



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
-Mestrado-Doutorado-

***DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE
CONCENTRAÇÃO E VAZÃO MÁSSICA EM SOLUÇÕES
SALINAS***

por

Allan Giuseppe de Araújo Caldas

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Doutor.*

ALLAN GIUSEPPE DE ARAÚJO CALDAS

***DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE
CONCENTRAÇÃO E VAZÃO MÁSSICA EM SOLUÇÕES SALINAS***

Tese de doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Doutor.

Orientador: Professor Dr. Carlos Antônio Cabral dos Santos

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C145d Caldas, Allan Giuseppe de Araújo.

Desenvolvimento de uma técnica de medição de
concentração e vazão mássica em soluções salinas /
Allan Giuseppe de Araújo Caldas. - João Pessoa, 2021.
132 f. : il.

Orientação: Carlos Antonio Cabral dos Santos.
Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Engenharia mecânica. 2. Vazão mássica. 3. Água -
Brometo de lítio. 4. Refrigeração por absorção. I.
Santos, Carlos Antonio Cabral dos. II. Título.

UFPB/BC

CDU 621(043)

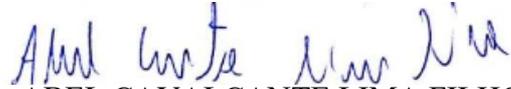
**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE
CONCENTRAÇÃO E VAZÃO MÁSSICA EM SOLUÇÕES
SALINAS**

por

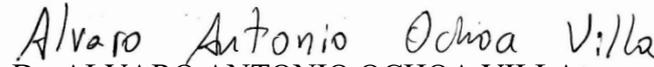
ALLAN GIUSEPPE DE ARAÚJO CALDAS

Tese aprovada em 30 de março de 2021


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO CABRAL DOS SANTOS
Orientador - UFPB


Prof. Dr. ABEL CAVALCANTE LIMA FILHO
Examinador Interno - UFPB


Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO BELO
Examinador Interno - UFPB


Prof. Dr. ALVARO ANTONIO OCHOA VILLA
Examinador Externo – IFPE


Prof. Dr. JOSÉ CARLOS CHARAMBA DUTRA
Examinador Externo – UFPE


Prof. Dr. ALLYSSON MACÁRIO DE ARAÚJO CALDAS
Examinador Externo – IFPB

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a minha esposa Laryssa Kalliane e as minhas filhas Isadora Carvalho e Clara Carvalho, por dividirem diretamente comigo essa conquista e que me acompanhou lado a lado durante este percurso.

Meu querido pai, Antônio de Caldas e a minha querida mãe Maria Creuzita por sempre me incentivar em meus estudos.

Meu irmão Allysson Macário e minhas irmãs Allanna Samahra e Allinne Rejane presentes diariamente em minha vida apoiando minhas decisões e acreditando no meu trabalho.

Minha prima Marculina Neta pelo total apoio.

*“Vá em busca do seu sonho. Se tropeçar,
não pare nem perca de vista sua meta.
Continue subindo. Só do alto podemos
apreciar toda a paisagem.”*

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus pela concretização deste sonho, pela saúde que me foi concedida durante este caminho, e pela sabedoria para avançar dia após dia.

Agradeço ao professor orientador Carlos Antônio Cabral dos Santos, pela paciência e orientação durante estes 4 anos e meio.

Aos amigos Diógenes Montenegro e Fabio Araújo, que estiveram presentes durante o desenvolvimento experimental do trabalho, auxiliando sempre que precisava.

Aos amigos que fiz durante o Doutorado, sempre presentes e disponíveis a contribuir tanto nas disciplinas quanto no projeto em si: Dhiego Veloso, Gustavo Assad, Pedro Granville.

Aos amigos que fiz no Motiva, sempre preocupados com o encaminhamento das atividades e oferecendo ajuda e incentivo: Irazê Amorim, Rosivaldo Oliveira, Paulo Cesar, Adalberto Gouveia, Fernando Araújo, Carolina Queiroz, Rômulo Lins, Flavio Alberto.

Aos amigos do IFPB Campus Itaporanga, pelo incentivo diário.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível - CAPES pelo suporte financeiro.

Aos professores que compõem a banca examinadora, Dr. Abel Cavalcante, Dr. Francisco Antônio Belo, Dr. Alvaro Antônio Ochoa Villa, Dr. Allysson Macário, e José Carlos Charamba Dutra, agradeço de coração pelas contribuições e ao professor Dr. Laurivan da Silva Diniz (in memoriam).

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.”

(Augusto Branco)

DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO E VAZÃO MÁSSICA EM SOLUÇÕES SALINAS

Neste trabalho, é proposto o desenvolvimento de uma técnica de medição de concentração e vazão mássica em soluções salinas, em especial em sistemas de refrigeração que usam a mistura do par água-brometo de lítio. A determinação da concentração e da vazão mássica é de fundamental importância na concepção de sistemas de refrigeração por absorção de vapor, pois as medidas desses parâmetros possibilitam a construção de um controle para funcionamento otimizado do sistema. A bancada experimental utilizada na pesquisa, que simula um dos trechos de uma unidade de refrigeração por absorção, foi desenvolvida pelo nosso grupo de pesquisa na Universidade Federal da Paraíba - UFPB nas dependências do prédio da Rede Cooperativa de Pesquisa Norte/Nordeste do Gás Natural RECOGÁS-N/NE, presente no Instituto de Energia Sustentável (IES). A técnica desenvolvida possibilita sanar dificuldades encontradas em se medir concentração (por meio de um sensor capacitivo não invasivo) e da vazão mássica de fluídos (líquidos) em sistemas de refrigeração visto que, máquinas que operam sob o ciclo de absorção, se a concentração da solução é muito alta, pode ocorrer a cristalização do fluido de trabalho. Este estudo descreverá todos os aspectos que culminará com a finalidade do trabalho corroborando seu funcionamento e como consequência analisar todos os aspectos encontrados ao longo dessa pesquisa para a obtenção do objetivo do presente trabalho.

Palavras chaves – Concentração, vazão mássica, sensor capacitivo, água-brometo de lítio.

DEVELOPMENT OF A METHOD OF MEASUREMENT OF CONCENTRATION AND MATERIAL FLOW IN SALINE SOLUTIONS

In this work, it is proposed to develop a technique for measuring concentration and mass flow in saline solutions, especially in refrigeration systems that use the mixture of the water-lithium bromide pair. The determination of concentration and mass flow is of fundamental importance in the design of refrigeration systems by vapor absorption, as the measurements of these parameters enable the construction of a control for optimized system operation. The experimental bench used in the research, which simulates one of the sections of an absorption refrigeration unit, was developed by our research group at the Federal University of Paraíba - UFPB on the premises of the North / Northeast Natural Gas Cooperative Research Network building RECOGÁS - N/NE, present at the Sustainable Energy Institute (IES). The developed technique makes it possible to remedy difficulties found in measuring concentration (by means of a non-invasive capacitive sensor) and the mass flow of fluids (liquids) in refrigeration systems since, machines that operate under the absorption cycle, if the concentration of the solution is too high, crystallization of the working fluid may occur. This study will describe all the aspects that will culminate with the purpose of the work, corroborating its functioning and, as a consequence, analyze all the aspects found throughout this research to obtain the objective of the present work.

Key words: Concentration, mass flow, lithium-bromide water, refrigeration, absorption.

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I</i>	16
1. <i>INTRODUÇÃO</i>	16
1.1 <i>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO</i>	17
1.2 <i>IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA</i>	18
1.2.1 <i>ASPECTOS MOTIVACIONAIS</i>	18
1.3 <i>OBJETIVOS</i>	20
1.3.1 <i>OBJETIVO PRINCIPAL</i>	20
1.3.2 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	20
1.4 <i>METODOLOGIA</i>	21
<i>CAPÍTULO II</i>	23
<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	23
2. <i>HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO</i>	23
2.1 <i>INTRODUÇÃO</i>	23
2.2 <i>HISTÓRICO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO</i>	24
2.3 <i>HISTÓRICOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO</i>	27
<i>CAPÍTULO III</i>	29
<i>ESTADO DA ARTE</i>	29
<i>CAPÍTULO IV</i>	32
<i>MEDIÇÃO DE VAZÃO</i>	32
4. <i>INTRODUÇÃO</i>	32
4.1 <i>CONCEITO DE VAZÃO</i>	32
4.2 <i>CONCEITOS FÍSICOS PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO</i>	33
4.2.1 <i>CALOR ESPECÍFICO</i>	34
4.2.2 <i>VISCOSIDADE</i>	34
4.2.3 <i>NÚMERO DE REYNOLDS</i>	35
4.2.4 <i>EFEITO CORIOLIS</i>	37
4.3 <i>TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO</i>	38
4.3.1 <i>MEDIDOR POR EFEITO CORIOLIS</i>	39
4.3.2 <i>EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DA VAZÃO</i>	42
<i>CAPÍTULO V</i>	46
<i>MEDIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO</i>	46
5. <i>INTRODUÇÃO</i>	46
5.1 <i>CONCEITO DE CONCENTRAÇÃO</i>	46
5.2 <i>MEDIDAS DE MISTURA ATRAVÉS DA CAPACITÂNCIA</i>	47
<i>CAPÍTULO VI</i>	49
<i>SENSOR CAPACITIVO</i>	49

6. DESCRIÇÃO DO SENSOR CAPACITIVO	49
6.1 MODELAGEM DO SENSOR CAPACITIVO	50
6.2 TRANSDUTOR CAPACITIVO	54
<i>CAPÍTULO VII</i>	56
<i>BANCADA EXPERIMENTAL</i>	56
7. INTRODUÇÃO	56
7.1 ASPECTOS FUNCIONAIS DA BANCADA EXPERIMENTAL	56
7.1.1 RESERVATÓRIO	57
7.1.2 BOMBA BOMAX	58
7.1.3 ARDUINO UNO	60
7.1.4 MÓDULO ANALÓGICO DIGITAL ADS1115	62
<i>CAPÍTULO VIII</i>	67
<i>METODOLOGIA EXPERIMENTAL E RESULTADOS</i>	67
8. INTRODUÇÃO	67
8.1 AMOSTRA DO FLUIDO DE TRABALHO (LiBr-H ₂ O)	67
8.2 CARACTERIZAÇÃO DAS NOVAS AMOSTRAS DE LiBr	68
8.2.1 CRISTALIZAÇÃO DO LiBr	70
8.3 ANÁLISES DAS TENSÕES DO ANALISADOR NA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO	72
8.3.1 RESULTADOS DAS MEDIDAS DE TENSÃO DO ANALISADOR	78
8.3.2 COMPARAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO TEÓRICA E A CONCENTRAÇÃO ESTIMADA	79
8.3.3 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DAS DEMAIS GRANDEZAS	82
8.4 ANÁLISES E RESULTADOS DA VAZÃO MÁSSICA	86
<i>CAPÍTULO IX</i>	89
<i>CONCLUSÃO</i>	89
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	91
<i>APÊNDICE 1</i>	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Viscosidade dos líquidos, em função da temperatura.	35
Figura 4.2 - Transição entre o escoamento Laminar e Turbulento na camada limite.	36
Figura 4.3 – Perfil de velocidade em regime laminar.....	37
Figura 4.4 – Perfil de velocidade em regime turbulento.	37
Figura 4.5 – Classificação dos medidores de vazão.	38
Figura 4.6 – Esquema interno de um medidor Coriolis.....	40
Figura 4.7 – Esquema interno de um medidor Coriolis de tubo reto.....	41
Figura 4.8 – Comparação do tubo com e sem fluido.....	42
Figura 4.9 – Escoamento interno com estrangulamento, mostrando o volume de controle usado para análise.	42
Figura 6.1 – Representação da secção transversal e do modelo dos eletrodos de placas côncavas	49
Figura 6.2 – Sensor Capacitivo.....	50
Figura 6.3 – Representação de corte transversal do sensor com escoamento e seus elementos de polarização e de escoamento e elétrico.....	50
Figura 6.4 – Placa do circuito eletrônico de transdução capacitivo.	54
Figura 6.5 – Circuito eletrônico de transdução capacitivo.	55
Figura 7.1 – Bancada experimental. (atualizar).....	57
Figura 7.2 – Reservatório da bancada experimental.....	58
Figura 7.3 – (a) Bomba BOMAX série PX, (b) Corte para observação interna da bomba.	59
Figura 7.4 - Arduino Uno	61
Figura 7.5 - Módulo ADS1115.....	62
Figura 7.6 - Sensor de temperatura digital DS18B20.....	63
Figura 7.7 – Medidor de Vazão MEDY FLOW	65
Figura 7.8 – Analisador (Disposição dos componentes)	66
Figura 8.1 – Medidas de massa da solução base do LiBr.....	68
Figura 8.2– Soluções das concentrações de LiBr.	70
Figura 8.3 – Diagrama pressão-temperatura-concentração para solução de água-brometo de lítio, indicando a linha de cristalização.	71
Figura 8.4 – Solução de H ₂ O-LiBr (64%) com o sal precipitado (cristalizado).	71
Figura 8.5 – Medição da tensão de saída do capacitor	73

Figura 8.6 - Análise do LiBr 50% – Temperatura média de 25,40°C	74
Figura 8.7 - Análise do LiBr 53% – Temperatura média de 25,35°C	74
Figura 8.8 - Análise do LiBr 55% – Temperatura média de 25,34°C	75
Figura 8.9 - Análise do LiBr 56% – Temperatura média de 25,30°C	75
Figura 8.10 - Análise do LiBr 58% – Temperatura média de 25,20°C	76
Figura 8.11 - Análise do LiBr 60% – Temperatura média de 25,19°C	76
Figura 8.12 - Análise do LiBr 62% – Temperatura média de 25,13°C	77
Figura 8.13 - Análise do LiBr 64% – Temperatura média de 25,06°C	77
Figura 8.14 - Gráfico da Concentração x Tensão do capacitor	80
Figura 8.15 - Gráfico da Concentração x Temperatura	81
Figura 8. 16 – Comparação da densidade e a concentração medida.	84
Figura 8.17 - Comparação da densidade e a concentração estimada.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 8.1 – Propriedades do LiBr.....	67
Tabela 8.2 – Tabela das massas para cada concentração	69
Tabela 8.3 – Medições do analisador	78
Tabela 8.4 – Resultado comparativo das análises das concentrações teóricas e as concentrações estimadas.....	79
Tabela 8.5 – Valores das densidades com as grandezas analisadas	82
Tabela 8.6 – Resultado comparativo das análises das densidades teóricas e as densidades estimada, com base na concentração medida.	83
Tabela 8.7 – Resultado da nova densidade estimada a partir da concentração estimada. ...	84
Tabela 8.8 – Resultado comparativo das análises das densidades teóricas e as novas densidades estimadas. com base na concentração estimada.....	85
Tabela 8.9 – Medidas da vazão volumétrica pelo MEDY FLOW	87
Tabela 8.10 – Medidas da vazão mássica para concentração de 55% de LiBr medido	88

SÍMBOLOS E NOMECLATURAS

Q	Vazão Volumétrica [m ³ /s]
V	Volume [m ³]
t	Tempo [s]
\dot{m}	Vazão Mássica [kg/s]
m	Massa [kg]
C _v	Calor específico a volume constante [kJ/kg °C]
C _p	Calor específico a pressão constante [kJ/kg °C]
Re	Número de Reynolds
D	Diâmetro [m]
v	Velocidade [m/s ²]
P	Pressão [Pa]
z	Altura (nível de referência) [m]
A	Área [m ²]
C	Coefficiente de Descarga
K	Coefficiente de Vazão
\bar{V}	Velocidade média axial do fluído [m/s ²]
f	Frequência [Hz]
c	Velocidade do som no meio do fluxo [m/s ²]
k	Fator de correção da distribuição de velocidade
Δt	Tempo de trânsito no sentido do fluxo [s]
M	Número de vezes que o som atravessa o fluxo
U	Diferença de potencial [V]
R	Resistência [Ω]
i	Corrente Elétrica [A]
L	Comprimento (laminar e desenvolvido) [m]
C	Coefficientes provenientes da correlação
X	Concentração [%]
T	Temperatura [°C]
B	Campo Magnético [T]

LETRAS GREGAS

ρ	Massa Específica [kg/m ³]
τ	Tensão de Cisalhamento [N/m ²]
τ_{cap}	Tensão do Capacitor [V]
μ	Viscosidade Dinâmica [N.s/m ²]
ν	Viscosidade Cinemática [m ² /s]
∂_u	Perfil de Velocidade [m/s]
θ	Ângulo de Inclinação

LETRAS GREGAS

T	Teórica
U	Ultrassônica
V	Volumétrica
t	Transmissão
r	Recepção
v	Volume constante
p	Pressão Constante

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A humanidade vem procurando entender o Natureza para transformar o meio ambiente em que vivem aproveitando-se das disponibilidades materiais e da compreensão e uso dos fenômenos naturais que ocorrem na Terra.

O desenvolvimento técnico-científico proporciona benefícios imensuráveis à humanidade e atrelado a tais qualidades, alguns conflitos sociais causados por essas transformações recentes na ambiência humana resultantes dessas atividades, são considerados como pertinentes ao campo do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico, bem como das consequentes inovações.

Devido ao aumento da população mundial, faz – se necessário à criação de novas indústrias, se por outro lado houve a necessidade de assegurar a diversidade e a segurança no fornecimento de energia, houve também a obrigação de proteger o meio ambiente, cuja degradação foi acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, tal problemática motivou o interesse pelas fontes de energias renováveis que permitiu a exploração em grande escala das diversas formas de energia. Assim, prevalecer-se ao máximo os rejeitos térmicos provenientes de equipamentos industriais fazendo uso da cogeração é algo que tem despertado o interesse de muitos pesquisadores.

Perante o comentado acima, pesquisas estão sendo desenvolvidas na Universidade Federal da Paraíba por alunos da pós-graduação em Engenharia Mecânica na área Térmica orientados pelo Prof. Dr. Carlos Antônio Cabral dos Santos.

Esse trabalho é sequência das pesquisas iniciadas por Varani (2001) que fez análise energética e exergetica de sistemas de simples efeito, Moreira (2004) que fez análise termoeconômica de sistemas de simples e duplo efeito em série, Santos (2005) que fez análise exergetica em sistemas de múltiplos efeitos, Rocha (2010) que fez um estudo teórico experimental de um sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em série usando o fluido água/brometo de lítio, Lima (2012) que gerenciou um controle de vazão PID para

sistemas de refrigeração por absorção com o par água- brometo de lítio, Caldas (2012) que desenvolveu um método de medição de vazão não intrusivo baseado em correlações matemáticas para solução salina do LiBr e por fim, também, Caldas (2016) que estudou e desenvolveu um medidor tipo turbina baseado em efeito hall capaz de medir vazão em solução salina de brometo de lítio (LiBr).

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho de tese foi desenvolvido junto a Rede Cooperativa de Pesquisa Norte/Nordeste do Gás Natural RECOGÁS-N/NE, presente no Instituto de Energia Sustentável (IES) da Universidade Federal da Paraíba sob a orientação do Professor Dr. Carlos Antônio Cabral dos Santos. O trabalho é composto de nove capítulos e apresenta a estrutura descrita a seguir.

No primeiro capítulo, é abordado em linhas gerais aspectos que guiam a pesquisa, bem como os aspectos motivacionais e a sua importância no desenvolvimento tecnológico atual, além dos objetivos e um o pouco do que é descrito na metodologia.

O segundo capítulo aborda de forma abrangente e em ordem cronológica fatos que evidenciaram e marcaram a refrigeração, bem como a dificuldade de se medir vazão nesses sistemas em especial na refrigeração por absorção que faz uso do fluido de trabalho água – brometo de lítio.

O terceiro capítulo temos o estado da arte, onde apresenta-se uma variedade de estudos relacionados a proposta do presente trabalho, fazendo um levantamento dentro da nossa problemática que é medir vazão em sistemas de absorção.

No quarto capítulo é apresentando uma visão resumida dos medidores de vazão juntamente com as equações para o cálculo da vazão tanto teórica quanto real que foram obtidas de forma genérica para os três tipos de medidores apresentados tendo em vista que eles baseiam – se no princípio da aceleração de uma corrente fluída em escoamentos internos.

No quinto capítulo, abordamos algumas tecnologias, suas aplicações, e os princípios físicos envolvidos, apresentando uma visão resumida dos medidores de concentração juntamente com as equações para o cálculo da concentração.

O sexto capítulo, apresenta a descrição e o princípio de funcionamento do sensor capacitivo, que foi utilizado, e seu modelo teórico.

O sétimo capítulo, corresponde a uma descrição geral da bancada experimental e dos componentes que compõem a mesma, detalhando os aspectos construtivos e funcionais de cada um dos componentes para o propósito da pesquisa.

O oitavo capítulo traz todos os aspectos relacionados à metodologia e o planejamento experimental utilizados, os métodos utilizados para obtenção dos resultados, uma análise dos erros e acertos dentre outros aspectos que juntos darão suporte para o fechamento dessa pesquisa.

Por fim, o nono e último capítulo apresenta as conclusões sobre o desenvolvimento de uma técnica de medição de concentração e vazão mássica em soluções salinas através um analisador de misturas e do medidor de vazão volumétrica (MEDY FLOW).

1.2 IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA

Iniciaremos o capítulo abordando aspectos gerais que guiam esta pesquisa e com breves relatos dos fatos que serviram de motivação à mesma. Apresentando os objetivos que se propõe alcançar e, por fim, a metodologia aplicada ao desenvolvimento deste trabalho.

1.2.1 ASPECTOS MOTIVACIONAIS

Devido à crescente demanda por energia, aliada a possibilidade da escassez de recursos energéticos naturais, levou a humanidade ao questionamento das matrizes energéticas em potencial e o retorno de que práticas antigas de tecnologias fosse reconsiderada.

Dentre as diferentes tecnologias, evidenciou-se a produção de frio por meio de sistemas de refrigeração por absorção, sendo estes alimentados por energia térmica e apresentando geralmente como fluido de trabalho, substâncias não nocivas ao meio ambiente.

Estas tecnologias, em razão da grande disponibilidade de energia elétrica, haviam sido colocadas à margem, substituídas pelos sistemas de refrigeração por compressão, que se serviam, dos gases halogenados CFC's, HCFC's e HFC's como fluido de trabalho, (SANTOS, 2005).

Baseado no caso particular dos sistemas de sorção, a refrigeração por absorção leva em conta as propriedades físico-químicas dos pares refrigerantes, para a produção do efeito frigorífico. Suas unidades de refrigeração são compatíveis, em seus aspectos construtivos e funcionais, com as particularidades dos fenômenos envolvidos com o par refrigerante durante os processos termodinâmicos (LIMA, 2016).

Em se tratando de uma tecnologia de refrigeração, a qual a retomada as pesquisas e aplicações é recente. Contribuições importantes como a de Santos (2005), completada pelo trabalho de Rocha (2010), em suas abordagens a um sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito, em série, com a mistura de água – brometo de lítio. A primeira de caráter teórico e a segunda, teórico – experimental, não obtiveram completamente seu objetivo por conta de algumas limitações, devido a reprodução das condições, na unidade abordada.

Tais limitações ocorreram pelo fato dos sistemas de refrigeração com o par água – brometo de lítio operarem a pressões negativas, utilizando-se de medidores ultrassônicos na aferição e de bombas herméticas de baixa potência para a recirculação. Enquanto o primeiro não apresenta armazenadas informações sobre a solução salina água – brometo de lítio e tem o sinal ultrassônico distorcido por esta substância, o segundo deveu-se a falta de controle da vazão provocando excesso ou falta de solução nos sistemas de absorção, assim como o fato de estes dispositivos inviabilizarem o emprego de métodos convencionais na alteração de suas rotações, em virtude dos elevados custos incorridos (LIMA, 2016).

Motivado pelas dificuldades citadas anteriormente, foi desenvolvido por C ezar (2012) um sistema de controle de vaz o em uma bancada experimental reproduzindo as condi es de escoamento concernentes  s unidades de absor o com o par $H_2O/LiBr$ em uma bancada experimental, o qual logrou  xito, garantindo o controle da vaz o e fornecendo um m todo eficaz de altera o nas rota es da bomba de recircula o do sistema.

Devido   tamanha import ncia citada e visando contribuir para o aperfei amento dos sistemas de refrigera o por absor o. O presente trabalho prop e desenvolver uma t cnica de medi o de concentra o e vaz o m ssica em solu es salinas a qual possui em sua composi o um sensor capacitivo que far  a medi o da concentra o de forma n o invasiva como tamb m de um sistema de controle embarcado de a o controladora proporcional integral derivativo – PID com medidor de vaz o de efeito hall, Caldas (2016).

A justificativa de desenvolver tal t cnica de medi o, gira em torno das dificuldades encontradas em se medir concentra o e vaz o m ssica de solu es salinas em sistemas de absor o, tendo em vista que o fl ido de trabalho abordado ($LiBr/H_2O$) cont m um sal com propriedade higrosc pica que, pode apresentar forma o de fase s lida, cristalizando a valores moderados de concentra o, como tamb m, baixos valores de press o e altos valores de viscosidade da solu o.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Desenvolver uma t cnica de medi o de concentra o e vaz o m ssica em solu es salinas, em especial para sistemas de refrigera o por absor o que utiliza a solu o salina $LiBr/H_2O$.

1.3.2 OBJETIVOS ESPEC FICOS

- Realizar o estado da arte sobre sistemas de medi o de concentra o e vaz o, assim como o controle e opera o do par $LiBr/H_2O$ em sistemas de refrigera o por absor o;

- Levantar a informação sobre medição de concentração e medição de vazão no âmbito nacional e internacional;
- Construção da bancada experimental que dará suporte a pesquisa;
- Determinar as propriedades termo físicas da solução salina LiBr/H₂O para as condições de operação, por meio de um sensor capacitivo;
- Desenvolvimento da técnica de medição de concentração e vazão mássica proposto nesta pesquisa;
- Avaliar a viabilidade técnica da utilização do medidor proposto em outros sistemas que precisem medir concentração e vazão mássica.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento metodológico da pesquisa dividimos o trabalho em etapas conforme a descrição abaixo:

- **Levantamento bibliográfico**

O levantamento bibliográfico consta, estudos sobre trabalhos realizados em nível mundial e nacional publicados em revistas da área específica ou mesmo livros referentes ao tema em estudo dos últimos 10 anos. Com isso, é possível identificar se alguma pesquisa já não tenha sido efetuada, a princípio, o estudo que se propõe. Em seguida, tais pesquisas servirão de base para identificar as tecnologias já utilizadas nessas máquinas de absorção, bem como para inovações, implementação, otimização de processos e sua importância na indústria atual, possibilitando assim fundamentar teoricamente o trabalho de pesquisa.

- **Análise de escoamento completamente desenvolvido**

A análise de escoamento completamente desenvolvido será abordada de forma pertinente e todos os conceitos que permitem tal ligação ao assunto serão evidenciados. Fazendo uso das equações que regem a mecânica dos fluidos, como a equação da conservação da massa bem como a conservação da energia e considerando que o escoamento interno no volume de controle descrito seja permanente e incompressível ao longo de uma

linha de corrente, tais considerações serão apropriadas para um melhor entendimento do conceito de concentração e medição de vazão mássica.

- **Construção da bancada experimental**

A bancada experimental foi aperfeiçoada a partir das contribuições de trabalhos de teses realizados anteriormente por alunos da pós-graduação e pesquisadores da RECOGÁS-N/NE (Rede Cooperativa de Pesquisa Norte/Nordeste do Gás Natural), com o intuito de melhorar os resultados em unidades de sistema de refrigeração por absorção, principalmente no que diz respeito a medição de concentração e vazão mássica.

- **Instrumentação e aquisição de dados**

Foram utilizados equipamentos para instrumentar e captar dados necessários para o andamento desta pesquisa; equipamentos que vão desde bomba, medidor de vazão volumétrica do tipo turbina, analisador de concentração, placa arduino entre outros. Vale ressaltar que a maioria desses equipamentos constam em nosso laboratório, visto que trabalhos realizados anteriormente necessitaram dessas aquisições.

Com a bancada instrumentalizada e funcionando de forma adequada, foram feitas as devidas leituras dos valores das grandezas a serem medidas em diversos momentos. Tais medidas serviram de base para estudo e análise do funcionamento de alguns componentes e do próprio medidor, de forma a evidenciar acertos e ou possíveis modificações a serem efetuadas capazes de promover melhorias significativas.

- **Estudo teórico-experimental**

De posse dos dados obtidos experimentalmente, foi desenvolvido um estudo teórico e experimental embasado nas leis que regem a mecânica dos fluídos a fim de poder avaliar medições de concentração e vazão mássica de forma eficiente e efetiva em sistemas de refrigeração por absorção.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, abordar-se em ordem cronológica fatos que evidenciaram e marcaram a refrigeração, focando, sobretudo a refrigeração por absorção. Em seguida, descreve - se a dificuldade na medição de vazão em sistemas de refrigeração por absorção que faz uso da solução de água – brometo de lítio, como fluido de trabalho.

2. HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, o ser humano tem a necessidade, e a vontade, de obter formas de resfriamento. Registros passados de 2.000 a.C. indicam que os efeitos exercidos por baixas temperaturas sobre a preservação de alimentos já eram conhecidos.

No Egito, devido a sua localização geográfica e ao clima do país, a civilização não dispunha de gelo em sua forma natural, refrescavam a água utilizando um método que até então já era dominado, a evaporação, usando vasos de barro, semelhantes aos vasos que são bastante utilizados ainda nos tempos de hoje em alguns estados do interior do Brasil.

No entanto, durante uma larga escala de tempo, a única utilidade que o homem encontrou para o gelo em sua forma natural foi a de refrigerar alimentos e bebidas para melhorar seu paladar e seu conforto.

No que se tem notícia, a história mais antiga a esse respeito foi datada em 1.000 a.C. num antigo livro de poemas chinês, chamado Shih Ching. No século XVIII a.C. o gelo estava disponível apenas para os ricos e poderosos, em 1806, Frederick Tudor deu início a comercialização de blocos de gelo que eram retirados do rio Hudson (Nova York) e comercializado a grande parte da população, por um preço não tanto acessível. Dados

históricos revelam que aproximadamente 156 mil toneladas de gelo foram embarcadas em Boston, em 1854, costumeiramente faziam uso de serragem como isolante térmico.

Ao longo dos anos o homem vem investindo cientificamente numa melhor forma de obtenção da refrigeração, em 1755 já se conhecia o efeito de resfriamento causado pelo éter ao se evaporar sobre a pele, nesse tempo, o professor de química, William Cullen, demonstrou a formação de gelo na água em contato com um recipiente contendo éter; já utilizando meios científicos ele mostrou que ao reduzir a pressão sobre o éter promoveu sua ebulição a uma temperatura baixa o suficiente para proporcionar a formação do gelo.

O método mais utilizado para gerar refrigeração fundamenta-se no processo de evaporação de um líquido chamado refrigerante, nesse momento a refrigeração toma forma e desencadeia em direção a grandes proporções.

Diversos procedimentos e instrumentos tecnológicos estão disponíveis para a produção e obtenção do frio, sejam elas nas perspectivas: industriais comerciais e residenciais. A refrigeração a nível mundial consolidou-se no uso da refrigeração por compressão a vapor, tecnologia essa baseada no uso da energia elétrica.

2.2 HISTÓRICO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

Os sistemas de refrigeração por absorção trabalham com misturas binárias como fluido refrigerante, as misturas mais comumente empregadas são de: água - brometo de lítio ($H_2O-LiBr$) e água-amônia (H_2O-NH_3). Neste ciclo, um fluido desempenha o papel de fluido refrigerante responsável por retirar calor do ambiente no evaporador.

Esses sistemas por absorção de vapores são ciclos de refrigeração operados a calor, onde um fluido secundário ou absorvente na fase líquida é responsável por absorver o fluido primário ou refrigerante, na forma de vapor. Ciclos de refrigeração operados a calor são assim definidos, porque a energia responsável por operar o ciclo é prevalentemente térmica.

Descoberta pelo escocês Nairn em 1777, a refrigeração por absorção tem como precursor o francês Ferdinand Carré (1824-1900), que em 1859 patenteou a primeira máquina de absorção de funcionamento contínuo, usando o par amônia – água, onde adquiriu desde 1859 até 1862 14 patentes com essas máquinas.

Herman Geppert, em 1899, patenteou um sistema de absorção contínuo que não requeria bomba para circulação, como nos sistemas anteriores. O sistema se valia de um gás inerte e pressão parcial, porém não logrou êxito, em razão da discrepância entre a massa molecular entre o ar e a amônia, impedindo a circulação natural (SOUZA, 2007).

Em 1922 os estudantes de engenharia do Instituto Real de Tecnologia de Estocolmo (Suécia), Carl G. Munters e Baltzar von Platen inventam a “Geladeira D”, a qual utilizava como fonte de calor o gás propano. ou querosene. De acordo com Mazagoni (2011), em 1925 a empresa Servel compra os direitos norte-americanos da Electrolux.

Em 1929, foi publicada por R.S. Taylor da SERVEL uma relação contendo 66 compostos orgânicos como refrigerantes e absorvedores (VARANI, 2001).

Entre os anos de 1920 e 1940, Edmund Altenkirch foi considerado o pioneiro no estudo da tecnologia de refrigeração por absorção (SANTOS, 2005). Devido a um amplo conhecimento da termodinâmica de misturas e ao domínio da Segunda Lei da Termodinâmica, ele pôde analisar os processos envolvidos nos sistemas de refrigeração por absorção e estabelecer os caminhos básicos de como minimizar as perdas energéticas, fazendo com que as irreversibilidades, contidas em cada processo, tendessem a zero (MOREIRA, 2004).

De acordo com Varani (2001), em 1940 Os sistemas de refrigeração utilizando água-brometo de lítio tiveram significativas contribuições pelas Carrier e Servel. Estes sistemas, a princípio, utilizavam o par água-cloreto de lítio, a substituição ocorreu pela Carrier em 1945.

Ainda anos 40, o estudo do ganho em sistemas em de controle tornou-se facilitado pelos métodos de resposta em frequência, em especial os métodos com base nos diagramas

de Bode, tornando possível o projeto de sistemas de controle linear em malha fechada que satisfizessem o desempenho requerido (OGATA, 2003).

Segundo Marques (2005), foi na em meados anos 50 que surgiram as primeiras máquinas de duplo efeito, utilizando o par $H_2O-LiBr$.

A década de 80 foi marcada por um forte interesse do mercado asiático pelos sistemas de absorção (em especial Japão, Coréia e China), tal interesse se deveu pelo crescimento econômico destes países, resultando uma expressiva demanda doméstica e esforços de pesquisa tendo por alvo esses sistemas (Mazagoni, 2011).

Segundo Silva (1994), devido às duas crises internacionais de energia envolvendo o abastecimento do petróleo, surgiu um novo interesse na tecnologia de absorção, podendo isto ser atribuído ao fato dos sistemas de absorção utilizarem uma fonte de energia térmica de baixa temperatura, tornando – se economicamente atrativos em projetos de cogeração e recuperação de calor rejeitado.

ABREU (1999 apud ROCHA, 2010) relata que no Brasil, vários estudos sobre a aplicação de sistemas frigoríficos por absorção foram realizados, entretanto, poucas aplicações práticas foram desenvolvidas. Atualmente, no Brasil, a empresa Consul produz refrigeradores domésticos com a tecnologia da refrigeração por absorção.

A partir dos anos 2000, eclodem a nível mundial diversas contribuições no sentido de aperfeiçoar os processos de absorção e dessorção, a exemplo dos estudos produzido por Medrano et. al. (2000), os quais culminaram no desenvolvimento de um absorvedor tubular vertical arrefecido a ar, utilizando o par $H_2O-LiBr$.

Vários estudos foram desenvolvidos pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB na tecnologia de refrigeração por absorção, especificamente na construção, desenvolvimento e análise experimental de máquinas por absorção de simples e duplo efeito com o par água – brometo de lítio, estudos esses que, fazem uso de códigos computacionais na plataforma EES e FORTRAN para análise energética e exérgica de sistemas de refrigeração de simples, duplo e triplo efeitos.

2.3 HISTÓRICOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Medidores de vazão são dispositivos utilizados para medição de fluxo de um fluido através de uma seção transversal de um escoamento durante certo intervalo de tempo, podendo ser medida em volume ou massa (DELMÉE 2003). A escolha para utilizar-se determinado medidor de vazão, depende de vários fatores, a exemplos: o tipo de fluido que se deseja medir, a exatidão desejada, a faixa de vazão que se quer medir e condições em que há pressões e temperaturas elevadas, existem outros fatores além dos que aqui foram citados.

Relatos da necessidade de medir - se vazão surgiram há séculos, e segundo consta, as primeiras medições foram feitas com a água e teriam sido executadas por povos egípcios e romanos, depois de canalizar a água para consumo doméstico.

Provavelmente, a primeira contribuição de peso para medição de vazão foi dada por Leonardo da Vinci (1452-1519) no ano de 1502, que ao observar um rio, percebeu que a quantidade de água que escoava por intervalo de tempo era a mesma em qualquer parte dele, independente da largura, profundidade, inclinação dentre outros, onde essas observações foram evidenciadas em seu trabalho intitulado por “Sobre o movimento da água e das águas pluviais”.

Em seguida, no início do século XVII, Galileu Galilei (1564-1642), pai do empirismo, também trouxe contribuições pertinentes à medição de vazão, seu discípulo Evangelista Torricelli (1608-1647) estabeleceu a equação sobre o escoamento da água através de orifícios (DELMÉE 2003).

Segundo Delmée (2003), a base da Mecânica dos Fluidos foi definida pelos físicos Daniel Bernoulli (1700-1782) que publicou em 1738 a principal lei sobre o movimento dos líquidos, denominada “equação de Bernoulli” e Leonardo Euler (1707-1783) que estabeleceu as equações diferenciais relativas ao movimento dos líquidos perfeitos.

No século XVIII, o engenheiro Henri Pitot (1695-1771), publicou um trabalho descrevendo o instrumento denominado “Tubo de Pitot” ou simplesmente pitômetro, que é um instrumento de medição de velocidade muito utilizado em modelos físicos em

laboratórios de hidráulica, aerodinâmica e também em hidrologia para a medição indireta de vazões em rios e canais, em redes de abastecimento de água, em adutoras, em oleodutos e ainda a velocidade dos aviões, medindo, neste caso, a velocidade do escoamento do ar.

A partir de 1732 houve muitos progressos nas técnicas de medição de vazão, e vários nomes de estudiosos surgiram; e cada um com o seu estudo a sua particularidade contribuíram de forma relevante para a evolução tecnológica da medição de vazão, no qual podemos citar: Giovanni Venturi (1746-1822) que, publicou um trabalho descrevendo o instrumento “Tubo de Venturi”, os trabalhos dos físicos Jean Poiseuille (1799-1869) que, estudou o escoamento em tubos capilares e viscosidade dos fluidos, George Stokes (1816-1903) que, publicou trabalhos importantes sobre a hidrodinâmica e Osborne Reynolds (1842-1912) que, desenvolveu a equação do Transporte de Reynolds, equação esta muito importante para a análise da Mecânica dos Fluidos.

Todas essas técnicas de medição de vazão já conhecidas foram atribuídas a novos estudos e novas tecnologias, no qual resultaram medidores de vazão mais confiáveis e bem mais modernos, Michael Faraday (1791-1867) deu origem ao medidor eletromagnético, Gaspard Coriolis (1792-1843) ao medidor que aproveita os efeitos da aceleração devido a “força de Coriolis” e Theodor Von Karman (1881-1963) deu origem aos “vórtex”.

Segundo Taira (2003), estão na lista de medidores modernos, o Tubo de Venturi, medidores eletromagnéticos, medidores tipo turbina, medidores ultrassônicos e a laser; porém estes depois de instalados carecem de calibrações periódicas como o Tubo de Pitot que é o medidor de vazão instantâneo mais confiável e que apresenta, se bem calibrado, um grau de incerteza da ordem de ± 4 .

Em 2000, no Brasil, sucedeu em Salvador – BA a “*10th Inter Conference on Flow Measurement – Flomeko*”, o congresso mais importante a respeito do desenvolvimento das técnicas de medição de vazão, foram apresentadas 98 palestras onde o princípio de medição de vazão mais abordados foram os medidores tipo turbina e medidores ultrassônicos totalizando 20 palestras, evidenciando o grande interesse dos pesquisadores e do mercado sobre nestes medidores.

CAPÍTULO III

ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, apresenta-se uma variedade de estudos e trabalhos pertinentes a proposta do presente trabalho; não só iremos abordar medição de vazão, mas, fazer um levantamento dentro da nossa problemática que é medir vazão em sistemas de absorção.

Medidores de vazão são dispositivos utilizados para medição de fluxo de um fluido através de uma seção transversal de um escoamento durante certo intervalo de tempo, podendo ser medida em volume ou massa (Caldas, 2012). Estes equipamentos são utilizados em vários setores como a indústria do petróleo, adutoras, siderúrgicas, sistema de refrigeração entre outros. Os medidores de vazão ultrassônicos são robustos, capazes de medir grandes vazões de forma rápida e local, e apresentam uma boa flexibilidade em função do produto a ser medido e sobre as condições de operação.

Vários problemas são encontrados quando se mede vazão de fluidos em sistemas de absorção, principalmente as que utilizam a solução de água-brometo de lítio, pois é um sal cristalino com propriedade higroscópica que, pode apresentar formação de fase sólida cristalizando a valores moderados de concentração, como também, baixos valores de pressão de trabalho e altos valores de viscosidade da solução (Caldas, 2012).

Problemas na medição e controle da grandeza vazão foram explicitados em diversos trabalhos (Rocha, 2010; Caldas, 2012; César, 2012; Cordeiro, 2012); em virtude de tal problemática, encontra – se nas mais literaturas, trabalhos que vem utilizando medidores de vazão, como do tipo coriolis (Palacios et al., 2009), ultrassônico (Carlander and Delsing, 2000; Lynnworth et al., 2006; Jeong et al., 2013; Chen et al., 2014), do tipo tubo capilar (Farzaneh-Gord et al., 2015) para verificar as performances de equipamentos e processos (Aphornratana and Sriveerakul, 2007; Ibarra-Bahena et al., 2015; Azzopardi et al., 2015).

Farzaneh-Gord et al., 2015 utilizaram um tubo capilar térmico na medição do consumo de gás natural do uso residencial, apresentados resultados com precisão boa.

Por outro lado, utilizando sistemas de ultrassônicos, Beaulieu et al., 2011 desenvolveram um protótipo de medidor de vazão para líquidos instáveis através da modificação da equação de Bernoulli de instabilidade onde os resultados mostraram que as vazões em regime quase uniforme podem ser medidas com precisão na faixa de 5-60 ml/s, e Rajan et al., (2015) dimensionaram, construíram e testaram um medidor de vazão de parede lateral para medir sódio em reatores, sendo demonstrada sua capacidade de medição através de resultados numéricos.

A escolha para utilizar-se determinado medidor de vazão, depende de vários fatores, tais como; o tipo de fluido que se deseja medir, a exatidão desejada, a faixa de vazão que se quer medir e condições em que há pressões e temperaturas elevadas, que são fatores determinantes nesse processo de medição (Lima, 2012).

Solução aquosa LiBr tem sido a escolha comum na indústria de refrigeração de absorção para processo de climatização (Wang and Arora, 2009; Gomri, 2010; Tsoutsos et al., 2010; Monné et al., 2011; Huicochea et al., 2011; Prasartkaew, 2014; Winston et al., 2014). Assim como numerosos trabalhos numéricos e experimentais têm sido desenvolvidos em equipamentos que utilizam este fluido como absorvente em ciclos de refrigeração por absorção (Kaushik, and Arora, 2009; Venegas et al., 2010; Rivera et al., 2011; Izquierdo et al., 2012; Ochoa et al., 2014b). A importância de medir a vazão interna do refrigerante e/ou solução absorvente (LiBr/H₂O), é necessária para o entendimento do processo de absorção e dessorção que acontece nos ciclos de refrigeração por absorção. Estas medições são necessárias em validações de estudos numéricos (Kohlenbach and Ziegler, 2008a e 2008b; Zinet et al., 2012; Evola et al., 2013; Shin et al., 2013), otimizações de componentes (Myat et al., 2011; Bakhtiari et al., 2011) e aplicadas a possíveis melhorias no desempenho destes ciclos de refrigeração por absorção (Florides et al., 2003; Seo et al., 2012).

Esta solução aquosa de brometo de lítio vem sendo estudada por vários autores ao longo dos anos com o objetivo de encontrar correlações empíricas que permitam determinar as propriedades termofísicas (Chua et al., 2000; Kaita, 2001; Nasirzadeh et al., 2004; Kim

and Infante-Ferreira, 2006; Zafarani-Moattar et al., 2014; Donnellan et al., 2014), as quais, são necessárias para o estudo da performance deste fluido em sistemas de refrigeração por absorção (Somers et al., 2011; Edem et al., 2012; Ochoa et al., 2014a).

Furio Cascettae Giuseppe Rotondo (2015) estudaram efeitos de fluxos intermitentes sobre medidores turbinas de gás. e, F.M. Abbasi, T. Hayat, B. Ahmad (2015) examinaram o transporte peristáltico de nanofluido prata em água na presença de campo magnético.

Jacques Cousteau da Silva Borges, Abel Cavalcante Lima Filho e Francisco Antônio Belo (2015) examinaram o comportamento do sensor de efeito Hall, fazendo a medição da intensidade do campo magnético estático do magneto de rotação e o mesmo, verificando-se o efeito da velocidade com que o imã passa pelo sensor de alguma forma alterar a medição.

Diante de toda exposição de trabalhos e pesquisas a nível de Brasil e mundo, a justificativa do *desenvolvimento de uma técnica de medição de concentração e vazão mássica em soluções salinas*, que é a proposta do trabalho; gira em torno das dificuldades encontradas em se medir concentração e vazão mássica de fluídos em sistemas de absorção que utilizam soluções salinas como fluido de trabalho, dando ênfase ao brometo de lítio que é o fluído de trabalho abordado nessa pesquisa. O mesmo é um sal cristalino com propriedade que possuem de absorver água (higroscópica), que pode apresentar formação de fase sólida em valores moderados de concentração.

CAPÍTULO IV

MEDIÇÃO DE VAZÃO

4. INTRODUÇÃO

Das operações realizadas em demandas industriais uma das mais importantes é efetuar a medição e o controle da quantidade de fluxo de fluídos (líquidos, gases) e até sólidos granulados, não só para fins contábeis, como também para a verificação do rendimento do processo. No mercado estão disponíveis diversas tecnologias de medição de vazão cada uma tendo sua aplicação mais adequada conforme as condições impostas pelo processo.

Neste capítulo será abordado algumas destas tecnologias, suas aplicações, e os princípios físicos envolvidos, apresentando uma visão resumida dos medidores de vazão juntamente com as equações para o cálculo da vazão tanto teórica quanto real que foram obtidas de forma genérica para os três tipos de medidores apresentados tendo em vista que eles baseiam – se no princípio da aceleração de uma corrente fluída em escoamentos internos.

4.1 CONCEITO DE VAZÃO

Define-se vazão em linhas gerais como sendo o volume de determinado fluido que atravessa uma determinada seção livre (pode ser um canal, um rio ou uma tubulação) ou forçado (pode ser uma tubulação com pressão positiva ou negativa), por uma unidade de tempo, em outro ponto de vista, vazão é a rapidez com a qual um volume de controle escoar, corresponde à taxa de escoamento, quantidade de material transportado através de uma tubulação, por unidade de tempo.

Para entender melhor esse conceito e fazer um estudo mais detalhado em medidores de vazão precisamos destacar que a vazão pode ser caracterizada em:

- **Vazão Volumétrica:** Definida como sendo a quantidade em volume que escoou através de certa seção em um intervalo de tempo considerado. É representado pela letra Q e expressa pela seguinte equação:

$$Q = \frac{V}{t}; \text{ onde: } \begin{cases} V - \text{volume;} \\ t - \text{tempo.} \end{cases} \quad 4.1$$

As unidades de vazão volumétricas mais utilizadas são: m³/s, m³/h, l/h, l/min GPM, Nm³/h e SCFH.

Na medição de vazão volumétrica é importante referenciar as condições básicas de pressão e temperatura, principalmente para gases e vapor, pois o volume de uma substância depende da pressão e temperatura a que está submetido.

- **Vazão Mássica:** É definida como sendo a quantidade em massa de um fluido que atravessa a seção de uma tubulação por unidade de tempo. É representada pela letra \dot{m} e expressa pela seguinte equação:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \text{ onde: } \begin{cases} m - \text{massa;} \\ t - \text{tempo.} \end{cases} \quad 4.2$$

As unidades de vazão mássica mais utilizadas são: kg/s, kg/h, T/h e Lb/h.

Consegue – se relacionar a vazão volumétrica com a mássica introduzindo o conceito de massa específica (ρ), assim extraímos a seguinte relação:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad 4.3$$

4.2 CONCEITOS FÍSICOS PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO

Para uma análise mais aprimorada a respeito de técnicas de medição de vazão, necessita-se rever alguns conceitos físicos relativos aos fluidos.

4.2.1 CALOR ESPECÍFICO

É uma grandeza física que define a variação térmica de determinada substância ao receber determinada quantidade de calor em algumas literaturas é denominado de capacidade térmica mássica, é constante para cada substância em cada estado físico. Pode-se dizer que o calor específico caracteriza uma substância (em determinado estado físico).

A unidade no SI é J/kg. K, outra unidade para calor específico é cal/g.°C.

Em rigor há dois calores específicos distintos: o calor específico a volume constante c_v e o calor específico à pressão constante c_p . O calor específico à pressão constante é geralmente um pouco maior do que o calor específico a volume constante, sendo a afirmação verdadeira para materiais com coeficientes de dilatação volumétrico positivos.

4.2.2 VISCOSIDADE

É a propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento, a uma dada temperatura, em outras palavras corresponde ao atrito interno nos fluidos devido basicamente a interações intermoleculares, segundo Delmée (2003); a viscosidade pode ser definida como a resistência que o fluido oferece ao deslocamento de suas partículas. Aplicando a segunda lei de Newton ao conceito de viscosidade temos:

$$\mathcal{T} = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \quad 4.4$$

Onde a constante μ é o coeficiente de viscosidade, viscosidade absoluta ou viscosidade dinâmica. Muitos fluidos, como a água ou a maioria dos gases, satisfazem os critérios de Newton e por isso são conhecidos como fluidos newtonianos. Os fluidos não newtonianos têm um comportamento mais complexo e não linear.

No presente trabalho o fluido utilizado será os líquidos, e a viscosidade em questão será a cinemática (ν), que é a relação entre a viscosidade absoluta (μ) com a sua massa específica (ρ), portanto:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad 4.5$$

As unidades de viscosidade cinemática mais utilizadas na indústria são m²/s, stoke (cm²/s) e centistoke. A viscosidade absoluta (μ) tem como unidade o Pa.s (Pascal segundo ou Poiseuille); é definida na equação de Newton, aplicada a um dispositivo experimental no qual o fluido preenche totalmente o espaço (e) entre duas placas, uma fixa e outra, de superfície S (sob a qual é aplicada uma força F), deslocando – se com velocidade V em relação a placa fixa, assim:

$$\mu = \frac{F \cdot e}{S \cdot V} \quad 4.6$$

A figura 4.1 ilustra a relação existente entre a viscosidade absoluta a uma dada faixa de temperatura, observe:

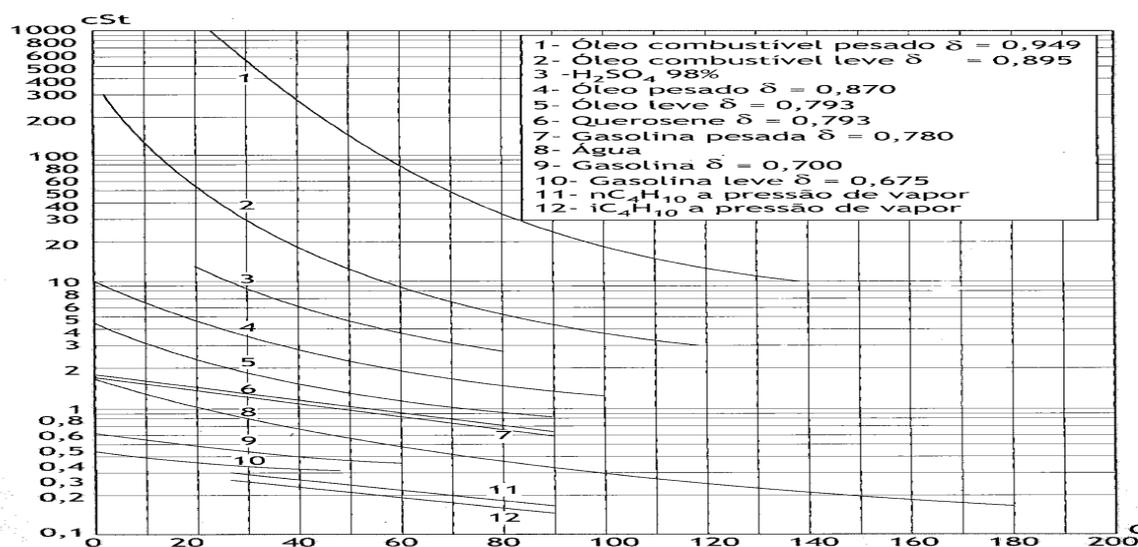


Figura 4.1 – Viscosidade dos líquidos, em função da temperatura.

Fonte: DELMÉE, 2003, p.29.

4.2.3 NÚMERO DE REYNOLDS

O número de Reynolds (**Re**) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido dentro de um tubo ou

sobre uma superfície, seu significado físico é um quociente entre as forças de inércia e as forças de viscosidade.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad 4.7$$

Onde:

V – Velocidade (m/s);

D – Diâmetro do duto (m);

ν – Viscosidade Cinemática (m²/s).

A importância fundamental do número de Reynolds é a possibilidade de se avaliar a estabilidade do fluxo podendo obter uma indicação se o escoamento é de regime em caráter laminar, transitório ou turbulento.

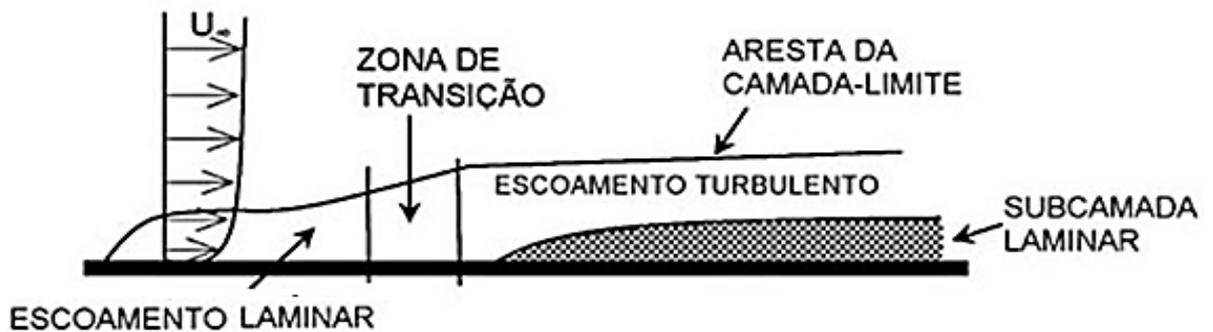


Figura 4.2 - Transição entre o escoamento Laminar e Turbulento na camada limite.

Segundo Delmée (2003)

Abaixo de $Re = 2000$ Regime Laminar;
Entre $Re = 2000$ e 4000 Regime Transitório;
Acima de $Re = 4000$ Regime Turbulento.

O número de Reynolds é válido para uma análise de escoamento no interior de um duto, de uma partícula fluida que é um meio deformável, existe um número infinito de elementos cujos movimentos têm que ser descritos, a exemplo da velocidade; cuja descrição é feita através do conceito de campo de escoamentos, onde os métodos usuais para descrever

o movimento de um agrupamento de partículas num meio contínuo são os de Lagrange e Euler. Quando a forma do perfil de velocidades não mais varia, o escoamento encontra-se completamente desenvolvido e a real forma do perfil de velocidade depende de o escoamento ser laminar ou turbulento;

- **Regime Laminar:** É caracterizado por um perfil de velocidade mais acentuado, onde as diferenças de velocidades são maiores.

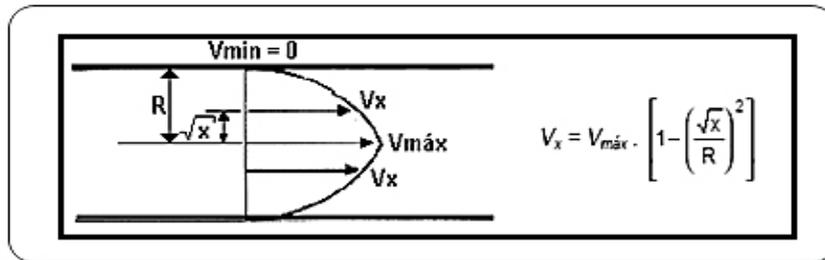


Figura 4.3 – Perfil de velocidade em regime laminar.

- **Regime Turbulento:** É caracterizado por um perfil de velocidade mais uniforme que o perfil laminar. Suas diferenças de velocidade são menores.

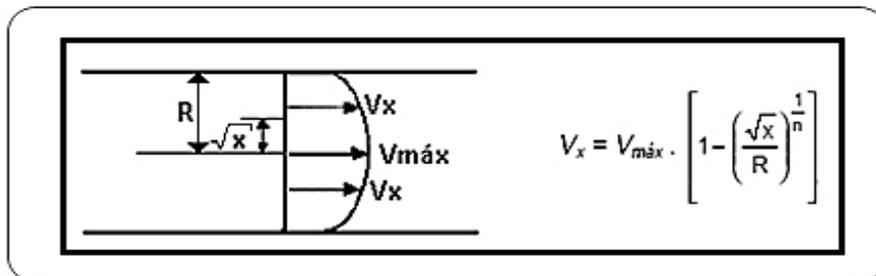


Figura 4.4 – Perfil de velocidade em regime turbulento.

4.2.4 EFEITO CORIOLIS

O efeito Coriolis é causado pela ação de uma pseudoforça denominada força Coriolis. Essa força diz respeito a um sistema que é colocado em movimento em relação a uma referência também em movimento, ou seja, um referencial não inercial, que causa um efeito que somente pode ser percebido por um observador inserido no mesmo sistema referencial, portanto também não inercial (M. NUSSENZVEIG, 2002).

A expressão que descreve a força de Coriolis, é dada pela equação 4.8:

$$\vec{F}_{cr} = 2 \cdot m(\vec{\omega} \times \vec{v}) \quad 4.8$$

Onde:

- \vec{F}_{cr} representa a força Coriolis;
- m representa a massa do sistema;
- $\vec{\omega}$ representa a velocidade angular do sistema;
- \vec{v} representa a velocidade linear do sistema.

O conhecimento do efeito ou da força de Coriolis é indispensável para entender como funciona o medidor de vazão mássica tipo Coriolis.

4.3 TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO

O grande salto no conhecimento do movimento dos fluídos aconteceu em 1783, quando o fisico Daniel Bernoulli publicou o livro Hidrodinâmica, nesse momento a busca pelo aperfeiçoamento nas técnicas de medição de vazão tornou-se algo imprescindível, o quadro a seguir evidencia de forma resumida os tipos de medidores de vazão:

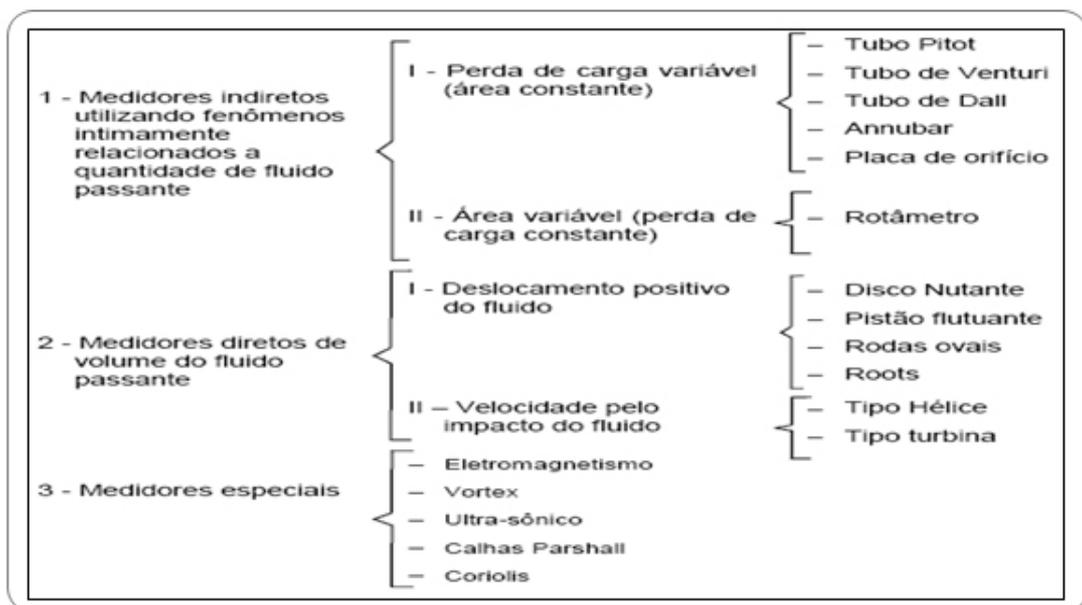


Figura 4.5 – Classificação dos medidores de vazão.

4.3.1 MEDIDOR POR EFEITO CORIOLIS

Os medidores de vazão por efeito Coriolis se utilizam do efeito causado pela força Coriolis para aferir a vazão mássica de fluido que escoar pela tubulação. Esse modelo de medidor é um dos poucos tipos de medidores de vazão que realiza a medição da vazão mássica do fluido.

Os medidores de vazão por efeito Coriolis apresentam grande crescimento de seu uso na indústria, tendo uso cada vez mais crescente em diversos ramos da indústria, como farmacêutica, química, alimentícia, de papel e celulose, petróleo, entre outros. O aumento recente das suas aplicações, está relacionado com as características metrológicas apresentadas pelo medidor. Além disso, outro fator bastante importante para o crescimento do seu uso é a facilidade que o medidor de vazão por efeito Coriolis proporciona em suas medições, uma vez que a medição de vazão é independente de características dos fluidos que influenciam na mesma, como densidade, viscosidade e condutibilidade, uma vez que o medidor faz a compensação automática de qualquer mudança nessas características.

Além das vantagens já mencionadas, há outras bastante relevantes para a utilização do medidor de vazão por efeito Coriolis, como por exemplo, sua elevada robustez, já que ele não apresenta partes móveis ou removíveis no seu processo de medição e, dessa forma, a probabilidade de haver a necessidade de recalibração após um curto espaço de tempo de uso é bastante pequena.

Outra vantagem bastante interessante do medidor de vazão por efeito Coriolis é o fato de ele apresentar uma grande versatilidade em relação às grandezas que podem ser medidas com ele, já que o medidor possui medições de vazão mássica, densidade e temperatura, além de medições indiretas de viscosidade e vazão volumétrica.

As desvantagens apresentadas pelo medidor de vazão por efeito Coriolis se restringem ao uso em alguns tipos de processos, que derivam principalmente do seu aspecto construtivo. Esse medidor possui limitações quanto aos diâmetros das tubulações onde são

instalados, não podendo estas serem maiores que 300mm (12 polegadas), e quanto a faixa de temperatura do fluido em escoamento, que deve variar entre -200°C e 400°C.

O medidor Coriolis é constituído, por dois componentes, os tubos de sensores de medição e o transmissor.

Tubos de Sensores de Medição: nesses tubos, é aplicada uma oscilação que faz com que eles oscilem em uma frequência natural de baixa amplitude, através da bobina de vibração mostrada na figura 4.7. Assim quando um fluido qualquer é escoado através do tubo em oscilação, o efeito Coriolis se manifesta causando uma deformação na forma de uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.

Essa torção causa um efeito de oposição à passagem do fluido na entrada e uma aceleração do fluido na saída. Esses efeitos são captados por meio dos sensores presentes nos tubos do medidor, representados na figura 4.7 pelo conjunto ímã e bobina. Assim, a vazão mássica é determinada como sendo diretamente proporcional ao atraso entre a entrada e a saída dos tubos (BANDEIRA, 2013).

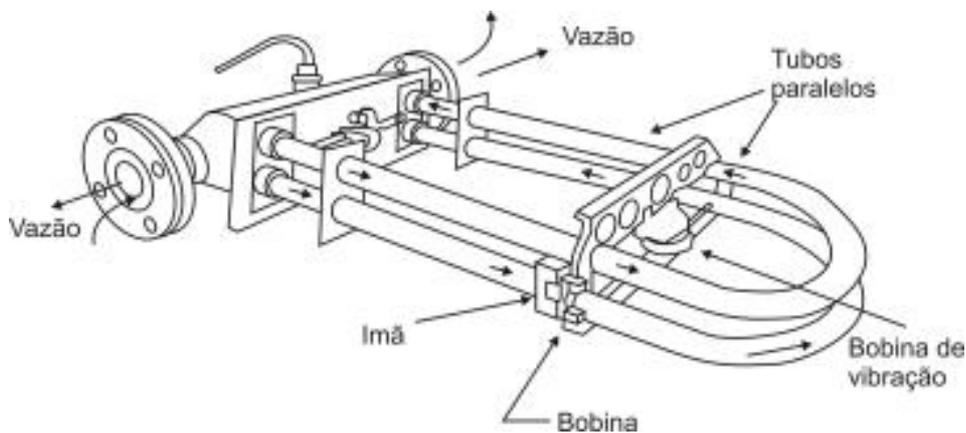


Figura 4.6 – Esquema interno de um medidor Coriolis.

Fonte: sapiensman.com

O transmissor: é dispositivo composto de um circuito eletrônico que gera um sinal para os tubos de vazão, alimenta e recebe o sinal de medida, propiciando saídas analógicas

em intervalos padronizados, como (4 a 20) mA ou (0 a 10) V, de frequência (0 Hz a 10 kHz, por exemplo) e até digitais, como RS 232 ou RS 485 (BANDEIRA, 2013).

Além dos medidores convencionais (tubo em U), mencionado anteriormente, também podem ser encontrados modelos com tubo reto, como mostrado na figura 5.4. Nesse modelo, um tubo de medição oscila sobre o eixo AB sendo percorrido pelo fluido com velocidade v . Entre os pontos AC as partículas do fluido são aceleradas, o que causa uma força Coriolis (\vec{F}_{cr}) contrária à direção de escoamento. Entre os pontos CB as partículas do fluido, agora são desaceleradas o que causa a uma força Coriolis no mesmo sentido do escoamento.

O fenômeno descrito está representado na figura 4.8 A força de Coriolis (\vec{F}_{cr}), a qual atua sobre as duas metades do tubo com direções contrária, é diretamente proporcional à vazão mássica. O método de detecção é o mesmo do presente em medidores de tubo em U (BANDEIRA, 2013).

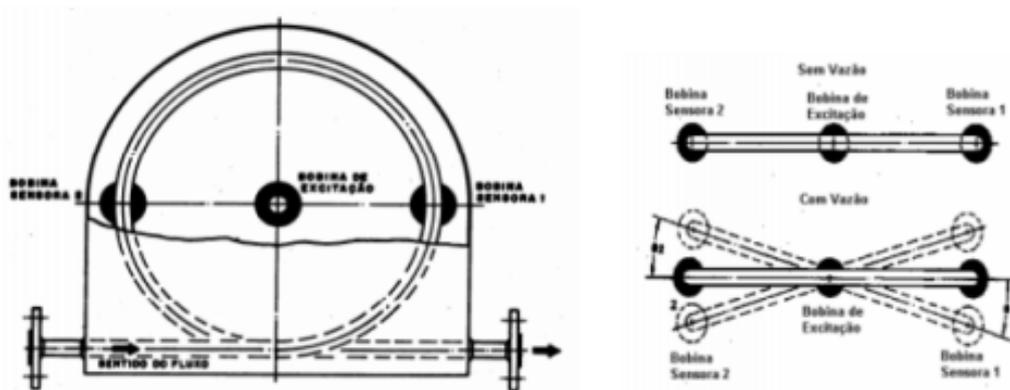


Figura 4.7 – Esquema interno de um medidor Coriolis de tubo reto

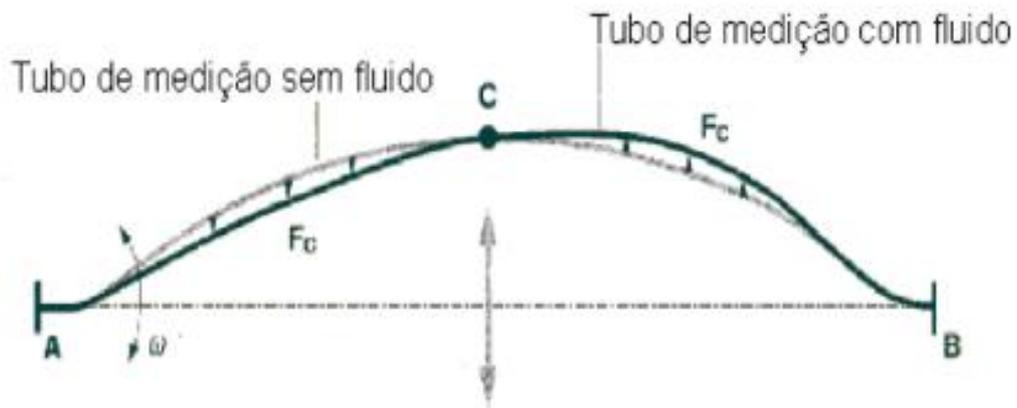


Figura 4.8 – Comparação do tubo com e sem fluido

Será discutido a seguir as equações para o cálculo da vazão que podem ser obtidas genericamente para os três tipos de medidores apresentados.

4.3.2 EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DA VAZÃO

As equações para o cálculo da vazão podem ser obtidas de forma genérica para os três tipos de medidores apresentados tendo em vista que eles baseiam – se no princípio da aceleração de uma corrente fluída em escoamentos internos, conforme a figura 4.6:

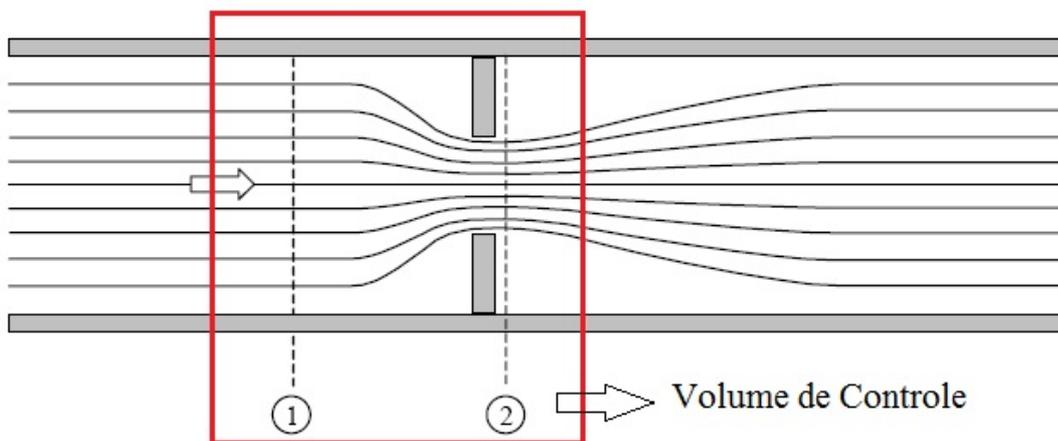


Figura 4.9 – Escoamento interno com estrangulamento, mostrando o volume de controle usado para análise.

A ideia é que a variação na velocidade leva a uma variação na pressão (este Δp pode ser medido com a utilização de um medidor de pressão diferencial ou um manômetro), fazendo uso da equação da conservação da massa, bem como da conservação da energia que

em sua forma resumida é a equação de Bernoulli, considerando que o escoamento interno no volume de controle descrito na figura 4.6 seja permanente e incompressível ao longo de uma linha de corrente onde não existe atrito e que, velocidades e pressões são uniformes nas seções 1 e 2 que estão no mesmo nível de referência, tais considerações permitem relacionar a variação da pressão com a vazão teórica que em seguida, fatores de correções empíricas podem ser aplicados para obtenção da vazão real.

A equação da conservação da energia aplicada ao escoamento descrito resulta na equação de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 \quad 4.9$$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] \quad 4.10$$

Da conservação da massa segue – se que:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad 4.11$$

Em seguida;

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad 4.12$$

Substituindo, temos:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad 4.13$$

Resolvendo para a velocidade teórica, V_2 ,

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}} \quad 4.14$$

Logo, vazão em massa teórica é dada, então por:

$$\dot{m}_{teórica} = \rho V_2 A_2$$

$$\dot{m}_{teórica} = \rho \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}} A_2 \quad 4.15$$

Ou:

$$\dot{m}_{teórica} = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad 4.16$$

A equação mostra que, levando em conta o nosso conjunto de considerações, para um dado fluido (ρ) e geometria do medidor (A_2 e A_1), a vazão é diretamente proporcional à raiz quadrada da queda de pressão detectada pelas tomadas de pressão do medidor, que é a ideia básica desses dispositivos, assim:

$$\dot{m}_{teórica} \sim \sqrt{\Delta p} \quad 4.17$$

Existem vários fatores que limitam a utilidade da Eq. 4.15 para o cálculo da vazão em massa real através de um medidor de vazão, a exemplos podemos citar a área real do escoamento na seção 2 é desconhecida, os perfis de velocidade aproximam – se do escoamento uniforme somente para números de Reynolds muito grandes, a localização das tomadas de pressão influencia a leitura da pressão diferencial.

Diante de tais circunstâncias o cálculo da vazão real pode ser obtido multiplicando – se a vazão teórica por um coeficiente de descarga C tal que:

$$\dot{m}_{real} = \frac{CA_t}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad 4.18$$

Fazendo uso da expressão: $\beta = \frac{D_t}{D_1}$, então $(A_2/A_1)^2 = (D_t/D_1)^4 = \beta^4$, portanto:

$$\dot{m}_{real} = \frac{CA_t}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad 4.19$$

O termo $1/\sqrt{1 - \beta^4}$ na Eq. 3.18 é denominado fator de velocidade de aproximação, combinando tal fator com o coeficiente de descarga temos um único coeficiente no qual denominamos coeficiente de vazão,

$$K \equiv \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad 4.20$$

Em termos do coeficiente de vazão, a vazão em massa real é expressa da seguinte forma:

$$\dot{m}_{real} = KA_t \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad 4.21$$

Toda essa fundamentação teórica abordada acerca da medição de vazão servirá de base para o desenvolvimento de uma técnica de medição de vazão mássica utilizado no presente trabalho. O capítulo seguinte descreve os fundamentos básicos da medição de concentração e de pesquisas que foram feitas para medição dessa grandeza.

CAPÍTULO V

MEDIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO

5. INTRODUÇÃO

Para medir concentração em processos industriais tem-se alguns métodos disponíveis, baseados em diferentes tecnologias, tais como: medidores nucleares, refratômetros, medidores mássicos de efeito Coriolis, medição com diapasão vibrante, areômetros, análise de laboratório etc.

Vários processos industriais necessitam de medição contínua da concentração/densidade para operarem eficientemente e garantir qualidade e uniformidade ao produto. Isto inclui usinas de açúcar e etanol, cervejarias, laticínios, indústrias químicas e petroquímicas, de papel e celulose de mineração, entre outras.

Neste capítulo será abordado algumas destas tecnologias, suas aplicações, e os princípios físicos envolvidos, apresentando uma visão resumida dos medidores de concentração juntamente com as equações para o cálculo da concentração.

5.1 CONCEITO DE CONCENTRAÇÃO

Solução é uma mistura homogênea de duas ou mais substâncias. A classe em menor quantidade em uma solução é chamada de soluto, e a classe em maior quantidade é chamada de solvente. A concentração química de uma substância menciona à quantidade de soluto contida em um dado volume ou massa de solução ou de solvente, expressa por:

$$C = \frac{m_1}{v \text{ ou } m} \text{ onde: } \begin{cases} m_1 - \text{massa do soluto;} \\ v \text{ ou } m - \text{volume/massa da solução.} \end{cases} \quad 5.1$$

As unidades de concentração mais utilizadas são: g/L, g/cm³ ou %m/m.

5.2 MEDIDAS DE MISTURA ATRAVÉS DA CAPACITÂNCIA

A décadas pesquisadores desenvolvem trabalhos que utilizam sensores que medem capacitância como princípio de medição. A capacitância é uma grandeza física muito aplicada a sensores comerciais como acelerômetros e sensores de pressão.

Em pesquisas de análises de misturas homogêneas, principalmente em substâncias onde o material é polar, o GPICEEMA foi o pioneiro nestas pesquisas iniciadas em 1980. O primeiro pedido de patente foi realizado por BELO et al. (1982). Ainda em 1982 foi apresentado na II FEBRAN, conforme BELO et al. (1982). Em 1988 foi apresentado no seminário de instrumentação do PADCT – CNPQ conforme BELO et al. (1987). Em 1993 foi apresentado na SAE, conforme BELO e FONTES (1993). Foi apresentado na feira mundial de petróleo em 2004 e em 2012, conforme BELO et al. (2004) e BELO et al. (2012).

Queiroz (2009) usou um sensor capacitivo de eletrodos interdigitados para medir capacitância elétrica em função da frequência em misturas de etanol e água. Nas altas frequências, a resposta dos sensores é independente da frequência e devida principalmente ao líquido que envolve o sensor, havendo uma variação sistemática da capacitância com a concentração de água nas misturas com etanol. Os resultados expuseram a potencialidade da técnica ao diferenciar amostras em distintas concentrações.

Libert (2013) propôs o desenvolvimento de um sensor capacitivo não invasivo para determinação de fração de vazio em escoamentos bifásicos. Valores de fração de vazio foram obtidos para escoamentos ar-água em uma bancada de testes. Os resultados obtidos mostram o bom desempenho do sistema capacitivo desenvolvido, o qual pode ser aplicado em estudos aprofundados do escoamento bifásico.

Souza (2013) estudou a qualidade da gasolina, comercializada nos postos revendedores de combustível, no que diz respeito à concentração de álcool etílico anidro combustível. As análises foram realizadas através de medidas da constante dielétrica utilizando um sensor capacitivo formado por dois cilindros concêntricos mergulhado na amostra. O método mostrou ser uma eficiente ferramenta para determinação do teor de álcool na gasolina.

Gonçalves (2015) em seu trabalho apresenta um medidor de teor de misturas líquidas constituídas de líquidos homogêneos binários em que pelos menos um dos componentes é material dipolar, baseado na medida da capacitância e do campo térmico da mesma.

CAPÍTULO VI

SENSOR CAPACITIVO

6. DESCRIÇÃO DO SENSOR CAPACITIVO

Neste trabalho foi utilizado um sensor capacitivo desenvolvido pelo grupo de pesquisa, GPICEEMA-UFPB. É um sensor não intrusivo e não invasivo formado por dois eletrodos de placas côncavas semicilíndricas, dispostos na parede externa de um tubo de vidro borossilicato onde a mistura de água-brometo de lítio que preenche o interior do tubo e em conjunto com o tubo torna-se o dielétrico do capacitor constituído pelas placas, fazendo com que a resposta do sensor, a tensão, seja variável de acordo com as concentrações da solução de água-brometo de lítio que está preenchendo o interior do tubo. Na Figura 6.1 temos um esquema do modelo do sensor capacitivo.

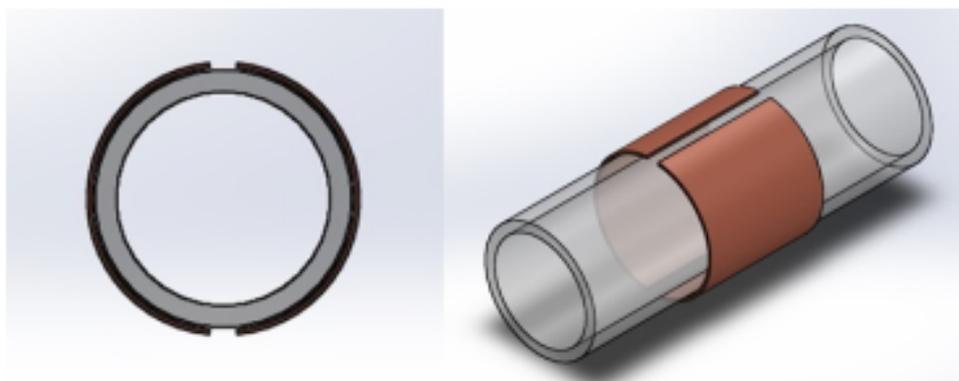


Figura 6.1 – Representação da seção transversal e do modelo dos eletrodos de placas côncavas.

Fonte: GONÇALVES (2015)

Na fabricação do sensor capacitivo, os materiais envolvidos foram escolhidos de acordo as propriedades requeridas para presente trabalho. Na construção dos eletrodos do sensor capacitivo, foram utilizadas placas de cobre, esse material foi escolhido por ser um dos melhores condutores elétricos. Os eletrodos foram colados na parede externa de um tubo de vidro de boro silicato que apresenta alta resistência ao choque térmico e elevada

resistência química, sendo adequado para uso em condições adversas (GONÇALVES, 2015).

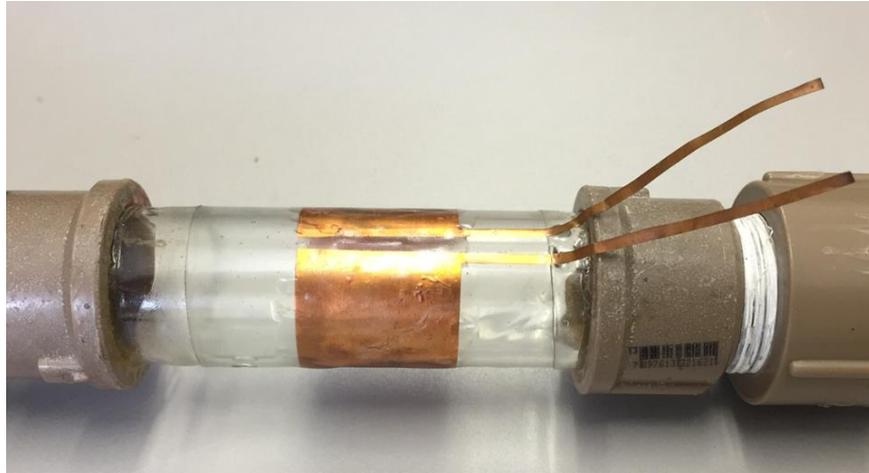


Figura 6.2 – Sensor Capacitivo.

Fonte: Autoria Própria

6.1 MODELAGEM DO SENSOR CAPACITIVO

Baseado nas equações de Maxwell, GERAETS e BORST (1988) desenvolveram a solução bidimensional para o capacitor de placas côncavas externas ao cilíndrico, com eletrodos cruzados e ângulos simétricos em relação ao ângulo reto. A solução para o modelo é exibida na figura 6.2 abaixo.

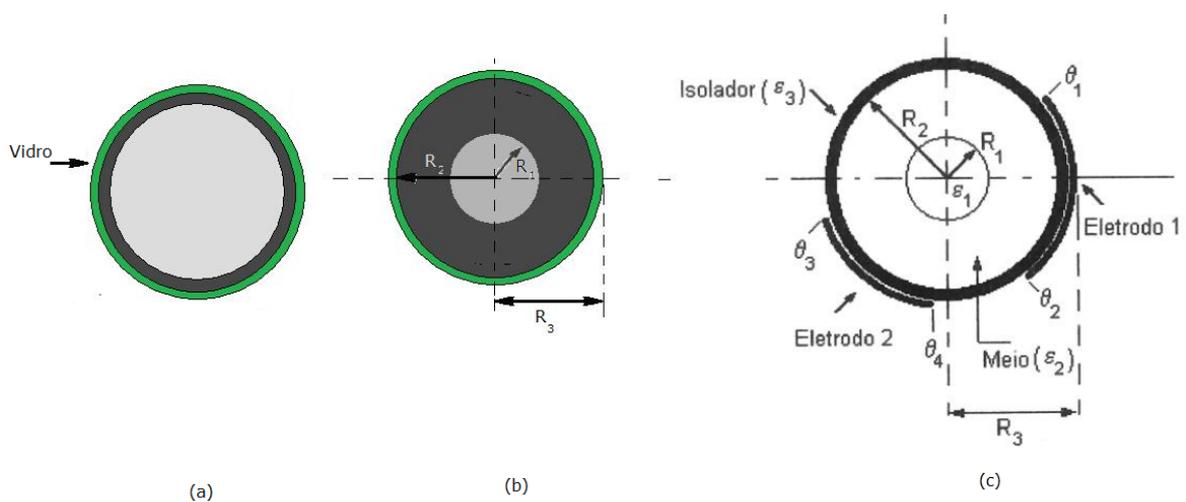


Figura 6.3 – Representação de corte transversal do sensor com escoamento e seus elementos de polarização e de escoamento e elétrico.

Visualizando o capacitor de placas côncavas como mostrado na Figura 6.3. Onde este esquema simula um fluxo anular ideal, ou seja, de simetria cilíndrica. O ambiente dentro dos eletrodos cilíndricos está dividido em três regiões:

$$\text{Região 1: } r > R_1 \text{e} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_1 \quad 6.1$$

$$\text{Região 2: } R_1 < r < R_2 \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \quad 6.2$$

$$\text{Região 3: } R_2 < r < R_3 \text{e} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_3 \quad 6.3$$

Sendo C a capacitância interna por unidade de comprimento, calculada nos eletrodos de placas cruzadas 1 e 2. No eletrodo 1, um potencial V_0 é aplicado, enquanto o eletrodo 2 é o receptor. Usando a equação de Laplace em coordenadas cilíndricas para distribuição do campo no sensor, temos:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varnothing^2} = 0 \quad 6.4$$

A distribuição do potencial eletrostático dentro do capacitor é:

$$V(r, \varnothing) = (A_0 + B_0 \varnothing)(C_0 \ln r + D_0) + \sum_{n=1}^{\infty} \{(C_n r^n + D_n r^{-n})(A_n \cos n\varnothing + B_n \sin n\varnothing)\} \quad 6.5$$

Por simetria em relação a \varnothing , as expressões para $V(r, \varnothing)$, das três regiões são:

$$V_1(r, \varnothing) = A_{10} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{1n} r^n \cos n\varnothing \quad 6.6$$

$$V_2(r, \varnothing) = A_{20} + B_{20} \ln r + \sum_{n=1}^{\infty} (A_{2n} r^n + B_{2n} r^{-n}) \cos n\varnothing \quad 6.7$$

$$V_3(r, \varnothing) = A_{30} + B_{30} \ln r + \sum_{n=1}^{\infty} (A_{3n} r^n + B_{3n} r^{-n}) \cos n\varnothing \quad 6.8$$

Para solução deste problema, em cada região associada a uma série de Fourier, sendo representada por seu valor indexado correspondente ($V_i \leftrightarrow$ região i). A equação de Laplace deve satisfazer as condições de fronteiras. Das condições de contorno do problema nas duas regiões temos:

$$V_1(R_1, \phi) = V_2(R_1, \phi) \quad 6.9$$

$$V_2(R_2, \phi) = V_3(R_2, \phi) \quad 6.10$$

A distribuição do potencial na superfície do eletrodo pode ser representada por:

$$V_3(R_3, \phi) = \frac{V_0 \phi_1}{\pi} + \frac{2V_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\phi_1)}{n} \cos(n\phi) \quad 6.11$$

Da equação da continuidade da componente axial de deslocamento elétrico nas três interfaces, tem-se:

$$\varepsilon_0 \varepsilon_1 \left(\frac{\partial V_1}{\partial r} \right)_{r=R_1} = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial r} \right)_{r=R_1} \quad 6.12$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial r} \right)_{r=R_2} = \varepsilon_0 \varepsilon_3 \left(\frac{\partial V_3}{\partial r} \right)_{r=R_2} \quad 6.13$$

Das equações e das condições de fronteira tem-se a solução dada por:

$$C = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_3}{\pi} \left\{ \ln \frac{\sin \left[\frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \right]}{\sin \left[\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right]} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(ACF_1^n + BD) \sin n\phi_1 \sin n\phi_2}{n(CDF_2^n + ABF_3^n + ACF_1^n + BD)} \right\} \quad 6.14$$

Onde:

$$A = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$B = \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$C = \varepsilon_3 - \varepsilon_2$$

$$D = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

$$F_1 = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2$$

$$F_2 = \left(\frac{R_3}{R_2}\right)^2$$

$$F_3 = \left(\frac{R_3}{R_1}\right)^2$$

BELO (1995), de forma análoga, desenvolveu uma equação mais geral, aplicado inclusive para tomografia, em que os dois eletrodos fazem ângulos quaisquer entre eles. A solução é utilizada para calibração de tomógrafos com modelos numéricos. Seu resultado é dado pela equação abaixo:

$$Cap = \frac{2\varepsilon_0\varepsilon_3}{\pi} \sum_1^{\infty} \left[\frac{\sin n\phi_1}{nG} G_1 \right] \sin n\phi_2 - \frac{2\varepsilon_0\varepsilon_3}{\pi} \sum_1^{\infty} \left[\frac{\sin n\phi_1}{nG} G_1 \right] \sin n\phi_3 \quad 6.15$$

Onde:

$$A = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$B = \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$C = \varepsilon_3 - \varepsilon_2$$

$$D = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

$$F_1 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$F_2 = \left(\frac{R_3}{R_2}\right)^2$$

$$F_3 = \left(\frac{R_3}{R_1}\right)^2$$

$$G = (ABF_3^n + DCF_2^n + ADF_1^n + BC)$$

$$G_1 = (ABF_3^n + DCF_2^n - ADF_1^n - BC)$$

Da equação 6.12 sabe-se que, ϕ_1 é o ângulo do primeiro eletrodo, com o zero sendo o meio deste eletrodo, ϕ_2 o início do ângulo do segundo eletrodo e ϕ_3 o ângulo final do segundo eletrodo.

Tem-se disponível o código fonte do *software* desenvolvido que calcula a capacitância para eletrodos cruzados fazendo dois ângulos quaisquer para até três meios.

6.2 TRANSDUTOR CAPACITIVO

Para leitura do sensor capacitivo foi desenvolvido um circuito de transdução capacitivo capaz de detectar a mínima variação na capacitância do sensor capacitivo. O transdutor detecta uma corrente induzida no eletrodo receptor pelo eletrodo emissor. O eletrodo receptor é conectado a um circuito diferenciador que produz uma tensão de saída relacionada com a resistência de realimentação R e a capacitância formada entre as placas do sensor.

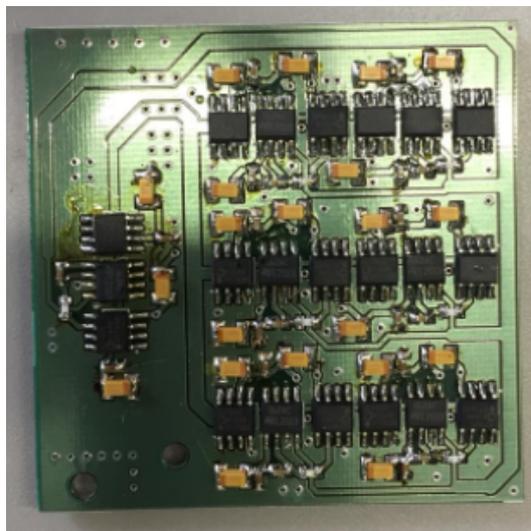


Figura 6.4 – Placa do circuito eletrônico de transdução capacitivo.

Fonte: Autoria Própria

A Figura 6.5 mostra o esquema do transdutor e o seu funcionamento é descrito da seguinte forma: um oscilador fornece uma tensão senoidal com frequência e amplitude extremamente precisas, após detecção da tensão, é utilizado um retificador de precisão de onda completa com diodos de ação rápida que são os diodos skottky, seguido de um buffer que tem a finalidade de manter a alta impedância do sinal após a etapa de retificação e um filtro passa-baixa que atenua as altas frequências do sinal.

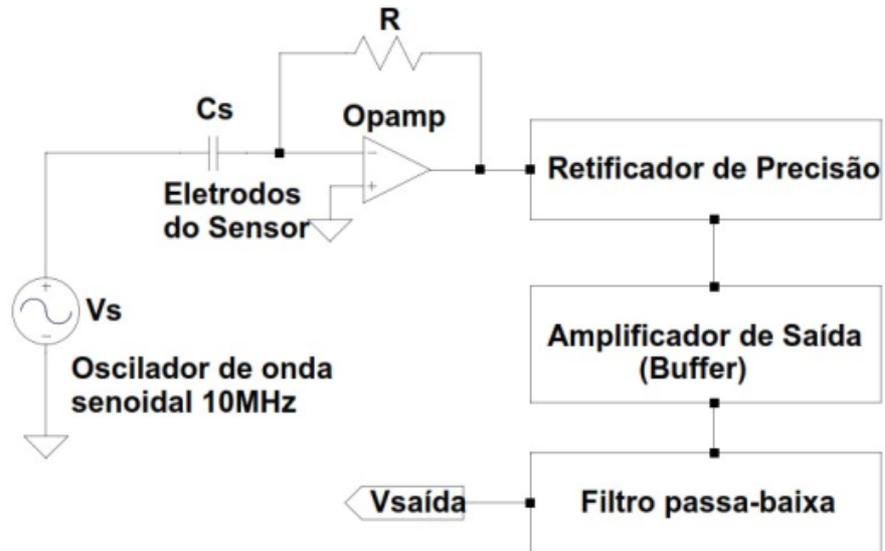


Figura 6.5 – Circuito eletrônico de transdução capacitivo.

Fonte: GONÇALVES (2015)

A corrente de entrada no circuito diferenciador é apenas devido à capacitância, visto que, os eletrodos sensores estão isolados do meio dielétrico pelo tubo de vidro. O circuito de transdução capacitivo é capaz de detectar qualquer variação nas propriedades do meio dielétrico entre as placas do sensor capacitivo.

CAPÍTULO VII

BANCADA EXPERIMENTAL

7. INTRODUÇÃO

Esta fase do trabalho corresponde a uma descrição da bancada experimental que acomodará os componentes importantes para o propósito da pesquisa, visando o alcance de seu objetivo e tem por pretensão expor seus aspectos construtivos e funcionais, assim como informar os meios utilizados para obtenção dos parâmetros de interesse e alcance alvo desta pesquisa (medição de concentração e vazão mássica).

7.1 ASPECTOS FUNCIONAIS DA BANCADA EXPERIMENTAL

O projeto que se propõe para o presente trabalho gira em torno da construção de uma bancada experimental de pequeno porte, implantada no laboratório de fluídos da RECOGÁS N/NE – UFPB.

A bancada pretende simular escoamento interno de uma unidade piloto de sistema de refrigeração por absorção (protótipo do IES - UFPB), visando fornecer informações que possam servir de base para refinamentos de resultados anteriores a este trabalho, e base para estudos futuros no tocante a otimização dos sistemas de refrigeração por absorção.

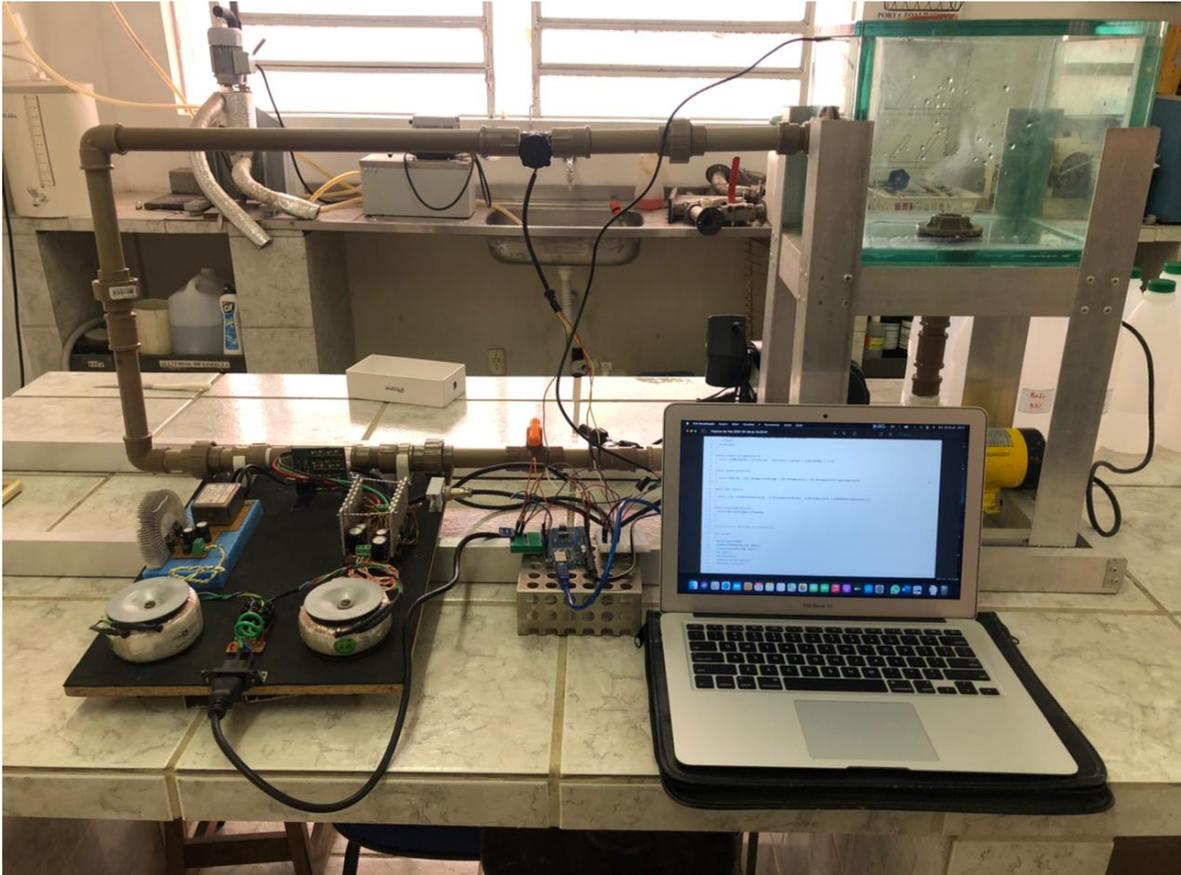


Figura 7.1 – Bancada experimental.

7.1.1 RESERVATÓRIO

O reservatório do presente trabalho foi confeccionado com vidro de 120mm de espessura, nas dimensões (20x20x25) cm³ totalizando um volume de 10 litros.

Será reservado para armazenar a solução brometo de lítio, a maior parte dos recipientes de armazenamento são construídos de acordo com os requisitos definidos e suas necessidades; estes recipientes podem ter dimensões variadas, são instalados com a finalidade de suprir o circuito hidráulico caso ocorra ausência de fluido na bomba. A figura 7.2 revela o recipiente do presente trabalho;



Figura 7.2 – Reservatório da bancada experimental.

7.1.2 BOMBA BOMAX

A bomba utilizada no presente trabalho será uma bomba centrífuga BOMAX de acoplamento magnético (Figura 7.3); estas por vez, são bombas herméticas, mundialmente consagradas quanto a sua qualidade e sua durabilidade.

Estas bombas utilizam transmissão por energia magnética, ou seja, não existe eixo de interligação entre a bomba e o motor, já que a transmissão se dá através de dois ímãs (magnetos), um externo preso ao motor e outro interno, sendo o interno recoberto com termoplástico anticorrosivo. O magneto interno é fixado a um rotor centrifugo, e este conjunto gira deslizando em um eixo de cerâmica ou carbeto de silício.

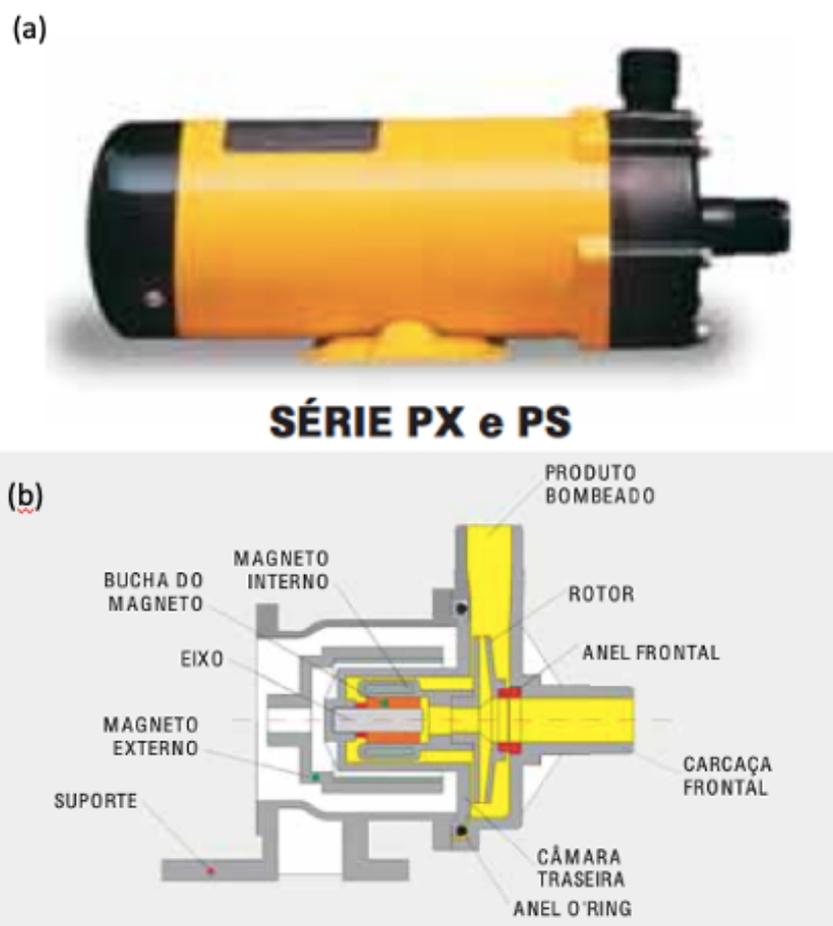


Figura 7.3 – (a) Bomba BOMAX série PX, (b) Corte para observação interna da bomba.

Características Técnicas

- Vazões de até 85,0 m³/h;
- Altura de recalque de até 75,0 mca;
- Posição de montagem: HORIZONTAL;
- Materiais de construção: Polipropileno ou TEFZEL (ETFE);
- Materiais do eixo interno: Cerâmica de alta pureza ou Carbetto de Silício;
- Bucha do magneto: Carbono de alta densidade, PTFE, Cerâmica de alta pureza ou Carbetto de Silício;
- Potência elétrica de 0,0067 Cv à 20,0 Cv;
- Para aplicações de descarregamentos (caminhões, tanques, processos em geral).

Vantagens

- Fechamento da bomba hermética o que proporciona:
 - Total ausência de emissão de gases.
 - Total ausência de contato do líquido bombeado com a atmosfera.
- Baixo consumo de energia.
- Baixa manutenção (não possui selos ou gaxetas).

7.1.3 ARDUINO UNO

Arduino é uma plataforma eletrônica que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele, é de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar.

Pode-se dizer à sua placa o que fazer enviando um conjunto de instruções/códigos para o micro controlador na placa. Para fazer isso, você usa a linguagem de programação Arduino (baseada em Wiring) e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing.

Ao longo dos anos, o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, de objetos do cotidiano a instrumentos científicos complexos.

Todas as placas Arduino são totalmente de código aberto, permitindo que os usuários as criem de forma independente e, eventualmente, adaptem-nas às suas necessidades particulares. O software também é de código aberto e está crescendo por meio das contribuições de usuários em todo o mundo.

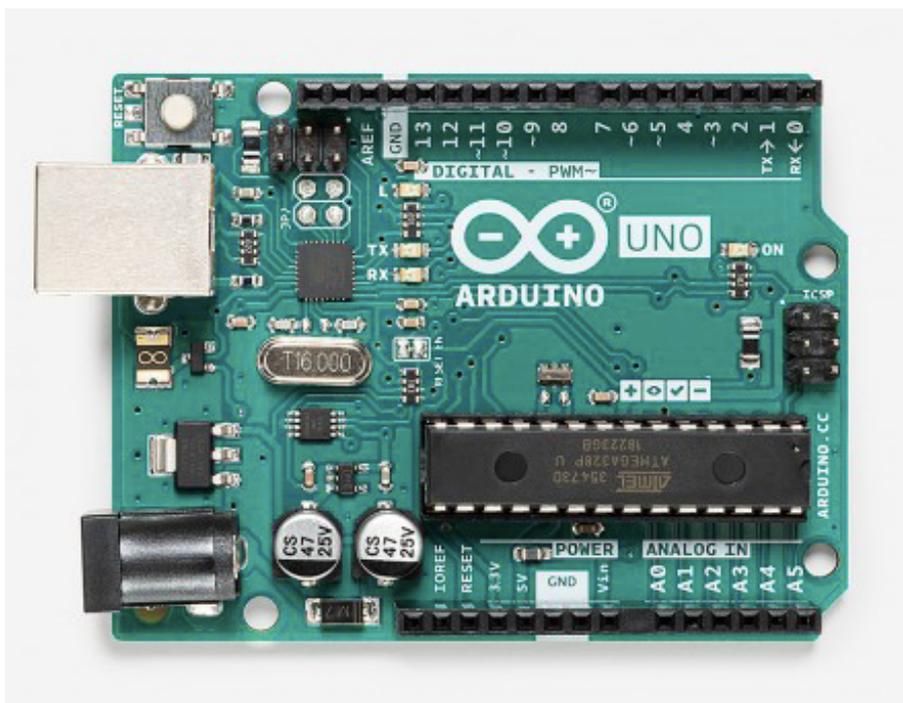


Figura 7.4 - Arduino Uno

A programação Arduino usa - se o IDE do Arduino, um software livre no qual você escreve o código na linguagem que o Arduino compreende (linguagem C). O IDE permite que você escreva um programa de computador, que é um conjunto de códigos passo, das quais se faz o upload para o Arduino, ele executará esses códigos, interagindo com o que estiver conectado a ele.

Vantagens:

- Barato - as placas Arduino são relativamente baratas em comparação com outras plataformas de micro controlador;
- O software Arduino (IDE) é executado em sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux.
- Software de código aberto e extensível - O software Arduino é publicado como ferramentas de código aberto, disponíveis para extensão por programadores experientes.
- Hardware extensível e de código aberto - Os planos das placas Arduino são publicados sob uma licença Creative Commons, de modo que designers de circuito

experientes podem fazer sua própria versão do módulo, estendendo-o e aprimorando-o.

7.1.4 MÓDULO ANALÓGICO DIGITAL ADS1115

O módulo ADS1115 é um conversor digital analógico que trabalha em 16 bits, foi utilizado para melhorar muito a resolução e precisão em medições no Arduino. Possui quatro canais de entrada que podem ser configurados para medições Single Ended, Diferencial ou Comparador.

Esse modelo possui 16 bits de resolução, abrindo um leque de 65536 valores possíveis em uma leitura, contra 8 bits do Arduino UNO.

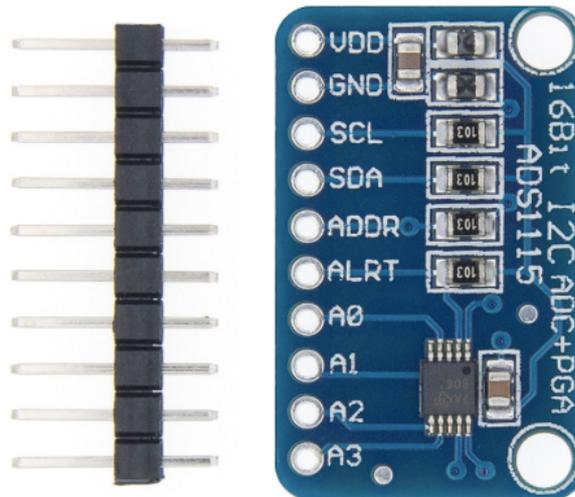


Figura 7.5 - Módulo ADS1115

Características:

- Dimensão: 17x28mm;
- Conversor analógico digital de 4 canais;
- Resolução de 16 bits;
- Alimentação e nível lógico de 2v a 5v;
- Baixo consumo de corrente;
- Oscilador interno;

- Possui 4 entradas single-ended ou 2 entradas diferenciais;
- Compatível com arduino e outros.

7.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA DIGITAL DS18B20

O termômetro digital DS18B20 fornece medições de temperatura de 9 a 12 bits de resolução (configurável).

A informação é enviada ou recebida ao longo de uma interface de um fio, de modo que apenas um fio (GND) precisa ser ligado a partir de um microprocessador central para um DS18B20. O sensor pode derivar a alimentação direto da linha de dados, sem necessidade de uma fonte externa de energia (“parasite power”).

Devido cada sensor DS18B20 conter um número único de série, vários DS18B20s podem existir no mesmo barramento. Isto possibilita a instalação de vários sensores de temperatura em locais diferentes.

Este recurso, permite várias aplicações úteis que incluem controles de climatização ambiental, temperaturas de sensoriamento no interior de edifícios, equipamentos ou máquinas, monitoramento e controle do processo.



Figura 7.6 - Sensor de temperatura digital DS18B20

Características

- Sensor de temperatura para Arduino;
- Possibilita a utilização de diversos sensores no mesmo pino digital (1Wire);
- Tensão de alimentação: 3.0 - 5.5VDC;
- Leitura de temperatura entre: - 55 a + 125 graus C
- Tempo de atualização: < 750ms;
- Precisão: + ou - 0,5 graus C;
- Resolução: 9 ou 12 bits;

7.1.5 MEDIDOR DE VAZÃO MEDY FLOW

O medidor de vazão (MEDY FLOW) utilizado para essa pesquisa foi desenvolvido por CALDAS (2015) onde é totalmente diferente dos que existem no mercado atual, é um medidor tipo turbina ideal para o fluido de trabalho.

O MEDY FLOW é um medidor de vazão tipo turbina com tecnologia Hall para aferição em solução salina de brometo de lítio. Todas as configurações do MEDY FLOW foram mantidas pois ele foi calibrado a partir um medidor de vazão ultrassônico UFM 170.

A validação do MEDY FLOW através de algoritmos de programação mostrou – se eficaz visto que os resultados aferidos ficaram próximos aos resultados obtidos pelo medidor ultrassônico (UFM 170) que o validou com erros inferiores a 3,9 % comprovados estatisticamente.

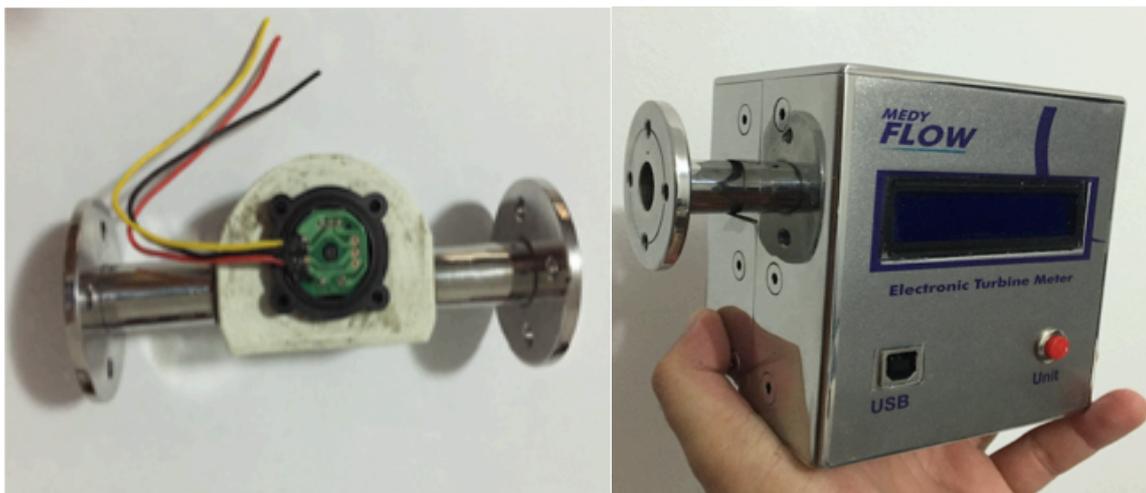


Figura 7.7 – Medidor de Vazão MEDY FLOW

Vantagens:

- A porta USB – B além de ser a alimentação do medidor traz como diferencial a extração de dados que está sendo medido em tempo real:
- Outro diferencial que o medidor possui, é um botão sem retenção que muda a unidade de leitura de vazão:
- O medidor proposto lê tanto em l/min quanto em l/h; a mudança dar –se ao apertar o botão.

7.1.6 ANALISADOR DE MISTURAS PARA MEDIDAS DE CONCENTRAÇÃO

O analisador de misturas para as medidas de concentração utilizado na pesquisa, foi desenvolvido pelo (GPICEEMA-UFPB), sob a orientação do professor Dr. Francisco Antônio Belo.

O circuito do analisador que é composto por componentes como, sensor capacitivo, fontes de alimentação, oven, toróides, entre outros, onde são utilizados para colocar o sistema em perfeito funcionamento.

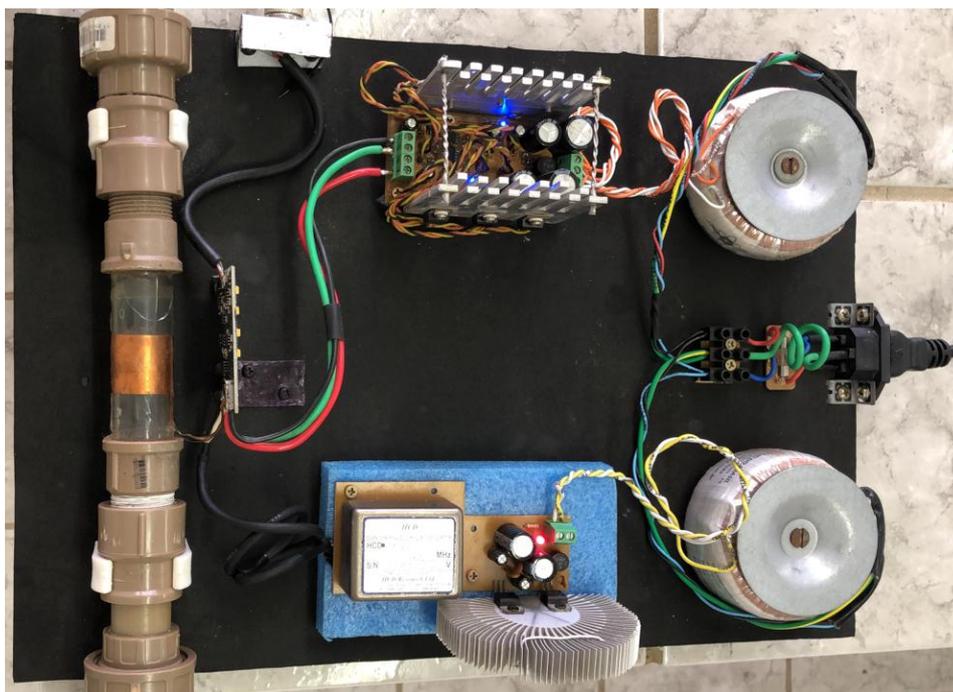


Figura 7.8 – Analisador (Disposição dos componentes)

Dentre os componentes do sistema é importante citar que o oven em si é um cristal oscilador em altíssima frequência, quanto maior essa frequência gerada, melhor a taxa de atualização e leitura do sinal lido. As fontes costumam gerar ruídos de baixa frequência que também são reduzidos por esta união do oven com os toróides, o sensor capacitivo só apresenta tamanha precisão na leitura devido ao oven.

O principal objetivo do circuito do analisador é atuar como um de transdução de sinal, de modo a transformar uma medida física, no caso a capacitância, num sinal elétrico. Esse circuito reduz de maneira significativa ruídos aleatórios e sistemáticos fazendo com que se tenha uma leitura com excelente precisão.

No analisador temos duas saídas de sinais, uma saída de referência que deve ser fixa (o controle) e a outra variável (a do sensor capacitivo). A tensão de saída de referência pode variar para mais ou para menos de acordo com os ruídos da rede e com variação da temperatura. A outra saída, que é a do capacitor, é variável em função da capacitância do fluido que passa no interior do tubo, isso acontece pois o fluido funciona como um dielétrico, assim à medida que muda o fluido ou a concentração dele, a tensão na saída do capacitor também muda.

CAPÍTULO VIII

METODOLOGIA EXPERIMENTAL E RESULTADOS

8. INTRODUÇÃO

Nesta etapa do trabalho, serão apresentados os aspectos relacionados a metodologia para medição da concentração e da vazão mássica.

Será ainda mostrada uma visão geral do sistema e o detalhamento dos funcionamentos dos seus componentes, por fim, serão esclarecidos os métodos utilizados para medição da concentração e determinação da vazão mássica.

Serão ainda esclarecidos os métodos, evidenciando todos os problemas enfrentados, os métodos utilizados para obtenção dos resultados, a análise dos erros e acertos dentre outros aspectos que juntos darão base para o encerramento dessa pesquisa.

8.1 AMOSTRA DO FLUIDO DE TRABALHO (LiBr-H₂O)

Para realização deste trabalho foi utilizada solução salina líquida, homogênea e incolor de água brometo de lítio (H₂O-LiBr). A solução base utilizada, encontra-se nas dependências da oficina do LES (UFPB), em um recipiente de 200 litros de concentração 55% de LiBr. Foi recolhida um volume de 10 litros para que fosse feita várias amostras com concentrações diferentes, a partir desta que tem uma concentração de 55%. As especificações da solução base, são apresentados pela Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Propriedades do LiBr.

Propriedades da solução salina do LiBr	
Concentração	55 %
Temperatura	25°C
Densidade	1,592kg/L

Para determinar a densidade da amostra para tal temperatura contou – se com a ajuda do EES (Engineering Equation Solver).

8.2 CARACTERIZAÇÃO DAS NOVAS AMOSTRAS DE LiBr

Como um dos objetivos dessa pesquisa é desenvolver um método de medição de concentração, foi necessário obter várias amostras de concentrações diferentes a partir da amostra inicial (55%) que tínhamos em nosso laboratório. Para isso, separamos várias amostras iniciais com massas diferentes para adicionar ou retirar água, fazendo com que as amostras aumentassem ou diminuíssem suas concentrações.

Para medir a massa das novas amostras utilizamos a balança eletrônica Ohaus Galaxy 400 (400g x 0,01g) de alta precisão.

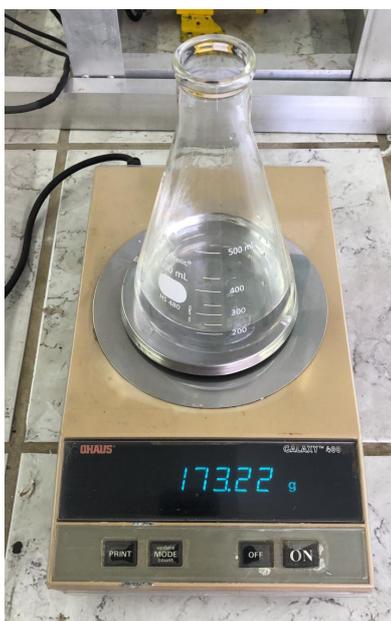


Figura 8.1 – Medidas de massa da solução base do LiBr.

Para cada amostra nova foram feitas várias medições de massa, pois a balança se limitava a 400g, mas ao final obtemos as medidas das massas da solução inicial como mostra a primeira coluna da tabela 8.2. As novas amostras foram preparadas com concentrações de 50%, 53%, 56%, 58%, 60%, 62% e 64%, a partir da amostra inicial.

Para encontrar as novas concentrações a partir da solução inicial, usamos o método de diluição estequiométrico, mostrada na equação abaixo:

$$m_0.C_0 = m.C \quad 8.1$$

Onde m_0 é a massa medida da amostra inicial, C_0 é a concentração da solução inicial, m é a massa adicionada ou retirada de água pura e C é a concentração final desejada.

Para os casos em que tínhamos que diminuir a concentração (50% e 53%), o processo foi mais rápido, pois foi preciso apenas acrescentar água destilada a massa da amostra inicial, já para os casos que tínhamos que aumentar a concentração (56%, 58%, 60%, 62% e 64%), o processo foi lento e cauteloso, tivemos que evaporar certa quantidade de água da solução inicial para obter cada concentração desejada. Esse processo foi demorado pois tínhamos que evaporar a água e depois medir a massa da solução novamente, esse processo se repetia várias vezes pois não sabíamos a taxa de evaporação.

A tabela 8.2 abaixo, mostra as quantidades, em gramas, da solução inicial e quanto foi necessário retirar ou acrescentar de água pura para se obter a faixa de concentrações desejadas e o quanto ficou de solução final de cada amostra.

Tabela 8.2 – Tabela das massas para cada concentração

Concentração H₂O/LiBr	Massa da solução inicial (55%)	Massa de H₂O (Adicionada ou retirada)	Massa de H₂O/LiBr (Solução final)
50%	500,00 g	+ 50,00 g	550,00 g
53%	500,00 g	+ 18,86 g	518,86 g
55%	500,00 g	0	500,00 g
56%	600,00 g	- 10,71 g	589,29 g
58%	600,00 g	- 31,04 g	568,96 g
60%	700,00 g	- 58,34 g	641,66 g
62%	700,00 g	- 79,04 g	620,96 g
64%	700,00 g	- 98,44 g	601,56 g

As soluções finais com cada novas concentrações foram armazenadas em recipientes plásticos, e identificados para a partir daí serem feitos as análises das medições.



Figura 8.2– Soluções das concentrações de LiBr.

8.2.1 CRISTALIZAÇÃO DO LiBr

A solução de H_2O -LiBr é uma das melhores escolhas entre diferentes fluidos de trabalho analisados para serem empregados em ciclos de absorção. Porém, se sua concentração exceder o limite de solubilidade, o sal precipita. O limite de solubilidade é intensamente influenciado pela concentração da solução e sua temperatura, e sofre pouca influência da pressão. Esse fenômeno é conhecido como cristalização.

O diagrama pressão-temperatura para a solução de água-brometo de lítio é o que identifica os limites de operação de uma máquina sem a ocorrência de cristalização. Esse limite é mostrado na forma de uma linha, denominada linha de cristalização.

Condições de operação situadas acima daquela linha permitem a operação segura do equipamento sem a ocorrência de cristalização. A Figura 8.3 mostra um diagrama pressão-temperatura-concentração para água-brometo de lítio, contendo a linha de cristalização.

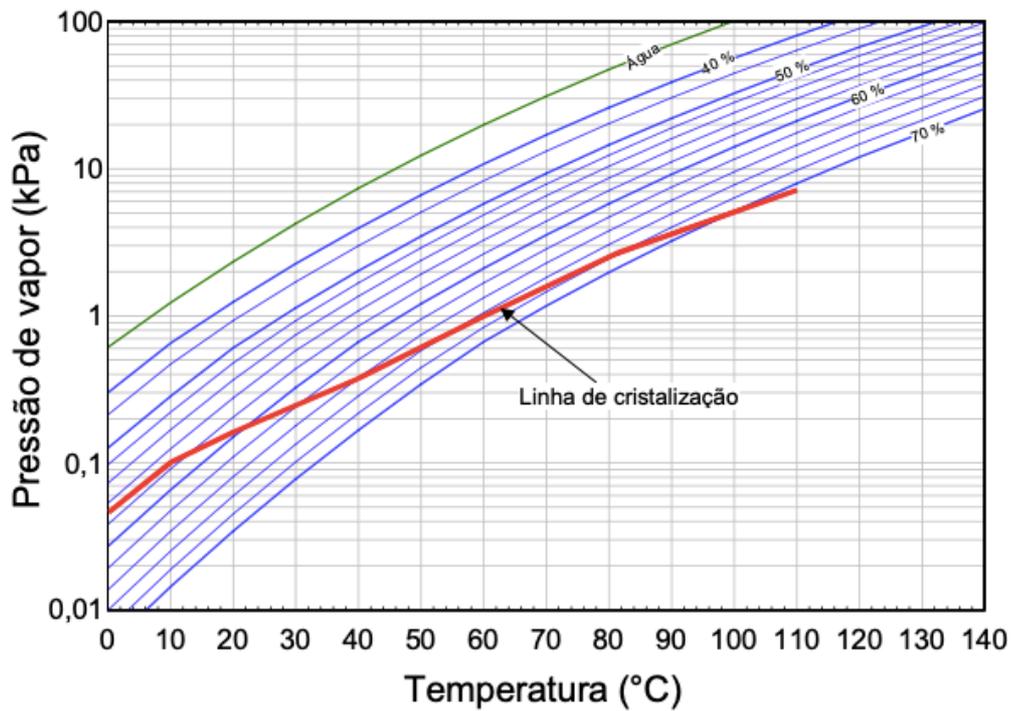


Figura 8.3 – Diagrama pressão-temperatura-concentração para solução de água-brometo de lítio, indicando a linha de cristalização.

Na preparação das amostras, observou-se a cristalização da solução na concentração de 64% a temperatura de 25°C. Na Figura 8.4, abaixo, é possível ver cristais do sal precipitados no fundo do recipiente que contém a solução.



Figura 8.4 – Solução de H₂O-LiBr (64%) com o sal precipitado (cristalizado).

8.3 ANÁLISES DAS TENSÕES DO ANALISADOR NA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

O analisador utilizado é apresentado na Figura 7.8. A peça principal do analisador para nosso estudo foi o sensor capacitivo, que foi preenchida com as soluções de água-brometo de lítio. O elemento analisador possui um sistema de controle térmico capaz de manter sua temperatura constante e bem determinada. Todas as medidas de tensão do sensor capacitivo foram realizadas na temperatura média de 25°C, a mesma temperatura que as amostras foram caracterizadas.

A metodologia usada para medir a concentração a partir do sensor capacitivo, consiste em preencher o tubo do sensor capacitivo com a cada amostra da solução de água-brometo de lítio e em seguida verificar a tensão de saída do capacitor.

Para cada amostra de concentração, foram feitas várias análises de forma estática como mostra a Figura 8.5. As amostras com cada concentração de água-brometo de lítio introduzido no tubo do sensor capacitivo, se comportava como um dielétrico, fazendo oposição à passagem da corrente elétrica entre as placas do capacitor, isso gerava, para cada amostra, uma resposta de tensão diferente.

Com isso, foram feitas as leituras das tensões a partir do Arduino, uma placa de aquisição de dados, que também funciona concomitantemente como um elemento de controle de instrumentação, que se conecta a um computador para que seja possível monitorar os valores dos resultados obtidos e atribuir os valores a todos os componentes do sistema de medição.



Figura 8.5 – Medição da tensão de saída do capacitor

Foram feitas duzentas medidas de tensão da saída do capacitor, como também da temperatura, para cada amostra de concentração. A leitura da temperatura foi feita a partir do sensor de temperatura digital DS18B20 descrito no tópico 7.1.5 do capítulo anterior. Todos os dados das duzentas medidas de tensão e temperatura estão descritos no APÊNDICE 1.

Os gráficos das figuras abaixo, mostram as leituras das tensões de saída do capacitor e da temperatura para cada amostra de concentração. Além disso, temos no gráfico os valores de tensão do controle do circuito do analisador, que pode variar com a temperatura da placa do circuito de transdução elétrica ou transientes da rede elétrica (ruídos elétricos). Para nosso trabalho, os valores de tensão do controle servem apenas como referência, ou seja, o controle vai mostrar o que não é variação do capacitor, é importante que essa tensão se mantenha constante. Se a tensão do controle variar devido a algum ruído na parte elétrica ou térmico, não teremos um bom sinal de saída no sensor capacitivo, o que não trará uma boa leitura da tensão de saída do capacitor devido a mudança de concentração.

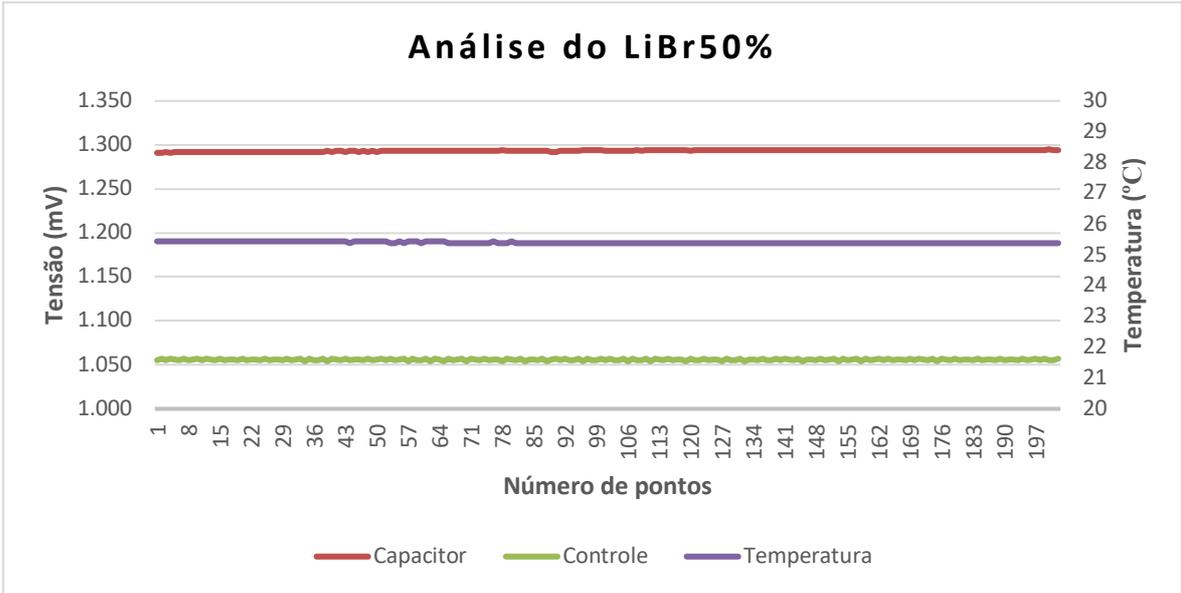


Figura 8.6 - Análise do LiBr 50% – Temperatura média de 25,40°C

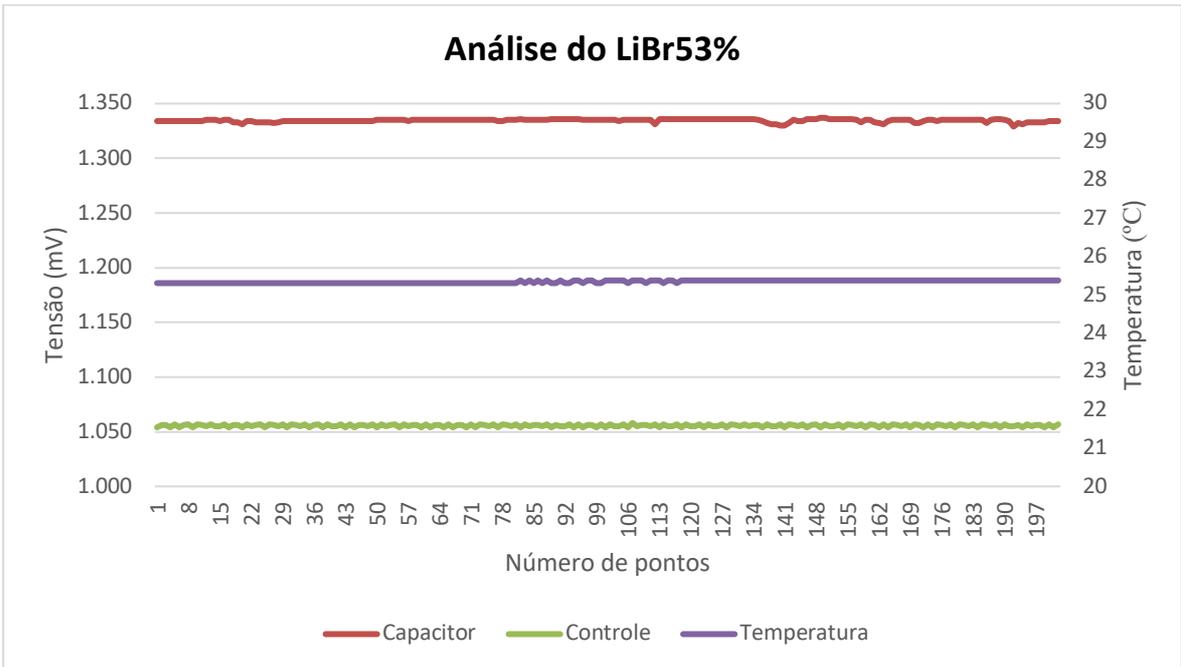


Figura 8.7 - Análise do LiBr 53% – Temperatura média de 25,35°C

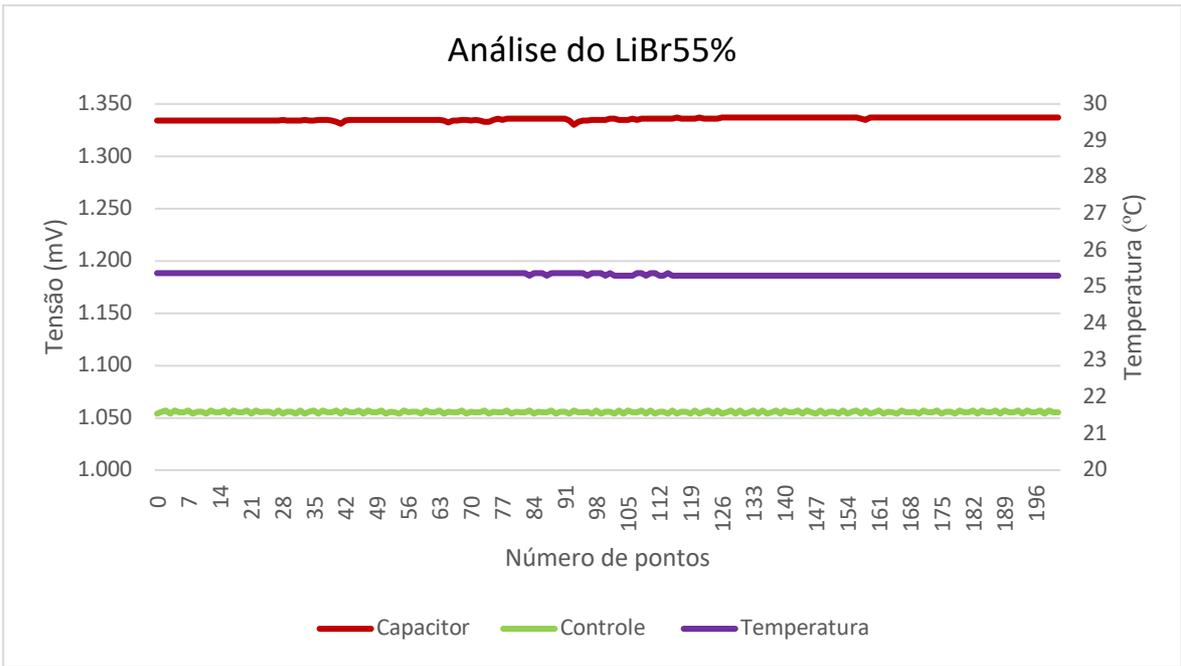


Figura 8.8 - Análise do LiBr 55% – Temperatura média de 25,34°C

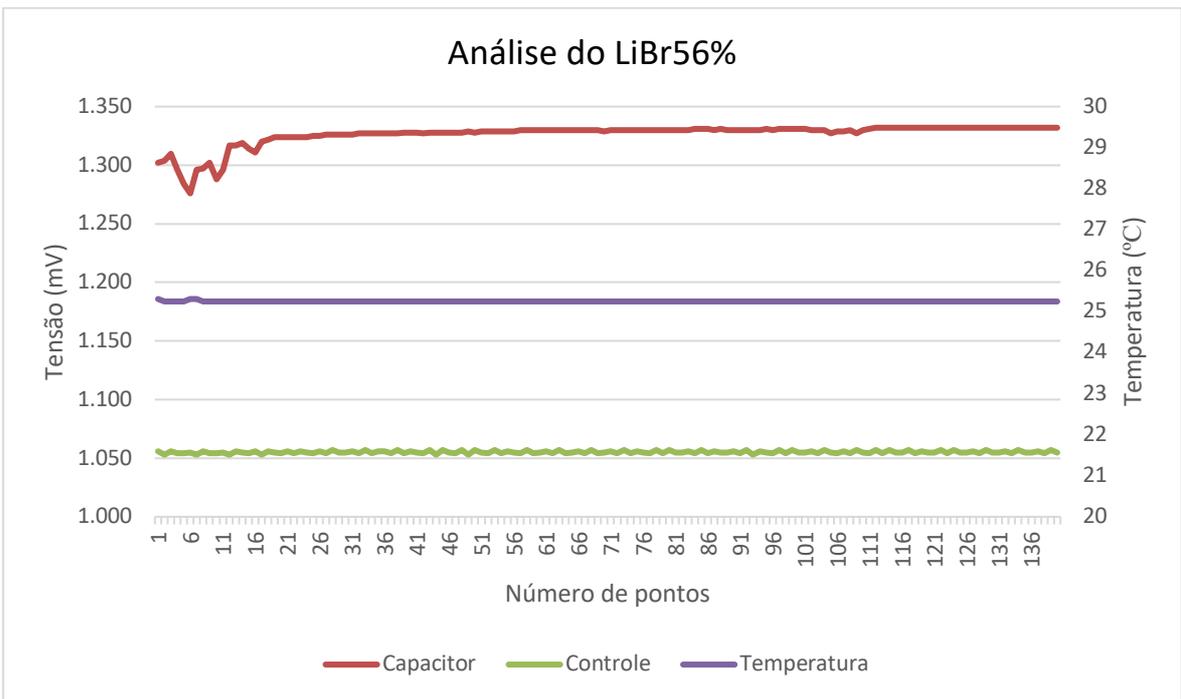


Figura 8.9 - Análise do LiBr 56% – Temperatura média de 25,30°C

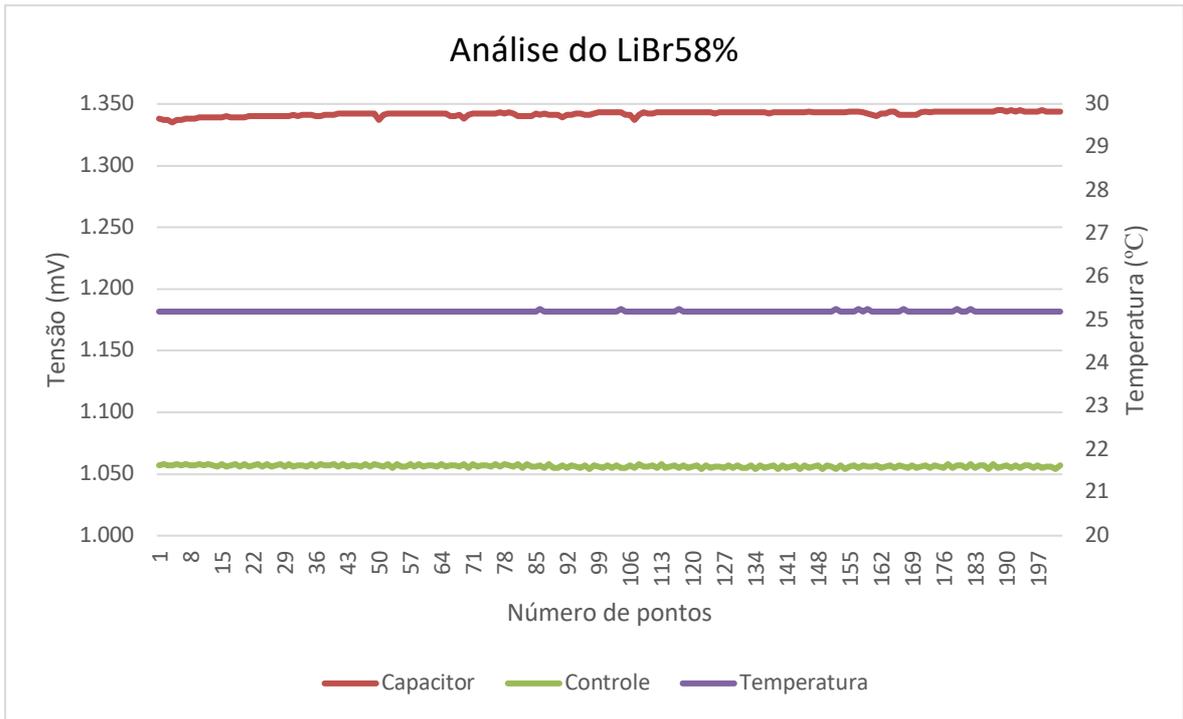


Figura 8.10 - Análise do LiBr 58% – Temperatura média de 25,20°C

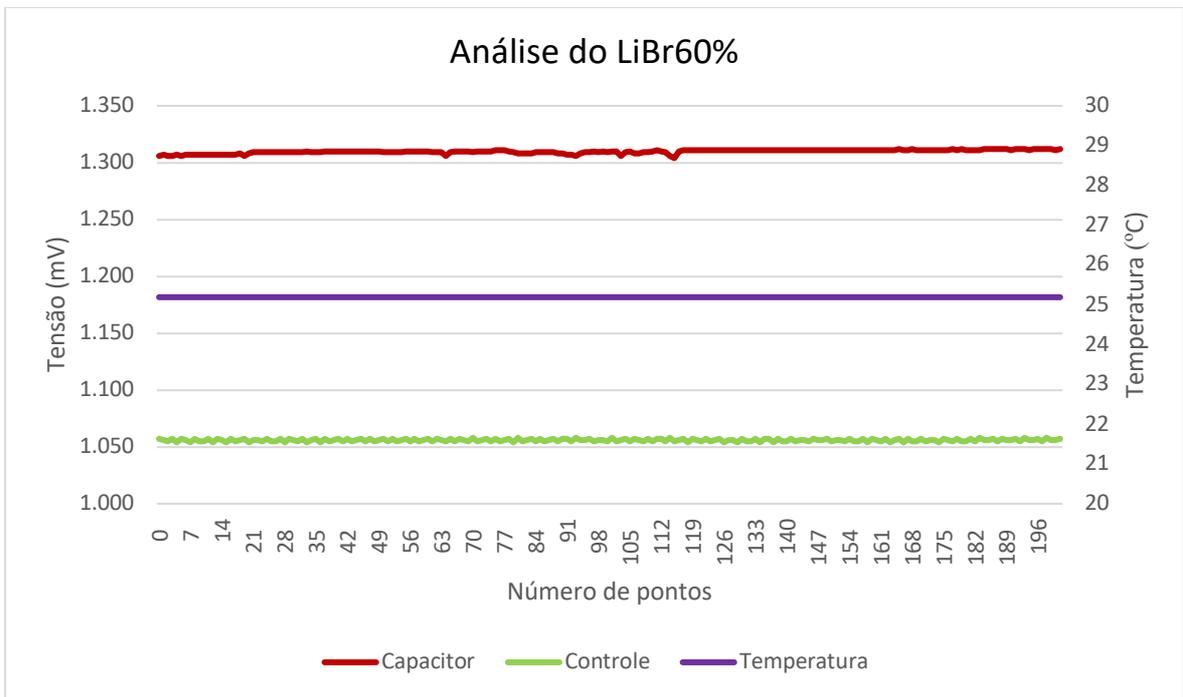


Figura 8.11 - Análise do LiBr 60% – Temperatura média de 25,19°C

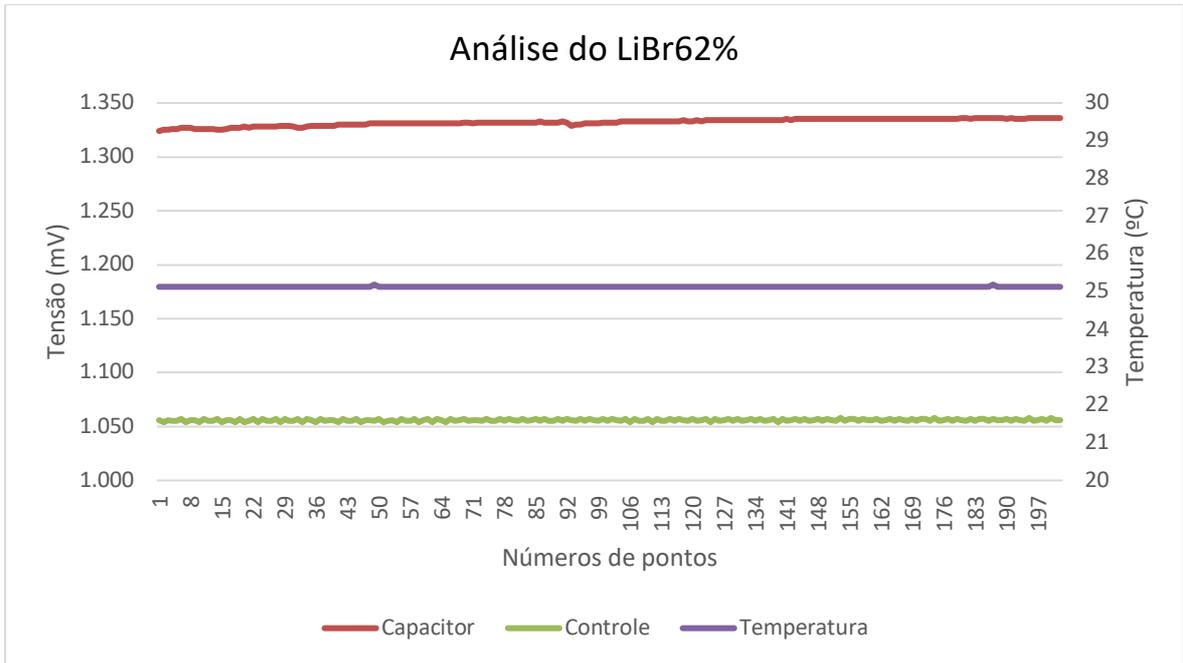


Figura 8.12 - Análise do LiBr 62% – Temperatura média de 25,13°C

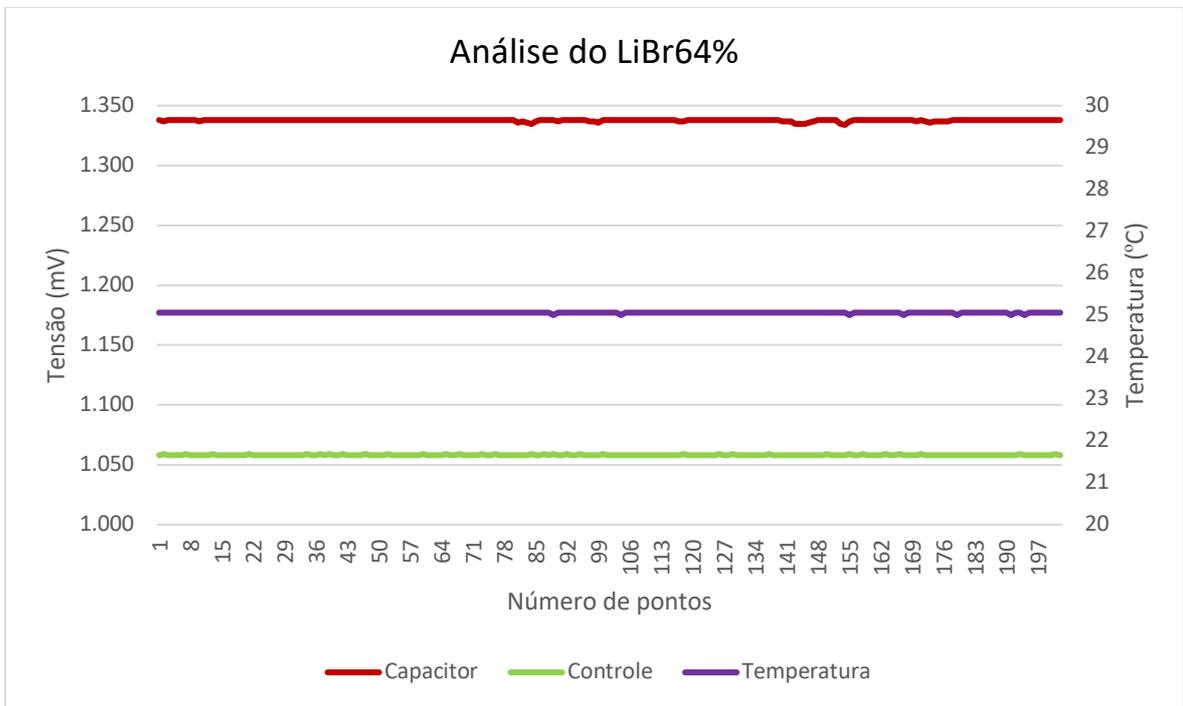


Figura 8.13 - Análise do LiBr 64% – Temperatura média de 25,06°C

É possível ver nos gráficos acima que as leituras das tensões do controle e do capacitor se mantiveram praticamente constantes para cada análise de cada amostra, isso

mostra que não tivemos problemas nas medições. Observa-se também que a temperatura manteve praticamente constante.

8.3.1 RESULTADOS DAS MEDIDAS DE TENSÃO DO ANALISADOR

Como mencionado, os ensaios foram realizados com cada amostra de concentração, onde foram feitas duzentas medidas de tensão de saída no capacitor, fato observado nos gráficos das Figuras 8.6 a 8.13, das duzentas medidas foi feito uma média como mostra a tabela 8.3.

Tabela 8.3 – Medições do analisador

Concentração (LiBr-H ₂ O)	Tensão Capacitor (Volts)	Tensão Controle (Volts)	Temperatura (Celsius)
Medidas		Média	
50%	1,29326	1,05579	25,3984
53%	1,33452	1,05548	25,3471
55%	1,33561	1,05548	25,3457
56%	1,32678	1,05457	25,2646
58%	1,34185	1,05638	25,1927
60%	1,30979	1,05594	25,19
62%	1,33211	1,05585	25,1306
64%	1,33776	1,05816	25,0579

A partir da análise de regressão linear múltipla pelo Excel, foi possível estabelecer uma relação entre a concentração (variável dependente) das amostras, a temperatura das amostras e tensão de saída do capacitor (variáveis independentes). Desta forma, pretende-se determinar os valores da concentração das misturas avaliadas em relação à temperatura e tensão de saída do capacitor. O modelo de regressão linear múltiplo ajustado utilizado é dado por:

$$X' = X_0 + \beta_1 \cdot \tau_{cap} + \beta_2 \cdot T + \beta_3 \cdot \tau_{cap} \cdot T$$

Onde X_0 , β_1 , β_2 e β_3 são coeficientes calculados pela regressão. Seus valores são:

X_0	13929,68
β_1	-9718,35
β_2	-548,74
β_3	384,38

Em relação ao modelo utilizado podemos afirmar 97,64% de confiança do R^2 e que o modelo está ajustado adequadamente. A equação 8.2 mostra a relações entre as grandezas analisadas.

$$X' = 13929,68 - 9718,35 \cdot \tau_{cap} - 548,74 \cdot T + 384,3 \cdot \tau_{cap} \cdot T \quad 8.2$$

Onde X' representa a concentração estimada, τ_{cap} representa a tensão de saída do capacitor e T a temperatura da amostra.

8.3.2 COMPARAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO TEÓRICA E A CONCENTRAÇÃO ESTIMADA

Em seguida, realizou-se uma análise comparativa com relação a concentração teórica dos resultados das amostras obtidas pelo método de regressão utilizado. A Tabela 8.4 mostra a comparação dos resultados para as amostras com diferentes de concentração, os erros entre os valores e gráficos de comparação são apresentados nas Figura 8.14 e Figura 8.15.

Tabela 8.4 – Resultado comparativo das análises das concentrações teóricas e as concentrações estimadas.

Concentração	Concentração Estimada	Erro (%)
$X(\%)$	$X'(\%)$	ϵ
50	49,9	-0,1
53	53,6	1,1
55	53,7	-2,4
56	56,6	1,1
58	58,9	1,5
60	60,1	0,2
62	61,5	-0,8
64	63,7	-0,5

De acordo dos resultados da Tabela 8.4 pode – se considerar a relevância dos valores obtidos em termos de um erro médio percentual e constatar que o erro obtido nessas medidas é baixo, inferior a 5%.

Como o erro máximo obtido foi de 2,4% podemos validar e continuar os testes com essa mesma configuração, ou seja, nessas condições podemos reiterar que os objetivos do presente trabalho em medir concentração foi extremamente satisfatório visto que, com o analisador (sensor capacitivo) foi possível correlacionar a tensão de saída do capacitor com a concentração do fluido de trabalho utilizado, destacando que toda sua modelagem matemática foi associada a um estudo estatístico (regressão linear múltipla), que aponta o medidor em questão como sendo um excelente medidor de concentração.

O gráfico de dispersão abaixo, da Figura 8.14, apresenta uma comparação entre as curvas das concentrações medidas experimentalmente com as da regressão linear múltipla da equação 8.2 (concentração estimada), em função da tensão de saída do capacitor.

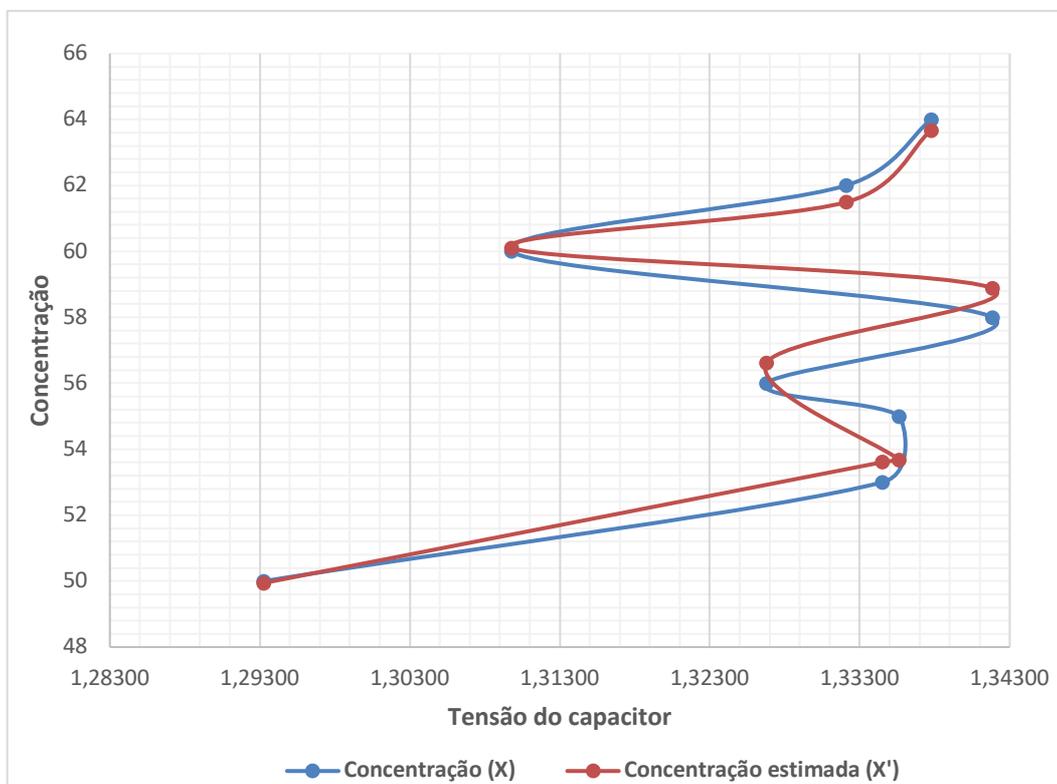


Figura 8.14 - Gráfico da Concentração x Tensão do capacitor

Analisando o comportamento das curvas, observa-se que elas seguem a mesma tendência. As curvas apresentam correlação em relação ao modelo utilizado com aproximação de 97,64% de confiança, como prevê o modelo utilizado.

No gráfico de barras, da Figura 8.15 abaixo, apresenta uma comparação das concentrações em função da temperatura. Utilizando as mesmas condições dos gráficos anteriores.

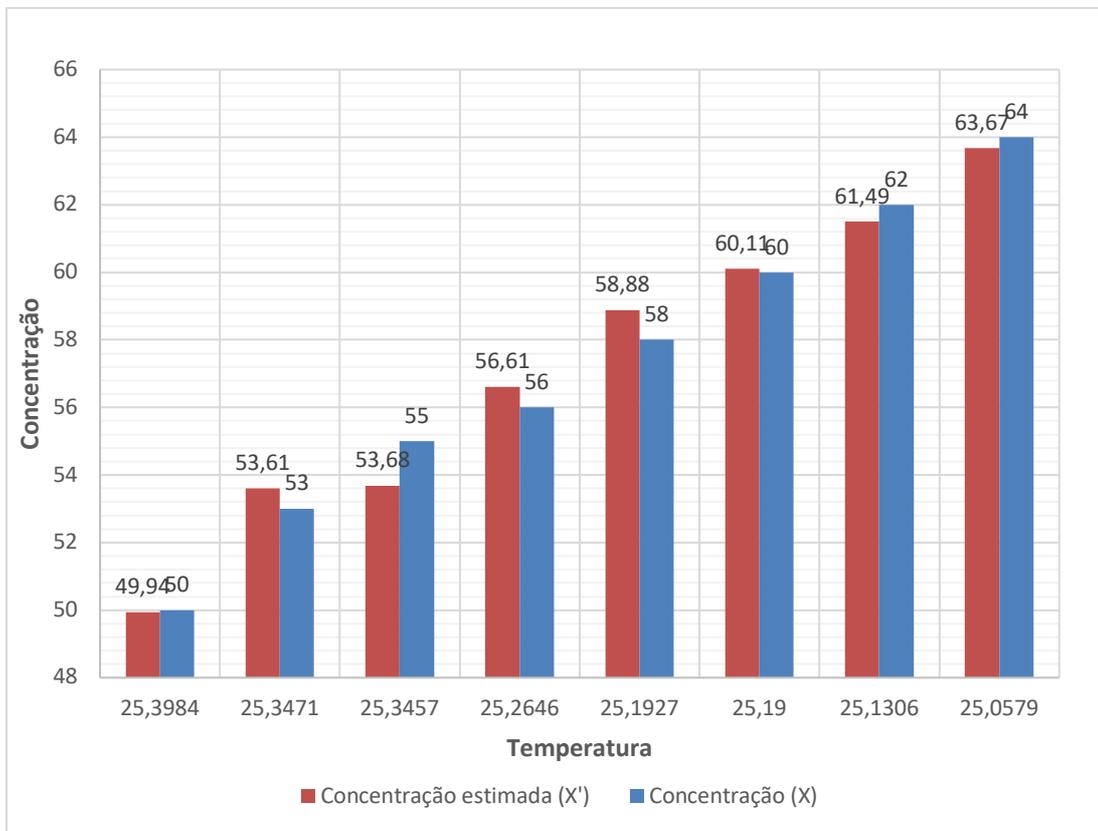


Figura 8.15 - Gráfico da Concentração x Temperatura

Com isso, os resultados obtidos mostram que é possível determinar a concentração das misturas com diferentes concentrações a partir do analisador de misturas utilizado.

8.3.3 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DAS DEMAIS GRANDEZAS

De forma semelhante ao que foi feito com a concentração, também foi feita uma regressão múltipla linear para correlacionar a densidade das amostras em função da concentração, temperatura e a tensão do capacitor. A implementação dessa nova grandeza, se faz necessário para calcular a vazão mássica que é objetivo dessa pesquisa.

Para isso, usamos a densidade teórica, partir do EES, para cada amostra de acordo com a concentração a temperatura medida. Como também usamos a tensão de saída do capacitor para correlacionamos. Na Tabela 8.5, temos os valores para cada medida.

Tabela 8.5 – Valores das densidades com as grandezas analisadas

Densidade teórica (EES)	Concentração	Tensão capacitor	Temperatura
ρ (kg/l)	X (%m/m)	τ_{cap} (V)	T (°C)
1,507	50	1,29326	25,3984
1,557	53	1,33452	25,3471
1,592	55	1,33561	25,3457
1,610	56	1,32678	25,2646
1,648	58	1,34185	25,1927
1,687	60	1,30979	25,19
1,729	62	1,33211	25,1306
1,773	64	1,33776	25,0579

Novamente, fizemos uma análise de regressão linear múltipla, para estabelecer uma relação entre essas grandezas. Desta forma, pretende-se determinar os valores das densidades das misturas avaliadas em relação à concentração, temperatura e tensão de saída do capacitor. O modelo de regressão linear múltiplo ajustado utilizado para o cálculo da densidade é dado por:

$$\rho' = \rho_0 + \beta_4.X + \beta_5.\tau + \beta_6.T + \beta_7.T^2$$

Onde ρ_0 , β_4 , β_5 e β_6 são coeficientes calculados pela regressão. Seus valores são:

ρ_0	1,69753
β_4	0,01821
β_5	-0,12358
β_6	-0,05367
β_7	0,00065

Em relação ao modelo utilizado podemos afirmar 99,92% de confiança do coeficiente de determinação do R^2 e que o modelo está ajustado adequadamente. A equação 8.3 mostra as relações entre as grandezas analisadas.

$$\rho' = 1,70 + 0,0182 \cdot X - 0,12373 \cdot \tau_{cap} - 0,054 \cdot T + 0,00065 \cdot T^2 \quad 8.3$$

Onde ρ' representa a densidade estimada, X representa a concentração medida, τ_{cap} representa a tensão de saída do capacitor e T a temperatura da amostra.

Foi realizada uma comparação entre a densidade teórica e a densidade estimada a partir da regressão múltipla. A Tabela 8.6 e a Figura 8.16 mostram as comparações dos resultados e o erro entre os valores.

Tabela 8.6 – Resultado comparativo das análises das densidades teóricas e as densidades estimada, com base na concentração medida.

Densidade teórica	Densidade estimada	Erro (%)
ρ	ρ'	ε
1,507	1,505	-0,11
1,557	1,556	-0,07
1,592	1,592	0,01
1,610	1,613	0,20
1,648	1,649	0,07
1,687	1,690	0,16
1,729	1,725	-0,26
1,773	1,773	0,00

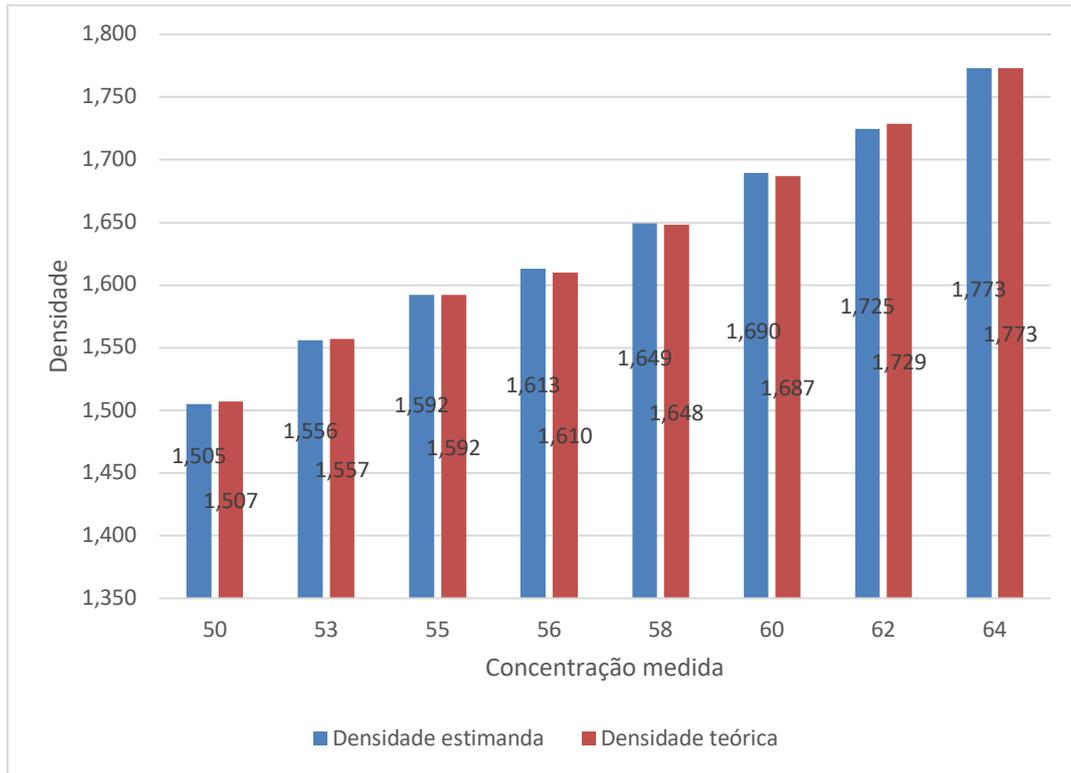


Figura 8.16 – Comparação da densidade e a concentração medida.

Tendo em vista que os erros foram baixíssimos, os resultados obtidos mostram que, também é possível determinar a densidade das amostras com diferentes concentrações correlacionando-as com temperatura e a tensão de saída do capacitor.

Para ser mais fidedigno, utilizamos a equação 8.3 e substituímos os valores das concentrações estimadas obtidas a partir da equação 8.2, tudo isso para fazer uma comparação com a densidade teórica. Na Tabela 8.7 abaixo temos os valores utilizados e a nova densidade (ρ'') obtida.

Tabela 8.7 – Resultado da nova densidade estimada a partir da concentração estimada.

Concentração estimada	Tensão Capacitor	Temperatura	Densidade estimada
$X(\%m/m)$	$\tau(V)$	$T(^{\circ}C)$	$\rho''(kg/l)$
49,9	1,29326	25,3984	1,504
53,6	1,33452	25,3471	1,567
53,7	1,33561	25,3457	1,568
56,6	1,32678	25,2646	1,624

58,9	1,34185	25,1927	1,665
60,1	1,30979	25,19	1,692
61,5	1,33211	25,1306	1,715
63,7	1,33776	25,0579	1,756

Mais uma vez foi feita uma comparação entre a densidade teórica e a nova densidade estimada, como mostra Tabela 8.8 abaixo.

Tabela 8.8 – Resultado comparativo das análises das densidades teóricas e as novas densidades estimadas, com base na concentração estimada.

Densidade teórica	Densidade estimada	Erro (%)
ρ	ρ''	ϵ
1,507	1,504	-0,18
1,557	1,567	0,64
1,592	1,568	-1,49
1,610	1,624	0,89
1,648	1,665	1,04
1,687	1,692	0,28
1,729	1,715	-0,79
1,773	1,756	-0,97

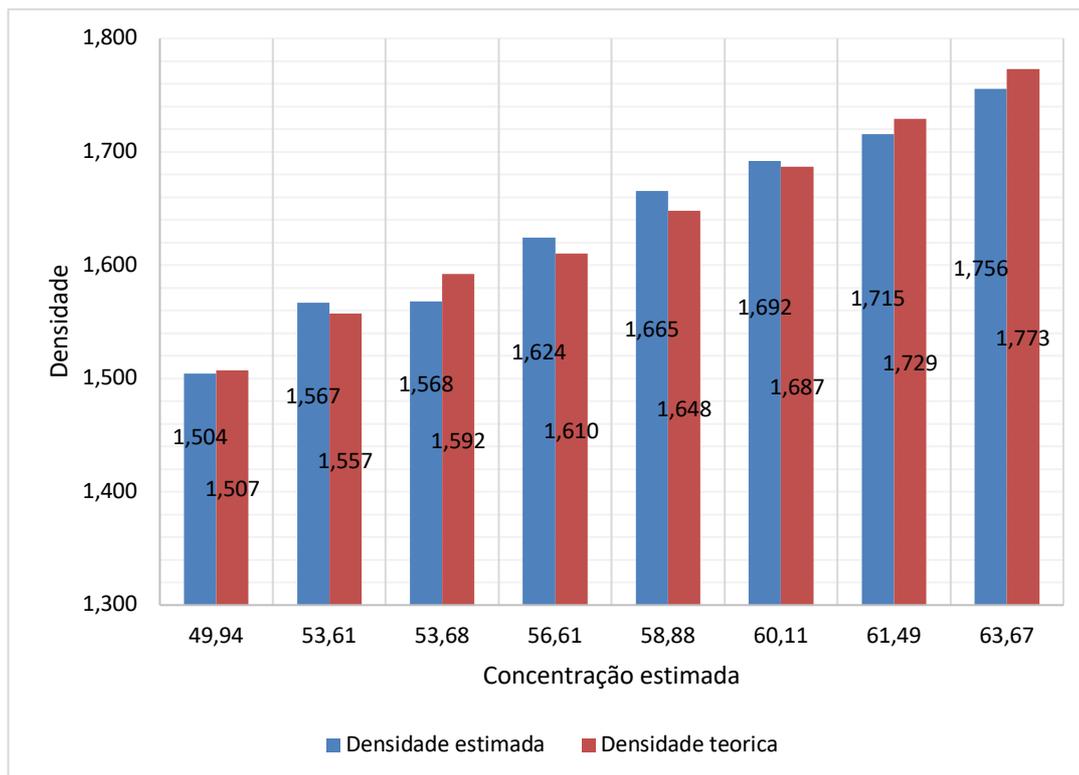


Figura 8.17 - Comparação da densidade e a concentração estimada.

Observa-se que as novas densidades estimadas a partir das concentrações estimadas tiveram um erro maior que as densidades estimadas com base nas concentrações medidas, o que era de se esperar. Para nossa pesquisa os resultados com nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5% ou menor) são considerados estatisticamente relevantes.

Assim, os resultados obtidos mostram que também é possível determinar a densidade da solução de água-brometo de lítio com diferentes concentrações através do analisador de misturas.

8.4 ANÁLISES E RESULTADOS DA VAZÃO MÁSSICA

Para a análise e resultado da vazão mássica foi utilizado a combinação dos valores obtidos pelo analisador, tanto da concentração como da densidade, e os valores de vazão volumétrico obtidos pelo MEDY FLOW.

Com o MEDY FLOW, foram realizados testes com o brometo de lítio a 55% e analisado sua repetitividade foram obtidos valores da vazão volumétrica durante 10 minutos

de observação. A cada 1 minuto era computado o valor da medida. Na análise dos dados observou-se uma constância nos valores da vazão volumétrica ao longo do tempo, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 8.9 – Medidas da vazão volumétrica pelo MEDY FLOW

Tempo	Vazão Volumétrica
<i>t (s)</i>	<i>Q (L/s)</i>
60	0,1697
120	0,1697
180	0,1697
240	0,1697
300	0,1697
360	0,1683
420	0,1697
480	0,1697
540	0,1697
600	0,1697

Os ensaios foram feitos de modo que, ao mesmo tempo que eram feitas as medidas de vazão volumétrica, também eram medidos os valores de tensão de saída do capacitor e da temperatura do fluido. Com esses valores da tensão e da temperatura foi possível obter os valores estimados da concentração e densidade a partir das regressões múltiplas utilizadas nas equações 8.2 e 8.3 respectivamente.

No Arduino foi feita a programação, para que todos esses valores fossem computados à medida que fosse realizado o ensaio. Com os valores da tensão do capacitor, temperatura do fluido, concentração estimada, densidade estimada e vazão volumétrica, foi possível medir a vazão mássica a partir da equação 4.3.

A tabela 8.10 abaixo, mostra os valores detalhados de cada grandeza ao longo do tempo medido no ensaio.

Tabela 8.10 – Medidas da vazão mássica para concentração de 55% de LiBr medido

Tempo	Tensão Capacitor	Temperatura	Concentração estimada	Densidade estimada	Vazão Volumétrica	Vazão Mássica
t (s)	τ_{cap} (V)	T (°C)	X (%m/m)	ρ (kg/L)	Q (L/s)	\dot{m} (kg/s)
60	1,337	25,29	55,549	1,596	0,1697	0,2708
120	1,337	25,29	55,549	1,596	0,1697	0,2708
180	1,337	25,30	55,200	1,589	0,1697	0,2697
240	1,337	25,30	55,200	1,589	0,1697	0,2697
300	1,337	25,30	55,200	1,589	0,1697	0,2697
360	1,336	25,30	55,194	1,589	0,1683	0,2674
420	1,336	25,30	55,194	1,589	0,1697	0,2697
480	1,337	25,31	54,852	1,583	0,1697	0,2686
540	1,337	25,30	55,200	1,589	0,1697	0,2697
600	1,337	25,31	54,852	1,583	0,1697	0,2686

Nessas condições podemos dizer que os objetivos do trabalho foram extremamente satisfatórios visto que foi possível, a partir do analisador de misturas, mensurar a concentração do fluido de trabalho e junto com o medidor de vazão volumétrica, MEDY FLOW, calcular a vazão mássica para a solução de brometo de lítio a 55%, podendo se estender para as demais pois o método de medida seria o mesmo.

CAPÍTULO IX

CONCLUSÃO

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo realizado nesse trabalho, foi possível apresentar o desenvolvimento de uma técnica de medição de concentração através um analisador de misturas, baseado na medida da tensão de saída do sensor capacitivo e do campo de temperatura da mistura.

Também foi possível a medição de vazão mássica das soluções salinas a partir da junção do analisador de misturas e do medidor de vazão volumétrica (MEDY FLOW). Para este estudo foram utilizadas amostras com diferente concentração da solução de água-brometo de lítio.

O controle de temperatura utilizado nesse trabalho, utilizando o sensor de temperatura digital DS18B20, desempenhou um papel de grande importância ao manter a temperatura do analisador de misturas sempre bem determinada com alto grau de precisão em longos períodos. Portanto, podemos concluir que não ocorreu variação na densidade das amostras devido à temperatura.

Os modelos de regressão linear múltipla expressaram adequadamente a variação dos dados com valores de coeficiente de determinação R^2 superiores a 0,97 e representaram de maneira significativa à relação entre as variáveis analisadas.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que é possível medir concentração e vazão mássica a partir da combinação do analisador de misturas e do medidor de vazão tipo turbina (MEDY FLOW), com elevado nível de precisão em sistemas de refrigeração por absorção que usam soluções de água- brometo de lítio.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugiro:

- Aumentar a faixa de concentração para obter maior precisão dos dados, e tentar diminuir os erros ao máximo possível;
- Aumentar a faixa de temperatura nas análises de cada amostra e verificar o comportamento da tensão de saída do capacitor do analisador;
- Aplicar a mesma metodologia utilizada em sistemas de refrigeração por absorção que necessite medir concentração e vazão mássica que utilizam outros fluidos (líquido) de trabalho;
- Desenvolver um novo medidor de concentração e vazão mássica a partir das técnicas utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. M. A. Caldas, A. G. A. Caldas, C. A. C. dos Santos, K. C. Lima, A. A. V. Ochoa and J. C. C. Dutra - Experimental Theoretical Study Based On Mathematical Correlations Used In The Determination Of Volume Flows Of Non-Intrusive Character For Lithium Bromide Solution – LiBr. IEEE Latin America Transactions, Vol. 13, No. 8, Aug. 2015 .

ABNT, NBR 10396. Medidores de Vazão de Fluidos (classificação). Associação Brasileira.

ARDUINO: Disponível em:< <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

Azzopardi, B., Do, H., Azzi, A., Perez, V. Characteristics of air/water slug flow in an intermediate diameter pipe. Experimental Thermal and Fluid Science 60 (2015) 1-8.

Bakhtiari B., Fradette L., Legros R., Paris J., A model for analysis and design of H₂O–LiBr absorption heat pumps. Energy Conversion and Management 52 (2011) 1439–1448.

Beaulieu, A., Foucault, E., Braud, P., Micheau, P., Szeger, P. A flowmeter for unsteady liquid flow measurements.

BELO, F. A. ; LEITE, J. T. F. “Electronic Analyzer of quality”. SAE Data Book, São Paulo, Brasil, 1993.

BELO, F. A. “Protótipo do Analisador de Mistura pela Polarização Dipolar”, Apresentação na Feira Mundial Rio Oil & Gas, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BELO, F. A. “Protótipo Medidor de Concentração Eletrônica”, Apresentação no II FEBRAN (Feira Brasileira de Negócios), São Paulo, Brasil, 1982.

BELO, F. A., “Etilômetro Eletrônico”, Seminário de Instrumentação e Feira de Exposição de Protótipos, SINST/PADCT/CNPQ, USP, São Paulo, Brasil, 1988.

BELO, F. A., 1982, “Medidor de Concentração Eletrônico”, Patente Requerida, Brasil.

BELO, F. A., LIMA FILHO, A. C., DE BRITO, D. M. G., “Instrumento de Transdução Eletrônica Resistiva Múltipla com Compensação da Deriva Térmica e Ruído de Baixa Frequência. ” Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI09027483, data de depósito: 30/07/2009. Instituição (ões) financiadora(s): Universidade Federal da Paraíba, Brasil, 2009.

BELO, F. A.; LIMA FILHO, A. C.; SILVA, F. A.; SILVA, T. A. B., “Analisador Eletrônico De Componentes De Mistura Pela Polarização Dipolar Para Laboratório E Controle De Processos” Patente Requerida, 2015.

Caldas, A. M. A., 2012, Desenvolvimento de Método de Medição de Vazão não intrusivo para Sistemas de Refrigeração por Absorção. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Joao pessoa – PB.

Chen, Q., Li, W., Wu, J. Realization of a multipath ultrasonic gas flowmeter based on transit-time technique. *Ultrasonics* 54 (2014) 285-290.

Chua, H. T., Toh, H. K., Malek, A., Ng, K. C., Srinivasan, K. Improved thermodynamic property fields of LiBr-H₂O solution, *International Journal of Refrigeration*, 23, (2000) 412 – 429.

DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Disponível em: < www.maxim-ic.com> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

Delmée, Gérard Jen, Manual de Medição de Vazão – 3ª edição - São Paulo: Editora Blucher, 2003.

Donnellan, P., Cronin, K., Lee, W., Duggan, S., Byrne, E. Absorption of steam bubbles in lithium bromide solution. *Chemical Engineering Science*. 119 (2014), 10-21.

Edem, N. T. K. , Le Pierrès, N., Luo, L. Numerical dynamic simulation and analysis of a lithium bromide - water long-term solar heat storage system. *International Journal of Refrigeration*, Energy 37 (2012) 346 - 358.

Evola, G., Le Pierrès, N., Boudehenn, F., Papillon, P. Proposal and validation of a model for the dynamic simulation of a solar-assisted single-stage LiBr/water absorption chiller. *International journal of refrigeration*. 36, n. 3 (2013) 1015 – 1028.

Farzaneh-Gord, M., Parvizi, S., Arabkoohsar, A., Machado, L., Koury, RNN. Potential use of capillary tube thermal mass flow meters to measure residential natural gas consumption. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 22 (2015) 540-550.

Florides, G. A., Kalogirou, S. A., Tassou, S. A., Wrobel, L. C..Design and construction of a LiBr–water absorption machine. *Energy Conversion and Management*. 44, (2003) 2483–2508.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 6. ed. Rio Janeiro: LTC, 2006.

GONÇALVES, P. G. *Estudo Teórico e Experimental de um Analisador de Misturas pela Polarização Dipolar*, 2015.

Gomri Rabah. Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems. *Energy Conversion and Management*. 51, (2010) 1629–1636.

Huicochea, A., Rivera W., Gutiérrez G., Bruno, J., Coronas, A. Thermodynamic analysis of a trigeneration system consisting of a micro gás turbine and a double effect absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*. 31, (2011) 3347 – 3353.

H. Moysés Nussenzveig. *Curso de física básica, 1: mecânica / – 5. ed. - São Paulo: Blucher, 2012.*

Ibarra-Bahena, J., Romero, R.J., Cerezo, J., Valdez-Morales, C.V., Galindo-Luna, Y.R., Velazquez-Avelar, L. Experimental assessment of an absorption heat transformer prototype at different temperature levels into generator and into evaporator operating with water/Carrol mixture. *Experimental Thermal and Fluid Science* 60 (2015) 275-283.

Izquierdo, M., Marcos, J. D., Palacios, M. E., González, A. G., Experimental evaluation of a low-power direct air-cooled double-effect LiBr - H₂O absorption prototype. *Energy* 37 (2012) 737 - 748.

Jeong, U., Kim, Y. H., Kim, J., Kim, T., Kim, S. Experimental evaluation of permanent magnet probe flowmeter measuring high temperature liquid sodium flow in the ITSL. *Nuclear Engineering and Design*, 265 (2013), 566-575.

Kaita, Y., Thermodynamic properties of lithium bromide – water solutions at high temperatures, *International Journal of Refrigeration*, v. 24, n. 5, p. 374-390, 2001.

Kaushik, S. C., Arora. A. Energy and exergy analysis of single effect and series flow double effect water–lithium bromide absorption refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*. 32 (2009) 1-12.

Kim, D. S., Infante Ferreira, C. A., A Gibbs energy equation for LiBr aqueous solutions. *International Journal of Refrigeration*. 29, (2006) 36-46.

Kohlenbach, P., F, Ziegler. A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part I: The model. *International journal of refrigeration*. 31, (2008) 217-225.

Kohlenbach, P., Ziegler, F. A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part II: Numerical results and experimental verification. *International journal of refrigeration*. 31, (2008) 226-233.

Lima, K. C., 2012, Controle de Vazão PID para sistemas de refrigeração por Absorção com o par água-brometo de lítio. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Joao pessoa – PB.

Lynnworth, L. C., Liu, Y. Ultrasonic flowmeters: Half-century progress report, 1955–2005. *Ultrasonics* 44 (2006) 1371-1378.

MAGAZONI, F. C. Análise Dinâmica de um Chiller de Absorção de Brometo de Lítio – Água em Processo de Água em Processo de Resfriamento de Dorna de Fermentação Alcoólica. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2011.

MARQUES, S. A. da, 2005, Análise Termoeconômica de Sistema de Refrigeração por Absorção Automotivo por Absorção. Dissertação de M.S.c, - UFPB, João Pessoa – PB.

MEDRANO, M. Desarrollo de un absorbedor tubular vertical enfriado por aire para un cimatizador de absorción de agua-bromuro de lítio. tesis de doctorado. Escola Técnica Superior D'enginyeria Química- UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI. Tarragona, 2000.

Monné, C., Alonso, S., Palacín, F., Serra, F. Monitoring and simulation of an existing solar powered absorption cooling system in Zaragoza (Spain). *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 28 - 35.

MOREIRA, H. L., 2004, Análise Termoeconômica de Sistema de Refrigeração por Absorção com o Par Água Brometo de Lítio. Tese de D.Sc., CT/UFPB, João Pessoa, PB, Brasil.

Myat, A., Thu, K., Kim, Y. D., Chakraborty, A., Chun, W. G., Choon, K. N., . A second law analysis and entropy generation minimization of an absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*. 31, 2011. 2405 - 2413.

Nasirzadeh, K., Neueder, R., Kunz, W. Vapor pressures, osmotic and activity coefficients for (LiBr + acetonitrile) between the temperatures (298.15 and 343.15) K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 36 (2004), 511-517.

Ochoa AAV, Dutra JCC, Henríquez JRG. Energetic and exergetic study of a 10RT absorption chiller integrated into a microgeneration system. *Energy Conversion and Management* 2014; 88:545-553.

Ochoa AAV, Dutra JCC, Henríquez JRG. Energy and Exergy Analysis of the Performance of 10 TR Lithium Bromide/Water Absorption Chiller. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia* 2014; 37:38-47.

OGATA, Katsuhiko, 2003. *Engenharia de Controle Moderno*. 4o ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil.

Palacios, E., Izquierdo, M., Lizarte, R., Marcos, J.D. Lithium bromide absorption machines: Pressure drop and mass transfer in solutions conical sheets. *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 1802-1809.

Prasartkaew, B. Performance Test of a Small Size LiBr-H₂O Absorption Chiller. *Energy Procedia*. 56 (2014) 487-497.

Rajan, K.K., Sharma, V., Vijayakumar, G., Jayakumar, T. Development of side wall type permanent magnet flowmeter for sodium flow measurement in large pipes of SFRs. *Flow Measurement and Instrumentation*. 42 (2015), 69-77.

Rivera, W., Martínez, H., Cerezo, J., Romero, R., Cardoso, M. Exergy analysis of an experimental single-stage heat transformer operating with single water/lithium bromide and using additives (1-octanol and 2-ethyl-1-hexanol). *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 3526-3532.

SANTOS, P. H. D., 2005, *Análise Energética e Exergética de Sistemas de Refrigeração por Absorção de Múltiplos Efeitos com o Par Brometo de Lítio – Água*. Dissertação de M.Sc., CT/U, João Pessoa, PB, Brasil.

Seo, J. A., Shin, Y., Chung, J. D. Dynamics and control of solution levels in a high temperature generator for an absorption chiller. *International journal of refrigeration*. 35, n. 4 (2012) 1 – 7.

Shin, Y., Seo, J. A. , Cho, H. W., Namb, S. C., Jeong, J. H. Simulation of dynamics and control of a double-effect LiBr–H₂O absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*. 29, (2009) 2718–2725.

SILVA, Filipe V. da Silva, 2009, Simulação e Desenvolvimento Experimental de Sistemas de Refrigeração por Absorção com Água-Amônia de Única Pressão. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, VI, Campina Grande, PB, Brasil.

Somers, C., Mortazavi, A., Hwang, Y., Radermacher, R., Rodgers, P., Al-Hashimi, P. Modeling water/lithium bromide absorption chillers in ASPEN Plus. *Applied Energy*. 88 (2011) 4197–4205.

SOUZA, W.L.,2007,Análise Exergoeconômica dos Ciclos de Refrigeração por Absorção de Única Pressão. Tese de D.S.c, - UFPB, João Pessoa – PB.

Tsoutsos, T., Aloumpi, E., Gkouskos, Z., Karagiorgas, M. Design of a solar absorption cooling system in a Greek hospital. *Energy and Buildings*. 42, (2010) 265–272.

Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference. Disponível em:< [https:// www.ti.com](https://www.ti.com)> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

VARANI, C. M. R., 2001, Avaliação Energética e Exergética de uma Unidade de Refrigeração Água/Brometo de Lítio Utilizando Gás Natural. Tese de D.S.c, - UFPB, João Pessoa – PB.

Venegas, M., Rodríguez-Hidalgo, M. C., Salgado, R., Lecuona, A., Rodríguez, P., Gutiérrez. G. Experimental diagnosis of the influence of operational variables on the performance of a solar absorption cooling system. *Applied Energy*. 88, (2010) 1447– 1454.

Wang, J., Zheng, D. Performance of one and a half-effect absorption cooling cycle of H₂O/LiBr system. *Energy Conversion and Management*. 50 (2009) 3087–3095.

Winston, R., Jiang, L., Widyolar, B. Performance of a 23KW Solar Thermal Cooling System Employing a Double Effect Absorption Chiller and Thermodynamically Efficient Non-tracking Concentrators. *Energy Procedia*. 48 (2014) 1036-1046.

Zafarani-Moattar, M. T., Frouzesh, F., Rafiee, H. R. The study of volumetric, acoustic and transport properties of ionic liquid, 1-butyl-3-methyl imidazolium chloride [Bmim][Cl] in aqueous lithium bromide solutions at T = 298.15–318.15 K. *Fluid Phase Equilibria*. 376 (2014), 40-47.

Zinet, M., Rulliere, R., Haberschill, P. A numerical model for the dynamic simulation of a recirculation single-effect absorption chiller, *Energy Conversion and Management*, v. 62, n. 1, p. 51– 63, 2012.

APÊNDICE 1

Tabelas com os dados das duzentas medidas de tensão e temperatura para cada concentração das soluções de água-brometo de lítio.

Dados para LiBr53%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.334	1.054	25,31
1	1.334	1.056	25,31
2	1.334	1.056	25,31
3	1.334	1.054	25,31
4	1.334	1.057	25,31
5	1.334	1.054	25,31
6	1.334	1.056	25,31
7	1.334	1.057	25,31
8	1.334	1.054	25,31
9	1.334	1.057	25,31
10	1.334	1.056	25,31
11	1.335	1.055	25,31
12	1.335	1.057	25,31
13	1.335	1.055	25,31
14	1.334	1.055	25,31
15	1.335	1.057	25,31
16	1.335	1.054	25,31
17	1.333	1.056	25,31
18	1.333	1.056	25,31
19	1.331	1.054	25,31
20	1.334	1.057	25,31
21	1.334	1.055	25,31
22	1.333	1.056	25,31
23	1.333	1.057	25,31
24	1.333	1.054	25,31
25	1.333	1.057	25,31
26	1.332	1.056	25,31
27	1.333	1.055	25,31
28	1.334	1.057	25,31
29	1.334	1.054	25,31
30	1.334	1.057	25,31
31	1.334	1.056	25,31
32	1.334	1.055	25,31
33	1.334	1.057	25,31
34	1.334	1.054	25,31
35	1.334	1.056	25,31
36	1.334	1.057	25,31
37	1.334	1.054	25,31

38	1.334	1.057	25,31
39	1.334	1.055	25,31
40	1.334	1.055	25,31
41	1.334	1.057	25,31
42	1.334	1.054	25,31
43	1.334	1.057	25,31
44	1.334	1.054	25,31
45	1.334	1.056	25,31
46	1.334	1.056	25,31
47	1.334	1.055	25,31
48	1.334	1.057	25,31
49	1.335	1.054	25,31
50	1.335	1.057	25,31
51	1.335	1.055	25,31
52	1.335	1.056	25,31
53	1.335	1.057	25,31
54	1.335	1.054	25,31
55	1.335	1.057	25,31
56	1.334	1.055	25,31
57	1.335	1.056	25,31
58	1.335	1.056	25,31
59	1.335	1.054	25,31
60	1.335	1.057	25,31
61	1.335	1.054	25,31
62	1.335	1.056	25,31
63	1.335	1.056	25,31
64	1.335	1.054	25,31
65	1.335	1.057	25,31
66	1.335	1.054	25,31
67	1.335	1.056	25,31
68	1.335	1.056	25,31
69	1.335	1.054	25,31
70	1.335	1.057	25,31
71	1.335	1.054	25,31
72	1.335	1.057	25,31
73	1.335	1.056	25,31
74	1.335	1.055	25,31
75	1.335	1.057	25,31
76	1.334	1.054	25,31
77	1.334	1.057	25,31
78	1.335	1.056	25,31

79	1.335	1.055	25,31
80	1.335	1.057	25,31
81	1.336	1.054	25,38
82	1.335	1.057	25,31
83	1.335	1.055	25,38
84	1.335	1.056	25,31
85	1.335	1.056	25,38
86	1.335	1.055	25,31
87	1.335	1.057	25,38
88	1.336	1.054	25,31
89	1.336	1.056	25,31
90	1.336	1.055	25,38
91	1.336	1.055	25,31
92	1.336	1.057	25,31
93	1.336	1.054	25,38
94	1.336	1.057	25,38
95	1.335	1.054	25,31
96	1.335	1.056	25,38
97	1.335	1.056	25,38
98	1.335	1.054	25,31
99	1.335	1.057	25,31
100	1.335	1.054	25,38
101	1.335	1.057	25,38
102	1.335	1.055	25,38
103	1.334	1.055	25,38
104	1.335	1.057	25,38
105	1.335	1.054	25,31
106	1.335	1.058	25,38
107	1.335	1.055	25,38
108	1.335	1.056	25,38
109	1.335	1.056	25,31
110	1.335	1.055	25,38
111	1.331	1.057	25,38
112	1.336	1.054	25,38
113	1.336	1.057	25,31
114	1.336	1.055	25,38
115	1.336	1.055	25,38
116	1.336	1.057	25,31
117	1.336	1.054	25,38
118	1.336	1.057	25,38
119	1.336	1.055	25,38

120	1.336	1.055	25,38
121	1.336	1.057	25,38
122	1.336	1.054	25,38
123	1.336	1.057	25,38
124	1.336	1.055	25,38
125	1.336	1.055	25,38
126	1.336	1.057	25,38
127	1.336	1.054	25,38
128	1.336	1.057	25,38
129	1.336	1.056	25,38
130	1.336	1.055	25,38
131	1.336	1.057	25,38
132	1.336	1.055	25,38
133	1.336	1.056	25,38
134	1.335	1.056	25,38
135	1.334	1.054	25,38
136	1.332	1.057	25,38
137	1.331	1.055	25,38
138	1.331	1.055	25,38
139	1.330	1.057	25,38
140	1.330	1.054	25,38
141	1.332	1.057	25,38
142	1.335	1.056	25,38
143	1.334	1.055	25,38
144	1.334	1.057	25,38
145	1.336	1.054	25,38
146	1.336	1.056	25,38
147	1.336	1.057	25,38
148	1.337	1.054	25,38
149	1.337	1.057	25,38
150	1.336	1.055	25,38
151	1.336	1.055	25,38
152	1.336	1.057	25,38
153	1.336	1.054	25,38
154	1.336	1.057	25,38
155	1.336	1.056	25,38
156	1.335	1.055	25,38
157	1.333	1.057	25,38
158	1.335	1.054	25,38
159	1.335	1.057	25,38
160	1.333	1.056	25,38

161	1.332	1.054	25,38
162	1.331	1.057	25,38
163	1.334	1.054	25,38
164	1.335	1.057	25,38
165	1.335	1.056	25,38
166	1.335	1.055	25,38
167	1.335	1.057	25,38
168	1.335	1.054	25,38
169	1.332	1.057	25,38
170	1.332	1.056	25,38
171	1.334	1.054	25,38
172	1.335	1.057	25,38
173	1.335	1.054	25,38
174	1.334	1.057	25,38
175	1.335	1.056	25,38
176	1.335	1.055	25,38
177	1.335	1.057	25,38
178	1.335	1.054	25,38
179	1.335	1.057	25,38
180	1.335	1.056	25,38
181	1.335	1.055	25,38
182	1.335	1.057	25,38
183	1.335	1.054	25,38
184	1.335	1.057	25,38
185	1.332	1.056	25,38
186	1.335	1.055	25,38
187	1.336	1.057	25,38
188	1.336	1.054	25,38
189	1.335	1.057	25,38
190	1.334	1.055	25,38
191	1.329	1.055	25,38
192	1.332	1.056	25,38
193	1.331	1.054	25,38
194	1.333	1.057	25,38
195	1.333	1.055	25,38
196	1.333	1.056	25,38
197	1.333	1.056	25,38
198	1.333	1.054	25,38
199	1.334	1.057	25,38
200	1.334	1.054	25,38
201	1.334	1.057	25,38

Dados para LiBr55%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.334	1.054	25,38
1	1.334	1.056	25,38
2	1.334	1.057	25,38
3	1.334	1.054	25,38
4	1.334	1.057	25,38
5	1.334	1.055	25,38
6	1.334	1.055	25,38
7	1.334	1.057	25,38
8	1.334	1.054	25,38
9	1.334	1.056	25,38
10	1.334	1.056	25,38
11	1.334	1.054	25,38
12	1.334	1.057	25,38
13	1.334	1.055	25,38
14	1.334	1.055	25,38
15	1.334	1.057	25,38
16	1.334	1.054	25,38
17	1.334	1.057	25,38
18	1.334	1.055	25,38
19	1.334	1.055	25,38
20	1.334	1.057	25,38
21	1.334	1.054	25,38
22	1.334	1.057	25,38
23	1.334	1.055	25,38
24	1.334	1.056	25,38
25	1.334	1.056	25,38
26	1.334	1.054	25,38
27	1.334	1.057	25,38
28	1.335	1.054	25,38
29	1.334	1.056	25,38
30	1.334	1.056	25,38
31	1.334	1.054	25,38
32	1.334	1.057	25,38
33	1.335	1.054	25,38
34	1.334	1.056	25,38
35	1.334	1.057	25,38
36	1.335	1.054	25,38
37	1.335	1.057	25,38

38	1.335	1.055	25,38
39	1.334	1.055	25,38
40	1.333	1.057	25,38
41	1.331	1.054	25,38
42	1.334	1.057	25,38
43	1.335	1.055	25,38
44	1.335	1.055	25,38
45	1.335	1.057	25,38
46	1.335	1.054	25,38
47	1.335	1.057	25,38
48	1.335	1.055	25,38
49	1.335	1.055	25,38
50	1.335	1.057	25,38
51	1.335	1.054	25,38
52	1.335	1.056	25,38
53	1.335	1.055	25,38
54	1.335	1.054	25,38
55	1.335	1.057	25,38
56	1.335	1.055	25,38
57	1.335	1.056	25,38
58	1.335	1.056	25,38
59	1.335	1.054	25,38
60	1.335	1.057	25,38
61	1.335	1.055	25,38
62	1.335	1.055	25,38
63	1.335	1.057	25,38
64	1.334	1.054	25,38
65	1.332	1.056	25,38
66	1.334	1.055	25,38
67	1.334	1.055	25,38
68	1.335	1.057	25,38
69	1.335	1.054	25,38
70	1.334	1.056	25,38
71	1.335	1.055	25,38
72	1.334	1.055	25,38
73	1.333	1.057	25,38
74	1.333	1.054	25,38
75	1.335	1.056	25,38
76	1.336	1.055	25,38
77	1.335	1.055	25,38
78	1.336	1.057	25,38

79	1.336	1.054	25,38
80	1.336	1.056	25,38
81	1.336	1.055	25,38
82	1.336	1.055	25,38
83	1.336	1.057	25,31
84	1.336	1.054	25,38
85	1.336	1.056	25,38
86	1.336	1.055	25,38
87	1.336	1.055	25,31
88	1.336	1.057	25,38
89	1.336	1.054	25,38
90	1.336	1.056	25,38
91	1.336	1.056	25,38
92	1.334	1.054	25,38
93	1.330	1.057	25,38
94	1.333	1.055	25,38
95	1.334	1.055	25,38
96	1.334	1.056	25,31
97	1.335	1.054	25,38
98	1.335	1.057	25,38
99	1.335	1.054	25,38
100	1.335	1.056	25,31
101	1.336	1.056	25,38
102	1.336	1.054	25,31
103	1.335	1.057	25,31
104	1.335	1.054	25,31
105	1.335	1.057	25,31
106	1.336	1.055	25,31
107	1.335	1.055	25,38
108	1.336	1.057	25,38
109	1.336	1.054	25,31
110	1.336	1.057	25,38
111	1.336	1.054	25,38
112	1.336	1.056	25,31
113	1.336	1.056	25,31
114	1.336	1.054	25,38
115	1.336	1.057	25,31
116	1.337	1.054	25,31
117	1.336	1.056	25,31
118	1.336	1.056	25,31
119	1.336	1.054	25,31

120	1.336	1.057	25,31
121	1.337	1.054	25,31
122	1.336	1.056	25,31
123	1.336	1.057	25,31
124	1.336	1.054	25,31
125	1.336	1.057	25,31
126	1.337	1.054	25,31
127	1.337	1.055	25,31
128	1.337	1.057	25,31
129	1.337	1.054	25,31
130	1.337	1.057	25,31
131	1.337	1.054	25,31
132	1.337	1.055	25,31
133	1.337	1.057	25,31
134	1.337	1.054	25,31
135	1.337	1.057	25,31
136	1.337	1.054	25,31
137	1.337	1.055	25,31
138	1.337	1.057	25,31
139	1.337	1.054	25,31
140	1.337	1.057	25,31
141	1.337	1.055	25,31
142	1.337	1.055	25,31
143	1.337	1.057	25,31
144	1.337	1.054	25,31
145	1.337	1.057	25,31
146	1.337	1.055	25,31
147	1.337	1.054	25,31
148	1.337	1.057	25,31
149	1.337	1.054	25,31
150	1.337	1.056	25,31
151	1.337	1.056	25,31
152	1.337	1.054	25,31
153	1.337	1.057	25,31
154	1.337	1.054	25,31
155	1.337	1.056	25,31
156	1.337	1.057	25,31
157	1.336	1.054	25,31
158	1.335	1.057	25,31
159	1.337	1.054	25,31
160	1.337	1.055	25,31

161	1.337	1.057	25,31
162	1.337	1.054	25,31
163	1.337	1.056	25,31
164	1.337	1.055	25,31
165	1.337	1.054	25,31
166	1.337	1.057	25,31
167	1.337	1.055	25,31
168	1.337	1.055	25,31
169	1.337	1.056	25,31
170	1.337	1.054	25,31
171	1.337	1.057	25,31
172	1.337	1.055	25,31
173	1.337	1.055	25,31
174	1.337	1.057	25,31
175	1.337	1.054	25,31
176	1.337	1.056	25,31
177	1.337	1.056	25,31
178	1.337	1.054	25,31
179	1.337	1.057	25,31
180	1.337	1.055	25,31
181	1.337	1.055	25,31
182	1.337	1.057	25,31
183	1.337	1.054	25,31
184	1.337	1.057	25,31
185	1.337	1.055	25,31
186	1.337	1.055	25,31
187	1.337	1.057	25,31
188	1.337	1.054	25,31
189	1.337	1.057	25,31
190	1.337	1.055	25,31
191	1.337	1.055	25,31
192	1.337	1.057	25,31
193	1.337	1.054	25,31
194	1.337	1.057	25,31
195	1.337	1.055	25,31
196	1.337	1.055	25,31
197	1.337	1.057	25,31
198	1.337	1.054	25,31
199	1.337	1.057	25,31
200	1.337	1.055	25,31
201	1.337	1.055	25,31

Dados para LiBr56%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
8	1.302	1.056	25,31
9	1.304	1.053	25,25
10	1.310	1.056	25,25
11	1.296	1.054	25,25
12	1.284	1.054	25,25
13	1.276	1.055	25,31
14	1.296	1.053	25,31
15	1.297	1.056	25,25
16	1.302	1.054	25,25
17	1.288	1.054	25,25
18	1.296	1.055	25,25
19	1.317	1.053	25,25
20	1.317	1.056	25,25
21	1.319	1.055	25,25
22	1.314	1.054	25,25
23	1.311	1.056	25,25
24	1.320	1.053	25,25
25	1.322	1.056	25,25
26	1.324	1.055	25,25
27	1.324	1.054	25,25
28	1.324	1.056	25,25
29	1.324	1.054	25,25
30	1.324	1.056	25,25
31	1.324	1.055	25,25
32	1.325	1.054	25,25
33	1.325	1.056	25,25
34	1.326	1.054	25,25
35	1.326	1.057	25,25
36	1.326	1.055	25,25
37	1.326	1.055	25,25
38	1.326	1.056	25,25
39	1.327	1.054	25,25
40	1.327	1.057	25,25
41	1.327	1.054	25,25
42	1.327	1.056	25,25
43	1.327	1.056	25,25
44	1.327	1.054	25,25
45	1.327	1.057	25,25

46	1.328	1.054	25,25
47	1.328	1.056	25,25
48	1.328	1.055	25,25
49	1.327	1.054	25,25
50	1.328	1.057	25,25
51	1.328	1.053	25,25
52	1.328	1.057	25,25
53	1.328	1.055	25,25
54	1.328	1.054	25,25
55	1.328	1.057	25,25
56	1.329	1.053	25,25
57	1.328	1.057	25,25
58	1.329	1.055	25,25
59	1.329	1.054	25,25
60	1.329	1.057	25,25
61	1.329	1.054	25,25
62	1.329	1.056	25,25
63	1.329	1.055	25,25
64	1.330	1.054	25,25
65	1.330	1.057	25,25
66	1.330	1.054	25,25
67	1.330	1.055	25,25
68	1.330	1.056	25,25
69	1.330	1.054	25,25
70	1.330	1.057	25,25
71	1.330	1.054	25,25
72	1.330	1.055	25,25
73	1.330	1.056	25,25
74	1.330	1.054	25,25
75	1.330	1.057	25,25
76	1.330	1.054	25,25
77	1.329	1.055	25,25
78	1.330	1.056	25,25
79	1.330	1.054	25,25
80	1.330	1.057	25,25
81	1.330	1.054	25,25
82	1.330	1.056	25,25
83	1.330	1.055	25,25
84	1.330	1.054	25,25
85	1.330	1.057	25,25
86	1.330	1.054	25,25

87	1.330	1.057	25,25
88	1.330	1.055	25,25
89	1.330	1.055	25,25
90	1.330	1.056	25,25
91	1.331	1.054	25,25
92	1.331	1.057	25,25
93	1.331	1.054	25,25
94	1.330	1.056	25,25
95	1.331	1.055	25,25
96	1.330	1.055	25,25
97	1.330	1.056	25,25
98	1.330	1.054	25,25
99	1.330	1.057	25,25
100	1.330	1.053	25,25
101	1.330	1.056	25,25
102	1.331	1.055	25,25
103	1.330	1.054	25,25
104	1.331	1.057	25,25
105	1.331	1.054	25,25
106	1.331	1.057	25,25
107	1.331	1.055	25,25
108	1.331	1.055	25,25
109	1.330	1.056	25,25
110	1.330	1.054	25,25
111	1.330	1.057	25,25
112	1.327	1.055	25,25
113	1.329	1.054	25,25
114	1.329	1.056	25,25
115	1.330	1.054	25,25
116	1.327	1.057	25,25
117	1.330	1.055	25,25
118	1.331	1.054	25,25
119	1.332	1.057	25,25
120	1.332	1.054	25,25
121	1.332	1.057	25,25
122	1.332	1.055	25,25
123	1.332	1.055	25,25
124	1.332	1.057	25,25
125	1.332	1.054	25,25
126	1.332	1.056	25,25
127	1.332	1.055	25,25

128	1.332	1.055	25,25
129	1.332	1.057	25,25
130	1.332	1.054	25,25
131	1.332	1.057	25,25
132	1.332	1.055	25,25
133	1.332	1.055	25,25
134	1.332	1.056	25,25
135	1.332	1.054	25,25
136	1.332	1.057	25,25
137	1.332	1.055	25,25
138	1.332	1.055	25,25
139	1.332	1.056	25,25
140	1.332	1.054	25,25
141	1.332	1.057	25,25
142	1.332	1.055	25,25
143	1.332	1.055	25,25
144	1.332	1.056	25,25
145	1.332	1.054	25,25
146	1.332	1.057	25,25
147	1.332	1.055	25,25

Dados para LiBr58%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.338	1.057	25,19
1	1.337	1.058	25,19
2	1.337	1.057	25,19
3	1.335	1.057	25,19
4	1.337	1.058	25,19
5	1.337	1.057	25,19
6	1.338	1.058	25,19
7	1.338	1.057	25,19
8	1.338	1.057	25,19
9	1.339	1.058	25,19
10	1.339	1.057	25,19
11	1.339	1.058	25,19
12	1.339	1.057	25,19
13	1.339	1.056	25,19
14	1.339	1.058	25,19
15	1.340	1.056	25,19
16	1.339	1.057	25,19
17	1.339	1.058	25,19
18	1.339	1.056	25,19
19	1.339	1.058	25,19
20	1.340	1.056	25,19
21	1.340	1.057	25,19
22	1.340	1.058	25,19
23	1.340	1.056	25,19
24	1.340	1.058	25,19
25	1.340	1.056	25,19
26	1.340	1.057	25,19
27	1.340	1.058	25,19
28	1.340	1.056	25,19
29	1.340	1.058	25,19
30	1.341	1.056	25,19
31	1.340	1.057	25,19
32	1.341	1.057	25,19
33	1.341	1.056	25,19
34	1.341	1.058	25,19
35	1.340	1.056	25,19
36	1.340	1.058	25,19
37	1.341	1.057	25,19

38	1.341	1.057	25,19
39	1.341	1.058	25,19
40	1.342	1.056	25,19
41	1.342	1.058	25,19
42	1.342	1.056	25,19
43	1.342	1.057	25,19
44	1.342	1.057	25,19
45	1.342	1.056	25,19
46	1.342	1.058	25,19
47	1.342	1.056	25,19
48	1.342	1.058	25,19
49	1.337	1.057	25,19
50	1.341	1.056	25,19
51	1.342	1.058	25,19
52	1.342	1.055	25,19
53	1.342	1.058	25,19
54	1.342	1.056	25,19
55	1.342	1.056	25,19
56	1.342	1.058	25,19
57	1.342	1.056	25,19
58	1.342	1.058	25,19
59	1.342	1.056	25,19
60	1.342	1.057	25,19
61	1.342	1.057	25,19
62	1.342	1.056	25,19
63	1.342	1.058	25,19
64	1.342	1.056	25,19
65	1.340	1.057	25,19
66	1.340	1.057	25,19
67	1.341	1.056	25,19
68	1.338	1.058	25,19
69	1.341	1.055	25,19
70	1.342	1.058	25,19
71	1.342	1.056	25,19
72	1.342	1.057	25,19
73	1.342	1.057	25,19
74	1.342	1.056	25,19
75	1.342	1.058	25,19
76	1.343	1.056	25,19
77	1.342	1.058	25,19
78	1.343	1.057	25,19

79	1.342	1.056	25,19
80	1.340	1.058	25,19
81	1.340	1.055	25,19
82	1.340	1.058	25,19
83	1.340	1.056	25,19
84	1.342	1.056	25,19
85	1.341	1.057	25,25
86	1.342	1.055	25,19
87	1.341	1.058	25,19
88	1.341	1.055	25,19
89	1.341	1.055	25,19
90	1.339	1.057	25,19
91	1.341	1.055	25,19
92	1.341	1.057	25,19
93	1.342	1.056	25,19
94	1.342	1.055	25,19
95	1.341	1.057	25,19
96	1.341	1.054	25,19
97	1.342	1.057	25,19
98	1.343	1.056	25,19
99	1.343	1.055	25,19
100	1.343	1.057	25,19
101	1.343	1.055	25,19
102	1.343	1.057	25,19
103	1.343	1.055	25,25
104	1.341	1.055	25,19
105	1.341	1.057	25,19
106	1.337	1.055	25,19
107	1.341	1.058	25,19
108	1.343	1.056	25,19
109	1.342	1.056	25,19
110	1.342	1.057	25,19
111	1.343	1.055	25,19
112	1.343	1.058	25,19
113	1.343	1.055	25,19
114	1.343	1.056	25,19
115	1.343	1.057	25,19
116	1.343	1.055	25,25
117	1.343	1.057	25,19
118	1.343	1.055	25,19
119	1.343	1.056	25,19

120	1.343	1.057	25,19
121	1.343	1.054	25,19
122	1.343	1.057	25,19
123	1.343	1.055	25,19
124	1.342	1.056	25,19
125	1.343	1.056	25,19
126	1.343	1.055	25,19
127	1.343	1.057	25,19
128	1.343	1.055	25,19
129	1.343	1.057	25,19
130	1.343	1.055	25,19
131	1.343	1.055	25,19
132	1.343	1.057	25,19
133	1.343	1.054	25,19
134	1.343	1.057	25,19
135	1.343	1.055	25,19
136	1.342	1.056	25,19
137	1.343	1.057	25,19
138	1.343	1.054	25,19
139	1.343	1.057	25,19
140	1.343	1.055	25,19
141	1.343	1.056	25,19
142	1.343	1.057	25,19
143	1.343	1.054	25,19
144	1.343	1.057	25,19
145	1.344	1.055	25,19
146	1.343	1.056	25,19
147	1.343	1.057	25,19
148	1.343	1.054	25,19
149	1.343	1.057	25,19
150	1.343	1.056	25,19
151	1.343	1.054	25,25
152	1.343	1.057	25,19
153	1.343	1.054	25,19
154	1.344	1.056	25,19
155	1.344	1.057	25,19
156	1.344	1.055	25,25
157	1.343	1.057	25,19
158	1.342	1.056	25,25
159	1.341	1.056	25,19
160	1.340	1.057	25,19

161	1.342	1.055	25,19
162	1.342	1.056	25,19
163	1.344	1.057	25,19
164	1.344	1.055	25,19
165	1.341	1.057	25,19
166	1.341	1.056	25,25
167	1.341	1.055	25,19
168	1.341	1.057	25,19
169	1.341	1.055	25,19
170	1.343	1.056	25,19
171	1.344	1.057	25,19
172	1.343	1.055	25,19
173	1.344	1.057	25,19
174	1.344	1.056	25,19
175	1.344	1.055	25,19
176	1.344	1.058	25,19
177	1.344	1.055	25,19
178	1.344	1.057	25,25
179	1.344	1.057	25,19
180	1.344	1.055	25,19
181	1.344	1.058	25,25
182	1.344	1.055	25,19
183	1.344	1.057	25,19
184	1.344	1.057	25,19
185	1.344	1.054	25,19
186	1.344	1.058	25,19
187	1.345	1.055	25,19
188	1.345	1.056	25,19
189	1.344	1.057	25,19
190	1.345	1.055	25,19
191	1.344	1.057	25,19
192	1.345	1.055	25,19
193	1.344	1.057	25,19
194	1.344	1.057	25,19
195	1.344	1.055	25,19
196	1.344	1.057	25,19
197	1.345	1.055	25,19
198	1.344	1.056	25,19
199	1.344	1.056	25,19
200	1.344	1.054	25,19
201	1.344	1.057	25,19

Dados para LiBr60%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.306	1.057	25,19
1	1.307	1.056	25,19
2	1.306	1.055	25,19
3	1.306	1.057	25,19
4	1.307	1.054	25,19
5	1.306	1.057	25,19
6	1.307	1.056	25,19
7	1.307	1.054	25,19
8	1.307	1.057	25,19
9	1.307	1.055	25,19
10	1.307	1.055	25,19
11	1.307	1.057	25,19
12	1.307	1.054	25,19
13	1.307	1.057	25,19
14	1.307	1.056	25,19
15	1.307	1.054	25,19
16	1.307	1.057	25,19
17	1.307	1.055	25,19
18	1.308	1.056	25,19
19	1.306	1.057	25,19
20	1.308	1.054	25,19
21	1.309	1.056	25,19
22	1.309	1.056	25,19
23	1.309	1.055	25,19
24	1.309	1.057	25,19
25	1.309	1.055	25,19
26	1.309	1.055	25,19
27	1.309	1.057	25,19
28	1.309	1.054	25,19
29	1.309	1.057	25,19
30	1.309	1.056	25,19
31	1.309	1.055	25,19
32	1.309	1.057	25,19
33	1.310	1.054	25,19
34	1.309	1.056	25,19
35	1.309	1.057	25,19
36	1.309	1.054	25,19
37	1.310	1.057	25,19

38	1.310	1.055	25,19
39	1.310	1.056	25,19
40	1.310	1.057	25,19
41	1.310	1.055	25,19
42	1.310	1.057	25,19
43	1.310	1.055	25,19
44	1.310	1.056	25,19
45	1.310	1.057	25,19
46	1.310	1.055	25,19
47	1.310	1.057	25,19
48	1.310	1.055	25,19
49	1.310	1.056	25,19
50	1.309	1.057	25,19
51	1.309	1.055	25,19
52	1.309	1.057	25,19
53	1.309	1.055	25,19
54	1.309	1.056	25,19
55	1.310	1.057	25,19
56	1.310	1.055	25,19
57	1.310	1.057	25,19
58	1.310	1.055	25,19
59	1.310	1.056	25,19
60	1.310	1.057	25,19
61	1.309	1.055	25,19
62	1.309	1.057	25,19
63	1.309	1.056	25,19
64	1.306	1.055	25,19
65	1.309	1.057	25,19
66	1.310	1.055	25,19
67	1.310	1.057	25,19
68	1.310	1.056	25,19
69	1.310	1.055	25,19
70	1.309	1.058	25,19
71	1.310	1.055	25,19
72	1.310	1.056	25,19
73	1.310	1.057	25,19
74	1.310	1.055	25,19
75	1.311	1.057	25,19
76	1.311	1.055	25,19
77	1.311	1.056	25,19
78	1.310	1.057	25,19

79	1.309	1.054	25,19
80	1.308	1.058	25,19
81	1.308	1.055	25,19
82	1.308	1.056	25,19
83	1.308	1.057	25,19
84	1.309	1.055	25,19
85	1.309	1.057	25,19
86	1.309	1.055	25,19
87	1.309	1.056	25,19
88	1.309	1.057	25,19
89	1.308	1.055	25,19
90	1.308	1.057	25,19
91	1.307	1.057	25,19
92	1.307	1.055	25,19
93	1.306	1.058	25,19
94	1.308	1.056	25,19
95	1.309	1.056	25,19
96	1.309	1.057	25,19
97	1.310	1.055	25,19
98	1.309	1.056	25,19
99	1.310	1.056	25,19
100	1.309	1.055	25,19
101	1.310	1.058	25,19
102	1.310	1.055	25,19
103	1.306	1.056	25,19
104	1.309	1.057	25,19
105	1.310	1.055	25,19
106	1.308	1.057	25,19
107	1.308	1.056	25,19
108	1.309	1.055	25,19
109	1.309	1.057	25,19
110	1.310	1.055	25,19
111	1.311	1.057	25,19
112	1.310	1.057	25,19
113	1.309	1.055	25,19
114	1.306	1.058	25,19
115	1.304	1.055	25,19
116	1.310	1.056	25,19
117	1.311	1.057	25,19
118	1.311	1.054	25,19
119	1.311	1.057	25,19

120	1.311	1.056	25,19
121	1.311	1.055	25,19
122	1.311	1.057	25,19
123	1.311	1.055	25,19
124	1.311	1.056	25,19
125	1.311	1.057	25,19
126	1.311	1.054	25,19
127	1.311	1.056	25,19
128	1.311	1.056	25,19
129	1.311	1.054	25,19
130	1.311	1.057	25,19
131	1.311	1.055	25,19
132	1.311	1.055	25,19
133	1.311	1.057	25,19
134	1.311	1.054	25,19
135	1.311	1.057	25,19
136	1.311	1.057	25,19
137	1.311	1.054	25,19
138	1.311	1.057	25,19
139	1.311	1.055	25,19
140	1.311	1.055	25,19
141	1.311	1.057	25,19
142	1.311	1.055	25,19
143	1.311	1.056	25,19
144	1.311	1.056	25,19
145	1.311	1.055	25,19
146	1.311	1.057	25,19
147	1.311	1.056	25,19
148	1.311	1.056	25,19
149	1.311	1.057	25,19
150	1.311	1.055	25,19
151	1.311	1.056	25,19
152	1.311	1.056	25,19
153	1.311	1.055	25,19
154	1.311	1.057	25,19
155	1.311	1.055	25,19
156	1.311	1.055	25,19
157	1.311	1.057	25,19
158	1.311	1.054	25,19
159	1.311	1.057	25,19
160	1.311	1.056	25,19

161	1.311	1.055	25,19
162	1.311	1.057	25,19
163	1.311	1.054	25,19
164	1.311	1.056	25,19
165	1.312	1.057	25,19
166	1.311	1.054	25,19
167	1.311	1.057	25,19
168	1.312	1.055	25,19
169	1.311	1.055	25,19
170	1.311	1.057	25,19
171	1.311	1.055	25,19
172	1.311	1.056	25,19
173	1.311	1.056	25,19
174	1.311	1.054	25,19
175	1.311	1.057	25,19
176	1.311	1.056	25,19
177	1.312	1.055	25,19
178	1.311	1.057	25,19
179	1.312	1.055	25,19
180	1.311	1.055	25,19
181	1.311	1.057	25,19
182	1.311	1.055	25,19
183	1.311	1.058	25,19
184	1.312	1.056	25,19
185	1.312	1.056	25,19
186	1.312	1.057	25,19
187	1.312	1.055	25,19
188	1.312	1.057	25,19
189	1.312	1.056	25,19
190	1.311	1.056	25,19
191	1.312	1.057	25,19
192	1.312	1.055	25,19
193	1.312	1.058	25,19
194	1.311	1.056	25,19
195	1.312	1.056	25,19
196	1.312	1.057	25,19
197	1.312	1.055	25,19
198	1.312	1.058	25,19
199	1.312	1.056	25,19
200	1.311	1.056	25,19
201	1.312	1.057	25,19

Dados para LiBr62%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.324	1.056	25,13
1	1.325	1.054	25,13
2	1.325	1.056	25,13
3	1.326	1.055	25,13
4	1.326	1.055	25,13
5	1.327	1.057	25,13
6	1.327	1.054	25,13
7	1.327	1.056	25,13
8	1.326	1.056	25,13
9	1.326	1.054	25,13
10	1.326	1.057	25,13
11	1.326	1.055	25,13
12	1.326	1.055	25,13
13	1.325	1.057	25,13
14	1.325	1.054	25,13
15	1.326	1.056	25,13
16	1.327	1.056	25,13
17	1.327	1.054	25,13
18	1.327	1.057	25,13
19	1.328	1.054	25,13
20	1.327	1.055	25,13
21	1.328	1.057	25,13
22	1.328	1.054	25,13
23	1.328	1.057	25,13
24	1.328	1.055	25,13
25	1.328	1.055	25,13
26	1.328	1.057	25,13
27	1.329	1.054	25,13
28	1.329	1.057	25,13
29	1.329	1.055	25,13
30	1.328	1.055	25,13
31	1.327	1.057	25,13
32	1.327	1.054	25,13
33	1.328	1.057	25,13
34	1.329	1.056	25,13
35	1.329	1.054	25,13
36	1.329	1.057	25,13
37	1.329	1.055	25,13

38	1.329	1.056	25,13
39	1.329	1.056	25,13
40	1.330	1.054	25,13
41	1.330	1.057	25,13
42	1.330	1.055	25,13
43	1.330	1.055	25,13
44	1.330	1.057	25,13
45	1.330	1.054	25,13
46	1.330	1.056	25,13
47	1.331	1.056	25,13
48	1.331	1.055	25,19
49	1.331	1.057	25,13
50	1.331	1.054	25,13
51	1.331	1.055	25,13
52	1.331	1.056	25,13
53	1.331	1.054	25,13
54	1.331	1.057	25,13
55	1.331	1.055	25,13
56	1.331	1.055	25,13
57	1.331	1.057	25,13
58	1.331	1.054	25,13
59	1.331	1.056	25,13
60	1.331	1.057	25,13
61	1.331	1.054	25,13
62	1.331	1.057	25,13
63	1.331	1.056	25,13
64	1.331	1.054	25,13
65	1.331	1.057	25,13
66	1.331	1.055	25,13
67	1.331	1.056	25,13
68	1.332	1.057	25,13
69	1.332	1.055	25,13
70	1.331	1.056	25,13
71	1.332	1.056	25,13
72	1.332	1.055	25,13
73	1.332	1.057	25,13
74	1.332	1.055	25,13
75	1.332	1.055	25,13
76	1.332	1.057	25,13
77	1.332	1.055	25,13
78	1.332	1.057	25,13

79	1.332	1.056	25,13
80	1.332	1.055	25,13
81	1.332	1.057	25,13
82	1.332	1.055	25,13
83	1.332	1.056	25,13
84	1.332	1.057	25,13
85	1.333	1.055	25,13
86	1.332	1.057	25,13
87	1.332	1.055	25,13
88	1.332	1.055	25,13
89	1.332	1.057	25,13
90	1.333	1.055	25,13
91	1.332	1.057	25,13
92	1.329	1.056	25,13
93	1.330	1.055	25,13
94	1.330	1.057	25,13
95	1.331	1.055	25,13
96	1.331	1.057	25,13
97	1.331	1.056	25,13
98	1.331	1.055	25,13
99	1.332	1.057	25,13
100	1.332	1.055	25,13
101	1.332	1.057	25,13
102	1.332	1.056	25,13
103	1.333	1.055	25,13
104	1.333	1.057	25,13
105	1.333	1.054	25,13
106	1.333	1.057	25,13
107	1.333	1.055	25,13
108	1.333	1.055	25,13
109	1.333	1.057	25,13
110	1.333	1.054	25,13
111	1.333	1.057	25,13
112	1.333	1.055	25,13
113	1.333	1.055	25,13
114	1.333	1.057	25,13
115	1.333	1.055	25,13
116	1.333	1.057	25,13
117	1.334	1.056	25,13
118	1.333	1.055	25,13
119	1.333	1.057	25,13

120	1.334	1.055	25,13
121	1.333	1.056	25,13
122	1.334	1.057	25,13
123	1.334	1.054	25,13
124	1.334	1.057	25,13
125	1.334	1.055	25,13
126	1.334	1.056	25,13
127	1.334	1.057	25,13
128	1.334	1.055	25,13
129	1.334	1.057	25,13
130	1.334	1.055	25,13
131	1.334	1.056	25,13
132	1.334	1.057	25,13
133	1.334	1.055	25,13
134	1.334	1.057	25,13
135	1.334	1.055	25,13
136	1.334	1.056	25,13
137	1.334	1.057	25,13
138	1.334	1.054	25,13
139	1.334	1.057	25,13
140	1.335	1.055	25,13
141	1.334	1.056	25,13
142	1.335	1.057	25,13
143	1.335	1.055	25,13
144	1.335	1.057	25,13
145	1.335	1.055	25,13
146	1.335	1.056	25,13
147	1.335	1.057	25,13
148	1.335	1.055	25,13
149	1.335	1.057	25,13
150	1.335	1.056	25,13
151	1.335	1.055	25,13
152	1.335	1.058	25,13
153	1.335	1.055	25,13
154	1.335	1.057	25,13
155	1.335	1.057	25,13
156	1.335	1.055	25,13
157	1.335	1.057	25,13
158	1.335	1.056	25,13
159	1.335	1.056	25,13
160	1.335	1.057	25,13

161	1.335	1.055	25,13
162	1.335	1.056	25,13
163	1.335	1.057	25,13
164	1.335	1.055	25,13
165	1.335	1.057	25,13
166	1.335	1.056	25,13
167	1.335	1.055	25,13
168	1.335	1.057	25,13
169	1.335	1.055	25,13
170	1.335	1.057	25,13
171	1.335	1.057	25,13
172	1.335	1.055	25,13
173	1.335	1.058	25,13
174	1.335	1.055	25,13
175	1.335	1.056	25,13
176	1.335	1.057	25,13
177	1.335	1.055	25,13
178	1.335	1.057	25,13
179	1.336	1.056	25,13
180	1.336	1.055	25,13
181	1.335	1.057	25,13
182	1.336	1.055	25,13
183	1.336	1.057	25,13
184	1.336	1.057	25,13
185	1.336	1.055	25,13
186	1.336	1.057	25,19
187	1.336	1.056	25,13
188	1.336	1.056	25,13
189	1.335	1.057	25,13
190	1.336	1.055	25,13
191	1.335	1.057	25,13
192	1.335	1.056	25,13
193	1.335	1.055	25,13
194	1.336	1.058	25,13
195	1.336	1.055	25,13
196	1.336	1.056	25,13
197	1.336	1.057	25,13
198	1.336	1.055	25,13
199	1.336	1.058	25,13
200	1.336	1.056	25,13
201	1.336	1.056	25,13

Dados para LiBr64%

Pontos	Capacitor	Controle	Temperatura
0	1.338	1.058	25,06
1	1.337	1.059	25,06
2	1.338	1.058	25,06
3	1.338	1.058	25,06
4	1.338	1.058	25,06
5	1.338	1.058	25,06
6	1.338	1.059	25,06
7	1.338	1.058	25,06
8	1.338	1.058	25,06
9	1.337	1.058	25,06
10	1.338	1.058	25,06
11	1.338	1.058	25,06
12	1.338	1.059	25,06
13	1.338	1.058	25,06
14	1.338	1.058	25,06
15	1.338	1.058	25,06
16	1.338	1.058	25,06
17	1.338	1.058	25,06
18	1.338	1.058	25,06
19	1.338	1.058	25,06
20	1.338	1.059	25,06
21	1.338	1.058	25,06
22	1.338	1.058	25,06
23	1.338	1.058	25,06
24	1.338	1.058	25,06
25	1.338	1.058	25,06
26	1.338	1.058	25,06
27	1.338	1.058	25,06
28	1.338	1.058	25,06
29	1.338	1.058	25,06
30	1.338	1.058	25,06
31	1.338	1.058	25,06
32	1.338	1.058	25,06
33	1.338	1.059	25,06
34	1.338	1.058	25,06
35	1.338	1.058	25,06
36	1.338	1.059	25,06
37	1.338	1.058	25,06

38	1.338	1.059	25,06
39	1.338	1.058	25,06
40	1.338	1.058	25,06
41	1.338	1.059	25,06
42	1.338	1.058	25,06
43	1.338	1.058	25,06
44	1.338	1.058	25,06
45	1.338	1.058	25,06
46	1.338	1.059	25,06
47	1.338	1.058	25,06
48	1.338	1.058	25,06
49	1.338	1.058	25,06
50	1.338	1.058	25,06
51	1.338	1.059	25,06
52	1.338	1.058	25,06
53	1.338	1.058	25,06
54	1.338	1.058	25,06
55	1.338	1.058	25,06
56	1.338	1.058	25,06
57	1.338	1.058	25,06
58	1.338	1.058	25,06
59	1.338	1.059	25,06
60	1.338	1.058	25,06
61	1.338	1.058	25,06
62	1.338	1.058	25,06
63	1.338	1.058	25,06
64	1.338	1.059	25,06
65	1.338	1.058	25,06
66	1.338	1.058	25,06
67	1.338	1.059	25,06
68	1.338	1.058	25,06
69	1.338	1.058	25,06
70	1.338	1.058	25,06
71	1.338	1.058	25,06
72	1.338	1.059	25,06
73	1.338	1.058	25,06
74	1.338	1.058	25,06
75	1.338	1.059	25,06
76	1.338	1.058	25,06
77	1.338	1.058	25,06
78	1.338	1.058	25,06

79	1.338	1.058	25,06
80	1.336	1.058	25,06
81	1.337	1.058	25,06
82	1.336	1.058	25,06
83	1.335	1.059	25,06
84	1.337	1.058	25,06
85	1.338	1.058	25,06
86	1.338	1.059	25,06
87	1.338	1.058	25,06
88	1.338	1.059	25
89	1.337	1.058	25,06
90	1.338	1.058	25,06
91	1.338	1.059	25,06
92	1.338	1.058	25,06
93	1.338	1.058	25,06
94	1.338	1.059	25,06
95	1.338	1.058	25,06
96	1.337	1.058	25,06
97	1.337	1.058	25,06
98	1.336	1.058	25,06
99	1.338	1.059	25,06
100	1.338	1.058	25,06
101	1.338	1.058	25,06
102	1.338	1.058	25,06
103	1.338	1.058	25
104	1.338	1.058	25,06
105	1.338	1.058	25,06
106	1.338	1.058	25,06
107	1.338	1.058	25,06
108	1.338	1.058	25,06
109	1.338	1.058	25,06
110	1.338	1.058	25,06
111	1.338	1.058	25,06
112	1.338	1.058	25,06
113	1.338	1.058	25,06
114	1.338	1.058	25,06
115	1.338	1.058	25,06
116	1.337	1.058	25,06
117	1.337	1.059	25,06
118	1.338	1.058	25,06
119	1.338	1.058	25,06

120	1.338	1.058	25,06
121	1.338	1.058	25,06
122	1.338	1.058	25,06
123	1.338	1.058	25,06
124	1.338	1.058	25,06
125	1.338	1.059	25,06
126	1.338	1.058	25,06
127	1.338	1.058	25,06
128	1.338	1.059	25,06
129	1.338	1.058	25,06
130	1.338	1.058	25,06
131	1.338	1.058	25,06
132	1.338	1.058	25,06
133	1.338	1.058	25,06
134	1.338	1.058	25,06
135	1.338	1.058	25,06
136	1.338	1.059	25,06
137	1.338	1.058	25,06
138	1.338	1.058	25,06
139	1.337	1.058	25,06
140	1.337	1.058	25,06
141	1.337	1.058	25,06
142	1.335	1.058	25,06
143	1.335	1.058	25,06
144	1.335	1.058	25,06
145	1.336	1.058	25,06
146	1.337	1.058	25,06
147	1.338	1.058	25,06
148	1.338	1.058	25,06
149	1.338	1.059	25,06
150	1.338	1.058	25,06
151	1.338	1.058	25,06
152	1.335	1.058	25,06
153	1.334	1.058	25,06
154	1.337	1.059	25
155	1.338	1.058	25,06
156	1.338	1.058	25,06
157	1.338	1.059	25,06
158	1.338	1.058	25,06
159	1.338	1.058	25,06
160	1.338	1.058	25,06

161	1.338	1.058	25,06
162	1.338	1.059	25,06
163	1.338	1.058	25,06
164	1.338	1.058	25,06
165	1.338	1.059	25,06
166	1.338	1.058	25
167	1.338	1.058	25,06
168	1.338	1.058	25,06
169	1.337	1.058	25,06
170	1.338	1.059	25,06
171	1.337	1.058	25,06
172	1.336	1.058	25,06
173	1.337	1.058	25,06
174	1.337	1.058	25,06
175	1.337	1.058	25,06
176	1.337	1.058	25,06
177	1.338	1.058	25,06
178	1.338	1.058	25
179	1.338	1.058	25,06
180	1.338	1.058	25,06
181	1.338	1.058	25,06
182	1.338	1.058	25,06
183	1.338	1.058	25,06
184	1.338	1.058	25,06
185	1.338	1.058	25,06
186	1.338	1.058	25,06
187	1.338	1.058	25,06
188	1.338	1.058	25,06
189	1.338	1.058	25,06
190	1.338	1.058	25
191	1.338	1.058	25,06
192	1.338	1.059	25,06
193	1.338	1.058	25
194	1.338	1.058	25,06
195	1.338	1.058	25,06
196	1.338	1.058	25,06
197	1.338	1.058	25,06
198	1.338	1.058	25,06
199	1.338	1.058	25,06
200	1.338	1.059	25,06
201	1.338	1.058	25,06

