenção do sistema é alto.

Há necessidade de inspeções periódicas em cilindros e demais equipamentos.

2.6 Custos

No caso específico de Angra I, os custos envolvidos são basicamente:

TABELA 1 - Custos do Sistema atual.

Manutenção dos cilindros	R\$25.000,00/ano
Segurança industrial (treinamento, EPI)	R\$95.000,00/ano
Produto (cloro)	R\$300.000,00/ano
Transporte	R\$120.000,00/ano
Custo Total	R\$540.000,00/ano

Obs.: O risco de um acidente envolvendo cloro gasoso é uma variável analítica e de difícil quantificação, não tendo sido portanto incluído nesta análise econômica do projeto.

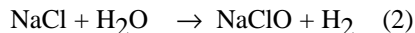
Deve-se porém estar consciente de que acidentes com cloro gasoso são passíveis de acontecer e que costumam ter grandes impactos.

3.0 - SISTEMA DE CLORAÇÃO USANDO HIPOCLORITO DE SÓDIO GERADO NO LOCAL

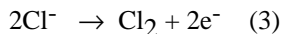
3.1 Reações

A água do mar após ser captada, é submetida a uma filtração (500 µm) e enviada aos eletrolisadores,

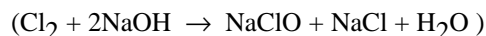
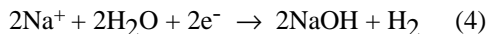
onde ocorrerá a eletrólise com produção de hipoclorito de sódio e tendo como subproduto hidrogênio.



Anodo:



Catodo:



3.2 Manuseio

Este processo não requer recebimento, movimentação e nem manuseio de produto, já que é gerado no local e dosado diretamente no sistema sem que haja contato com operadores.

3.3 Armazenamento

Não requer nem armazenamento nem estocagem, visto que pode ser produzido e dosado em maior ou menor proporção, bastando para tal pequenos ajustes operacionais, que podem ser feitos da própria sala de controle, sem a necessidade de deslocar um operador para o local.

Conforme pode ser verificado na reação (2), no processo há formação de hidrogênio (explosivo em ar na concentração de 4 à 74,5%) como subproduto. Desta forma, os sistemas de geração de hipoclorito de sódio possuem sistemas de segurança para o hidrogênio cujo princípio é baseado na diluição desse gás à concentração de hidrogênio abaixo de 1%, ou seja, fora da faixa de explosividade, além de desligamento automático do sistema em caso de falhas.

3.4 Operação

O sistema é projetado para operar automaticamente.

3.5 Manutenção

Praticamente não requer manutenção, portanto pouco onerosa.

Os eletrodos (anodos) tem vida útil de aproximadamente 20 (vinte) anos, necessitando de “recoating” a cada 5 (cinco) anos.

3.6 Custos

Os principais custos envolvidos para a implantação do sistema de geração de hipoclorito de sódio são:

TABELA 2 - Custos do novo Sistema.

Gerador de hipoclorito *	R\$700.000,00
Manutenção	R\$6.000,00/ano
Consumíveis	R\$80.000,00/ano

* Sistema completo, composto de uma unidade geradora de hipoclorito (75Kg/h), Sistemas Auxiliares e instalações elétricas.

Foi especificado a substituição do Sistema de Cloração utilizando cloro gasoso pela geração direta de hipoclorito de sódio a partir da água do mar. Para Angra I, está prevista a aquisição de um sistema de geração de hipoclorito de sódio de 150 (cento e cinquenta) quilogramas/hora de cloro-equivalente (2 unidades de 75 Kg/h).

4.0 - TESTES PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Com o objetivo de dimensionar o conjunto de eletrolisadores, foram realizados testes no sistema de água de circulação (vazão aproximada de 142.000m³/h) e serviço (vazão aproximada de 6.000m³/h) de Angra I.

Os testes consistiram em uma elevação gradual na dosagem de biocida (ajuste de vazão), com permanente monitoração dos seguintes parâmetros:

4.1 Concentração de biocida na água do mar.

Verificou-se a concentração de biocida na tomada d'água, nos condensadores e em vários pontos (distância e profundidade) na descarga do Sistema de Água de Circulação, para garantir que os testes não alterariam o equilíbrio da fauna e da flora.

4.2 Coleta de Organismos Zooplânctônicos. Foi realizada coleta de organismos Zooplânctônicos no canal da tomada d'água e junto aos condensadores para quantificação e verificação da diversidade.

5.0 - PROJETO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO

5.1 Descrição da planta

O sistema possui 2 bombas (uma funcionando e outra em “stand-by”) para aumentar a pressão de entrada de água do mar, a fim de garantir vazão adequada de alimentação aos eletrolisadores.

Antes de passar no eletrolisador, a água do mar passa pelos filtros, reduzindo a granulometria de sólidos para menos de 0,5 mm e despejando o material coletado diretamente para drenagem, sem interromper o fluxo principal de água filtrada.

A geração de hipoclorito de sódio a partir da água do mar é feita por um processo eletroquímico, mediante a eletrólise parcial do cloreto de sódio presente na água do mar, que flui através de eletrodos anódicos e catódicos energizados por corrente contínua.

A planta consiste de duas unidades, cada qual com 50% da produção nominal. Cada unidade, está projetada para produzir na saída 75 kg/h de Cl_2 equivalente.

A água do mar clorada que sai do eletrolisador vai para o tanque de armazenamento, onde é feita a separação do hidrogênio (subproduto da reação (2)) da água. A aeração é feita mediante uma corrente contínua de ar, produzida por ventiladores, com a finalidade de manter a concentração de H_2 abaixo de 1% em volume, ou seja saindo da faixa de explosão (4 à 74,5 %).

O sistema está projetado para fazer dosagem contínua no circuito de água de resfriamento e água de serviço, através de 2 (duas) bombas para cada circuito.

No processo de eletrólise para gerar o hipoclorito de sódio, normalmente ocorre a incrustação de sais de cálcio e magnésio, presentes na água do mar, no catodo da célula eletrolítica. Isto prejudica o desempenho dos eletrolisadores reduzindo a sua eficiência, na geração de cloro ativo. O problema é detectado com o aumento da voltagem nos eletrolisadores. Quando isso ocorre é previsto uma limpeza química utilizando o ácido clorídrico a 5% p/p. Para não desmontar o equipamento foi desenvolvido um sistema de circulação de ácido clorídrico composto de 2 (duas) bombas e 1 (um) tanque.

Para alimentar, eletricamente, os eletrolisadores, serão necessários dois transformadores-retificadores, gerando corrente contínua automaticamente controlada.

5.2 Montagem do sistema

O processo teve início em janeiro de 1998 com a desmontagem do sistema de cloro e a montagem, provisoriamente, próximo a tomada d'água, com a utilização dos cilindros de cloro e os cloradores desse sistema e da bomba de lavagem de tela rotativa (sistema da Usina para impedir a entrada de

impurezas no canal). Esta etapa tem por finalidade liberar o edifício para obras civis (adaptação do prédio para o novo sistema) e instalação do novo processo. A duração do provisório está prevista até a operação do gerador de hipoclorito de sódio.

As obras civis tiveram início no dia 10/01/98, logo após a operação do provisório, e o término em 20/05/98. Foram executadas obras de adaptação do sistema de geração de hipoclorito de sódio, como, por exemplo, base para os equipamentos, contenções de segurança no sistema de ácido e transformadores.

A fase de instalação dos equipamentos de processo, de instrumentação e controle, tubulação e cabos de alimentação foi concluída em setembro de 1998.

A partir daí foram realizadas as atividades de treinamento dos operadores e comissionamento do sistema. A inauguração do sistema teve início em outubro de 1998 quando o mesmo entrou em operação normal substituindo a injeção de cloro gasoso no circuito de água de refrigeração da Usina de Angra 1 .

6.0 - PESQUISAS COMPLEMENTARES

Com a adoção do sistema de geração de hipoclorito de sódio, verificou-se a necessidade de estudos complementares para otimizar a utilização do biocida, considerando-se as regiões onde a sua eficiência é máxima, bem como para atender à regulamentação dos órgãos ambientais com relação à preservação do meio ambiente.

O estudo tem a finalidade de reduzir o crescimento de cracas nos sistemas de água de circulação e serviço da Usina de Angra I.

O plano da pesquisa, que está sendo realizada em conjunto com o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e a Eletronuclear, prevê as seguintes atividades:

6.1 Modelagem computacional

Desenvolvimento, em computador, de um modelo representativo do sistema de refrigeração da Usina de Angra I, buscando identificar as regiões de baixa velocidade, onde as condições termohidráulicas podem ser mais favoráveis ao crescimento de cracas no sistema. Esta atividade está subdividida nas seguintes etapas:

- a) Análise do problema e obtenção dos dados físicos a serem empregados na simulação;
- b) Definição do domínio de cálculo e discretização deste domínio;
- c) Simulação;
- d) Estudo da concentração de biocida injetados em locais apropriados;

6.2 Obtenção de dados preliminares de campo

Dados de temperatura, salinidade, oxigênio, nutrientes, clorofila *a*, fitoplâncton e larva de Cirrípides (craca) serão obtidos próximo à tomada d'água e na descarga da Usina de Angra I. Os resultados obtidos servirão de base para o estabelecimento dos níveis dos fatores que serão utilizados nos testes de laboratórios.

6.3 Estudos em laboratório

Está dividido em três etapas:

- a) Projeto e construção de um sistema de flume, para experimentos em laboratório das condições favoráveis de crescimento e fixação de cracas, em materiais presentes no sistema de refrigeração da Usina e também materiais alternativos.
- b) Estudo do efeito de biocidas, velocidade da água, temperatura, pH e corrosão no crescimento de cracas usando o sistema de flume.
- c) Análise dos resultados obtidos em laboratório e planejamento dos experimentos a serem realizados no protótipo.

6.4 Parâmetros de Controle.

- a) Concentração de Cloro

Através de dosagem contínua de hipoclorito, no sistema piloto, será monitorada a presença e/ou crescimento de larvas de cracas ao longo de um determinado tempo no interior das instalações, até que possamos encontrar a concentração ideal de biocidas.

- b) Dinâmica do Processo

Será avaliada a influência da velocidade da água com relação ao aparecimento das cracas (fixação nas paredes)

- c) Temperatura

Será avaliada a influência da temperatura no crescimento ou mortandade das cracas.

- d) Materiais

Serão introduzidos, no sistema modelo, materiais diversos para que possamos avaliar a compatibilidade dos mesmos em função do crescimento ou não das cracas.

6.5 Experimentos em protótipo

A realização desta atividade dependerá dos resultados obtidos nos outros testes. No entanto, esta consiste na aplicação dos dados dos experimentos laboratoriais (Modelagem computacional e Flume) em um modelo reduzido do sistema de refrigeração.

7.0 - CONCLUSÃO

A operação das Usinas de Angra I e II, utilizando as recomendações estabelecidas para os níveis de concentração de cloro ativo, tanto na entrada do sistema na tomada d'água da Usina quanto na descarga no Saco de Piraquara de Fora, mantendo o controle das condições adversas ao crescimento de cracas no sistema com dosagem eficiente de hipoclorito de sódio sem a necessidade do uso de cloro gasoso, representa um salto qualitativo com a eliminação de riscos de vazamento deste gás para o meio ambiente.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABICLOR, **Manual de Cloro**, Rio de Janeiro, 1989.
- [2] CETESB, **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**, segunda edição, São Paulo, 1976.
- [3] FEEMA, **Manual do Meio Ambiente: Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidora - SLAP**, Rio de Janeiro, 1979.
- [4] Germain, L., Colas, L. And Rouquet, J., **Tratamento de águas**; tradução de Leziro M. da Silva, São Paulo, Polígono, 1972.
- [5] IBP, **Manual de Cloro**, Rio de Janeiro, 1982.
- [6] Odum, E. P., **Ecologia**; tradução de Kurt G. Hell, terceira edição, São Paulo, Pioneiras, 1977.
- [7] White, G. C., **Handbook of Chlorination and alternative Desinfectants**, Third Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Nelri Ferreira Leite, nasceu no Rio de Janeiro em 27/08/59, concluiu o curso de Engenharia Química pela Escola de Química da UFRJ em 1984. Obteve recentemente (29/03/1999) o título de Mestre em Ciências (M.Sc.) no programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ na área de Corrosão. Trabalhou durante 2 anos na Indústria Aeronáutica desenvolvendo atividades de manutenção de aeronaves como Oficial da Força Aérea Brasileira,

atua na área Nuclear desde 1986 desenvolvendo atividades de projeto de sistemas e otimização de processos das Centrais Nucleares de Angra 1 e 2.

Carlos Cabral Gonçalves, nasceu no Rio de Janeiro em 19/09/1970, concluiu o curso de Engenharia

Mecânica na Universidade Federal Fluminense em 1996. Desenvolve suas atividades na área Nuclear trabalhando em otimização de projetos e sistemas da Central Nuclear de Angra 1.