

Volume 10 Número 1 Junho de 2010

ISSN 1519-8022

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG



FACULDADE DE
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Direitos exclusivos para esta edição:

Universidade Iguazu – UNIG

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Nova Iguaçu, RJ

Os artigos desta revista são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida a reprodução total ou parcial dos artigos nela publicados, desde que seja citada a fonte.

Impresso no Brasil

Supervisor Editorial

Antônio Filipe Falcão de Montalvão (UNIG)

Corpo Editorial

Antônio Carlos de Abreu Mol(CNEN)

Antônio Carlos Freire Sampaio (UNIG)

Antônio Filipe Falcão de Montalvão(UNIG)

Cláudio Henrique dos Santos Grecco (CNEN)

Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira (CNEN)

Denise Salim Santos(FACHA,UNIG)

Fernando Medina (UNIG)

Francisco Antônio Caldas Andrade Pinto (UNIG)

Isaias Gonzaga de Oliveira (UNIG)

Lindinei Rocha Silva (UNIG) - Revisor

Paulo Fernando Neves Rodrigues (FAU/UFRJ)

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho (CNEN)

**REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA / Universidade Iguazu, v10 n°1 (Jun-2010)
Nova Iguaçu - Rio de Janeiro: Gráfica Universitária, 2010.**

Semestral

ISSN 1519-8022

1. Ciências Exatas e Tecnológicas – Periódicos. I. Universidade Iguazu

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Objetivo e Escopo

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA é uma publicação de distribuição gratuita, editada semestralmente pela Universidade Iguazu, com o objetivo de divulgar *trabalhos científicos inéditos e artigos de revisão*, cobrindo os diversos temas na área de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Informações para submissão de artigos

Os interessados em submeter artigos para publicação deverão enviá-los ao endereço abaixo, em duas cópias, impressas em papel formato A4 (impresso somente de um lado da folha), coluna única, com espaçamento simples e letra Times New Roman tamanho 12, acompanhadas dos respectivos arquivos eletrônicos (e-mail ou em disquete de 3^{1/4}), PC/Compatível, contendo o texto editado em Microsoft Word, as figuras e tabelas necessárias. Com o intuito de agilizar a edição, recomenda-se que as figuras e tabelas sejam embutidas no texto já em suas respectivas posições. A primeira folha deve conter o *título do trabalho, nomes e endereços* completos dos autores e um *resumo* de, no máximo, 250 palavras. O corpo do trabalho deve ser subdividido em seções numeradas com algarismos arábicos. As referências devem ser numeradas em ordem de citação no corpo do texto. O artigo completo não deve exceder 15 páginas, incluindo figuras e tabelas.

Revisão dos artigos

Todos os artigos serão revisados por especialistas, membros do corpo editorial, ou, caso haja necessidade, revisores externos serão convidados. Neste caso, os nomes de tais revisores serão informados nos respectivos exemplares. No caso da aceitação do artigo estar condicionada às considerações feitas pelos revisores, estas serão repassadas ao autor para que o próprio faça as devidas modificações no artigo, reenviando-o para o corpo editorial. Após aceitação ou não do trabalho, os autores serão notificados. O material enviado para revisão não será, em hipótese alguma, retornado ao autor.

Endereço para submissão de artigos

Os artigos devem ser submetidos para:

Antônio Filipe Falcão de Montalvão

UNIVERSIDADE IGUAÇU
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - FaCET,
Assessoria de Pesquisa
Av. Abílio Augusto Távora 2134, Nova Iguaçu, RJ
E-mail: facet@unig.br

Chanceler

Dr. Fábio Raunheitti – in memorian

Presidente da Mantenedora

Prof. Sylvio Jorge de Oliveira Shad

Reitor

Dr. Marcelo Gomes da Rosa

Vice-Reitor

Dr. André Nascimento Monteiro

Pró-Reitor Administrativo

Dr. João Batista Barreto Lubanco

Pró-Reitor de Ensino e Graduação

Prof. Simara da Costa Guimarães

Secretária Geral

Maria de Fátima Maunhé Raunheitti Ramos

Coordenador do Curso de Sistemas de Informação

Prof. Osvaldo Parente Gomez

Coordenador do Curso de Engenharia da Computação

Prof. Gisele Dorneles Pires

Coordenador do Curso de Engenharia de Petróleo

Prof. Marcio Vicente da Costa Ramos

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção

Prof. Álvaro Batista Amaral da Purificação

Coordenador do Curso de Matemática

Prof. Luis Carlos da Silva

Assessor de Extensão da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Prof. Luis Carlos da Silva



Universidade Iguazu

Av. Abílio Augusto Távora, 2134 – CEP 26.260-000

Nova Iguaçu – RJ – Brasil – Tel.: 2666-2001

www.unig.br

Editorial.....	6
Antônio Filipe Falcão de Montalvão	
Uma Aplicação da Realidade Virtual para o Ensino de Modelagem dos Sistemas Estruturais no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ.....	7
Claudia Susie Camargo Rodrigues e Paulo Fernando Neves Rodrigues	
Construção de um aquecedor solar de baixo custo sem cobertura: análise experimental da eficiência térmica para vários ensaios.....	18
Júlio César Penereiro, Liliane Pimenta de Melo e Thiago Bilatto Coradi	
Processo de tratamento de água com fins de reúso nos tanques de resfriamento de carcaça de frango.....	35
Heloise Cristine Schatzmann e Jamur Gerloff	
A minimização da Cloração no Reúso de Efluentes em Torres de Resfriamento	54
Andréa Azevedo Veiga, Juacyara Carbonelli Campos, Lídia Yokoyama, Luiz Alberto Cesar Teixeira e Vania Maria Junqueira Santiago	
Remoção de boro oriundo de efluente industrial através da utilização de hidróxidos duplos lamelares sintéticos	69
Thais Delazare, Lídia Yokoyama, Juacyara Carbonelli Campos e Mariana de Mattos Vieira M. Souza	
TRICHOMONAS VAGINALIS como possível risco de facilitação na transmissão do vírus da imunodeficiência humana em mulheres indígenas da etnia TERENA	80
Antonio Neres Norberg, Andréa Puppim Moreira de Siqueira, Fabiano Guerra Sanches, Ana Carolina Torres, Paulo Roberto Blanco Moreira Norberg, Margareth Maria de Carvalho Queiroz e Fabiana Sousa Pugliese	

Editorial

A REVISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA divulga mais um número com resultados de pesquisas que envolvem aplicações de realidade virtual em processos de aprendizagem para alunos e professores, desenvolvimento de sistema solar alternativo na minimização de consumo de energia, aplicações ambientais no reúso de água, remoção de contaminantes e estudo da infecção de mulheres indígenas por protozoário.

A REVISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA agradece aos autores dos artigos publicados neste número e convida a comunidade científica interna e externa a divulgar sua produção científica neste veículo.

Antônio Filipe Falcão de Montalvão

Uma Aplicação da Realidade Virtual para o Ensino de Modelagem dos Sistemas Estruturais no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ

Claudia Susie Camargo Rodrigues¹ & Paulo Fernando Neves Rodrigues²

¹ COPPE/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
Lab3D – Laboratório de Realidade Virtual
Centro de Tecnologia – Bloco I – Sala 044a
Cidade Universitária – 21949-900 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
E-mail: susie@cos.ufrj.br

² FAU/UFRJ – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Departamento de Estruturas
Av. Pedro Calmon, 550 – Prédio da FAU/Reitoria – Sala 320
Cidade Universitária – 21941-901 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
E-mail: pfnr@fau.ufrj.br

Resumo

Uma das maiores dificuldades, em termos pedagógicos, nos cursos de Arquitetura é a interface entre as disciplinas de estruturas e as demais disciplinas de projeto arquitetônico. De fato, o estudante, na maioria das vezes, está envolvido com a concepção da forma de tal maneira que, às vezes, a compreensão dos sistemas estruturais não atinge um nível satisfatório. Na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) o estudo dos sistemas estruturais inicia-se através da disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais, que emprega, obrigatoriamente, a análise qualitativa de modelos físicos, a qual tem se mostrado como uma eficiente ferramenta de auxílio na compreensão dos conceitos básicos de projeto e da Engenharia. Este artigo descreve uma aplicação de Realidade Virtual para o ensino da citada disciplina com o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais atraente para alunos e professores.

Palavras-chave: Realidade Virtual, modelagem dos sistemas estruturais, análise qualitativa.

1. Introdução

O estudo de estruturas é uma parte essencial na formação educacional dos estudantes de Arquitetura, e é considerada, também, por alunos e professores, uma tarefa difícil e, muitas vezes, enfadonha, devido aos termos matemáticos inerentes aos conceitos da Engenharia. Particularmente, tirando-se partido da intuição visual dos alunos de

Arquitetura, pode-se facilitar a compreensão do comportamento dos elementos estruturais básicos, no primeiro contato do aluno com este assunto, por meio de uma análise qualitativa e através da observação das configurações deformadas e do conhecimento das propriedades dos sistemas estruturais. Neste tipo de análise, os conceitos básicos dos elementos estruturais são utilizados através de uma abordagem

não-matemática. Muitos livros foram escritos, neste contexto, no campo da educação, tais como SALVADORI & HELLER [1], POLILLO [2], GORDON [3], SALVADORI & TEMPEL [4] e HILSON [5], entre outros.

O emprego de modelos físicos reduzidos confeccionados com materiais relativamente flexíveis como silicone, borracha, papelão e isopor, com o objetivo de simular os deslocamentos sofridos pelos elementos estruturais, foi originalmente apresentado por SALVADORI & TEMPEL [4]. O manual ilustrado do professor, escrito por eles, sobre estabilidade das construções foi a primeira publicação a usar o conceito da abordagem visual, através de uma análise qualitativa (ABDELMAWLA et al. [6]). A análise estrutural, realizada com o auxílio de modelos com o intuito de incrementar a visualização dos deslocamentos devidos à ação de cargas, proporciona uma maneira fácil e eficiente de se entender os conceitos básicos da Engenharia, como tração, compressão, flexão, flambagem e torção, aplicando o sentimento e a intuição dos alunos (RODRIGUES & HERMIDA [7] e SANTOS [8]).

A evolução da multimídia tornou possível a criação e o desenvolvimento de ferramentas computacionais para um determinado ambiente de aprendizagem interativa, especialmente através da Realidade Virtual ou, simplesmente, RV (ABDELMAWLA et al. [6], HARDY et al. [9], PHILLIPS [10], HAQUE [11], YUAN & TENG [12], GUIDERA [13] e KIM et al. [14]). A aplicação destas ferramentas constitui um importante passo no complemento das necessidades dos estudantes de Arquitetura. Muitas contribuições foram publicadas por pesquisadores neste campo nas últimas duas décadas, aplicando algumas técnicas de RV, como os trabalhos de PICCOLOTTO & RIO

[15], MACCALLUM & HANNA [16], VASSIGH [17], SMITH et al. [18], MILLARD [19] e BITONTI [20], entre outros. A RV (AZUMA [21]) pode ser explicada como uma simulação em terceira dimensão do mundo real ou de um mundo imaginário qualquer (Figura 1.1).

Além da RV, uma outra ferramenta excelente para o ensino de Arquitetura com o objetivo de superar as dificuldades do ensino e aprendizagem dos sistemas estruturais, que aparecem nos primeiros anos dos cursos de Arquitetura e Engenharia, é a introdução de softwares para o ensino que utilizam os conceitos da Realidade Aumentada (RA). Esta, por sua vez, é considerada uma evolução da RV, na qual o objetivo básico é incrementar a interação do usuário com o mundo real, bem como, a sua percepção da realidade através de informações, utilizando objetos virtuais 3D que parecem coexistir no mesmo espaço do mundo real (AZUMA [21]). A Figura 1.2 apresenta um exemplo de aplicação de RA.



Figura 1.1 – Aplicação da Realidade Virtual

A abordagem utilizada no presente artigo apresenta uma aplicação da RV, desenvolvida pela parceria entre o Programa de Engenharia de Sistemas e Computação

(PESC) da COPPE/UFRJ e a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ), usando a linguagem VRML (CAREY & BELL [22]) para o ensino introdutório dos sistemas estruturais para arquitetos e engenheiros, através de modelos qualitativos.

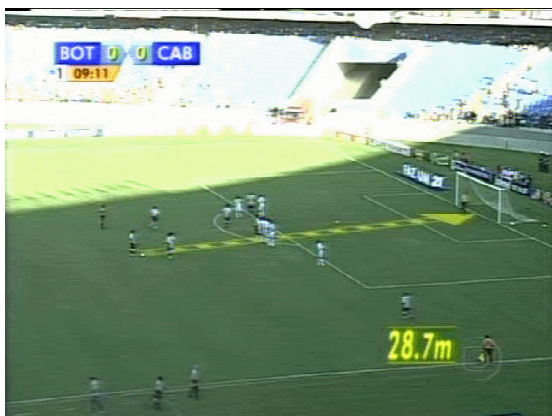


Figura 1.2 – Aplicação da Realidade Aumentada

O artigo está organizado de forma que na Seção 2 são descritas, de modo sucinto, as características da disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais do primeiro período letivo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. A Seção 3 detalha a aplicação da RV neste trabalho. Finalmente, na seção 4, conclusões e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas.

2. Modelagem das Estruturas

Os alunos de Arquitetura, geralmente, demonstram uma certa dificuldade ao lidar com conceitos matemáticos, nos primeiros anos do curso. Por isso, o ensino dos Sistemas Estruturais na formação destes estudantes é considerado pelos professores como uma tarefa difícil e, muitas vezes, para os alunos, a sua compreensão torna-se uma

atividade cansativa, devido ao fato das metodologias tradicionais não levar em conta a sua privilegiada capacidade visual. O primeiro contato do aluno com esta matéria é de extrema importância, uma vez que, a partir desse momento, o estudante se sentirá motivado, ou não, a ampliar e aprimorar os seus conhecimentos nos períodos seguintes.

O estudo de estruturas na FAU/UFRJ inicia-se através da disciplina obrigatória, do primeiro período letivo, “Modelagem dos Sistemas Estruturais” (MSE [23]). E a sua metodologia de ensino lida, inevitavelmente, com o desenvolvimento das habilidades manuais e intelectuais dos estudantes na confecção de modelos físicos qualitativos que reflitam o comportamento estrutural dos elementos estudados, incluindo o uso da intuição no processo da aprendizagem através de exemplos de estruturas encontradas na natureza, da observação de estruturas do passado e do presente, seus sucessos e falhas, e das respostas destes modelos reduzidos de estruturas à ação de determinadas cargas.

Nesta disciplina, o foco está nos arquitetos, não se pensa em engenheiros. Há apenas o compromisso com o estudo qualitativo do fenômeno, e não com o quantitativo.



Figura 2.1 – Estudantes construindo modelo

Foi pela intuição, uma das qualidades mais valiosas da inteligência humana que desde a mais remota antiguidade, o homem conseguiu construir, de maneira estável e segura, as suas construções. Naturalmente, tomando para modelo as admiráveis e sábias soluções da natureza que ainda hoje sugerem os sistemas estruturais modernos (POLILLO [2]). Estes modelos são construídos pelos alunos em sala de aula (Figura 2.1).

De acordo com a ementa da disciplina, os alunos, além de construir estes modelos físicos, devem interagir com os mesmos, principalmente através da manipulação e da observação (Figura 2.2). A intenção é mostrar aos estudantes a funcionalidade do elemento estrutural na Arquitetura, sua relevância nos procedimentos de projeto e construção, procurando-se desenvolver o sentimento do aluno ao tomar contato com os sistemas estruturais, com os problemas de equilíbrio, tensões e deformações, ou seja, introduzir o conhecimento dos sistemas estruturais de forma qualitativa, incluindo suas propriedades e comportamento quando submetidos a certos carregamentos. Visa-se também permitir aos alunos adquirir uma certa sensibilidade e, sobretudo, motivá-los, de maneira a despertar-lhes o interesse pelos desenvolvimentos da análise teórica, que se seguirão nos anos seguintes (POLILLO [2]).

Desta forma, é possível facilitar a compreensão de conceitos básicos como tração, compressão, torção, flambagem, entre outros, tirando partido da privilegiada capacidade visual dos alunos de Arquitetura no processo de aprendizagem. O assunto pode tornar-se mais atrativo e interessante, produzindo uma base para a análise estrutural, sem ser superficial. De fato, a análise experimental qualitativa é uma maneira fácil de guiar a intuição através da visualização e do sentimento. A disciplina utiliza modelos reduzidos de elementos ou de sistemas estruturais, confeccionados

pelos alunos e pelos professores, com materiais relativamente flexíveis como o silicone, a borracha, a cortiça e o elástico, sem a preocupação com fatores de escala, nem de estética, para através da observação da sua configuração deformada devida à ação de esforços aplicados, possibilitar um melhor discernimento do comportamento estrutural dos elementos.

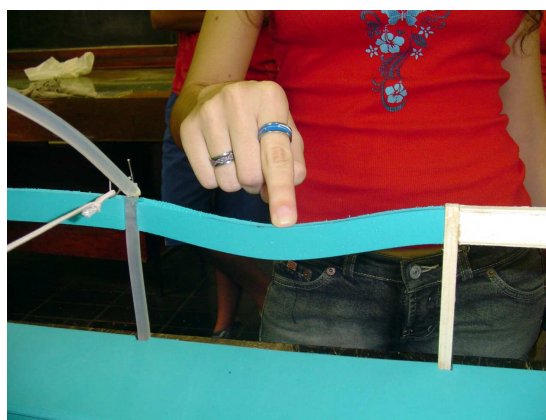


Figura 2.2 – Aluna interagindo com o modelo

3. Aplicação da Realidade Virtual

Como citado anteriormente, a RV pode ser considerada como uma simulação do mundo real ou de um mundo imaginário qualquer. Esta simulação pode ser ainda mais imersiva e interativa, ou seja, através de certos dispositivos, o usuário tem a impressão de estar em outro mundo, onde sensações de tato, visão e audição podem ser sentidas em tempo real (MILGRAM & KISHINO [24]) e, enquanto imerso, o usuário não pode ver o mundo real em torno dele.

A linguagem de programação VRML, abreviação de Virtual Reality Modeling Language, ou Linguagem para Modelagem em RV, desenvolvida por BELL et al. [25], surgiu da ideia de levar a RV para a Internet. Esta linguagem de programação

impulsionou o desenvolvimento da RV no mundo, sendo uma das primeiras iniciativas bem sucedidas de software livre. A VRML trata-se de uma linguagem de criação de ambientes virtuais em três dimensões, através de uma definição textual de objetos a serem desenhados por um *browser*. Ela permite ainda a interação entre o usuário e este ambiente. Esta interatividade acontece através do uso de funções básicas de navegação e também pela interferência do visitante que pode clicar sobre objetos que determinam ligações com outras cenas, ou páginas *web*, arquivos de texto, imagens, sons, vídeos; ou possuem comportamentos associados. Devido ao formato de arquivo, esta linguagem pode ser facilmente transportada entre diversas plataformas. Para a visualização e manipulação deste ambiente virtual é necessária a utilização de um software de navegação para Internet (*browser*) que possua um *plugin* de reconhecimento dos códigos desta linguagem. Este *plugin* instalado no browser é o encarregado de interpretar o código e gerar o ambiente descrito por ele (HEIDRICH [26]).

A aplicação desenvolvida neste projeto foi baseada em um trabalho publicado pelos autores, em momento anterior (RODRIGUES et al. [27]), que descreve o mesmo tipo de aplicação, porém empregando os conceitos da Realidade Aumentada (Figura 3.1).

A principal razão para o desenvolvimento deste programa, utilizando as técnicas da RV, foi a produção de uma ferramenta alternativa à RA, uma vez que a RV capacita o usuário a interagir com um ambiente imaginário, incrementando a sua percepção do ambiente real, através de informações virtuais, exigindo, para isso, basicamente, um computador e um monitor (vídeo ou datashow). Em contrapartida, particularmente no uso da RA em

RODRIGUES et al. [27], constatou-se em algumas ocasiões, uma instabilidade dos objetos virtuais. O presente trabalho proporcionou também, uma experimentação, que se encontra em andamento na FAU/UFRJ, visando uma comparação entre as duas ferramentas desenvolvidas, aplicando-se a RV e a RA. Em momento oportuno, os autores pretendem publicar os resultados da experimentação citada.

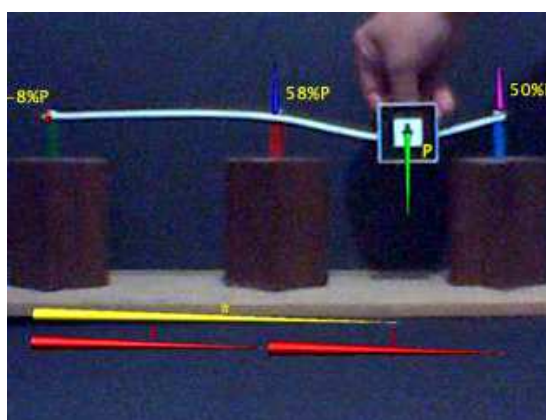


Figura 3.1 – Aplicação da Realidade Aumentada

Devido ao fato da disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais ser a primeira do curso, na área de estruturas, modelos simples foram escolhidos para a implementação do programa. Neste estágio inicial, quatro estruturas foram implementadas. As três primeiras foram uma viga simplesmente apoiada, uma viga contínua e um pórtico plano, apresentadas na Figura 3.2. O quarto modelo é uma variação do modelo da viga simplesmente apoiada, acrescentada de um balanço em uma das extremidades. Novas versões do programa estão sendo desenvolvidas com o objetivo de analisar outros modelos de estruturas reticuladas concebidas pelos alunos.

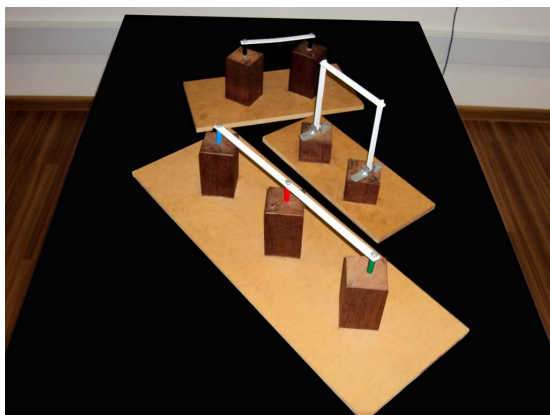


Figura 3.2 – Modelos físicos qualitativos

O primeiro exemplo implementado trata-se da viga simplesmente apoiada, apresentada na Figura 3.3. O programa foi implementado de forma a fornecer ao usuário dois tipos de visualizações na tela: reações de apoio de acordo com a localização força “P” aplicada e a sua respectiva configuração deformada.

Com o objetivo de melhor entender o comportamento estrutural da viga quando sujeita a uma força concentrada, o estudante solicita o elemento na direção vertical, com o auxílio do mouse, pressionando-o quando o cursor estiver sobre a viga. Enquanto o aluno move o cursor, a ferramenta exibe, através de informações virtuais, as reações de apoio, a configuração deformada e a força “P”. Ao deslizar o cursor sobre a barra, o usuário muda a posição de aplicação da força, portanto, a configuração deformada é alterada e as reações de apoio mudam de valores e de tamanho, automaticamente, de acordo com as equações de equilíbrio incluídas no código do programa. Estas observações são válidas para os quatro modelos implementados.

Uma observação importante é que, ao manipular os exemplos apresentados neste trabalho, o usuário pode, a qualquer momento, fazer uso das facilidades pertinentes aos programas de RV. Em outras

palavras, o estudante ou professor pode usar os efeitos de zoom, aproximando-se ou afastando-se da estrutura; transladar ou girar os sistemas estruturais, visualizando a estrutura de ângulos e distâncias diferentes, e movimentar a força ao longo dos elementos para observar novas respostas da estrutura.

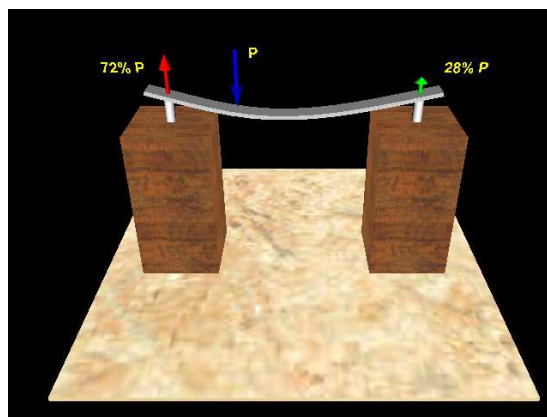


Figura 3.3 – Viga simplesmente apoiada

Neste exemplo, a aplicação da ferramenta permite ao aluno de arquitetura desenvolver a capacidade de observação qualitativa e de cultivar seu sentimento, percepção e intuição sobre o comportamento estrutural de uma viga simplesmente apoiada, através das seguintes conclusões:

- A soma das reações de apoio é igual à força aplicada, ou seja, o sistema está em equilíbrio.
- Ao passo que a força aplicada cresce, as reações de apoio também aumentam, proporcionalmente.
- Quanto mais próxima à força aplicada está de um apoio, maior é a reação neste apoio.
- As regiões tracionadas e comprimidas da viga são facilmente visualizadas, através da configuração deformada.

Estas conclusões, de forma análoga,

aplicam-se aos demais exemplos analisados neste trabalho.

No segundo exemplo, foi modelada uma viga simplesmente apoiada com um balanço na extremidade, exibida na Figura 3.4. Ao analisar esta estrutura, percebe-se que a reação de apoio no balanço é maior que a força aplicada. Portanto, o outro apoio tende a ser levantado, gerando uma reação negativa, garantindo o equilíbrio.

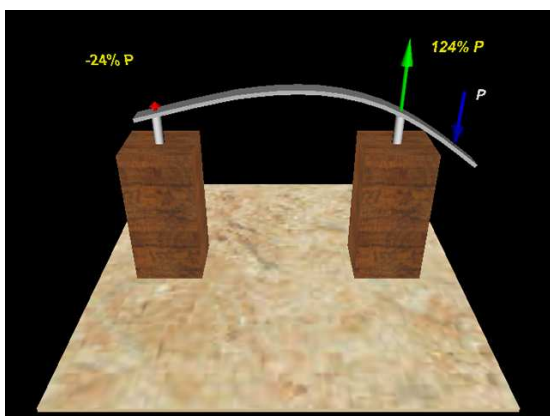


Figura 3.4 – Viga biapoiada com balanço

Este exemplo apresenta uma inversão de curvatura na sua deformada, em relação ao exemplo anterior, quando a força é aplicada no balanço. Este fato pode levar o aluno a entender melhor o porquê da necessidade da armadura negativa, no caso particular de uma viga de concreto armado em balanço, uma vez que a região tracionada encontra-se nas fibras superiores da mesma. Além disso, ele percebe também que o equilíbrio se mantém, devido ao fato da soma das forças ser nula.

A Figura 3.5 mostra o exemplo de uma viga contínua, com dois vãos iguais, com um grau de hiperestaticidade. Neste caso, além das conclusões já formuladas anteriormente para as vigas analisadas, o estudante pode deduzir que, quando a força é aplicada apenas em um dos vãos da viga, o outro vão

tende a levantar e a reação do seu apoio de extremidade, distante do apoio central, muda de sentido. Portanto, o aluno pode visualizar nitidamente a continuidade dos deslocamentos da viga estudada e a necessidade de armação positiva no vão em que a força está aplicada, e armação negativa no outro vão e sobre apoio central, no caso de uma viga de concreto armado com dois vãos contínuos, onde ocorre tração.

O último caso implementado trata-se de um pórtico plano birrotulado com um grau de hiperestaticidade, apresentado na Figura 3.6.

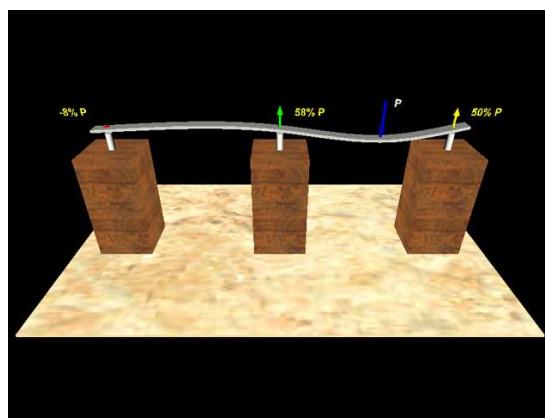


Figura 3.5 – Viga contínua

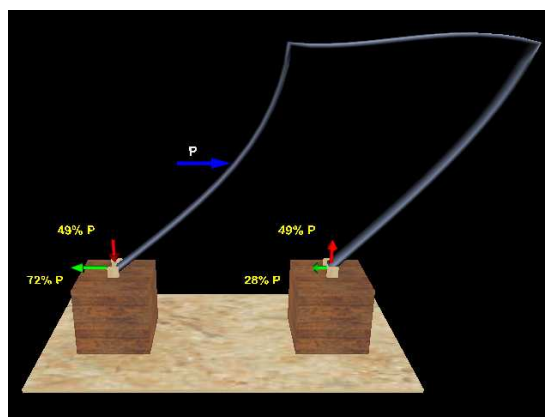


Figura 3.6 – Pórtico plano

Este exemplo possibilita a compreensão, de maneira qualitativa da ação das cargas laterais de vento nas edificações. O aluno pode notar a tendência de tombamento da estrutura e as reações de apoio contrárias a este movimento. Aqui também o estudante pode verificar que a soma algébrica das forças horizontais e verticais sobre o pórtico é igual a zero, e, intuitivamente, o mesmo pode deduzir que a soma de todos os momentos relativos a estas forças, em qualquer ponto da estrutura, também é nula. Estes somatórios nulos, portanto, caracterizam o equilíbrio da estrutura.

Quando um modelo é utilizado para representar qualquer estrutura, a sua análise deve satisfazer as condições de equilíbrio e compatibilidade dos deslocamentos. Os pórticos das edificações, na maioria das vezes, consistem de vigas ligadas às colunas por meio de ligações consideradas rígidas, tornando a estrutura mais resistente aos efeitos de cargas laterais devidas ao vento e a terremotos. Este fato pode ser observado através da configuração deformada, no exemplo estudado.

A Figura 3.7 apresenta alunos executando o programa e interagindo também, através da manipulação com os modelos em sala de aula.



Figura 3.7 – Alunos interagindo com o programa

4. Conclusões

A introdução à análise estrutural na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ (FAU/UFRJ), utilizando modelos reduzidos qualitativos, através do emprego de materiais suficientemente flexíveis para simular os deslocamentos sofridos pelos elementos básicos de estruturas, foi incrementada com a aplicação de técnicas de Realidade Virtual (RV). Este procedimento, além de proporcionar aos estudantes uma melhor percepção da tendência de deslocamento de sistemas reticulados, também possibilitou um ganho de conhecimento da resposta das estruturas, quando sujeitas a uma carga concentrada em diferentes pontos de aplicação.

Este artigo apresentou uma aplicação de RV, desenvolvida através da linguagem de programação VRML, com o objetivo de melhorar o processo de aprendizagem dos alunos de arquitetura da FAU/UFRJ. No início do curso, a compreensão do comportamento estrutural pelos alunos é adquirida pela interação com modelos físicos, pela teoria das estruturas, pelo sentimento, pela observação e pela intuição. Agora, com a aplicação da RV, foi alcançada de uma maneira concreta, reforçada e consolidada. Diálogos recentes com estudantes no Departamento de Estruturas da FAU/UFRJ mostraram o desejo de se utilizar ferramentas e técnicas computacionais atuais no processo ensino-aprendizagem e, desde então, pesquisas neste campo vem sendo conduzidas, empregando as técnicas da RV e RA. Esta iniciativa foi bem aceita pelos alunos, que começaram a fornecer sugestões para melhorias. Numa experimentação informal, constatou-se que a utilização de ferramentas deste tipo é um valioso incremento no curso de Arquitetura.

A principal vantagem da RV sobre outras

ferramentas do tipo é que a mesma capacita o usuário a interagir com um ambiente imaginário, incrementando a sua percepção do ambiente real, através de informações virtuais, não exigindo um ambiente ideal e propício, mas apenas um computador e monitor.

Finalmente, como desenvolvimento futuro, uma nova versão do programa computacional está sendo desenvolvida, com a utilização de modelos mais complexos e a exibição de diagramas de esforços solicitantes, destacando as regiões comprimidas e tracionadas. Está prevista também a aplicação de uma experimentação formal com os alunos da FAU/UFRJ, comparando as duas aplicações: RV e RA.

Referências bibliográficas

- [1] SALVADORI, M., AND HELLER, R., "Structure in Architecture", Prentice Hall, 3rd edition, New Jersey, 1963.
- [2] POLILLO, A., "Considerações sobre o Ensino de Estruturas nos Cursos de Formação de Arquitetos", Sedegra-Rio, Rio de Janeiro, 1968.
- [3] GORDON, J. E., "Structures or Why Things Don't Fall Down", Da Capo Press, London, 1978.
- [4] SALVADORI, M. G., AND TEMPEL, M., "Architecture and Engineering: An Illustrated Teacher's Manual On Why Buildings Stand Up", Salvadori Educational Center On The Built Environment (SECBE), 3rd edition, New York, 1983.
- [5] HILSON, B., "Basic Structural Behaviour -Understanding Structures From Models", Thomas Telford, London, 1993.
- [6] ABDELMAWLA, S., ELNIMEIRI, M. & KRAWCZYK, R., "Structural Gizmos", Proceedings of ACADIA00 Conference: Association for Computer Aided Design in Architecture, Washington, DC, Oct., pp. 115-121, 2000.
- [7] RODRIGUES, P. F. N.; HERMIDA, A. S., "Modelagem de Elementos Básicos de Estruturas para a Análise Qualitativa do Comportamento Estrutural", Revista de Ciência e Tecnologia, V. 6, No. 1, pp. 19-28, 2006.
- [8] SANTOS, J. A., "Sobre a Concepção, o Projeto, a Execução e a Utilização de Modelos Físicos Qualitativos na Engenharia de Estruturas", Tese de Mestrado, USP, 1983.
- [9] HARDY, B., WILSON, D., CROWTHER, D., "Evaluation of Student Assessment of Computer Aided Learning Package on Response of Structures to Load", Internal Report, University of Paisley, Jun., 1996.
- [10] PHILLIPS, V., "Online Universities Teach Knowledge Beyond Books", HR Magazine, V. 43, No. 8, pp. 120-128, 1998.
- [11] HAQUE, M.E., "Web-based Visualization Techniques for Structural Design Education". In: Proceedings of the 2001 ASEE Annual Conference & Exposition, New Mexico, 2001.
- [12] YUAN, X. F. & TENG, J.G., "Interactive Web-based package for computer-aided learning of structural behavior", Computer Applications in Engineering Education, New York, V. 10, No. 3, pp. 121-136, 2002.
- [13] GUIDERA, S. G., "Exploring the Architecture of Structure: Integrating Structures into Design Studio Using Objectoriented", CAD 2003 ASEE Annual Conference & Exposition: Staying in Tune with Engineering Education, Nashville, Jun., pp. 22-25, 2003.
- [14] KIM, I. L., WECK, NADIR, W., YOUNG, P. & WALLACE, D.,

- “Innovative Modern Engineering Design and Rapid Prototyping Course: A Rewarding CAD/CAE/CAM Experience for Undergraduates”, American Society of Engineering Education (ASEE), 2004 Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, Jun., 2004.
- [15] PICCOLOTTO, M. & RIO, O., “Structural Design Education With Computers”. In: Proceedings of ACADIA 95: Computing in Design, University of Washington, Seattle, Oct., pp. 285-299, 1995.
- [16] MACCALLUM, C. & HANNA, R., “Deflect: A Computer Aided Learning Package For Teaching Structural Design - Phase Two”. In: Proceedings of the 15th eCAADe Conference (online). Vienna, Austria, 1997. Disponível em: <http://info.tuwien.ac.at/ecaade/proc/maccull/maccull.htm>. Acesso em: 15/02/2010.
- [17] VASSIGH, S., “Structures E-Book”, ACADIA Quarterly, V. 18, No. 3, Assoc. for Comp. Aided Design in Architecture, Salt Lake City, Oct., pp. 14- 15, 1999.
- [18] SMITH, J., HODGINS, J., OPPENHEIM, I., & WITKIN, A., “Creating Models of Truss Structures with Optimization”. In: Proceedings of the 29th International Conference On Computer Graphics And Interactive, San Antonio, pp. 295-301, 2002.
- [19] MILLARD, S. G., “Computer Aided Learning (CAL) and Computer Aided Assessment (CAA) in Civil Engineering”, Proceedings of the 3rd International CDIO Conference, MIT, Massachusetts, Jun., 2007.
- [20] BITONTI, F., “Computational Tectonics” In: Proceedings of the 29th National Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture. (ACADIA 2009), School of the Art Institute of Chicago, Chicago, pp. 82-89, 2009.
- [21] AZUMA, R. T., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S. & MACINTYRE, B., “Recent Advances in Augmented Reality”, IEEE Computer Graphics and Applications, V. 21, No. 6, Nov./Dec., pp. 34-47, 2001.
- [22] CAREY, R. & BELL, G., “The Annotated VRML 2.0 Reference Manual”, Addison-Wesley Professional, Indianapolis, 1997.
- [23] MSE - Site da disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: www.fau.ufrj.br/apostilas/mse/Index.htm. Acesso em: 10/01/2010.
- [24] MILGRAM, P. & KISHINO, F., “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”. In: IEICE Transactions on Information Systems, V. E77-D, No. 12, pp. 1321-1329, 1994.
- [25] BELL, G., PARISI, A. & PESCE, M., “The Virtual Reality Modeling Language 1.0 Specification”. In: Proceedings of the Second International Conference On The World Wide Web, Chicago, 1994.
- [26] HEIDRICH, F. E., CLARO, A. & PEREIRA, A., “Simulação Computacional de Iluminação Natural Através de Ambientes em VRML”. In: Anais do VII Congresso Ibero-Americano de Gráfica Digital – SIGRADI, Rosario; Argentina. Rosario: Laborde Editor, pp. 117-120, 2003.
- [27] RODRIGUES, C. S. C., RODRIGUES, P. F. N., WERNER, C. M.L., “An Application of Augmented Reality in Architectural Education for Understanding Structural Behavior through Models”. In: Proceedings of the X Symposium of Virtual and

Augmented Reality, João Pessoa:
Universidade Federal da Paraíba, pp.
163-166, 2008.

Abstract

One of the biggest difficulties, in pedagogical terms, in Architecture courses is the interface between structural and architectural design subjects. As a matter of fact, the student, most of the time, is concerned with the form conception, in such a way, that sometimes the structural understanding does not reach a desirable level. In the Faculty of Architecture and Urbanism at

Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), the study of structural systems begins with the Modeling of Structural Systems discipline which applies, obligatorily, the qualitative analysis that seems to be an efficient and helpful tool for the comprehension of the basic concepts of design and engineering. This paper describes an application of Virtual Reality for the teaching of this subject with the aim of turning the teaching and learning process more attractive for students and teachers.

Keywords: Virtual Reality application, modeling of structural systems, qualitative analysis.

Construção de um aquecedor solar de baixo custo sem cobertura: análise experimental da eficiência térmica para vários ensaios

Júlio César Penereiro¹, Liliane Pimenta de Melo² e Thiago Bilatto Coradi³

¹ E-mail : jcpenereiro@puc-campinas.edu.br

² E-mail : liliane.eng@gmail.com

³ E-mail : thiagocoradi@gmail.com

^{1,2,3} Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias - CEATEC
Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC-Campinas
Rodovia D. Pedro I, km 136 – Parque das Universidades.
CEP: 13086-900 – Campinas – SP.

Resumo

A presente proposta descreve a construção de um coletor solar plano, empregando materiais de baixo custo e de fácil acesso à população. A pesquisa tem como meta aliar o ensino de física ao conhecimento envolvido na construção e funcionamento de um sistema de aquecimento solar de água. Trabalha-se de forma prática com os conceitos de temperatura, quantidade de calor, radiação solar e eficiência térmica. Com o intuito de obter a eficiência instantânea, foi desenvolvido um sistema automático de medidas de temperaturas empregando sensores intermediados com uma placa microcontroladora e interfaciados com um microcomputador. A partir da radiação solar incidente da área e da eficiência instantânea dos coletores, foi feita uma análise das curvas de respostas dos coletores solares em vários ensaios, assim obtendo uma medição da eficiência média do equipamento. Procurou-se redigir o artigo didaticamente simplificado, a fim de tornar o conteúdo acessível aos professores, estudantes e alunos de graduação.

Palavras chave: aquecedor solar de água, medida de eficiência, aquecedor solar de baixo custo, sistema fechado em aquecedores solares.

1. Introdução

As disciplinas de Física no ensino de engenharia, além de transmitirem o conhecimento da própria ciência, devem preparar seus estudantes para atuar de modo fundamentado, consciente e responsável diante das necessidades e dos limites impostos pela vida atual.

Um dos maiores problemas que caracterizam a sociedade brasileira na atualidade é a grande demanda e o desperdício de energia. Esse consumo desenfreado traz como consequência uma

preocupação constante na produção e/ou geração de energia em grande escala, acarretando, por sua vez, uma crescente degradação do meio ambiente. Conscientizar a população a respeito desses problemas e buscar por fontes alternativas de energia são processos importantes na formação do indivíduo, porém, infelizmente ocorrem de forma muito lenta. O ideal seria termos, desde cedo, uma forte política de conscientização dos cidadãos em relação às questões energéticas e de meio ambiente.

Várias discussões em torno de energias alternativas têm sido alvo de debates devido

à preocupação com a demanda energética mundial a caminho da quase saturação, do altíssimo custo e da escassez. Atualmente há um grande interesse na energia solar, em virtude das suas diversas vantagens. Neste contexto, ela é disponível, pelo menos em certa medida, em qualquer parte do mundo, em contraste com os combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo) e nucleares. A energia solar em si não custa nada e é imune às flutuações dos preços das outras formas de energia. Graças à tecnologia atual, ela pode ser convertida e usada de muitas formas diferentes: fornecimento de eletricidade, calefação, resfriamento, transporte, iluminação e potência mecânica. A maioria dos métodos para o uso da energia solar (porém, não todos) gera poucos problemas ambientais. Entretanto, a energia solar também tem suas desvantagens, pois não é fortemente concentrada, embora seja possível coletar o suficiente para algumas aplicações importantes em áreas pequenas de terreno, de coberturas ou de paredes. É uma energia intermitente, com o fluxo interrompido pelas noites e pelos dias neventos, mas, com relação a esse aspecto, já existem formas convenientes, e muitas vezes baratas, de armazená-la durante esses períodos. Um outro problema relacionado à energia solar é o fato de que requer um investimento de capital elevado, mas os custos de amortização são, freqüentemente, mais que superados pela economia nos preços da energia.

O chuveiro elétrico é dos itens de maior participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil, chegando a 24,0% contra os 22,0% da geladeira; 20,0% do ar condicionado; 14,0% das lâmpadas; 9,0% da televisão; 5,0% do freezer; 3,0% do ferro de passar roupas e 3,0% do aparelho de som [1]. Presente em 73,5% dos lares brasileiros, chega a ser de quase 98% apenas

na região sul, o que corresponde à cerca de 1/3 do consumo total de energia das residências. Assim, a eminência de um problema de crise energética no Brasil aumenta juntamente com o crescente consumo que o país vem apresentando, decorrente, em parte, do aumento populacional e do aumento do padrão de vida de algumas classes sociais. A procura por fontes energéticas alternativas àquelas tais como fósseis (gás e petróleo), álcool e barragens de água, parecem ser uma opção para que os brasileiros possam produzir a totalidade da energia aqui consumida, uma vez que o Brasil importa quase 0,3% de seu consumo, estimado em mais de 100.350,0 MW gerados pelas usinas nacionais em 2007 [2].

Os sistemas de aquecimento de água empregando energia solar tiveram sua reputação comprometida pela entrada de pessoas de pouca credibilidade no ramo e, por outro lado, pelos elevados custos apresentados por aqueles que primavam por produtos de melhor qualidade. Atualmente, somente é possível ter um sistema de aquecimento de água com coletores solares instalados em residências, fazendo investimentos que retornarão em longo prazo. Por esse motivo, torna-se imprescindível desenvolver produtos que viabilizem o uso da energia solar térmica para o consumidor com uma visão econômica de mercado.

O uso de aquecedores solares em habitações populares e o incentivo ao uso de sistema termossolar em edificações em geral, constituem-se nas medidas de curto prazo mais apropriadas para iniciar um processo do uso de energias limpas e renováveis com alcance social e econômico [1].

A necessidade de se criar incentivos aos aquecedores solares para substituírem os chuveiros elétricos em habitações populares

nos levou a desenvolver a pesquisa discutida a seguir. É apresentado o desenvolvimento de um aquecedor de água que utiliza coletores solares planos de baixo custo, feitos a partir de perfis extrudados e canos de PVC (cloreto de polivinila). A proposta aqui apresentada não é inovadora, mas é colocada no sentido de motivar e encorajar professores e grupos de estudantes do nível médio e universitário a construírem em suas Escolas ou residências um equipamento equivalente para usufruir, entender, estudar, discutir e aplicar os processos relacionados à termodinâmica (fenômenos de transferência de calor), radiação eletromagnética, radiação de um corpo negro, lei de Stefan-Boltzmann, campo magnético terrestre, os movimentos da Terra, as estações do ano, o efeito estufa e o aquecimento global, além de valorizar o uso da energia solar na sociedade.

Para identificar as características técnicas e parâmetros físicos dos coletores solares feitos de perfil extrudado, foram implantados sensores digitais de temperaturas em posições estratégicas do fluxo de água no aquecedor. Os sensores foram conectados a um microcontrolador, cujos sinais relacionados às temperaturas foram enviados para um microcomputador que os interpretou a partir de um programa especificamente desenvolvido para esse fim. Por intermédio desses recursos, foi possível inferir uma estimativa da eficiência térmica total do equipamento, por meio da sua curva-resposta, possibilitando, assim, o dimensionamento do sistema para instalações mais otimizadas em residências e Escolas.

2. Materiais e métodos

A pesquisa aqui discutida foi realizada no Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias (CEATEC) da PUC-Campinas, em Campinas/SP, na latitude 22°49'39"S,

longitude de 47°03'52"W e altitude de 619,7 m. O clima predominante nessa região do Brasil, de acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI-UNICAMP), é classificado como tropical de altitude, com 21°C de temperatura média do ar, predominância de chuvas no verão e com estiagens médias de 30 a 60 dias entre os meses de julho a agosto. A ocorrência de geadas é possível, entretanto, os últimos registros aconteceram em julho de 2000, quando se atingiu a temperatura de -1,4°C.

O equipamento desenvolvido nessa pesquisa é do tipo sistema passivo direto. Nele a água é aquecida diretamente por coletores solares e sua circulação é realizada por termossifão, ou seja, a diferença de densidade devido à variação de temperatura entre os coletores e o reservatório provoca um gradiente de pressão que coloca o fluido em movimento. A montagem do equipamento, bem como o sistema de aquisição de dados, será discutido em detalhes nas seções seguintes.

2.1. Montagem dos coletores solares

O perfil extrudado de PVC da Figura 2.1(a) compõe a parte principal de cada coletor solar plano e pode ser encontrado em qualquer estabelecimento comercial do ramo por um preço muito baixo (em média R\$ 23,00 a peça de 4,0 m de comprimento por 0,3 m de largura).

A montagem, feita de forma artesanal, usa tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegada que foram cortados longitudinalmente de forma que as abas do perfil extrudado de PVC pudessem ser dobradas para dentro ou quebradas quando necessário. Os tubos formam o que se denomina de a “cabeça do coletor” e foram encaixados nas extremidades superiores e inferiores dos perfis de PVC, fixando-os com um adesivo

epóxi, no caso Araldite[®], como pode ser visto na Figura 2.1(b). O processo apresenta como vantagem o baixo custo para pequenas quantidades e, como desvantagem, a baixa estanqueidade das bordas coladas, sendo indicado para produção caseira.

As superfícies do coletor plano foram pintadas com tinta fosca de cor preta (Figura 2.1c). Antes da pintura, as superfícies do perfil extrudado foram lixadas para melhor aderência da tinta (Figura 2.1d). A pintura foi realizada com rolo para obter uma camada de tinta mais espessa, garantindo assim uma maior proteção e durabilidade.



Figura 2.1(a) – O perfil extrudado de PVC.



Figura 2.1(b) – Seu acoplamento com a “cabeça do coletor”.

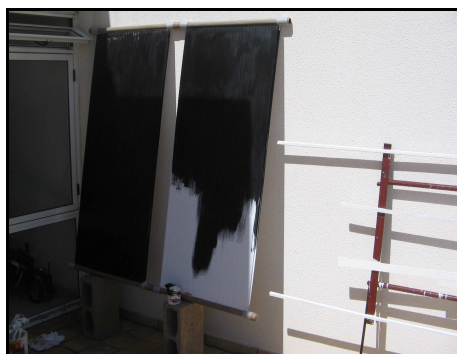


Figura 2.1(c) – Pintura dos perfis antes de fixá-los na bancada móvel.

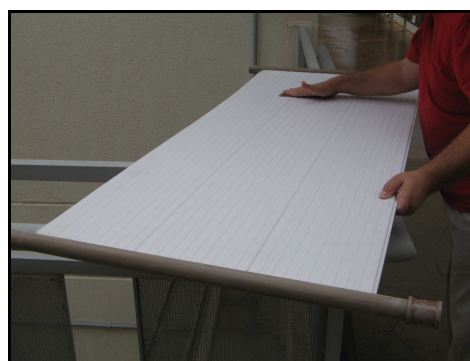


Figura 2.1(d) – Preparo do perfil após colagem das peças.

Após esses cuidados o coletor solar plano encontrou-se pronto para ser instalado. Cada um deste dispositivo apresenta facilidade no transporte devido as suas dimensões e peso de, aproximadamente, 1,32kg. A Tabela 1 resume as características geométricas de cada coletor que foi montado para realizar essa pesquisa.

Vale ressaltar que, como citado anteriormente, o coletor testado na presente pesquisa foi fabricado de maneira artesanal, sendo que, durante este processo, verificou-se, através de um estudo bibliográfico sobre o assunto, que a ONG intitulada Sociedade do Sol¹ também desenvolve coletores fabricados de maneira alternativa e nos

¹ Disponível em: www.sociedadedosol.org.br.

mesmos padrões que aqui está sendo discutido. Porém, o processo de desenvolvimento do aquecedor proposto por aquela instituição está voltado para atender as necessidades de abastecimento de pessoas de baixa renda e não para o estudo que aqui foi proposto, isto é, a caracterização técnica e a determinação da eficiência térmica média de um aquecedor de baixo custo.

Alguns trabalhos visando a determinação da eficiência térmica em coletores solares de baixo custo já foram realizados por outros autores [3, 4 e 5]. No entanto, todos abordaram linhas de pesquisas diferenciadas da aqui apresentada e discutida.

Tabela 1 – Características e componentes do coletor solar plano montado

Característica	Valor
Material: PVC (polipropileno) – condutividade térmica no ar	$K=0,35$ (W/mK)
Largura do coletor	0,61m
Comprimento do coletor	1,46m
Distância entre os tubos	0,0055m
Diâmetro maior dos tubos	0,005m
Diâmetro menor dos tubos	0,003m
Espessura inferior e superior da área do coletor	0,001m
Diâmetro interno do tubo inferior e superior do coletor	0,035m
Diâmetro externo do tubo inferior e superior do coletor	0,047m

2.2. A bancada dos coletores solares

Das várias possibilidades existentes, foi escolhida uma montagem que utiliza um reservatório plástico (caixa d'água de PVC de 100 litros) com isolamento térmico (paredes internas em placas EPS – poliestireno expandido – e revestidas com plástico negro) instalado em série com dois coletores solares planos de PVC extrudado (Figura 2.2). Todo sistema é alimentado com água da rede hidráulica controlada por uma bóia de água de uso comum.

A tubulação da bancada, onde foram montados os coletores solares, foi feita com tubos, conexões e registros em PVC de ½ polegada, pois apresentam baixo custo e possuem boa flexibilidade, facilitando as montagens em curvas. A única exceção foi a tubulação próxima aos coletores, que utilizou uma tubulação maleável, foi empregado conduíte flexível, para que fosse

possível remover os coletores solares em caso de manutenção preventiva e/ou acidentes.

Os dois coletores foram fixados sobre uma mesa metálica, ou bancada, que permite o ajuste do ângulo de incidência da radiação solar. Essa bancada foi direcionada para o norte geográfico empregando o método do gnômon² e o ângulo de incidência foi ajustado para 31° ao meio dia solar. A imagem da Figura 2.2 mostra o equipamento montado já com toda a instrumentação eletrônica visando à aquisição de dados em ensaios experimentais, que serão descritos a seguir.

² Ponteiro que marca a altura do Sol pela direção da sombra; tipo de relógio solar.



Figura 2.2 – A bancada experimental em sua forma final, destacando-se os dois coletores solares, as tubulações e o reservatório de água.

2.3. Aquisição de dados experimentais

Para medição da eficiência térmica dos coletores solares, a bancada foi instrumentada com seis sensores digitais de temperaturas (modelo: DS1820, fabricante: Dallas Instruments, [6]), acoplados a uma placa com microcontrolador PIC16f628A [7] que foi especialmente desenvolvida e conectada através da entrada RS232 de um microcomputador. As temperaturas foram medidas continuamente através de sensores de temperaturas, que foram inseridos no circuito hidráulico através de acessórios de PVC do tipo “t” com tampas rosqueadas. Em cada tampa foi feito um furo pelo qual passa o cabo, conectando o sensor à placa com o microcontrolador. A estanqueidade do furo foi garantida com o uso da cola epóxi Araldite[®]. A homogeneização da temperatura da água quando em contato com o sensor é feita por intermédio do próprio circuito hidráulico devido ao turbilhamento ocorrido na entrada e na saída, pela movimentação da água devido à convergência dos fluxos de cada duto do perfil de PVC.

A Figura 2.3 ilustra o sistema de aquisição de dados do aquecedor solar

(esquerda-superior), a placa com o microcontrolador dos sensores de temperaturas (esquerda-inferior) e um exemplo de gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados (direita).

A calibração dos sensores de temperaturas foi realizada separadamente por meio da comparação do sinal adquirido pela leitura no monitor do microcomputador com o valor lido num termômetro de mercúrio. Foram feitas cinco medidas para cada um dos quatro valores de temperaturas ensaiados. Uma análise de regressão permitiu a obtenção de uma curva linear para verificar a calibração dos sensores. A Figura 2.4 ilustra o comportamento das temperaturas *versus* o tempo para um dos sensores empregado na pesquisa. Seguindo esse procedimento, foi possível certificar que os sensores DS1820 empregados são de boa qualidade e operam em condições ideais para os intervalos de temperaturas que o aquecedor solar de água deve estar trabalhando, garantido, dessa forma, que as medidas lidas por meio de cada sensor sejam coerentes.

Um procedimento computacional específico para o reconhecimento de cada sensor e a leitura dos dados foi especialmente desenvolvido em programação PYTHON, utilizando o ambiente de desenvolvimento ECLIPSE. Esse procedimento, além de reconhecer cada sensor, interpreta o valor de medição da temperatura num determinado instante e gera um gráfico, bem como atualiza um arquivo de dados contendo informações do horário da medição e os valores das temperaturas. Como dito antes, foram colocados 6 sensores em locais estratégicos do fluxo de água pelo equipamento. Os pontos escolhidos foram na entrada e saída da água pelos coletores solares, dentro do reservatório de água, ao longo das tubulações e à sombra. Nesse último caso, a

intenção foi fazer um acompanhamento da temperatura do ar e comparar com as medidas registradas e fornecidas pelo CEPAGRI-UNICAMP na Estação Meteorológica Automática – Campus UNICAMP (posição: 22°49'07"S, 47°03'43"W, 620m), disponível no endereço eletrônico: www.cpa.unicamp.br.

Todas as medições foram armazenadas em arquivos compatíveis ao Microsoft Excel, de forma que pudessem ser analisadas por qualquer usuário. A Figura 2.5 ilustra uma tela gerada no microcomputador, mostrando um exemplo do processo de

aquisição de dados durante um ensaio experimental. Na figura é possível identificar os gráficos gerados para cada sensor de temperatura, a medida da eficiência térmica instantânea do aquecedor solar, além de outras informações úteis para o processo de redução de dados. Os dados relativos ao clima que aparecem nessa figura foram resgatados diretamente do banco de informações do CEPAGRI-UNICAMP. A radiação solar foi medida simultaneamente através de um Piranômetro tipo CMP22, fabricante: Kipp & Zonen [8], instalado no plano do coletor.

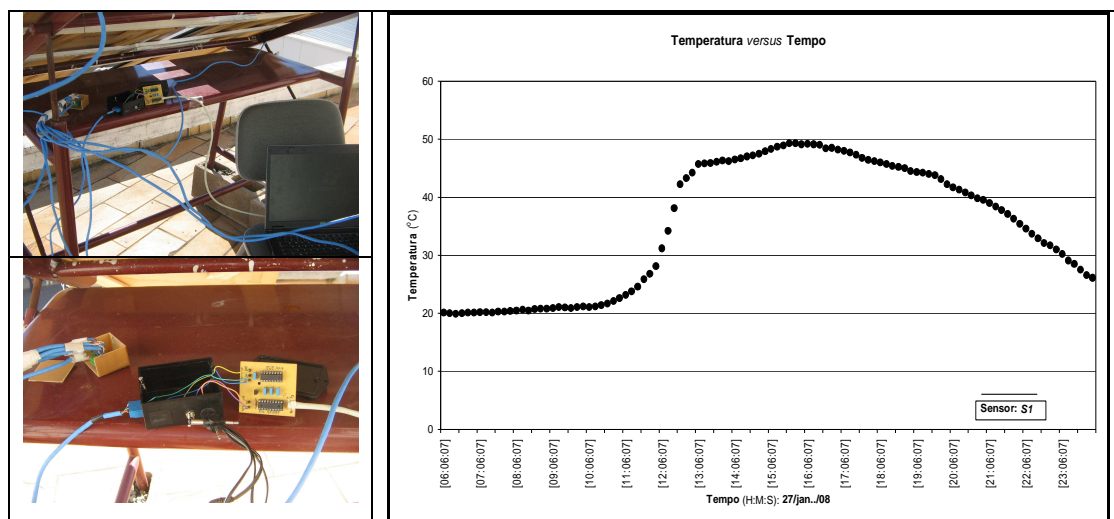


Figura 2.3 – (esquerda-superior) Sistema de aquisição de dados do aquecedor solar. (esquerda-inferior) Placa microcontroladora dos sensores de temperaturas. (direita). Exemplo de um gráfico: Temperatura *versus* Tempo, gerado pelo programa de aquisição de dados.

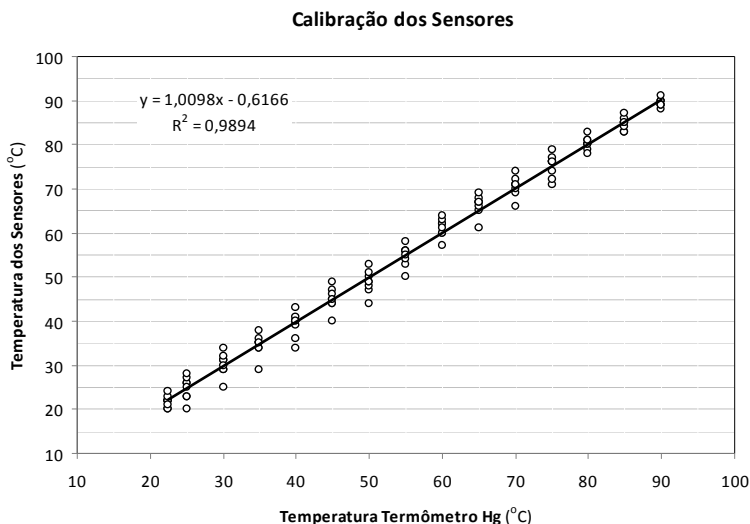


Figura 2.4 – Curva de calibração dos sensores que foram empregados no equipamento de aquecimento solar de água. O valor do coeficiente de determinação (R^2) revela a confiabilidade das medidas dos sensores quando comparadas com as leituras de um termômetro analógico de mercúrio.

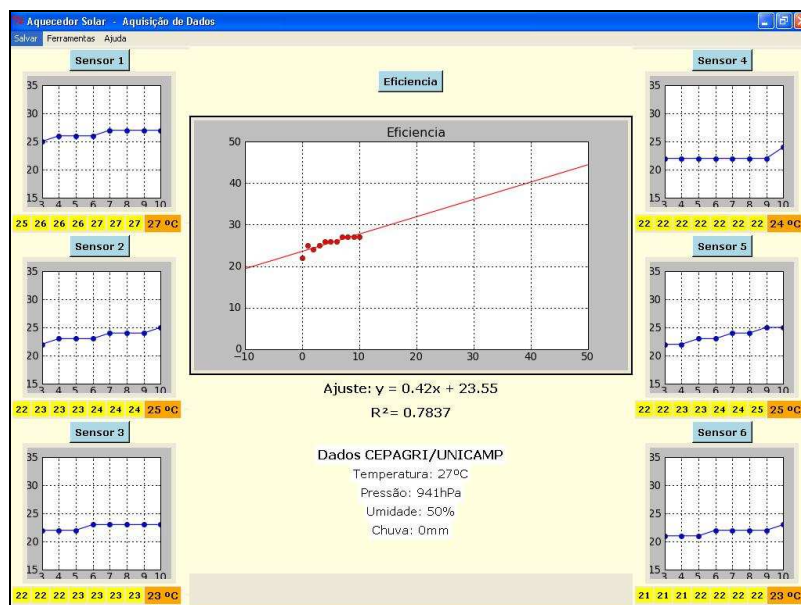


Figura 2.5 – Exemplo ilustrativo de uma tela gerada pelo programa de aquisição desenvolvido na linguagem de programação PYTHON para um ensaio experimental do aquecedor solar de baixo custo.

3. Análises e resultados

Além de obter água aquecida num reservatório para, eventualmente, usá-la em diversas finalidades, o objetivo da pesquisa foi empregar sensores de temperaturas localizados em pontos estratégicos do aquecedor para extrair um resultado quantitativo do desempenho desse equipamento durante alguns ensaios realizados de forma independente, na medida em que o tempo fosse transcorrendo ao longo dos dias ensaiados. Para essa finalidade, foi desenvolvido um estudo teórico do comportamento dos coletores solares de placa plana, que está descrito a seguir. Posteriormente, foi caracterizado o aquecedor solar por meio de parâmetros físicos sugeridos na literatura, usando as medições realizadas em vários ensaios experimentais.

3.1. Análise do desempenho do aquecedor solar de água

Os ensaios e as coletas das medidas de temperaturas e da radiação solar no aquecedor, atuando na forma de um circuito térmico fechado, permitem identificar os princípios integrados de transmissão de calor. Resumidamente, pode-se dividir em quatro partes o sistema de aquecimento aqui utilizado: 1 – captação da energia solar; 2 – aquecimento da água pelo coletor; 3 – transporte da água entre o coletor e o reservatório e 4 – o armazenamento da água. Outras parcelas do calor transferido são perdidas para o ambiente e por meio dos próprios materiais com que foram feitos os coletores solares. Vários trabalhos desenvolvidos sobre esse assunto têm demonstrado a impraticabilidade de se considerar a totalidade das variáveis que possam influenciar no funcionamento do aquecedor, pelo fato de tais variáveis não exercerem influência significativa no

comportamento do equipamento, podendo, por isso, serem em parte negligenciadas.

Sendo assim, nesse estudo foi considerada apenas uma parcela da radiação no coletor que é de fato utilizável para o aquecimento da água. Essa energia útil pode ser avaliada pelo ganho de calor que a água tem, devido à circulação do fluido nos coletores, através da relação:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_s - T_e) \quad (1)$$

onde: Q_u representa o fluxo de energia que chega ao reservatório [W]; \dot{m} é a vazão de massa de água [kg/s]; C_p é o calor específico da água como sendo igual a 4,18605 [J/kg°C]; T_s e T_e são as temperaturas [°C] da água na saída e entrada do reservatório, respectivamente.

Para a medição da eficiência térmica instantânea (η) foi empregada uma relação simplificada³ que envolve a energia útil do sistema (Q_u) e que está relacionada à irradiação solar incidente (I_t), além da área do coletor (A_c), através da equação [9 e 10]:

$$\eta = \frac{\int_0^t Q_u dt}{A_c \int_0^t I_t dt} = \frac{\dot{m}C_p(T_s - T_e)}{G_T} \quad (2)$$

O termo G_T é o produto de A_c com I_T , representando a irradiação total incidente [W] nos coletores.

³ Desprezaram-se os efeitos climáticos, tais como o vento incidente e a pressão atmosférica.

Os resultados são apresentados em gráficos de η em função de $\frac{(T_e - T_{amb})}{G_T}$, que tentam caracterizar os coletores através de curvas, obtidas diretamente dos dados experimentais, da eficiência térmica instantânea (η) como função das três variáveis (T_e , T_{amb} e G_T), sendo T_{amb} a temperatura do meio ambiente no instante de cada medição.

Os aparelhos e instrumentos utilizados para as análises realizadas nessa pesquisa permitem obter as seguintes imprecisões das grandezas envolvidas:

- Temperatura de entrada de água no coletor e a temperatura ambiente, T_e e T_{amb} , respectivamente: $\pm 0,1[^\circ\text{C}]$.
- Diferença de temperatura entre a entrada e saída do coletor, $T_s - T_e$: $\pm 0,1[^\circ\text{C}]$.
- Vazão de água no coletor, \dot{m} : $\pm 1,0\%[\text{kg/s}]$.
- Área dos coletores, A_c : $\pm 0,01[\text{m}^2]$.
- Irradiação solar, I_t , $\pm 10[\text{Wm}^{-2}]$.

Cada ponto de ensaio na determinação da eficiência térmica está relacionado com seu respectivo desvio padrão, expresso por:

$$\frac{\sigma_\eta}{\eta} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\dot{m}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{T_e - T_s}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_3}{A_c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_4}{I_T}\right)^2} \quad (3)$$

onde: σ_n , ($n = 0,1,\dots,4$) é o desvio da grandeza presente no respectivo denominador da fração.

Definindo a variável T^* que, no caso, representa o eixo das abscissas nos gráficos $\left[\frac{(T_e - T_{amb})}{G_T}\right]$, para cada ponto usou-se a expressão:

$$\frac{\sigma_{T^*}}{T^*} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{T_1^*}}{T_e - T_{amb}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T_2^*}}{G_T}\right)^2} \quad (4)$$

onde: $\sigma_{T_1^*}$ e $\sigma_{T_2^*}$ são os respectivos desvios padrões das grandezas envolvidas nos denominadores.

A Tabela 2 resume a coleta das medidas experimentais realizadas a cada vinte minutos para o ensaio realizado no dia 17/nov/09, entre as 09h00 e 16h20 no horário oficial de verão. Nessa tabela, cada termo refere-se ao instante de cada medição. Para determinação de η utilizou-se a equação (2), para o desvio padrão dessa medida (σ_η) empregou-se a equação (3), enquanto que para o desvio padrão de $\left[\frac{(T_e - T_{amb})}{G_T}\right]$ usou-se a equação (4). Posteriormente, essas informações foram usadas nas confecções de gráficos e nos cálculos do desempenho do aquecedor, descritos a seguir.

Tabela 2 – Informações térmicas e solares e a determinação da eficiência instantânea para o ensaio do dia 17/nov/09

Hora	$T_e - T_{amb}$ (°C)	$T_s - T_e$ (°C)	I_t (W/m ²)	$(T_e - T_{amb}) / (G_T) \pm \sigma_T$ (°Cm ² /W)	$\eta \pm \sigma_\eta$
09:00	1,57	14,78	973,10	0,00216±0,064	0,5205±0,016
09:20	1,51	17,72	1074,79	0,00140±0,060	0,5493±0,015
09:40	1,33	13,96	951,99	0,00139±0,075	0,5938±0,016
10:00	0,78	10,02	752,11	0,00289±0,012	0,4245±0,019
10:20	2,40	11,24	881,51	0,00272±0,043	0,5076±0,017
10:40	4,32	13,53	1049,80	0,00395±0,025	0,3994±0,016
11:00	3,35	14,04	929,77	0,00383±0,031	0,4674±0,016
11:20	9,47	3,71	647,53	0,01450±0,018	0,2291±0,032
11:40	6,52	6,32	723,14	0,01044±0,021	0,5076±0,023
12:00	14,64	6,38	841,89	0,01738±0,013	0,2491±0,022
12:20	9,21	4,95	833,46	0,01105±0,015	0,2346±0,025
12:40	0,84	13,76	1065,33	0,00126±0,011	0,5257±0,015
13:00	2,52	16,15	1024,90	0,00371±0,040	0,5171±0,015
13:20	4,83	12,71	1048,62	0,00541±0,022	0,4007±0,016
13:40	9,65	9,67	1016,34	0,01046±0,013	0,3087±0,017
14:00	9,75	9,13	973503	0,01036±0,014	0,3194±0,018
14:20	12,90	5,54	849,32	0,01535±0,014	0,2116±0,024
14:40	15,48	2,34	765,98	0,02049±0,014	0,0973±0,046
15:00	2,32	10,10	1038,30	0,00276±0,044	0,4114±0,017
15:20	1,37	13,70	1065,11	0,00174±0,073	0,5279±0,016
15:30	3,13	12,75	961,93	0,00371±0,033	0,5479±0,016
16:00	7,15	10,11	896,71	0,00754±0,018	0,4491±0,018
16:20	12,61	17,86	851,56	0,00378±0,014	0,3679±0,016

3.2. Caracterização do aquecedor solar de água

Para caracterizar o aquecedor solar foi utilizado o método proposto por Duffie e Beckman [9], que propõe dois parâmetros físicos, sendo que um indica como o coletor absorve a radiação solar e o outro, como ele perde calor para o meio. Os parâmetros relacionados à espessura da placa, espaçamento da tubulação, materiais para cobertura, dimensões de isolamento térmico, dentre outros, que também foram propostos pelos autores, não foram levados em consideração nessa pesquisa. Diante dessas

simplificações, a eficiência instantânea do equipamento (η) está relacionada com a diferença de temperaturas ($T_e - T_{amb}$) e com parâmetros que foram propostos pelos autores [9], através da relação:

$$\eta = F_r(\tau\alpha) - F_r U_L \left(\frac{T_e - T_{amb}}{G_T} \right) \quad (5)$$

Nesta equação, o termo T_{amb} também se refere à temperatura do meio ambiente, enquanto que T_e representa a temperatura de entrada no coletor solar. Esta última variável

também pode ser tomada como sendo a média (T_{med}) entre a temperatura de entrada (T_e) e de saída (T_s) do fluido. O termo $F_r U_L$ representa o fator global de transferência de calor que representa as perdas para o meio ambiente. Por outro lado, o termo $F_r(\tau\alpha)$ representa a parcela de energia radiante absorvida pelo coletor solar (está relacionada com a máxima quantidade de calor possível que pode ser transferida) e depende do coeficiente de correção ($\tau\alpha$), sendo: τ a transmitância e α a absorptância do material empregado [10].

Assim, os parâmetros $F_r U_L$ e $F_r(\tau\alpha)$ caracterizam um coletor solar. A título de comparação, para coletores de cobre com cobertura de vidro, os valores típicos encontrados são $7,7\text{W/m}^2\text{K}$ para $F_r U_L$ e $0,74$ para $F_r(\tau\alpha)$ [11]. Os coletores solares de baixo custo sem cobertura e feitos de PVC extrudado, como os que foram desenvolvidos nessa pesquisa, e que foram testados por Mveh [12], apresentaram desempenho satisfatório com valores de $16,0\text{W/m}^2\text{K}$ para $F_r U_L$ e $0,61$ para $F_r(\tau\alpha)$.

A partir dos cálculos da eficiência térmica instantânea (η), medidos a partir da equação (2) e listados na Tabela 2, foi possível extrair uma relação entre a

“Eficiência versus $\left(\frac{T_e - T_{amb}}{G_T}\right)$ ”

empregando a equação (5). Isso foi realizado por intermédio do gráfico, onde todos os cálculos foram elaborados em planilhas do Microsoft Excel, como o mostrado na Figura 3.1. Nesse tipo de gráfico é possível verificar como esses parâmetros se relacionam. Por meio de um ajuste linear mostrado no gráfico foram extraídos os parâmetros térmicos $F_r(\tau\alpha)$ e $F_r U_L$, que caracterizam o desempenho do coletor solar aqui discutido. A reta ajustada na figura intercepta o eixo vertical no ponto (0,0 ; 0,602), e representa a eficiência máxima (em média) que o aquecedor pode apresentar naquele ensaio (caracteriza o parâmetro: $F_r(\tau\alpha)$). A inclinação da reta informa a respeito das perdas térmicas (caracteriza o parâmetro: $F_r U_L$). Infere-se a partir do gráfico que:

$$F_r \cdot (\tau\alpha) = 0,602$$

e

$$- F_r \cdot U_L = -16,114.$$

Estes valores, quando comparados aos trabalhos de Niemeyer [3], Pereira e colaboradores [4] e Mveh [12], indicam que as características físicas medidas para o coletor solar aqui desenvolvido são satisfatórias.

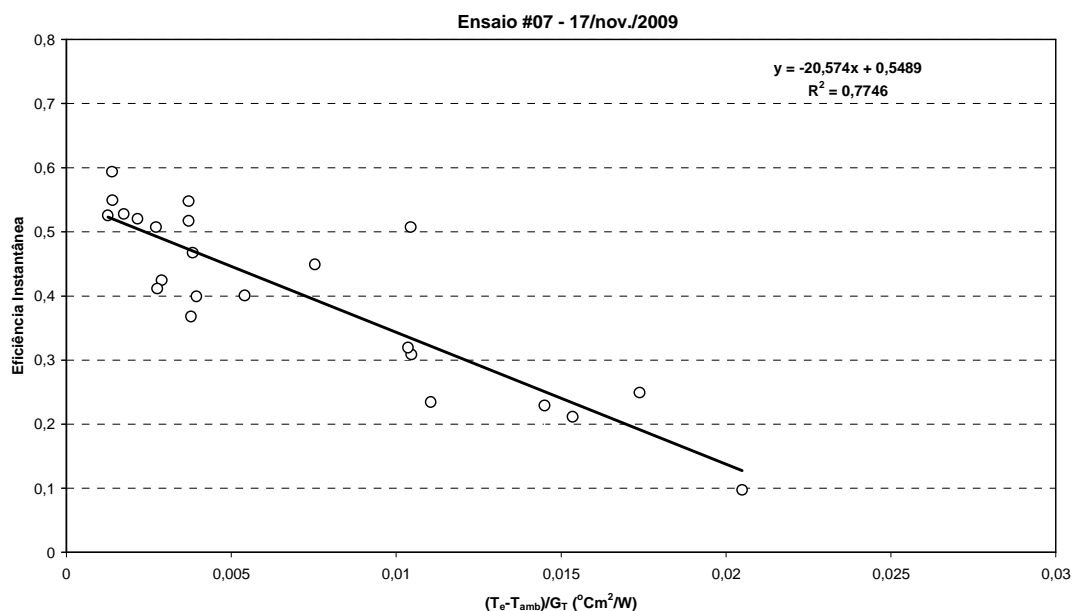


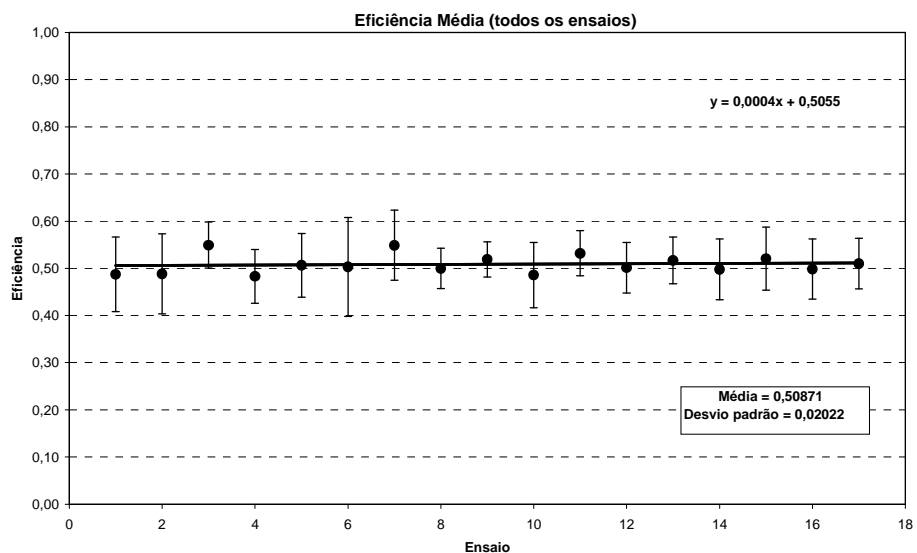
Figura 3.1 – Curva da eficiência térmica instantânea (η) versus $(T_1 - T_{amb})/(G_t)$ para o ensaio de 17/nov/09.

Durante os meses de outubro a dezembro de 2009 foram realizados 17 ensaios independentes, onde sempre se procurou trabalhar em dias ensolarados no período das 09h00 às 18h00 horas. De forma análoga ao explicado no ensaio de 17/nov/09, obteve-se as eficiências máximas de cada dia ensaiado. Analisando os gráficos dessas eficiências no período, pode-se obter a eficiência total média do aquecedor solar desenvolvido nessa pesquisa. A Tabela 3 mostra os valores obtidos para cada ensaio, além do

valor da eficiência média total ($\bar{\eta}$) e do desvio padrão dessa medida ($\sigma_{\bar{\eta}}$). Observa-se, tanto pela tabela quanto na Figura 3.2, que os valores de η são próximos um do outro. Por meio de um ajuste desses pontos encontramos uma eficiência térmica média máxima em torno de $(50,55 \pm 0,03)\%$, como pode ser visto no ajuste da reta apresentado no gráfico da Figura 3.2.

Tabela 3 – Medidas da eficiência e respectivos desvios padrão para os ensaios realizados

Ensaio	Data	η	σ_η
1	16/out/09	0,48727	0.09918
2	27/out/09	0,48831	0,08513
3	30/out/09	0,54917	0.04893
4	12/nov/09	0,48304	0,05680
5	13/nov/09	0,50618	0,06753
6	16/nov/09	0,50319	0,10472
7	17/nov/09	0,54890	0,07425
8	20/nov/09	0,49982	0,04243
9	24/nov/09	0,51902	0,03749
10	27/nov/09	0,48591	0,06923
11	01/dez/09	0,53182	0,04785
12	02/dez/09	0,50158	0,05367
13	07/dez/09	0,51686	0,04946
14	09/dez/09	0,49782	0,06438
15	10/dez/09	0,52053	0,06687
16	15/dez/09	0,49866	0,06396
17	18/dez/09	0,51004	0,05375
	Médias =	0,50871	0,02022

**Figura 3.2** – Curva da eficiência média ($\bar{\eta}$) do aquecedor medida através dos 17 ensaios realizados.

5. Considerações finais

A construção e utilização de um aquecedor solar de baixo custo permitem a exploração qualitativa e quantitativa de vários conceitos da Física Básica e Moderna. Esses conceitos podem ser discutidos pelo professor com estudantes dos cursos de Física e Engenharias, em particular os cursos de Engenharia Ambiental, Civil, Elétrica, Mecânica e de Computação. Além disso, as aplicações práticas desses conceitos permitem que o estudante compreenda a importância dos estudos teóricos para a otimização de técnicas experimentais e serve como ferramenta para que o professor possa discutir não apenas os aspectos técnicos envolvidos, mas também trabalhar seu papel de formador de cidadãos [13], explorando e discutindo as diversas fontes alternativas de energias, impactos ambientais, além de mencionar e incentivar que o consumo de energia elétrica pode ser reduzido em até cerca de 40% numa residência de pessoas com baixo poder aquisitivo, por meio do uso de aquecedores solares.

Foi desenvolvida e construída uma bancada com um aquecedor solar empregando coletores solares de baixo custo, utilizando perfil extrudado de PVC. O principal objetivo da pesquisa foi, além de obter água aquecida num reservatório, fazer uma análise quantitativa do desempenho, da eficiência térmica dos coletores solares e sua caracterização por intermédio dos parâmetros energéticos propostos por Duffie e Beckman [9]. Para obter essas metas foram realizadas medidas termométricas empregando sensores de temperaturas. Esses sensores foram colocados em pontos estratégicos por onde flui a água através do equipamento. Para complementar a medida da eficiência térmica, utilizou-se os valores da irradiação solar incidente nos coletores a

partir das informações contidas no Piranômetro.

Este artigo discute o procedimento da medida da eficiência térmica instantânea para um único ensaio realizado em 17/nov/09, que indicou um valor médio igual a 0,5489. Essa estimativa está abaixo do valor medido pelo aquecedor solar similar ao aqui construído e que foi desenvolvido em polipropileno, proposto e testado por Mveh, que obteve eficiência de 0,6020 [12].

Foi realizada uma estimativa das eficiências térmicas para 17 ensaios conduzidos entre os meses de outubro a dezembro de 2009. Esses ensaios demonstraram que o comportamento dos coletores solares possui o valor médio de $0,51\text{W/m}^2\text{K}$ para $F_r(\tau\alpha)$. Esse valor está em concordância com aquele apresentado no trabalho de Niemeyer [3], que realizou um estudo pormenorizado de um aquecedor solar com coletor solar inflável e obteve um valor para $F_r(\tau\alpha)$ igual a $0,55\text{W/m}^2\text{K}$. Similarmente, o resultado concorda com o trabalho de caracterização realizado por Seewald [14], que obteve o valor igual a $0,58\text{W/m}^2\text{K}$ para um aquecedor solar com coletor solar de mesmo material que esta pesquisa empregou. Isto significa que os coletores solares desenvolvidos em PVC extrudado absorvem o calor radiante de maneira semelhante a outros coletores poliméricos, porém estima-se que há mais perdas para o ambiente devido à composição do material com que é fabricado.

Um aquecedor solar de baixo custo é considerado um sistema térmico de baixo investimento inicial, quando comparado a um aquecedor solar tradicional do mercado, que possui um custo final da ordem de 6 a 7 vezes maior e possibilita ter um rendimento entre 65% a 70%. Em que pese essa diferença na eficiência entre esses dois tipos

de aquecedores, em alguns casos, pode haver uma redução relativa à eficiência térmica inferida ou, ainda, na vida útil do equipamento de baixo custo [15].

Com essa pesquisa, foi possível verificar que a bancada onde foi construído o aquecedor solar teve um desempenho satisfatório e, mesmo não tendo seguido os padrões encontrados nos demais trabalhos publicados nessa mesma linha de pesquisa, possibilitou a realização de ensaios de boa qualidade, mostrando um excelente desempenho dos componentes eletrônicos utilizados e do programa de aquisição de dados especialmente desenvolvido para essa finalidade. Apesar da dificuldade de realizar tal estudo devido às exigências que ele impõe: condições reais de operação de um aquecedor solar, condições ambientais favoráveis e uma faixa determinada de irradiação solar, pode-se admitir que os objetivos propostos foram alcançados.

Um item importante dessa pesquisa é que a mesma abre espaço para três linhas de atuação que podem ser realizadas futuramente. Primeiramente, realizar um estudo mais aprofundado da influência da vazão da água na eficiência térmica do coletor solar de baixo custo, em segundo, analisar se existe alguma relação do valor da constante de tempo do coletor com sua sensibilidade devido à vazão da água com a qual opera. Adicionalmente, seria de interesse desenvolver e testar coberturas de baixo custo para esse tipo de aquecedor solar visando sua proteção e maior durabilidade.

Agradecimentos

LPM e TBC agradecem ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica modalidade PIBIC (Protocolos: Nº 109797/2008-6 e Nº 104762/2010-1). Agradecemos a técnica Juliana Machado pelo constante apoio na parte do desenvolvimento da eletrônica dos

sensores de medidas e ao funcionário José Renato Reis Maia pelo auxílio técnico junto à maquetaria do CEATEC - PUC-Campinas.

Referências Bibliográficas

- [1] PROCEL. “Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005”. PROCEL-ELETOBRAS, Disponível em: <<http://www.eletobras.gov.br>> Acesso em: 16 fev. 2010.
- [2] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 06 mai. 2010.
- [3] NIEMEYER, R. C. “Construção de um coletor solar inflável”. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Mecânica, UNB, Brasília, DF, 2006.
- [4] PEREIRA, R. C.; SHIOTA, R. T.; MELLO, S. F.; ASSIS JR., V.; BARTOLI, J. R. “Eficiência térmica de coletores solares de baixo custo – CSBC. 17”. CBECIMat, Anais... Foz do Iguaçu, PR, 2006.
- [5] NETTO, C. Q. “Análise de um pequeno sistema de aquecimento solar instalado no interior do Estado de Minas Gerais”. (Monografia) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.
- [6] DALLAS INSTRUMENTS. Semiconductor - DS1820 digital thermometer. Disponível em: <www.spezial.com/doc/maxim/ds18s20.pdf> Acesso em: 14/05/2009.
- [7] SOUZA, D. J., “Desbravando o PIC ampliado e atualizado para PIC 16F628A”. 12^a. ed., São Paulo: Ed. Érica, 2009.
- [8] KIPP & ZONEN INSTRUMENTS. Pyranometers – CMP22 solar irradiance. Disponível em:

- <www.campbellsci.com.br> Acesso em: 24/06/2008.
- [9] DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. “Solar engineering of thermal processes”. 2ª ed., Wisconsin: John Wiley & Sons, 1991.
- [10] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). “ASHRAE Handbook: heating, ventilating and air-conditioning systems and equipment”. Atlanta, USA, Cap. 33, 1996.
- [11] COSTA, E. R. “Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água”. (Dissertação de Mestrado) PROMEC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- [12] MVEH, J. de D. B. M. “Análise teórica e experimental da eficiência térmica de coletores solares sem cobertura e de baixo custo”. (Dissertação de Mestrado), PROMEC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- [13] ARAÚJO, M. S.; ABIB, M. L. S. “Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades”. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.25, n.2, p.176-194, 2003.
- [14] SEEWALD, A. “Caracterização de coletores solares de baixo custo”. (Monografia) Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- [15] SPRENGER, R. L. “Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios

residenciais isolados termicamente: Concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes”. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

Abstract

This proposal describes the construction of a flat solar energy collector using low cost material and of easily access able people. The research goal is to line up physics teaching and the knowledge in the construction and functioning of a solar water heater system. Work was carried out in practice with the concepts of temperature, amount of heat by solar radiation and thermal efficiency. Aiming to obtain the instantaneous efficiency, we have developed an automatic temperature measuring system using sensors intermediated by a controlling board and interfaced with a microprocessor. From the incoming solar radiation, the area and the instantaneous efficiency of collectors, an analysis was made of the response curves of solar collectors in several trials, and therefore obtains a measurement of the average efficiency of equipment. The article was written in a simplified and didactic way in order to make its content accessible to teachers, students and undergraduate students.

Keywords: solar water heating, efficiency measured, low cost solar water heater, closed-loop solar heaters.

Processo de tratamento de água com fins de reúso nos tanques de resfriamento de carcaça de frango.

Heloise Cristine Schatzmann¹, Jamur Gerloff²

¹Engenheira de Projetos, Mestrado em Eng. Quím., UFSC, Brasil
e-mail: heloise.schatzmann@gmail.com

²Engenheiro de Projetos, Mestrado em Eng. Quím., Florianópolis, SC, Brasil.
e-mail: jamurg@pop.com.br

Resumo

Com o objetivo de comprovar a viabilidade técnica e científica de um modelo de reutilização de água em um circuito fechado do processo de resfriamento de carcaça de frangos, tradicionalmente denominados de Chillers, em frigoríficos e abatedouros de aves doméstica da indústria de alimentos, onde se desenvolveu o referido estudo. A viabilização técnica foi efetuada com base nos parâmetros de controle da água similares ao do consumo humano de forma a demonstrar a viabilidade do emprego de sistemas de tratamento de água de baixo custo e pequena complexidade a ser empregado para indústria alimentar. O conceito do processo proposto permite o reuso integral da água utilizada nos tradicionais chillers, permitindo a redução de custos com a captação e tratamento de efluentes e o consumo de energia elétrica com o sistema de refrigeração industrial, enfim o trabalho colabora para preservação das águas servidas.

Palavras-chave: *Ultravioleta germicida, reutilização de água, água de refrigeração de carcaça de frango, Chiller de frango.*

1. Introdução

Os projetos e sistemas de tratamento de Efluentes com objetivo de reúso é prática muito presente na atualidade com extensas investigações na Europa e em regiões onde a água potável tem sido uma limitação à presença da vida.

O trabalho de tratar a água de forma a possibilitar seu reúso direto no resfriamento de carcaças deverá estar em pleno acordo do HACCP de forma a se introduzir seus pontos críticos de controle como parte do processo. (CASANI, KNOCHEL 2002; CASANI et al, 2005; HUERTASA et al, 2008). Inclusive já

existem diversas citações de parâmetros específicos para águas de reúso (SALGOTA, 2006)

Processos com emprego de flotor e adição de químicos com posteriores tratamentos biológicos com separação com biomembranas também acusou possibilidade reúso da água em indústria de alimentos conforme GALIL 2007.

O presente trabalho pretende os mesmos objetivos de adequação da água tratada ao processo industrial dentro dos quesitos de HACCP que CASINI elaborou (CASINI, 2006, KIRBY et al, 2003). Existem outros trabalhos que comprovam a viabilidade

através de teste de jarros comprovando, o alimentos. (YI et al, 2001).
total reúso da água tratada na indústria de

Tabela I – Comparação dos Métodos de tratamento de água e suas referências bibliográficas

Tipo de água no processo	Método de tratamento de água	Referência
Água de lavagem de carcaças	Peneiramento, filtração com terra diatomácea, ozonização	CHANG & SHELDON (1989a)
	Estimulação Elétrica	LI et al (1994)
	Radiação UV	SHELDON & CARAWAN (1988)
	Floculação e coagulação	MORGAN et al (1988)
Pré chiller de carcaça e chiller de pescoço	Peneiramento, filtração com terra diatomácea, ozonização	CHANG & SHELDON (1989b)
Escaldagem e chiller	Micro filtração	HART et al (1988)
Chiller	a) Filtração com terra diatomácea, cloração	LILLARD (1980)
	b) dióxido de cloro	LILLARD (1978a)
	c) Peróxido de Hidrogênio	LILLARD & THOMSON (1983)
	d) Filtração, ozonização	SHELDON & BROWN (1986)
	e) Ozonização	WALDROUP et al (1993)
	f) Eletro flotação	TSAI, HERNLEM & HUXSOLL (2002)
	g) processo separação do óleo-água e filtração por membrana pela ultra-filtração (UF).	MATSUMURA & MIERZWA (2008)
	h) filtração em membrana que pode produzir água reciclada. Total de C orgânico pode ser reduzida abaixo de 100 mg/L, e as bactérias não podem atravessar a membrana de poros.	(MITTAL, 2006)

Processos de Flotação estão reconhecidos nos processos de tratamento da água nos abatedouros de frango. (NARDI et al, 2008) O emprego de UV para redução da carga microbiana já é uma tecnologia consagrada por diversos autores em processos de reúso da água. (LIU e HAN, 2004; MAVROV e BELIERES, 2000).

Os convencionais métodos relatados na literatura para recondicionar o efluente dos frigoríficos das aves podem ser divididos em três categorias; a) elétrico e ótico: destruição das bactérias pela estimulação elétrica (LI et al, 1994) ou UV irradiado (SHELDON & CARAWAN, 1988), b) produto químico e bioquímico: destruição das bactérias pela ozonização, separação química de material orgânico pela coagulação e floculação, degradação biológica da matéria orgânica usando um filtro anaeróbico ou arranjando em seqüência o reator do grupo (Morgan, Juang, & Cantado, 1988); e c) Física: flotação por ar dissolvida, filtragem com terra diatomácea (DE) (CARAWAN, & SHELDON, 1988) e micro filtração (CERVO et al, 1988) . A tabela I apresenta

um resumo das diversas pesquisas de processos alternativos de tratamento de água com fins de reúso.

Nos frigoríficos brasileiros, observamos conforme figura II, um consumo obrigatório de água nos tanques de pré-resfriamento de carcaça de frangos (chillers de carcaças), conforme a Portaria nº. 210/98, o emprego de água numa taxa de consumo em relação ao número de carcaças introduzidas no Chiller e ainda o controle de cloro. (KIST et al, 2009).

Um abatedouro consome em média de 25 litros de água por frango sendo que encontramos na literatura valores de 18,9 a 37,8 litros por frango. (NORTHCUTT & JONES, 2004; KIEPPER, 2003). De acordo com o Environmental Technology Best Practice Programme (2000), o consumo específico da água pode estar entre 8 e 15 litros/frango e o efluente produzido tem uma concentração elevada do BOD, DQO e dos TSS. O volume do efluente varia com produção na escala de 36,33-270,27 litro por o ave processado (USEPA, 2002a).



Figura I – Foto do Chiller de carcaças de frango.

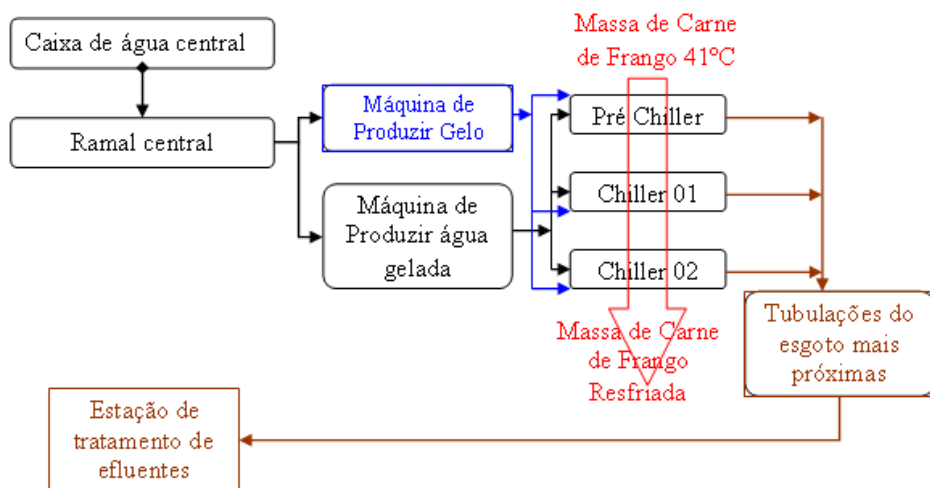


Figura II - Fluxograma do processo e modelo de tratamento atualmente em operação na indústria.

Uma vez que a evisceração está completa, as carcaças são deixadas cair dos ganchos transportando em um tanque aberto enchido com água na temperatura de 1°C. As carcaças são desacopladas mecanicamente do trilho e deixadas cair no pré-chiller, onde permanecem por em média 30 de minutos. Neste estágio, a temperatura de água máxima é de 16 °C e a temperatura da água fria alimentada de < 4°C. A taxa de renovação da água é >1.5 litros por a carcaça com cloração da água ocorre em 0.4-5 ppm. No chiller as carcaças permanecem no mínimo 40 minutos. Neste estágio, a temperatura de água está < 4°C e a temperatura da água alimentada < 4°C. A taxa de renovação da água é >1.0 litros por carcaça, com cloração da água ocorre em 0.4 - 5 ppm. A temperatura da carcaça no pré - chiller é em média de 7 °C e a água absorvida é em média 8% do peso da carcaça. Os problemas ambientais principais encontrados são: desprendimento de material particulado; desperdícios de água. (KIST et al, 2009)

No entanto, observamos que este consumo de água corresponde de 15% (AMORIM et al, 2007) a 27% do total da água consumida por dia por um frigorífico. Por exemplo, um abate com 62.000 aves/dia poderá consumir 300 m³/dia onde todo

complexo consome 1200 m³/dia o que corresponde a 25% da água consumida em todo complexo. Assim, podemos manifestar que existem dois atrativos ambientais e econômicos com a redução do consumo de água de Chiller:

a) Redução direta da água potável captada e da água de efluente formado no processo produtivo;

b) Redução do consumo energético para resfriamento da água captada, uma vez que a água condicionada no processo de potabilização irá ser reintroduzida com temperaturas mais inferiores que a água captada.

A água descartada do chiller é lançada para as tubulações de esgoto locais e por sua vez segue ao sistema de tratamento de Efluentes. A taxa de descarte de água do pré-chiller e do chiller seguem as normativas do Serviço de Inspeção Federal, que apresenta as seguintes determinações, respectivamente: 1,5 litros por frango; + 1,0 litro por frango.

O processo de recuperação da água descartada (conforme figura III) segue conceitualmente o processo de remoção de material particulado, remoção de material dissolvido e remoção de material microbiológico por efeitos físicos de germicidas.

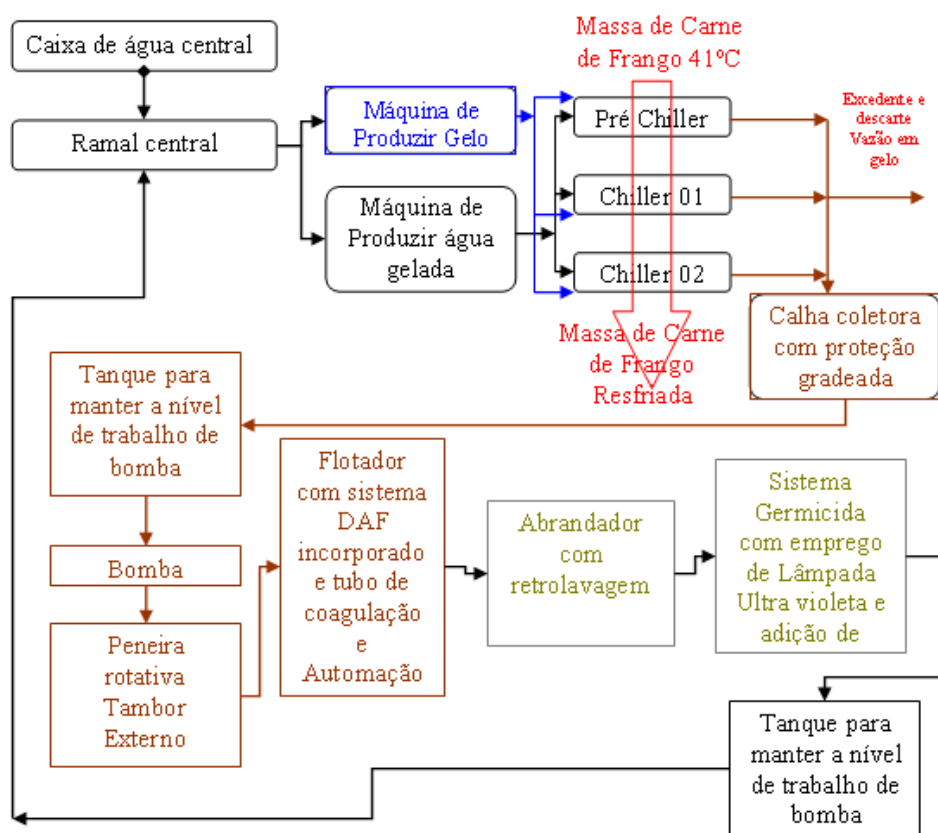


Figura III - Fluxograma do processo proposto e modelo de tratamento proposto pelo estudo

Remoção de material particulado: com objetivo de capturar partículas de carne e outras frações das carcaças de frango resfriadas no chiller. Remoção de sólidos suspensos: Utilização de flotador com sistema de ar dissolvido e automação. Sistemas germicidas: Emprego ao final do

tratamento com lâmpadas ultravioletas para eliminar apenas formas ativas de microorganismos. A introdução de um equipamento de dosagem de cloro é para o efeito germicida residual e para manutenção dos padrões de cloração determinados pelo RIISPOA.

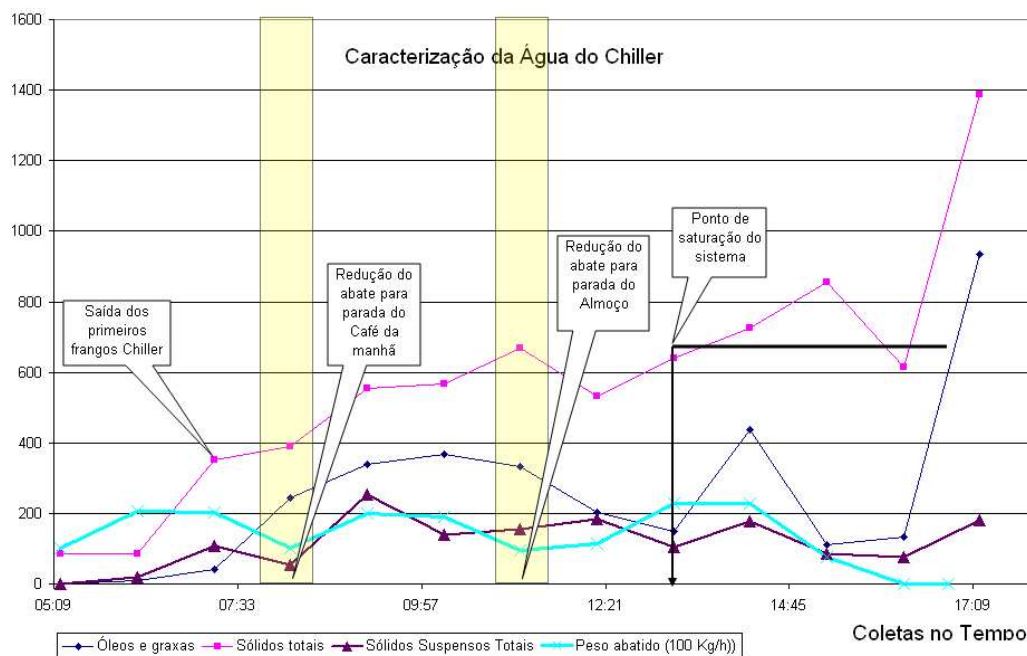


Figura IV - Gráfico com caracterização e processo industrial dos chiller na data da coleta para o estudo curva de caracterização da água descartada do chiller

Na figura IV, podemos observar a caracterização da água descartada do chiller de carcaça de frangos, de forma a caracterizar o horário do processo produtivo onde ocorre a maior concentração de sólidos e material desprendido em virtude do lançamento das carcaças de frango lançadas em meio líquido. Na presente figura IV, podemos observar os seguintes pontos:

a) O processo opera com fluxos intermitentes em 3 patamares de trabalho os quais produzem paralelamente com um retardo nos valores de Óleos e graxas, Sólidos Totais e Sólidos suspensos totais em relação à massa de frango introduzida no chiller 02.

b) Pode-se afirmar que a relação da taxa de massa de frango imersa no chiller 02 e a elevação dos valores de Óleos e graxas, Sólidos Totais e Sólidos suspensos totais são perfeitamente relacionáveis.

2. Material e Métodos

As técnicas de coleta, preservação e análises das águas seguem a metodologia do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (APHA-AWWA-WPCF) edição n. 20. As análises seguiram os seguintes itens da norma conforme a tabela:

Tabela II: Metodologias laboratorias empregadas para as análises requisitadas pelo RISPOA artigo 62.

Análises	Referencia número conforme APHA	Unidades
pH	4500-H electrometric method, página 4-65	
turbidez	2130-B nephelometric method (página 2-9)	UT
Sólidos suspensos totais	2540-D total suspended solids dried at 103-105oC página 2-56	mg / l
Óleos e graxas	5520-B partition-gravimetric method , página 5-31	mg/litro
Sólidos totais	2540 Solids, página 2-54	ppm
Nitrogênio amoniacal	4500 NH3 F	g / litro
Nitrogênio nítrico	4500 NH2 B Espectrofotometria de luz visível,	g / litro
Grau de dureza	2340 C SOP 111	
Chumbo	3111 B	ppm
cobre	3111-B	ppm
Zinco,	3111-B	ppm
Cloro livre	4500-CI DPD Colorimetric Method, página 4-63	ppm
Cloro residual	4500-CI DPD Colorimetric Method, página 4-63	ppm
Arsênico	3114 B	ppm
Fluoretos	3114 C	ppm
Selênio	3111 B	ppm
Magnésio	3111 B	ppm
Sulfatos	4500-SO ₄ . C	g / litro
Componentes fenólicos	5530. D	ppm
Contagem global	9215 heterotróficas Plate Count, Pág. 9-34 (Contagem Microorganismo Mesófilos Heterotróficas)	
Teste presuntivo para pesquisa de coliformes	9221-A multiple - tube fermentation technique for members of the coliform group, Pág. 9-47,	

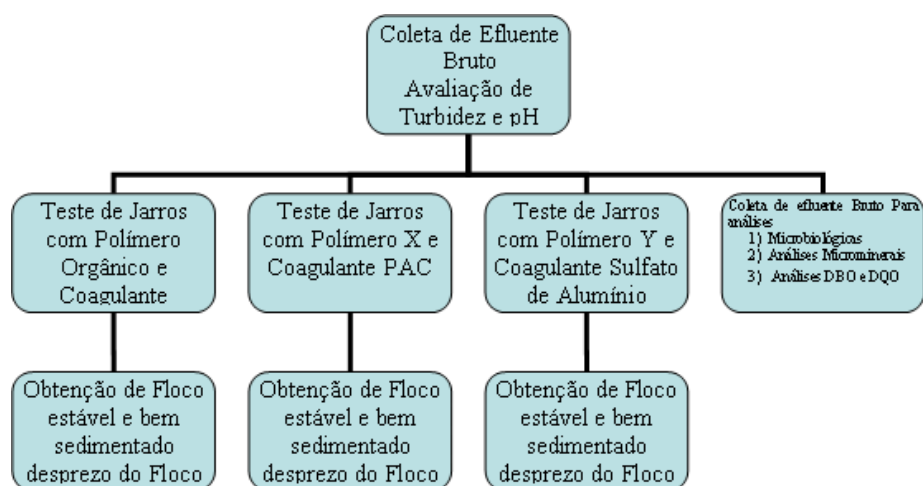


Figura V – Fluxograma do procedimento laboratorial do teste de jarros praticado.

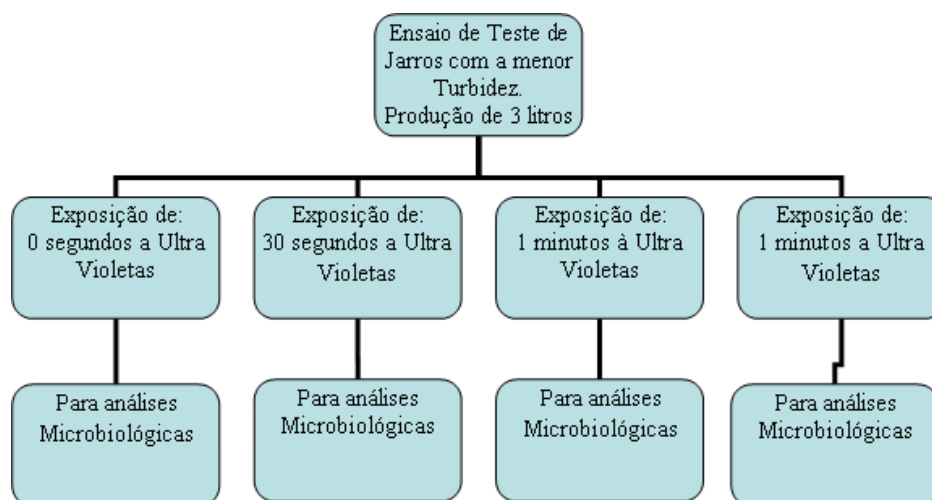


Figura VI – Fluxograma do procedimento laboratorial para exposição do clarificado do teste de jarros a lâmpada Ultravioleta.

Procedimentos para Execução dos Ensaios de Coagulação-Floculação : os ensaios de coagulação-floculação foram realizados em teste de jarros (Jar Test). A operação de obtenção da dosagem ideal de polímero e coagulantes segue procedimentos similares ao SARKAR, onde se tenta observar o pH na adição dos coagulantes e a

menor turbidez no clarificado obtido. (SARKAR et al, 2006). Com o clarificado com a menor turbidez se realizou 3 exposições contínuas para a lâmpada Ultravioleta, pelos períodos de: 30 segundos, 1 minuto e 3 minutos.

Tabela III: Avaliação de desempenho de resultados analíticos do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02.

Itens avaliados para desempenho do Teste de Jarros	Efluente Bruto	Teste de Jarros 01	Eficiência de redução	Teste de Jarros 02	Eficiência de redução	Unidades
pH	6,72	9,32	---	6,45	---	-----
Óleos e graxas	146	inferior a 1.0	99,94%	80	45,21%	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	170	9	94,71%	36	78,82%	mg/L
Turbidez	108,47	23,57	78,27%	81,51	24,85%	NTU

3. Resultados e Discussão

Avaliação das análises efluente clarificado obtido durante o teste de Jarros. Conforme tabela III, seguem os dados obtidos do líquido clarificado no teste de jarros do efluente coletado no chiller no horário de saturação do processo do chiller, conforme caracterização da água descartada do chiller. Na tabela III, pode se observar o seguinte: apesar do teste de jarros 02 apresentarem em

seu programa químico coagulante orgânico, apresenta uma eficiência muito inferior ao teste de jarros 01. Podemos observar que estas eficiências estão de acordo com os valores de 70 a 97% para SST e 89 a 98% de óleos e graxas manifestados pela literatura (JOHNS, 1995) para em especial os resultados do teste de jarros 01. Com emprego de flotores se observa resultados similares de remoção de 74% de SS e 99% de óleos e graxas (NARDI et al, 2008).

Tabela IV: Avaliação de resultados analíticos do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02. PARTE A.

ITEN art 62	Itens avaliados conforme Art 62 do RIISPOA	Efluente Bruto	Unidades	Desvio em relação ao RIISPOA	Teste de Jarros 01	Unidades	Restrição do RIISPOA	Desvio em relação ao RIISPOA do teste de Jarros	Situação
d	Sólidos totais	1.911,0	mg/L ou ppm	282,20%	563,00	mg/L ou ppm	< 500 ppm	12,60%	Não atende RIISPOA estão 12,6% acima
m	Cloro Livre	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	-99,00%	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	< 1 ppm	-99,00%	Atende RIISPOA
m	Cloro residual	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	-80,00%	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	> 0,05 ppm	-80,00%	Não atende RIISPOA estão 80% abaixo
m	Cloro residual Livre	inferior a 0.01	mg/L	não descrito no RIISPOA	inferior a 0.01	mg/L	não descrito no RIISPOA	não descrito no RIISPOA	não descrito no RIISPOA
e	Nitrogênio Amoniacal	1,1	mg/L	-78,00%	1,6	mg/L	< 0,005 g/l	-68,00%	Atende RIISPOA está 68% abaixo
		0,0011	g / litro	-78,00%	0,0016	g / litro		-68,00%	
f	Nitrogênio Nitrito	inferior a 0.01	mg/L	-99,50%	inferior a 0.01	mg/L	< 0,002 g/l nitrogênio nítrico	-99,50%	Atende RIISPOA
		0,00001	g / litro	-99,50%	0,00001	g / litro		-99,50%	
h	Matéria Orgânica	44,39	mg/L	2119,50%	1,32	mg/L	< 0,002 g/l matéria orgânica,	-34,00%	Atende RIISPOA está 34% abaixo
		0,04439	g / litro	2119,50 %	0,0013 2	g / litro		-34,00%	

Na tabela IV pode-se observar o seguinte: o item 'm' será atingido, uma vez que com a reintrodução da água após o sistema de tratamento físico químico e degerminação se efetuará dosagem de cloro dentro dos parâmetros exigidos pelo art. 62.

O programa físico químico não interferiu na presença do Cloro residual livre e, portanto este foi previamente reduzido dentro do chiller no seu emprego inicial.

Tabela V: Avaliação de resultados analíticos do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02. PARTE B.

ITEN art 62	Itens avaliados conforme Art 62 do RIISPOA	Efluente Bruto	Unidades	Desvio em relação ao RIISPOA	Teste de Jarros 01	Unidades	Restrição do RIISPOA	Desvio em relação ao RIISPOA do teste de Jarros	Situação	Redução em relação ao efluente Bruto
i	Dureza total (grau de dureza)	20	mg/L	0,00%	28	mg/L	< 20 grau de dureza	40,00%	Não atende RIISPOA estão 40% acima	-40,00%
j	Chumbo	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	-90,00%	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	< 0,1 ppm		Atende RIISPOA	
k	Cobre	inferior a 0.10	mg/L ou ppm	-96,67%	inferior a 0.10	mg/L ou ppm	< 3 ppm		Atende RIISPOA	
l	Zinco	inferior a 0.50	mg/L ou ppm	-96,67%	inferior a 0.50	mg/L ou ppm	< 15 ppm		Atende RIISPOA	
n	Arsênio	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	-80,00%	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	< 0,05 ppm		Atende RIISPOA	
o	Fluoretos	inferior a 0.10	mg/L ou ppm	-90,00%	inferior a 0.10	mg/L ou ppm	< 1 ppm		Atende RIISPOA	
p	Selênio	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	-80,00%	inferior a 0.01	mg/L ou ppm	< 0,05 ppm		Atende RIISPOA	
q	Magnésio	1,92	mg/L ou ppm	6300,00%	4,00	mg/L ou ppm	< 0,03 ppm	13.233 %	Não atende RIISPOA está 132,3 vezes acima	-108,33%
r	Sulfatos	5	mg/L ou ppm	-50,00%	12,5	mg/L ou ppm	< 0,010 g/l	25,00%	Não atende RIISPOA estão 25% acima	-150,00%
		0,005	g / litro	-50,00%	0,0125	g / litro		25,00%		
s	Fenóis	inferior a 0.001	mg/L ou ppm	-10,00%	inferior a 0.001	mg/L ou ppm	< 0,001 ppm	-10,00%	Atende RIISPOA	

Na tabela V, pode-se observar o seguinte:

a) o item 'i' será atingido se houver emprego de um equipamento denominado corriqueiramente como abrandador no processo, uma vez que o programa químico empregado incorporou em 40% em referência aos valores de controle do Art. 62 do RIISPOA e ainda podemos observar que

o efluente bruto já apresenta uma dureza residual bastante elevada característica da água de captação utilizada por toda planta.

b) o item q também se encontra com valores elevados no efluente bruto típico da água de captação. O programa químico do teste de jarros dobrou sua presença na água alimentada. Podem-se oportunizar duas

linhas de trabalho para solucionar a redução presencial deste componente químico:

- 1) Utilizar coagulantes isenta de magnésio
- 2) Emprego de abrandador com resinas de alta especificidade para o Magnésio.
- 3) o item 'r' apenas está divergente no teste de jarros 01, o que não acontece no teste de jarros 02 e está implícito ao programa

químico porque, o coagulante empregado apresenta grupos sulfatos que residualmente foram desprendidos no clarificado. Tanto que observamos um incremento de 1,5 vezes em referência ao efluente bruto.

Efetivamente, para a implantação operacional será necessário reduzir 24% da dosagem do coagulante de forma a não se ultrapassar os valores de controle do RIISPOA, art. 62.

Tabela VI: Avaliação de resultados Amostra 4 e 5 (água bruta e clarificado do teste de jarros sem exposição a UV) microbiológicos do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02.

ITEN art 62	PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRA 4	Unidades	Restrição do RIISPOA	Desvio em relação ao RIISPOA	Situação	AMOSTRA 5	Desvio em relação ao RIISPOA	Situação
	Teste de Jarros	Não					Sim PAC		
	Exposição ultravioleta.	Não ocorreu exposição					Não ocorreu exposição		
a	M-09 Cont. Padrão Microrganismos Mesófilos aeróbios estritos e facult. viáveis 37C	10.000	UFC/100ml	< 500 UFC/ml	1900%	Não atende RIISPOA está 19 vezes acima	20	-96,00%	Atende RIISPOA
		100	UFC/ml				0,2		
b	M-17 Contagem de Coliformes Termotolerantes	30.000	NMP/100ml	< 14 NMP/ml	214186%	Não atende RIISPOA está 2141,86 vezes acima	110	686%	Não atende RIISPOA está 6.86 vezes acima
		10 - 10 - 10	tubos posit. série de 10 e 1 e 0,1 ml da amostra;				10 - 5 - 4		

Na tabela VI, pode-se observar o seguinte: a água clarificada oriunda do teste de jarros apresentou valores adequados para o item a, no entanto não satisfaz o item b e,

portanto, apenas o tratamento físico químico não é suficiente para atender os parâmetros microbiológicos.

Tabela VII: Avaliação de resultados Amostra 4 e 6 (água bruta e clarificado do teste de jarros com exposição a UV 30 segundos) análises microbiológicas do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02.

ITEN art 62	PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRA 4	Restrição do RIISPOA	AMOSTRA 6	Desvio em relação ao RIISPOA	Situação	Redução em relação ao efluente Bruto (AMOSTRA 4)	Unidades
	Teste de Jarros	Não		Sim PAC				
	Exposição ultravioleta.	Não ocorreu exposição		Exposição em 30 segundos				
a	M-09 Cont.Padrão Microrganismos Mesofilos aeróbios estritos e facult.viáveis 37C	10.000	< 500 UFC/ml	Ausente	-	Atende RIISPOA	100,00%	UFC/100ml
		100		0				UFC/ml
b	M-17 Contagem de Coliformes Termotolerantes	30.000	< 14 NMP/ml	40	186%	Não Atende RIISPOA	99,87%	NMP/100ml
		10 - 10 - 10		9 - 4 - 3				tubos posit. série de 10 e 1 e 0,1 ml da amostra;

Na tabela VII, pode-se observar o seguinte: a água clarificada oriunda do teste de jarros apresentou valores adequados para o item a, no entanto não satisfaz o item b e,

portanto, apenas o tratamento físico químico e a exposição por 30 segundos com a lâmpada Ultravioleta não é suficiente para atender os parâmetros microbiológicos.

Tabela VIII: Avaliação de resultados Amostra 4 e 7 (água bruta e clarificado do teste de jarros com exposição à UV 1 minuto) análises microbiológicas do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02.

ITEN art 62	PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRA 4	Restrição do RIISPOA	AMOSTRA 7	Desvio em relação ao RIISPOA	Situação	Redução em relação ao efluente Bruto (AMOSTRA 4)	Unidades
	Teste de Jarros	Não		Sim PAC				
	Exposição ultravioleta.	Não ocorreu exposição		Exposição em 1 minuto				
a	M-09 Cont. Padrao Microorganismos Mesofilos aeróbios estritos e facult.viáveis 37C	10.000	< 500 UFC/ml	50	-90,00%	Atende RIISPOA	99,50%	UFC/100ml
		100		0,5				UFC/ml
b	M-17 Contagem de Coliformes Termotolerantes	30.000	< 14 NMP/ml	170	1114%	Não atende RIISPOA está 11,14 vezes acima	99,43%	NMP/100ml
		10 - 10 - 10		10 - 7 - 4				tubos posit. série de 10 e 1 e 0,1 ml da amostra;

Tabela IX: Avaliação de resultados Amostra 4 e 8 (água bruta e clarificado do teste de jarros com exposição à UV por 1 minuto) análises microbiológicas do clarificado sobre o programa químico efetuado no teste de jarros 01 na água de chiller 02.

ITEN art 62	PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRA 4	Restrição do RIISPOA	AMOSTRA 8	Desvio em relação ao RIISPOA	Situação	Redução em relação ao efluente Bruto (AMOSTRA 4)	Unidades
	Teste de Jarros	Não		Sim PAC				
	Exposição ultravioleta.	Não ocorreu exposição		Exposição em 3 minutos				
a	M-09 Cont.Padrao Microorganismos Mesofilos aerobios estritos e facult. Viáveis 37C	10.000	< 500 UFC/ml	ausente	-100,00%	Atende RIISPOA	100,00%	UFC/100ml
		100		0				UFC/ml
b	M-17 Contagem de Coliformes Termotolerantes	30.000	< 14 NMP/ml	ausente	-100%	Atende RIISPOA	100,00%	NMP/100ml
		10 - 10 - 10		0 - 0 - 0				Tubos posit. Série de 10 e 1 e 0,1 ml da amostra;

Na tabela VIII, pode-se observar o seguinte: a água clarificada oriunda do teste de jarros apresentou valores adequados para o item a, no entanto não satisfaz o item b e, portanto, apenas o tratamento físico químico e a exposição por 1 minuto com a lâmpada Ultravioleta não é suficiente para atender os parâmetros microbiológicos.

Na tabela IX, pode-se observar o seguinte: a água clarificada oriunda do teste de jarros apresentou valores adequados para o item a e o item b e, portanto, apenas o tratamento físico químico e a exposição por 3 minutos com a lâmpada Ultravioleta é o suficiente para atender os parâmetros microbiológicos.

Com base nos consumos de produtos químicos e demais equipamentos necessários a operação se estima um valor de \$ 3,84/m³ para tratamento e reúso completo da água no processo proposto. Encontramos na literatura custos de reúso de água em indústria suco de frutas na faixa de 2,5 a 3,0 €/m³, com emprego de bioreator com membrana imersa (MBR), sistema UV e nano filtração (NORONHA et al, 2002). Pode-se ver que o custo de reusar da água é consideravelmente menor do que aquele do dessalização da água salobra (\$0.45-0.70/m³) e que do dessalização da água do mar pela destilação evaporação de multi estágio (\$1.00-1.50/m³) de acordo com o World Bank (HAMODA, 2004).

4. Conclusões

O teste de jarros 01, que emprega programa químico não orgânico, apresenta o programa químico mais adequado para estudo em questão, exigindo-se apenas a introdução de abrandadores no fluxograma de tratamento para redução de dureza e magnésio que estiveram divergentes ao sistema testado. Portanto, o processo de

recuperação completa da água descartada do chiller de carcaça de frangos é perfeitamente viável tecnicamente de acordo com a metodologia proposta, de forma a viabilizar as propriedades químicas e microbiológicas exigidas pela atual legislação e quesitos de fiscalização proposto pelo RIISPOA artigo 62 no qual o presente estudo foi testado.

Referências bibliográficas

- [1] AMORIM, A.K.B.; NARDI, I.R. de ; NERY, V. Del Water conservation and effluent minimization: Case study of a poultry slaughterhouse, Resources, Conservation and Recycling, v. 51, p. 93–100, 2007.
- [2] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Baltimore, Maryland: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1998.
- [3] CASANI, S. ; LETH, T. ; KNØCHEL, S. Water reuse in a shrimp processing line: Safety considerations using a HACCP approach A, Food Control, v. 17, p. 540–550, 2006.
- [2] CASANIA, S.; ROUHANYB, M.; KNØCHEL, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry, Water Research v. 39, p. 1134–1146, 2005.
- [5] CHANG, S. Y., & SHELDON, B. W. Application of ozone with physical wastewater treatments to recondition poultry process waters. Poultry Science, v. 68, p. 1078–1087, 1989.
- [6] CHANG, S. Y.; & SHELDON, B. W. Effect of chilling broiler carcasses with reconditioned poultry prechiller water. Poultry Science, v. 68, p. 656–662, 1989.

- [7] Codex Alimentarius, Codex Alimentarius Commission: Codex Committee on Food Hygiene. Discussion Paper on Proposed Draft Guidelines for the Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Thirty second Session. Washington, DC, USA, 1999.
- [8] Directive 98/83/EC, Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 relating to the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities, L 330, p. 32–54, 1998.
- [9] EPA (Environmental Protection Agency). Guidelines for Water Reuse; 2000. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.htm>>. Acesso em: 21 ago. 2009.
- [10] GALIL, N.I.; LEVINSKY, Y. Sustainable reclamation and reuse of industrial wastewater including membrane bioreactor technologies: case studies, *Desalination*, v. 202, p. 411–417, 2007.
- [11] HAMODA, M. F., Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries, *Desalination* v.165, p.31-41, 2004.
- [12] HART, M. R.; HUXSOLL, C. C.; TSAI, L. S.; NG, K. C.; KING, A. D.; JONES, C. C.; et al. Preliminary studies of microfiltration for food processing water reuse. *Journal of Food Protection*, v. 51, p. 269–276, 1988.
- [13] Hosang Yi, Jaehong Kim, Hoon Hyung, Sangho Lee, Chung-Hak Lee, Cleaner production option in a food (Kimchi) industry, *Journal of Cleaner Production*, v. 9, p. 35–41, 2001.
- [2] HUERTASA, E.; SALGOTA, M.; HOLLENDERB, J.; WEBERB, S.; DOTTB, W.; KHANC, S.; SCHÄFERD, D. A.; MESSALEME, R.; BISF, B.; AHARONIG, A.; CHIKURELG, H. Key objectives for water reuse concepts, *Desalination*, v. 218, páginas120–131, 2008.
- [14] JOHNS, M. R., Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review, *Bioresource Technology*, v. 54, p. 203–216, 1995.
- [15] KIEPPER, B. Characterization of poultry processing operations, wastewater generation and wastewater treatment using mail survey and nutrient discharge monitoring methods. 2003. M.S.Thesis, University of Georgia, Athens, GA.
- [16] KIRBY, R. M.; BARTRAM, J.; CARR, R. Water in food production and processing: quantity and quality concerns, *Food Control*, v. 14, p. 283–299, 2003.
- [17] KIST, L. T.; MOUTAQI, S. El.; MACHADO, Ê. L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, p. 1200–1205, 2009.
- [18] KIST, L. T.; MOUTAQI, S. El.; MACHADO, Ê. L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, p. 1200–1205, 2009.
- [19] LI, Y.; SLAVIK, M. F.; GRIFFIS, C. L.; WALKER, J. T.; KIM, J.W.; WOLFE, R. E. Destruction of Salmonella in poultry chiller water using electrical stimulation. *Transactions of the ASAE*, v. 37, p. 211–215, 1994.
- [20] LILLARD, H. S. Effect on broiler carcasses and water of treating chiller water with chlorine and chlorine

- dioxide. *Poultry Science*, v. 59, p. 1761–1766, 1980.
- [21] LILLARD, H. S.; THOMSON, J. E. Efficacy of hydrogen peroxide as a bactericide in poultry chiller water. *Journal of Food Science*, v. 48, p. 125–126, 1983.
- [22] LIU, F.; HAN, W. Reuse strategy of wastewater in prawn nursery by microbial remediation, *Aquaculture*, v. 230, p. 281–296, 2004.
- [23] MATSUMURA, E.M., MIERZWA, J.C. Water conservation and reuse in poultry processing plant—A case study, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, p. 835–842, 2008.
- [24] MAVROV, V. ; BEIHERES, E. Reduction of water consumption and wastewater quantities in the food industry by water recycling using membrane processes, *Desalination*, v. 131, p. 75-86, 2000.
- [25] METCALF; E. *Wastewater Engineering: treatment disposal and reuse*. MCGRAW Hill, New York, 1995.
- [26] MITTAL, G. S., Treatment of wastewater from abattoirs before land application—a review, *Bioresource Technology*, v. 97, p.1119–1135, 2006.
- [27] MORGAN, J. M.; JUANG, D.; SUNG, S. Anaerobic filter-sequencing batch reactor treatment of chicken processing wastewater. *Proceedings 1988 food processing waste conference*, Atlanta, GA, 1988.
- [28] NARDI, I.R. de; FUZI, T.P.; NERY, V. Del Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, p. 533–544, 2008.
- [29] NARDI, I.R. DE; FUZI, T.P.; DEL NERY V., Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, p. 533–544, 2008.
- [30] NORONHA, M.; BRITZ, T.; MAVROV, V.; JANKE H.D.; CHMIEL, H. Treatment of spent process water from a fruit juice company for purposes of reuse: hybrid process concept and on-site test operation of a pilot plant, 2001, *Desalination* v. 143, p.183-196, 2002.
- [31] NORTHCUTT, J. K.; JONES, D. R. A survey of water use and common industry practices in commercial broiler processing facilities. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 13, p. 48–54, 2004.
- [32] RIISPOA - Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 12 dez. 2007.
- [33] SALGOTA, M.; HUERTASA, E.; WEBERB, S.; DOTTB, W.; HOLLENDERB, J.; Wastewater reuse and risk: definition of key objectives, *Desalination*, v. 187, p. 29–40, 2006.
- [34] SANDRA, C.; KNØCHEL, S. Application of HACCP to water reuse in the food industry, *Food Control*, v.13, p. 315–327, 2002.
- [35] SARKAR, B.; CHAKRABARTI, P.P.; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. Wastewater treatment in dairy industries — possibility of reuse, *Desalination* v. 195, p. 141–152, 2006.
- [36] SHELDON, B. W.; CARAWAN, R. E. Reconditioning of broiler overflow prechiller water using a combination of diatomaceous earth pressure leaf filtration and UV irradiation. *Proceedings 1988 food processing waste conference*, Atlanta, GA, 1988.
- [37] SHELDON, F. R.; BROWN, A. L. Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chill water.

- Journal of Food Science, v. 5, p. 305–309, 1986.
- [38] US Environmental Protection Agency, Development Document for the Proposed Effluents Limitations Guidelines and Standards for the Meat and Poultry Products Industry Point Source Category: 40 CFR 432. OYce of Water, Washington, DC 20460, EPA/821/B-01/007, 2002a.
- [39] WALDROUP, A. L.; HIERHOLZER, R. E.; FORSYTHE, R. H. Recycling of poultry chill water using ozone. Journal of Applied Poultry Research, v. 2, p. 330–336, 1993.

Abstract

With the objective to prove the technical and scientific viability of a model of reuse of water in a shut circuit of the process of cooling of carcass of traditionally called chickens of Chillers in

refrigerators and slaughterhouses of bird maid of the industry of foods where the above-mentioned study was developed. The technical viability was effectuated on basis of the parameters of control of the water similar to that of the human consumption of form to demonstrate the viability of the job of systems of treatment of water of low cost and small complexity to be employed for food industry.

The concept of the proposed process allows the integral reuse of the water used in the traditional chillers allowing to reduction of costs with the captivation and treatment of effluent ones and the consumption of electric energy with systems of industrial refrigeration, finally the work collaborates for preservation of the served waters.

Keywords: *Ultraviolet germicidal, reuse of water, water for cooling the carcass of chicken, Chiller of the chicken.*

A minimização da Cloração no Reúso de Efluentes em Torres de Resfriamento

Andréa Azevedo Veiga¹, Juacyara Carbonelli Campos², Lídia Yokoyama²,
Luiz Alberto Cesar Teixeira³ e Vania Maria Junqueira Santiago¹

1 PDEDS / Biotecnologia e Tratamentos Ambientais – Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez de Mello – Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A.

e-mail: andreaveiga@petrobras.com.br

2 Depto. Processos Inorgânicos – Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

3 Depto. de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio e Solvay – Peróxidos do Brasil Ltda.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da manutenção de cloro residual livre, sobre o controle do crescimento microbiano e as taxas de corrosão associadas, quando na aplicação em águas de reúso em torres de resfriamento em escala piloto, em uma refinaria de petróleo. Soluções comerciais de NaOCl foram adicionadas às bacias de torres (BT), mantendo-se concentrações de cloro residual livre de zero (“sistema controle” – BT 03), 0,2 mg/L (BT 01) e 0,5 mg/L (BT 02). Medidas de perda de massa em cupons de aço carbono 1020 (AC), cobre e aço inox 316 (AI), à temperatura e velocidades de escoamento constantes (40°C e 1,56 m/s, respectivamente), revelaram taxas de corrosão, na presença de produtos inibidores de corrosão e dispersantes, entre 2 e 3 mpy ao AC, menores que 0,3 mpy ao cobre, e inexpressíveis ao AI para todas as BT's. O monitoramento da contagem de bactérias planctônicas (BHT) nas águas recirculantes das BT's 01 e 02 revelou que para ambas as concentrações mantidas para cloro residual livre, obteve-se valores abaixo do limite de 10⁴ UFC/mL, recomendado águas de reúso em torres. O monitoramento da contagem de bactérias sésseis sobre biocupons, após 31 dias de estudo e independentemente da concentração residual do biocida indicou taxas de crescimento semelhantes para o AC com aumento da espessura do biofilme formado; redução para o cobre e incremento para o AI.

Palavras chave: reúso, cloração, biofilme, corrosão, torres de resfriamento.

I. Introdução

Na indústria do petróleo, a necessidade de expansão e introdução de novos processos, o custo elevado da água, as limitações para obtenção de outorga e o aumento das exigências ambientais para a adequação da qualidade dos efluentes a serem descartados são fatores críticos e estimulantes para os investimentos crescentes em pesquisas, visando o reúso de águas. Paralelamente, o aprimoramento de processos unitários e de sistemas de tratamento e o reúso planejado das águas, com as mudanças na política de segregação

interna de correntes hídricas e utilização diferenciada das águas, já fazem parte de ações implementadas neste segmento industrial para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

Nas indústrias em geral, diversos são os processos industriais que utilizam a água como agente de resfriamento. Absorvendo calor de uma grande variedade de equipamentos e processos, as águas perdidas pela evaporação e perdas líquidas em torres de resfriamento representam cerca de 55% de todo o consumo de águas em uma refinaria (Santiago, 2009). Portanto, por serem as torres de resfriamento as principais

demandantes de águas neste contexto, os processos de tratamento de efluentes para fins de reúso têm como objetivo principal atingir os padrões de qualidade requeridos para este fim.

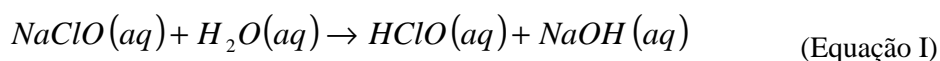
Atuando continuamente como um lavador atmosférico, a água de recirculação na torre estará constantemente sujeita à solubilização de gases, à captação de particulados e ao crescimento microbiano. Portanto, após ter sido enquadrada dentro das características necessárias, a água de reúso direcionada para as torres de resfriamento requer ainda um controle constante de sua qualidade, de forma a não favorecer processos de corrosão, formação de depósitos, incrustação e desenvolvimento microbiano, vistos como problemas econômico industriais de grande relevância com significativo potencial para estudos futuros (Zeta Corporation, 1999).

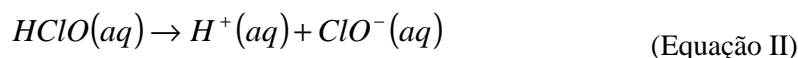
Além da adição de inibidores de corrosão e dispersantes de sais, a utilização de biocidas para o controle do crescimento biológico em águas de resfriamento é extremamente necessária. Nas condições de operação, a água na torre de resfriamento oferece condições ambientais ideais de temperatura, pH, luminosidade, substratos e nutrientes para o favorecimento do crescimento ilimitado de microorganismos. Segundo Peres (2006), a vida microbiana nestes processos pode afetar a eficiência de troca térmica e de operação, seja pela produção de metabólicos ou pela formação de depósitos, favorecendo o acúmulo de material biológico sobre superfícies (biofilme).

A estratégia de controle da prevenção e remoção de biofilme através da adição de

biocidas visa à eliminação e/ou inibição da reprodução de microorganismos em águas de resfriamento, visto que nestes sistemas, estudos associam a redução de cerca de 50% da capacidade de troca térmica a cada 1mm de biofilme formado sobre trocadores de calor (Rivera et al, 2008). Sendo os biocidas compostos químicos tóxicos, atuam de formas diversas, seja inibindo o crescimento e a atividade metabólica microbiana por oxidação da célula, seja por ação específica sobre determinado microorganismo, atuando como fungicida, algicida ou bactericida. Segundo Daniel et al (2000), dependendo do tipo e da composição química dos biocidas, estes atuam sobre os microorganismos, alterando a permeabilidade da parede celular, reagindo ou realizando alterações no protoplasma, interferindo na atividade enzimática das células ou ocasionando alteração do DNA.

Por apresentar elevada eficiência no controle microbiano e custo reduzido, o cloro (gás) e o hipoclorito de sódio (líquido) têm tido grande aplicação em águas de torres, principalmente em sistemas de resfriamento que utilizam grandes volumes de água, sendo comum a prática de manutenção de cloro residual livre entre 0,3 e 0,8 mg.L⁻¹ em águas de torres de resfriamento de forma a se manter nesta água a contagem de Bactérias Heterotróficas Totais (BHT) no limite máximo de 10⁴ UFC.mL⁻¹ (Nalco, 2009). O hipoclorito de sódio, quando adicionado à água, reage formando ácido hipocloroso (HOCl) que se dissocia em OCl⁻ (íon hipoclorito) e H⁺, conforme os mecanismos descritos pelas reações das Equações I e II (Metcalf & Eddy, 2007).





Entretanto, o cloro, seja na forma líquida ou gasosa, apresenta como inconveniente a geração de subprodutos capazes de reduzir a eficiência no controle do crescimento microbiano, podendo ser tóxicos aos corpos hídricos receptores das purgas oriundas das torres de resfriamento e potencialmente carcinogênicos (Daniel et al, 2000). Além disso, na utilização de cloro como agente biocida em águas de torres de resfriamento, a presença de contaminantes nitrogenados, a incidência de luz e a temperatura elevada da água recirculante tornam seu consumo bastante elevado e, por vezes, antieconômico (Dantas, 1988) podendo, em concentrações elevadas, acelerar processos corrosivos em

equipamentos e tubulações metálicas envolvidos no sistema.

Alguns autores classificam as taxas de corrosão para aço carbono em águas de resfriamento, atribuindo a este, limites máximos esperados (**Tabela I**), não havendo, entretanto, valores de consenso ou estipulados por normas (Dantas, 1988), principalmente às taxas envolvendo águas de reúso. Para cobre e aço inox, limites de 0,3 mpy e 0,1 mpy, respectivamente, têm sido praticados por empresas tratadoras de águas, quando na avaliação de águas recirculantes em torres de resfriamento (Nalco do Brasil, 2009 e Kurita do Brasil, 2009).

Tabela I – Classificação da corrosão em função do tempo de vida do material e em função da intensidade da taxa de corrosão (Dantas (1988), Machado *et al* (2005)).

Taxa de Corrosão em aço Carbono			Taxa de Corrosão em Cobre		
Taxa (mpy)	Previsão de Vida (anos)	Taxa (mpy)	Previsão de Vida (anos)	Previsão de Vida (anos)	Controle Corrosão
0 a 2	Acima de 70	Excelente	0 a 1	Acima de 65	Excelente
2 a 5	De 28 a 70	Bom	1 a 2	De 32 a 65	Bom
5 a 8	De 17 a 28	Fraco	2 a 3	De 21 a 32	Fraco
8 a 10	De 14 a 17	Pobre	3 a 4	De 16 a 21	Pobre
Acima de 10	Abaixo de 14	Intolerável	Acima de 4	Acima de 16	Intolerável

Fonte: Dantas (1988) e Machado *et al* (2005).

Como alternativa ao uso do cloro, pesquisas têm sido conduzidas para a aplicação de outros biocidas oxidantes em águas de resfriamento, tais como o peróxido de hidrogênio, ozônio, dióxido de cloro e ácido peracético, tendo alguns destes, inclusive, já aplicação industrial tanto no Brasil como no exterior. Embora previsões de empresas tratadoras de tais águas

sugiram que haverá um incremento do uso de cloro como biocida, quando na aplicação do reúso de águas em torres de resfriamento, é grande a deficiência de estudos publicados avaliando a concentração mínima necessária deste de forma a promover o controle do crescimento microbiano nestes sistemas.

Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar os efeitos da minimização do uso do cloro no controle do crescimento microbiano e nas respectivas taxas de corrosão associadas, quando este é empregado como biocida em torres de resfriamento de refinaria de petróleo utilizando águas de reúso.

2. Metodologia

Os estudos realizados para a avaliação dos efeitos da utilização do cloro no controle microbiano e nas taxas de corrosão envolvidas foram conduzidos em duas etapas.

Na primeira etapa (ensaios preliminares), não foram utilizados inibidores de corrosão, de depósitos ou de incrustações (dispersantes) nas águas dos sistemas de resfriamento em recirculação. Nesta etapa objetivou-se avaliar os efeitos da ausência e da presença de cloro residual livre (0,5 mg/L) sobre as taxas de corrosão aos metais nos sistemas. Na etapa subsequente, foram empregados produtos químicos inibidores, de acordo com o praticado em águas de torres de refrigeração. Nos ensaios preliminares, a avaliação das taxas de corrosão obtidas para a água de reúso em recirculação nas referidas condições e sem inibidores, teve como motivação principal a deficiência de estudos exploratórios semelhantes na literatura.

Para a realização dos experimentos deste estudo, 03 (três) sistemas de resfriamento foram construídos, em escala piloto, em área industrial de uma refinaria de petróleo. Com capacidade de 85L cada, tais sistemas operaram paralelamente durante 31 dias consecutivos de forma a simular as condições de trabalho de torres de resfriamento utilizando água de reúso como “make-up”, sendo um deles considerado

como “unidade controle”, onde não se adicionou biocida.

Cupons de prova de corrosão metálicos em três diferentes metalurgias (aço carbono – C1020, cobre – CDA110 e aço inox – 316), característicos de equipamentos de troca térmica encontrados em sistemas de resfriamento de refinarias, foram instalados em árvores de teste, sendo posteriormente efetuadas as respectivas medidas de perda de massa para os cálculos de taxas de corrosão, conforme orientações de APHA (2000).

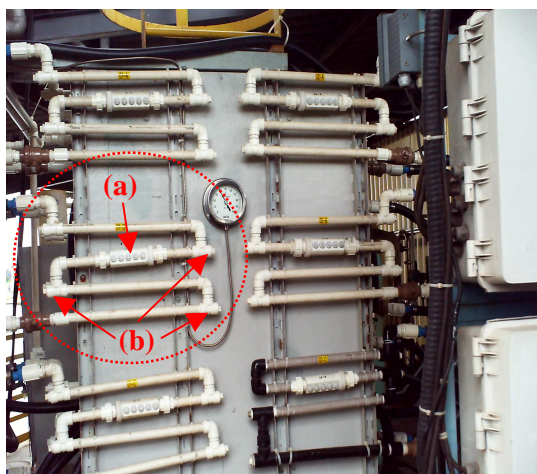


Figura I – Vista de árvores de teste construídas em dois dos sistemas instalados para a condução dos estudos, onde se encontram sinalizados, em uma das árvores, suportes para colocação de biocupons (a) e de cupons de corrosão (b).

Ao longo dos estudos, microorganismos planctônicos foram quantificados a partir da inoculação de amostras das águas em recirculação em Petrifilm – MERCK, conforme orientações do fabricante. Cupons de biocorrosão metálicos (biocupons) apresentando 10 mm de diâmetro, dos mesmos materiais metálicos usados para a confecção dos cupons de corrosão, foram

utilizados para a quantificação de bactérias sésseis. Para tal, após o período de exposição desejado, cada biocupom fora transferido de seu respectivo suporte para 9 mL de solução salina a 0,85% (p/v), sendo esta submetida a 3 pulsos de 1 minuto de duração cada, na frequência de 60 hertz. Após, 1 mL da solução assim obtida fora inoculada em Petrifilm – MERCK. A quantificação das colônias formadas no biofilme aderido aos biocupons fora expressa em UFC por cm² de área exposta de cada biocupom.

Os cálculos de taxas de corrosão basearam-se em normas descritas em APHA (2000). Cupons de teste para medições de taxas de corrosão e seus respectivos suportes foram confeccionados conforme especificações da Norma ASTM D2688-05.

Em cada um dos sistemas de resfriamento foram instaladas três árvores de testes compostas por um suporte para

colocação de até 5 biocupons e três suportes para colocação de cupons de perda de massa (cupons de corrosão) cada (**Figura I**).

Duas águas de reposição foram utilizadas nos estudos: água desmineralizada, para reposição contínua das perdas por evaporação, e água de alimentação dos circuitos (água sintetizada), para reposição das purgas diárias efetuadas.

A água de alimentação dos circuitos foi sintetizada a partir da adição de sais pré-definidos (**Tabela II**) à água desmineralizada e de forma a simular as características da futura água de reúso do efluente da refinaria, e em recirculação nas torres de resfriamento, para um ciclo de concentração mínimo e igual a 5. O efluente a que se deseja simular seria o obtido após o tratamento terciário por Eletrodiálise Reversa.

Tabela II - Parâmetros pré-definidos, nas suas respectivas concentrações, referentes à composição da água sintetizada.

Parâmetros	Unidade	Valor
Condutividade	µmhos/cm	2000
Cálcio	mg Ca ²⁺ /L	56
Magnésio	mg Mg ²⁺ /L	22
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	230
Cloretos	mg Cl/L	500
pH	-	7
COT (diesel)	mg/L	80
Alcalinidade M	mg/L	150

O tempo de residência hidráulico (TRH) para os sistemas de resfriamento deste trabalho fixado em 140 horas, simulando o TRH existente em um sistema de resfriamento de refinaria. A vazão de recirculação de água em cada sistema foi fixada em 1,6 m³/h e monitorada através de rotâmetros instalados em linha em cada sistema. Para o volume das bacias de torre

(BT) constante de 85 L e diâmetro de tubulação nas árvores de teste de ¾ “, manteve-se a velocidade de escoamento no interior das tubulações em 1,56 m/s, de forma a promover um Reynolds (Re) na faixa turbulenta, conforme recomendações da Norma ASTM D2688-05. Todos os experimentos foram conduzidos à

temperatura controlada, constante e igual a 40°C.

No momento das purgas diárias, calculadas em 14,6 L/d, cada bacia da torre recebeu como reposição o mesmo volume purgado em água sintetizada. Diesel de destilação foi diariamente adicionado aos sistemas, como fonte de carbono orgânico, num volume de 4 mL, de forma a simular contaminações orgânicas promovidas por eventuais vazamentos de óleos em trocadores de calor.

A concentração de oxigênio dissolvido nas águas circulantes dos sistemas manteve-se dentro da faixa de saturação (entre 6 a 7 mg/L). O pH da água dos sistemas fora

fixado em 7,0 uma vez que para as condições pré-definidas para a água sintetizada, a mesma apresentava-se dentro de equilíbrio de saturação, quando avaliada segundo o Índice de estabilidade de Langelier (LSI).

Como biocida, soluções comerciais de hipoclorito de sódio (10%) foram empregadas, de forma a se manterem concentrações residuais 0,2 e 0,5 mg/L de cloro residual livre nas bacias de torre (BT) 01 e 02, respectivamente. O sistema da BT 03 foi utilizado como controle nos experimentos, portanto, não recebendo biocida.

Tabela III – Taxas de corrosão médias obtidas para as bacias de torre (BT) 01, 02 e 03, mantendo-se concentrações de cloro livre residual em 0,2 mg/L, 0,5 mg/L e 0 mg/L, respectivamente, na ausência e presença de inibidores após 31 dias de experimentos em cada condição.

TAXAS DE CORROSÃO - (mpy)							
	BT 01		BT 02		BT 03		Limites (mpy)*
	Cloro Residual Livre		Cloro Residual Livre		Cloro Residual Livre		
	0,2mg/L		0,5 mg/L		0 mg/L		
Metalurgia	Sem inibidores	Com inibidores	Sem inibidores	Com inibidores	Sem inibidores	Com inibidores	
AÇO CARBONO 1020	-	2,09±0,05	33,6 ± 1,3	2,61±0,54	68,2 ± 2,22	2,08±0,67	< 3,0
COBRE	-	0,22±0,02	2,44 ± 0,22	0,22±0,10	0,48 ± 0,05	0,21±0,02	< 0,3
AÇO INOX 316	-	0,01±0,01	0,03 ± 0,01	0,01±0,01	0,06 ± 0,02	0,01±0,01	< 0,1

(*) Limites sugeridos como válidos para águas de reúso.

As dosagens dos biocidas foram realizadas através de bombas dosadoras peristálticas (marca Coleparmer) e o controle dos valores residuais, realizado em função dos resultados obtidos por leituras em kits específicos da MERCK. Paralelamente, produtos químicos comerciais da empresa CLARIANT, com características dispersantes e inibidoras de corrosão para aço carbono, cobre e suas ligas, foram diariamente adicionados aos sistemas, mantendo-se concentrações residuais de produtos ativos em 8 mg/L de sais de fosfato, 3 mg/L de sais de zinco e 2 mg/L de ativo de dispersante em cada sistema.

3. Resultados

A seguir são apresentados os resultados experimentais obtidos através destes estudos avaliando-se:

- Taxas de corrosão em cupons de prova em aço carbono – C1020 (AC), cobre – CDA110 (Cu) e aço inox – 316 (AI);
- Análise semi-quantitativa dos elementos químicos depositados sobre os cupons de prova nas respectivas metalurgias;
- Quantificação de bactérias planctônicas;
- Quantificação de bactérias sésseis formadas em superfícies de biocupons nas metalurgias de AC, Cu e AI.

Corrosão

Os resultados das taxas de corrosão médias obtidos para os cupons metálicos avaliados durante os experimentos dos estudos encontram-se na **Tabela III**. De forma a se validar a reprodutibilidade dos experimentos utilizando os inibidores, estes foram realizados durante dois períodos de 31 dias, sendo lançadas as médias dos resultados obtidos, com seus respectivos desvios.

Os estudos sem inibidores de corrosão e dispersantes de sais (estudos preliminares), onde apenas manteve-se a presença ou ausência de cloro residual livre (BT 02 e 03), respectivamente, revelaram, após 31 dias de estudos, elevadas taxas de corrosão para os cupons de AC. Taxas de corrosão bastante elevadas e classificadas como intoleráveis para tal metal eram esperadas nos estudos sem adição de inibidores, principalmente pela presença do cloro como agente oxidante ao ferro, composto majoritário da liga C1020. Classificadas como “intoleráveis” por Dantas (1988) e Machado et al (2005) (**Tabela I**), taxas de corrosão com a mesma classificação ao AC também foram relatadas quando, na ausência de inibidores, Peres (2006) e Machado et al (2005) conduziram estudos utilizando águas de reúso, oriundas de efluentes domésticos, em torres de resfriamento. A **Figura II** mostra os cupons de AC retirados das BT's 02 e 03, respectivamente, após os experimentos do estudo preliminar, ou seja, na ausência de adição de inibidores.

Se comparado à média da taxa de corrosão obtida ao Cu na BT 03 ($0,48 \pm 0,05$ mpy) nos estudos com ausência de inibidores, o valor da taxa média de corrosão ao mesmo metal, obtido para os cupons da BT 02 ($2,44 \pm 0,22$ mpy) sugere associação à ação oxidante e corrosiva da presença do cloro residual livre (0,5 mg/L). A partir da classificação do controle de corrosão ao cobre (**Tabela I**), na ausência de inibidores, o controle da corrosão ao cobre para as BT 02 e BT 03 foram considerados “bom” e “excelente”, respectivamente



Figura II – Cupons de AC, após 31 dias de exposição às condições das BT`s 02 (a), e 03 (b) nos experimentos do estudo preliminar.

No estudo onde se adicionaram os inibidores de corrosão e dispersantes, as taxas de corrosão médias para os materiais metálicos avaliados nas BT`s 01, 02 e 03, após 31 dias apresentaram-se inferiores aos valores pré-estabelecidos e sugeridos como

limites máximos para águas de reúso. Para o AC, taxas de corrosão classificadas no limiar entre “excelentes” e “boas” por Dantas (1988) e Machado et al (2005) (**Tabela I**) foram obtidas para todas as BT`s. Para os cupons de Cu na presença de inibidores, o controle da corrosão foi considerado “excelente” para todas as BT`s. Vale ressaltar ainda que as taxas de corrosão para o AI em todas as BT`s mantiveram-se abaixo do limite estipulado, sem a presença de corrosão por “pites”, mesmo na ausência de inibidores e em condições de salinidade elevadas.

Depósitos

Para os depósitos formados sobre os cupons metálicos, foram realizadas análises para identificação semi-quantitativa dos elementos químicos presentes, após raspagem superficial dos cupons, ao término do estudo posterior. A **Tabela IV** apresenta o percentual de cada elemento encontrado sobre os cupons de aço carbono nas condições das respectivas BT`s.

Tabela IV – Resultado de análises semi-quantitativas para os elementos químicos presentes nos cupons de AC, para as BT`s 01, 02 e 03, após 31 dias dos experimentos do estudo na presença de inibidores.

Elemento Químico	Massa depositada (%)		
	BT 01	BT 02	BT 03
Fe	30	51	42
Cl	2,4	2,4	0,7
S	0,2	0,1	1,0
Ca	6,3	1,4	3,3
P	6,7	4,0	8,2
Zn	20	7,8	6,4
Si	0,6	0,4	0,7

A presença do elemento Zn, adicionado na forma de sais como inibidor catódico às

águas recirculantes, foi evidenciada pela formação de película protetora de hidróxido

e/ou carbonato de Zn, de coloração esbranquiçada, sobre a superfície dos cupons de AC das BT's 01, 02 e 03, nos

experimentos com presença de inibidores, conforme visualizado na **Figura III**.

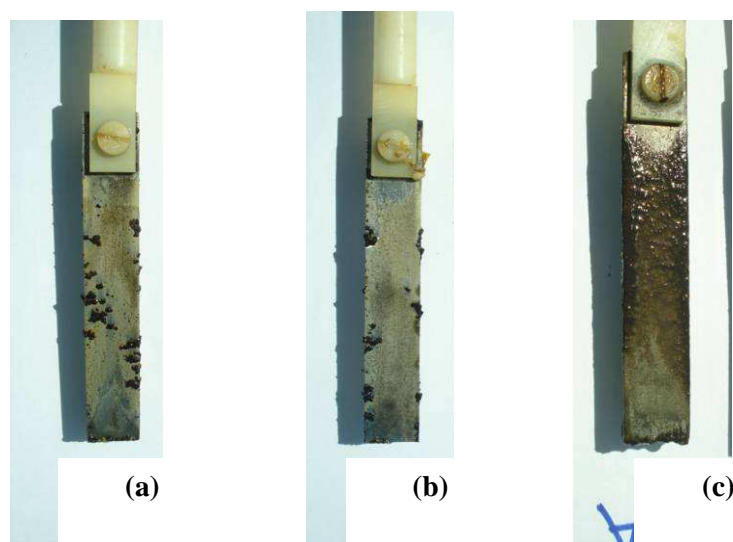


Figura III – Cupons de AC, após 31 dias de exposição às condições das BT's 01 (a), 02 (b) e 03 (c) na presença de inibidores.

Comparativamente, apesar da presença do elemento Zn na concentração semi-quantitativa percentual de 20 % para os depósitos avaliados nos cupons de AC submetidos às condições da BT 01 sugerir menores taxas de corrosão para o AC nestas condições do que nos da BT 02 (7,8%) ou da BT 03 (6,4%), tal fato não pode ser afirmado, baseando-se apenas nos dados da **Tabela IV**, uma vez que os respectivos percentuais de Fe, também ali apresentados, não distinguem se estes se encontram devido a formação de filmes de FeO ou Fe₂O₃ (óxido mais protetor). Tal observação confirma os resultados dos estudos conduzidos com adição de inibidores, uma vez que as taxas de corrosão obtidas para as BT's 01, 02 e 03 foram semelhantes.

Observa-se, pelo acompanhamento da variação da concentração de ferro total e

solúvel nas águas das BT's para os experimentos com inibidores (gráfico da **Figura IV** e da **Figura V**, respectivamente), que aproximadamente nos primeiros 10 dias de estudos há a tendência ao incremento na concentração de ferro total para a BT 03 enquanto o efeito inverso é observado para as demais BT's. Após tal período inicial, a formação de óxidos de sais de ferro prevalece em todos os sistemas.

Entretanto, levando-se em conta os valores médios, assim como seus respectivos desvios, obtidos ao longo dos estudos para ferro total e solúvel nas BT 01 e 02, pode-se dizer que ambos os sistemas apresentaram, para tais parâmetros, o mesmo comportamento.

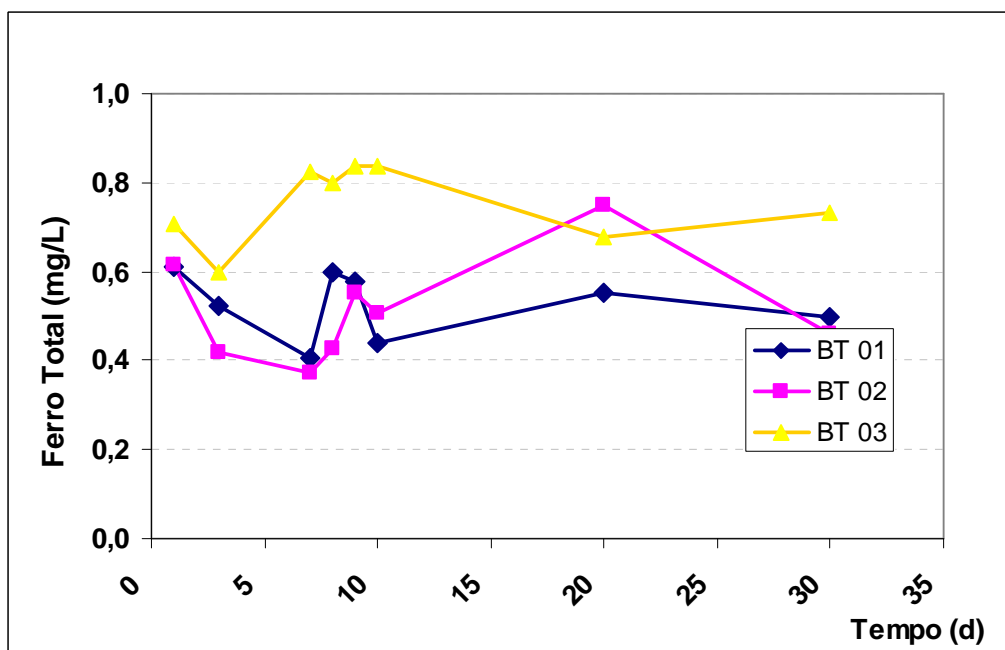


Figura IV – Evolução das concentrações de ferro total nas BT's 01, 02 e 03, durante os estudos com presença de inibidores.

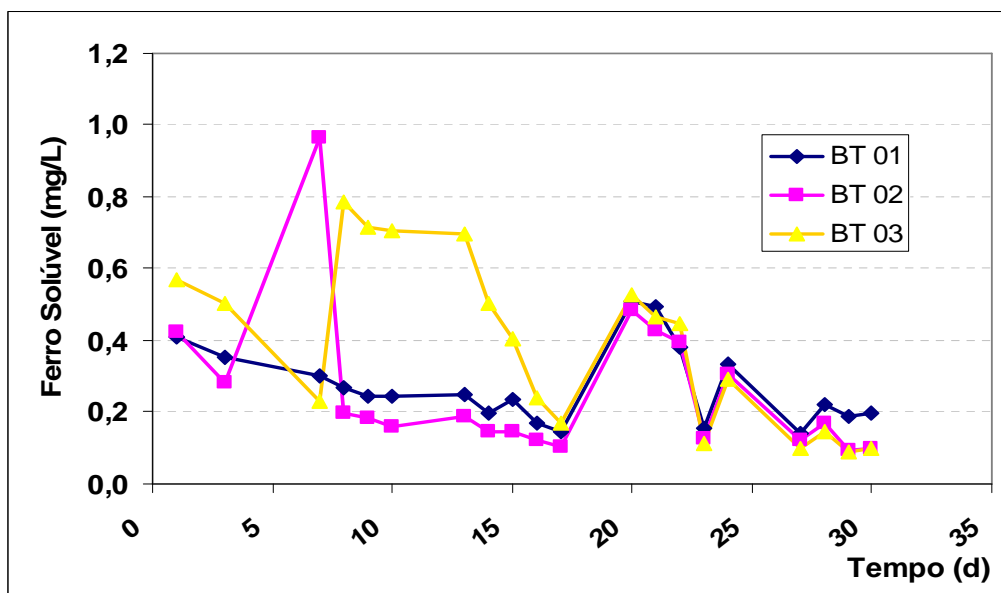


Figura V – Evolução das concentrações de ferro solúvel nas BT's 01, 02 e 03, durante os estudos com presença de inibidores.

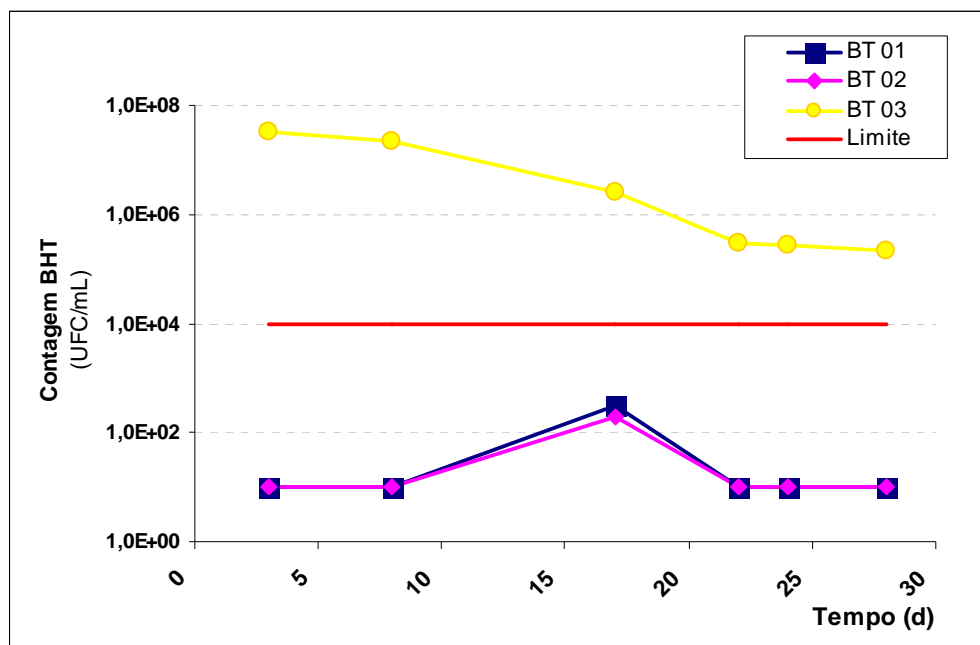


Figura VI – Resultado das contagens de BHT para as águas recirculantes nas BT's 01, 02 e 03 ao longo dos experimentos na presença de inibidores, indicando-se o limite máximo admitido para a contagem BHT (10^4 UFC/mL) (Ludenski, 2003).

Contagem de Bactérias Heterotróficas Totais (BHT) (Planctônicas)

A **Figura VI** apresenta os resultados das contagens de BHT das BT's 01, 02 e 03, mantidas com 0,2 mg/L, 0,5 mg/L e zero mg/L de residual de cloro livre, respectivamente, plotados em gráfico ao longo do estudo com inibidores. Observa-se que para ambas as concentrações de cloro residual livre nas BT's 01 e 02, mantiveram-se valores muito próximos para as contagens de BHT durante todo o período do experimento, e abaixo do limite máximo de 10^4 UFC/mL preconizados para águas de resfriamento (Ludenski, 2003) em recirculação em torres.

Na **Figura VI**, observa-se que aproximadamente a partir do décimo dia, houve um incremento do número de colônias bacterianas presentes nas BT's 01 e 02, na ordem de 10^2 UFC/mL. Tal crescimento

pode ser atribuído a alguma contaminação microbiológica e/ou orgânica, captados da atmosfera industrial no entorno. Entretanto, a manutenção dos residuais de 0,2 e 0,5 mg/L para cloro residual livre (BT's 01 e 02, respectivamente) foram capazes de retomar em seguida a ausência de bactérias nos sistemas, indicando que mesmo com cloro residual livre de 0,2 mg/L, houve o controle do crescimento microbiano para a água de reúso em recirculação. Para a BT 03, a presença do possível agente contaminante ambiental não afetou a ordem de grandeza da quantificação bacteriana no mesmo período, mantendo-se ainda a tendência de queda na contagem bacteriana observada para o sistema ao longo dos estudos. Vale ressaltar que as contagens de BHT para o sistema da BT 03 mantiveram-se sempre acima do limite de 10^4 UFC/mL ao longo dos estudos na presença de inibidores.

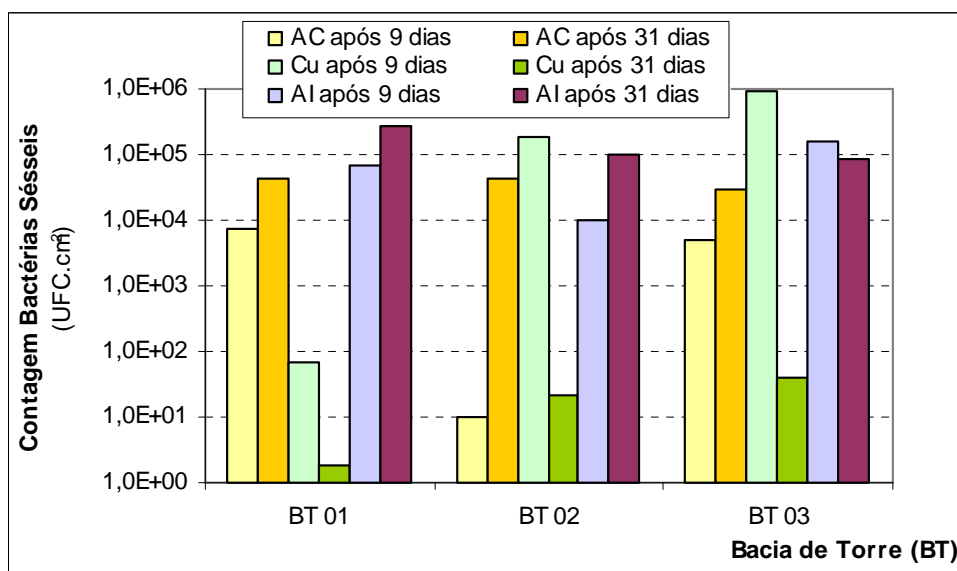


Figura VII - Resultado de contagens de bactérias sésseis em cupons de aço carbono C1020 (AC), cobre CDA110 (Cu) e aço inox 316 (AI) para as BT's 02 e 03 ao longo dos experimentos do estudo posterior.

Contagem de Bactérias Sésseis

Durante os experimentos dos estudos conduzidos na ausência e presença de inibidores, biocupons foram removidos de seus suportes, sendo o produto dos respectivos biofilmes inoculados em Petrifilm por 48 horas em estufa à 37°C. Os resultados dos estudos indicaram que a presença ou ausência de inibidores nas águas das BT's não apresentou influência sobre a quantificação das bactérias responsáveis pela formação dos biofilmes nas diferentes amostras de materiais metálicos. O resultado das contagens de bactérias sésseis obtidas por cm² de área exposta para os biocupons dos materiais metálicos utilizados, durante os estudos com presença de inibidores, encontram-se no gráfico da **Figura VII**.

Contagem de bactérias sésseis – AC

Inicialmente, a presença de 0,5 mg/L de

residual de cloro livre (BT 02) promoveu uma taxa de crescimento microbiano na superfície dos biocupons de AC deste sistema menor do que a das demais BT's, conforme observado pelo resultado de contagem de bactérias sésseis após 9 dias de estudos, apresentado no gráfico da **Figura VII**. Enquanto isto, a manutenção de 0,2 mg/L de cloro residual livre na BT 03 foi insuficiente para manter a mesma taxa de crescimento das bactérias no mesmo período, sendo as contagens para tal sistema muito próximas àquelas obtidas para o sistema “controle” (BT 03). Observa-se que após o período de 31 dias de estudo, obteve-se para todas as BT's um crescimento semelhante de bactérias na superfície dos biocupons de AC, na ordem de 10⁴ UFC/cm², indicando a formação de um biofilme de espessura semelhante, independente das concentrações de cloro

residuais livre mantidas nos sistemas. As taxas médias de crescimento microbiológico para as bactérias sésseis após 31 dias, em todas as BT's, foram superiores às das planctônicas, de acordo com o observado por Ellwood et al (1982) e Ilhan-Sungur (2010).

Contagem de bactérias sésseis – Cu

Para os cupons de Cu instalados nos sistemas, observou-se que o efeito bactericida promovido pelo contato do cobre sobre as bactérias constituintes do biofilme é o principal promovedor do controle do crescimento das bactérias sésseis, uma vez que após 31 dias de estudos nos experimentos com inibidores, houve a redução da contagem das mesmas para os biofilmes formados sobre tal metal em todas as BT's.

Contagem de bactérias sésseis – AI

A contagem microbiana nos biofilmes provenientes dos biocupons de AI demonstrou haver um incremento do crescimento microbiológico ao longo de todo o período dos experimentos quando na utilização de inibidores. A configuração morfológica e estrutural do metal parece ter contribuído para a elevada taxa de adesão e crescimento microbiano nos cupons de aço inox.

4. Conclusões

A manutenção de baixas concentrações de cloro residual livre (0,2 e 0,5 mg/L) e inibidores em sistemas de resfriamento utilizando águas de reúso apresentaram taxas de corrosão similares e dentro de limites aceitáveis àquelas encontradas quando na utilização de água clarificada.

O emprego do cloro como biocida em ambas as concentrações residuais promoveu a manutenção das contagens de bactérias

planctônicas abaixo da concentração limite de 10^4 UFC/mL estipulada para águas de resfriamento.

Estudos preliminares demonstraram a grande influência e relevância da adição de inibidores de corrosão e dispersantes de sais nas taxas de corrosão associadas aos metais envolvidos em águas de reúso aplicadas em torres de resfriamento. A adição de inibidores, porém, não indicou correlação com a quantificação de bactérias sésseis desenvolvidas sobre biocupons de aço carbono C1020, cobre CDA110 e aço inox 316 empregados neste estudo.

Os resultados da quantificação de bactérias sésseis sugerem a existência de um sistema dinâmico e constante envolvido no processo de formação do biofilme sobre os metais, onde taxas difusivas, iônicas e de cisalhamento superficiais se fazem presentes.

O estudo permitiu comprovar a possibilidade de controle das taxas de corrosão e de crescimento microbiano quando na utilização de cloro residual livre em baixas concentrações e, portanto, com a redução de impactos econômicos e ambientais, quando no emprego em águas de reúso em sistemas de resfriamento.

Referências Bibliográficas

- [1] APHA - AWWA – WEF, “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 20th ed. Washington: American Public Health Association, 2000.
- [2] BETZ, “*Handbook of Industrial Water*”, 6a Edition, EUA, Betz Laboratories Inc., 1980.
- [3] CLARIANT, *Método de Aplicação Técnica – Teste de Corrosão e Deposição*, Laboratório de Aplicação Técnica/Analítico Funcional Chemicals, Water Treatment, Rev. 01, 2006.

- [4] DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J.R.; LIBÂNIO, M.; DE LUCA, S.J., *Métodos Alternativos para Desinfecção de Águas de Abastecimento*, Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, RJ, v.5, No 1 e No 2, p.41, 2000.
- [5] DANTAS, E. V., *Tratamento de água de Refrigeração e Caldeira*, José Olympio Editora S.A., 370 p, 1988.
- [6] ELLWOOD, D. C., KEEVIL, C. W., MARSH, P. D., BROWN, C. M., WARDELL, J. N., *Surface-Associated Growth*, Philos. T. Roy. Soc, B 297, 517-532, 1982.
- [7] ILHAN-SUNGUR, E., ÇOCUT, A., *Microbial corrosion of galvanized steel in a simulated recirculating cooling tower system*, Corrosion Science, 52, 161-171, 2010.
- [8] KURITA do BRASIL, *Proposta Técnica-Comercial – Reúso de águas – Tratamento de Água no Sistema de Refrigeração U223 – Coque – Refinaria Gabriel Passos – REGAP*, Betim, MG, 2009.
- [9] LUDENSKY, M., *Control and Monitoring of Biofilms in Industrial Applications*, International Biodeterioration & Biodegradation, 51, 255-263, 2003.
- [10] MACHADO, I. A., VEIGA, M. M., ROQUE, O. C. C., SILVA, D. M., *Reúso de Efluente de Estação de Tratamento de Esgoto em Lodo Ativado em alimentação de Circuitos de Resfriamento Semi-Abertos – Estudo de Caso*, Trabalho apresentado no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS, I-353, 2005.
- [11] METCALF & EDDY, *Water Reuse – Issues, Technologies and Applications*, Mc Graw-Hill, 2007.
- [12] PERES, F. A. S., TEIXEIRA L. A. C., YOKOYAMA, L., CAMPOS, J. C., MIGUEL, M. A. L., *Tratamento de Águas de Refrigeração com Peróxido de Hidrogênio*, Química Nova, Vol. 31, Nº 7, 1851-1855, 2008.
- [13] NALCO, *Latin American Water Treatment Technology Seminar*, Naperville, Illinois, EUA, 2009.
- [14] NALCO do BRASIL, *Proposta Técnica-Comercial – Tratamento de Água de Torre de Resfriamento U-223*, Refinaria Gabriel Passos – REGAP, Betim, MG, 2009.
- [15] RIVERA, S. B., GILL, P., HERRINGTON, P. E., *A Low-cost, Safe, Effective Halogen Disinfectant for Cooling Towers*, Cooling Technology Institute 2008 Annual Conference, February 3-7, 2008.
- [16] SANTIAGO, V. M. J., *Reúso de Efluentes em Refinarias*, V Workshop de Gestão e Reúso de Água na Indústria, Florianópolis, SC, 2009.
- [17] ZETA CORPORATION, “Prevention of Biofouling and Scale in Evaporative Cooling Systems”, Electronic Deposit and Corrosion Control for Water Systems, 8921-08, 1999.

Abstract

The goal of this work was to evaluate the effect of maintaining free residual chlorine, about the increase control of biofouling and the taxes of associated corrosion, when applying in reused water in cooling tower in pilot scale, in an oil refinery. Commercial solutions of NaOCl were added to the tower basins (BT) keeping free residual chlorine concentration of zero, 0,2 mg/L (BT01) and 0,5 mg/L (BT 02). Mass measurement loss in carbon steel coupons 1020 (AC), copper and stainless steel (AI), to the temperature and flow velocity constantly (40°C and 1,56 m/s, respectively), show that corrosion taxes, products in the presence of corrosion inhibitors dispersants, reach values between 2 and 3 mpy to AC, smaller than 0,3 mpy to copper, and unimpressive to the AI for all BT's.

Monitoring the count of planktonic bacteria (BHT) in the recirculating water of BT`s 01 and 02, show that to both kept concentrations to free residual chlorine, we've had the following values below the limit of 10^4 UFC/mL, recommended for reuse waters in towers. Monitoring the sessile bacterial count on biocupons, after 31 days of study and independently the concentration of biocide residual, showed growth rates similar to the AC with the increase of the density of the

biofilm formed; reduction to the copper and increase to the AI.

Keywords: reuse, chlorine, biofouling, corrosion control, cooling tower.

Remoção de boro oriundo de efluente industrial através da utilização de hidróxidos duplos lamelares sintéticos

Thais Delazare
Lídia Yokoyama
Juacyara Carbonelli Campos
Mariana de Mattos Vieira M. Souza

Depto. Processos Inorgânicos – Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro – e-mail: thdelazare@hotmail.com

Resumo

A hidrotalcita (HT) estudada foi de magnésio e alumínio intercalada pelo ânion carbonato (Mg-Al-CO₃). A hidrotalcita foi preparada em batelada, sendo sintetizada pelo método de coprecipitação e foram caracterizados por análises químicas, difração de raios x (DRX), fluorescência de raios x, medições termogravimétricas (AGT) e de superfície específica (BET). O boro foi determinado por ICP OES. A remoção do boro foi estudada a partir de diferentes tipos de hidrotalcita: calcinada (HTC) e não calcinada (HT). A afinidade destes materiais com o boro foi estudada controlando o valor do pH do efluente industrial para 9, utilizando NaOH 0,1mol/L comparando com o valor do pH natural do efluente industrial. As condições experimentais para estes ensaios foram: concentração inicial de boro de 30mg/L, concentração de hidrotalcita de 20g/L, sob uma velocidade de agitação de 250rpm. As reações foram realizadas em temperatura ambiente. Verificou-se que o controle do pH não foi um parâmetro significativo para a remoção de boro e que a hidrotalcita calcinada obteve melhores resultados na eficiência dessa remoção, devido apresentar maior área superficial. A fim de se minimizar o tempo de remoção, estudou-se a cinética da reação, coletando amostras nos intervalos de tempo de 10, 20, 30, 50, 80 e 120min. As condições experimentais foram as mesmas utilizadas nos experimentos de remoção, utilizando diferentes tipos de hidrotalcita, modificando somente o parâmetro da concentração da hidrotalcita de 20g/L para 40g/L. Observou-se que o tempo de contato de 10 minutos foi suficiente para atingir o equilíbrio na remoção do boro e que a capacidade de remoção aumenta com o aumento da quantidade de adsorvente. Após o tratamento de um efluente contendo cerca de 30mg/L de boro com hidrotalcita calcinada do tipo Mg-Al-CO₃, a concentração final do boro atingiu os níveis exigidos de descarte pela legislação ambiental vigente (CONAMA nº 357/2005) de 5mg/L.

Palavras chave: Boro, hidróxidos duplos lamelares, efluente industrial, remoção.

1. Introdução

O boro é naturalmente encontrado nas águas subterrâneas e a sua concentração depende das características associadas à atividade geotérmica. A sua presença em águas superficiais ocorre frequentemente como consequência da descarga de efluentes de industriais [1]. Este elemento é geralmente encontrado em águas naturais como o ácido

bórico, H₃BO₃, e/ou borato, B(OH)₄⁻ [2]. O boro é um micronutriente essencial para as plantas, embora possa ser tóxico em níveis mais elevados. A concentração do boro recomendada pela Organização Mundial de Saúde (WHO) para a água potável é de 0,5 mg/L [3], mas alguns lugares do mundo apresentam um nível mais elevado deste elemento na água. A toxicidade do íon boro é de extrema preocupação para a agricultura

em regiões áridas, mal drenadas e em solos de alta salinidade.

Sua concentração no efluente dependente do valor de pH (Figura 1) e de acordo com a equação 1 esse íon pode ser formado pela adição de uma hidroxila no ácido bórico [4].

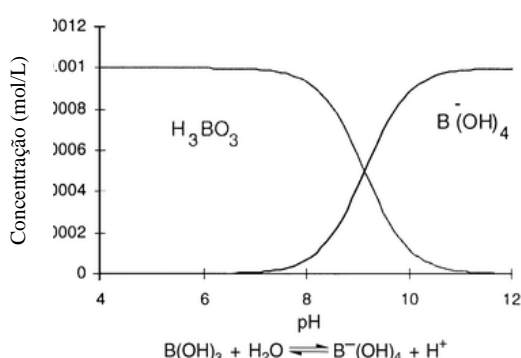
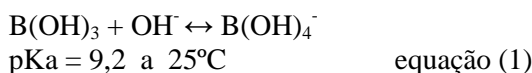


Figura 1. Formas do boro em concentrações inferiores a 0,025 mol/L encontradas em solução aquosa em relação ao valor de pH [5].

O boro não é removido pelo processo de tratamento de água comum. Um ou mais métodos podem ser aplicados de acordo com a concentração de boro no meio. Os principais processos de remoção estudados envolvem alguns dos seguintes processos: precipitação-coagulação, adsorção, troca iônica, extração de solventes após complexação do boro, ultrafiltração e a utilização de resinas seletivas para boro, em

particular Amberlite XE243 [1, 6-13]. Estas investigações revelaram que a utilização de resinas seletiva é adequada para o tratamento de água potável, devido sua grande aplicação e seu custo de regeneração [11]. Portanto, novos materiais e métodos são necessários para o tratamento de águas contaminadas com boro.

Nos últimos anos, alguns processos de sorção (adsorção, biossorção e troca iônica) adquiriram importância para uma purificação eficaz e técnicas de separação para remover substâncias tóxicas da água, através da preparação de alguns materiais inovadores. Um destes materiais promissores é o composto sintético denominado de hidrotalcita.

As hidrotalcitas (HT) são hidróxidos duplos lamelares (HDL) com elevada capacidade de troca aniônica, sendo muito utilizadas como adsorventes de contaminantes [14-17].

Os hidróxidos duplos lamelares (HDLs) sintéticos foram preparados pela primeira vez em 1933 por Feitknecht [18], pela precipitação controlada de soluções aquosas contendo cátions metálicos com uma base. Apesar de não serem abundantes na natureza, a síntese dos hidróxidos duplos lamelares em laboratórios é extremamente fácil. Estes compostos são representados pela seguinte fórmula geral [19] (Tabela 1):

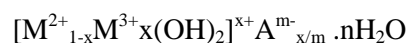


Tabela 1. Minerais naturais e sua composição:

Cátions		Ânions	Nome do Mineral	
M ^{II}	M ^{III}	N ⁻ⁿ	Romboédrico	Hexagonal
Mg	Al	CO ₃ ²⁻	Hidrotalcita	Manasita
Mg	Al	OH ⁻	Meixnerita	-
Mg	Cr	CO ₃ ²⁻	Stichita	Barbetonita
Mg	Fe	CO ₃ ²⁻	Pirourita	Sjogrenita
Mg	Fe	Cl ⁻	Iowaita	-
Mg	Mn	CO ₃ ²⁻	Desautelsita	-
Mg, Fe	Al	Cl ⁻	Cloromagalumita	-
Ni	Al	CO ₃ ²⁻	Eardliyita	Takovita
Ni	Fe	CO ₃ ²⁻	Reevesita	Honesita

onde: M²⁺ representa um cátion metálico divalente; M³⁺, um cátion trivalente; A^{-m}, um ânion intercalado com carga m⁻; x, a razão entre os cátions di e trivalentes; n, o número de mols de água.

A estrutura dos HDLs são derivados da brucita (Mg(OH)₂), onde os íons Mg²⁺ são coordenados octaedricamente por grupos hidroxila com os octaedros compartilhando arestas, formando camadas neutras infinitas, que são mantidas empilhadas através de ligações de hidrogênio.

Os HDLs podem apresentar uma grande variedade de aplicações dependendo de suas propriedades (composição, cristalinidade, estabilidade térmica e outras propriedades físico-químicas). Entre as aplicações mais exploradas, pode-se citar o uso como catalisadores heterogêneos [20-22], adsorventes [14-16], trocadores aniônicos [16] e em aplicações farmacêuticas [17,23].

A remoção de ânions de uma solução por HDLs, usualmente, ocorre pela combinação de dois processos, troca aniônica e adsorção. Em alguns casos, o processo de adsorção é pouco satisfatório, especialmente para ânions inorgânicos, pois apresentam uma tendência muito pequena de serem adsorvidos. Alguns exemplos do processo de

remoção através da troca aniônica incluem o tratamento de água para remoção de compostos de Cr (VI) e remoção de fosfatos e boro [4, 24-25].

No intuito de minimizar o problema do poluente boro contido no efluente industrial salino, o qual não atende a resolução CONAMA de 5mg [B]/L [26], esta pesquisa tem como objetivo principal utilizar a hidrotalcita para remover esse poluente, enquadrando-o nos padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores.

2. Metodologia

2.1. Preparação da Hidrotalcita

A hidrotalcita foi preparada pelo método de coprecipitação em pH variável [19]. Foram feitas duas soluções intituladas como A e B. Solução A: Mg(NO₃)₂.6H₂O e Al(NO₃)₃.9H₂O com concentrações respectivas de 1mol/L e 0,5mol/L e solução B: Na₂CO₃ e NaOH com concentrações de 1,0 mol/L e 2,5mol/L, respectivamente. A partir dessas concentrações obtém-se uma hidrotalcita com razão Al/(Mg+Al) de 0,33. Para essa reação foi utilizado um reator de teflon de 500mL de capacidade com vedação, a qual foi adicionada 200mL da

solução B e o mesmo volume da solução A foi adicionado num béquer, no qual foi acrescentado à solução B, com auxílio de uma bomba peristáltica a uma vazão de 1mL/min. A agitação permaneceu constante durante todo o processo com o auxílio de um agitador mecânico, conforme Figura 1. Ao final do processo homogeneizou-se por mais 2 horas, obtendo um precipitado com pH próximo de 12.



Figura 2.1. Sistema utilizado na síntese de hidrotalcita. Reator (A), agitador mecânico (B) e bomba peristáltica (C).

O precipitado foi envelhecido por 18h em estufa, modelo Gehaka G4023D à 60°C para que a hidrotalcita obtivesse uma cristalização eficiente. Após o período de envelhecimento, o precipitado foi filtrado e lavado sucessivas vezes com água deionizada a uma temperatura na faixa entre 70-80°C até que o pH da solução sobrenadante ficasse próximo a 7.

O sólido obtido foi seco em estufa à 100°C por 24h. A amostra foi triturada e peneirada para um controle da distribuição do tamanho dos grãos. A amostra em forma de pó foi calcinada a 500°C com taxa de 10°C/min por 3horas em uma mufla modelo Quimis Q318M24 e, após este período, o material foi armazenado em dessecador para evitar o contato com a umidade e o dióxido de carbono (CO₂) presente no ar. Essa

hidrotalcita calcinada foi denominada de HTC.

2.2. Caracterização da Hidrotalcita

A composição química da hidrotalcita foi determinada pela técnica de fluorescência de raios x num espectrômetro da marca Bruker AXS modelo S4 Explorer.

Para a determinação das fases cristalinas presentes da hidrotalcita foi utilizada a técnica de difração de raios x (DRX) em um difratômetro da marca Rigaku modelo Miniflex, com radiação de CuK α (30kV e 15mA). Os parâmetros de célula (a e c) dos compostos tipo-hidrotalcita foram calculados através do software Unitcell.

As análises termogravimétricas da hidrotalcita foram conduzidas numa termobalança da marca Rigaku TAS-100, equipado com acessório TG 8110. As amostras foram submetidas a aquecimento até 800°C a uma taxa de 10°C/min sob atmosfera de 53 mL/min de N₂ e 8mL/min de O₂.

As propriedades texturais da hidrotalcita (área específica e volume de poros) foram determinadas por fissorção de N₂. A análise foi realizada em um equipamento Tristar modelo 2000 da Micromeritics. As amostras, após a pesagem, eram secas a 300°C durante 24 horas sob vácuo. Em seguida, obtiveram-se isothermas de adsorção de N₂ a -196°C, em diferentes pressões parciais de N₂. A partir destes resultados, foi possível determinar a área específica pelo método BET e o volume específico dos poros pelo método BJH.

2.3. Reações para a remoção de boro

Os experimentos de remoção foram realizadas em frascos de polietileno, contendo 40mL de efluente juntamente com a hidrotalcita, sob agitação de 250rpm, em uma mesa agitadora, modelo Quimis

Q225M e temperatura ambiente. A reação se iniciava pela adição da hidrotalcita. O tempo de reação foi de 2 horas e a concentração de hidrotalcita de 20g/L. A reação se iniciava pela adição da hidrotalcita.

Os experimentos de remoção do íon boro, cuja concentração inicial era aproximadamente 30mg/L, foram realizados em valor de pH igual a 9 (pH natural do efluente salino) e outro com o pH controlado adicionando NaOH 0,1mol/L durante o realização da reação. Dois tipos de hidrotalcita foram estudados, a não-calcinada (HT) e a calcinada (HTC) (Tabela 2):

Tabela 2. Condições experimentais.

Amostras	Valor de pH = 9
HT	ajuste inicial
	controlado
HTC	ajuste inicial
	controlado

Também foram estudados a influência da concentração do HT (4, 12, 20 e 40g/L) sobre o teor de boro encontrado neste efluente industrial salino, como também em um efluente dopado com borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) atingindo uma concentração de 135mg/L.

As amostras foram coletadas após o fim da reação, centrifugadas e o sobrenadante coletado para a determinação de boro.

Tabela 3.1. Composição química elementar das hidrotalcitas.

Razão molar Al/(Al+Mg) Valor nominal	Mg (nºmol)	Al (nºmol)	Razão molar Al/(Al+Mg) Valor real
0,33	0,3643	0,1727	0,32

A diferença percentual da quantidade adicionada para a quantidade encontrada pode estar relacionado à precisão na análise ou às pequenas perdas durante a síntese.

Foram realizadas análises de determinação de boro, através do uso do equipamento de ICP OES modelo Optima 4300DV, Perkin Elmer Instruments.

2.4. Cinética da Reação

Outro ensaio realizado foi o da cinética de reação em temperatura ambiente para o efluente industrial, contendo a mesma concentração de boro de 30mg/L. O valor de pH não foi ajustado, utilizando o efluente industrial natural. Foram coletadas amostras de sobrenadante em um intervalo de tempo de 10, 20, 30, 50, 80 e 120 min. As reações foram similares ao do estudo de remoção de boro para diferentes tipos de hidrotalcitas (HT e HTC), juntamente com as condições experimentais, modificando somente a concentração da hidrotalcita calcinada, afim de se avaliar conjuntamente a eficiência de remoção do boro no efluente industrial.

3. Resultados experimentais

3.1. Caracterização da Hidrotalcita

Composição Química

Os resultados da composição química elementar realizada pelo método de Fluorescência de raios x apresentaram valores reais satisfatórios bem próximos dos valores nominais, como mostra a Tabela 3.1.

Difração de Raios x

Os picos característicos de compostos tipo hidrotalcita (JCPDS #14 – 191) estão presentes nas amostras, como mostra a Tabela 3.2, comprovando que a HT 0,33

possuem a hidrotalcita como fase precursora.

Tabela 3.2. Comparação dos ângulos de Bragg teóricos (JCPDS 14-191) e real (HT).

Planos Cristalográficos	Ângulo de Bragg (2 θ) (JCPDS 14-191)	Ângulo de Bragg (2 θ) (HT 0,33)
(0 0 3)	11,5	12,05
(0 0 6)	22,92	23,8
(0 0 9)	34,77	35,05
(0 1 5)	39,17	39,25
(0 1 8)	46,32	46,6
(1 1 0)	60,51	61,15
(1 1 3)	61,85	62,5

Todos os picos do difratograma da hidrotalcita confirmam a estrutura Mg-Al-CO₃, conforme observado na literatura [27,28]. O difratograma mostra a repetição dos picos basais, que caracterizam este material como lamelar (Figura 3.1).

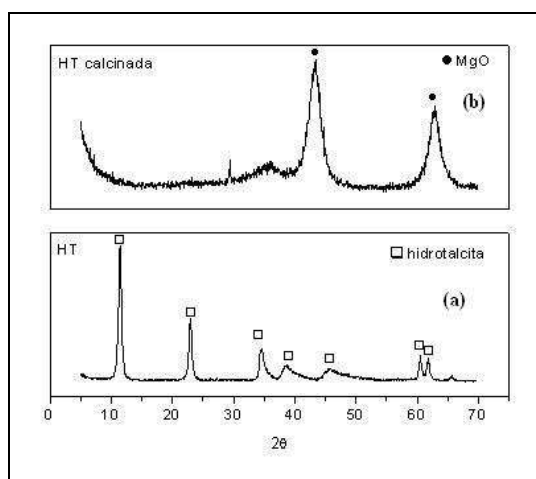


Figura 3.1 Difratograma de raios x da hidrotalcita de Mg-Al-CO₃ antes (a) e após (b) a calcinação.

A partir do difratograma foi possível determinar o valor do espaçamento basal, calculado pela média entre os picos basais 1

e 2. O valor calculado para o espaçamento basal médio foi 8Å, que corresponde ao espaçamento basal determinado para o ânion carbonato intercalado, de acordo com valores reportados na literatura [29]. Através da intensidade e largura dos picos é possível observar que o material apresenta uma boa cristalinidade e a organização do empilhamento das lamelas.

Os parâmetros de rede a (associado à distância cátion-cátion) e $c=3c'$ (c' é a espessura de uma lamela e um espaço interlamelar) foram calculados para a hidrotalcita antes da calcinação sendo $a = 3,06\text{Å}$ e $c = 23,40\text{Å}$. Após a calcinação, houve a formação de óxidos mistos, gerados pela destruição dessa estrutura lamelar. A formação dos óxidos mistos é caracterizada pelo desaparecimento dos picos característicos da hidrotalcita, aparecendo uma fase MgO periclásio (42,9° e 62,3°), na qual se encontram dispersos os óxidos de alumínio.

Análise Termogravimétrica

Na análise termogravimétrica da hidrotalcita apresenta dois estágios de perda de massa, com variações de energia endotérmicas. O primeiro estágio inicia-se a temperatura ambiente e termina em torno de 200°C, sugerindo liberação da água interlamelar. O segundo estágio de decomposição ocorre na faixa de 200-450°C, sugerindo a decomposição das hidrotalcitas pela liberação de carbonatos interlamelares e das hidroxilas das camadas tipo brucita. Na temperatura de 600°C, a curva mostra cerca de 50% de resíduos de compostos inorgânicos, tais como óxidos mistos de alumínio e magnésio. A Figura 4 mostra o perfil da análise termogravimétrica (ATG).

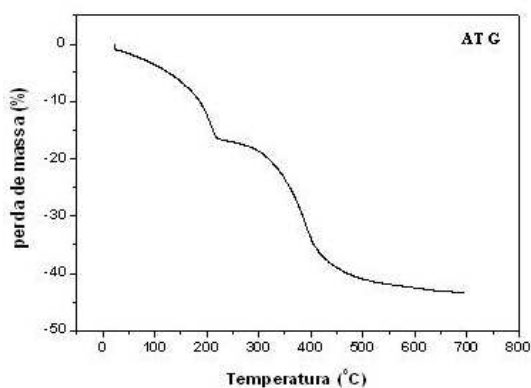


Figura 3.2. Curva Termogravimétrica da Hidrotalcita

Área BET

A análise da área BET teve como resultado para a hidrotalcita área de $68,9 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e o volume de poro igual a $0,27 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, após calcinação o valor da área foi $202,3 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e o volume de poro igual a $0,89 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$. CHÂTELET e colaboradores [30] obtiveram $103 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ para a hidrotalcita e $258 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ para a hidrotalcita calcinada. A calcinação da hidrotalcita levou a um aumento da área superficial. Este volume de poro refere-se aos vazios existentes entre os cristalitos.

Experimentos de remoção

As dosagens dos biocidas foram realizadas através de bombas dosadoras peristálticas (marca Coleparmer) e o controle dos valores residuais, realizado em função dos resultados obtidos por leituras em kits específicos da MERCK. Paralelamente, produtos químicos comerciais da empresa CLARIANT, com características dispersantes e inibidoras de corrosão para aço carbono, cobre e suas ligas, foram diariamente adicionados aos sistemas, mantendo-se concentrações residuais de produtos ativos em 8 mg/L de sais de fosfato, 3 mg/L de sais de zinco e 2

mg/L de ativo de dispersante em cada sistema.

Os resultados da eficiência de remoção de boro utilizando hidrotalcita não-calcinada (HT) e a calcinada (HTC) estão descritos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Eficiência na remoção de boro utilizando HT e HTC.

Amostras	Valor de pH = 9	Eficiência de remoção (%)
HT	ajuste inicial	18
	controlado	25
HTC	ajuste inicial	65
	controlado	55

Observando os resultados apresentados na tabela 3.3, a quantidade de boro removida no efluente industrial foi maior na hidrotalcita calcinada do que na hidrotalcita comum, isso se deve a área superficial da hidrotalcita calcinada ($4.040 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ser 3 vezes maior do que a área superficial da hidrotalcita comum ($1380 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). Entretanto, a quantidade máxima de boro adsorvida foi praticamente a mesma nos valores de pH estudados. Com estes resultados, nota-se que o processo de adsorção do boro pela hidrotalcita não é muito influenciado pelo controle do pH, visto que a remoção é maior quando a hidrotalcita é calcinada.

A relação entre o pH inicial e o equilíbrio para a remoção do boro em solução sintética sugere que a hidrotalcita possui uma alta capacidade tampão de acordo com Ferreira e colaboradores [4], que relatam que independente do pH inicial da reação, variando de 4 a 10, o valor do pH final da reação sempre foi em torno de 9.

Cinética da Reação

A cinética do processo de remoção do boro pela hidrotalcita foi realizada na hidrotalcita calcinada.

A taxa na qual o boro é removido é de grande importância para o desenho de um sistema de remoção contínua ou em batelada em uma planta de tratamento de efluentes industriais. Portanto, é importante estabelecer a dependência do tempo no processo de remoção para as condições de trabalho estudadas.

A variação da remoção do boro em função do tempo é mostrada na Figura 3.3.

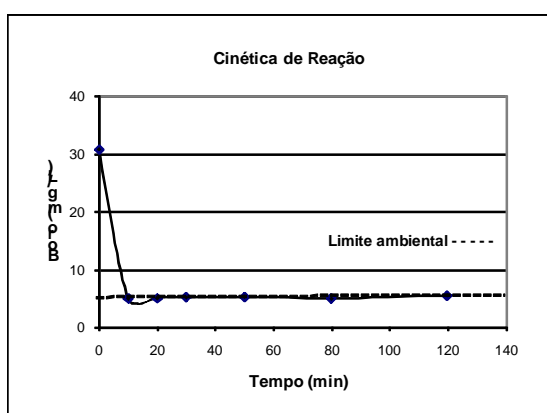


Figura 3.3. Estudo da cinética de reação na remoção de boro (C_0 : 30mg B/L e pH:9)

Observa-se que o processo de remoção de boro é rápido utilizando o precursor hidrotalcita. Este comportamento já foi reportado na adsorção de espécies aniônicas em compostos utilizando hidrotalcita [31].

Apenas 10 minutos foram necessários para se alcançar o equilíbrio e a quantidade máxima de boro removida foi de 25,9 mg/L, utilizando uma concentração de hidrotalcita de 40g/L, o que equivale a uma área superficial de 8000m²/g, obtendo assim, uma eficiência de remoção em torno de 85%. Observa-se que duplicando a concentração de hidrotalcita, a eficiência de remoção aumenta significativamente, atingindo o nível exigido de descarte pela legislação ambiental vigente para o boro que é de 5mg/L [26].

Compostos como hidrotalcitas interagem fortemente com espécies aniônicas, devido à existência de cargas positivas em suas lamelas e também sobre a sua superfície externa. Esta propriedade torna possível a ocorrência de dois mecanismos diferentes para esta remoção: (i) adsorção na superfície externa (mais rápido) e (ii) troca iônica (lenta) [32]. O processo de adsorção depende da densidade de carga na superfície do boro e da superfície do adsorvente. Por outro lado, a troca iônica condiz com a natureza interlamelar dos ânions presentes na amostra. Geralmente, o processo de adsorção é mais rápido que a troca iônica, devido à forte interação (forças Coulomb) entre os íons negativos e positivos da superfície externa, enquanto que o processo de troca iônica ocorre por difusão [32].

Como as hidrotalcitas possuem cargas positivas em suas lamelas, ocorre o processo de adsorção do boro em sua superfície externa, na forma do íon borato, cuja carga é negativa, por isso o equilíbrio para esta remoção foi alcançado rapidamente.

Os resultados sobre a influência da concentração de hidrotalcita, ou seja, da quantidade de área superficial disponível para a adsorção de íon borato estão apresentados na Figura 3.4.

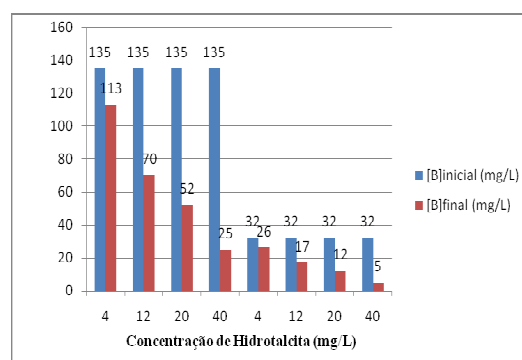


Figura 3.4. Efeito da remoção do boro pela concentração da hidrotalcita.

De acordo com a Figura 3.4, a quantidade de boro contido no efluente final diminui à medida que se aumenta a quantidade de área superficial da hidrotalcita disponível, obtendo-se uma remoção em torno de 80% para concentração de 40g/L de hidrotalcita (8000 m²/g). Como se observa, a concentração de boro consegue diminuir a um patamar de 5mg/L atendendo os níveis estabelecidos pela legislação do CONAMA 357/2005 [26], para descarte de efluentes.

Essa eficiência na remoção de boro se deve ao aumento do número de sítios de adsorção, quantidade de adsorvente, pois a superfície externa da hidrotalcita apresenta cargas positivas residuais que são compensadas por espécies aniônicas adsorvidas, que neste caso é o íon borato. Quando o íon borato é adsorvido na superfície da hidrotalcita, o equilíbrio descrito na equação 1 se desloca para a direita. Entretanto, em um valor limite de concentração, não ocorrerá mais a conversão B(OH)₃ em B(OH)₄⁻ e assim, haveria boro ainda na solução. Desta forma, mesmo que aumente o número de sítios de adsorção, a quantidade de boro retirada seria a mesma, uma vez que compostos tipo hidrotalcita não podem remover B(OH)₃ [4].

5. Conclusões

Os resultados encontrados atestaram uma eficiência da hidrotalcita calcinada para a remoção do boro em efluentes industriais, independente do controle do valor de pH para 9. Verifica-se que 10min foram suficientes para o estado de equilíbrio ser alcançado nos experimentos de remoção.

A hidrotalcita apresenta uma alta capacidade tampão e, conseqüentemente, a quantidade de boro foi removida independente do pH inicial do efluente. Desta forma, não se faz necessária a correção do pH do efluente

salino num processo industrial para a remoção de boro. Por outro lado, a remoção do boro foi dependente da concentração do adsorvente. Quando se utiliza uma concentração de hidrotalcita de 40g/L(8000 m²/g), consegue-se obter uma quantidade de boro final de 5mg/L, assim, este sistema de tratamento revela-se capaz de remover o boro do efluente industrial com elevada salinidade aos níveis exigidos de descarte pela legislação ambiental vigente [26].

Em resumo, esta pesquisa demonstra que este adsorvente pode ser usado tanto como um novo material para o tratamento de efluentes salinos contendo boro ou como participar em uma das etapas do processo do tratamento, já que o mesmo não requer nenhum reagente especial.

Referências bibliográficas

- [1] Okay, O., Güçlü, H., Soner, E., Balkas, T. "Boron pollution in the Simav river, Turkey and various methods of boron removal". *Water Res.* 1985, 19, 857–862.
- [2] Peak, D., Luther, G.W., Sparks, D.L. "ATR-FTIR spectroscopic studies of boric acid adsorption on hydrous ferric oxide". *Geochim. Cosmochim. Acta* 2003, 67, 2551–2560.
- [3] WHO. "Guidelines for Drink-Water Quality". Second ed., Addendum to Vol. 2. World Health Organization, Geneva (1998).
- [4] Ferreira, O. P., Moraes, S.G., Durán, N., Cornejo, L., Alves O.W. "Evaluation of boron removal from water by hydrotalcite-like compounds". *Chemosphere*, 2006, 62, 80.
- [5] Garcia-Soto, M. F., Camacho, E. M. "Boron removal by means of adsorption with magnesium oxide". *Sep. Purif. Technol.* 2006, 48, 36-44.

- [6] Goldberg, S., Forster, H.S., Heick, E.L. "Boron adsorption mechanism on oxides, Clay Minerals, and soils inferred from ionic strength effects". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1993, 57, 704–708.
- [7] Keren, R., Grossl, P.R., Sparks. "Equilibrium and kinetics of borate adsorption-desorption on pyrophyllite in aqueous suspensions". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994, 58, 1116–1122.
- [8] Smith, B.M., Todd, P., Bowman, C.N. "Boron removal by polymer-assisted ultrafiltration". *Separ. Sci. Technol.* 1995, 30, 38–59.
- [9] Rajakovic, Lj.V., Ristic, M.Dj. "Sorption of boric acid and borax by activated carbon impregnated with various compounds". *Carbon.* 1996, 34, 769–774.
- [10] LOU, J., FOUTCH, G.L., JUNG, W.N. "The sorption capacity of boron on anionic-exchange resin". *Separ. Sci. Technol.* 1999, 34, 2923–2941.
- [11] Simonnot, M.-O., Castel, C., Nicolai, M., Rosin, C., Sardin, M., Jauffret, H. "Boron removal from drinking water with a boron selective resin: is the treatment really selective?" *Water Res.* 2000, 34, 109–116.
- [12] Öztürk, N., Kavak, D. "Boron removal from aqueous solutions by adsorption on waste sepiolite and activated sepiolite using full factorial design". *Adsorption* 2004, 10, 245–257.
- [13] Polat, H., Vengosh, A., Pankratov, I., Polat, M. "A new methodology for removal of boron from water by coal and fly ash". *Deslination* 2004, 164, 173–188.
- [14] Lazaridis, N. K., Asouhidou, D. D. "Kinetics of sorptive removal of chromium(VI) from aqueous solutions by calcined Mg–Al–CO₃ hydrotalcite". *Water Res.*, 2003, 37, 2875.
- [15] Seida, Y., Nakano, Y. "Removal of phosphate by layered double hydroxides containing iron". *Water Res.* 2002, 36, 1306.
- [16] Manju, G.N., Gigi, M.C., Anirudhan, T.S. "Hydrotalcite as adsorbent for the removal of chromium (VI) from aqueous media: equilibrium studies". *Indian Journal of Chemical Technology* 1999, 6, 134–141.
- [17] Goswamee, R. L., Sengupta, P., Bhattacharyya, K. G., Dutta, D. K. "Adsorption of Cr (VI) in layered double hydroxides". *Appl. Clay Sci.*, 1998, 13, 21.
- [18] Booker, N. A., Keir, D., Priestley, A., Rithchie, C. D., Sudarmana, D. L., Woods, M. A. "Sewage clarification with magnetite particles". *Water Sci. Technol.* 1991, 123, 1703.
- [19] Crepaldi, E. L., Valim, J. B. "Hidróxidos Duplos Lamelares: Síntese, Estrutura, Propriedades e Aplicações". *Química Nova*, São Paulo, 1998, v. 21, n. 3, 300.
- [20] Béres, A., Palinko, I., Kiricsi, I., Nagy, J. B., Kiyozumi, Y., Mizukami, F. "Layered double hydroxides and their pillared derivatives ± materials for solid base catalysis; synthesis and characterization". *Appl. Catal. A*, 1999, 182, 237.
- [21] Kumbhar, P. S., Sanchez-Valente, J., Figueiras, F. J. "Modified Mg–Al hydrotalcite: a highly active heterogeneous base catalyst for cyanoethylation of alcohols". *Chem. Commun.*, 1998, 1091.
- [22] Kagunya W, Hassan Z, Jones W. "Catalytic properties of layered double hydroxides and their calcined derivatives". *Inorg. Chem.*, 1996, 35, 5970.
- [23] Vatier, J., Ramdani, A., Vitre, M.T., Mignon, M. "Antacid activity of calcium

- carbonate and hydrotalcite tablets. Comparison between in vitro evaluation using the 'artificial-stomach-duodenum' model and in vivo pH-metry in healthy volunteers". *Arzneimittelforschung* 1994, 44, 514.
- [24] Péres, C. N. "Preparação, Caracterização e Atividade Catalítica na Condensação Citral/Acetona". Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil (2001).
- [25] Souza, L. G. "Estudo da remoção de ânions de águas residuárias, por meio de sorção em hidróxidos duplos lamelares do tipo Mg-Al-CO₃". Dissertação de Mestrado. EQ/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil (2008).
- [26] CONAMA. "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências". Resolução nº 357 (2005).
- [27] Kameda, T.; Yabuuchi, F.; Yoshioka, T. et al. "New Method of treating dilute mineral acids using magnesium-aluminum oxide". *Water Research*. 2002, v. 37, 1545-1550
- [28] Cardoso, L. P. "Estudo da remoção de compostos orgânicos derivados da produção de poliéster presentes em efluentes industriais, por meio de sorção em hidróxido duplos lamelares do sistema Mg-Al-CO₃". Ribeirão Preto/SP/Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo (2002).
- [29] Kameda, T.; Yoshioka, T.; Hoshi, T.; Uchida, M.; Okuwaki, A. "The removal of chloride from solutions with various cations using magnesium-aluminum oxide". *Separation and Purification Technology*. 2005, V. 42, p. 25-29.
- [30] Châtelet, L., Bottero, J. Y., Yvon, J., Bouchelaghem, A. "Competition between monovalent and divalent anions for calcined and uncalcined hydrotalcite: anion exchange and adsorption sites". *Colloids Surf., A*. 1996, 111, 167 – 173.
- [31] Das, J., Das, D., Dash, G.P., Parida, K.M. "Studies on Mg/Fe hydrotalcite-like compounds (HTLc)—I. Removal of inorganic selenite (SeO₃²⁻) from aqueous medium". *J. Colloid Interf. Sci.* 2002, 251, 26–32.
- [32] Cavani, F., Trifiro, F., Vaccari, A. "Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications". *Catal. Today* 1991, 11, 173–301.

Abstract

Hydrotalcite (HTs) are layered double hydroxides (LDHs) consisting of brucite-like sheets of metal ions (Mg-Al). In this study, hydrotalcites were synthesized and the boron removed from the oilfield wastewater was evaluated. LDHs were synthesized by coprecipitation method and were then characterized using X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), thermogravimetric analysis (TGA) and specific surface (BET). The affinity of LDHs for borate ion was evaluated as a function of contact time, initial pH of oilfield wastewater, available LDH surface area and boron concentration. The tests were conducted at room temperature. The results indicated that, during boron removal, it took 2 h to reach a state of equilibrium, independent of the initial pH of the oilfield wastewater, due to LDHs high buffering capacity. Adsorption capacity increased with higher levels of adsorbents for the studied range. After treatment of the effluent containing 30mg.L⁻¹ boron with Mg-Al-CO₃ hydrotalcite, the final concentration of boron was within the discharge limits mandated by current Brazilian environmental legislation (CONAMA 357/2005) of 5 mg.L⁻¹.

Keywords: Boron Removal, Layered double hydroxides, industrial effluent.

TRICHOMONAS VAGINALIS como possível risco de facilitação na transmissão do vírus da imunodeficiência humana em mulheres indígenas da etnia TERENA

Antonio Neres Norberg¹, Andréa Puppim Moreira de Siqueira², Fabiano Guerra Sanches³, Ana Carolina Torres³, Paulo Roberto Blanco Moreira Norberg⁴, Margareth Maria de Carvalho Queiroz⁵, Fabiana Sousa Pugliese⁶

¹ Docente da Universidade Iguazu – UNIG, UNIABEU – Centro Universitário, Fundação Técnico Educacional Souza Marques. Coordenador e docente dos cursos de Mestrado e Doutorado em Doenças Parasitárias da Universidad Autónoma de Asunción – UAA – Paraguay. E-mail: norberg@uol.com.br

² Docente do UNIABEU Centro Universitário, enfermeira do Hospital Geral de Nova Iguazu, mestranda em Educação e Saúde no Centro Universitário Plínio Leite – UNIPLI. E-mail: andrepuppim@ig.com.br

³ Docentes da Universidade Iguazu – UNIG, mestres e doutorandos em Doenças Parasitárias na Universidad Autónoma de Asunción – UAA. E-mail: fab.gs@bol.com.br e ana.biovet@bol.com.br

⁴ Pesquisador em políticas indigenistas associado ao Centro de Estudos em Saúde Indígena da Universidade Iguazu - UNIG. Mestre e Doutor em Direito Internacional pela Universidad Autónoma de Asunción – UAA – Paraguay. E-mail: paulonorberg@gmail.com.br

⁵ Docente da Universidade Iguazu – UNIG, docente dos cursos de Mestrado e Doutorado em Doenças Parasitárias da Universidad Autónoma de Asunción – UAA - Paraguay e pesquisadora da Fundação Instituto Oswaldo Cruz – FIOCRUZ. E-mail: mmcqueiroz@ioc.fiocruz.br

⁶ Coordenadora e docente do curso de Farmácia da Universidade Iguazu – UNIG. E-mail: fabianaugliese@ig.com.br

Resumo

Trichomonas vaginalis é um protozoário flagelado parasito do trato urogenital humano. A tricomonose é a doença sexualmente transmissível não-viral mais frequente no mundo. Na mulher, a infecção tem sido relacionada a sérias sequelas como doença inflamatória pélvica, câncer cervical, parto prematuro e baixo peso de recém-nascidos de mães parasitadas. O T. vaginalis tem a capacidade de fagocitar linfócitos infectados pelo HIV, bem como incorporar partículas virais isoladas, além de causar lesões focais na mucosa vaginal que aumentam o risco de infecção pelo vírus. Dessa maneira, o protozoário adquire importância na transmissão do HIV para novos hospedeiros. Neste estudo foi pesquisada a infecção por T. vaginalis em 25 mulheres indígenas da aldeia Moreira, município de Miranda, Mato Grosso do Sul, que apresentavam problemas ginecológicos. O material para diagnóstico foi coletado da região endocervical e o procedimento de diagnóstico foi realizado por exame direto a fresco. A positividade de T. vaginalis entre as 25 mulheres examinadas foi de 16%. Aspectos culturais relativos à população indígena, dificuldades para alterações dos hábitos sexuais, doenças assintomáticas, exames de diagnóstico inacessíveis e atendimento médico precário são fatores que influenciam na prevalência de T. vaginalis nas mulheres indígenas da aldeia estudada. Os resultados mostram a necessidade urgente de promover atendimento à saúde e a educação preventiva à população indígena.

Palavras-chave: Trichomonas vaginalis, vulvovaginite, mulheres indígenas

1. Introdução

Trichomonas vaginalis é o agente etiológico da tricomonose urogenital humana. É uma infecção do trato geniturinário transmitida de forma horizontal, principalmente pelo ato sexual. Figura dentre as doenças sexualmente transmissíveis (DST) não-viral como uma das mais difundidas, com 250 a 350 milhões de novos casos ocorrendo a cada ano (WHO, 1991; Gabase *et al.*, 1998; Weinstock *et al.*, 2004; Coura, 2005; Michel *et al.*, 2006).

O primeiro relato clínico de *T. vaginalis* data de 1836, quando o pesquisador francês Alfred Donné observou o protozoário em uma preparação a fresco de corrimento vaginal proveniente de uma paciente com vaginite (Donné, 1836). Da mesma forma, em 1883 Kunstler identificou este flagelado no trato urogenital feminino e apenas em 1916 Hoene o associou como provável agente de infecção vaginal (*apud* Coura, 2005). No entanto, muitos anos se passaram sem que a tricomonose urogenital humana despertasse grande interesse clínico. A razão disso é que a atenção estava voltada para tratamento e diagnóstico de outras DST, como a gonorréia e a sífilis, consideradas as doenças mais importantes devido à alta incidência e morbidade. A partir da década de 1940, com o advento dos antibióticos, *T. vaginalis* foi gradualmente aceito como um patógeno primário nas infecções do trato urogenital feminino. Com a expansão da epidemia causada pelo Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV) na década de 1980, muitos países viram-se obrigados a destinar enormes financiamentos para a pesquisa direcionada principalmente para as áreas de imunologia, bioquímica e biologia molecular do vírus e para a elaboração de vacinas e medicamentos. Uma parcela destes investimentos foi aplicada nos estudos epidemiológicos, os quais revelaram um

panorama nefasto da Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (SIDA) e de outras DST (Veronesi & Focaccia, 2004; Coura, 2005; Rey, 2008). Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1995), 172 milhões de novos casos de tricomonose urogenital humana ocorrem anualmente no mundo. No Brasil, um levantamento epidemiológico realizado pela Coordenação Nacional de DST do Ministério da Saúde revelou que o número de homens infectados com *T. vaginalis* em 2001 era de 208.500 e de mulheres era de 2.672.200. A estimativa da incidência naquele ano foi de 2,9% para mulheres e de 0,7% para os homens (Coura, 2005). Outro comunicado do Ministério da Saúde notificou que de 1980 até 2003, 310 mil pessoas contraíram HIV no Brasil. Demonstrou-se que *T. vaginalis* representa um importante papel na dinâmica da transmissão do HIV, visto que a patogenia causada pelo *T. vaginalis* associada às lesões focais na mucosa vaginal e a resposta inflamatória a ele dirigida aumenta o risco de infecção pelo vírus. Aliado a isso, *T. vaginalis* tem a capacidade de fagocitar linfócitos infectados com HIV, bem como pode incorporar as partículas virais isoladas, as quais permanecem no interior de vesículas endocíticas por até 48 horas (Rendón, 2003). A tricomonose está associada ao aumento da transmissão do HIV (Fleming *et al.*, 1999; Michel *et al.*, 2006). Homens HIV positivos com tricomonose têm inúmeras partículas no sêmen, facilitando a transmissão do HIV para outras pessoas (Hobbs *et al.*, 1999). A infecção pelo *T. vaginalis* expande a porta de saída em pacientes HIV positivos e expande a porta de entrada para pacientes HIV negativos (Sovillo *et al.*, 2001). Estima-se que 24% das infecções associadas pelo HIV são diretamente atribuíveis a infecções pelo *T. vaginalis* portador do vírus. Portanto,

o controle da tricomonose pode representar um meio eficaz para diminuir o risco de transmissão do HIV para novos hospedeiros (Rendón *et al.*, 2003; Michel *et al.*, 2006). No homem, a tricomonose é menos frequente que na mulher, geralmente assintomática, mas pode variar de um caso clínico agudo, caracterizado por uretrite purulenta abundante a doença assintomática leve, clinicamente indistinguível de uretrites por outras etiologias (Petrin *et al.*, 1998). Estudos recentes indicam que o impacto da tricomonose não está limitado à vaginite e uretrite (Michel *et al.*, 2006). Na mulher, a infecção pelo *T. vaginalis* pode causar sérias consequências, como doença inflamatória pélvica (Hoene & McGregor, 1993), câncer cervical (Kharsany *et al.*, 1993; Zhang & Begg, 1994), parto prematuro e baixo peso de bebês nascidos de mães infectadas (Cotch *et al.*, 1997; Michel *et al.*, 2006).

Este trabalho foi realizado pela equipe de pesquisa em saúde da Universidade Iguazu e teve como objetivo investigar a incidência de *T. vaginalis* em mulheres indígenas da etnia Terena da aldeia Moreira, situada no município de Miranda, estado de Mato Grosso do Sul, e que apresentavam problemas ginecológicos.

2. Materiais e Métodos

O grupo populacional envolvido foi constituído por mulheres indígenas sexualmente ativas e pertencentes à aldeia Moreira, localizada no município de Miranda, estado de Mato Grosso do Sul. A pesquisa foi realizada com 25 mulheres adultas e selecionadas por prévio exame ginecológico. O projeto foi aprovado pela Comissão de Ética da Universidade Iguazu. As pacientes consentiram expressamente com o exame ginecológico e a coleta do material para investigação e tratamento dos

casos positivos, após a explicação detalhada de todos os procedimentos de exame e pesquisa a que seriam submetidas. O estudo compreendeu a coleta de dados para anamnese, exame ginecológico e coleta do material. Nos dados da anamnese constaram idades, número de parceiros sexuais, paridade, hábitos na relação sexual e queixa principal.

Para a coleta do material utilizou-se um espéculo vaginal estéril e descartável, e com o auxílio de um suabe coletou-se secreção do fundo de saco vaginal. Imediatamente o algodão do suabe foi lavado em tubo de vidro contendo 5 mL de salina estéril. Os tubos foram centrifugados a 2000 rpm por 5 minutos. Descartou-se o líquido sobrenadante e o sedimento foi colocado em lâmina, coberto com uma lamínula e observado ao microscópio com aumento de 400 vezes. *T. vaginalis* foi identificada pelas características morfológicas e mobilidade.

3. Resultados

Os resultados obtidos pela pesquisa direta de *T. vaginalis* em 25 mulheres indígenas portadoras de problemas ginecológicos demonstraram quatro amostras positivas que correspondem a 16% do total examinado.

4. Discussão e conclusões

A pesquisa foi motivada pela carência de dados na literatura que indiquem a incidência de infecções por *T. vaginalis* na população indígena. Este protozoário é geralmente transmitido através do ato sexual e pode evoluir para graves complicações e sequelas importantes conforme referências de vários pesquisadores (Kharsang *et al.*, 1993; Petrin *et al.*, 1998; Veronesi e Focaccia, 2004; Coura, 2005).

Estudo clínico-laboratorial de doenças sexualmente transmissíveis entre mulheres indígenas da etnia Parakanã evidenciou a presença de infecção por *T. vaginalis* em 7,8%, entre 71 pacientes examinadas (Brito *et al.*, 1992). Na primeira região do Chile, existe um grupo étnico Aymará de especial importância pelas suas características socioculturais e geográficas, cuja origem remonta ao século V a.C., caracterizado por um sistema social fechado formado por agricultores, pescadores e pastores. Este grupo mantém uma dinâmica de desenvolvimento e crescimento tipicamente nômade. Pesquisas realizadas para determinar a prevalência de diversos agentes de doenças sexualmente transmissíveis em 80 mulheres indígenas Aymarás que habitam a cordilheira e altiplano da primeira região do Chile revelaram a presença de vulvovaginite por *T. vaginalis* em 3,7% das pacientes examinadas (Lobato *et al.*, 1991). Outra pesquisa avaliou um grupo de indígenas também pertencentes à etnia Aymará que, em busca de melhores condições de vida, migrou para a cidade chilena de Arica, e 95 destas indígenas Aymarás que apresentavam problemas ginecológicos mostraram uma positividade de 10,5% para *T. vaginalis* (Montalvo *et al.*, 2004). Acredita-se que o aumento dos casos ocorreu pela promiscuidade encontrada na cidade, considerando que as Aymarás que permanecem em seu habitat natural na região do altiplano e cordilheira apresentaram uma positividade significativamente menor. Considerando as taxas de positividade de *T. vaginalis* encontradas em mulheres com vulvovaginite nas investigações realizadas por outros autores, o resultado da pesquisa entre mulheres indígenas da etnia Terena revelou um índice de positividade consistentemente maior que o observado em grupos populacionais semelhantes. Apesar da aldeia

Moreira constituir um grupo relativamente fechado, a proximidade com a cidade de Miranda e o incremento da interação entre as mulheres indígenas e a população do município vizinho pode constituir num possível risco de disseminação do Vírus da Imunodeficiência Humana, visto que o *T. vaginalis* é um fator potencializador da transmissão desta infecção viral.

Referências bibliográficas

- Brito, E.B.; Bastos, M.G.M.; Souza, A.; Martins, S. J.; Menezes, R. C. Estudo clínico laboratorial de doenças sexualmente transmissíveis entre índios Parakanã. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 25: 44, 1992.
- [1] Cotch, M.F.; Pastorek, J. G.; Nugent, R. *P. Trichomonas vaginalis* associated with low birth weight and pattern delivery. The vaginal infections and prematurity study group. Sex. Trans. Dis. 24: 353-360, 1997.
- [2] Coura, J. R. Dinâmica das Doenças Infeciosas e Parasitárias, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2006.
- [3] Donné, A. Animalicules observes dans les matieres purulents et le produit des secretion des organs génitiaux de l'homme e de la femme. CR Hebdom Séan Acad. Sci. 3: 385-386, 1836.
- [4] Fleming, D; Wasserheit, J.N.; From epidemiological synergy to public health policy and practice: the contribution of other sexually transmitted diseases to sexual transmission of HIV infection. Sex. Trans. Inf. 74:12-16, 1999.
- [5] Gabase, A.C.; Rowley, J.T.; Berkley, S.F.D.; Piot, P. Global prevalence and incidence estimates of selected curables STDs. Sex. Trans. Inf., 74:12-16, 1998.
- [6] Heine, P.; McGregor, J.A. *Trichomonas vaginalis*: a re-emerging pathogen. Clin. Obstet. Gynecol. 36:137-144, 1993.

- [7] Hobbs, M.M.; Kzembe, P.; Reed, A.W. *Trichomonas vaginalis* as a cause of urethritis in malawian men. *Sex. Trans. Dis.* 26:381-387, 1999.
- [8] Kharsany, A.B.; Hoosen, A.A.; Moodley, J. The association between sexually transmitted pathogens and cervical intra-epithelial neoplasia in a developing community. *Genitourin. Med.* 69:317-360, 1993.
- [9] Lobato, I; Montalvo, M.T.; Servadina, Q. Bósquez, C. Caballero, H.; Caba, F. Enfermedades transmissibles . *Trans. Sex.* 6(3): 80-86, 1991.
- [10] Michel, R.V.; Borges, F.P.; Wiltuschnig, R.C.M.; Neves, F.G.; Ribeiro, J.; Vieira, P.B.*et al.* Prevalence of trichomoniasis among women resident in the Papeleiros Slum in Porto Alegre, RS. *Rev. Bras. An. Clin.* 38(2): 127-130, 2006.
- [11] Montalvo, M.T.; Bósquez, C.; Lobato, I; Reyes, T.; Villanueva, H. *Trichomonas vaginalis* en la mujer Aymará residente en zona urbana. *Parasitol. Latino. Am.* 59: 171-174, 2004.
- [12] Petrin, D.; Delgaty, K; Bhatt, R. Clinical and microbiological aspects of *Trichomonas vaginalis*. *Clin. Microbiol. Rev.* 11:300-317, 1998.
- [13] Rendón-Maldonado, J.G.; Espinosa-Castellano, M.; Soler, M; Torres, J.V.; Martinez-Palomo, A. *Trichomonas vaginalis*: in vitro attachment and internalization of HIV-infected lymphocytes. *J. Euk. Microbiol.* 50:43-38, 2003.
- [14] Rey. L. *Parasitologia*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2008.
- [15] Sovillo, F.; Smith, L.; Kerndt, P. *Trichomonas vaginalis*, HIV and Africans. *Emerg. Infect. Dis.* 7:110-117, 2001.
- [16] Veronesi, R.; Focaccia, R. *Tratado de Infectologia*, Guanabara Kooga, Rio de Janeiro, 2004.
- [17] Weinstock, H.; Berman, S.; Cates, W.H. Sexually transmitted diseases among American youth: incidence and prevalence estimates, 2000. *Perspect Sex. Reprod. Health*, 36: 6-10, 2004.
- [18] World Health Organization. Global prevalence and incidence of selected curable sexually transmitted infections overviews and estimates. WHO, Geneva, 2-27, 1991.
- [19] World Health Organization. An overview of selected curable sexually transmitted diseases. In *Global Program on AIDS*, WHO, Geneva, 2-27, 1995.
- [20] Zhang, Z. F.; begg, C.V. Is *Trichomonas vaginalis* a cause of cervical neoplasia? Results from a combined analysis of 24 studies. *Int. J. Epidemiol.* 23: 682-690, 1994.

Abstract

Trichomonas vaginalis is a flagellated protozoan which parasites human urogenital tract. The trichomoniasis is the most common non-viral sexually disease transmitted in world. In women, the infection has been related to serious consequences such as pelvic inflammatory disease, cancer cervical, premature childbirth and low birth weight of newborns of parasitized mothers. *T. vaginalis* infections increases the risk of transmission and acquisition of the Human Immunodeficiency Virus. This study investigated the infection by *T. vaginalis* among 25 indigenous women from Moreira village, municipality of Miranda, Mato Grosso do Sul, which had gynecological problems. The material for diagnosis was collected from the endocervical region and the diagnostic procedure was performed by direct examination. The positivity of *T. vaginalis* between 25 women surveyed was 16%. Cultural aspects concerning the indigenous population, difficulties to change

sexual habits, asymptomatic diseases, inaccessible diagnostic tests and poor medical care are factors that influences the prevalence of T. vaginalis among indigenous women in the studied village. The results show the urgent need

to promote health care and preventive education to this indigenous population.

Keywords: *Trichomonas vaginalis, vulvovaginitis, indigenous women*