



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

HUGO GEOVANNI GOMES GAMBOA

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ANTICONGELANTES
PARA A ÁGUA GELADA PRODUZIDA POR UM CHILLER
DE ABSORÇÃO DE LiBr EM UMA USINA
TERMOELÉTRICA NA ABSORÇÃO DE GASES
POLUENTES

RECIFE
2016

HUGO GEOVANNI GOMES GAMBOA

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ANTICONGELANTES PARA A ÁGUA GELADA PRODUZIDA POR UM CHILLER DE ABSORÇÃO DE LiBr EM UMA USINA TERMOELÉTRICA NA ABSORÇÃO DE GASES POLUENTES

Dissertação apresentada ao Programa de
PósGraduação em Desenvolvimento em
Processos

Ambientais da Universidade Católica de
Pernambuco (UNICAP) como pré-requisito para
a obtenção do título de Mestre em
Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Área de Concentração: Desenvolvimento em
Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Modelagem e Otimização de
Processos.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Valdemir Alexandre dos Santos
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Leonie Asfora Sarubbo

RECIFE
2016

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes. Recife, 2016. 87 p.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

1. Anticongelantes, 2. Chiller de Absorção, 3. Refrigerantes Secundários, 4. Planejamento Experimental, 5. Integração Energética.

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais. Entro de Ciências e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ANTICONGELANTES
PARA A ÁGUA GELADA PRODUZIDA POR UM CHILLER
DE ABSORÇÃO DE LiBr EM UMA USINA
TERMOELÉTRICA NA ABSORÇÃO DE GASES**

HUGO GEOVANNI GOMES GAMBOA

Comissão Examinadora

Prof^o. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos (Orientador) Universidade
Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof^o. Dr. Francisco Madeiro Bernardino Júnior Universidade
Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof. Dra. Yana Batista Brandão
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Defendida em ____/____/____

Coordenadora: Prof^a. Dr^a. Clarissa Daisy Costa Albuquerque

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

“Agradeço a Deus, minha esposa e meus pais por toda a parceria ao meu lado, mas principalmente pelas dificuldades da vida, pois é com ela que eu consigo crescer e estar mais preparado para conquistar muito mais sonhos.”

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar”

William Shakespeare

AGRADECIMENTOS

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

Primeiramente a Deus por toda a sabedoria e benção fornecida para mim que é necessário para a formação de toda a minha vida e execução deste trabalho. Aos meus pais, José Florivaldo Gamboa de Santana e Maria das Dores Gomes todo o apoio financeiro e emocional durante toda minha existência e sem dúvidas para a realização deste trabalho.

Imensamente a minha esposa, Liliane Santos de Mello Gomes Gamboa por todo o amor, paciência e companheirismo durante todo o nosso relacionamento, que sem dúvidas foi fundamental para a formação dessa dissertação.

Aos meus familiares por toda a base fornecida de amor, fraternidade e sabedoria nessa parceria eterna que um ser humano precisa para seguir em frente dos seus sonhos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Valdemir Alexandre dos Santos, por toda as informações técnicas, apoio incondicional, paciência enorme, conhecimento vasto e além de tudo, parceria durante a realização desta dissertação. A minha Co-Orientadora, Professora Dra. Leonie Asfora Sarubbo, pelo apoio técnico e logístico na realização deste trabalho

Muito aos amigos Rosangela Cristina da Silva Renauth e Robson Vasconcelos, por todo o apoio fornecido com seus conselhos valiosos, paciência enorme e disposição imensa para a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação (CGTI) pelo apoio técnico concedido.

Aos meus colegas de turma do mestrado, que foram muito importantes nas convivências durante esses 2 anos, união, parceria e conselhos valiosos para a formação da dissertação.

Aos professores do mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais da UNICAP pelo conhecimento e conselhos passados durante esses dois anos.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------|----|
| <u>AGRADECIMENTOS</u> | vi |
| <hr/> | |
| <u>LISTA DE TABELAS</u> | ix |
| <hr/> | |
| <u>LISTA DE FIGURAS</u> | ix |
| <hr/> | |
| <u>LISTA DE ABREVIATURAS</u> | x |
| <hr/> | |

RESUMO

12

ABSTRACT

13

CAPÍTULO 1

14

1. INTRODUÇÃO

.....15

2. OBJETIVOS

.....16

2.1. Objetivo Geral16

2.2. Objetivos Específicos16

3. REVISÃO DE LITERATURA

.....17

3.1. Histórico17

| | |
|---|----|
| 3.2. Descrição do Ciclo de Refrigeração | 18 |
| 3.2.1 Sistemas de Refrigeração | 19 |
| 3.2.2 Refrigeração por Absorção | 20 |
| 3.2.3 Tipos de Sistemas de Absorção | 22 |
| 3.2.4 Refrigerante e Absorvente..... | 25 |
| 3.2.5 Refrigerantes Primários | 29 |
| 3.2.6 Refrigerantes Secundários | 29 |
| 3.3. Propriedades Termofísicas | 30 |
| 3.3.1 Viscosidade | 30 |
| 3.3.2 Ponto de Congelamento | 31 |
| 3.3.3 Ponto de Ebulição | 31 |
| 3.3.4 Calor Específico | 31 |
| 3.3.5 Condutividade Térmica | 31 |
| 3.4. Soluções Aquosas de Álcoois | 32 |
| 3.5. Chiller de Absorção | 34 |
| 3.6. Análise Termodinâmica | 36 |
| 3.7. Estudos Teóricos-Experimentais | 38 |
| 3.8. Metodologia de Superfície de Resposta – MSR | 40 |
| 3.8.1 Planejamento Experimental | 40 |
| 3.8.2 Delineamento Composto Central Rotacional – DCCR | 41 |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes. x

| | |
|----------------|----|
| 4. Referências | 42 |
|----------------|----|

CAPÍTULO 2
50

| | |
|-------------------------|----|
| INTRODUÇÃO | 54 |
| E MÉTODOS | 55 |
| RESULTADOS E DISCURSSÃO | 58 |
| REFERÊNCIAS | 78 |

CAPÍTULO 3
83

| | |
|-------------------|----|
| CONCLUSÕES GERAIS | 84 |
| ANEXOS | 85 |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Pares de Refrigerante – Absorvente..... | |
| 28 | |
| Tabela 2 – Diferenças entre os sistemas de absorção..... | |
| 30 | |
| Tabela 3 – Definição do estado e do fluido de trabalho em cada ponto do <i>chiller</i> | |
| de absorção de LiBr de duplo efeito | 39 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- (a) Processos de absorção produzindo o efeito de refrigeração e (b) dessorção de refrigerante necessitando de uma fonte de calor | |
| 21 | |
| Figura 2 – Comparação entre os dois tipos de transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão para sistemas de refrigeração por compressão a vapor e absorção..... | 23 |
| Figura 3 – Esquema de um sistema de refrigeração por absorção..... | 23 |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

| | |
|--|----|
| Figura 4 – Sistema de refrigeração por absorção de simples efeito H ₂ O/LiBr.. | 25 |
| Figura 5 – Transformador de calor por absorção..... | 26 |
| Figura 6 – Esquema do ciclo GAX..... | 27 |
| Figura 7 – Diagrama de entalpia-concentração para H ₂ O-LiBr..... | 31 |
| Figura 8 – Esquema com componentes básico em um <i>chiller</i> de absorção de duplo efeito..... | 37 |
| Figura 9 – Sistema percorrendo um ciclo de refrigeração ou de bomba de calor enquanto troca energia por transferência de calor com dois reservatórios..... | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS

DCCR – Delineamento Composto Central e Rotacional

UTE – Usina Termelétrica

GAX – Generator Absorber heat Exchange

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma Usina Termoelétrica na Absorção de Gases Poluentes.

PG – Propileno Glicol

EG – Etileno Glicol

MCI – Motor de Combustão Interna

GLY – Glicerol

DMSO – Dimetilsulfóxido

PEG – Poli Etileno Glicol

RESUMO

Um menor consumo específico de combustível tem sido um dos principais motivos para realização de pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos na área de produção térmica de energia. Uma das opções para se chegar a essa condição desejada é um controle eficiente da temperatura do bloco do motor do grupo gerador em uma termelétrica. Para isso, foram testados diferentes anticongelantes, os quais conferiram à água deionizada de preparação do refrigerante secundário, reduções em suas propriedades termofísicas de calor específico e condutividade térmica. Após a escolha do anticongelante com auxílio de experimentos, utilizando-se Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e propondo um modelo de previsão, a solução de etilenoglicol a 30% teve seu desempenho em relação à água deionizada testado em uma unidade de bancada de um grupo gerador diesel. Os dados experimentais sobre a resposta da solução aquosa de etilenoglicol, frente a variações de temperatura na entrada do bloco do motor do grupo gerador foram acompanhados e armazenados em um registrador eletrônico (*fieldlogger*) e, posteriormente, analisado graficamente com auxílio de um computador. Apesar de um menor valor para o calor específico da solução aquosa de etilenoglicol ter, como esperado, produzido pulsos de respostas mais rápidas às variações de temperatura na entrada do bloco, a partir dos 70 °C a redução na condutividade térmica contribuiu para produção de pulsos menores para a água deionizada pura. Contudo, na faixa de potência testada a solução aquosa de etilenoglicol apresentou vantagens com redução de consumo específico da ordem de 42% entre 68 °C e 75 °C.

Palavras-chave: Consumo específico, Grupo gerador diesel, DCCR, Propriedades termofísicas, Refrigerante secundário.

ABSTRACT

A lower specific fuel consumption has been the main reason for conducting research and technological developments in thermal production area of energy. One of the options to reach that desired condition is an efficient control of the engine block temperature in the generator group of a thermal plant. To this, they were tested different antifreeze, which gave the deionized water in preparation for the secondary refrigerant, reductions in thermos physical properties of their specific heat and thermal conductivity. After choosing the antifreeze with the help of experimental design using central composite rotate design (CCRD), the 30 % ethylene glycol solution had their performance compared to deionized water on a bench scale unit of a diesel generator group. Experimental data on the response of aqueous solution of ethylene glycol, against temperature variations at the entrance of the generator motor unit were monitored and stored in an electronic register (FieldLogger) and subsequently analyzed graphically with the aid of a computer. Although a lower value for the specific heat of the aqueous ethylene glycol solution had, as expected, produced pulses faster response to temperature changes in the engine block input, from the 70 ° C reduction in thermal conductivity contributed to production of pulses lower for pure deionized water. However, in the power range tested the aqueous solution of ethylene glycol presented as advantages a reduction of specific fuel consumption of the order of 42% between 68 °C and 75 °C.

key words: Specific fuel consumption, Diesel generator group, CCRD, Thermophysical properties, Secondary coolant.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

A maioria dos equipamentos de refrigeração usados atualmente baseia-se nos ciclos de refrigeração a vapor, que são divididos em dois grupos principais, por compressão e absorção. Refrigeração é o processo de retirada de calor de um espaço ou corpo com a finalidade de reduzir sua temperatura, transferindo esse calor para outro espaço ou corpo (PALMIERI, 2013).

Os sistemas de refrigeração empregam líquido cujos pontos de ebulição podem estar muitos graus abaixo de zero e dos quais são conhecidos os pontos de ebulição para diversas pressões, isto é, fluidos refrigerantes que apresentam composições bem definidas, estabilidade química e características pressão-temperatura conhecidas. Pelo uso de diversos dispositivos mecânicos, a pressão no interior do sistema pode ser mantida em qualquer valor desejado e, conseqüentemente, é possível variar a temperatura do fluido fazendo com que ele absorva calor de um meio externo, para se evaporar. A partir desta retirada de calor do meio, sua temperatura reduz, tornando-se um espaço refrigerado (SAG, 2015).

O sistema de absorção foi patenteado nos Estados Unidos em 1860 pelo francês Ferdinand Carré (STOECKER; JONES, 1985). Desde esta primeira máquina, a popularidade de sistemas de absorção teve várias oscilações devido a condições econômicas e de desenvolvimento tecnológico (DORGAN *et al.*, 1995).

A necessidade de otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempos operacionais têm levado a uma enorme busca por técnicas sistemáticas de planejamento de experimentos. A metodologia do planejamento do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes). É uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida na década de 50, que, desde então, tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BARROS; SCARMINIO; BRUNS, 1996).

Esse tipo de delineamento foi desenvolvido, visando inicialmente a sua utilização em pesquisas da indústria, bem como na química. Esses pesquisadores afirmam que o delineamento composto central rotacional da superfície de resposta é o método de análise de resultados que proporciona um número maior de informações (MYERS; MONTGOMERY, 1995).

2. OBJETIVOS

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

2.1. Objetivo Geral

Estudar, experimentalmente, as diferenças de propriedades entre a água gelada a ser produzida por um chiller de absorção de LiBr, antes e após a adição de substâncias anticongelantes, em um sistema de integração energética de uma Usina Termelétrica (UTE). Isto visa melhorar as condições operacionais para a referida instalação, e possibilitar a redução de impactos ambientais negativos com uma redução na emissão de materiais particulados durante a queima de combustível e aumentar a eficiência do motor à combustão interna (MCI).

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar experimentos para medir propriedades termofísicas de refrigerantes secundários compostos de água e diferentes anticongelantes.
- Propor modelos de previsão para as propriedades de cada refrigerante secundário obtido.
- Comparar e escolher um anticongelante adequado às instalações de um grupo gerador diesel.
- Testar e comparar o desempenho do refrigerante secundário escolhido com água deionizada.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Histórico

Por volta do ano de 1800 foi construído o primeiro sistema de refrigeração usando a solução água e ácido sulfúrico. Sir John Leslie, físico e matemático, projetou tal equipamento constituído por dois reservatórios interligados com pressão negativa, a água contida em um dos reservatórios absorvia o ácido sulfúrico contido no outro, reduzindo, assim, a pressão no sistema e a temperatura dos reservatórios (ALMEIDA, 2006).

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Em 1930 o sistema de refrigeração proposto por Ferdinand Carré passou a integrar o mercado. Essa demora se deveu aos seguintes fatores:

- Alto custo da energia mecânica e elétrica necessárias ao equipamento; □ motores elétricos eram grandes, pesados, caros e com elevado nível de ruídos; □ a máquina era, em geral, muito grande para ser transportada e comercializada.

Com o advento da tecnologia e da refrigeração mecânica, os sistemas de refrigeração tornaram-se bastante complexos e os processos de produção do frio fundamentaram-se na vaporização contínua do líquido refrigerante:

- Por meio de ejeção de vapor, usada nas máquinas frigoríficos de vapor d'água;
- por meios mecânicos nas máquinas frigoríficos de compressão de vapor e,
- por meio de aquecimento, método usado nas chamadas instalações de absorção.

Dentre estes sistemas, os dois últimos são sem dúvida os mais importantes e utilizados na indústria e no comércio (PALMIERI, 2013).

Na década de 1950, um sistema utilizando o brometo de lítio e água como fluido de trabalho foi criado para aplicações industriais. Poucos anos depois, um sistema de absorção de duplo efeito foi criado e começou a ser utilizado como um padrão industrial para sistemas de refrigeração com alto desempenho (CANTARUTTI, 2011).

Existem três tipos de tecnologias de refrigeração por absorção dominam o mercado mundial, são elas (ALMEIDA, 2006):

- Refrigeradores que utilizam a solução brometo de lítio e água;
- refrigeradores que utilizam a solução amônia e água e,
- aqueles que trabalham com amônia, água e hidrogênio.

Couto (2004) conclui que a realidade brasileira em relação ao ciclo por absorção se enquadra na primeira opção, principalmente naqueles do tipo fogo direto, ou seja, aqueles que possuem queimadores de gás natural instalados no gerador da máquina.

3.2. Descrição do Ciclo de Refrigeração

O ciclo de refrigeração por absorção transfere calor da região de baixa temperatura para a região de alta temperatura através de processos de absorção e dessorção do fluido refrigerante na fase vapor de uma solução líquida (que é normalmente uma mistura binária composta pelo refrigerante e uma outra substância, por exemplo, um sal como o brometo de lítio).

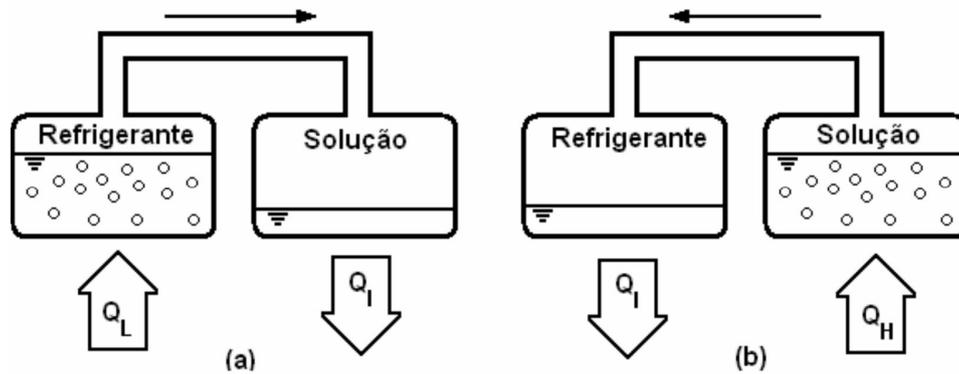
Durante o processo de absorção há transferência de calor para a região de temperatura intermediária (meio ambiente para um ciclo de refrigeração) e durante o processo de dessorção há fornecimento de calor para o ciclo a partir de uma fonte de calor a alta temperatura, conforme mostrado na Figura 1, além de uma nova transferência de calor para a região de temperatura intermediária. O ciclo de absorção é composto por, basicamente, quatro processos, sendo dois deles caracterizados por trocas de calor e os dois outros caracterizados por trocas simultâneas de calor e massa.

Estes processos são os seguintes (ROCHA, 2010):

- Vaporização do refrigerante no evaporador;
- absorção do refrigerante pela solução no absorvedor;
- separação (dessorção) do refrigerante no gerador e, \square condensação do refrigerante no condensador.

Figura 1- (a) Processos de absorção produzindo o efeito de refrigeração e (b) dessorção de refrigerante necessitando de uma fonte de calor

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.



3.2.1. Sistemas de Refrigeração

Aphornratana e Eames (1995) foram os pioneiros na utilização da análise exegética e desenvolveram uma metodologia de fácil aplicação para o uso da análise pela segunda Lei da Termodinâmica em ciclos de refrigeração por absorção de simples efeito que utilizam o par água-brometo de lítio ($H_2O-LiBr$). Dois sistemas de refrigeração são facilmente encontrados, o *chiller* por compressão a vapor e o *chiller* de absorção. Ambos são semelhantes, porém o ciclo de absorção é similar em certos aspectos ao ciclo de compressão de vapor: os dois ciclos operam com um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, a diferença entre os dois está na maneira que o vapor de baixa pressão do evaporador é transformado em vapor de alta pressão. Os ciclos de compressão a vapor utilizam um compressor para realizar esta tarefa. Já para os ciclos de absorção podemos dividir a transformação de vapor de baixa em de alta pressão em três etapas (PALMIERI, 2013; QUEIROZ, 2013):

1ª Etapa - O sistema de absorção, o vapor de baixa pressão é absorvido em um líquido absorvente apropriado, isso condicionado a conversão de vapor em líquido, ou seja, condensação, que implica na rejeição de calor;

2ª Etapa - Eleva-se a pressão do líquido resultante com o auxílio de uma bomba hidráulica.

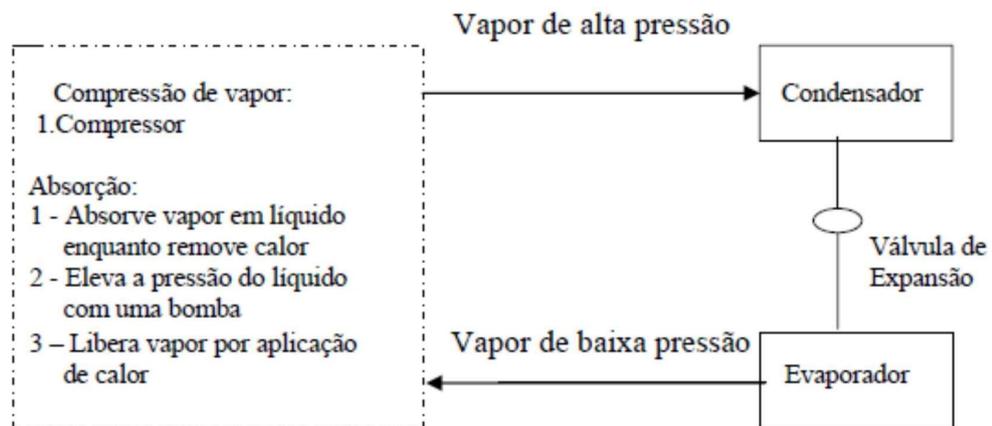
3ª Etapa - Libera-se vapor do líquido à alta pressão por adição de calor.

Mesmo apresentando um maior consumo de energia térmica estes sistemas de absorção são vantajosos por operarem com baixo consumo de energia elétrica, o qual pode chegar em torno de 1 a 4 % do consumo de energia elétrica do *chiller* de compressão, por exemplo (VENTURINI *et al.*, 2006).

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

A Figura 2, resume as três fases na transformação de vapor de baixa em de alta pressão.

Figura 2 – Amostra entre os dois tipos de transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão para sistemas de refrigeração por compressão a vapor e absorção (Stoecker; Jones, 1985)



3.2.2. Refrigeração por Absorção

Os sistemas de refrigeração por absorção utilizam uma fonte de calor para produzir o efeito de refrigeração. Nestes sistemas o refrigerante absorve o calor a uma baixa temperatura e pressão durante a evaporação. O vapor do refrigerante é absorvido a “frio” por uma solução. Posteriormente, esta solução é aquecida separando novamente o refrigerante, o qual irá liberar o calor a uma alta temperatura e pressão durante sua condensação (CANTARUTTI, 2011).

O interesse pela utilização de sistemas de refrigeração por absorção vem aumentando devido às possibilidades de emprego de rejeitos térmicos de processos industriais e sistemas de potência (como os gases efluentes de turbinas a gás) como insumo energético, além de apresentar uma alternativa tecnológica aos ciclos de refrigeração que empregam CFC's (ROCHA, 2010).

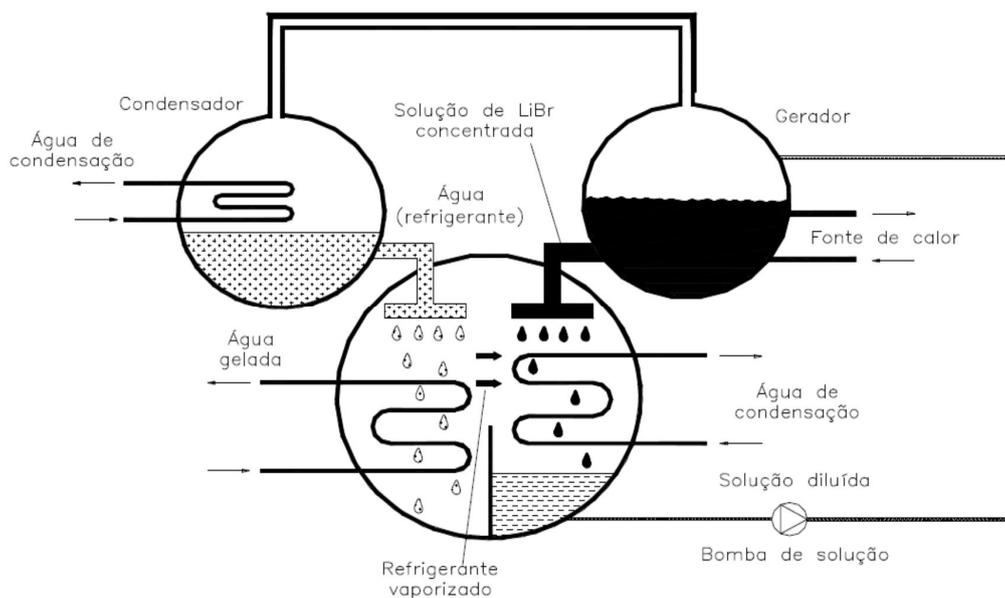
A Figura 3 apresenta a composição de um sistema de refrigeração por absorção simplificado. Os componentes são:

- gerador, onde há separação (dessorção) do refrigerante da substância absorvente;

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

- condensador, onde o refrigerante é condensado e há transferência de calor para o meio;
- válvula de expansão, destinada a reduzir a pressão do fluxo de refrigerante do nível do condensador para o nível do evaporador;
- evaporador, onde o refrigerante passa da fase líquida para a fase vapor, devido ao calor transferido da região a ser refrigerada;
- absorvedor, onde o refrigerante é absorvido pela substância absorvente, com transferência de calor para o meio;
- bomba de solução, responsável pela transferência da mistura pobre em absorvente do absorvedor para o gerador.

Figura 3 – Esquema de um sistema de refrigeração por absorção – Adaptado de Sousa, 2011



Fonte: Adaptado de Sousa, 2011

Neste ciclo simplificado, é observado que apenas o refrigerante é vaporizado no gerador e, desta forma, somente o refrigerante percorre o condensador, válvula de expansão e evaporador.

Os sistemas por absorção são também chamados de termoativados, por necessitarem de alguma fonte de calor para seu acionamento, desta forma podem aproveitar o calor residual proveniente de processos industriais, da queima de

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

combustíveis fósseis ou mesmo energia solar. Essas características em especial os tornam utilizáveis em sistemas de cogeração, que é a geração de energia elétrica e aumento de aproveitamento térmico com geração de refrigeração (CARVALHO, 2007).

O sistema de refrigeração por absorção utiliza dois fluidos de trabalho, um fluido absorvedor e um fluido refrigerante. O bom resultado do processo de absorção no sistema depende da apropriada seleção da combinação de refrigerante e absorvente. Muitos fluidos de trabalho são sugeridos na literatura. O estudo feito por Marcriss et al. (1988) citado por Srihirin; Aphornratanas; Chungpaibulpatana (2001), sugere aproximadamente 40 compostos refrigerantes e 200 compostos absorventes disponíveis. Não obstante, os pares mais comuns de fluido de trabalho são água-brometo de lítio ($H_2O/LiBr$) para temperaturas moderadas e o par amônia-água (NH_3/H_2O) quando é requerido um efeito de resfriamento maior. No par água-brometo de lítio $H_2O/LiBr$ o fluido refrigerante é a água e o fluido absorvedor é a solução de $H_2O/LiBr$. No caso do par amônia-água (NH_3/H_2O), a amônia é o refrigerante e a água o fluido absorvedor (ASHRAE, 2009).

Como o par $H_2O/LiBr$ pode trabalhar apenas com temperaturas acima de $5\text{ }^\circ\text{C}$, este é comumente usado em sistemas de condicionamento de ambientes. A utilização da amônia em sistemas de absorção NH_3/H_2O deve ser sempre cuidadosa. As propriedades da amônia e os aspectos de segurança devem ser sempre considerados, pois altas dosagens de exposição dessa substância podem ser letais, além disso, a amônia é inflamável e explosiva na faixa de 16 até 25 % em volume (FARSHI, 2011).

3.2.3. Tipos de sistemas de absorção

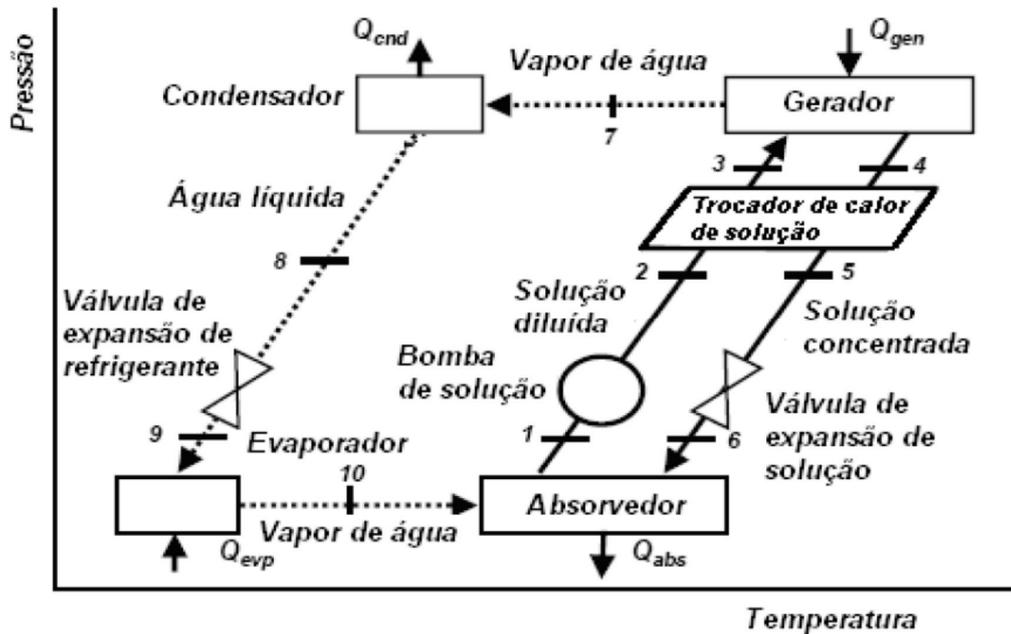
São cinco os tipos mais comuns de ciclo de absorção sendo estes: de simples efeito, bomba de calor por absorção, transformador de calor por absorção, duplo efeito e ciclo GAX (Fan, 2007)

Os ciclos de absorção de simples efeito são aqueles que só possuem um nível de aquecimento do fluido de trabalho. Os componentes do sistema de refrigeração por absorção de simples efeito na sua maioria são trocadores de calor. Estes trocadores de calor são: o condensador, o evaporador, o gerador, o absorvedor e o trocador de calor da solução. Além dos trocadores de calor, este sistema tem dois dispositivos de expansão (um para o refrigerante e outro para a solução) e uma bomba de solução

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

(BERECHE, 2007). A Figura 4 mostra um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito com o par $H_2O/LiBr$.

Figura 4 – Sistema de refrigeração por absorção de simples efeito $H_2O/LiBr$ (BERECHE, 2007)



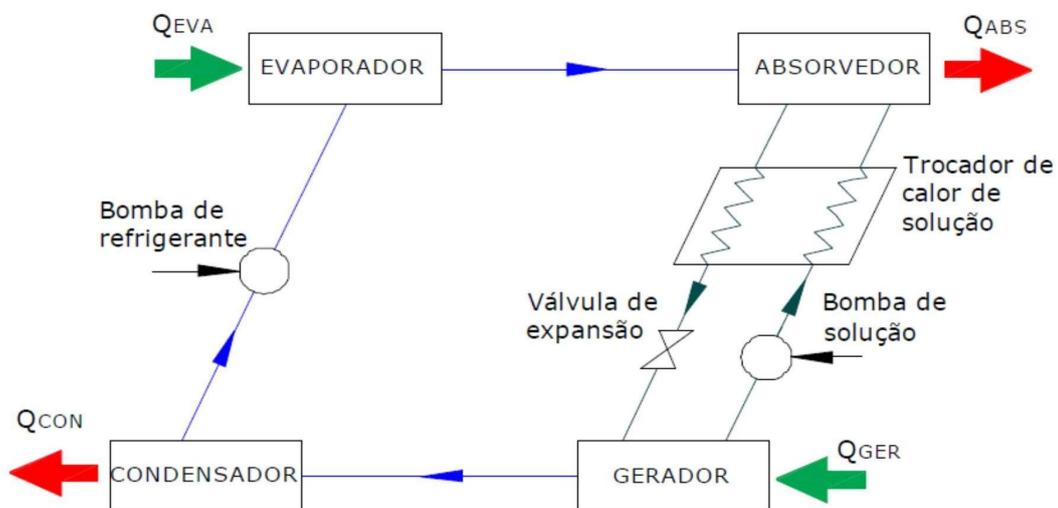
Nos ciclos de refrigeração por absorção, operando como bombas de calor ou como refrigeradores, o calor de insumo é fornecido de um reservatório de alta temperatura. O efeito de refrigeração é produzido em baixa temperatura e o calor de rejeito é liberado com temperatura intermediária. A diferença é o objetivo do sistema, seja este refrigerar ou aquecer. No caso do refrigerador, a utilidade é a transferência de calor a baixa temperatura, enquanto que com a bomba de calor a utilidade é a transferência de calor na temperatura intermediária. Geralmente, o meio ambiente é utilizado como reservatório de baixa temperatura para a bomba de calor e como temperatura intermediária para o ciclo de refrigeração (SRIKHIRIN; APHORNATANAS; CHUNGPAIBULPATANA, 2001).

O transformador de calor por absorção é aplicado nos casos onde é necessário fornecer um fluxo de calor a uma temperatura maior do que a temperatura do fluxo de calor de insumo. Assim, esse equipamento tem a função de tornar útil um fluxo de calor de "baixa qualidade" (baixa temperatura). Este ciclo obtém o seu calor de insumo de

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

um reservatório a temperatura intermediária (normalmente um calor de rejeito), e rejeita calor fora do sistema no nível de baixa temperatura (geralmente os arredores), e o efeito útil é obtido em um nível de alta temperatura. Transferindo energia fora do ciclo a uma temperatura maior, o transformador de calor eleva a qualidade do fluxo de calor de rejeito (insumo) para um nível mais útil de energia (BERECHE, 2007). A Figura 5 mostra o esquema do transformador de calor por absorção.

Figura 5 – Transformador de calor por absorção



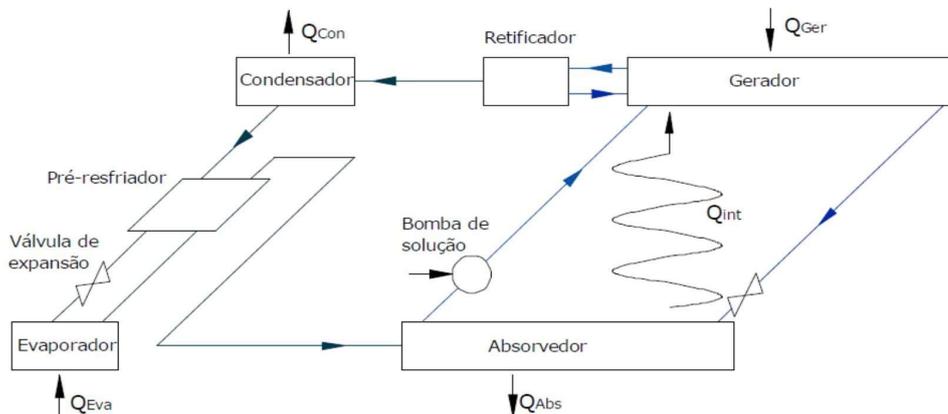
Fonte: Herold; Radermacher; Klein, 1996

O objetivo de ter um ciclo com maior número de efeitos e incrementar o desempenho do sistema no caso de ter disponível uma fonte de calor a alta temperatura. A configuração destes sistemas permite que certa quantidade de calor seja utilizada mais de uma vez para gerar vapor refrigerante e assim obter uma geração adicional do efeito de resfriamento. Dessa forma, o sistema de duplo efeito tem dois estágios de geração para separar o refrigerante do absorvente (GÓMEZ et al., 2008).

O ciclo GAX é utilizado em sistemas amônia-água e tem características interessantes, uma vez que estes podem atingir um elevado desempenho com uma configuração de ciclo que essencialmente se assemelha a configuração de simples estágio. Assim por exemplo, este sistema só tem uma bomba de solução, e a maioria dos componentes estão presentes apenas uma vez, mas o trocador de calor da solução é substituído pelo trocador de calor GAX (gerador/absorvedor). Neste caso, o calor

liberado no absorvedor é re-utilizado no gerador obtendo, assim, um efeito de resfriamento adicional e um incremento significativo na eficiência. O ciclo GAX pode ser considerado também como um sistema de duplo efeito, já que este tem uma troca de calor entre o absorvedor e o gerador (GÓMEZ et al., 2008). A Figura 6 mostra o esquema do ciclo GAX.

Figura 6 - Esquema do ciclo GAX



Fonte: Herold; Radermacher; Klein, 1996

3.2.4. Refrigerante e Absorvente

O desempenho dos sistemas de absorção depende da escolha apropriada do par refrigerante-absorvente. Estes fluidos devem atender a algumas características, como por exemplo, serem solúveis para faixas de temperaturas em que operam, devem ser quimicamente estáveis, não tóxicos e não explosivos. Em adição a estas características, a diferença do ponto de ebulição do refrigerante com o ponto de ebulição da solução deve ser a maior possível para obter uma maior pureza na entrada do condensador. O refrigerante deve possuir um elevado calor latente de vaporização com o propósito de manter a vazão da solução entre o gerador e absorvedor a mínima possível (SRIKHIRIN, 2001; DOSSAT, 2001; 2004).

Em relação as propriedades de transporte, estes devem apresentar condutividade térmica e viscosidade favorável. Uma baixa viscosidade, por exemplo, promove uma melhor troca de calor e massa e reduz a potência de bombeamento. O absorvente deve ter uma baixa volatilidade para que o vapor que sai do gerador contenha o mínimo de absorvente possível para um melhor desempenho do sistema (ASHRAE, 2009).

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tabela 1 – Pares de Refrigerante – Absorvente (PALMIERI, 2013).

| Fluido absorvente | Fluido refrigerante |
|--|---|
| Água | Amônia, metil amina ou outras aminas alifáticas |
| Solução de água e brometo de lítio | Água |
| Solução de cloreto de lítio e metanol | Metanol |
| Ácido sulfúrico | Água |
| Hidroxido de sódio ou potássio ou misturas | Água |
| Nitrato de lítio | Amônia |
| Sulfocianeto de amônia | Amônia |
| Tetracloroetano | Cloreto de etila |
| Dimetil éter tetraetileno glicol | Cloreto de metileno |
| Óleo de parafina | Tolueno ou pentano |
| Glicol etílico | Metil amina |
| Éter dimetílico ou glicol tetraetílico | Monofluor dicloro ou diclorometano |

Fonte: Cortez; Muhle, 1994

Dentre os pares de absorvente-refrigerante descritos na Tabela 1 os fluidos mais comuns de trabalho são brometo de lítio-água ($H_2O-LiBr$) para temperaturas moderadas e o par amônia-água (NH_3-H_2O) quando é requerido um efeito de resfriamento maior. O sistema de absorção que utiliza a solução de $H_2O-LiBr$ fica restrito a aplicações em que a temperatura do refrigerante esteja acima da temperatura de congelamento da água ($0\text{ }^\circ\text{C}$), desta forma a temperatura da solução não deve ser inferior a $5\text{ }^\circ\text{C}$, para não ocorrer congelamento do refrigerante e danificar o equipamento (GORDON; NG, 2000). Após os pares estudados, três tecnologias de sistemas de absorção são fabricadas por uma maior eficiência:

- sistema amônia e água, na qual a amônia é o refrigerante e a água é o absorvente;
- sistema brometo de lítio e água, onde a água é o refrigerante e o brometo de lítio é o absorvente e;
- sistema amônia, água e nitrogênio, no qual o nitrogênio é um gás inerte.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Na tabela 2 apresentam-se as principais diferenças entre os sistemas de absorção água-amônia e brometo de lítio-água, ressaltando-se as vantagens e desvantagens de cada um (PALMIERI, 2013).

| Tabela 2 – Diferenças entre os sistemas de absorção | |
|--|--|
| Absorção água-amônia | Absorção água-brometo de lítio |
| Pressão positiva no ciclo – não apresenta infiltração | Pressão negativa no ciclo |
| Capacidade de atingir temperaturas negativas | Alta temperatura de evaporação |
| Condensação em altas temperaturas | Baixa temperatura de condensação |
| Não necessita de torre de resfriamento à água | Necessita de torre de resfriamento à água |
| Permite reaproveitamento de calor | Não permite reaproveitamento de calor |
| Não necessita de bomba de vácuo | Necessita de bomba de vácuo |
| Não requer manutenção frequente | Requer manutenção freqüente, principalmente na torre de resfriamento |
| Não necessita de química para tratamento de fungos ou bactérias. Não necessita de tratamento de água | Alto consumo de água e química fungicida e bactericida |
| Menor consumo elétrico | Maior consumo elétrico |
| Não utiliza CFC ou outros refrigerantes | Não utiliza CFC ou outros refrigerantes |
| Não apresenta cristalização | Pode apresentar cristalização |
| Menor rendimento térmico do ciclo | Maior rendimento térmico |
| Não compatível com o cobre e suas ligas | Não tóxico. Muito aplicado em sistemas de ar condicionado |

Fonte: Abreu, 1999

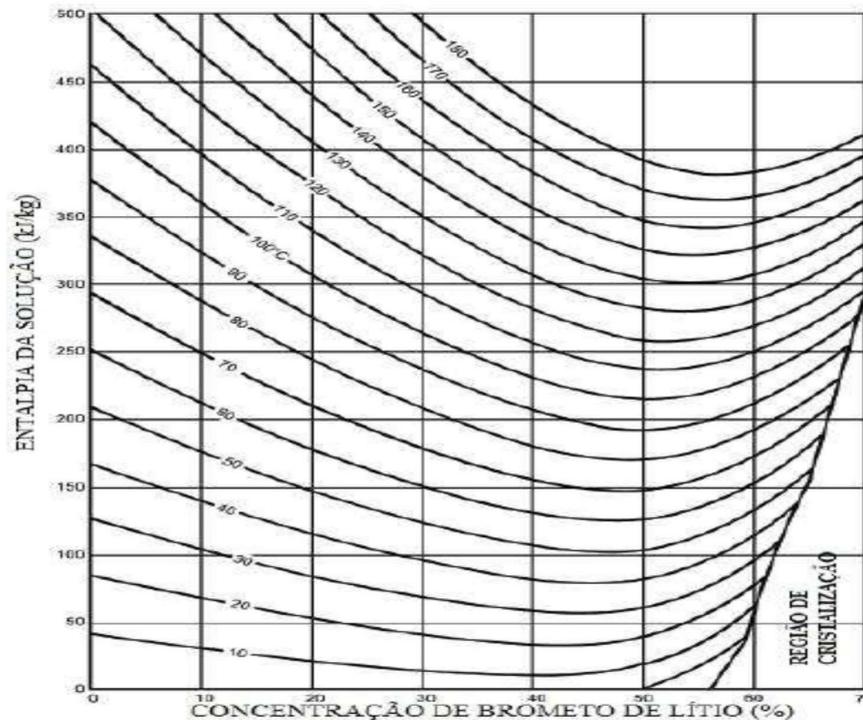
Por apresentar um absorvente volátil, nesse caso a água, os sistemas que trabalham com $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ necessitam de uma coluna de retificação, pois o vapor de amônia produzido no gerador terá uma certa quantidade de água, que pode ser prejudicial para o desempenho do sistema. Para evitar esta perda de desempenho é utilizada uma coluna de retificação no gerador, a qual possibilita obter uma melhor pureza de vapor de amônia entrando no condensador. Por outro lado, os ciclos que utilizam o $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ são vantajosos nesse sentido, pois o brometo de lítio é uma substância não volátil não

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

necessitando de uma coluna de retificação. Entretanto, soluções desse tipo apresentam uma tendência a solidificação em baixas temperaturas, existindo a possibilidade de ocorrer cristalização do brometo de lítio. Esta cristalização pode ser ocasionada devido à elevada concentração da solução ou a redução excessiva da temperatura da mesma. Esta cristalização normalmente ocorre na solução que deixa o gerador, antes de sua entrada no absorvedor (LIAO; RADERMACHER, 2007).

A faixa de temperatura de operação e concentração da solução de H₂O-LiBr, na qual pode ocorrer a cristalização, está indicada no diagrama da Figura 7.

Figura 7 – Diagrama de entalpia-concentração para H₂O-LiBr



Fonte: ASHRAE, 2006

3.2.5. REFRIGERANTES PRIMÁRIOS

São substâncias utilizadas em sistemas de compressão a vapor e com fluidos que apresentam mudanças de fase na troca térmica. Podem ser classificados como (Askalany et al., 2012):

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

- Compostos halocarbônicos - são refrigerantes que contêm um ou mais dos seguintes halogênios: cloro, flúor e bromo. Normalmente são conhecidos como FREONS (*DuPont*) ou FRIGENS (*hoechst*);
- Compostos inorgânicos - Foram os primeiros refrigerantes e alguns se mantêm ainda em uso: amônia (NH₃), água (H₂O), ar, anidrido carbônico (CO₂), anidrido sulfuroso (SO₂);
- Hidrocarbonetos - Operam em indústrias de petróleo e petroquímica, são eles: Metano (CH₄), etano (C₂H₆), propano (C₃H₈), butano (C₄H₁₀);
- Misturas azeotrópicas - substâncias não separáveis por destilação se evaporam e se condensam como substância simples com propriedades diferentes dos seus constituintes. As principais misturas comerciais são: R502 e o R507A – R125/143a (50/50);

3.2.6. REFRIGERANTES SECUNDÁRIOS

Refrigerantes secundários são fluidos térmicos que transferem energia da substância que está sendo resfriada para um trocador de calor de um sistema de refrigeração. Apresentam certas características como alto calor específico, boa condutividade térmica, não tóxicos, possuem baixos impactos ambientais, são inertes quimicamente e, estão disponíveis a preços razoáveis. A água possui essas propriedades, caracterizando-se como um ótimo fluido secundário. Entretanto, a água congela a 0 °C e a grande maioria dos processos industriais trabalham com temperaturas bem abaixo do ponto de fusão da água. Por esse motivo, adiciona-se um agente anticongelante que é misturado a água, formando uma solução capaz de solidificar a temperaturas inferiores a da água pura. Os principais são:

- Água;
- salmouras: Cloreto de cálcio e de sódio;
- anticongelantes: Água+ etileno glicol; Água + cloreto de cálcio.

Seus pontos de solidificação variam com sua concentração percentual em massa. As propriedades mais importantes dos refrigerantes secundários são: viscosidade, massa específica, ponto de congelamento, ponto de ebulição, calor específico e, condutividade térmica.

3.3. Propriedades termofísicas

3.3.1. Viscosidade

Um fluido é definido como uma substância que se deforme continuamente quando submetido a uma tensão. A propriedade chamada viscosidade está relacionada a taxa de deformação deste fluido, podendo ser ainda caracterizada como a resistência ao movimento de fluir (escoar) de um material. Esta propriedade é relevante em diversas aplicações na engenharia, entre as quais destacam-se os processos de lubrificação, transferência de calor e a potência necessária para o bombeamento de um fluido relacionada a perda de pressão por efeitos dissipativos (MOTTA, 2012).

Diferentes tipos de viscosímetros existem para a sua determinação, dentre estes encontram-se o tipo “pistão”, também chamado de viscosímetro oscilatório ou capilar, e o viscosímetro do tipo “rotacional”. O viscosímetro do tipo pistão consiste de um pistão metálico que se move dentro de uma câmara preenchida com o fluido, sob a influência de um campo eletromagnético oscilante. Para uma dada intensidade do campo, o período da oscilação do pistão é proporcional à viscosidade. O dispositivo de medida mantém a temperatura do fluido constante durante a medição (NGUYEN et al., 2008; LEE et al., 2008).

No viscosímetro do tipo “rotacional”, a viscosidade é determinada através da velocidade angular de uma parte móvel separada pelo líquido de prova de uma parte fixa. Esse tipo de viscosímetro pode apresentar as geometrias, cone-placa e placaplaca. Nos viscosímetros de geometria placa-placa ou também denominados de cilindros concêntricos, a parte fixa é, em geral, a parede do próprio recipiente cilíndrico onde está o líquido. A parte móvel pode apresentar o formato de palhetas ou de um cilindro. Nos viscosímetros de geometria cone-placa, este gira sobre o líquido colocado entre o cone e uma placa fixa. A escolha do tipo de viscosímetro a ser utilizado depende do propósito da medida e do tipo de líquido a ser investigado (DAS et al., 2003).

3.3.2. Ponto de Congelamento

A temperatura de ponto de congelamento [$^{\circ}\text{C}$], significa a temperatura em que cristais de gelo começam a se formar em equilíbrio se não houver arrefecimento. A curva do ponto de congelamento é a curva de solubilidade de gelo na solução. Esta representa as temperaturas nas quais o gelo e a solução estão em equilíbrio de diversas concentrações dos aditivos. O ponto de congelamento deve ser abaixo da temperatura mais baixa esperada e suficientemente abaixo da temperatura normal de funcionamento do fluido de trabalho secundário de modo que o fluido possa, sem dificuldade, ser bombeado através do sistema (MENDILER, 2007).

3.3.3. Ponto de Ebulição

A baixa temperatura do ponto de ebulição, em [$^{\circ}\text{C}$], do fluido secundário, pode trazer problemas para o sistema, especialmente a temperaturas mais elevadas. A evaporação do fluido também pode dar lugar a temperaturas mais baixas do que a temperatura do ponto de ebulição, se o fluido é exposto ao ar atmosférico (MENDILER, 2007).

3.3.4. Calor Específico

O calor específico de uma substância é simplesmente a quantidade térmica de energia (em J) necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa (1 kg) de uma unidade de temperatura uma substância qualquer (1 K). Um valor elevado de um calor específico, C_p do fluido [J / kgK], a sua capacidade térmica, é favorável, que afeta taxa de fluxo de massa, bem como o coeficiente de transferência de calor (MENDILER, 2007).

3.3.5. Condutividade Térmica

A condutividade térmica está relacionada a capacidade de um material de conduzir calor e determina o gradiente de temperatura ao longo de sua geometria. As técnicas mais comumente aplicadas à medição da condutividade térmica de nanofluidos são o método do fio quente transiente e o método da oscilação da temperatura (MOTTA, 2012).

O método do fio quente baseia-se na aplicação de uma corrente elétrica constante através de um fio, dissipando uma determinada quantidade de calor por

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

unidade de tempo e unidade de comprimento (SANTOS, 2002). O método da oscilação da temperatura consiste em medir a variação da temperatura nas extremidades de um cilindro contendo o fluido a ser analisado. Essas variações de temperatura nas extremidades e em algum ponto no interior do cilindro dão origem ao valor da difusividade térmica. Então, conhecendo a densidade e o calor específico do material, calcula-se a condutividade térmica (BHATTACHARYA *et al.*, 2006).

3.4. SOLUÇÕES AQUOSAS DE ALCÓOIS

As soluções aquosas têm recebido atenção por mais de um século, porque estas soluções são de atividades industriais, ambientais e apresentam bastante importância científica. Uma das características das soluções aquosas de substâncias orgânicas é a sua micro-heterogeneidade, que se reflete no fato de que o local de concentração diferente da concentração de grandes quantidades (Ruckenstein, 2001).

O micro-heterogeneidades em soluções pode ser caracterizado pelos seguintes parâmetros de nível nanométrico: (1) a correlação de volume, isto é, o volume no qual a concentração difere da concentração média, (2) o excesso (ou deficit) número de moléculas no volume de correlação em comparação com o número de moléculas, quando estes são distribuídos aleatoriamente, e (3) as interações intermoleculares entre as moléculas no volume (Ruckenstein, 2001).

A oxidação de álcoois ao respectivo aldeído ou cetona é uma reação orgânica útil e fundamental. Tradicionalmente, esta oxidação é realizada usando quantidades estequiométricas de oxidantes, tais como permanganato de: cromato ou bromato. Estes métodos de produzir uma grande quantidade de resíduos e são inaceitáveis, tendo em vista as práticas em químicos verdes. Recentemente, metal de transição de nanopartículas são catalisadas em álcool com oxidações sendo assim investigados e muitos mostraram alta atividades catalíticas e boa seletividade (SCOTT, DEHN, HOU, 2008).

Além do interesse acadêmico em geral em água-soluto interações, o conhecimento da interação de água / polímero é particularmente importante para a compreensão dos processos moleculares e também é importante em muitos aspectos práticos da tecnologia de polímeros sintéticos solúvel em água.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

O comportamento de soluções aquosas de solutos orgânicos é largamente determinado pela ação combinada de partes inertes da molécula causando hidratação hidrofóbica e grupos polares causando interação hidrófila. Estes dois efeitos interfere com o outro, levando à destruição ou, sob certas condições, interações cooperativas. De particular interesse, é a interação predominante nas misturas aquosas de propileno glicol (PG), glicerol (GLY), dimetilsulfóxido (DMSO), de etilenoglicol (EG), e poli (etileno glicol) (PEG) s porque do seu uso na criopreservação(MURTHY,2000).

Existem extensos estudos de soluções aquosas a baixas temperaturas devido à sua importância em vários campos, incluindo a criopreservação de células vivas e órgãos da ciência médica, agricultura e biotecnologia, física do clima e conservação de alimentos em baixas temperaturas. A partir destes estudos, que está agora bem estabelecida que a temperatura de nucleação homogênea (NH), o que tem foram normalmente obtidos por um método de emulsão, é um dos parâmetros termodinâmicos importantes que caracterizam uma solução aquosa a temperaturas baixas. Foi feito também uma série de investigações sobre as soluções aquosas de emulsionadas vários tipos. Estudou-se o hidrofílico e efeitos de soluto hidrofóbicas em NH, revelando que o efeito de cada soluto pode ser expressa em termos de aditivo contribuição de cada grupo na molécula de soluto (MIYATA e KANNO, 2004).

Compostos poli-hidróxi, tais como glicóis e glicerol são difíceis e caro para se recuperar a partir da solução aquosa por causa de seus pontos elevados ponto de ebulição e afinidade para a água. Propileno glicol (1,2-propanodiol, PG) e etileno glicol (1,2etanodiol, EG) são misturas químicas produzidas através da hidratação dos respectivos epóxidos em solução aquosas.

A fim de obter PG puro e EG a partir de uma solução aquosa, a água deve ser fervida e a energia utilizada neste processo constitui uma parte substancial do custo de recuperação. A destilação sob vácuo é muitas vezes usado para temperaturas mais baixas e, assim, evitar a formação de indesejáveis poli glicóis e produtos de decomposição e para reduzir o custo da energia. Os poli glicóis podem, em teoria, ser separado a partir de correntes aquosas de extração com solvente, mas a sua elevada afinidade para a água faz com que seja difícil encontrar um solvente orgânico com uma boa distribuição de coeficiente e baixa miscibilidade com a água. Mesmo se um solvente apropriado é encontrado, deve-se ainda ser destilado a partir da glicol após separação da fase aquosa (DHALE *et. al.*, 2004)

3.5. CHILLER DE ABSORÇÃO

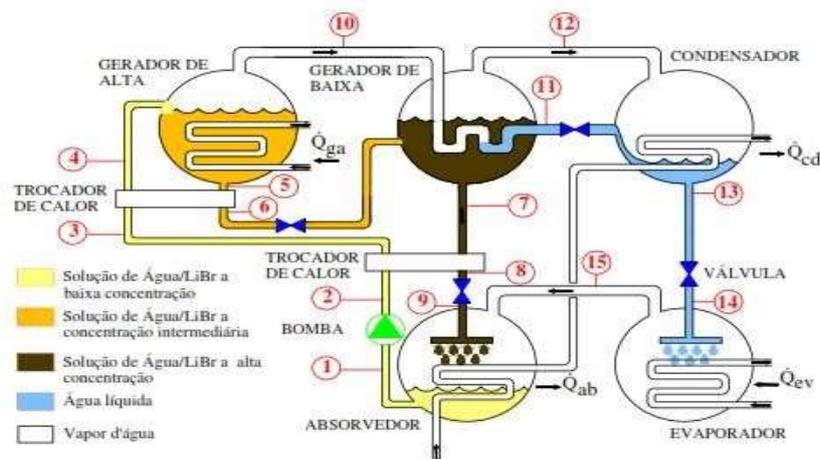
Um *chiller* de absorção pode ser classificado se o ciclo é de simples efeito ou múltiplo efeito. Os ciclos de simples efeito trabalham com temperaturas na faixa de 75 a 120 °C e os ciclos de múltiplo efeito podem ser utilizados quando temperaturas mais altas são disponíveis (CARVALHO, 2007). Dessa forma, a previsão deste projeto é de uso de um *chiller* de duplo efeito, cuja termodinâmica associada aos seus componentes é apresentada a seguir, partindo-se das seguintes hipóteses simplificadoras (CARVALHO, 2007):

- As variações de pressão só ocorrem nos dispositivos de expansão e na bomba; os dispositivos de expansão são considerados adiabáticos;
- a bomba é isentrópica;
- as trocas de calor com o ambiente e as variações de energia cinética e potencial são desprezíveis;
- todos os processos ocorrem em regime permanente;
- os coeficientes globais de transferência de calor de todos os componentes do sistema são considerados constantes.

Apresenta-se a seguir os modelos matemáticos adotados para cada etapa do processo de refrigeração via *chiller* de absorção, a partir do esquema com os componentes do equipamento, apresentado pela Figura 8. Observa-se na referida Figura que o ciclo de duplo efeito utiliza dois geradores, o que melhora o aproveitamento do calor da fonte a alta temperatura.

Figura 8 - Esquema com componentes básico em um *chiller* de absorção de duplo efeito - Adaptado de Pimenta (2004)

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.



Fonte: Adaptado de Pimenta, 2004

Após a saída do evaporador, o vapor d'água à baixa pressão é absorvido por uma solução de H_2O -LiBr no absorvedor. Para que esse processo exotérmico continue é necessário que seja retirado calor da solução, o que é realizado com o resfriamento do absorvedor com água ou ar. A solução diluída pelo absorvedor a baixa pressão tem sua pressão elevada até o nível do gerador de alta temperatura. No gerador de alta a solução é aquecida por uma fonte de calor que desprenderá o vapor d'água, sendo este último responsável pelo aquecimento do gerador de baixa temperatura. No gerador de baixa, a solução de H_2O -LiBr a concentração intermediária, proveniente do gerador de alta, será aquecida pelo vapor proveniente desse gerador, tornando-se de alta concentração, retornando para o absorvedor onde será novamente diluída; passando antes disso através de um dispositivo de redução de pressão. O vapor d'água despreendido da solução de H_2O -LiBr, pelo gerador de alta e pelo gerador de baixa é o fluido refrigerante que irá ao condensador, onde ocorrerá novo processo de troca de calor. Um dos maiores custos relacionados à operação do sistema de absorção, está relacionada ao aquecimento do gerador e resfriamento do absorvedor. Por isso, utilizam-se normalmente dois trocadores de calor entre os geradores de alta e baixa e o absorvedor, com o intuito de se resfriar a solução que vai ao absorvedor e aquecer a solução com destino aos geradores.

Com as hipóteses assumidas anteriormente, a Tabela 3 apresenta os estados característicos dos fluidos em escoamento nos pontos indicados na Figura 8.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tabela 3 – Definição do estado e do fluido de trabalho em cada ponto do *chiller* de absorção de LiBr de duplo efeito

| Ponto | Estado | Fluido de trabalho |
|-------|------------------|---|
| 1 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à baixa concentração |
| 2 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à baixa concentração |
| 3 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à baixa concentração |
| 4 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à baixa concentração |
| 5 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à concentração intermediária |
| 6 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à concentração intermediária |
| 7 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à alta concentração |
| 8 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à alta concentração |
| 9 | Líquido saturado | Sol. de LiBr à alta concentração |
| 10 | Vapor saturado | Vapor |
| 11 | Líquido saturado | Água |
| 12 | Vapor saturado | Vapor |
| 13 | Líquido saturado | Água |
| 14 | Líquido saturado | Água |
| 15 | Vapor saturado | Vapor |

3.6. ANÁLISE TERMODINÂMICA

A primeira Lei da Termodinâmica afirma que a energia é conservada, desta forma, não demonstra a ocorrência de irreversibilidades em um sistema, como a originada, por exemplo, pela perda de pressão do fluido refrigerante. De acordo com essa lei, todas as formas de energia são convertidas em outras. No entanto, a segunda Lei da Termodinâmica impõe limitações a essa conversão de energia. Todos os

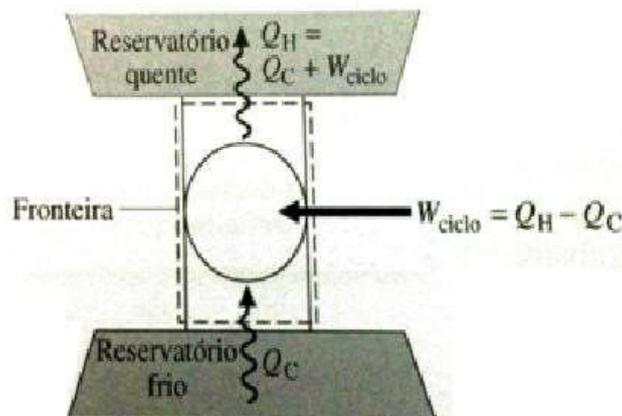
GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

processos reais são irreversíveis, devido a alguns fatores, como (ALMEIDA; BARBOSA; FONTES, 2009):

- Atrito fluido, dissipando trabalho na forma de calor;
- transferência de calor de um corpo a alta temperatura para um corpo a baixa temperatura;
- expansão e perda de pressão em processos adiabáticos;

A segunda Lei da Termodinâmica coloca limites no desempenho de ciclos de refrigeração e bombas de calor da mesma forma que o faz para ciclos de potência. Considere a Figura 9, a qual mostra um sistema percorrendo um ciclo enquanto se comunica termicamente com dois reservatórios térmicos, um quente e outro frio. As transferências de energia indicadas na figura estão nos sentidos indicados pelas setas. De acordo com o princípio de conservação de energia o ciclo descarrega a energia Q_H por transferência de calor para o reservatório quente igual à soma da energia Q_C , recebida por transferência de calor do reservatório frio, com a entrada líquida de trabalho. Esse ciclo poderia ser um ciclo de refrigeração ou um ciclo de bomba de calor, dependendo se sua função é remover energia Q_C do reservatório frio ou fornecer energia Q_H para o reservatório quente (MORAN; SHAPIRO, 2002).

Figura 9 – sistema percorrendo um ciclo de refrigeração ou de bomba de calor enquanto troca energia por transferência de calor com dois reservatórios



Fonte: Moran; Shapiro, 2002

Assim são descritas alguns corolários da segunda Lei da Termodinâmica para ciclos de refrigeração:

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

- O coeficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração irreversível é sempre menor do que o coeficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração reversível quando cada um opera entre os mesmos dois reservatórios térmicos;
- Todos os ciclos de refrigeração reversíveis operando entre os mesmos dois reservatórios térmicos possuem o mesmo coeficiente de desempenho.

3.7. ESTUDOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS

Na literatura encontram-se análises teórico-experimentais para diferentes configurações de sistemas de refrigeração por absorção, tipos de acionamento e fluido de trabalho. Muitos destes trabalhos apresentam uma modelagem termodinâmica, a qual simula o comportamento do sistema ensaiado em regime permanente e até mesmo em regime transiente (CANTARUTTI, 2011)

Joudi e Lafta (2001) desenvolveram um programa computacional baseado nas equações do princípio da conservação de energia e massa para simular o comportamento dos componentes do *chiller* por absorção de simples efeito, H₂O-LiBr para diferentes condições de operação. Os resultados apresentados foram satisfatórios quando comparados com outros trabalhos publicados, pois os efeitos causados pela variação dos parâmetros foram típicos de sistemas de absorção de H₂O-LiBr.

Muehle (2003) foi quem primeiro implantou um sistema de cogeração em uma embarcação pesqueira no sul do Brasil. Este sistema utiliza os gases de descarga do motor de propulsão do barco como fonte térmica para o sistema de absorção. De acordo com Mühle (2003), a instalação de absorção usa energia térmica de baixo custo, ou calor restante totalmente gratuito, para a produção de frio.

Mehrabian e Shahbeik (2004) desenvolveram um programa computacional para avaliar os efeitos causados pela variação de alguns parâmetros sobre a geometria, desempenho e eficiência de segunda lei sobre um *chiller* por absorção de simples efeito, usando H₂O-LiBr. O programa pode ser usado também para dimensionar um novo sistema ou para realizar uma avaliação de um sistema já existente. Dentre algumas conclusões, destacou-se que o aumento da temperatura no evaporador e no gerador e, uma diminuição da temperatura no condensador e absorvedor, levam a um aumento da eficiência do ciclo.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Pimenta et al. (2004) apresentam a modelagem e simulação de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito, utilizando os gases de exaustão de um motor diesel como fonte de energia para o gerador. A simulação avalia a viabilidade de utilizar uma unidade compacta de absorção de 3,76 kW para o resfriamento de cargas no interior de pequenos caminhões, utilizando o par água/brometo de lítio como refrigerante e absorvente. Nos resultados simulados, verificou-se que o equipamento possui uma capacidade de 3,46 kW com o caminhão em movimento e 2,70 kW com o caminhão em repouso. A temperatura mínima alcançada no interior do caminhão é de 11 °C. Apesar de o sistema possuir um trocador de calor regenerador, não foram apresentados dados conclusivos a respeito de armazenamento de energia quando o caminhão estiver parado.

Tierney (2007) simulou um *chiller* de absorção de brometo de lítio de simples e duplo efeito e diferentes combinações de coletor de placas para investigar a possibilidade de redução de queima de gás, encontrando o maior potencial de 86 % para o refrigerador de duplo efeito.

Silva e Moreira (2008) realizaram testes de avaliação do potencial energético do biogás puro e suas misturas com gás natural visando a sua utilização em sistemas de refrigeração por absorção com solução de brometo de lítio-água. Verificou-se que o fluxo de gás permitiria a obtenção de 1458 toneladas de refrigeração, que poderiam ser utilizadas para fins de refrigeração de câmaras frigoríficas ou condicionamento de ar para edifícios. Os resultados mostram ainda que existe viabilidade da utilização do biogás de aterro sanitário puro e suas misturas com gás natural para acionamento de equipamentos de refrigeração (*chillers*) comerciais com capacidade de resfriamento variando de 5 a 20 TR, e temperatura da água na entrada de 14 °C e na saída de 7 °C.

Shin et al. (2009) desenvolveram um modelo em regime transiente de um *chiller* de absorção de duplo efeito que utiliza H₂O-LiBr. O modelo apresentou resultados satisfatórios ao ser comparados com os dados obtidos experimentalmente, exceto nos 83 minutos iniciais, o qual ocorrerá a diferentes razões de vazão da solução fraca, causando algumas divergências. Para uma variação de carga, mantendo-se a temperatura, de entrada, da água gelada e de condensação constantes, o tempo de resposta da temperatura de saída da água gelada e de condensação foi de 15 minutos, até se atingir o regime permanente novamente.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Um modelo desenvolvido por Karamangil et al. (2010) avalia a performance de sistemas de refrigeração por absorção, em função das temperaturas de operação e da efetividade dos trocadores de calor. O programa permite a seleção da solução de trabalho mais utilizada. Um dos principais resultados obtidos é a que a performance do ciclo melhora com o aumento da temperatura do gerador e do evaporador, enquanto diminui com o aumento da temperatura do absorvedor e do condensador.

Alguns pesquisadores realizaram simulações de sistemas de cogeração não levando em conta esse trocador de calor intermediário (SANTOS, 2005; MARQUES, 2005; MARQUES et al., 2006), isto é, os gases de exaustão do motor de combustão interna escoavam diretamente através do gerador de vapor do sistema de absorção, entretanto as linhas de pesquisas desses pesquisadores era puramente teórica. Outros pesquisadores (ROSSA; BAZZO, 2006, 2009; CARVALHO, 2010) - cuja linha de pesquisa era teórica - experimental, que também realizaram pesquisas sobre sistemas de cogeração perceberam a necessidade da utilização de um trocador de calor intermediário que fizesse a ligação entre o motor de combustão interna (no caso particular destes três últimos, uma microturbina) e o sistema de absorção. Estes pesquisadores observaram ainda que quanto maior a eficiência desse trocador, maior a eficiência do sistema de cogeração.

3.8. METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

A literatura sobre a metodologia de superfície de resposta (MSR) é extensa, além de mostrar as aplicações em diferentes campos de pesquisa contribuiu para o desenvolvimento de delineamentos ótimos para a estimativa da superfície (MENDONÇA, 2012).

3.8.1. Planejamento Experimental

A partir de delineamentos de tratamentos mais complexos, que utilizam todas as combinações dos fatores em estudo, várias tentativas têm sido feitas para a redução do número de pontos experimentais, com esse objetivo surgiu a técnica que utiliza os delineamentos compostos (MATEUS; BARBIN; CONAGIN, 2001).

3.8.2. Delineamento Composto Central Rotacional

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) tem sido bastante utilizada para modelar pesquisas sobre otimização de processos em nível experimental (MYERS; MONTGOMERY, 1995). Além disso, esta metodologia possui diferentes delineamentos que possibilitam planejar os tratamentos de forma mais econômica. O grande impulso de dados experimentais por meio da superfície de resposta foi dado por Box e Wilson (1951), que desenvolveram métodos de determinação de condições ótimas em pesquisas industriais, onde o erro experimental, em geral, é bem pequeno, e as condições do experimento são mais facilmente controláveis. Nessas condições, é comum repetir apenas um tratamento, no caso, o relativo ao ponto central. Posteriormente, foram adaptados a outros ramos da ciência. Várias modificações têm sido propostas tendo como base os delineamentos compostos centrais e não centrais

4. REFERÊNCIAS

ABREU, A. F. Sistema de refrigeração por absorção intermitente: concepção, dimensionamento, construção, ensaio e considerações econômicas. 1999.199p.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tese de Doutorado em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo / SP, 1999.

ALMEIDA, G. S. Metodologia para avaliação econômica de unidades refrigeradoras de líquidos por ciclos de compressão e absorção. 2006. 119p. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas – Universidade de Brasília, Brasília / DF, 2006.

ALMEIDA, I. M. G.; BARBOSA, C. R. F.; FONTES, F. A. O. Análise exegética de um chiller de absorção utilizando o par água/brometo de lítio como fluidos de trabalho. 9º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, n. 06, pp. 124-131, 2009.

ASHRAE, 2008. ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.

ASHRAE. American society of heat, refrigeration and air conditioning Engineers. ASHRAE Handbook: Fundamentals, Chapter 2 –Thermodynamics and refrigeration cycles. 2009.

ASHRAE. American society of heat, refrigeration and air conditioning Engineers. ASHRAE Handbook: Refrigeration, Chapter 41 -Absorption cooling, heating and refrigeration equipment. 2006.

ASHRAE. American society of heat, refrigeration and air conditioning Engineers. ASHRAE Handbook: Fundamentals, Chapter 30 –Thermophysical properties of refrigerants. 2009.

ASHRAE. Refrigeration handbook. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1994.

ASKALANY, A. A.; SALEM, M.; ISMAIL, I. M.; ALI, A. H. H.; MORSY, M. G. A review on adsorption cooling systems with adsorbent carbon. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, n.1, p.493-500, 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2011.08.013

ASKALANY, A. A. et al., A review on adsorption cooling systems with adsorbent carbon, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 493-500, 2012.

BARROS, N., B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Campinas: Editora Unicamp, 1996.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

BERECHE, R. P. Avaliação de sistemas de refrigeração por absorção H₂O/LiBr e sua possibilidade de inserção no setor terciário utilizando gás natural. Dissertação de mestrado, 2007.

BHATTACHARYA, P.; NARA, S.; VIJAYAN, P.; TANG, T.; LAI, W.; PHELAN, P. E.; PRASHER, R. S.; SONG, D. W.; WANG, J. Characterization of the temperature oscillation technique to measure the thermal conductivity of fluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.49, n.17-18, p.2950-2956, 2006. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.02.023

BIANCO, V.; MANCA, O.; NARDINI, S. Numerical investigation on nanofluids turbulent convection heat transfer inside a circular tube. *International Journal of Thermal Sciences*, v.50, n.3, p.341-349, 2011. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2010.03.008

BOX, G. E. P.; WILSON, K. B. On the experimental attainment of optimum condition. *Journal of the Royal Statistical Society*, v. 13, p. 1-45, 1951.

CANTARUTTI, B. R. Análise teórico-experimental de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito utilizando H₂O/LiBr. 2011. 133p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Itajubá / MG, 2011.

CARVALHO, A. N. Análise Experimental e Exergoeconômica de um Sistema Composto de Cogeração a Gás-Natural. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Área de Ciências Térmicas - Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

CARVALHO, E.N. Modelagem e Simulação de Unidades Resfriadoras de Líquidos por Absorção H₂O-LiBr de Simples e Duplo Efeito, incluindo o efeito de aditivos e clima local. Dissertação de mestrado em Ciências Mecânicas – Universidade de Brasília, 2007.

CORTEZ, L. A.; MULHE, I.; SILVA, A. Refrigeração por absorção com o par água amônia e seu potencial no caso brasileiro. *Revista ABRVA*, jan-fev, 1994.

COUTO, M. Condicionamento de ar a gás natural. *Revista ABRVA*, n.220, p.26-31, São Paulo, 2004.

DAS, S. K.; PUTRA, N.; THIESEN, P.; ROETZEL, W. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids. *Journal Heat Transfer*, v.125, n.4, p.567-574, 2003. DOI: 10.1115/1.1571080

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

DHALE, A. D. et. al., Propylene glycol and ethylene glycol recovery from aqueous solution via reactive distillation, *Chemical Engineering Science*, v. 59, p. 2881-2890, 2004

DHALE, A. D.; MYRANT, L. K.; CHOPADE, S. P.; JACKSON, J. E.; MILLER, D. J. Propylene glycol and ethylene glycol recovery from aqueous solution via reactive distillation. *Chemical Engineering Science*, v.59, n.14, p.2881-2890, 2004. DOI: 10.1016/j.ces.2004.02.018

DING, G. L. Recent developments in simulation techniques for vapour-compression refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, v.30, n.7, p.1119-1133, 2007. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2007.02.001

DONG-WOOK, Oh.; JAIN, A.; EATON, J. K.; GOODSON, K. E.; LEE, J. S.

DORGAN, C. B.; STEVEN, P. L.; DORGAN, C. E. Application guide for absorption cooling / refrigeration using recovered heat. ASHRAE. 1995.

DOSSAT, R. J. Princípios de refrigeração. Ed. Hemus, São Paulo. 2004.

DOSSAT, R. J.; HORAN, T. J. Principles of refrigeration. 5th Edition. Prentice Hall, New Jersey, USA. 2001.

Fan Y., Luo L., Souyri B., Review of solar sorption refrigeration technologies: Development and applications, *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 11, p. 1758-1775, 2007

FAN, Y.; LUO, L.; SOUYRI, B. Review of solar sorption refrigeration technologies: Development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.11, n.7, p.1758-1775, 2007. DOI: 10.1016/j.rser.2006.01.007

FARSHI, L. G., MAHMOUDI S. M. S., ROSEN M. A., Analysis of crystallization risk in double effect absorption refrigeration systems, *Applied Thermal Engineering*, v. 31, p. 1712-1717, 2011

FARSHI, L. G.; MAHMOUDI, S. M. S.; ROSEN, M. A. Analysis of crystallization risk in double effect absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, v.31, n.10, p.1712-1717, 2011. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2011.02.013

GHAHREMANI, M.; BENNETT, L. H.; TORRE, E. D.; OVICHI, M.; NWOKOYE, A.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Cooling factor for magnetic refrigeration systems. *Cogent Physics*, v.1, n.1, p.1-6, 2014.
DOI: 10.1080/23311940.2014.979604

GÓMEZ, V. H.; VIDAL, A.; BEST, R.; GARCÍA-VALLADARES, O.; VELÁZQUEZ, N. Theoretical and experimental evaluation of an indirect-fired GAX cycle cooling system. *Applied Thermal Engineering*. v. 28, p. 975-987, 2008.

GORDON, J. M.; NG, K. C. *Cool thermodynamics: The engineering and physics of predictive, diagnostic and optimization methods for cooling systems*. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, p. 259, 2000.

HEROLD, K. E.; RADERMACHER, R.; KLEIN, S. A. *Absorption chillers and heat pumps*, Estados Unidos, CRC Press LLC, 1996, 329 p.

HOU, W., DEHN, N. A., SCOTT, R., W., J., Alcohol oxidations in aqueous solutions using Au, Pd, and bimetallic AuPd nanoparticle catalysts, *Journal of Catalysis*, v. 253, p. 2227, 2008

HOU, W.; DEHN, N. A.; SCOTT, R. W. J. Alcohol oxidations in aqueous solutions using Au, Pd, and bimetallic AuPd nanoparticle catalysts. *Journal of Catalysis*, v.253, n.1, p. 22-27, 2008. DOI: 10.1016/j.jcat.2007.10.025

JOUDI, K. A.; LAFTA, A. H. Simulation of a simple absorption refrigeration system. *Energy Conversion & Management*. v.42, p.1575-1605, novembro 2001.

KARAMANGIL, M. I.; COSKUN, S.; KAYNAKLI, O.; YAMANKARADENIZ, N. A simulation study of performance evaluation of single-stage absorption refrigeration system using conventional working fluids and alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.14, pp.1969-1978, 2010.

KILIC, M.; KAYNAKLI, O. Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration systems. *Energy*, v.32, n.8, p.1505-1512, 2007. DOI: 10.1016/j.energy.2006.09.003

LIAO, X.; RADERMACHER, R. Absorption chiller crystallization control strategies for integrated cooling heating and power systems. *International Journal of Refrigeration*. v. 30, p. 904-911, janeiro 2007.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

MAIGA, S. E. B.; NGUYEN, C. T.; GALANIS, N.; ROY, G. (2004). Hydrodynamic and thermal behaviours of a nanofluid in a uniformly heated tube. WITPress, v.5, p.453-462, 2004. DOI: 10.2495/HT040421

MARQUES, A. S. Análise Termoeconômica de um Sistema de Refrigeração Automotivo por Absorção. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba, 2005.

MARQUES, A. S.; SANTOS, C. A. C.; SANTOS, C. M. S.; TORRES, E. A.; SOUZA, W. L. Análise Termoeconômica de um sistema de refrigeração automotivo. In: 11th Brazilian Congress of Thermal Science and Engineering, Curitiba, Brasil. [S.l.: s.n.], 2006.

MATEUS, N. B.; BARBIN, D.; CONAGIN, A. Viabilidade do uso do delineamento composto central. Acta Scientiarum, Maringá, v. 23, n. 6 p. 1537-1546, 2001.

MEHRABIAN, M.; SHAHBEIK, A. E. *Thermodynamic modelling of a single effect H₂O/LiBr absorption refrigeration cycle*. Journal of Process Mechanical Engineering. v. 219, pp.261-273, 2004.

MELINDER, Å. Thermophysical properties of aqueous solutions used as secondary working fluids. 2007. 130p. Doctoral Thesis - School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, KTH. Stockholm, Sweden, 2007.

MENDONÇA, L. A. Desempenho do delineamento composto central em experimentos com alto coeficiente de variação. Dissertação de Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa / MG, 2012.

MIYATA, K., KANNO, H., Supercooling behavior of aqueous solutions of alcohols and saccharides, Journal of Molecular Liquids, v.119, p. 189-193, 2005.

MORAN, J. M.; SHAPIRO, H. N. Princípios de termodinâmica para Engenharia. 4^a ed. LTC, 2002.

MOTTA, F C. Caracterização da condutividade térmica, viscosidade dinâmica e ângulo de contato de nanofluidos baseados em partículas de alumina-gama em água. 2012. 107p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos / SP, 2012.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

MUEHLE, I. N. Instalações de refrigeração por absorção - a experiência da madef. In: An. 3. Enc. Energ. Meio Rural (SciELO), 2003.

MURTHY, S. S. N., Experimental Study of the Dynamics of Water and the Phase behavior of the Supercooled Aqueous Solutions of Propylene Glycol, Glycerol, Poly(ethylene glycol)s, and Poly(vinylpyrrolidone), Journal Physics Chemistry, v. 104, p. 6955-69622, 2000.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. New York, John Wiley & Sons, 700 p., 1995.

PALMIERI, M. C. Ciclo por absorção para complementar a climatização e o aquecimento de água no setor hoteleiro. 2007. 120p. Dissertação de Mestrado e Ciências – Universidade de São Paulo, São Paulo / SP, 2013

PIMENTA, J. M. D.; SANTOS, R. O.; CARVALHO, E. N.; TEIXEIRA, R. R., Simulação e projeto de uma unidade compacta de absorção, MERCOFRIO – Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, Curitiba, 2004.

QUEIROZ, D. F. Avaliação teórico-experimental de um sistema de refrigeração por absorção acoplado a uma unidade de microcogeração. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Paraíba, 2013.

ROCHA, M. A. Estudo teórico-experimental de um sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em série usando o par água / brometo de lítio. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal da Paraíba, 2010.

ROSSA, J. A.; BAZZO, E. Thermodynamic modeling and second law for an ammonia-water absorption system associated to a microturbine. In: Proceedings of ECOS 2006 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems - Aghia Pelagia, ISBN 960-87584-1-6, v. 2, pp. 651-658; Greece. [S.l.: s.n.], 2006.

ROSSA, J. A.; BAZZO, E. Thermodynamic modeling of an ammonia-water absorption system associated with a microturbine. International Journal Thermodynamics, v. 12, pp. 38-43, 2009.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

RUCKENSTEIN, E., SHULGIN, I, Hydrophobic self-assembling in dilute aqueous solutions of alcohols and hydrocarbons, *Chemical Engineering Science*, v. 56, p. 5675-5680, 2001

RUCKENSTEIN, E.; SHULGIN, I. Hydrophobic self-assembling in dilute aqueous solutions of alcohols and hydrocarbons. *Chemical Engineering Science*, v.56, n.19, p.5675-5680, 2001. Doi: 10.1016/S0009-2509(01)00152-X

Sag N. B., Ersoy H.K., Hepbasli A., Halkaci H.S., Energetic and exergetic comparison of basic and ejector expander refrigeration systems operating under the same external conditions and cooling capacities, *Energy Conversion and Management*, v. 90, p. 184-194, 2015

SAG, N. B.; ERSOY, H. K.; HEPBASLI, A.; HALKACI, H. S. Energetic and exergetic comparison of basic and ejector expander refrigeration systems operating under the same external conditions and cooling capacities. *Energy Conversion and Management*, v.90, p.184-194, 2015. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.11.023

SANTOS, P. H. D.; VARANI, C. M. R.; SANTOS, C. A. C. Simulação e análise termodinâmica de um sistema de refrigeração por absorção de triplo efeito. In: I Encontro de Estudantes da RECOGAS (III Seminário de Avaliação da RECOGAS), João Pessoa, Brasil. [S.l.: s.n.], 2005.

SANTOS, W. N. O método de fio quente: técnica em paralelo e técnica de superfície. *Cerâmica*, v.48, n.306, p.86, 2002. DOI: 10.1590/S0366-69132002000200007

SHIN, Y.; AH SEO, J.; WOOK CHO, H.; CHUL NAM, S.; HEE JEONG, J. Simulation of dynamics and control of a double effect H₂O-LiBr absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*. 2009.

SILVA, C.L.; MOREIRA, H.B.C. Avaliação energética de um sistema de refrigeração por absorção utilizando gás de aterro e gás natural. *Science & Engineering Journal*. n. 17, pp. 11-16, 2008.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

SOUSA, B.F.C.R. Modelagem de um sistema de refrigeração por absorção.
Dissertação de Mestrado – Universidade de Aveiro, 2011.

SRIKHIRIN P.; APHORNRATANA S.; CHUNGPAIBULPATANA S. A review of absorption refrigeration technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.5, pp. 343-372, 2001.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. Refrigeração e ar-condicionado. Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo / SP, 1985.

Thermal conductivity measurement and sedimentation detection of aluminum oxide nanofluids by using the 3 \square method. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, v.29, p.1456–1461, 2008. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.04.007

TIERNEY, M. J. Options for solar-assisted refrigeration - trough collectors and doubleeffect chillers. *Renewable Energy*, v. 32, pp. 183-199, 2007.

VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R.; TEIXEIRA, F. N.; ARRIETA, F. R. P.; COBAS, V. M.; SANOTS, J. J. C. S. Tecnologias de Geração Distribuída Utilizando Combustíveis Fósseis. In: LORA, E. E. S.; HADDAD, J. Geração Distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais. 1º Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência. v.1, cap.2. pp. 29-81, 2006.

WANG, K.; EISELE, M.; HWANG, Y.; RADEMACHER, R. Review of Secondary loop refrigeration Systems. *International Journal of refrigeration*, v. 3, n.2, p. 212-234, 2010. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2009.09.018

WANG, T.; SHENG, C.; NNANNA, A. G. A. Experimental Investigation of Air Conditioning System Using Evaporative Cooling Condenser, *Energy and Buildings*, v.81, p.435-443, 2014. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.06.047

YUMRUTA, R.; KUNDUZ, M.; KANOGLU, M. Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems. *Exergy, An International Journal*, v.2, n.4, p.266-272, 2002. DOI: 10.1016/S1164-0235(02)00079-1

CAPÍTULO 2

ARTIGO A SER SUBMETIDO PARA PUBLICAÇÃO NO
PERIÓDICO CHEMICAL ENGINEERING &
TECHNOLOGY

Influência da Capacidade Calorífica do Refrigerante
Secundário Utilizado no Resfriamento de Linhas de HT e LT
em Grupos Geradores

Influência da Capacidade Calorífica do Refrigerante Secundário Utilizado no
Resfriamento de Linhas de HT e LT em Grupos Geradores

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Gamboa, H. G. G.¹, Moura, A. E.², Sarubbo, L. A.³, Santos, V. A.³

¹Post-Graduate Program in Development of Environmental Processes, Catholic University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

²Centre of Technology and Geoscience, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

³Centre of Science and Technology, Catholic University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

Address correspondence to Leonie Asfora Sarubbo, Centre of Science and Technology, Catholic University of Pernambuco, Rua do Príncipe, n. 526, Boa Vista, CEP: 50050900, Recife, Pernambuco, Brazil. Tel.: Tel.: +55 81 21194048; fax: +55 81 21194043. E-mail: leonie@unicap.br

RESUMO

O objetivo do presente estudo é analisar as influências do calor específico e da condutividade térmica do refrigerante secundário escolhido para ser utilizado em um protótipo em escala de bancada de um grupo gerador diesel. Foi escolhido como refrigerante secundário uma solução aquosa de etileno glicol a 30%. Numa segunda etapa de trabalho foi investigada a influência da redução do calor específico e da condutividade térmica para o refrigerante adoptado, com o grupo gerador diesel trabalhando com uma carga de 10 kW, ou seja, 75% de sua carga máxima. A solução aquosa de etilenoglicol foi mais eficiente do que a água pura deionizada, reduzindo o consumo específico de óleo diesel no protótipo para percentuais mínimos de 42% a 60%, entre as temperaturas de 68 °C a 75° C, respectivamente..

Palavras-chave: Propriedades termofísicas; Etilenoglicol; Controle de temperatura; MCI; DCCR.

ABSTRACT

The aim of the present study is to analyze the influences of the heat capacity and thermal conductivity of a secondary coolant used in a bench scale prototype of a diesel generator group. It was chosen as a prototype secondary refrigerant in bench scale an aqueous solution of ethylene glycol at 30%. In a second stage of the work we investigated the influence of reductions of the specific heat and thermal conductivity, the refrigerant adopted for a diesel generator group to 10 kW load. The aqueous solution of ethylene glycol was more efficient than deionized pure water, reducing the specific consumption of diesel oil in bench prototype to minimum percentages of 42% to 60% between the temperatures 68 ° C to 75 ° C, respectively.

Keywords: Anti-freeze; thermoelectric plant; temperature control; internal combustion engine; Rotational central composite design

INTRODUÇÃO

Sistemas de refrigeração para arrefecimento de linhas de altas (HT) e baixas (LT) temperaturas têm sido responsáveis por um percentual significativo de consumo de energia elétrica na maioria das instalações industriais, hospitalares, comerciais ou mesmo residenciais [1]. Diante de cenários críticos de escassez de fontes naturais e de altos custos de geração e distribuição de energia, tem sido cada vez mais necessário o desenvolvimento de estudos que minimizem o consumo de energia na área de geração do frio. Por esse motivo, os sistemas de refrigeração que empregam a técnica de absorção [2], em lugar de compressão de vapor, têm se mostrado como uma excelente opção, já que sua principal fonte energética vem de calores residuais, comuns na maioria dos processos térmicos de todos os matizes. Dessa forma, uma das principais vantagens do sistema de refrigeração por absorção em relação ao de compressão de vapor é de que o primeiro se torna muito atrativo, ambiental e economicamente, com o aproveitamento de materiais excedentes e não comercializáveis como resíduos agrícolas, de madeira, de óleos, de gases quentes, de vinhaças, etc.

Os sistemas de refrigeração por absorção apresentam como fluido de trabalho uma mistura binária, composta geralmente de água e uma substância com elevado poder higroscópico, neste caso a amônia ou o brometo de lítio, sendo esta última a substância mais utilizada comercialmente [3]. Em um de seus componentes do sistema de refrigeração por absorção, o evaporador, o vapor d'água vaporiza-se, sob o efeito de sua baixa pressão, resfriando um segundo fluido (refrigerante secundário), o qual tem como função principal levar o frio, a determinados pontos do sistema com demanda por níveis menores de temperatura. Quando existem demandas por frio, esses refrigerantes secundários, normalmente compostos por soluções aquosas de determinados álcoois, são responsáveis pelo transporte eficiente do frio, produzido a partir de um reduzido consumo de energia elétrica [4].

A água é usada como refrigerante secundário em grandes sistemas de arrefecimento quando as temperaturas com as quais se opera estão acima de seu ponto de congelamento [5]. Isto se deve em função de suas excelentes propriedades termofísicas, como baixa fluidez e aos altos coeficientes de condutividade térmica e de calor específico. Contudo, além de garantir um bombeamento seguro do fluido refrigerante, a baixas temperaturas, substâncias anticongelantes como propilenoglicol, etilenoglicol e glicerol podem ser adicionadas à água em várias proporções dando origem a refrigerantes secundários, têm suas soluções aquosas largamente empregadas.

As linhas de LT e HT são responsáveis pelos controles de temperaturas do óleo lubrificante e dos cabeçotes, respectivamente, em instalações termelétricas que utilizam motores à combustão interna [6]. Como uma estratégia auxiliar para esse tipo de controle, a escolha de um bom fluido refrigerante tiveram seus calores específicos determinados experimentalmente e analisados com auxílio de planejamentos experimentais do tipo DCCR [7]. Além da incorporação à água de resfriamento, do

efeito anticongelante, pode-se avaliar a incorporação de um efeito de autorregulação, como ferramenta essencial à melhoria de estratégias para controles de sua temperatura.

Material e Métodos

Arranjo experimental

Os Motores à Combustão Interna (MCI) são máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível transforma-se em energia mecânica. Os gases de exaustão provenientes dessa combustão são utilizados como fluido de trabalho, para a geração de energia elétrica [8]. Neste caso, os MCI's a Diesel e a gás são competitivos, principalmente pela sua eficiência térmica, tanto em condições de operação de carga total como em cargas parciais, ou seja, a eficiência térmica apresenta pequena variação em uma faixa de 40 a 110 % de carga. Um fato que merece registro, quanto à eficiência desses motores, é a de que tais máquinas podem não apresentar uma sensibilidade considerável a variações de condições ambientais de temperatura e pressão [6].

Entre os sistemas auxiliares dos MCI's encontra-se o sistema de resfriamento. Este sistema é dividido em dois circuitos (LT e HT). Sua função é a de manter o motor sob controle de temperatura e, em nível adequado, para manter a combustão em qualquer carga e com a máxima eficiência térmica, sem prejudicar as características mecânicas dos componentes metálicos. O circuito de HT resfria o bloco do motor, o ar de alimentação e os cabeçotes dos cilindros. O circuito de LT é responsável pelo controle da temperatura do óleo lubrificante. Trocadores de calor do tipo radiadores são comumente utilizados na maioria desses processos, uma vez que esses equipamentos funcionam bem em casos de pouca disponibilidade de água, utilizando ventiladores a ar para o resfriamento [9].

Em algumas usinas termelétricas os circuitos de HT e LT têm serpentinas de resfriamento conjugadas em um mesmo trocador de calor, impossibilitando um alto grau de independência entre os sistemas de resfriamento desses dois setores. Para desenvolver estudos sobre a implantação de metodologias voltadas para melhorias na eficiência de geração de energia, como a proposta por este trabalho, foi construído o arranjo experimental de bancada ilustrado pelo esquema da Figura 1. Consta basicamente de um grupo gerador diesel confinado em uma cabine climatizada e confeccionada em acrílico para facilitar o contato visual com outros pontos do laboratório. Associado a essa cabine o sistema conta com um chiller de compressão de vapor, em substituição a um chiller de absorção do tipo LiBr-H₂O, não encontrado no mercado para a capacidade de refrigeração desejada [11]. O radiador do grupo gerador foi instalado na parte externa da cabine e outro trocador do tipo radiador foi instalado junto a um exaustor de ar, para aproveitamento de parte do frio da água gelada produzida pelo chiller. Um banco de resistores e instrumentos para medidas de pressão, temperatura, umidade, consumo de combustível, composição dos gases produtos da combustão, teor de fuligem e potência fornecida pelo grupo gerador,

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

completam o arranjo e enviam dados operacionais do sistema para um *datalogger*. A Figura 2 apresenta o isométrico correspondente ao esquema ilustrado pela Figura 1.

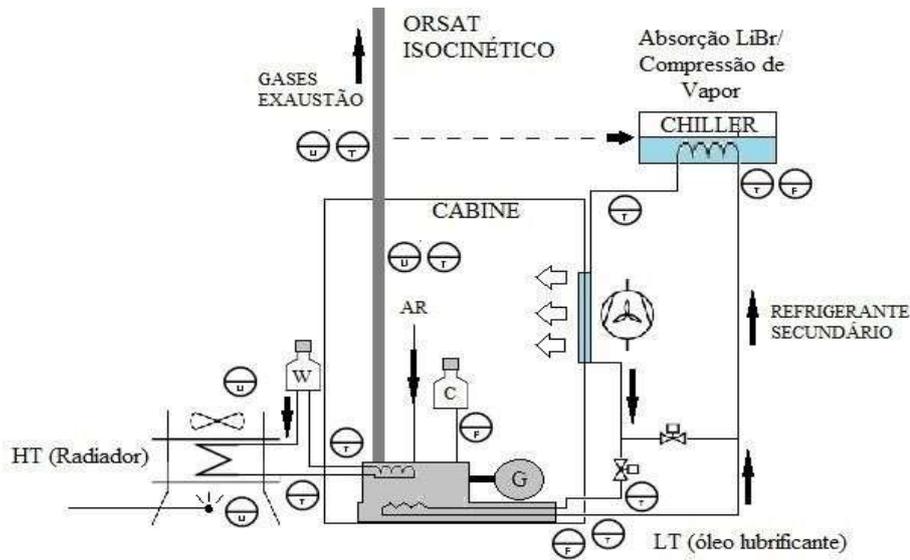
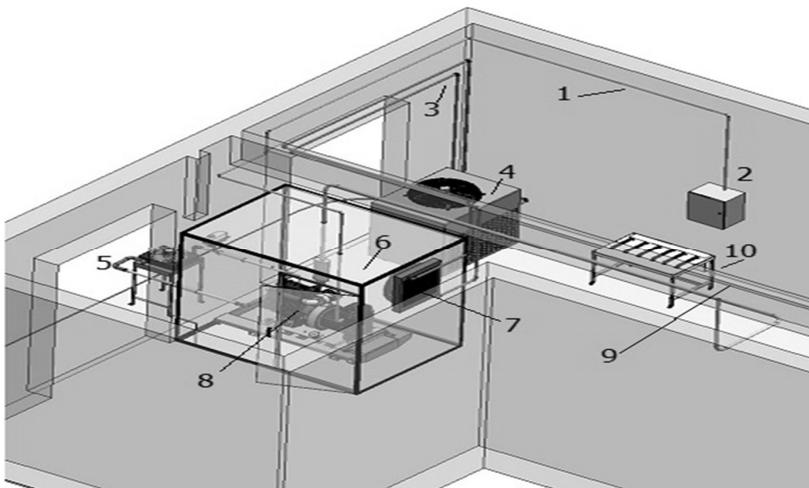


Figura 1 – Esquema com componentes do arranjo experimental de bancada para testes com o grupo gerador diesel



1 - Conduíte; 2 - *Datalogger*; 3 - Dutos de água gelada; 4 - Chiller; 5 - Trocador de calor tipo radiador; 6 - Cabine; 7 - Trocador de calor tipo cortina; 8 - Motogerador; 9 - Duto com produtos da combustão; 10 - Banco de resistores

Figura 2 - Ambiente virtual de trabalho para testes do grupo gerador diesel

Testes de escolha do refrigerante secundário

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Para a realização dos experimentos de caracterização da capacidade calorífica dos refrigerantes secundários, e posterior escolha de um refrigerante a ser adotado

(soluções aquosas de etilenoglicol, propilenoglicol e glicerol), utilizou-se um planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Dois fatores foram mantidos sob controle, ou seja, as variáveis independentes foram a concentração do álcool (X_1 , m/m %) e a temperatura (X_2 , °C). Um primeiro grupo de delineamentos foi realizado com temperaturas entre 36 °C a 64 °C, correspondendo a temperaturas características para linhas de LT. No segundo grupo a variação de temperatura foi de 68 °C a 82 °C, tendo-se denominada essa faixa de temperatura características para linhas de HT. Foram executados 4 pontos fatoriais compostos, 4 pontos axiais e 4 pontos centrais em cada DCCR [12]. Como variável resposta foram medidas as capacidades caloríficas de cada solução alcoólica. Todos os álcoois utilizados na preparação dessas soluções foram do tipo PA. As Tabelas 1 e 2 apresentam as variáveis codificadas e não codificadas relativas aos planejamentos experimentais aplicados.

Tabela 1 - Variáveis independentes codificadas e reais do DCCR para a faixa de temperatura LT

| | | Níveis | | | | |
|-------|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Fator | | -1.41 | -1 | 0 | +1 | +1.41 |
| X_1 | Concentração 5.90 alcoólica m/m % | | 10.00 | 20.00 | 30.00 | 34.10 |
| X_2 | Temperatura °C | 25.86 | 30.00 | 40.00 | 50.00 | 54.14 |

Tabela 2 - Variáveis independentes codificadas e reais do DCCR para a faixa de temperatura HT

| | | Níveis | | | | |
|-------|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Fator | | -1.41 | -1 | 0 | +1 | +1.41 |
| X_1 | Concentração 5.90 alcoólica m/m % | | 10.00 | 20.00 | 30.00 | 34.10 |
| X_2 | Temperatura °C | 57.92 | 60.00 | 65.00 | 70.00 | 72.07 |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Resultados e Discussão

Capacidades caloríficas dos refrigerantes secundários

Para a escolha de um refrigerante secundário a ser adotado para o arranjo experimental de bancada, a partir da aplicação de DCCR's a corridas em laboratório, trabalhou-se com valores característicos de temperaturas em linhas de LT e de HT de um MCI. As Tabelas 3 e 4 apresentam esses resultados. Essas tabelas correspondem às capacidades caloríficas dos refrigerantes secundários investigados. Nas referidas tabelas observa-se que um aumento nas concentrações dos álcoois, implica reduções das capacidades caloríficas.

Tabela 3 – Matriz de planejamento com as variáveis resposta para as análises dos refrigerantes secundários na faixa de temperatura da linha de LT

| Número | Fator | | Variáveis dependentes | | |
|--------|---|-------------------------------|--|--|---|
| | Concentração alcoólica m/m % X ₁ | Temperatura °C X ₂ | Calor Específico Etilenoglicol kJ/[(kg.K)] | Calor Específico Propilenoglicol kJ/[(kg.K)] | Calor Específico Glicerol kJ/[(kg.K)] |
| 1 | 10(-1) | 30(-1) | 4.082 | 4.136 | 3.993 |
| 2 | 10(-1) | 50(+1) | 4.103 | 4.157 | 4.013 |
| 3 | 30(+1) | 30(-1) | 3.873 | 3.924 | 3.788 |
| 4 | 30(+1) | 50(+1) | 3.915 | 3.967 | 3.829 |
| 5 | 5.9(-1.41) | 40(0) | 4.140 | 4.195 | 4.049 |
| 6 | 34.1(+1.41) | 40(0) | 3.810 | 3.860 | 3.727 |
| 7 | 20(0) | 25.85(-1.41) | 3.950 | 4.002 | 3.864 |
| 8 | 20(0) | 54.14(+1.41) | 4.023 | 4.139 | 3.935 |
| 9 | 20(0) | 40(0) | 3.977 | 4.030 | 3.890 |
| 10 | 20(0) | 40(0) | 3.978 | 4.032 | 3.892 |
| 11 | 20(0) | 40(0) | 3.976 | 4.031 | 3.891 |
| 12 | 20(0) | 40(0) | 3.977 | 4.033 | 3.893 |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tabela 4 – Matriz de planejamento com as variáveis resposta para as análises dos refrigerantes secundários na faixa de temperatura da linha de HT

| Número | Fator | | Variáveis dependentes | | |
|--------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | Concentração alcoólica | Temperatura °C X ₂ | Calor Específico | Calor Específico | Calor Específico |
| | m/m % | | Etilenoglicol | Propilenoglicol | Glicerol |
| | X ₁ | | kJ/[(kg.K)] | kJ/[(kg.K)] | kJ/[(kg.K)] |
| 1 | 10(-1) | 60(-1) | 4.082 | 4.136 | 3.993 |
| 2 | 10(-1) | 70(+1) | 4.103 | 4.149 | 4.013 |
| 3 | 30(+1) | 60(-1) | 3.873 | 3.952 | 3.788 |
| 4 | 30(+1) | 70(+1) | 3.915 | 4.093 | 3.829 |
| 5 | 5.9(-1.41) | 65(0) | 4.140 | 4.145 | 4.049 |
| 6 | 34.1(+1.41) | 65(0) | 3.810 | 3.908 | 3.727 |
| 7 | 20(0) | 62.07(-1.41) | 3.950 | 4.08 | 3.864 |
| 8 | 20(0) | 57.93(+1.41) | 4.023 | 4.107 | 3.935 |
| 9 | 20(0) | 65(0) | 3.977 | 4.091 | 3.890 |
| 10 | 20(0) | 65(0) | 3.978 | 4.092 | 3.892 |
| 11 | 20(0) | 65(0) | 3.976 | 4.093 | 3.891 |
| 12 | 20(0) | 65(0) | 3.977 | 4.092 | 3.893 |

Para obtenção de modelos estatísticos de previsão do calor específico dos refrigerantes secundários envolvido neste trabalho, foi necessária a aplicação da metodologia de análise de superfície de respostas (MSR) aos dados experimentais. Dessa forma foram realizadas análises de variâncias (ANOVA) para os referidos dados experimentais. Os dados referentes às tabelas de ANOVA são apresentados pelas Tabelas de 5 a 10. Nessas tabelas observa-se baixíssimos valores de erros experimentais, indicando-se domínio sobre a técnica de medida implementada.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Apesar de serem atestadas faltas de ajustes, valores favoráveis de parâmetros como de nível de confiança ($p < 0,05$) e altos valores calculados das constantes de Fisher-Snadecor [13], viabilizaram as adoções dos referidos modelos.

Tabela 5 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante etilenoglicoláqua na faixa de temperatura de uma linha de LT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.093245 | 1 | 0.093245 | 139867.7 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000029 | 1 | 0.000029 | 43.4 | 0.007129 |
| X ₂ (L) | 0.003454 | 1 | 0.003454 | 5181.6 | 0.000006 |
| X ₂ (Q) | 0.000397 | 1 | 0.000397 | 595.4 | 0.000151 |
| X ₁ . X ₂ | 0.000110 | 1 | 0.000110 | 165.4 | 0.001015 |
| Falta de ajuste | 0.001122 | 3 | 0.000374 | 561.0 | 0.000127 |
| Erro experimental | 0.000002 | 3 | 0.000001 | | |
| Total | 0.098333 | 11 | | | |

Tabela 6 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante propilenoglicoláqua na faixa de temperatura de uma linha de LT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.095870 | 1 | 0.095870 | 57521.87 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000048 | 1 | 0.000048 | 29.04 | 0.012520 |
| X ₂ (L) | 0.008304 | 1 | 0.008304 | 4982.52 | 0.000006 |
| X ₂ (Q) | 0.002250 | 1 | 0.002250 | 1350.00 | 0.000044 |
| X ₁ . X ₂ | 0.000121 | 1 | 0.000121 | 72.60 | 0.003396 |
| Falta de ajuste | 0.002766 | 3 | 0.000922 | 553.20 | 0.000130 |
| Erro experimental | 0.000005 | 3 | 0.000002 | | |
| Total | 0.109598 | 11 | | | |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tabela 7 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante glicerol-água na faixa de temperatura de uma linha de LT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.089122 | 1 | 0.089122 | 53472.91 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000010 | 1 | 0.000010 | 6.00 | 0.091721 |
| X ₂ (L) | 0.003257 | 1 | 0.003257 | 1953.97 | 0.000025 |
| X ₂ (Q) | 0.000314 | 1 | 0.000314 | 188.16 | 0.000838 |
| X ₁ . X ₂ | 0.000110 | 1 | 0.000110 | 66.15 | 0.003886 |
| Falta de ajuste | 0.001033 | 3 | 0.000344 | 206.57 | 0.000567 |
| Erro experimental | 0.000005 | 3 | 0.000002 | | |
| Total | 0.093840 | 11 | | | |

Tabela 8 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante etilenoglicol-água na faixa de temperatura de uma linha de HT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.075420 | 1 | 0.075420 | 113129.7 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000096 | 1 | 0.000096 | 144.2 | 0.001243 |
| X ₂ (L) | 0.008955 | 1 | 0.008955 | 13432.0 | 0.000001 |
| X ₂ (Q) | 0.000022 | 1 | 0.000022 | 33.7 | 0.010152 |
| X ₁ . X ₂ | 0.001560 | 1 | 0.001560 | 2340.4 | 0.000019 |
| Falta de ajuste | 0.004383 | 3 | 0.001461 | 2191.5 | 0.000017 |
| Erro experimental | 0.000002 | 3 | 0.000001 | | |
| Total | 0.090463 | 11 | | | |

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Tabela 9 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante propilenoglicolágua na faixa de temperatura de uma linha de HT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.096619 | 1 | 0.096619 | 386475.0 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000026 | 1 | 0.000026 | 102.4 | 0.002056 |
| X ₂ (L) | 0.003555 | 1 | 0.003555 | 14221.7 | 0.000001 |
| X ₂ (Q) | 0.000410 | 1 | 0.000410 | 1638.4 | 0.000033 |
| X ₁ . X ₂ | 0.000121 | 1 | 0.000121 | 484.0 | 0.000206 |
| Falta de ajuste | 0.001152 | 3 | 0.000384 | 1536.4 | 0.000028 |
| Erro experimental | 0.000001 | 3 | 0.000000 | | |
| Total | 0.101859 | 11 | | | |

Tabela 10 – Resultados da ANOVA para o calor específico de refrigerante glicerol-água na faixa de temperatura de uma linha de HT

| Fator | SQ | GL | MQ | F | p |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| X ₁ (L) | 0.092599 | 1 | 0.092599 | 277795.5 | 0.000000 |
| X ₁ (Q) | 0.000048 | 1 | 0.000048 | 145.2 | 0.001230 |
| X ₂ (L) | 0.000210 | 1 | 0.000210 | 631.3 | 0.000138 |
| X ₂ (Q) | 0.003764 | 1 | 0.003764 | 11290.8 | 0.000002 |
| X ₁ . X ₂ | 0.000064 | 1 | 0.000064 | 192.0 | 0.000814 |
| Falta de ajuste | 0.001491 | 3 | 0.000497 | 1491.1 | 0.000029 |
| Erro experimental | 0.000001 | 3 | 0.000000 | | |
| Total | 0.098514 | 11 | | | |

Para uma melhor compreensão sobre os efeitos de cada fator, nas condições de concentração e temperatura de trabalho dos refrigerantes, foram também obtidos diagramas de Pareto (Figuras de 1 a 6). Nesses diagramas de barra, os valores à direita de cada barra representam os efeitos sobre o valor da variável resposta. Nas três soluções alcoólicas, o efeito do aumento linear da concentração do álcool é, disparadamente, o fator de maior significância estatística nas faixas de temperatura

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

escolhidas para análise. Contudo, esse efeito contribui negativamente para o valor do calor específico em quaisquer dos refrigerantes.

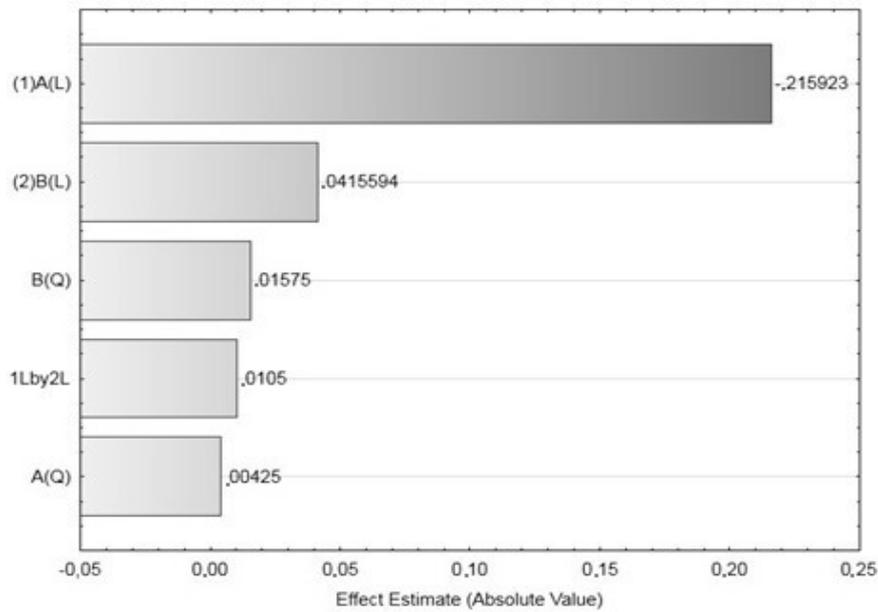


Figura 1 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na temperatura da linha de LT

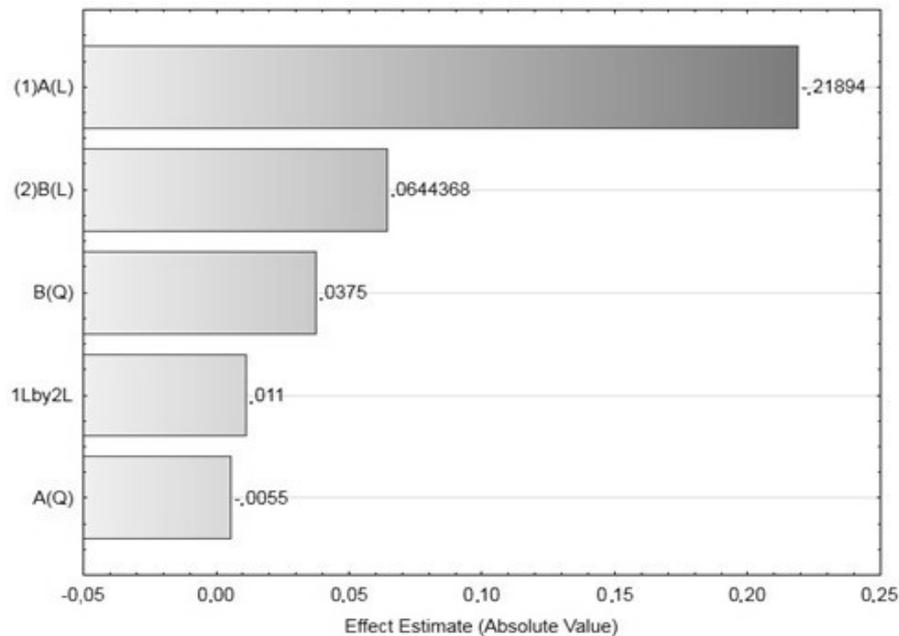


Figura 2 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante propilenoglicol-água na temperatura da linha de LT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

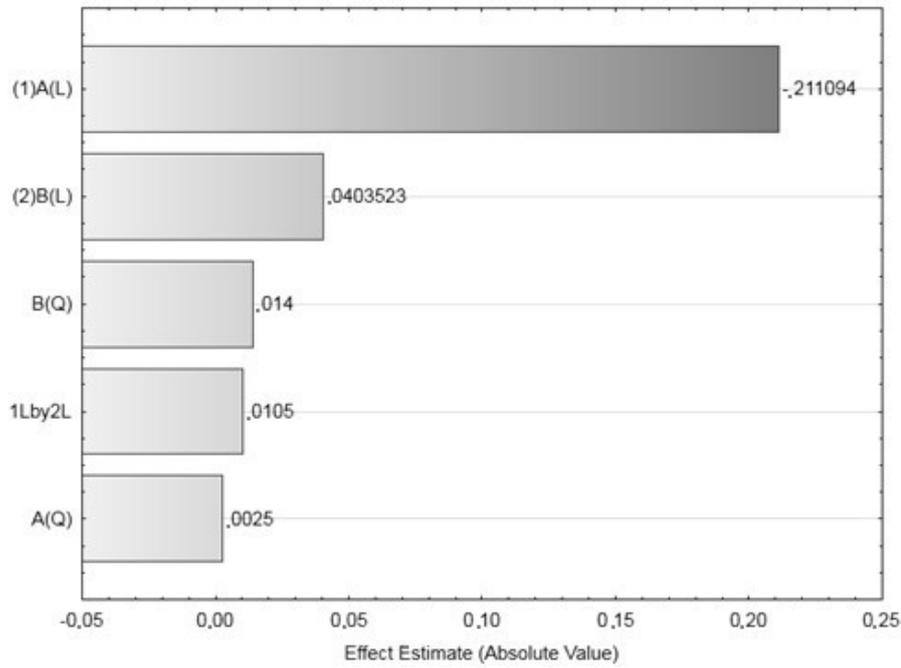


Figura 3 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante glicerol-água na temperatura da linha de LT

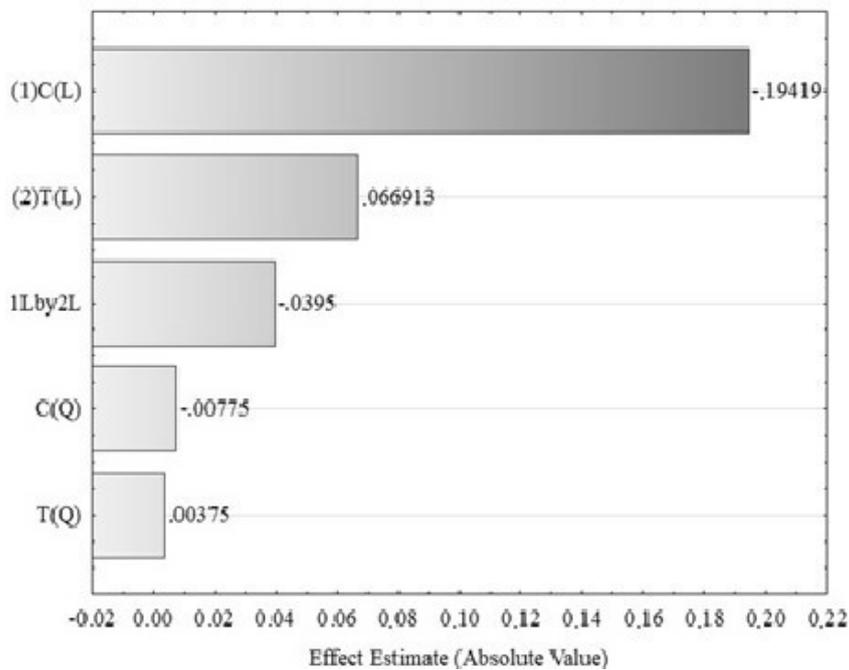


Figura 4 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na temperatura da linha de HT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

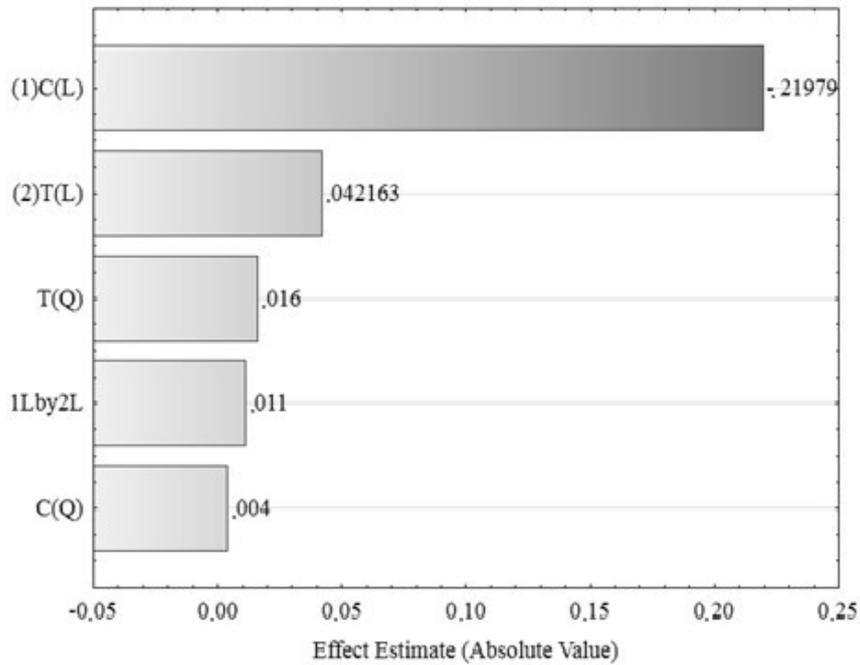


Figura 5 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante propilenoglicoláqua na temperatura da linha de HT

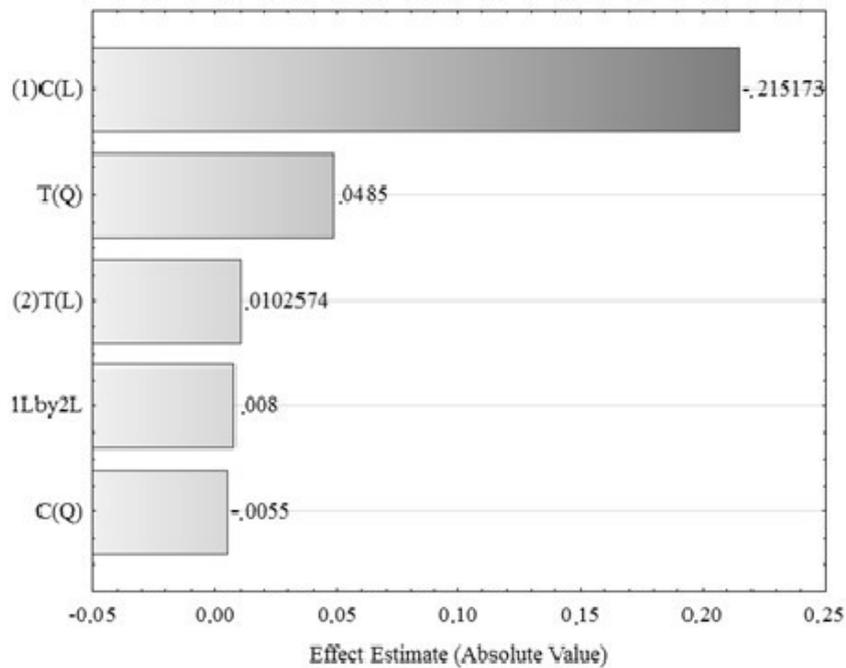


Figura 6 – Diagrama de Pareto para o calor específico do refrigerante glicerol-água na temperatura da linha de HT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

Com base nas tabelas de ANOVA e respaldados nos parâmetros dos diagramas de Pareto, como forma de confirmação dos efeitos de cada termo na contribuição dos modelos de previsão, as Equações de 1 a 6, apresentam tais modelos. São expressões polinomiais de segunda ordem em relação, tanto à concentração do álcool quanto à temperatura de trabalho. Conforme assinalados pelos gráficos de Pareto as contribuições dos termos de interação entre os fatores são bastante reduzidas. Esses modelos de previsão foram utilizados para as confecções de superfícies de respostas apresentadas pelas Figuras de 7 a 12.

$$SH_{EGLT} = 4.2863 + 0.01374 \cdot EG + 0.00002 \cdot EG^2 + 0.00527 \cdot T + 0.00008 \cdot T^2 + 0.00005 \cdot EG \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (1)$$

$$SH_{PGLT} = 4.4546 + 0.01204 \cdot PG + 0.00027 \cdot PG^2 + 0.01288 \cdot T + 0.00019 \cdot T^2 + 0.00050 \cdot PG \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (2)$$

$$SH_{GLLT} = 4.18089 + 0.01315 \cdot GL + 0.000013 \cdot GL^2 + 0.00463 \cdot T + 0.000071 \cdot T^2 + 0.000052 \cdot GL \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (3)$$

$$SH_{EGHT} = 3.58513 + 0.01751 \cdot EG + 0.00004 \cdot EG^2 + 0.00481 \cdot T + 0.00007 \cdot T^2 + 0.00039 \cdot EG \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (4)$$

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

$$SH_{PGHT} = 5.4950 + 0.01894 \cdot PG + 0.00002 \cdot PG^2 + 0.03958 \cdot T + 0.00032 \cdot T^2 + 0.00011 \cdot PG \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (5)$$

$$SH_{GLHT} = 8.3195 + 0.01486 \cdot GL + 0.000027 \cdot GL^2 + 0.12667 \cdot T + 0.00097 \cdot T^2 + 0.000080 \cdot GL \cdot T \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (6)$$

Nas figuras das superfícies de resposta (Figuras de 7 a 12) observa-se nitidamente nas três soluções refrigerantes, o quanto a concentração influencia no calor específico resultante. Essa é uma das grandes vantagens de experimentos que envolvem variações simultâneas de fatores. Em um mesmo sistema de eixos pode-se comparar as intensidades desses fatores (concentração e temperatura) sobre o calor específico da solução. Observa-se ainda que, para essas faixas de temperatura, o propilenoglicol inverte de posição quanto aos valores de calor específico em relação ao etilenoglicol, alcançando valores maiores que os deste último. Outra tendência importante aparece junto ao comportamento da solução aquosa de propilenoglicol. Em comparação com as outras duas soluções, a de propilenoglicol apresenta um maior gradiente de calor específico em função da variação de temperatura.

Uma comprovação da robustez dos modelos estatísticos obtidos para previsões das propriedades desses refrigerantes secundários apresenta-se nas Figuras de 13 a 18. As distribuições homogêneas dos pontos experimentais ao longo do intervalo de simulação dos modelos teóricos evidencia o excelente ajuste entre esses dois tipos de dados.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

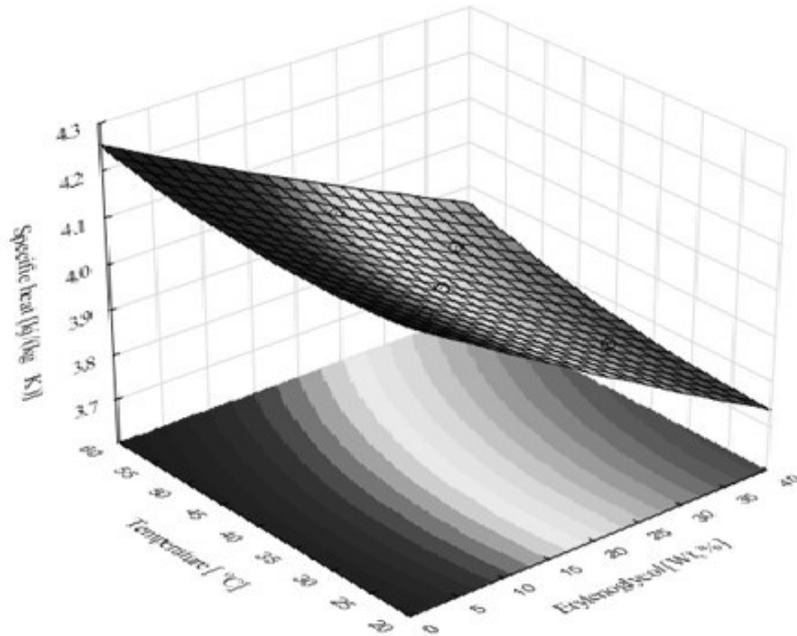


Figura 7 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na faixa de temperatura da linha de LT

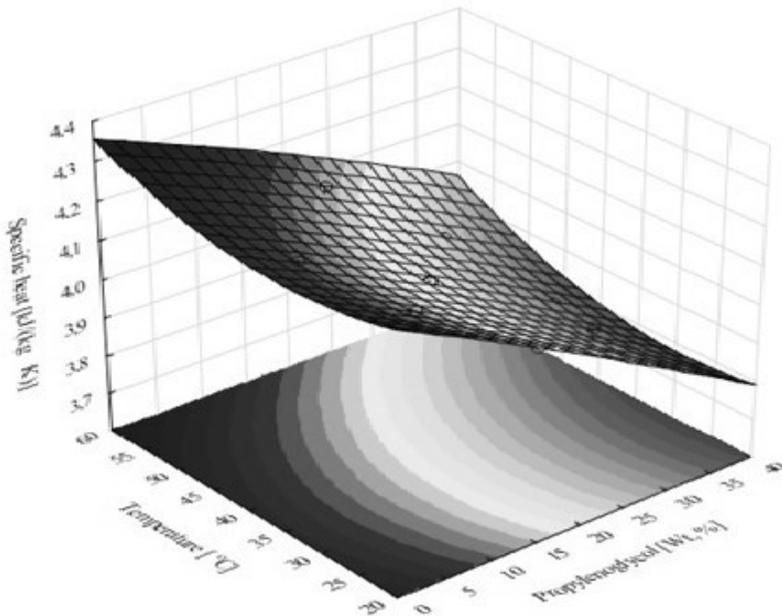


Figura 8 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante propilenoglicol-água na temperatura da linha de LT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

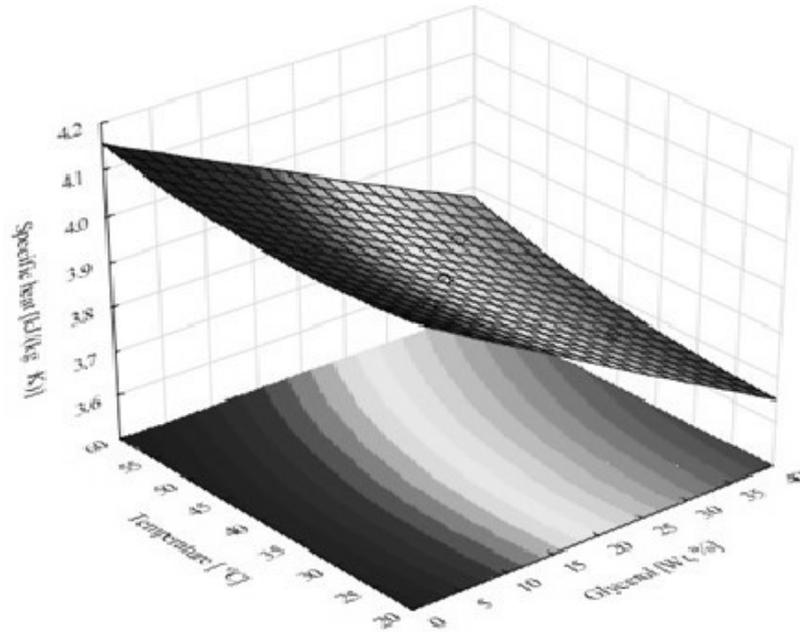


Figura 9 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante glicerol-água na temperatura da linha de LT

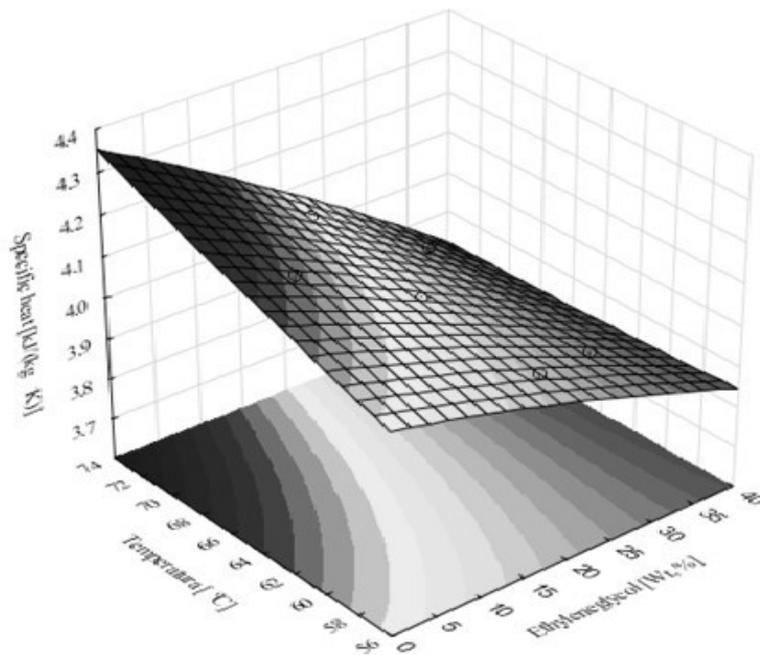


Figura 10 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na faixa de temperatura da linha de LH

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

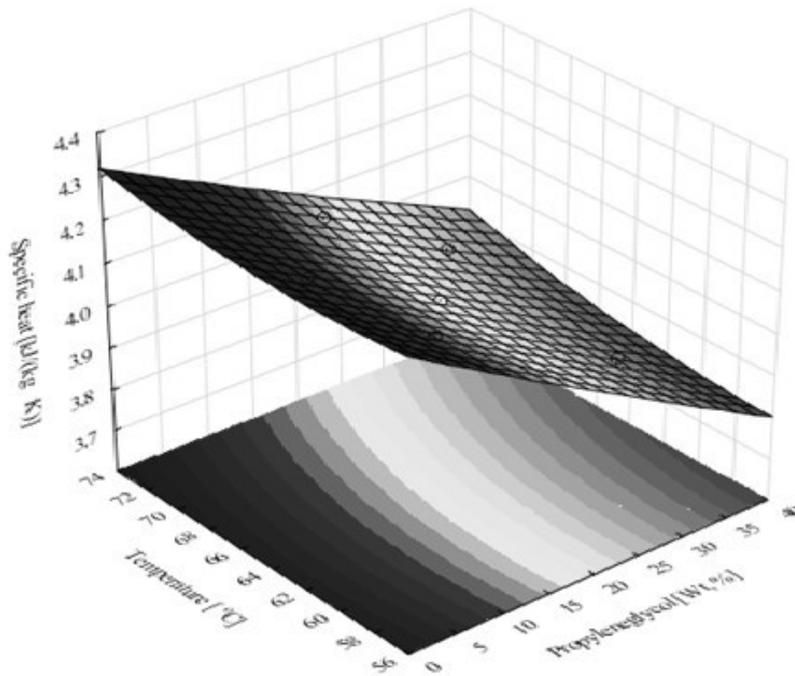


Figura 11 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante propilenoglicol-água na temperatura da linha de HT

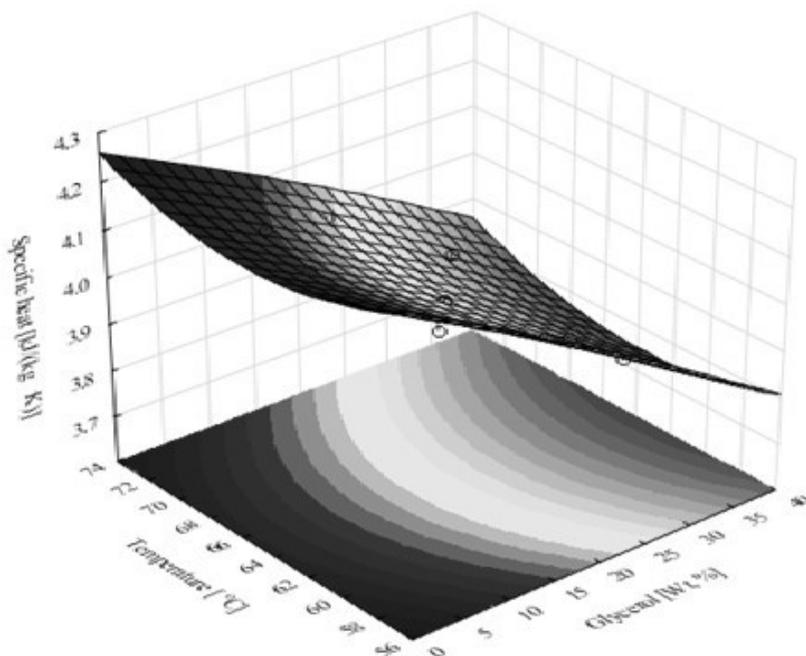


Figura 12 – Superfície de resposta para o calor específico do refrigerante glicerol-água na temperatura da linha de HT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

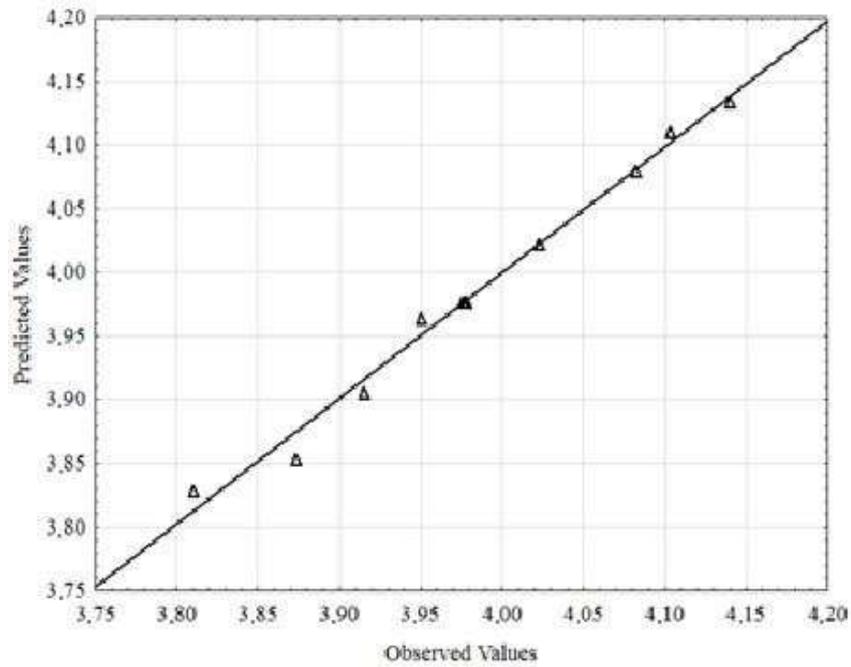


Figura 13 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na faixa de temperatura da linha de LT

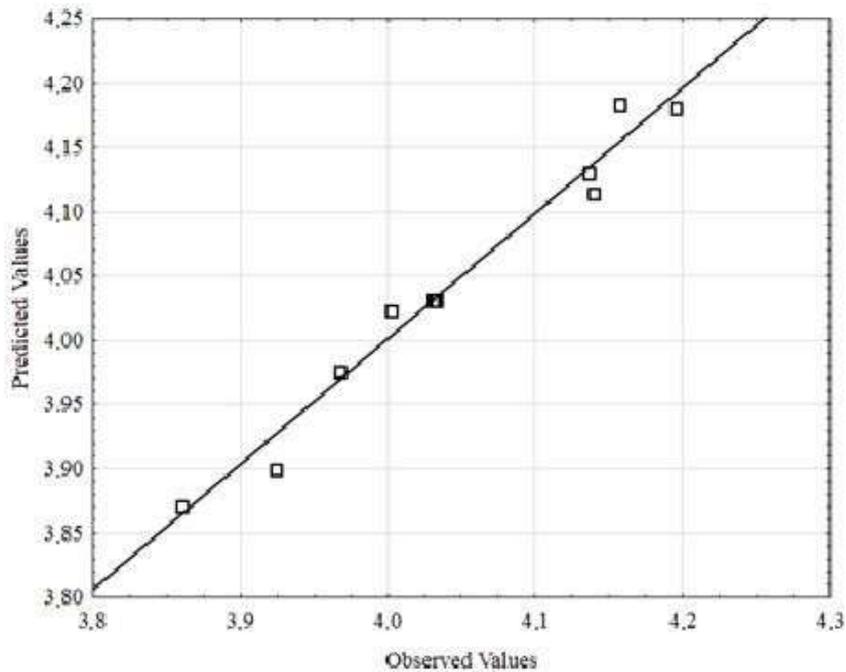


Figura 14 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante propilenoglicol-água na faixa de temperatura na linha de LT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

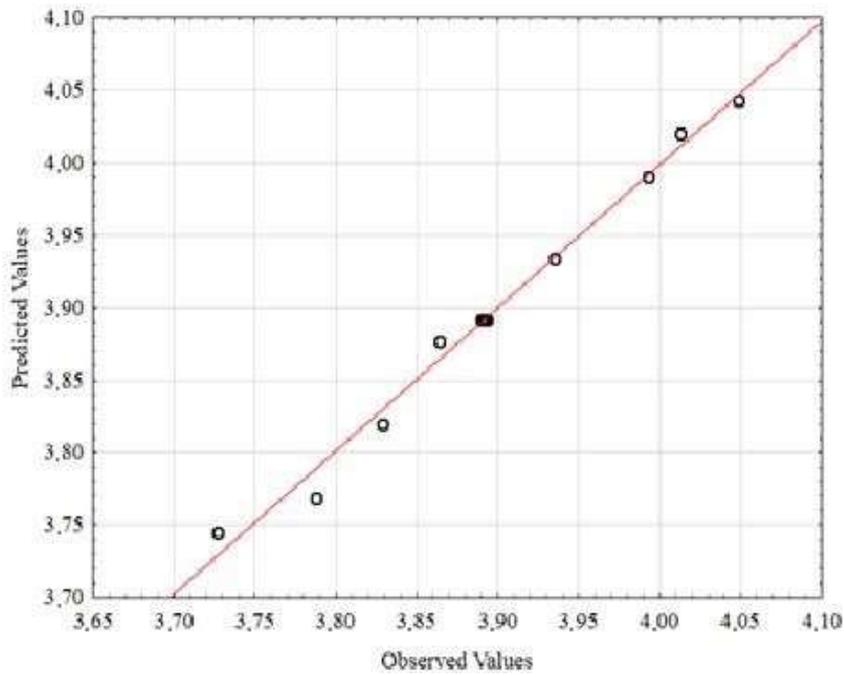


Figura 15 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante glicerol-água na faixa de temperatura na linha de LT

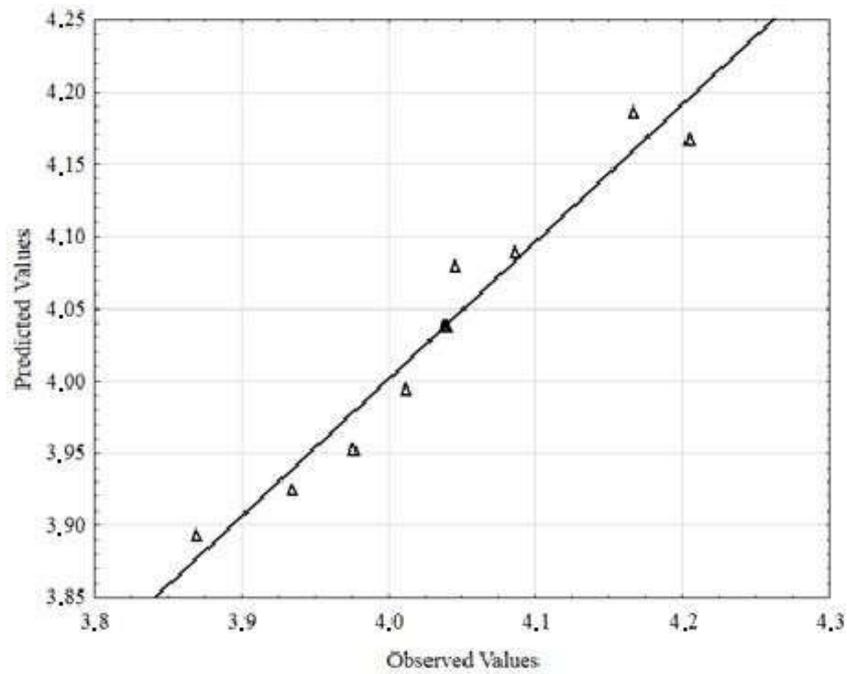


Figura 16 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante etilenoglicol-água na faixa de temperatura da linha de HT

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

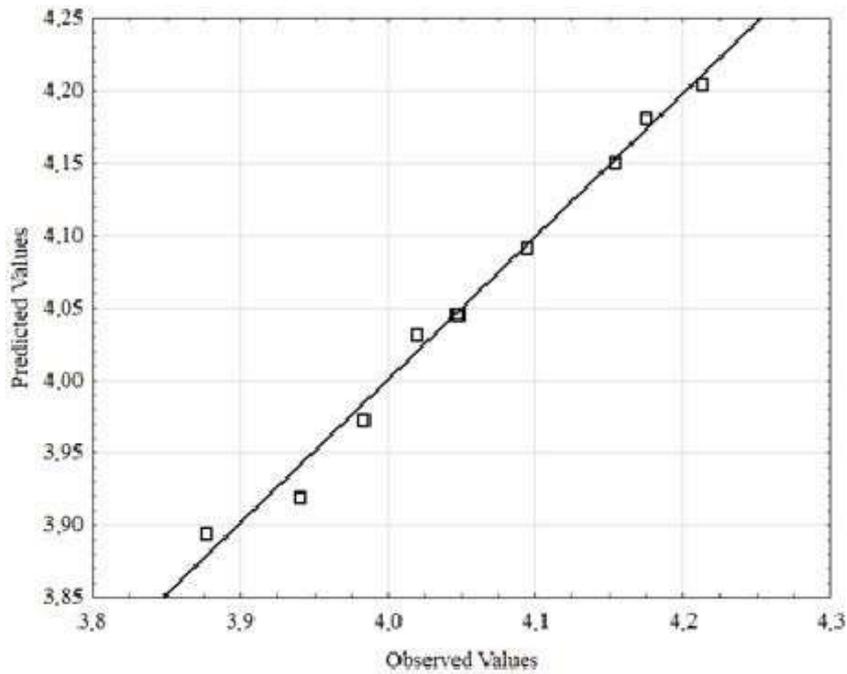


Figura 17 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante propilenoglicol-água na faixa de temperatura na linha de LT

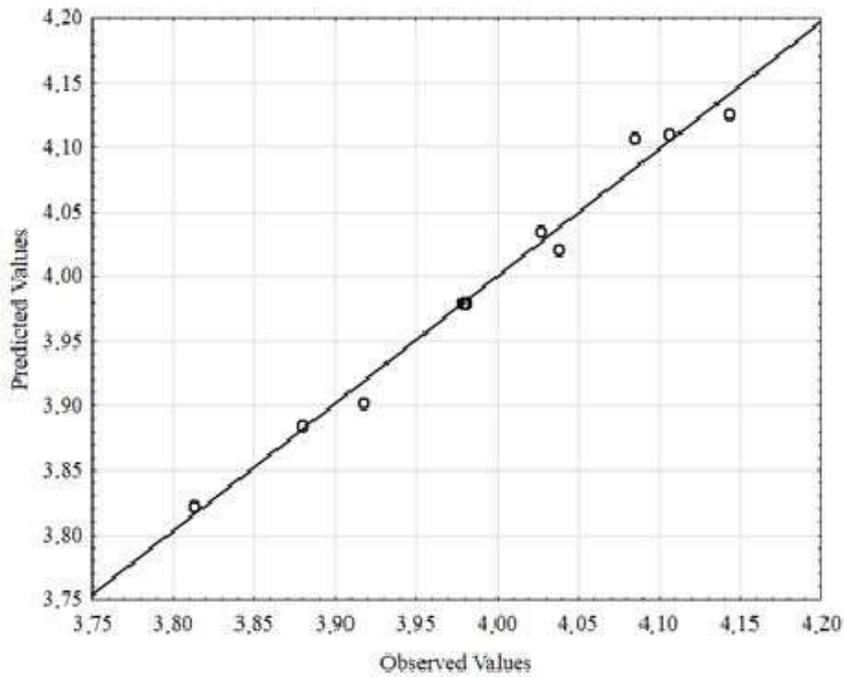


Figura 18 – Valores simulados e experimentais do calor específico do refrigerante glicerol-água na faixa de temperatura na linha de HT

Testes experimentais do efeito de termorregulação

A escolha do refrigerante secundário a ser adotado no arranjo experimental de bancada, recaiu sobre a solução aquosa de etileno glicol a 30%. O referido refrigerante secundário apresentou um valor de capacidade calorífica abaixo das outras duas soluções. Como consequência a este fato, um maior valor do efeito de termo regulação é esperado. Para verificações experimentais desse efeito sobre possíveis estratégias de controle de temperatura em uma UTE, foram realizadas medidas de temperaturas na saída da linha de HT do arranjo experimental de bancada. Os valores dessas temperaturas foram monitorados por um registrador digital e armazenador de dados (fieldlogger) conectado a sensores instalados na entrada e saída do bloco do motor, do grupo gerador diesel utilizado.

Durantes os testes experimentais, fluxos de água gelada foram injetados na entrada do bloco do motor do grupo gerador, causando uma redução da temperatura da água de arrefecimento. O sensor de temperatura, colocado na saída do bloco do motor, indicava como se comportava a temperatura do sistema, em função do tempo, frente a essas variações provocadas na entrada do bloco. Os fluxos de água gelada foram ajustados para produzirem no sistema pulsos de abaixamento de temperaturas da ordem de 3 °C. A estratégia de controle de temperatura do sistema foi implementada para produzirem estabilizações da mesma (setpoint), com valores de 64 °C, 67 °C, 70 °C, 73 °C e 76 °C. Essas respostas foram monitoradas com experimentos utilizando água pura ou solução aquosa de etilenoglicol, como fluidos refrigerante. Os pulsos de redução de temperatura eram aplicados sucessivamente, até o sistema recuperar-se frente à modificação provocada pelo fluxo de água gelada.

As Figuras de 19 a 23 ilustram os comportamentos das respostas do sistema a pulsos de redução de temperatura, na entrada do motor, para diferentes valores de temperaturas de estabilização desse sistema nesta mesma estrada. Na Figura 19 o pulso de refrigerante gelado era uma redução de temperatura de entrada para 64 °C. Observa-se nesta figura que as temperaturas dos refrigerantes na saída do bloco do motor atingem temperaturas de estabilização em tempos diferentes. Tempos menores para a solução de etilenoglicol, embora as variações de temperatura na saída sejam muito próximas, cerca de 6 °C.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

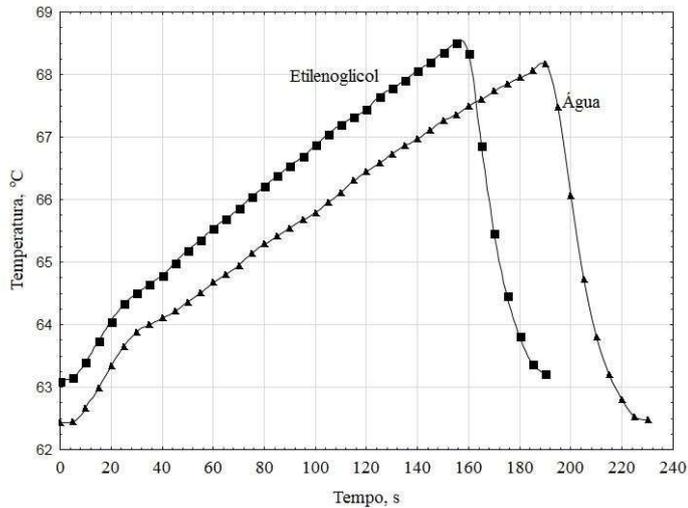


Figura 19 – Variações das temperaturas da água e da solução aquosa de etilenoglicol em função do tempo na saída do bloco para uma temperatura de entrada de 64 °C

Na Figura 20 observa-se ainda um tempo menor de resposta para a solução aquosa de etilenoglicol, 20 % menor em relação ao tempo requerido pela água, mantendo-se uma variação de temperatura da ordem de 6 °C. Na Figura 21, observase que para uma temperatura do refrigerante de 70 °C, na entrada do bloco do motor, começa a ocorrer uma inversão desse tempo de estabilização. Passando a ser da ordem de 42 % menor que o tempo requerido pela solução aquosa de etilenoglicol. Observase também que a largura do pulso de resposta para o etileno glicol vai aumentando com a temperatura de entrada do refrigerante na entrada do bloco do motor e, que essa mesma largura para a água tende a diminuir. Daí se observa que a partir de uma temperatura de entrada de 70 °C (Figuras de 21 a 23) a razão entre os tempos de respostas fica entre 40 e 50 % menor para a água. Dessa forma, parece ficar estabelecido que a medida em que a temperatura do refrigerante aumenta, o efeito de autorregulação impõe, à solução aquosa de etilenoglicol, uma certa “resiliência” aos pulsos externos de temperatura.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

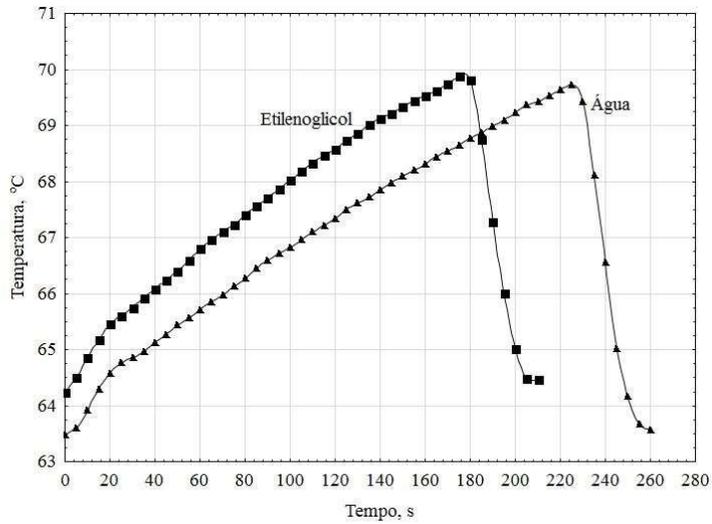


Figura 20 – Variações das temperaturas da água e da solução aquosa de etilenoglicol em função do tempo na saída do bloco para uma temperatura de entrada de 67 °C

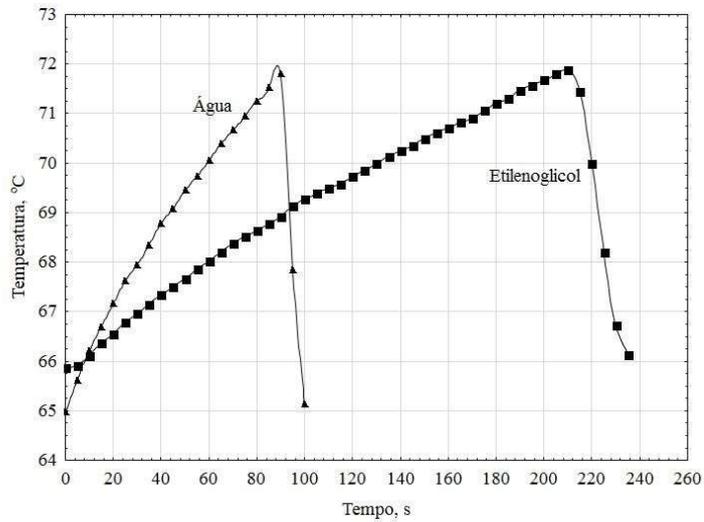


Figura 21 – Variações das temperaturas da água e da solução aquosa de etilenoglicol em função do tempo na saída do bloco para uma temperatura de entrada de 70 °C

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

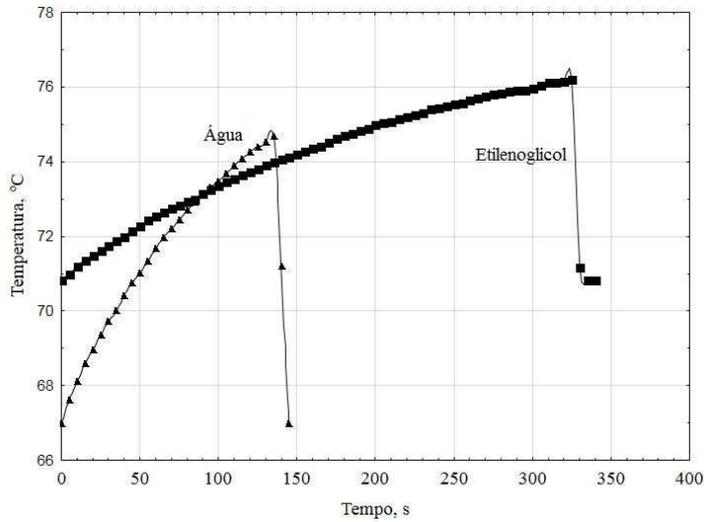


Figura 22 – Variações das temperaturas da água e da solução aquosa de etilenoglicol em função do tempo na saída do bloco para uma temperatura de entrada de 73 °C

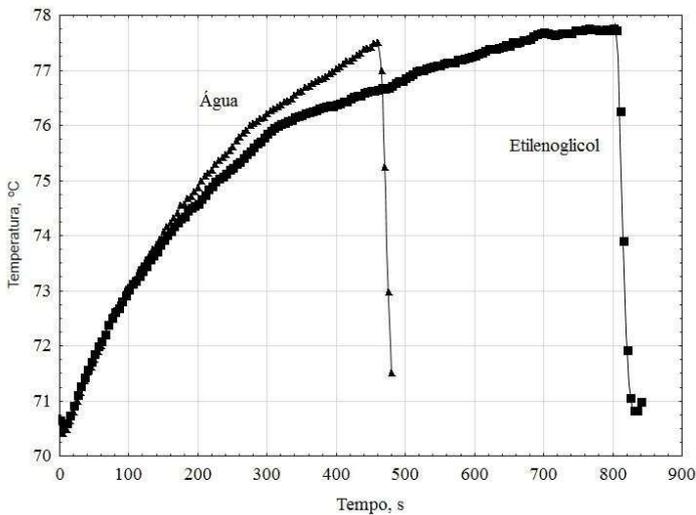


Figura 23 – Variações das temperaturas da água e da solução aquosa de etilenoglicol em função do tempo na saída do bloco para uma temperatura de entrada de 76 °C

Quanto à influência do tipo de refrigerante sobre o consumo específico de combustível, foram postos em um gráfico dados desse consumo em função da temperatura (Figura 24). Observa-se por esta figura que entre temperaturas na faixa de 66 °C a 75 °C, o consumo específico de combustível é favorecido pelo uso da solução aquosa de etilenoglicol, ou seja, torna-se bem menor que o respectivo consumo quando o

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

refrigerante secundário é a água deionizada. Deduz-se deste fato que o menor consumo de combustível foi favorecido pela menor oscilação na temperatura do sistema.

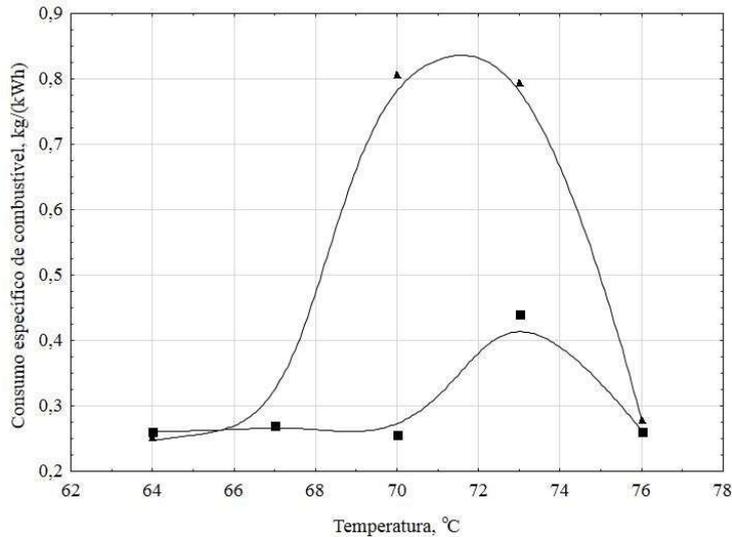


Figura 24 – Consumo específico de combustível em função da temperatura de entrada no motor do grupo gerador do arranjo experimental de bancada

Conclusões

Foi concluído neste trabalho que nas linhas de HT, a solução aquosa de etilenoglicol circulou com um efeito esperado as variações de temperatura e teve uma autorregulação desejável mesmo com as baixas da capacidade calorífica e condutividade térmica demonstrada nos resultados experimentais realizados. Porém a solução aquosa do etilenoglicol teve um favorecimento na faixa de temperatura de 66 °C a 76 °C com uma redução do consumo específico do combustível. Sendo assim, a solução aquosa de etilenoglicol apresentou-se, dentre as limitações, um bom fluido para um refrigerante secundário.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

REFERÊNCIAS

BASSHUYSEN, R.; SCHAEFER, F., Internal Combustion Engine Handbook. New York: SAE International, 2004, 828 p.

BOX, E. P.; HUNTER, G.; STUART, J.; HUNTER, G. W. Statistics for experiments. New Jersey: John Willey and Sons, Inc., 2005.

BOX, G. E. P.; WILSON K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. J. R. Statist. Soc., B. 13 1 – 45, 1951.

EGOLF, P. W.; KAUFFELD, M., 2005. From physical properties of ice slurries to industrial ice slurry applications. *Int. J. of Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 4-12. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.014

GUILPART, J.; STAMATIOU, E.; DELAHAYE, A., FOURNAISON, L., 2006. Comparison of the performance of different ice slurry types depending on the application temperature. *Int. J. Refrigeration.*, v. 29, n. 5, p. 781-788. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2005.11.009

GUILPART, J.; STAMATIOU, E.; DELAHAYE, A., FOURNAISON, L., 2006. Comparison of the performance of different ice slurry types depending on the application temperature. *Int. J. Refrigeration.*, v. 29, n. 5, p. 781-788. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2005.11.009

GUNTER, G. Fundamental Refrigeration. 1st Edition, Paperback, 2007. 170 p. ISBN-10: 1930044232; ISBN-13: 978-1930044234

KOHLNBACH, P.; ZIEGLER, F. A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part II: Numerical results and experimental verification. *International Journal of Refrigeration*, v. 31, n. 2, p. 226–233, 2008.

KOHLNBACH, P.; ZIEGLER, F. A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part I: The model. *International Journal of Refrigeration*, v. 31, n. 2, p. 217–225, 2008.

Melinder, A. Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids. Doctoral Thesis. 144 p. Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration. Dept. of Energy Technology - School of Industrial Engineering and Management. Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden 2007. ISBN 97891-7178-707-1.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

MELINDER, A., Thermophysical properties of liquid secondary refrigerants, A Critical Review on Literature References and Laboratory Measurements, KTH, Stockholm, 1998.

MELINDER, A.; GRANRYD, E., 2005. Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries. *Int. J. of Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 13-19. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.013.

MELINDER, A.; GRANRYD, E., 2005. Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries. *Int. J. of Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 13-19. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.013.

MILOSEVIC, Z.; EASTWOOD, A. Heat Integration and Pinch Analysis, in Managing CO Emissions in the Chemical Industry (ed H.-J. Leimkühler), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2010.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M., 2009. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 3rd. ed. New York: J. Wiley & Sons, 2009. 704 p. ISBN: 978-0-470-17446-3

Pina, H.L.G., (1979), "Thermodynamic Properties of Water", Revue Generale de Thermique, No215, Nov.1979.

PRANK. P.; HANSEN, T. M.; INFANTE FERREIRA, C. A.; WITKAMP, G. J., 2005. Time-dependent behavior of different ice slurries during storage. *Int. J. Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 27-36. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.011

PRANK. P.; HANSEN, T. M.; INFANTE FERREIRA, C. A.; WITKAMP, G. J., 2005. Time-dependent behavior of different ice slurries during storage. *Int. J. Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 27-36. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.011

SANDLER, S. I., 1994. Thermophysical properties: what have we learned recently, and what do we still need to know?. *Int. J. Thermophys.*, v. 15, n. 6, p. 1013-1035. DOI: 10.1007/BF01458812, ISSN: 1572-9567

SANDLER, S. I., 1994. Thermophysical properties: what have we learned recently, and what do we still need to know?. *Int. J. Thermophys.*, v. 15, n. 6, p. 1013-1035. DOI: 10.1007/BF01458812, ISSN: 1572-9567

STAMATIOU, E.; MEEWISSE, J. W.; KAWAJI, M., 2005. Ice slurry generation involving moving parts. *Int. J. Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 60-72. DOI:

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

10.1016/j.ijrefrig.2004.07.016

STAMATIOU, E.; MEEWISSE, J. W.; KAWAJI, M., 2005. Ice slurry generation involving moving parts. *Int. J. Refrigeration.*, v. 28, n. 1, p. 60-72. DOI:

10.1016/j.ijrefrig.2004.07.016

WU, D.W.; WANG, R.Z., Combined cooling, heating and power: a review. *Progress in Energy and Combustion Science* 32 (2006) 459–495.

YUAN, Z.; HEROLD, K. E. Specific heat measurements on aqueous lithium bromide. *HVACR Research*, v. 11, p. 361-375, 2005.

[2] FARSHI, L. G. , et al. Thermodynamic analysis and comparison of combined ejectorabsorption and single effect absorption refrigeration systems; *Applied Energy*, v. 133, p. 335-346, 2014. [doi:10.1016/j.apenergy.2014.07.102](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.102)

[1] WANG, T. , SHENG C. , A.G. A. NNANNA. Experimental Investigation of Air Conditioning System Using Evaporative Cooling Condenser, *Energy and Buildings*, v.81, n. , p. 435-443, 2014. [doi:10.1016/j.enbuild.2014.06.047](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.047)

[3] BERECHÉ, P. R., GONZALES, R., NEBRA, S. A., Exergy calculation of lithium bromide-water solution and its application in the exergetic evaluation os absorption refrigeration systems LiBr-H₂O, *International Journal of Energy Research*, v.36, p. 166-181, 2012.

[4] LLOPIS, R., SÁNCHEZ, D. SANZ-KOCK, C., CABELLO, R., TORRELLA, E., Energy and environmental comparison of two-stage solutions for commercial refrigeration at low temperature: Fluids and systems, *Applied Energy*, v. 138, p. 133-142, 2015

MEDEIROS, P. S. G., BARBOSA, C. R. F., FONTES, F. A. O., Modifications in the thermophysical properties of the propylene glycol-water solution by addition of ice crystals as secondary coolant. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, pp. 05-10, 2010.

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

[5] ELGENDY, E., SCHMIDT, J., Optimum utilization of recovered heat of a gas engine heat pump used for water heating at low air temperature, *Energy and Buildings*, V. 80, p. 375-383, 2014

RUANGTRAKOON, N., APHORNRATANA, S., Development and performance of steam ejector refrigeration system operated in real application in Thailand, *international journal of refrigeration*, v. 48, p. 142-152, 2014.

D. REITZ, R. D., DURAISAMY, G., Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 46, p. 12-71, 2015.

[8] MISDARIIS, A., VERMOREL, O., POINSOT, T., A methodology based on reduced schemes to compute autoignition and propagation in internal combustion engines, *Proceedings of the Combustion Institute*, v. 35, p. 3001-3008, 2015.

[6] OZENER, O., YUKSEK, L., ERGENÇ, A. T., OZRKAN, M., Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, v. 115, p. 875-883, 2014.

MENDONÇA, L. A. Desempenho do delineamento composto central em experimentos com alto coeficiente de variação. Dissertação de Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa / MG, 2012.

[15] MELINDER, Å. Thermophysical properties of aqueous solutions used as secondary working fluids. 2007. 130p. Doctoral Thesis. Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration Department of Energy Technology School of Industrial Engineering and Management Royal Institute of Technology, KTH Stockholm, Sweden, 2007

CANTARUTTI, B. R. Análise teórico-experimental de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito utilizando H₂O/LiBr. 2011. 133p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Itajubá / MG, 2011.

GHAHREMANI, M.; BENNETT, L. H.; TORRE, E. D.; OVICHI, M.; NWOKOYE, A. Cooling factor for magnetic refrigeration systems. *Cogent Physics*, v.1, n.1, p.1-6, 2014. DOI: 10.1080/23311940.2014.979604

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

QUEIROZ, D. F. Avaliação teórico-experimental de um sistema de refrigeração por absorção acoplado a uma unidade de microcogeração. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Paraíba, 2013.

[7] A. I. Khuri, S. Mukhopadhyay., Response surface methodology. Computational Statistics. Volume 2, Issue 2, pages 128–149, March/April 2010. DOI: 10.1002/wics.73.

[9] T. Tao, X. Jian-qun, J. Sheng-xiang, W. Hong-qi. Study on Operating Characteristics of Power Plant with Dry and Wet Cooling Systems. *Energy and Power Engineering*, 2013, 5, 651-656 doi:10.4236/epe.2013.54B126

[11] A. Sharma, B.K, Mishra, A. Dinesh, A. Misra. Design and Performance Study of a Hot Water Driven 5 TR Capacity Absorption Cooling System. International Journal of u- and e- Service, Science and Technology Vol. 7, No. 6 (2014), pp. 205-212. doi.org/10.14257/ijunesst.2014.7.6.18.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos nesse trabalho foi possível concluir que:

- Foram confirmadas através das diferentes respostas aos gradientes de temperatura, as características de respostas tanto da água pura como da solução aquosa de etilenoglicol, que circulou nas linhas de HT do arranjo experimental utilizado neste trabalho. A monitoração desses efeitos, evidenciaram uma espécie de autorregulação, e poderão permitir que diferentes estratégias de controle possam ser implantadas quando diferentes tipos de refrigerantes secundários estejam disponíveis no processo.
- A solução aquosa de etilenoglicol apresentou-se como um fluido refrigerante secundário com propriedades desejáveis, dentro de limitações oferecidas por um fluido diferente da água desmineralizada. Dessa forma, apesar da perda de propriedades importantes como capacidade calorífica e condutividade térmica, esse comportamento de autorregulação poderá ser utilizado para prevenir futuros gastos com energia e melhorar o desempenho de um grupo gerador.
- O consumo específico do combustível foi favorecido pelo uso da solução aquosa de etilenoglicol, na faixa de temperatura de 66 °C a 76 °C, favorecimento motivado pelo comportamento autorregulaste deste refrigerante.
- Em trabalhos futuros dever-se-á estudar ações para se produzir condições favoráveis de temperatura, com as adoções de medidas como a adição de nanopartículas metálicas à solução aquosa de etilenoglicol, como uma forma de recuperação da condutividade térmica desse refrigerante.

ANEXOS

RESUMO

“PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”.

A presente invenção, pertencente à área de Termodinâmica e mais especificamente de caracterização termofísica de fluidos, refere-se a um processo de determinação da condutividade térmica de líquidos. O processo é compreendido por duas câmaras de amostragem(13) dispostas em paralelo e separadas pelas faces(5) de uma célula termoelétrica do tipo Peltier responsável pelo aquecimento e resfriamento simultâneo delas, e por câmaras externas(12) por onde flui água. Quatro termopares(16-17-18-19) instalados nos poços(20) medem as diferenças de temperaturas entre as faces(5) da célula termoelétrica de Peltier e os fluxos de água que fluem nas câmaras externas(12) para obtenção dos gradientes de temperatura e subsidiar os cálculos para determinação da condutividade térmica da amostra(14) em teste. Para garantir o controle e estabilidade da temperatura Delta nas faces(5) da célula termoelétrica a corrente elétrica contínua(2) que alimenta a célula termoelétrica de Peltier é controlada por circuito eletrônico que usa o Método Proporcional Derivativo – PD.

[001] “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”.

[002] Campo da invenção.

[003] A presente patente de invenção, pertencente a área de Termodinâmica, e mais especificamente de caracterização termofísica de líquidos, refere-se a um processo de medida da condutividade térmica desses fluidos, em algumas situações obrigados a escoarem simultânea e/ou consecutivamente por

regiões de alta e baixa temperaturas, em um mesmo processo. Obedecendo a tais requisitos, utiliza-se um condutivímetro munido com fontes simultâneas de aquecimento e refrigeração, sendo utilizado para isso o efeito termoelétrico conhecido como Efeito Peltier.

[004] A procura por técnicas que proporcionem um aumento para a eficiência na transferência de calor em fluidos utilizados como refrigerantes secundários, tem movimentado de forma crescente estudos com substâncias que conferem melhorias de tal propriedade. Fluidos convencionais como água, álcoois, óleo e ar, utilizados como meio de transporte térmico, apresentam restrições operacionais para algumas aplicações. A água, por exemplo, apresenta pressão de saturação reduzida e alto ponto de congelamento. Por outro lado, o óleo e o álcool apresentam menor condutividade térmica que a água. Dessa forma, a incorporação de nanopartículas metálicas a refrigerantes secundários convencionais dão origem a novos refrigerantes líquidos secundários, cujas propriedades termofísicas precisam ser determinadas com precisão para uma caracterização adequada desses fluidos e validação dessas técnicas.

[005] Descrição do estado da técnica.

[006] O fluxo de energia térmica devido a uma diferença de temperatura no espaço é denominado de transferência de calor. Em todos os modos, a transferência de energia térmica (condução, convecção e radiação) ocorre do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura. Quando é o resultado das interações entre as partículas de uma substância, é chamado de condução. Nos sólidos, a condução é devida à combinação das vibrações das moléculas em uma rede e do transporte de energia pelos elétrons livres. Nos gases e líquidos, essa condução é devida às colisões e a difusão das moléculas durante seus movimentos aleatórios. Essa condutividade térmica é uma propriedade de transporte que fornece uma indicação da taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão.

Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada à fase da matéria. Em geral, a condutividade térmica de um sólido é maior que a de um líquido, que, por sua vez, é maior que a de um gás. A transferência de calor é menor nos fluidos, pois estes exibem maior espaçamento intermolecular e o movimento de suas moléculas é mais aleatório que nos sólidos (Incropera; Dewitt, 2008).

[007] Quando um gradiente de temperatura é imposto em um fluido pode ocorrer escoamento natural devido às forças de empuxo originadas pelas diferenças de massa específica. Dessa forma, para se medir a condutividade térmica de um fluido, é necessário evitar a formação da convecção, bem como os efeitos da radiação. É que a energia transferida através do escoamento do fluido combina-se com aquela transferida pela condução e compõe o modo de transferência de calor denominado convecção natural. Contudo, eliminar completamente os efeitos da convecção nos fluidos não é uma tarefa simples, o que faz com que as medições de condutividade térmica em gases e líquidos sejam mais difíceis do que as dos sólidos.

[008] Os campos de forças intermoleculares nos líquidos são mais fracos do que aqueles exercidos nos sólidos e mais fortes do que os que são exercidos nos gases. O espaçamento molecular é menor do que o dos gases e similar ao dos sólidos, exceto que as moléculas não mais possuem posições relativamente fixas umas em relação às outras e elas podem exercer movimentos de rotação e translação. Todas essas características fazem com que as teorias para a fase líquida não sejam tão exatas quanto aquelas desenvolvidas para as fases sólida e gasosa. A condutividade térmica da maioria dos líquidos diminui com o aumento da temperatura, com exceções da água e da glicerina. Contudo, a condutividade térmica dos líquidos diminui com o aumento da massa molecular e nos líquidos metálicos os valores de condutividade térmica são muito mais altos do que

aqueles dos líquidos não metálicos. A condutividade térmica dos líquidos aumenta com o aumento da pressão.

[009] Determinações de condutividade térmica de líquidos puros ou misturados são essenciais em várias aplicações e projetos de engenharia, uma vez que determinados dados experimentais podem não estar disponíveis na literatura, especialmente nas situações mais adversas, como por exemplo, em temperaturas e/ou pressões elevadas, bem como em trechos com grandes variações dessas condições operacionais. No caso de misturas de líquidos a condutividade térmica não resulta de uma simples função das condutividades e/ou das concentrações individuais, logo a regra da aditividade não é adequada.

[010] A medição de condutividade térmica de líquidos pode ser realizada em regime permanente ou transiente. Quando em regime permanente, faz-se medição da taxa de transferência de calor por unidade de área (fluxo de calor) e da diferença de temperatura entre superfícies opostas da amostra, possibilitando a aplicação da lei de Fourier. No caso de regime transiente, a medição de temperatura é realizada em função do tempo e em uma única posição. As principais diferenças entre esses métodos são a exatidão e o tempo requerido para a medição. Métodos em regime permanente são geralmente mais exatos, mas normalmente requerem um tempo maior que em regime transiente. Já os métodos transientes requerem arranjos experimentais menos complexos e demandam menos tempo, porém os resultados não são tão confiáveis (Motta, F. C., 2012).

[011] No método dos cilindros concêntricos, um aquecedor é localizado no cilindro externo. Um fluido de arrefecimento escoia através do cilindro interno e considera-se o calor absorvido pelo refrigerante como sendo igual ao calor transferido através da amostra (Sahin et al., 2006). O método apresenta a vantagem de um modelo matemático simples, mas apresenta dificuldades experimentais, como a perda de calor no topo e na base do equipamento, apesar do uso de protetores ou isolantes térmicos. Deve-se

ainda considerar o problema da determinação da quantidade exata de calor que flui através da amostra e outras fontes de erros, tais como: a perda de calor nos cabos, as medições de temperatura e a determinação exata dos fatores geométricos do aparato. Outros problemas que devem ser considerados são as perdas de calor por convecção e radiação (Arai et al., 2002).

- [012] No método transiente de pulso de energia (no inglês "*laser-flash*"), a amostra é irradiada em uma face por um pulso de laser de alta intensidade e pouca duração. A absorção da energia do laser pela amostra causa geração de calor na superfície, o qual é transmitido para a outra face, onde o aumento de temperatura é detectado por um sensor infravermelho. O referido método possui a vantagem de não requerer contato físico entre a amostra e o aquecedor. Por esta razão, é uma técnica adequada para altas temperaturas ou em ambientes agressivos.
- [013] Condutivímetros térmicos do tipo placa quente protegida consistem de uma ou de duas placas frias, uma placa quente e um sistema de aquecedores protegidos e isolantes térmicos. As placas frias atuam como dissipadores de calor resfriadas por líquido e a placa quente é eletricamente aquecida. Para garantir que o calor liberado na placa quente seja passado somente através da amostra, a placa quente é cercada por aquecedores protegidos e isolantes térmicos. Essa disposição dos componentes minimiza as perdas de calor da placa quente e permite que a exatidão do método alcance valores em torno de 2% (Carollo, 2010). A vantagem do aparato de duas amostras é que as perdas de calor da placa quente podem ser controladas mais efetivamente por causa do arranjo simétrico das amostras. Em contraste ao arranjo de amostra única, apenas materiais sólidos podem ser investigados. Isto por causa da influência da convecção nas medições de condutividade térmica.

[014] Conhecida como uma técnica de alta exatidão, o método transiente do fio quente é utilizado para determinação de condutividade térmica de gases e líquidos a temperaturas baixas e moderadas, com exceção de medições em condições de proximidades ao ponto crítico dos gases, pelas dificuldades do fluido obedecer a teoria cinética dos gases. Baseia-se na medida do gradiente temperatura no tempo, em um fino fio imerso no material, inicialmente em equilíbrio térmico, após a aplicação gradativa de uma corrente elétrica (Codreanu; Codreanu; Obreja, 2012). O fio é utilizado como uma fonte de calor e produz um campo de temperatura em função do tempo no material utilizado. Contudo, não é uma técnica recomendada para líquidos condutores de eletricidade, uma vez que a corrente elétrica pode fluir através do mesmo e tornar ambígua a geração de calor.

[015] O método da fonte plana transiente de calor consiste de uma contínua espiral dupla metálica eletricamente condutora, geralmente níquel, que é instalada em uma fina lâmina e embutida por duas finas camadas de um material que tem dificuldades de conduzir eletricidade e seja um bom condutor térmico (Gustavsson; Gustafsson, 2005). O material é posto em contato com ambos os lados da fonte quente. O calor gerado se dissipa através do mesmo, em uma taxa que depende das propriedades de transporte térmico. A temperatura da interface fluido/fonte quente é obtida por meio do monitoramento da resistividade da espiral metálica. Através de registros de temperatura versus tempo a condutividade térmica do líquido é determinada com alta exatidão.

[016] O método 3 utiliza a técnica de detecção de banda estreita e, portanto, fornece uma relação sinal-ruído relativamente melhor. Neste método de medida de condutividade, a própria amostra serve como aquecedor e sensor de temperatura ao mesmo tempo. Uma tira metálica é artificialmente depositada na sua superfície para servir tanto como aquecedor quanto sensor. De acordo com Koninck (2008), quando uma corrente alternada de um sinal de tensão é utilizado para excitar o

aquecedor em uma frequência , o aquecimento periódico gera oscilações na resistência elétrica da tira metálica em uma frequência de 2 . Isso leva a um terceiro harmônico (3) no sinal de tensão, que é utilizado para inferir a magnitude das oscilações de temperatura. As variações dessas oscilações, em função da frequência de excitação, possibilitam que a condutividade térmica da amostra seja quantitativamente avaliada.

[017] Em pesquisa no banco de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI não foi encontrado qualquer registro de método para a determinação da condutividade térmica de líquidos.

[018] No banco de patentes dos Estados Unidos da América no campo técnico desta invenção destacam-se os seguintes processos: a patente US 9,182,364 que descreve um aparelho para a medição da condutividade térmica composto de uma sonda tipo agulha contendo um invólucro, um elemento de aquecimento, um sensor de temperatura com um isolante elétrico e um sistema de controle compreendido por um detector de tensão, uma fonte de tensão e um algoritmo, o invólucro tem duas bainhas, no interior da primeira com diâmetro menor encontra-se o elemento aquecedor formado por um fio elétrico que se aquece por efeito joule oriundo de uma tensão a ele aplicada, o detector de tensão conectado ao sensor de temperatura proporciona a leitura da temperatura, este sensor está rodeado pelo elemento de aquecimento no interior da bainha e por um isolador elétrico que tem uma condutividade térmica conhecida e suficiente para evitar a acumulação de calor dentro da sonda de agulha e evitar obscurecer a condutividade térmica da amostra de teste colocada junto ao elemento isolador, o sistema de controle tem um algoritmo que calcula a condutividade térmica da amostra a partir da tensão medida no sensor de temperatura e da tensão aplicada ao aquecedor; e a patente US 9,128,028 que descreve um sistema de detecção de condutividade térmica compreendido por um único canal de fluidos com uma única entrada e

saída, com dois discos e vários sensores configurados para determinar uma ou mais propriedades associadas com a condutividade térmica do fluido que atravessa o canal, os sensores detectam a concentração do fluido, a taxa de fluxo e a condutividade térmica não diferencial e executa uma análise adicional de uma ou mais propriedades, incluindo a pressão associada ao fluido.

[019] Tanto os métodos apresentados como os processos de patentes citados anteriormente têm apresentado restrições, tais como: aplicação restrita devido a faixa de operação limitada e incerteza de medição, principalmente nos métodos transientes.

[020] Outro problema observado nos métodos e processos apresentados é a complexidade estrutural requerida na construção dos elementos que o constituem.

[021] Tendo em vista os problemas apresentados nos métodos e processos existentes no estado da arte atual e no propósito de superá-los é que na presente invenção foi desenvolvido um novo processo abordando basicamente três objetivos: i) a medição simultânea da condutividade térmica em duas câmaras dispostas em paralelo que operam em diferentes temperaturas; ii) as medições de temperaturas são feitas em quatro diferentes regiões e não em uma ou duas como nos métodos tradicionais; e iii) alta estabilidade das temperaturas aplicadas.

[022] Assim, a invenção baseia-se em uma abordagem inédita e inventiva para a obtenção de um novo processo de determinação de condutividade térmica de líquidos de modo permanente e com maior precisão, pois propõe detectar a condutividade térmica não apenas em uma dada temperatura mas em duas simultaneamente, o que se traduz em maior exatidão na determinação da condutividade térmica medida, tendo em vista que para a maior parte dos líquidos a condutividade térmica varia com a temperatura do ensaio.

[023] De acordo com o primeiro objetivo da presente invenção, as medições simultâneas da condutividade térmica em duas câmaras dispostas em paralelo que operam em diferentes temperaturas, em que em uma é feito o aquecimento e na outra o resfriamento da amostra sob teste, e cujas medições são feitas conjuntamente, tende a reduzir as incertezas finais na determinação da condutividade térmica para um dado líquido, uma vez que o valor final médio obtido é menos dependente das duas temperaturas no ensaio.

[024] De acordo com o segundo objetivo da presente invenção as medições de temperaturas feitas em quatro poços por quatro sensores de temperatura permite reduzir as incertezas de medição das temperaturas de forma que a condutividade final calculada e obtida seja mais exata.

[025] E finalmente, de acordo com o terceiro objetivo da presente invenção as temperaturas geradas pela célula termoelétrica de Peltier apresentam alta estabilidade ao longo do tempo tendo em vista a utilização do controle eletrônico tipo Proporcional Derivativo - PD que a controla.

[026] Descrição da invenção

[027] O “PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com a presente patente de invenção, compreende duas câmaras dispostas em paralelo, separadas por placas cerâmicas de uma célula termoelétrica do tipo Peltier. O efeito Peltier é responsável pelo aquecimento e resfriamento simultâneo das duas faces da célula termoelétrica, as quais formam as paredes internas das duas câmaras, em paralelo, permitindo medidas simultâneas das condutividades térmicas da amostra do líquido ou gás em duas diferentes temperaturas. Externamente a essas câmaras existem dois canais de passagens onde ocorrem os fluxos de água de arrefecimento e de aquecimento.

[028] A amostra do líquido ou gás é injetada nas bases das duas câmaras, as quais estão em contato direto com as duas faces da célula termoeétrica de Peltier, até preencher todo o espaço reservado para as mesmas. Após as cargas da amostra e o preenchimento total do espaço a elas reservado, a célula termoeétrica de Peltier é ativada eletricamente e os quatro sensores de temperatura fazem o monitoramento nas faces quente e frio da célula termoeétrica e nas superfícies metálicas em contato com os fluxos de água.

[029] O processo de acordo com a presente invenção é adicionalmente explicado por meio dos desenhos anexos, nos quais:

[030] A figura 1 mostra as junções semicondutoras de como são constituídas as atuais células termoeétricas de Peltier.

[031] A figura 2 mostra uma célula termoeétrica de Peltier de uso comercial composta de inúmeras junções P-N.

[032] A figura 3 mostra a aparência física de uma célula termoeétrica de Peltier.

[033] A figura 4 mostra o esquema com os componentes básicos do processo de determinação de condutividade térmica de líquidos usando o Efeito Peltier.

[034] A figura 5 mostra o diagrama em blocos para monitorar as temperaturas existentes nos poços do condutivímetro.

[035] A figura 6 mostra o diagrama esquemático eletrônico de um dos monitores de temperatura.

[036] A figura 7 mostra o diagrama esquemático eletrônico de um conversor análogo-digital de 3½ dígitos que mostra a temperatura medida por um termopar.

[037] A figura 8 mostra o diagrama em blocos do sistema de controle da temperatura na célula termoelétrica de Peltier.

[038] A figura 9 mostra o diagrama esquemático eletrônico do circuito que fornece a temperatura de referência para a operação da face quente da célula termoelétrica de Peltier.

[039] A figura 10 mostra o diagrama esquemático eletrônico do comparador e do controle Proporcional Derivativo – PD que controlam a temperatura da célula termoelétrica de Peltier.

[040] De conformidade com o quanto ilustram as figuras acima relacionadas, na figura 1 pode-se visualizar o tipo de montagem das junções semicondutoras do tipo-P(positivo) e do tipo-N(negativo) que constituem as atuais células termoelétricas de Peltier. O Efeito Peltier baseia-se no princípio de que há um efeito de aquecimento ou resfriamento na junção criada por materiais de diferentes tipos quando por ela circula uma corrente elétrica. A corrente aplicada nos diferentes materiais cria uma diferença de temperatura na junção dos mesmos. O semicondutor do tipo-P possui lacunas que apresentam facilidade de receber elétrons enquanto que o do tipo-N possui excesso de elétrons que apresentam facilidade de doar elétrons. Ao se montar estes semicondutores formando junções(1) e ao se aplicar uma diferença de potencial entre eles os elétrons do material tipo-N migram para o material tipo-P fazendo circular nas junções uma corrente elétrica e criando nelas um fluxo de calor capaz de aquecê-las ou de resfriá-las conforme o sentido de circulação das correntes.

[041] A figura 2 mostra uma célula termoelétrica de Peltier de uso comercial composta de uma série de elementos semicondutores do tipo-P e do tipo-N, agrupados como pares que agem como condutores dissimilares. Cada um destes pares são acoplados eletricamente em série e termicamente em paralelo. Ao se aplicar uma corrente elétrica contínua(2) nos terminais dos semicondutores tipo N e tipo P os elétrons

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

do material tipo N migram para o material tipo P criando um fluxo de calor na junção criada por eles, gerando um calor absorvido(3) e conseqüentemente resfriando uma das superfícies e gerando um calor rejeitado(4) e conseqüentemente aquecendo a outra.

[042] A figura 3 mostra a aparência física de uma célula termoelétrica de Peltier. Nela pode-se visualizar as faces(5) de cerâmicas que são termicamente acopladas as junções(1) e os cabos elétricos(7) por onde passam a corrente elétrica contínua(2) que a alimenta. As principais características da célula termoelétrica tipo Peltier TEC1-12710 de fabricação da empresa HB Corporation usada no “PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER” são:

| T_{amb} | 25°C | 50°C |
|------------------------|------|------|
| Q_{max} (Watts) | 85 | 96 |
| Delta T_{max} (°C) | 66 | 75 |
| I_{max} (Amp) | 10,5 | 10,5 |
| V_{max} (Volts) | 15,2 | 17,4 |
| Mod Resistência (Ohms) | 1,08 | 1,24 |

Onde:

T_{amb} (°C) - temperatura ambiente de operação da célula

Q_{max} (Watts) – máxima potência a ser transferida em Watts

Delta T_{max} (°C) - máxima diferença de temperatura entre as faces(5)

I_{max} (Amp) - corrente elétrica contínua(2) máxima demandada na potência máxima

V_{max} (Volts) - tensão máxima suportada pela célula

Mod Resistência (Ohms) – módulo da resistência (dinâmica) ôhmica da célula

[043] A especificação de uma célula termoelétrica de Peltier é feita em função da carga elétrica a ser transferida e da diferença de temperatura desejada entre as faces(5). Esses dois efeitos operam de forma inversa, ou seja, a maior diferença de temperatura entre as faces(5) da célula é conseguida quando a carga térmica a ser transferida é mínima (próxima de zero). A diferença de temperaturas entre as faces(5) da pastilha é a temperatura Delta dada em função da tensão e da corrente elétrica contínua(2) aplicada em uma dada temperatura ambiente.

[044] A figura 4 mostra o esquema com os componentes básicos do processo de determinação de condutividade térmica para líquidos usando o Efeito Peltier. O sistema apoiado sobre os pés metálicos(8) tem um bloco de sustentação(9) confeccionado em teflon para suportar temperaturas de até 200°C. A água que auxilia a manter uma diferença de temperatura entre as faces(5) da célula termoelétrica de Peltier, flui pelas câmaras externas(12), através das entradas de água(10) e saídas de água(11), em contato com as paredes externas das câmaras de amostragem(13) por onde circulam a amostra(14), cuja condutividade térmica se deseja determinar. A amostra(14) é injetada no processo com auxílio de válvulas de admissão do tipo agulha(15), podendo ser posteriormente descarregadas do condutivímetro por outras válvulas de admissão tipo agulha(15). Dois pares de termopares(16-17-18-19), instalados nos poços(20) limitados verticalmente por finíssimas lâminas de alumínio, as quais envolvem os lados verticais das câmaras de amostragem(13) por onde circulam a amostra(14) são utilizados para monitorarem as diferenças de temperatura entre a água circulante nas câmaras externas(12) e as faces(5) da célula termoelétrica de Peltier. Os fluxos de água são obtidos ligando-se as entradas de água(10) por meio de uma mangueira plástica à torneira de abastecimento de água da pia existente na bancada do laboratório.

[045] O aquecimento e o resfriamento simultâneos do processo são realizados pela célula termoelétrica que funciona segundo o Efeito Peltier e desenvolve em suas faces(5) a temperatura Delta para uma dada temperatura ambiente. As faces(5) cerâmicas geram um fluxo de calor entre elas, funcionando uma das faces(5) como um refrigerador devido o calor absorvido(3) e a outra face(5) como um aquecedor devido ao calor rejeitado(4). Se a polaridade elétrica do circuito que alimenta a célula for invertida, o calor que flui entre as faces(5) ocorre em sentido inverso.

[046] A figura 5 mostra o diagrama em blocos para monitorar as temperaturas existentes nos poços(20) quando é energizada a célula termoelétrica de Peltier e o processo encontra-se em andamento. Para minimizar os efeitos das resistências dos cabos, dos contatos, e dos próprios termopares(16-17-18-19) os mesmos são conectados as Pontes de Wheatstones(21-22-23-24) que fornecem sinais da ordem de milivolts e proporcionais às temperaturas existentes nas junções dos termopares(16-17-18-19). Estes sinais de tensão passam pelos amplificadores de ganho unitário(25-26-27-28) que faz o casamento das baixas impedâncias dos termopares(16-17-18-19) às altas impedâncias de entradas dos amplificadores de ganho G(29-30-31-32), cuja função é converter as baixas tensões medidas em tensões adequadas para representar as temperaturas nos conversores análogo-digitais de 3½ dígitos (33-34-35-36). O ganho G é definido em função do tipo de termopar utilizado.

[047] A figura 6 mostra o diagrama esquemático de um dos monitores de temperatura do termopar(16) que fica no poço(20) próximo a face(5) quente da célula termoelétrica de Peltier. A Ponte de Wheatstone(21) é formada pelos resistores R1-R2-R3-R4-R5 e a tensão em milivolts oriunda do termopar(16) é entregue ao amplificador de ganho unitário(25) formado pelo amplificador operacional Op1. O sinal de saída deste amplificador também em milivolts é fornecido em alta impedância

ao amplificador de ganho G(29), formado pelo amplificador operacional Op2 cujo ganho é dado pelos resistores R9-R10-R11R12 e ajustado em R11. Através deste resistor variável multivoltas é calibrada a temperatura medida pelo termopar(16) e exposta no mostrador do conversor análogo-digital de 3 ½ dígitos(33). A rede R14-C2 faz a integração do sinal em cerca de 10 microssegundos com a finalidade de eliminar ruídos de alta frequência. Na saída de Op2 encontra-se o diferenciador criado por R16-C3 cuja função é retirar os espúrios existentes no sinal de saída de Op2 a ser medido pelo conversor análogo-digital de 3½ dígitos (33). Estes espúrios quando existentes são oriundos das rampas de integração. Os amplificadores operacionais utilizados em Op1 e Op2 são do tipo TL084ACD.

[048] Na figura 7 pode-se visualizar o diagrama esquemático dos conversores análogo-digitais de 3½ dígitos(3334-35-36) que mostram as temperaturas medidas pelos termopares(16-17-18-19). Foram utilizados conversores análogodigitais tipo ICL7107 de ponto flutuante e cujo ajuste do zero é feito em R4. Este circuito integrado possui saídas para energização direta dos diodos emissores de luz usados nos mostradores.

[049] A figura 8 mostra o diagrama em blocos do sistema de controle da temperatura na célula termoelétrica de Peltier.

[050] A maneira mais eficiente de controlar a temperatura de uma célula termoelétrica tipo Peltier é atuando sobre a tensão aplicada a ela. Existem diversas formas de sistemas de controle para atuar na alimentação da célula, como o controle Proporcional Integral Derivativo - PID, Proporcional Integrativo - PI, por Modulação de Pulso - PWM, Proporcional Derivativo - PD ou até mesmo o método Liga/Desliga. Salieta-se entretanto, que os fabricantes de células termoelétricas tipo Peltier alertam que as mesmas apresentam vida útil muito reduzida

quando são aplicadas tensões repentinas tipo Liga/Desliga, por esta razão e na busca de alta estabilidade térmica nas câmaras de amostragem(13) por onde circulam a amostra(14), o método mais adequado e aqui utilizado é o Proporcional Derivativo - PD.

[051] A estrutura básica do controle Proporcional Derivativo - PD usado para a determinação da condutividade térmica de líquidos utilizando o Efeito Peltier mostrado na figura 8 pode ser explicado: a temperatura medida pelo termopar(16) que fica no poço(20) junto a face(5) quente da célula termoelétrica de Peltier é comparada no comparador(38) com a temperatura de referência(37) pré-ajustada e desejada na operação do condutivímetro; o resultado desta comparação ativa ou desativa o controle PD(39) que de forma proporcional alimenta a célula termoelétrica. Na saída deste método de controle, a tensão elétrica que alimenta a célula termoelétrica de Peltier tem uma “inércia” de resposta em relação à entrada do sinal oriundo do comparador(38), ou seja, ocorre um determinado atraso para corrigir o erro podendo gerar grandes amplitudes e períodos de oscilação amortizados na saída. Este tipo de controle é utilizado amplamente nos cenários de servomecanismos industriais por apresentar baixo custo, versatilidade, facilidade de implementação e alta estabilidade.

[052] A figura 9 mostra o diagrama esquemático eletrônico do circuito que fornece a temperatura de referência(37) para a operação da face(5) quente da célula termoelétrica de Peltier. A célula termoelétrica de Peltier após atingir uma dada temperatura pré-ajustada no potenciômetro R27 deve desligar-se, o ajuste do valor desta temperatura é feito através do amplificador operacional Op3, tipo TL084ACD, e mostrado no conversor análogo-digital de 3½ dígitos de referência(40). Através da malha criada pelos resistores R22-R23-R24-R25-R26 e R27 realiza-se o ajuste de uma tensão contínua que é entregue na entrada de Op3 e que irá fornecer a temperatura de referência(37) ao comparador(38). Desta forma a tensão criada na malha resistiva e amplificada por Op3 indica

um valor de tensão equivalente ao da temperatura desejada de ser atingida no poço(20) da face(5) quente da célula termoelétrica de Peltier. No amplificador Op3 existe ainda o integrador formado por C9-R29 cuja finalidade é integrar os valores de tensão presentes na entrada em um tempo superior ao do tempo de varredura do conversor análogo-digital de 3½ dígitos de referência(40). Esse tempo está em torno de 2,5 milissegundos enquanto que o tempo de varredura do conversor análogo-digital é em torno de 1 milissegundo.

[053] A figura 10 mostra o diagrama esquemático eletrônico do comparador(38) e do controle PD(39). O controle Proporcional Derivativo é feito no amplificador comparador Op4, tipo TL084ACD, onde também é feita a comparação entre a temperatura de referência(37) pré-ajustada e existente no terminal “c” com a temperatura da face(5) quente da célula termoelétrica de Peltier oriunda do termopar(16) e disponível no terminal “b”.

[054] O controle proporcional é feito através da integração da soma algébrica dos sinais das entradas “b” e “c” pela constante determinada por C10-R32-R33. A constante de integração escolhida é de cerca de 100 milissegundos que é a resposta de tempo para correção dos erros do controle Proporcional Derivativo.

[055] O amplificador operacional Op5 com entrada JFet, tipo TL071ACD, de alta impedância de entrada, baixo nível de ruído e baixos erros de tensão diferencial entre as entradas, proporciona maior exatidão ao controle de energização e proporcionalidade de intensidade à interface de potência que irá controlar a célula termoelétrica tipo Peltier.

[056] A interface de potência que alimenta a célula termoelétrica tipo Peltier é constituída pelo amplificador Op5 que opera como uma fonte de corrente, e cuja função é suprir a corrente de base ao transistor tipo Darlington Tr1 que irá controlar a tensão e conseqüentemente a corrente elétrica contínua(2) sobre a célula termoelétrica de Peltier - P. Como a

potência máxima aplicada na célula é de 84 Watts, Tr1 foi montado sobre um dissipador pois a potência máxima dissipada no mesmo chega a cerca de 28 Watts.

[057] O processo aqui descrito, objeto da presente patente de invenção, pode ter a construção de seus elementos básicos constituintes em diferentes tecnologias, diferentes dimensões, bem como diferentes configurações acessórias conforme a necessidade de cada usuário e dos líquidos sob teste. Logicamente outras alterações podem ser feitas no “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER” sem a perda da inovação aqui apresentada.

REIVINDICAÇÕES

1. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, composto de um sistema apoiado sobre pés metálicos(8) que tem um bloco de sustentação(9) feito em teflon para suportar temperaturas de até 200°C, com um fluxo de água que através das entradas de água(10) e saídas de água(11) flui por duas câmaras externas(12) que encontram-se em contato com as paredes externas das câmaras de amostragem(13) por onde circulam a amostra(14), cuja condutividade térmica se deseja determinar, e é injetada no processo através de válvulas de admissão do tipo agulha(15), podendo ser posteriormente descarregadas por outras válvulas de admissão tipo agulha(15), com os lados laterais das duas câmaras de amostragem(13) aquecido e resfriado de forma simultânea pelas faces(5) cerâmicas de uma célula termoelétrica de Peltier, controlada por um circuito eletrônico onde é pré-ajustada a temperatura de referência(37) desejada na operação do processo, e que após comparada no comparador(38) com a temperatura medida pelo termopar(16) junto a um poço(20) vizinho da

face(5) quente da célula termoeétrica, ativa ou desativa o controle PD(39) que controla a corrente elétrica contínua(2) que alimenta a célula termoeétrica de Peltier de forma Proporcional Derivativa – PD, que possui quatro poços(20) onde são instalados respectivamente quatro termopares(16-17-18-19) limitados verticalmente por finíssimas lâminas de alumínio para monitorar as diferenças de temperaturas entre a água circulante pelas câmaras externas(12) e as faces(5) da célula termoeétrica de Peltier, caracterizado por as medições da condutividade térmica serem realizadas de forma simultânea em duas câmaras de amostragem(13) dispostas em paralelo que operam em diferentes temperaturas, que o aquecimento e o resfriamento simultâneo das câmaras de amostragem(13) são realizados por uma célula termoeétrica de Peltier, que as medições de temperaturas são feitas em quatro poços(20) por quatro termopares (16-17-18-19) e que o controle e a estabilidade das temperaturas desenvolvidas nas faces(5) da célula termoeétrica de Peltier é realizado pelo método Proporcional Derivativo – PD.

2. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a câmara de amostragem(13) ficar entre dois poços(20) que a separa da face(5) de cerâmica quente da célula termoeétrica de Peltier e da câmara externa(12) por onde flui a água de arrefecimento.

3. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a câmara de amostragem(13) ficar entre dois poços(20) que a separa da face(5) de cerâmica fria da célula

termoelétrica de Peltier e da câmara externa(12) por onde flui a água de aquecimento.

4. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3 caracterizado por as câmaras de amostragem(13) apresentarem dimensões tão diminutas que eliminam quase totalmente os efeitos de convecção natural na análise da amostra(14).

5. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3, caracterizado por a amostra(14) ser injetada nas câmaras de amostragem(13) através de válvulas de admissão do tipo agulha(15), de forma a se obter um fino controle do fluxo, e podendo ser posteriormente descarregadas por outras válvulas de admissão tipo agulha(15).

6. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3, caracterizado por permitir que os fluxos de água nas câmaras externas(12) são alimentadas pelas entradas de água(10) através de mangueiras plásticas interligadas e conectadas a uma torneira disponível na pia do laboratório e saem pelas saídas de água(11) de modo a manter um fluxo constante.

7. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o aquecimento e o resfriamento simultâneo das câmaras de amostragem(13) ser realizado por uma célula termoelétrica de Peltier que desenvolve entre suas faces(5) a temperatura Delta.

8. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1 e 7, caracterizado por o controle e a estabilidade das temperaturas de aquecimento e de resfriamento gerada nas faces(5) da célula termoelétrica de Peltier de forma simultânea ser controlada por um circuito eletrônico através do método Proporcional Derivativo – PD composto pelos módulos de temperatura de referência(37) onde é pré-ajustada a temperatura de operação do processo, o comparador(38) que compara a temperatura de referência(37) com a medida pelo termopar(16) localizado no poço(20) próximo a face(5) cerâmica quente da célula termoelétrica de Peltier, e o controle PD(39) que controla de forma proporcional a corrente elétrica contínua(2) que circula pela célula termoelétrica de Peltier.

9. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por medir em regime permanente com auxílio dos termopares(16-17-18-19), instalados nos poços(20), as diferenças de temperaturas entre as faces(5) cerâmicas da célula termoelétrica de Peltier e os fluxos de água que fluem nas câmaras externas(12) para obtenção de gradientes de temperatura, e subsidiar os cálculos para determinação da condutividade térmica da amostra(14) em teste.

10. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1 e 9, caracterizado por determinar a condutividade térmica da amostra(14) em teste via a medição de temperaturas em quatro regiões distintas e não em uma ou duas como tradicionalmente é feita nos métodos tradicionais.

11. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O

EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1, 9 e 10, caracterizado por os monitores de temperatura serem compostos pelos termopares(16-17-18-19) pelas Pontes de Wheatstones(2122-23-24), pelos amplificadores de ganho unitário(25-26-27-28), pelos amplificadores de ganho G(29-30-31-32) e pelos conversores análogo-digitais de 3½ dígitos(33-34-35-36) onde são mostrados os valores de temperaturas medidas.

12. “PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER”, de acordo com as reivindicações 1, 9, 10 e 11 caracterizado por os amplificadores de ganho G(29-30-31-32), terem ganhos “G” de forma a compatibilizar os valores de tensão em suas saídas com os valores das temperaturas medidas pelos termopares(16-17-18-19) em função dos diferentes tipos de termopares utilizados.

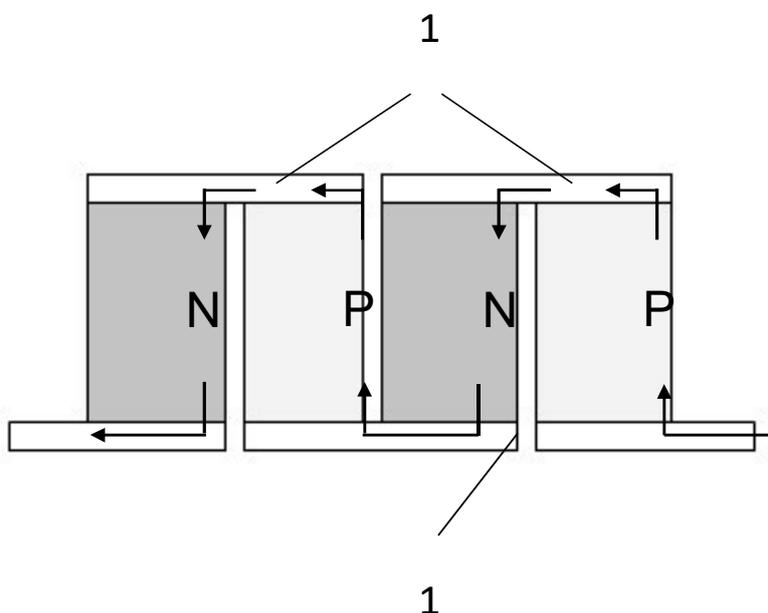


Figura 1

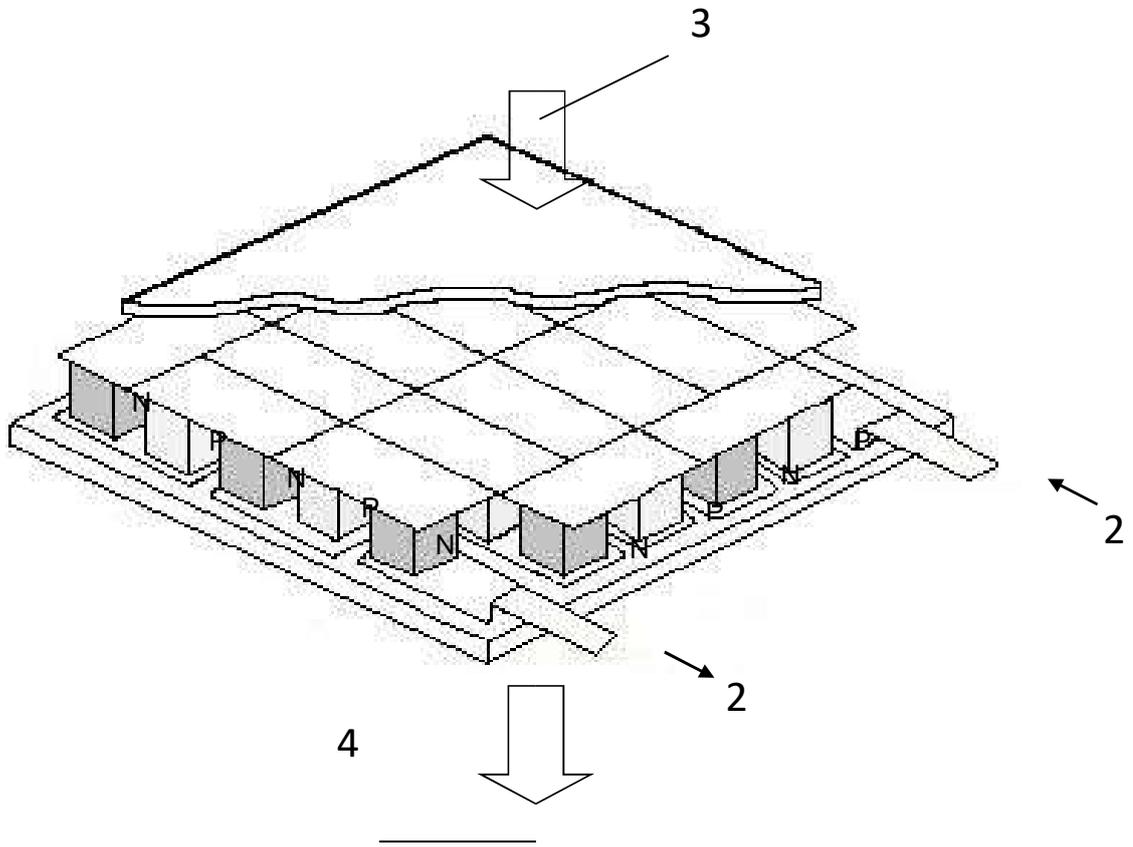


Figura 2

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

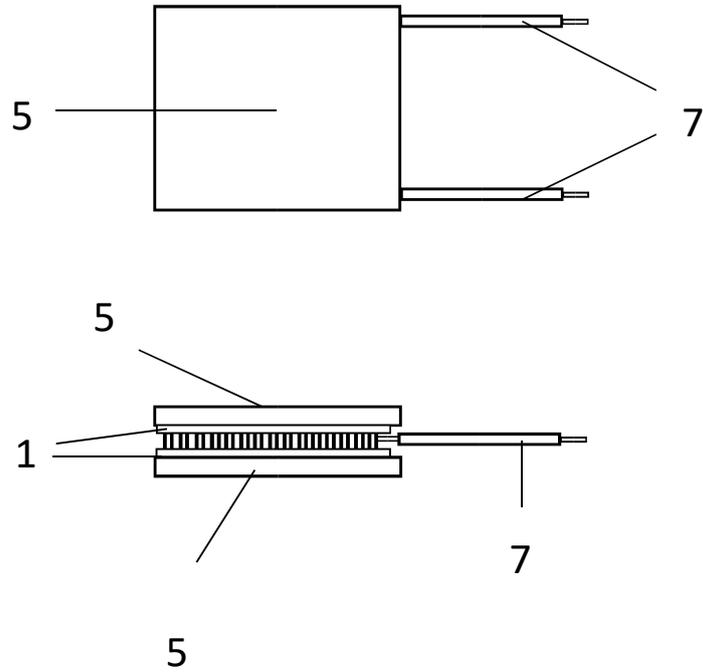
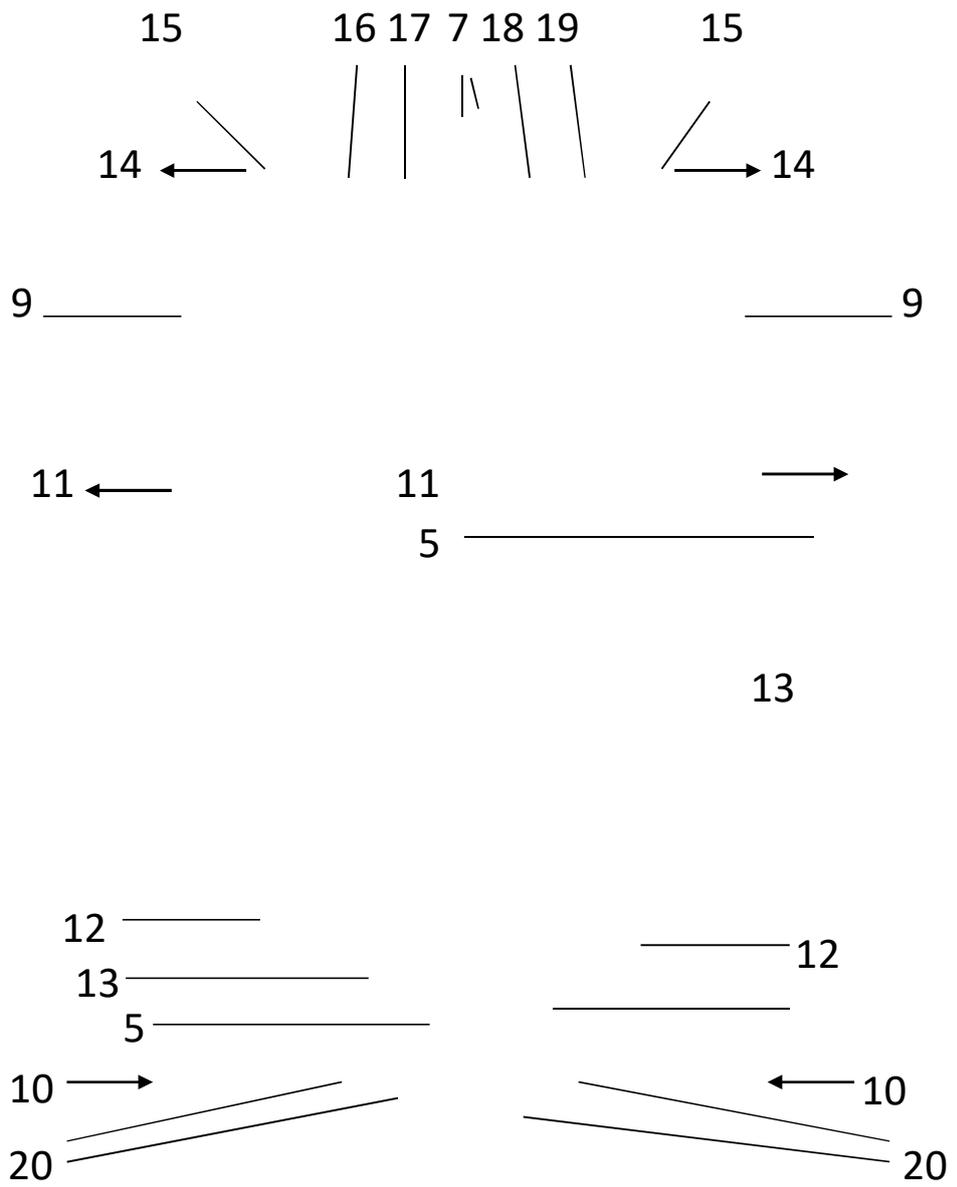


Figura 3

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.



GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

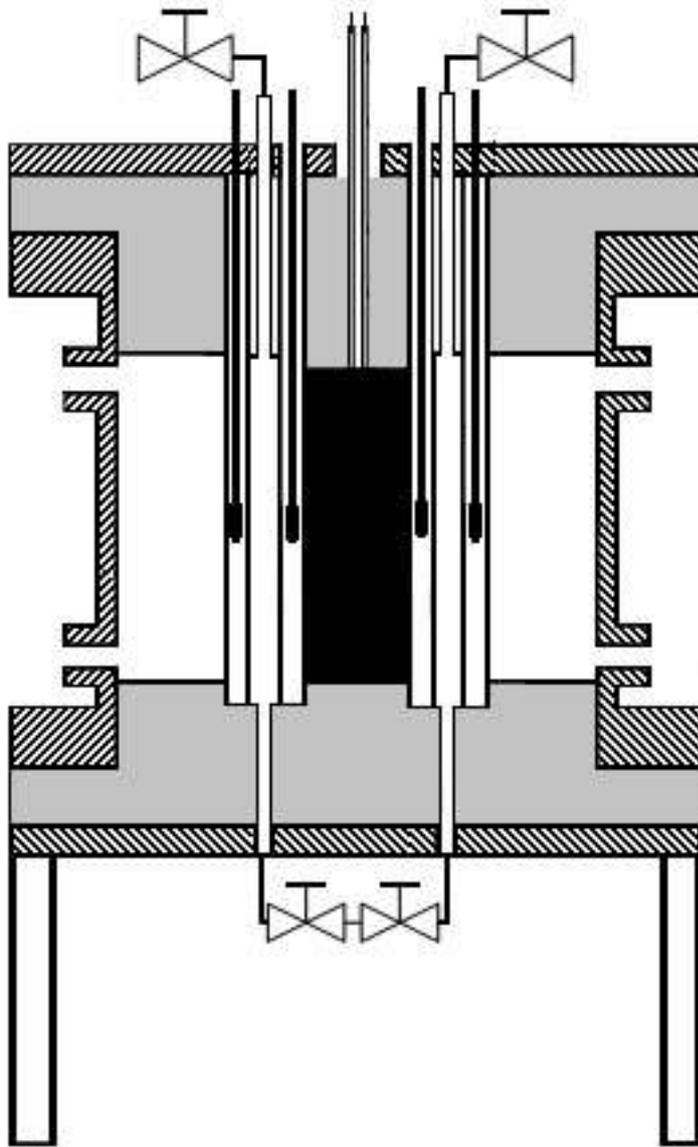


Figura 4

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

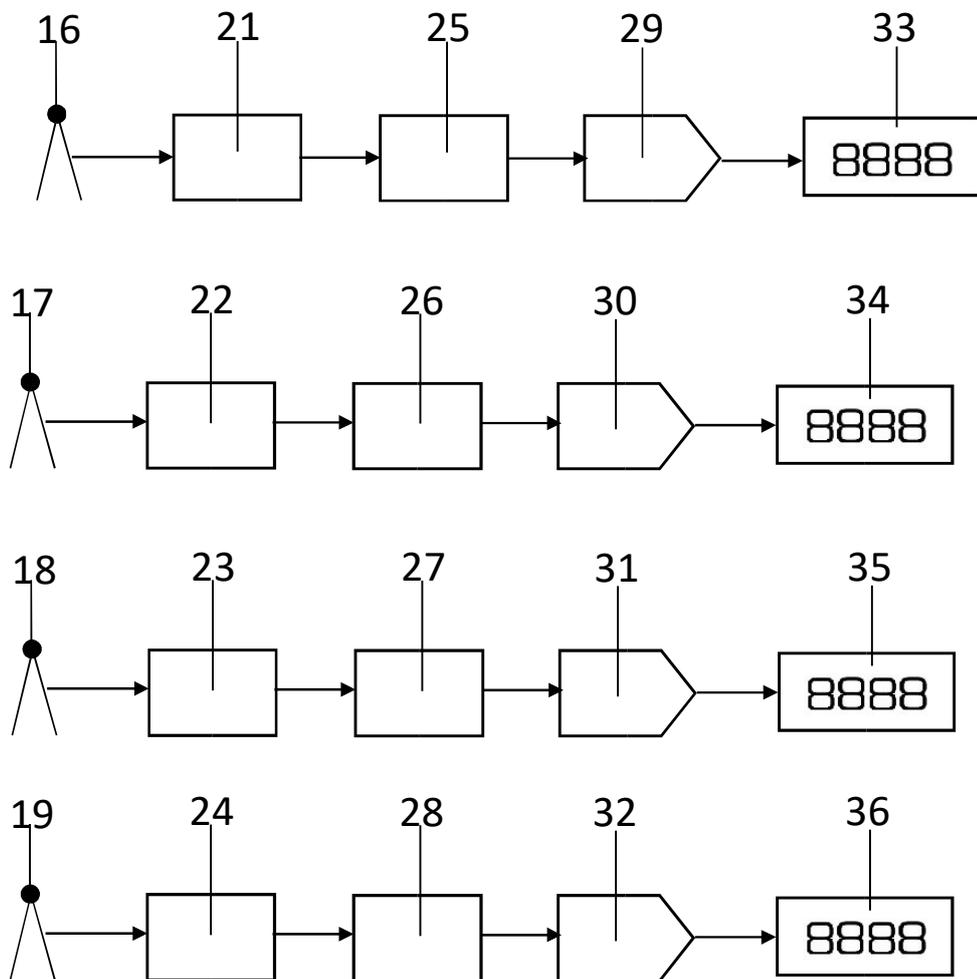


Figura 5

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

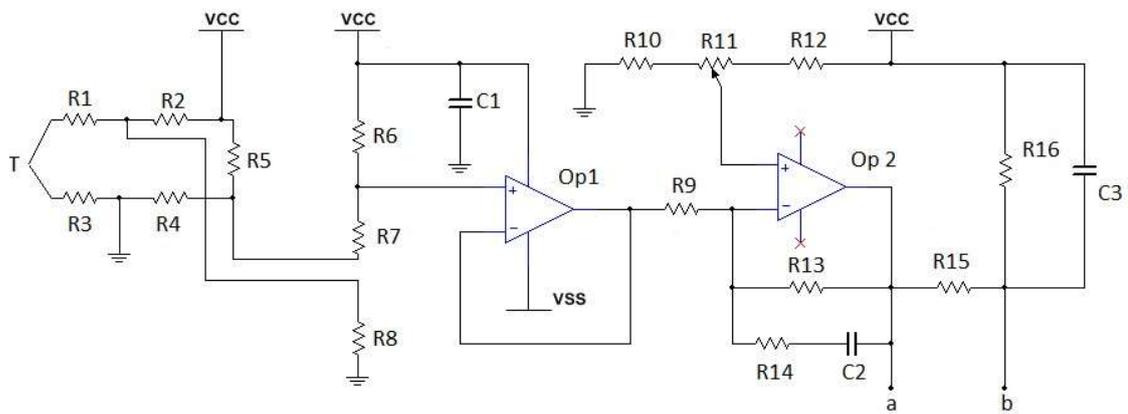


Figura 6

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

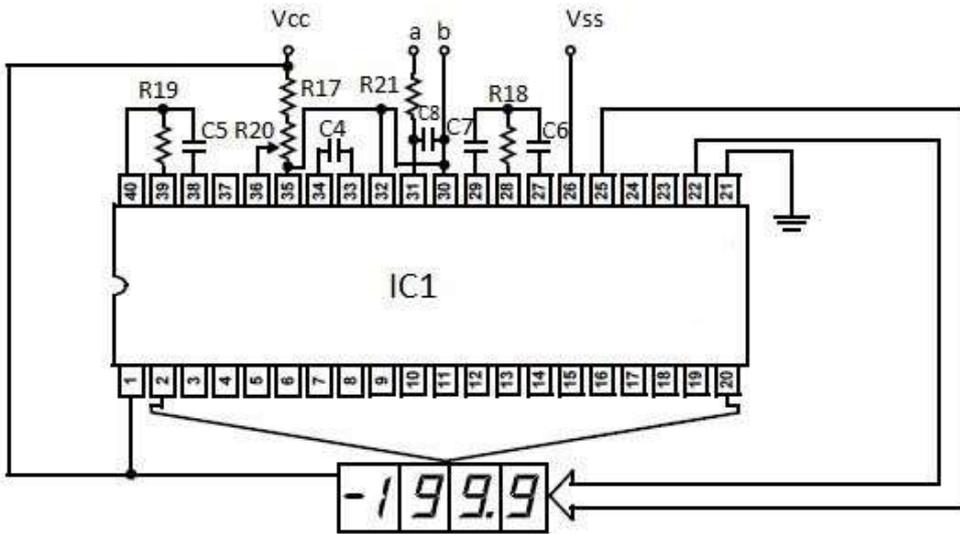


Figura 7

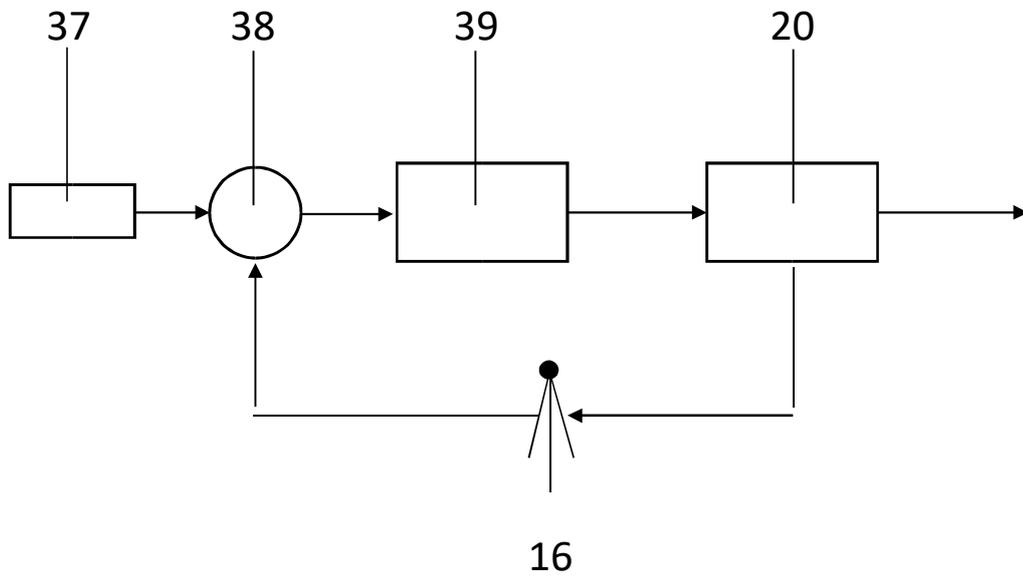


Figura 8

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

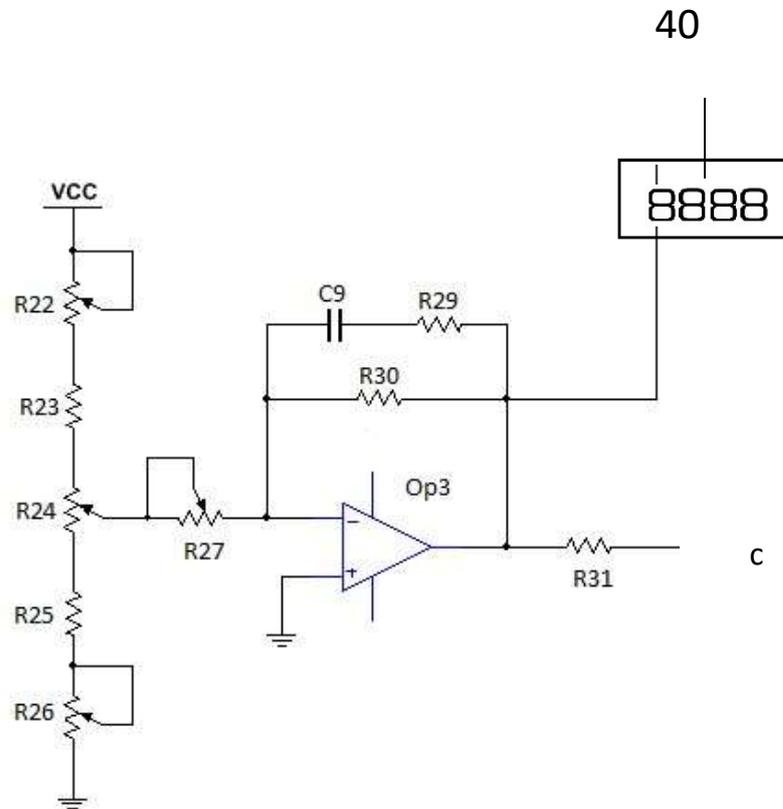


Figura 9

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

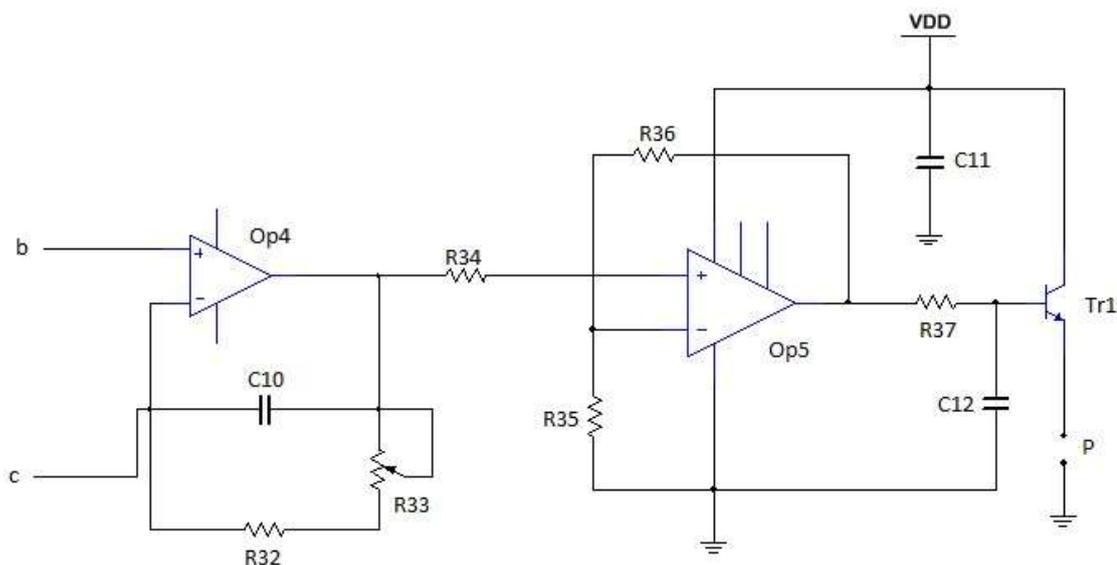


Figura 10

Protocolo da patente de invenção: "PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER" do Projeto de P&D Refrimotor.

< Uso exclusivo do INPI >



GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

< Uso exclusivo do INPI >



INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
 PROTOCOLO INPI:
 04/01/2016 0181600002
 10:52 DESP
 BR 10 2016 000007 6

Espaço reservado para o protocoloEspaço reservado para a etiquetaEspaço reservado para o código QR




INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
Sistema de Gestão da Qualidade
Diretoria de Patentes

| | | | |
|--|---|-------------------------------------|---------------------|
| DIRPA | Tipo de Documento: Formulário | DIRPA | Página: 1/3 |
| Título do Documento: Depósito de Pedido de Patente | | Código: FQ001 | Versão: 2 |
| | | Procedimento: DIRPA-PQ006 | |

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial:

O requerente solicita a concessão de um privilégio na natureza e nas condições abaixo indicadas:

1. Depositante (71):

- 1.1 Nome: Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação - CGTI
 1.2 Qualificação: Pesquisa e desenvolvimento experimental.
 1.3 CNPJ/CPF: 06062204/0002-14
 1.4 Endereço Completo: Rua da Praia, n°11, 1°andar, Bairro São José, Recife, PE
 1.5 CEP: 50020-55
 1.6 Telefone: (81) 3031-8283 1.7 Fax: (81) 3031-8283
 1.8 E-mail: viviane@cgti.org.br

continua em folha anexa

- 2. Natureza:** Invenção Modelo de Utilidade Certificado de Adição

3. Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):

PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO O EFEITO PELTIER.

continuá em folha anexa

- 4. Pedido de Divisão: do pedido Nº** **Data de Depósito:**

- 5. Prioridade:** Interna (66) Unionista (30)

O depositante reivindica a(s) seguinte(s):

| País ou Organização do depósito | Número do depósito (se disponível) | Data de depósito |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------|
| | | |
| | | |
| | | |

continua em folha anexa

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.



INPI INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
Sistema de Gestão da Qualidade
Diretoria de Patentes

| | | | | | |
|--------------|----------------------|-------------------------------|-------|---------------|-------------|
| DIRPA | Tipo de Documento: | Formulário | DIRPA | Página: | 3/3 |
| | Título do Documento: | Depósito de Pedido de Patente | | Código: | FQ001 |
| | | | | Versão: | 2 |
| | | | | Procedimento: | DIRPA-PQ006 |

11. Documentos Anexados:

(Assinale e indique também o número de folhas);
(Deverá ser indicado o número total de somente uma das vias de cada documento).

| | Documentos Anexados | folhas |
|-------------------------------------|--|--------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.1 Guia de Recolhimento da União (GRU). | 02 |
| <input type="checkbox"/> | 11.2 Procuração. | |
| <input type="checkbox"/> | 11.3 Documentos de Prioridade. | |
| <input type="checkbox"/> | 11.4 Documento de contrato de trabalho. | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.5 Relatório descritivo. | 21 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.6 Reivindicações. | 05 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.7 Desenho(s) (se houver). Sugestão de figura a ser publicada com o resumo: n°, <u>04</u> por melhor representar a invenção (sujeito à avaliação do INPI). | 07 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.8 Resumo. | 01 |
| <input type="checkbox"/> | 11.9 Listagem de seqüências em arquivo eletrônico: _____ n° de CDs ou DVDs (original e cópia). | |
| <input type="checkbox"/> | 11.10 Código de controle alfanumérico no formato de código de barras referente às listagem de seqüências. | |
| <input type="checkbox"/> | 11.11 Listagem de seqüências em formato impresso. | |
| <input type="checkbox"/> | 11.12 Declaração relativa à Listagem de seqüências. | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 11.13 Outros (especificar) <i>certidão do inventor - 6 p/ls, contrato social e alteração - 62 p/ls.</i> | 68 |

12. Total de folhas anexadas: _____ fis.

13. Declaro, sob as penas da Lei que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

Recife, 14 de dezembro de 2015

Local e Data

[Assinatura]
Assinatura e Carimbo

José Henrique
Diretor Superintendente
Laboratório de Gestão de Tecnologia e Inovação - CGTI

Folha Anexa do Formulário FQ001

6. Inventor (72):

- 6.1 Nome: Valdemir Alexandre dos Santos
6.2 Qualificação: químico industrial
6.3 CPF: 079.743.104-72
6.4 Endereço completo: Rua Leonardo da Vinca, n. 112, Apto. 2121, bairro Imbiribeira, cidade Recife, estado Pernambuco.
6.5 CEP: 51.190-350
6.6 Telefone: (81) 3339-0523
6.7 Fax: (81) 3339-0523
6.8 E-mail: valdemir.alexandre@hotmail.com
- 6.1 Nome: Leonie Asfora Sarubbo
6.2 Qualificação: química industrial
6.3 CPF: 735.801.634-34
6.4 Endereço completo: Rua Arthur Muniz, n. 147, Apto. 2001, bairro Boa Viagem, cidade Recife, estado Pernambuco.
6.5 CEP: 51.111-190
6.6 Telefone: (81) 3342-0581
6.7 Fax: (81) 3342-0581
6.8 E-mail: leonie@unicap.br
- 6.1 Nome: Alex Elton de Moura
6.2 Qualificação: engenheiro mecânico
6.3 CPF: 064.051.064-70
6.4 Endereço completo: Rua Sebastião Constantino da Silva, bairro Ibura, cidade Recife, estado Pernambuco.
6.5 CEP: 51.230-170
6.6 Telefone: (81) 3471-2248
6.7 Fax: (81) 3471-2248
6.8 E-mail: alexelton@gmail.com
- 6.1 Nome: Robson de Souza Vasconcelos
6.2 Qualificação: engenheiro químico
6.3 CPF: 052.769.894-60
6.4 Endereço completo: Rua Carlos Rios, nº 70, bairro Imbiribeira, cidade Recife, estado Pernambuco.
6.5 CEP: 51.170-040
6.6 Telefone: (81) 3038-04233
6.7 Fax: (81) 3038-04233
6.8 E-mail: robsonsv12@yahoo.com.br

GAMBOA, H. G. G. Influência de Diferentes Anticongelantes para a Água Gelada Produzida por um Chiller de Absorção de LiBr em uma UTE.

2/2

6.1 Nome: Hugo Geovanni Gomes Gamboa
6.2 Qualificação: Licenciado em Química e iniciação em mestrado
6.3 CPF: 092.937.754-09
6.4 Endereço completo: Rua Amazonas, 197 - Jardim Brasil 1, Olinda/PE
6.5 CEP: 53230-430
6.6 Telefone: (81) 9 8693-8764 / 9 9690-4928
6.7 Fax:
6.8 E-mail: hugoquimica2011@hotmail.com

6.1 Nome: Felipe Cardim de Araujo
6.2 Qualificação: Bacharel em Engenharia Mecânica (BSC)
6.3 CPF: 089.673.924-43
6.4 Endereço completo: Rua Teles Júnior, 217, apto 1302 – Rosarinho, Recife/PE
6.5 CEP: 52050-040
6.6 Telefone: (81) 9 9646-6086
6.7 Fax: (81)
6.8 E-mail: fcardimaprinch@hotmail.com