

VERONICA DE LIMA GONÇALVES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO METROLÓGICO DE
INCUBADORAS NEONATAIS EM HOSPITAL
PÚBLICO DE GRANDE PORTE E ALTA
COMPLEXIDADE UTILIZANDO SISTEMA DE COLETA
AUTOMATIZADO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

2018

VERONICA DE LIMA GONÇALVES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO METROLÓGICO DE INCUBADORAS
NEONATAIS EM HOSPITAL PÚBLICO DE GRANDE PORTE E ALTA
COMPLEXIDADE UTILIZANDO SISTEMA DE COLETA
AUTOMATIZADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

Área de Concentração: Engenharia Clínica.

Orientadora: Profa. Dra. Selma Terezinha Milagre

Coorientadora: Profa. Dra. Rosénda Valdés Arencibia

UBERLÂNDIA-MG

2018



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA



Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de: Dissertação de Mestrado Acadêmico 0462 /PPGEB
 Data: 21 de dezembro de 2018

Discente: Matrícula 1171261011 Nome Veronica de Bima Gonçalves
 Título do Trabalho: Análises do Desempenho Metrológico de Incubadoras neonatais em Hospital Público de Grande Porte e Alta Complexidade Utilizando Sistema *

Área de concentração: Engenharia Biomédica

Linha de pesquisa: Engenharia de Sistemas de Saúde

Projeto de Pesquisa de vinculação: GT462 - Desenvolvimento de uma metodologia para prevenção e tratamento de falhas humanas nos Centros de Operações da CEMIG.

As 9:35 horas do dia 21 de dezembro do ano de 2018 no Anfiteatro/sala - Campus Santa Mônica da Universidade

Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, assim composta pelos Professores Doutores:

Orientador: Selma Terezinha Bilate INSTITUIÇÃO: UFU
 Coorientadora Rosândea Valdés Frencibia INSTITUIÇÃO: UFU
Lacerdaire Kemel Pimenta Bury INSTITUIÇÃO: IF Goiano
Adriano Alves Pereira INSTITUIÇÃO: UFU

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa Dr. Selma Terezinha Bilate apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadore(a)s, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o(a) candidato(a) A provado(a)

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às 10 horas e 50 minutos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Rosândea Valdés Frencibia (UFU)

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira (UFU)

Prof. Dr. Lacerdaire Kemel Pimenta Bury (IF)

Prof. Dr. Selma Terezinha Bilate (UFU)
 Orientador(a)

* de Boleta Automatizada.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G635a
2018

Gonçalves, Veronica de Lima, 1993-

Avaliação do desempenho metrológico de incubadoras neonatais em hospital público de grande porte e alta complexidade utilizando sistema de coleta automatizado [recurso eletrônico] / Veronica de Lima Gonçalves . - 2018.

Orientadora: Selma Terezinha Milagre.

Coorientadora: Rosenda Valdés Arencibia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.303>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia biomédica. 2. Incubadoras para lactentes. 3. Controle de temperatura. 4. Medição. I. Milagre, Selma Terezinha, 1962- (Orient.). II. Valdés Arencibia, Rosénda, 1969- (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.

CDU: 62:61

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela sabedoria e à espiritualidade que se fizeram e fazem presente em todos os momentos da minha vida.

À minha família, em especial meus pais, Ronan e Lazara, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me incentivando para nunca desistir dos meus sonhos, sempre acreditando no meu potencial. Ao meu irmão João Carlos por todo apoio, incentivo e motivação.

Ao meu namorado, amigo e companheiro, Hugo Oliveira, por toda compreensão, carinho, paciência, ajuda e incentivo, que não mediu esforços para me ajudar durante a elaboração desse trabalho.

À Engenheira Biomédica Adrielle Moraes por toda ajuda no desenvolvimento do software.

Ao setor de Bioengenharia (HC-UFG), em especial à Engenheira Biomédica Carolina pelo apoio na realização dos experimentos, incentivo, paciência e disposição.

À mestrandra Luanne Mendes pela amizade, compreensão, incentivo, pelas alegrias e desafios que foram compartilhados.

Ao setor de UTI Neonatal do Hospital de Clínicas de Uberlândia, em especial à Sueli pela disponibilização das incubadoras neonatais.

À minha orientadora Profa. Dra. Selma Terezinha Milagre, por todos os ensinamentos, pela paciência, pelo carinho e atenção durante toda a realização deste trabalho. Agradeço por depositar em mim confiança na realização de nossos trabalhos.

À minha coorientadora Profa. Dra. Rosénda Valdés Arencibia pelo cuidado, carinho, paciência e atenção. Sou muito grata por todos os ensinamentos que me proporcionou.

E a todos os familiares e amigos que contribuíram diretamente e indiretamente na realização deste trabalho.

GONCALVES, V. L. **Avaliação do desempenho metrológico de incubadoras neonatais em hospital público de grande porte e alta complexidade utilizando sistema de coleta automatizado.** 2018. 135 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Resumo

O objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema de tecnologia nacional, voltado para verificação automatizada de desempenho das incubadoras neonatais, com transmissão sem fio, para coleta dos dados de temperatura e umidade. O sistema foi avaliado por meio da realização de testes em quatro incubadoras neonatais do mesmo fabricante e de dois modelos diferentes quando submetidas a diferentes temperaturas de controle (32 °C e 36 °C), tendo como base as prescrições da norma ABNT NBR IEC 60601-2-19. O sistema implementado realiza a aquisição dos dados por meio de um microcontrolador e envia os dados para o computador via *Bluetooth*. O sistema é composto por quatro módulos: sensores, aquisição, comunicação e o *software*. O protótipo desenvolvido mede, no interior da incubadora, a temperatura do ar em cinco pontos diferentes e a umidade relativa do ar em um único ponto, utilizando cinco sensores HTU21D. Os parâmetros metrológicos erro de medição, repetibilidade, incerteza de medição e erro máximo foram avaliados para todas as incubadoras neonatais. O sistema proposto para monitoramento e aquisição dos dados de temperatura e umidade relativa do ar em incubadoras neonatais se mostrou uma solução inovadora, portátil, de baixo custo e fácil de usar. O erro de medição na maioria das incubadoras foi negativo, indicando que a indicação da incubadora neonatal foi sempre menor que o valor selecionado. A incerteza expandida associada aos valores de temperatura foi similar para todas as incubadoras avaliadas, representando 1 % da média. Detectou-se que todas as incubadoras analisadas apresentam parâmetros de *overshoot* fora da faixa estabelecida pela norma NBR IEC 60601-2-19.

Palavras Chave: Incubadora Neonatal. Incerteza de Medição. Metrologia. Estabelecimento Assistencial de Saúde.

GONCALVES, V. L. **Metrological performance evaluation of neonatal incubators in a large public hospital with high complexity using the automated collection system.**

2018. 135 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Abstract

This work aim to develop a national technology system, for the automated verification of the performance of neonatal incubators, with wireless transmission, to collect temperature and humidity data. The system was evaluated by performing tests in four neonatal incubators from the same manufacturer and two different models when submitted to different control temperatures (32 °C and 36 °C), based on the requirements of ABNT NBR IEC 60601-2-19 standard. The proposed system acquires the data through a microcontroller and sends the data to the computer via Bluetooth. The system consists of four modules: sensors, acquisition, communication and software. The prototype developed measures, inside the incubator, the air temperature in five different points and the relative humidity of the air in a single point, through five HTU21D sensors. The metrological parameters measurement error, repeatability, measurement uncertainty and maximum error were evaluated for all neonatal incubators. The proposed system for monitoring and acquiring air temperature and relative humidity data in neonatal incubators has proved to be an innovative, portable, inexpensive and easy to use solution. The measurement error in most of the incubators was negative, indicating that the neonatal incubator was always smaller than the selected value. The expanded uncertainty was similar at all incubator temperatures representing 1% of the mean. It was found that the all analyzed incubators presented parameter overshoot values outside the range established by NBR IEC 60601-2-19 standard.

Key-words: Neonatal incubator. Measurement uncertainty. Metrology. Health Care Facilities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Incubadora Neonatal. Fonte: Autor.....	14
Figura 2.2- Painel de controle da incubadora neonatal.....	15
Figura 2.3- Diagrama de Blocos das Incubadoras com temperatura do ar controlada (ATC) (Adaptado de: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).....	16
Figura 2.4 - Diagrama de Blocos das Incubadoras com temperatura do Recém-nascido (ITC) (Adaptado de: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).....	16
Figura 2.5- Sistema de Controle de Umidificação Passivo (Adaptado de: OLIVEIRA, 2007).	17
Figura 2.6 - Sistema de Controle de Umidificação Ativo (Adaptado de: OLIVEIRA, 2007)...	18
Figura 2.7- Linearidade dos sensores de temperatura (Fonte: OMEGA, 2007).....	21
Figura 2.8 - Distribuição Normal de Probabilidade (ISO TAG 4WG-3, 2008).	29
Figura 2.9 - Distribuição Retangular (Adaptado BIPM et al., 2008).	29
Figura 2.10 - Distribuição Triangular (BIPM, et al., 2008).....	30
Figura 3.1- Indicação do posicionamento dos sensores HTU21D nos pontos A, B, C, D e M no interior da incubadora.	36
Figura 3.2- Variação da Temperatura da Incubadora. (Adaptado de: ABNT, 2014)	39
Figura 3. 3 - Fluxograma de execução da coleta de dados de temperatura das incubadoras neonatais.....	42
Figura 3.4- Barramento I ² C com resistor <i>pull-up</i>	44
Figura 3.5 - Diagrama da lógica de funcionamento do programa.	48
Figura 4.1- Dispositivo de acrílico contendo os sensores. Fonte: Autor.	54
Figura 4.2 - Sistema montado durante o ensaio. Fonte: Autor.	54
Figura 4.3 - Iniciando a conexão do módulo <i>Bluetooth</i> com o computador.	55
Figura 4.4 - Erro na conexão do módulo <i>Bluetooth</i> com o computador.	55
Figura 4.5 - Botão “Calibração” do software desenvolvido.	56
Figura 4.6 - Tempo de Aquecimento das incubadoras.	58
Figura 4.7 - Condição de temperatura estável das incubadoras em 32 °C.....	58

Figura 4.8 - Variação da temperatura das incubadoras na temperatura de controle de 32 °C.....	59
Figura 4.9 - Estabilidade da temperatura das incubadoras em 32 °C.....	60
Figura 4.10 - Uniformidade da temperatura das incubadoras em 32 °C na posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda.	61
Figura 4.11 - Condição de temperatura estável em 36 °C.....	62
Figura 4.12 - Variação da temperatura das incubadoras na temperatura de controle de 36 °C.	63
Figura 4.13 – Estabilidade da temperatura da incubadora em 36 °C.	64
Figura 4.14 - Uniformidade da temperatura das incubadoras em 36 °C na posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda.	65
Figura 4.15 - Exatidão da indicação de umidade relativa.	66
Figura 4.16 - Média de temperatura dos sensores A, B, C, D e M. com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 1).....	71
Figura 4.17 - Média da umidade relativa do ar, com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 1).....	72
Figura 4.18 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 32 °C (Incubadora 1).	73
Figura 4.19 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 36 °C (Incubadora 1).	74
Figura 4.20 - Erro de medição associado à repetibilidade da umidade relativa do ar (Incubadora 1).	74
Figura 4.21 - Valores de erro máximo para a temperatura de controle 32 °C.....	75
Figura 4.22 - Valores de erro máximo para a temperatura de controle 36 °C.....	75
Figura 4.23 - Valores de erro máximo para a umidade relativa do ar (60 %, 50 % e 40 %)..	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Número de óbitos relacionados com a massa e a faixa etária.....	2
Tabela 2.1- Perdas Térmicas de um recém-nascido em incubadora neonatal.....	11
Tabela 2.2 - Comparação dos tipos de sensores de temperatura.....	20
Tabela 4.1- Dados das incubadoras neonatais avaliadas	57
Tabela 4.2 - Resumo das conformidades e não conformidades para as incubadoras.....	66
Tabela 4.3 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na posição horizontal do sensor M.....	67
Tabela 4.4 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à direita do sensor M.....	67
Tabela 4.5 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.....	68
Tabela 4.6 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na posição horizontal do sensor M.....	68
Tabela 4.7 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à direita do sensor M.....	69
Tabela 4.8 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.....	69
Tabela 4.9 - Dados da avaliação de incerteza de medição da umidade relativa do ar (60 %).	70

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ATC: Temperatura do ar controlada

CI: Circuito integrado

c_i : Coeficientes de sensibilidade

E: Erro de medição

E_{MAX} : Erro máximo

EAS: Estabelecimento Assistencial de Saúde

EMAs: Equipamentos Médico – Assistencial

GND: Terra

GUM: Guia para Expressão de Incerteza de Medição

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial

ITC: Temperatura controlada do recém-nascido

k: Fator de abrangência

LCD: Display de cristal líquido

n: Número de leituras

N: Número de variáveis de entrada

OCP: Organismo de Certificação de Produtos

OIML: Organização Internacional de Metrologia Legal

OMS: Organização Mundial de Saúde

P_p : Pressão parcial do vapor de água

P_{va} : Pressão do vapor de água saturada

R: resolução

RM: resultado de medição

RN: Recém-nascido

RTD: Detector de temperatura resistivo

RTM: Regulamentações Técnicas Metrológicas

s: desvio padrão experimental

SCL: *Serial Clock Line*

SDA: *Serial Data Input/Output*

T : Mensurando (temperatura)

\bar{T} : Variabilidade das leituras indicadas pelo sensor de temperatura

U : Mensurando (umidade)

\bar{U} : variabilidade das leituras indicado pelo sensor de umidade

UTIN: Unidade Terapia Intensiva de Neonatologia

$u(x)$: Incerteza padrão

$u(x_i)$: Incerteza-padrão de cada variável de entrada

$u_c(x)$: Incerteza-padrão combinada de cada variável de entrada

$U(x)$: Incerteza expandida

$u(\Delta IC)$: Incerteza padrão associada à calibração dos sensores de temperatura

$u(\Delta R)$: Incerteza padrão associada à resolução do sensor

VC: Valor convencional

VCC: Tensão de alimentação

v_{ef} : Graus de liberdade efetivos

v_i : Número de graus de liberdade de cada variável de entrada

\bar{y} : Estimativa de Y

\bar{x} : média

ΔR : Correção devido à resolução do sensor

ΔIC : Correção associada à calibração do sensor

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	3
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.1.3 <i>Justificativa</i>	4
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 Termorregulação dos recém-nascidos	6
2.2. Perdas de calor do recém-nascido.....	8
2.2.1 <i>Perdas de calor por condução</i>	8
2.2.2 <i>Perdas de calor por convecção</i>	9
2.2.3 <i>Perdas de calor por radiação</i>	9
2.2.4 <i>Perdas de calor por evaporação</i>	10
2.2.5 <i>Perdas térmicas pelo recém-nascido no interior da Incubadora Neonatal</i>	10
2.3 Incubadora Neonatal	11
2.3.1 Histórico.....	12
2.3.2 Características das Incubadoras.....	13
2.3.3 Riscos relacionados ao uso da incubadora	18
2.4 Grandezas a serem medidas na Incubadora Neonatal	19
2.4.1 <i>Temperatura</i>	19
2.4.2 <i>Umidade</i>	21
2.5 Protótipos para avaliação do desempenho das Incubadoras Neonatais	22
2.6 Metrologia na Área da Saúde	24
2.7 Incerteza de Medição- Método GUM	26
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Procedimento de Medição	33
3.1.1 <i>Temperatura ambiente</i>	37
3.1.2 <i>Tempo de aquecimento da incubadora neonatal</i>	37
3.1.3 <i>Condição de temperatura estável</i>	38
3.1.4 <i>Estabilidade da temperatura da incubadora</i>	39
3.1.5 <i>Uniformidade da temperatura da incubadora</i>	40
3.1.6 <i>Overshoot da temperatura da incubadora</i>	40
3.1.7 <i>Exatidão do controle de temperatura da incubadora</i>	41

3.1.8 Exatidão da indicação de umidade relativa	42
3.2 Especificações do hardware e do software desenvolvido	43
3.2.1 Módulo de Sensores	43
3.2.2 Multiplexador	44
3.2.3 Módulo de Aquisição.....	45
3.2.4 Módulo de transmissão Bluetooth.....	46
3.2.5 Software de Aquisição	46
3.3 Avaliação da Incerteza de Medição	48
3.3.1 Cálculo de Incerteza associada à medição da temperatura	48
3.3.2 Cálculo de Incerteza associada à medição da umidade.....	50
3.4 Determinação do Erro	52
3.4.1 Determinação do Erro de Medição.....	52
3.4.2 Determinação do Erro Máximo.....	52
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 Protótipo desenvolvido	53
4.2 Resultados obtidos das incubadoras neonatais.....	57
4.2.1 Tempo de aquecimento da incubadora neonatal.....	57
4.2.2 Condição de temperatura estável na temperatura de controle de 32 °C	58
4.2.3 Estabilidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 32 °C...	59
4.2.4 Uniformidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 32 °C..	60
4.2.5 Condição de temperatura estável na temperatura de controle de 36 °C	61
4.2.6 Overshoot da temperatura da incubadora.....	62
4.2.7 Exatidão do controle de temperatura da incubadora	62
4.2.8 Estabilidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 36 °C...	63
4.2.9 Uniformidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 36 °C..	64
4.2.10 Exatidão de indicação de umidade relativa	65
4.2.11 Resultados da Incerteza de Medição associada à medição da Temperatura e a Umidade Relativa do ar da Incubadora 1	67
4.3 Curvas de Erros	72
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	78
CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICES.....	88

APÊNDICE I - Resultados obtidos para incubadora 2.....	88
APÊNDICE II - Resultados obtidos para incubadora 3.....	95
APÊNDICE III - Resultados obtidos para incubadora 4.....	102
ANEXOS.....	109
ANEXO I - Tabela relacionando a idade coma temperatura ideal e a faixa permitida na incubadora neonatal	109
ANEXO II - Certificado de calibração do Termo-Higrômetro Digital.....	111
ANEXO III - Certificado de calibração do sensor A (HTU21D)	113
ANEXO IV - Certificado de calibração do sensor B (HTU21D)	115
ANEXO V - Certificado de calibração do sensor C (HTU21D).....	117
ANEXO VI - Certificado de calibração do sensor D (HTU21D).....	119
ANEXO VII - Certificado de calibração do sensor M (HTU21D)	121

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os grandes avanços tecnológicos proporcionam muitos benefícios para as diversas áreas da saúde permitindo a prestação de serviços mais confiáveis, com qualidade e segurança. Assim, tem-se a Neonatalogia com tecnologias mais avançadas em termos de equipamentos médicos assistenciais, aumentando as chances de sobrevida dos recém-nascidos prematuros (COSTA, 2009).

A sobrevida de um recém-nascido está diretamente relacionada à idade gestacional, à massa no nascimento e à existência de problemas respiratórios, cardíacos, má formação, entre outros. O tempo gestacional determina a maturidade dos órgãos. Antigamente, os recém-nascidos de 28 semanas eram considerados de alto risco e com pouca chance de sobrevida. Atualmente, aqueles de até 22 semanas têm elevadas chances de sobreviverem (MIERZWA, 2007).

De acordo com a Academia Americana de Pediatria, é considerado prematuro todo recém-nascido (RN) com idade gestacional de até 37 semanas completas (37 semanas e 6 dias) a partir do primeiro dia do último período menstrual materno. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define como prematuro toda criança nascida antes de 37 semanas de gestação, portanto, pode-se considerar prematura toda criança que nascer com idade gestacional inferior a 38 semanas. Esse critério também tem sido utilizado por diversos serviços de Neonatalogia (MARCONDES, 2002).

Os prematuros de baixa massa constituem um grave problema de saúde pública, devido ao elevado percentual de mortalidade, além da necessidade de cuidados especiais (COSTA et al., 2009). Na Tabela 1.1 pode ser observado o número de óbitos ocorridos no Brasil em 2016, relacionado com a massa e a faixa etária (SIM DATASUS, 2016). A faixa

etária é dividida em três componentes: neonatal precoce (0 a 6 dias), neonatal tardio (7 a 21 dias) e pós-neonatal (28 a 364 dias) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Tabela 1.1- Número de óbitos relacionados com a massa e a faixa etária.

Massa ao nascer	Número de óbitos				Total
	0 a 6 dias	7 a 27 dias	28 a 364 dias		
Menos de 500 g	1 630	86	35		1 751
500 a 999 g	5 803	1 652	965		8 420
1 000 a 1 499 g	2 534	976	924		5 151
1 500 a 2 499 g	3 297	1 210	1 999		6 506
2 500 a 2 999 g	1 851	704	1 721		4 276
3 000 a 3 999 g	2 384	918	2 650		5 952
Total	17 499	5 546	8294		32 056

Fonte: Sistema de Informações sobre Mortalidade – SIM DATASUS (2016)

Os neonatos prematuros têm uma grande dificuldade na manutenção da sua temperatura corporal. E com isso, os neonatos devem ser mantidos em um ambiente termoneutro para controle da temperatura corporal. Apesar dos neonatos terem grande dificuldade na produção de calor, também possuem dificuldades em eliminar o calor quando estão em um ambiente superaquecido (HOCKENBERRY; WILSON, 2011).

As incubadoras neonatais são equipamentos médico – assistenciais (EMAs) destinados a proporcionar o ambiente termoneutro para a manutenção da vida dos recém-nascidos, permitindo um desenvolvimento saudável para os neonatos de baixa massa, prematuros ou com outros problemas que justifiquem sua utilização. Estes equipamentos permitem manter a umidade relativa acima de 75 % e adaptam a temperatura da incubadora à temperatura ambiente, à massa e à idade (ANEXO I). A taxa de sobrevivência dos neonatos pode ser elevada colocando os mesmos em incubadoras neonatais e mantendo a temperatura e a umidade nos valores recomendados (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002). A mortalidade neonatal precoce é o componente da mortalidade infantil responsável por mais de 50 % dos óbitos ocorridos no primeiro ano de vida, e se relaciona com assistência pré-natal, parto e recém-nascido (RN).

Assim, destaca-se a importância de manter as incubadoras neonatais funcionando de forma adequada. Vale ressaltar que este equipamento tem tendência a se deteriorar com o tempo e com o uso.

Com a finalidade de padronizar os ensaios a serem realizados nas incubadoras, foi editada a norma técnica, ABNT NBR IEC 60601-2-19 (Equipamento eletromédico - Parte 2:

Prescrições particulares para segurança de incubadoras para recém-nascidos) (ABNT, 2014), que estabelece os requisitos necessários para minimizar os riscos aos pacientes e aos usuários. Esta norma apresenta também os testes necessários para verificar a funcionalidade da incubadora neonatal. As incubadoras precisam ser avaliadas periodicamente, por um programa de manutenção preventiva e de calibração, para certificar que o funcionamento não foi comprometido pelo uso (IANONE, 1999).

Os ensaios sugeridos na norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) avaliam a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o nível sonoro e a velocidade do fluxo de ar. As medições da umidade relativa do ar e da velocidade do fluxo de ar podem ser realizadas sem dificuldades, uma vez que requerem ser avaliadas em um único ponto. Entretanto, nas medições da temperatura, há uma dificuldade adicional visto que são necessários cinco sensores de temperatura posicionados em pontos diferentes no interior da incubadora, e a indicação destes sensores deve ser lida de forma simultânea. As leituras realizadas por um operador nas escalas de instrumentos analógicos estão sujeitas à ocorrência de erro de paralaxe. Ainda, independentemente do sistema de medição ser analógico ou digital o operador pode cometer erros grosseiros durante a leitura e registro dos dados. Pode-se acrescentar que o custo e o tempo são significativos quando o processo de medição não é automatizado (AGOSTINI, 2003).

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo Geral*

Desenvolver um sistema automatizado para verificação de funcionalidades de incubadoras neonatais, com transmissão sem fio, para coleta e registro de dados de temperatura e de umidade relativa do ar, de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014).

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Desenvolver o módulo eletrônico (*hardware*) para aquisição dos dados de temperatura e de umidade;
- Realizar a comunicação dos sensores com o multiplexador;
- Realizar a comunicação entre o módulo de aquisição (Arduino) e o computador (via *Bluetooth*);
- Desenvolver o *software* para coleta e armazenamento dos dados;

- Realizar os ensaios nas incubadoras neonatais do Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS) usando o sistema desenvolvido (*software e hardware*);
- Avaliar os erros de medição associados à temperatura e à umidade, bem como a exatidão, a repetibilidade, a incerteza de medição e o erro máximo.

1.1.3 Justificativa

A realidade da grande maioria dos hospitais públicos do Brasil é bem diferente quando comparado com os hospitais privados, onde os recursos financeiros são cada vez mais escassos. Os atuais equipamentos para análise de desempenho das incubadoras neonatais disponíveis no mercado apresentam altos custos de aquisição, que tornam assim ainda mais difícil a verificação periódica destes equipamentos, bem como a calibração. Tais motivos, aliados a segurança do recém-nascido, justifica o desenvolvimento de tecnologia nacional voltada para verificação automatizada de funcionalidades de incubadoras neonatais.

Atualmente, a maioria dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs), em seus setores de Engenharia Clínica, realiza a medição de temperatura e de umidade das incubadoras neonatais de forma incompleta. Muitas vezes medem somente a temperatura utilizando apenas um sensor de temperatura, outras vezes utilizando um sistema de medição que mede temperatura, umidade e fluxo de ar, porém em apenas um ponto e não de forma simultânea em vários pontos.

Vale ressaltar que esses procedimentos não estão de acordo com o que determina a norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) que trata dos requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial das incubadoras para recém-nascidos.

Nesse sentido, esta dissertação de mestrado, sob o ponto de vista socioeconômico, tem relevância social no sentido de estar contribuindo para elevar a segurança das incubadoras neonatais, por meio do controle da temperatura e da umidade e consequentemente oferecer melhor terapia para o neonato. No aspecto econômico, o EAS receberá um sistema (*hardware e software*) sem custo de aquisição e de baixo custo de manutenção. O próprio EAS, dentro de seu setor de Engenharia Clínica poderá desenvolver novas unidades do sistema, pois possui profissionais capacitados.

No contexto descrito, surgiu a proposta deste trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de medição automatizado para realizar o ensaio de desempenho das incubadoras neonatais em conformidade com a norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014),

Essa dissertação constitui-se por mais quatro capítulos, as quais são descritos a seguir.

O capítulo II apresenta a revisão bibliográfica sobre incubadora neonatal, termorregulação, perda de calor dos recém-nascidos e metrologia na área da saúde

abrangendo os conceitos e definições gerais. É apresentada a norma ABNT NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) e o método de cálculo da incerteza de medição.

A metodologia proposta para desenvolvimento do trabalho é apresentada no capítulo III.

No capítulo IV são apresentadas à análise e a discussão dos resultados obtidos por meio dos experimentos realizados.

Expõem-se no capítulo V, as conclusões deste trabalho, bem como, sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os fundamentos teóricos necessários para desenvolvimento do trabalho, são eles: metabolismo do recém-nascido, equipamentos médico-assistenciais, o funcionamento da Incubadora Neonatal e os fundamentos de incerteza de medição.

2.1 Termorregulação dos recém-nascidos

A temperatura corporal é uma variável fisiológica controlada pelo organismo, e a temperatura adequada é essencial para o funcionamento correto dos sistemas enzimáticos. A temperatura corporal é controlada por mecanismos nervosos que atuam através de centros termorreguladores a partir do hipotálamo (THOMAS, 1994).

A regulação da temperatura do corpo humano está relacionada à produção de calor metabólico, sendo que o corpo humano regula a temperatura interna do organismo dentro de uma faixa estreita. A temperatura média do corpo é 37 °C com faixa normal de 35,5 °C a 37,7 °C (SILVERTHORN, 2010).

A termorregulação é uma função fisiológica relacionada com a transição e sobrevivência dos recém-nascidos, com a capacidade de controlar a temperatura corpórea (SCOCHI, 2002; SILVA, 2013). Os receptores de temperatura são os neurônios sensíveis ao calor localizado na área pré-óptica do hipotálamo. O hipotálamo é responsável pela regulação da temperatura do corpo por mecanismos de *feedback* neurais. Os mecanismos de *feedback* operam por meio de detectores de temperatura para determinar acréscimo ou decréscimo da temperatura (BIAZZOTTO, 2006; HALL; GUYTON, 2011).

Além destes neurônios sensíveis ao calor da área pré-óptica do hipotálamo, outros receptores corporais sensíveis à temperatura são encontrados como: os receptores de

temperatura da pele que são receptores tanto ao calor quanto ao frio, porém estes receptores detectam principalmente o frio e os receptores na medula espinhal, nas vísceras abdominais, na região superior do abdômen e do tórax, a fim de auxiliar no controle da temperatura corporal (HALL; GUYTON, 2011).

Para o funcionamento do sistema de termorregulação é fundamental a existência de receptores de temperatura ou células nervosas aptas para responder os estímulos específicos. Essas células são denominadas termorreceptoras, uma vez que, recebem, transformam e transmitem para o sistema nervoso um elevado número de informações presentes na pele e no interior do organismo. Com isso o sistema de controle da temperatura utiliza importantes mecanismos fisiológicos para reduzir o calor do corpo quando a temperatura corporal está elevada, como: vasodilatação (dilatação dos vasos periféricos aumentando a vazão do sangue), sudorese (suor resultante do acionamento das glândulas sudoríparas) e os mecanismos que causam excesso de produção de calor, como os calafrios e a termogênese química são inibidos (HALL; GUYTON, 2011).

No caso em que o corpo está com baixa temperatura, o sistema de controle de temperatura institui procedimentos opostos, como: vasoconstrição (contração dos vasos periféricos diminuindo a vazão do sangue) reduzindo as perdas de calor por convecção, piloereção e aumento na termogênese (produção de calor) (HALL; GUYTON, 2011).

No período gestacional, os mecanismos maternos mantêm a temperatura intrauterina, porém após o nascimento os recém-nascidos necessitam adaptar-se ao ambiente externo relativamente frio pela produção metabólica de calor, pois são incapazes de gerar uma resposta de tremor adequadamente (CLOHERTY; STARK, 2011).

A termorregulação ineficaz é uma preocupação constante de toda a equipe que atua na Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN), principalmente em relação ao pré-termo. A termorregulação dos recém-nascidos é bastante vulnerável (RIBEIRO, 2005). O recém-nascido para manter constante a temperatura corporal com as variações da temperatura ambiental é limitado, o controle térmico depende da idade gestacional e pós-natal, da massa de nascimento e das condições clínicas do recém-nascido (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

Após o nascimento do recém-nascido, a temperatura interna e a temperatura da pele são bastantes críticas, pois, a fadiga por frio pode causar a falta de oxigênio, nível baixo de açúcar no sangue (hipoglicemia), diminuição do pH do sangue e queda dos níveis de glicogênio. Os recém-nascidos têm a capacidade de regular a própria temperatura, porém, os prematuros precisam ser mantidos em câmaras fechadas com temperatura controlada (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Os neonatos dispõem de uma fonte de termogênese (gordura localizada abaixo da pele), inervada por neurônios simpáticos e altamente vascularizada. Quando o recém-

nascido sofre estresse do frio, ocorre aumento dos níveis de norepinefrina agindo diretamente no tecido adiposo (gordura) estimulando a lipólise para produção de energia (CLOHERTY; STARK, 2011).

A perda de calor pelo estresse do frio, não conhecido, ocasiona um consumo excessivo de oxigênio e a incapacidade de ganhar peso é o problema mais comum enfrentado pelos neonatos prematuros (CLOHERTY; STARK, 2011).

Um recém-nascido reduz sua perda de calor através da pele contraindo os vasos sanguíneos (vasoconstricção), alterando a posição do corpo para reduzir a área da superfície exposta ao ambiente ou elevando a taxa metabólica para produzir mais calor (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; AVERY, 1978). Com isso é de fundamental que os recém-nascidos sejam mantidos em um ambiente termoneutro.

O ambiente termoneutro apresenta uma faixa de temperatura ambiental em que o recém-nascido tem uma taxa metabólica mínima e uma temperatura corpórea normal apenas por controle vasomotor, transpiração e postura. Abaixo dessa faixa torna-se necessária a presença de resposta metabólica ao frio, para repor a perda de calor. Acima dessa faixa, é inevitável um aumento da temperatura corpórea e da taxa metabólica. Com isso, a faixa termoneutra representa uma faixa térmica de estresse mínimo, em que é uma faixa muito estreita em recém-nascidos despidos (AVERY, 1978, KENNER, 2001).

A termoneutralidade é um dos principais fatores ambientais que afetam o recém-nascido. As diferenças severas de temperatura conduzem a perda de calor pelo recém-nascido, causando hipotermia e apneia (ausência de respiração). Os recém-nascidos prematuros apresenta maior risco de hipotermia. Com isso, a hipotermia está relacionada com a diminuição patológica da temperatura corporal interna (COSTA, 2009; PORTH, 2010).

2.2. Perdas de calor do recém-nascido

A transferência de calor da superfície corporal do recém-nascido para o meio ambiente acontece por quatro mecanismos de perda: condução, convecção, radiação e evaporação. A temperatura interna e da pele dos recém-nascidos, após o nascimento, tendem a cair devido às perdas de calor (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; AVERY, 1978).

2.2.1 Perdas de calor por condução

A condução é um termo relacionado à transferência de calor através do contato, com temperaturas diferentes. A perda de calor ocorre, através da superfície da pele do recém-nascido quando entra em contato com uma superfície que possui temperatura menor que a

do seu corpo, depende da diferença entre os dois corpos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; COSTA, 2009; IANONE, 1999). A transferência de calor é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura da pele do recém-nascido e a temperatura da superfície de contato com o recém-nascido (IANONE, 1999).

A perda de condução pode ser minimizada, introduzindo entre a pele e o objeto, um material com baixa condutividade térmica (isolante térmico) ou aumentar a temperatura do objeto em contato (IANONE, 1999; FARIA, 2001). Normalmente, a perda de calor por condução é pequena, pois o recém-nascido é colocado sobre um colchão de baixa condutividade térmica. Com isso, a condutância térmica é um fator importante que altera a perda de calor pelo recém-nascido (COSTA, 2009).

2.2.2 Perdas de calor por convecção

A convecção refere-se à troca de calor entre dois corpos, sendo um sólido, o outro corpo líquido ou gasoso (FARIA, 2001; CLOHERTY; STARK, 2001). A perda de calor ocorre, quando o fluxo de ar que circular no ambiente que rodeia o recém-nascido está em uma temperatura mais baixa que a do corpo do recém-nascido (COSTA, 2009, TORRES, 2016).

O efeito da convecção nas incubadoras neonatais é quantificado pela temperatura do ar. As perdas de calor por convecção aumentam quando o ar esfria e quando o fluxo de ar aumenta (FARIA, 2001). A transferência de calor é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura da pele do recém-nascido e a temperatura do ar do ambiente que envolve o recém-nascido (IANONE, 1999).

A perda de calor por convecção pode diminuir à medida que ocorre o aumento da temperatura do ar do ambiente que o recém-nascido se encontra (IANONE, 1999).

2.2.3 Perdas de calor por radiação

Todo corpo com temperatura diferente do zero absoluto perde calor por emissão de ondas eletromagnéticas de espectro, como radiações infravermelhas. O recém-nascido perde calor na região do espectro infravermelho para objetos sólidos que encontram na sua vizinhança, porém não tem contato com a pele (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

O recém-nascido quando exposto a um ambiente mais frio, tende a perder calor corporal mais rapidamente que um adulto, pois o coeficiente de transferência térmica do recém-nascido é maior. Assim, a transferência de calor por radiação do recém-nascido é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura da pele e temperatura das paredes internas do ambiente que o circunda (IANONE, 1999).

A perda de calor por radiação calor depende da área e da geometria da superfície exposta e da temperatura superficial do corpo, esta pode ser reduzida pelo aumento da

temperatura dos objetos presentes no ambiente em que o recém-nascido se encontra (COSTA, 2009).

2.2.4 Perdas de calor por evaporação

O homem realiza troca de calor, por convecção e perde umidade da pele por evaporação. A perda de calor por evaporação ocorre pela evaporação da água para o ambiente através da pele e pela excreção das glândulas sudoríparas (IANONE, 1999). Nos recém-nascidos a perda de calor ocorre pela transpiração na superfície da pele em um ambiente seco e quente, e também perde calor de seus pulmões à medida que inspira o ar úmido e ar frio (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

A perda de calor por evaporação depende da velocidade e da umidade relativa do ar. Nos primeiros dias de vida a perda diária de água por evaporação pode atingir até 20 % da massa corporal do recém-nascido (IANONE, 1999). A umidificação em uma incubadora neonatal é um recurso bastante efetivo para reduzir a perda de calor por evaporação do recém-nascido (COSTA, 2009).

2.2.5 Perdas térmicas pelo recém-nascido no interior da Incubadora Neonatal

A perda de calor do recém-nascido é bastante complexa, pois a superfície exposta do recém-nascido varia à medida que altera sua posição e as roupas, e também por que a relação entre a pele do recém-nascido e as superfícies radiantes da incubadora ou da sala não é simples, pois existem as diferentes emissividades dos objetos ao trocar energia. Considera-se que o recém-nascido tenha emissividade igual a 1 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Os processos de perda de calor citados são mecanismos relativamente independentes, não tendo, portanto, um parâmetro simples para o cálculo da perda de calor total devido à combinação dos métodos discutidos. A perda de calor por convecção, por exemplo, pode ser considerada pela temperatura do ar do compartimento onde está o recém-nascido. As perdas aproximadas por radiação são determinadas pela temperatura das paredes internas da incubadora neonatal (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

A Tabela 2.1 indica as perdas de calor e de massa de um recém-nascido com uma semana de idade com 2 kg de massa e despido em um colchão de espuma, sendo um ambiente com temperatura uniforme, umidade moderada e sem correntes de ar, que são condições aplicadas em uma incubadora aquecida (AVERY, 1978).

Tabela 2.1- Perdas Térmicas de um recém-nascido em incubadora neonatal.

Perda de calor (kcal/m ² h)	Temperatura Ambiental		
	30 °C	33 °C	36 °C
Radiação	19 (43 %)	12 (40 %)	7 (24 %)
Convecção	15 (37 %)	9 (33 %)	5 (19 %)
Evaporação	7 (16 %)	7 (24 %)	17 (56 %)
Condução	2 (4 %)	1 (3 %)	0 (1 %)
Total	43 (100 %)	29 (100 %)	29 (100 %)

Fonte: (Adaptada de Avery, 1978)

Considerando uma superfície corpórea de 0,2 m² e que 1 kcal/m²h equivale a 1,16W/m², as perdas totais para as temperaturas de 30 °C, 33 °C e 36 °C, são respectivamente, 10 W, 6,74 W e 6,74 W (COSTA, 2009).

De acordo com a Tabela 2.1, pode-se observar que:

As perdas de calor por radiação dependem da área superficial e da temperatura superficial do corpo e representa a maior fração de perda total de calor.

As perdas de calor por convecção dependem da velocidade e da temperatura do ar, representando uma das principais vias de perda total de calor e, juntamente com a perda de calor por radiação representam a principal via de perda de calor.

As perdas de calor por evaporação dependem da umidade relativa e da velocidade do ar. Contudo, se um recém-nascido prematuro está em um ambiente com baixa umidade relativa, a evaporação torna-se a fração principal das perdas de calor, pois quando a umidade relativa é baixa resulta em uma temperatura elevada.

As perdas de calor por condução são em função da condutividade térmica do material em contato com o corpo, porém o recém-nascido está sobre um colchão de baixa condutividade, representando então uma pequena parcela da perda total de calor.

A perda de calor pode ser reduzida mantendo o recém-nascido em um ambiente termoneutro. O recém-nascido reduzirá ao mínimo a sua perda, a sua produção de calor, o consumo de oxigênio e as suas necessidades nutricionais (IANONE, 1999; Avery, 1978).

2.3 Incubadora Neonatal

O cuidado com os recém-nascidos prematuros exige estar em um ambiente em que a temperatura é elevada e controlada, pois são incapazes de regular suas próprias temperaturas. Com isso para elevar a taxa de sobrevivência dos recém-nascidos

prematuros, deve-se colocar os mesmos em câmaras fechadas para controlar a temperatura.

Referente à normatização, a NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) define incubadora para recém-nascido como: “Equipamento em que possui um compartimento do recém-nascido fornecido com meios de controlar o ambiente do recém-nascido, primariamente pelo aquecimento do ar dentro do compartimento do recém-nascido”.

2.3.1 Histórico

Ao longo dos anos, os métodos para redução das perdas de calor pelo recém-nascido foram evoluindo. Antes do ano 300 no Egito e na China utilizavam grandes salas aquecidas e isoladas como chocadeira de ovos, as quais eram utilizadas para manter o aquecimento dos recém-nascidos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Antes do século XIX, os médicos ignoravam o controle da temperatura dos recém-nascidos. Até 1835 utilizavam-se roupas, o contato com o corpo humano ou a aproximação do recém-nascido do fogo para reduzir a perda de calor. Em 1835, Johann Georg Von Ruehl na Rússia, desenvolveu um berço aberto com paredes duplas de ferro, se mantinha aquecido pelo enchimento do espaço entre as paredes com água quente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Em 1880, os obstetras Paris Stéphane Tarnier e Odile Martin construíram a primeira incubadora fechada para recém-nascidos. O recém-nascido ficava na câmara superior e o ar entrava pela abertura na câmera inferior e passava sobre bolsas de água quente. O ar aquecido subia para a câmara do recém-nascido e saia pela abertura no topo. O ar frio entrava pela abertura inferior e se aquecia na superfície quente da água e por convecção subia para a câmara superior, aquecendo-a. O problema dessa incubadora é que expunha o recém-nascido a hipotermia e risco de queimaduras (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; OLIVEIRA, 2004).

Entre 1957 a 1965 as incubadoras incluíam: câmara com paredes de plástico transparente, ventoinhas para forçar a convecção do ar na câmara do recém-nascido após atravessar o elemento aquecedor, aquecimento por convecção controlada pela temperatura do ar e um defletor para produção de turbulência em cima de um recipiente com água para umidificar o ar (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Em 1964 as incubadoras neonatais eram fechadas, com ventilação por convecção, aquecida por radiação sendo controlada pela temperatura da pele do recém-nascido. Essas incubadoras não tiveram sucesso comercial devido à difícil construção (COSTA, 2009).

Entre 1960 e 1970 as incubadoras eram aquecidas pelo processo de convecção pela temperatura da pele do recém-nascido. Porém foram constatados alguns problemas como:

apneia (parada de respiração) provocada pela rápida mudança de temperatura do ar na câmara do recém-nascido (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; COSTA, 2009).

Com o avanço tecnológico desenvolveram as incubadoras neonatais microprocessadas que permite o controle da temperatura na cúpula onde os recém-nascidos são colocados. A temperatura do ambiente é controlada, principalmente pelo fornecimento do ar aquecido (ABNT, 2014).

2.3.2 Características das Incubadoras

As incubadoras atuais são alimentadas por meio de corrente alternada e possui uma bateria para manter sua operação, em caso de ausência de energia. É uma tecnologia controlada por microprocessadores que permite precisão no monitoramento da temperatura e umidade do ar, temperatura da pele, monitoração de saturação de oxigênio e dos batimentos cardíacos.

Possuem também sistemas de alarme visual e sonoro com o intuito de alertar o corpo clínico em caso de situações prejudiciais ao recém-nascido. As incubadoras proporcionam um ambiente termoneutro, com barreiras preventivas contra infecções e previne perdas excessivas por evaporação (SCHIMITZ, 1995).

A incubadora consiste em um ambiente fechado, as paredes e a cúpula da incubadora neonatal possuem uma camada simples ou dupla de acrílico para realizar a isolamento térmica entre o ambiente interno e o externo. As paredes possuem varias aberturas (portinholas) para manusear o recém-nascido, evitando a abertura da cúpula de acrílico. O recém-nascido é colocado sobre um colchão, este é confeccionado com isolante térmico para reduzir as perdas de calor, e por baixo do colchão tem uma base de alumínio (bandeja) móvel e sob a bandeja existe uma base metálica que isola o compartimento do bebê com o resto do equipamento. Embaixo desta base metálica, localizam-se os dispositivos eletromecânicos de controle (aquecimento, umidificação e circulação do ar). Todo conjunto é suportado por um pedestal, com rodas para facilidade o deslocamento do equipamento, conforme mostra a Figura 2.1 (OLIVEIRA, 2007; IANONE, 1999).



Figura 2.1 - Incubadora Neonatal. Fonte: Autor.

As incubadoras com parede dupla reduzem a perda de calor devido à radiação e a convecção, diminuindo assim o fluxo de ar circulante na mesma, proporcionando melhor estabilidade de temperatura. A principal característica da parede dupla é o isolamento térmico (COSTA, 2009).

As incubadoras fechadas podem ser móveis, sendo usada dentro de um ambiente hospitalar, ou de transporte, para permitir transporte em veículos de emergência, sendo as de transporte, menores e mais leves. Além disso, as incubadoras de transporte necessitam de uma fonte de energia confiável e devem obedecer às normas vigentes exigidas para transporte por terra e por ar. Devem possuir isolação térmica, de barulho e de vibração e ainda, gerar interferência eletromagnética limitada para que seja possível o transporte em aeronaves (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

As grandezas que devem ser consideradas na incubadora neonatal para um ambiente termoneutro são: umidade, temperatura e fluxo de ar. Assim o sistema de monitoração seria composto por:

- Sistema de controle de ar;
- Sistema de controle de temperatura;
- Sistema de controle de umidificação.

O sistema de circulação de ar é constituído por um motor elétrico acoplado a uma ventoinha e sua finalidade é aspirar ar do ambiente externo, através de um microfiltro que

retém as partículas de até 0,5 µm, mantendo a temperatura uniforme e o ar renovado dentro da cúpula (IANONE, 1999). É imprescindível assegurar-se que a ventoinha esteja em um bom funcionamento, pois, do contrário o neonato pode ser prejudicado pelo calor excessivo gerado pelo elemento aquecedor (COSTA, 2009). É recomendado que o ar entre no compartimento do recém-nascido através da região mais próxima aos pés do recém-nascido (DRAGER MEDICAL, 2007).

Os sistemas de controle de temperatura mais utilizados nas incubadoras são: o de temperatura do ar controlada (ATC) e de temperatura do recém-nascido controlada (ITC) (ABNT, 2014). Na Figura 2.2 pode-se ver o painel de controle da incubadora neonatal no qual as teclas para acionar estes modos de operação estão em destaque.

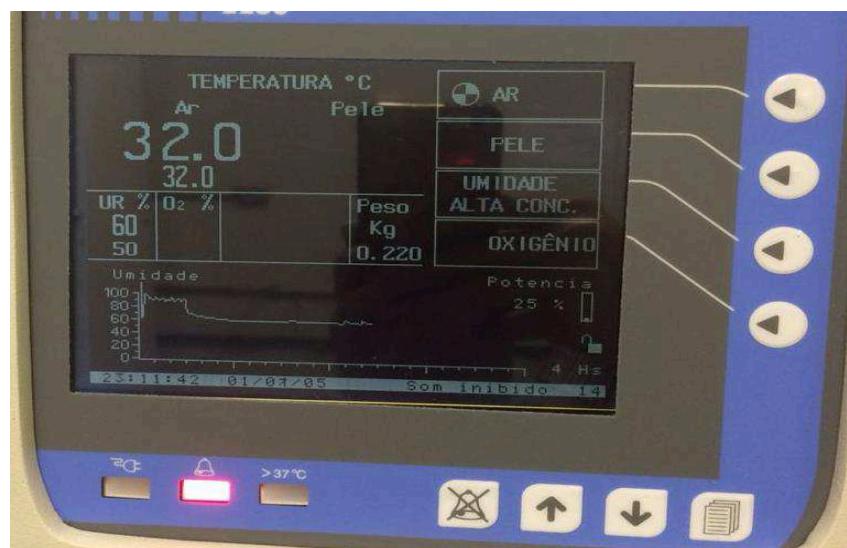


Figura 2.2 - Painel de controle da incubadora neonatal. Fonte: Autor.

Referente à normatização, a NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) define a temperatura do ar controlada (ATC) como a temperatura que é automaticamente controlada por um sensor de temperatura do ar, de acordo com a temperatura de controle definida pelo operador.

Nas incubadoras com temperatura do ar controlada o operador determina a temperatura para o ar no interior da cúpula. O sistema de controle de temperatura utiliza um elemento aquecedor e os transdutores de monitoramento para manter a temperatura do ar constante, Figura 2.3 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; IANONE, 1999; OLIVEIRA, 2007).

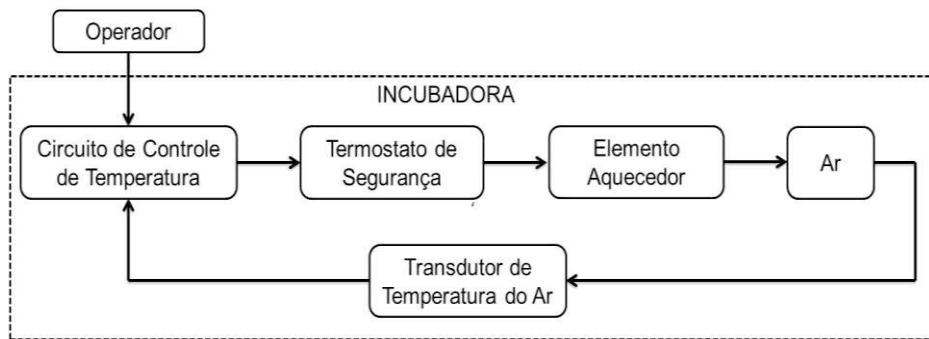


Figura 2.3 - Diagrama de Blocos das Incubadoras com temperatura do ar controlada (ATC)
 (Adaptado de: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Referente à normatização, a NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) define a temperatura controlada do recém-nascido (ITC) como a capacidade de controlar a temperatura do ar na incubadora pelo sensor de temperatura da pele, de acordo com a temperatura de controle definida pelo sensor.

Nas incubadoras com temperatura controlada do recém-nascido o operador determina uma temperatura fixa para a pele do recém-nascido. O sistema de controle de temperatura faz o uso de aquecedor resistivo e dos transdutores que monitoram a temperatura do recém-nascido para manter constante, como mostra a Figura 2.4 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; IANONE, 1999; OLIVEIRA, 2007).

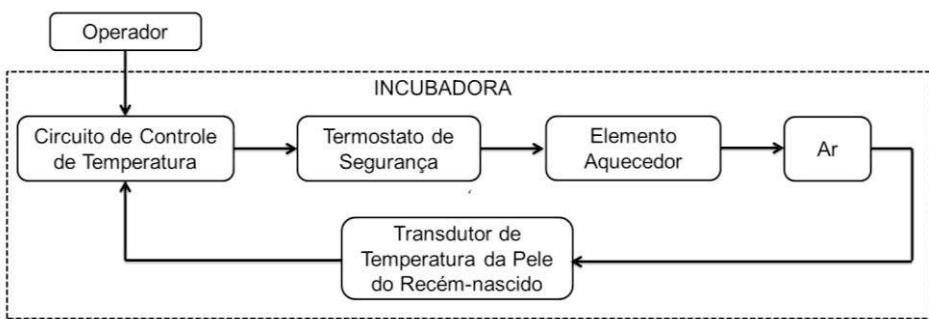


Figura 2.4 - Diagrama de Blocos das Incubadoras com temperatura do Recém-nascido (ITC)
 (Adaptado de: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Além dos dispositivos de controle, todas as incubadoras possuem termostatos que desligam automaticamente quando os elementos aquecedores atingem uma temperatura de 38 °C (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; OLIVEIRA, 2007).

O sistema de umidificação da incubadora neonatal pode ser feito de duas formas: sistema de umidificação do tipo passivo (malha aberta) e o sistema de umidificação do tipo ativo (malha fechada). Atualmente as incubadoras possuem sistema de controle de umidade ativo, e os modelos mais antigos utilizam sistema de umidade passivo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

O sistema de umidificação passivo constitui-se de um reservatório contendo água cuja superfície é atravessada por parte do fluxo de ar gerado pela ventoinha (Figura 2.5). Esse fluxo é regulado, visando uma maior ou menor umidificação do ar (IANONE, 1999). Nesse sistema, a umidificação do ar ocorre por difusão passiva de água para o ar passando pelo reservatório e não possui um mecanismo de controle de malha fechada da umidade. As desvantagens da utilização desse sistema residem na baixa qualidade do controle da taxa de umidificação e necessita de uma assepsia rigorosa (COSTA, 2009).

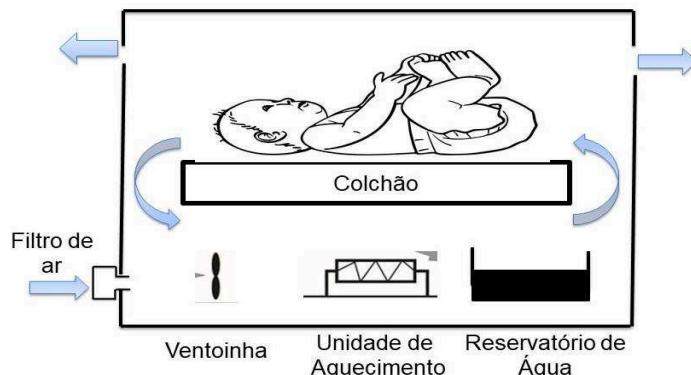


Figura 2.5 - Sistema de Controle de Umidificação Passivo (Adaptado de: OLIVEIRA, 2007).

O sistema de umidificação ativo é formado por um vaporizador ultrassônico, em que a quantidade de vapor produzido é regulada por um sistema de controle que possui um sensor de umidade, proporcionando um controle de malha fechada (Figura 2.6). A vaporização da água ocorre pela transmissão de energia acústica proveniente de um cristal piezoelétrico que vibra a uma taxa de aproximadamente 2 MHz. A agitação da água no nebulizador produz uma névoa de partículas de água. O valor da umidade no interior da incubadora neonatal é medido por meio de um sensor, e com isso o sistema de controle compara o valor lido com o valor ajustado através do nebulizador (IANONE, 1999; BOUATTOURA, 1998). As vantagens da utilização do sistema de umidificação ativo são: maior controle do nível de umidificação e a flexibilidade no processo de assepsia (COSTA, 2009; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

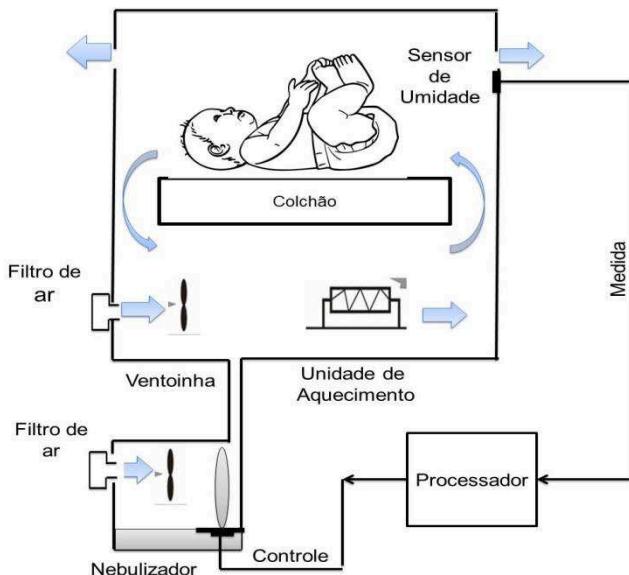


Figura 2.6 - Sistema de Controle de Umidificação Ativo (Adaptado de: OLIVEIRA, 2007).

2.3.3 Riscos relacionados ao uso da incubadora

Alguns acidentes graves na UTIN estão relacionados ao uso indevido ou mau funcionamento da incubadora neonatal, como os defeitos nos termostatos pode lhe dar uma informação incorreta da temperatura do recém-nascido e pode levar a óbito devido à alta ou baixa temperatura no interior da incubadora. Hipertermia e hipotermia podem resultar em lesões cerebrais e queimaduras graves, que estão relacionados à utilização de cobertores de material plástico dentro da cúpula, aos quais os sensores de temperatura podem se afixar facilmente e à colocação de cobertores e outros objetos sobre a cúpula da incubadora, que podem bloquear passagem de ar e superaquecer sensores (SANTOS, 2006).

O sensor de temperatura da pele do recém-nascido deve estar em contato direto com a pele para prover um monitoramento preciso da leitura do sensor. Caso o sensor de temperatura da pele falhar ou não estiver bem posicionado pode causar erro na leitura da temperatura com um superaquecimento.

De acordo com o estudo de Fineschi (2004) realizado na Itália, conclui-se que um neonato de 8 dias foi a óbito devido ao excesso de calor no ambiente interno da incubadora, o neonato foi exposto a uma temperatura interna de 46 °C e 55,6 °C por pelo menos 5 horas. Após análise técnica a incubadora apresentava mau funcionamento da temperatura e dos sistemas de controle da umidade relativa do ar, ausência de manutenção preventiva e calibração do equipamento, e ausência de alarme.

Outro problema recorrente nas UTIN diz respeito ao ruído excessivo no interior da incubadora. O ruído é considerado como um dos principais fatores de estresse do recém-nascido (PINHEIRO, et al., 2011). Segundo a *American Academy of Pediatrics* (2007), a permanência do recém-nascido na incubadora é considerada como um dos fatores de desenvolvimento de surdez em neonatos, potencializando os efeitos adversos de outras medidas necessárias ao tratamento. A incubadora funciona parcialmente como barreira para penetração dos sons ambientais, porém, os sons produzidos pelo próprio funcionamento e pelos cuidados executados em relação à criança reverberam na parede dura da cúpula, amplificando o ruído que atinge o neonato (PHILBIN, 2004).

No Brasil, existe um sistema de notificação para a vigilância sanitária (NOTIVISA) para o registro de problemas relacionados ao uso de tecnologias e de processos assistenciais. De acordo com o NOTIVISA tem-se 4 alertas as incubadoras neonatais, sendo 2 destes alertas referentes ao mau funcionamento da medição da temperatura da pele do recém-nascido e ocorreu o sobreaquecimento, que resultou em queimaduras em um recém-nascido (ANVISA, 2018).

2.4 Grandezas a serem medidas na Incubadora Neonatal

A norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), mostra a necessidade da avaliação da temperatura e umidade para análise da funcionalidade da incubadora para recém-nascidos.

Existem diferentes métodos para mensurar a temperatura e a umidade, o que implica na existência de diferentes tipos de sensores e medidores, sendo que cada sensor possui características particulares (vantagens e desvantagens). Nas seções 2.4.1 e 2.4.2 serão abordados os métodos e os sensores mais comumente encontrados para medição das grandezas.

2.4.1 Temperatura

A medida de temperatura de qualquer corpo físico é obtida pelo balanço entre a quantidade de calor que entra e a que sai do corpo. Com isso, o recém-nascido irá perder calor quando o ambiente que o envolve estiver mais frio do que ele, tendo em vista que, o calor flui sempre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura (SANTOS, 2006).

Medidas de temperatura precisas e com exatidão são necessárias em muitos sistemas de instrumentação e controle de processos. Em muitos casos, devido às repostas não

lineares e a baixa amplitude nas saídas dos sensores, a saída do sensor deve ser amplificada compensando as não linearidades (KESTER, 2004).

A maioria dos sensores de temperatura possuem funções de transferência não-linear. A linearização e a calibração são executadas de forma digital, reduzindo o custo e a complexidade (KESTER, 2004). Circuitos relativamente complexos são projetados para compensar estas não linearidades, requerendo resistores de precisão e calibração manual para proporcionar a exatidão desejada.

Atualmente, os dispositivos eletrônicos mais utilizados para medição de temperatura são: o termopar, o detector de temperatura resistivo (RTD), o termistor e o transdutor de temperatura do tipo circuito integrado (IC). Todos os dispositivos apresentam vantagens e desvantagens na sua aplicação que são mostrados na Tabela 2.2 (LEFORT; REIS, 1993).

Tabela 2.2 - Comparação dos tipos de sensores de temperatura.

	RTD	Termistor	Termopar	Círculo Integrado
Material	Platina	Óxido de metal	Metais distintos	Silício
Faixa de Medição (°C)	-200 °C a 750 °C	-100 °C a 500 °C	-267 °C a 2316 °C	-55 °C a 200 °C
Custo	Moderado	Baixo a moderado	Baixo	Baixo
Estabilidade	Excelente	Moderado	Baixo	Moderado
Precisão	Moderado	Depende de calibração	Excelente	Excelente

O termopar consiste de dois metais diferentes unidos, e o ponto de contato produz uma pequena tensão de circuito aberto em função da temperatura. Os termopares geram tensões de saída extremamente baixas, sendo necessário amplificá-la (STEPHENSON, 1999).

O sensor resistivo (RTD) é bastante difundido, possibilitando medidas de temperatura precisas. Os RTDs utilizam metais (platina, níquel e cobre) que apresentam uma alteração da resistência com a temperatura, sendo uma relação relativamente linear (KESTER, 2004).

Um termistor é similar em função ao RTD, é um elemento passivo de medição de temperatura. O termistor não é linear, mas pode ser linearizado na faixa de temperatura desejada. No entanto, o termistor apresenta maior sensibilidade quando comparado com os termopares e RTDs (KESTER, 2004).

A maior diferença entre os termistores e os RTDs é a sua composição, os termistores são feitos de um material semicondutor e os RTDs de materiais condutores.

Os sensores de temperatura semicondutores são fabricados na forma de circuitos integrados e usando as características da junção *p-n*. A saída do sensor pode ser analógica ou digital. Oferecem alta exatidão e linearidade, amplificando o sinal de saída para faixas mais adequadas (por exemplo, 10 mV/°C) ao seu processamento (KESTER, 2004). A Figura 2.7 apresenta a linearidade dos sensores de temperatura.

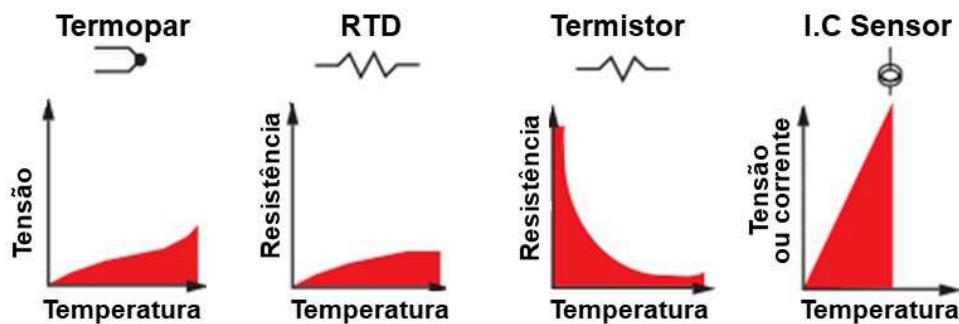


Figura 2.7 - Linearidade dos sensores de temperatura (Fonte: OMEGA, 2007)

2.4.2 Umidade

O ar atmosférico é uma mistura de gases contendo cerca de 80% de nitrogênio, 18% de oxigênio e pequenas quantidades de dióxido de carbono, vapor de água e outros gases. O ar, em nosso ambiente normal, sempre mantém umidade, porém o número de moléculas de água no ar varia muito. Existe um limite superior para a umidade que o ar poder suportar uma certa temperatura é dado pelo valor da pressão de vapor de água saturada. Quando o nível de umidade ultrapassar este limiar, ocorre a condensação, formando gotículas de água. A umidade relativa é a porcentagem dessa quantidade máxima de umidade presente no ar (VAN WYLEN; SONNTAG, 2003).

A umidade absoluta do ar é dada pela razão entre a massa de vapor de água pela massa de ar seco considerado (VAN WYLEN; SONNTAG, 2003). A Equação (2.1), conhecida como a Lei de Dalton, define que a pressão total do ar é a soma das pressões parciais dos elementos que compõem o ar e a pressão de vapor de água.

$$P_{total} = P_{vapor\text{água}} + P_{oxigênio} + P_{nitrogênio} + P_{outros\text{gases}} \quad (2.1)$$

Matematicamente, a umidade relativa do ar é expressa como a relação entre a pressão parcial do vapor de água (P_p) e a pressão do vapor de água saturada (P_{va}) conforme a Equação (2.2):

$$UR(\%) = \frac{P_p}{P_{va}} \quad (2.2)$$

Em um sistema fechado, se a temperatura aumentar, a pressão do vapor saturado aumentará e, consequentemente, a umidade relativa diminuirá.

Os sensores de umidade relativa mais comumente encontrados no mercado funcionam pelo princípio da variação da capacidade elétrica ou pelo princípio da variação da resistência elétrica.

Os sensores capacitivos baseiam-se na alteração das características do dielétrico pela umidade, é constituído por uma membrana de polímero recoberta em ambos os lados por uma camada de ouro fina, formando um elemento capacitivo. Com isso, a alteração de sua capacidade pode ser medida por um circuito eletrônico, possibilitando mensurar a umidade relativa do ambiente (SENSIRION, 2006).

Os sensores resistivos são revestidos por um filme de óxido de alumínio, este filme apresenta poros com que o preenchimento por gotículas de vapor de água produz variação no valor da resistência. Estes sensores apresentam limitações de funcionamento em ambientes que ocorre condensação, e também não possui a mesma estabilidade dos sensores capacitivos (SENSIRION, 2006).

2.5 Protótipos para avaliação do desempenho das Incubadoras Neonatais

Neste item, estudos identificados na literatura são apresentados para avaliação do desempenho das incubadoras neonatais com a finalidade de reduzir os riscos a que os recém-nascidos e os usuários das incubadoras estão sujeitos.

Ianone (1999), em sua Dissertação de Mestrado desenvolveu a construção de um aparelho eletrônico com o objetivo de testar as incubadoras neonatais. O protótipo desenvolvido avalia a temperatura do ar em cinco pontos diferentes, através de sensores digitais DS1820 (*Dallas*), a umidade relativa através de um sensor resistivo pré-condicionado (RHU 217-AT), o nível sonoro, através de um microfone de eletreto e a velocidade do fluxo de ar, através de um termistor auto-aquecido. O programa desenvolvido para o microcontrolador pode funcionar no modo medidor, em que a grandeza selecionada é mostrada no visor do aparelho; no modo coletor, onde armazena as grandezas citadas a cada minuto, permitindo sete horas de ensaio e a posterior transferência dos dados para um

microcomputador PC, através da porta serial; e o modo de teste, realiza os testes baseados na ABNT NBR IEC 601-2-19.

Agostini (2003) propõe em sua Dissertação de Mestrado um sistema computadorizado com a finalidade de verificar a conformidade ou não das grandezas físico-ambientais nas incubadoras neonatais. Foram utilizados circuitos integrados que reúnem os sensores, circuitos de condicionamento, de conversão analógico/digital e de transmissão de dados (*interface 1-Wire*). Para medição da temperatura utilizou seis sensores, sendo cinco sensores para medição interna (DS2438) e um sensor para medição externa (DS18S20). Na medição de umidade relativa do ar optou por um sensor do tipo capacitivo (HIH-3610). Para medição da velocidade do fluxo do ar utilizou um circuito discreto de anemometria térmica e utilizou o sensor de temperatura para converter e transmitir o sinal analógico. Este projeto não avalia os níveis de ruído sonoro e concentração de oxigênio. O protótipo consiste em um microcomputador, um conjunto de sensores conectados a um barramento serial e de um *software*. E ao realizar o ensaio, é emitido um relatório com todas as informações referentes às medições efetuadas, informando se a incubadora está conforme ou não conforme as exigências da norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014).

Santos (2006), em sua Dissertação de Mestrado desenvolveu um sistema para verificação da funcionalidade dos parâmetros de controle ambiental de uma incubadora neonatal utilizando um conjunto de *hardware* e um microcontrolador PIC para aquisição de dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do fluxo do ar e os níveis de ruído sonoro. Os dados podem ser visualizados no acesso local ou remoto através da rede TCP/IP, internet ou celular. O bloco de sensores é composto por quatro sensores de temperatura (LM35CAZ), um sensor de umidade relativa do ar e temperatura (SHT-11) e um sensor para avaliação da velocidade do fluxo do ar (Termistor). O programa computacional permite dois modos de operação: coletor ou de teste. No modo coletor, os dados são coletados automaticamente, a cada 1 minuto, armazenados e disponibilizados on-line. No modo teste, realiza os testes descritos na NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014). Observa-se que este protótipo não contemplou a medição da concentração de oxigênio.

Oliveira (2007) aborda em sua Dissertação de Mestrado o desenvolvimento de um protótipo para ensaio de desempenho de incubadoras neonatais de forma semiautomática. O sistema implementado realiza a aquisição dos dados através de um sistema microcontrolado, envia os dados amostrados ao computador via protocolo *Bluetooth* e apresenta os resultados na forma de um relatório. O sistema utiliza o microcontrolador da *Analog Devices* (ADUC841), quatro sensores de temperatura da *Analog Devices* (TMP05) e um sensor de umidade relativa do ar e temperatura da *Sensirion* (SHT75).

Costa (2009), em sua Tese de Doutorado desenvolveu um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade baseado na norma ABNT NBR 601-2-19 com o objetivo de monitorar as condições do ambiente interno e externo da incubadora neonatal, realizando medidas de cinco parâmetros: temperatura, umidade, velocidade do fluxo de ar, concentração de oxigênio e nível sonoro. Para medir a temperatura e a umidade desenvolveu um sistema de aquisição de dados composto por quatro sensores de temperatura LM35 (*National Semiconductor*), um sensor de umidade SHT11 (*Sensirion*), microcontrolador PIC18F4520 responsável pelo processamento dos dados e um display de cristal líquido (LCD). Para medir o nível de pressão sonora utilizou um Decibelímetro digital portátil, para concentração de oxigênio utilizou o Medidor de Concentração de Oxigênio do Ar/Dissolvido/Temperatura digital portátil e para a velocidade do fluxo de ar utilizou um Termo Anemômetro digital portátil. Os ensaios foram realizados em uma incubadora microprocessada, com um fantoma de recém-nascido posicionado sobre o colchão no interior da mesma.

Alexandrino (2012), em sua Tese de Doutorado apresenta um analisador de incubadoras neonatais. Seu sistema utiliza um microcontrolador (PIC18F455), cinco sensores de temperatura, um sensor de fluxo de ar, além de sensores de concentração de oxigênio, de umidade e de ruído sonoro. A estrutura de posicionamento dos sensores é constituída de hastes e blocos de madeira e a duração total dos ensaios foi cerca de 8 horas.

2.6 Metrologia na Área da Saúde

A metrologia é por definição, a ciência da medição, que engloba todos os aspectos teóricos e práticos relacionados à medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação (INMETRO, 2012). De acordo com as recomendações internacionais, os sistemas de medição devem ter resultados confiáveis, a rastreabilidade metrológica e a medição da incerteza são os principais elementos que garante confiabilidade nos resultados (FERREIRA; MATOS, 2015).

A metrologia avançou na área científica e industrial, mas na área da saúde sua aplicação é incipiente. Na área da saúde a realização de medições de parâmetros fisiológicos é essencial para o diagnóstico, caracterização dos riscos e do tratamento, e o acompanhamento do quadro clínico do paciente. Com isso, o procedimento de medição aplicado à área da saúde requer uma elevada exatidão e rastreabilidade metrológica (SAÚDE, 2015; FERREIRA, 2008).

A demanda por aspectos qualitativos, como alto desempenho e baixos índices de falhas no uso dos equipamentos médicos-assistencial, deve ser rigorosa, com o intuito de evitar e reduzir os índices de eventos adversos. A importância da metrologia na área da saúde ganhou destaque após 1990, com a publicação dos resultados dos eventos adversos em *Harvard Medical Practice Study*, que concluiu que 3,7 % dos pacientes que estavam internados sofreram eventos adversos, e que 13,6 % dos incidentes levaram a óbito (MONTEIRO; LESSA, 2005).

O foco primário da metrologia legal é nas medições que afetam diretamente os consumidores, por meio da garantia da confiabilidade e exatidão das medições em transações comerciais e nos setores da saúde, segurança e no meio ambiente (SAÚDE, 2015).

No Brasil, assim como em outros países do mundo, tem se uma preocupação relacionada à certificação dos produtos para a saúde antes da comercialização. A comercialização de um equipamento médicos-assistenciais no Brasil exige o registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para que os fabricantes introduzam o produto no mercado. Para obtenção do registro, o fabricante precisa certificar o seu produto através de um Organismo de Certificação de Produtos (OCP), acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). (MONTEIRO; LESSA, 2005; SILVA, 2017).

As Regulamentações Técnicas Metrológicas (RTM) elaboradas pelo INMETRO para instrumentos de medição na área da saúde são em geral baseadas nas recomendações metrológicas da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). Este regulamento tem como objetivo colocar sob controle do estado diferentes categorias de instrumentos de medição, fixando requisitos técnicos e metrológicos para utilização e verificação (MENEZES; SILVA; SALLES, 2003; MONTEIRO; LESSA, 2005).

No Brasil não existe na constituição brasileira nenhuma lei ou regulamentação que torne imprescindível o controle e garantia da confiabilidade metrológica dos equipamentos médico-assistenciais, com exceção dos esfigmomanômetros mecânicos de medição não invasiva do tipo aneroide, equipamentos envolvendo o uso de radiações ionizantes, e termômetro clínico de mercúrio em vidro (MONTEIRO; LESSA, 2005).

Na Engenharia Clínica a metrologia é aplicada por inúmeros motivos, pode-se salientar o controle de qualidade do parque tecnológico dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), a proteção e redução de riscos e de acidentes com pacientes e profissionais da saúde, e com isso uma maior confiabilidade dos diagnósticos e dos tratamentos (FARIA, 2016).

A metrologia na saúde é uma condição para garantir que os resultados de medições relevantes ao diagnóstico médico sejam exatos, de confiança e comparáveis (FERREIRA, 2008). A confiabilidade dos procedimentos de saúde, a precisão e a rastreabilidade metrológica são contribuições para promover a segurança do paciente no ambiente hospitalar (MONTEIRO; LEON, 2015).

2.7 Incerteza de Medição- Método GUM

Um dos métodos utilizados para o cálculo da incerteza é o método GUM proposto pelo Guia para Expressão de Incerteza de Medição- Avaliação de dados de medição, publicada pelo INMETRO em 2012. Este guia fornece orientações gerais para avaliar e expressar a incerteza associada ao resultado de uma medição. Os princípios deste Guia são aplicáveis a vários campos de atuação, relacionado com a expressão da incerteza de medição de uma grandeza física bem definida (mensurando).

A finalidade de uma medição é determinar o valor do mensurando, ou seja, o valor da grandeza a ser medida. Uma medição inicia, com uma especificação do mensurando, do método e do procedimento de medição (INMETRO, 2008).

O INMETRO (2012) define a incerteza de medição como um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

A incerteza de medição é um parâmetro metrológico que permite avaliar a qualidade do resultado de medição. A declaração da incerteza contribui para a rastreabilidade da medição, possibilita que os resultados de medição sejam comparados entre eles, com valores de referências, especificações do fabricante, catálogos ou normas técnicas (ISO TAG 4/ WG 3, 2008), e também é um dos requisitos especificados na NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017).

Na área de calibração, a incerteza de medição é um conceito difundido e praticado pelos laboratórios. Ainda hoje, muitos profissionais desconhecem a real necessidade do cálculo da incerteza para resultados de ensaios, em muitos casos é alegado que o cálculo é trabalhoso e a relação custo/benefício não compensa (DOMENEGHETTI, 2011). De acordo com INMETRO (2008), para que o laboratório assegure ao seu cliente que seus ensaios são realizados com a exatidão requerida, ele deve ser capaz de demonstrar que os instrumentos de medição que utiliza produzem resultados corretos e são controlados de forma adequada. Para tanto, a rastreabilidade desses instrumentos é necessária.

A especificação do mensurando requer o conhecimento da natureza da grandeza. A medição inicia com a especificação adequada do mensurando, do método de medição e do procedimento de medição. Com isso, o mensurando deve ser definido de forma clara e completa, em que para determinado nível de exatidão, seu valor é único.

Todo processo de medição está sujeito a erros seja qual for o mensurando e o sistema de medição utilizado. Com isso todas as grandezas que influenciam o resultado de medição devem ser identificadas na etapa inicial do cálculo da incerteza (BIPM, et al., 2008).

O INMETRO (2012) define grandeza de influência como a grandeza que, numa medição direta, não afeta a grandeza efetivamente medida, mas afeta a relação entre a indicação e o resultado de medição. A definição de grandeza de influência inclui algumas componentes que podem estar relacionadas com os padrões de medição, as condições ambientais, o operador, aos equipamentos, ao procedimento de medição, entre outros.

Na maioria dos casos o mensurando Y não é medido diretamente, mas sim determinado, a partir de N outras grandezas X_1, X_2, \dots, X_n , por uma relação funcional f , Equação (2.3) (BIPM, et al., 2008). Este modelo é a base para aplicação da lei de propagação de incertezas.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.3)$$

Uma estimativa do mensurando Y , designada por y , é obtida da Eq.(2.3) usando um conjunto de estimativas de entrada x_1, x_2, \dots, x_n , para os valores das N grandezas X_1, X_2, \dots, X_n . Assim, a estimativa de saída y é dada pela Equação (2.4).

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.4)$$

A incerteza padrão deve ser associada a cada grandeza de influência que afeta o processo de medição, e é obtida pela análise individual de cada variável de entrada, através de uma avaliação do tipo A ou do tipo B.

Na avaliação tipo A as fontes de incertezas são adquiridas por uma análise estatística de uma série de observações repetidas, assumindo uma distribuição normal ou qualquer outra como *t-Student*. Quando se dispõe de um conjunto de valores da variável de entrada, em condições de repetibilidade, pode ser efetuada uma avaliação do tipo A, Equação (2.5).

$$u(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Onde, $s(x)$ é o desvio-padrão dos valores do conjunto de repetições e n é o número de repetições.

A avaliação do tipo B pressupõe a avaliação de incerteza por outros meios que não é análise estatística de uma série de observações. Assim uma avaliação do tipo B pode ser determinada por:

- Especificação dos fabricantes dos equipamentos utilizados na calibração ou ensaio;
- Investigação teórica das fontes de influência do processo de calibração ou ensaio;
- Dados de medições prévias, como a calibração dos padrões;
- Experiência ou conhecimento geral do comportamento dos instrumentos;
- Incertezas relacionadas a dados de referência extraídos de manuais ou normas.

Em muitos casos, as estimativas provêm de certificados de calibração do instrumento de medição. Com isso para estimar a incerteza padrão $u(x_i)$ basta dividir a incerteza expandida associada à calibração (U) pelo fator de abrangência declarado no certificado de calibração (k), conforme Equação (2.6).

$$u(x_i) = \frac{U_{xi}}{k} \quad (2.6)$$

Dentre as funções de densidade de probabilidades de uma fonte de incerteza é obtida por meio da avaliação do tipo B tem-se uma distribuição normal, a *t-Student*, a retangular e a triangular.

A Figura 2.8 representa uma distribuição normal de probabilidade. A área azul escuro representa um desvio padrão (σ) em torno da média, com confiabilidade de 68,27 %. O intervalo considerando dois desvios padrões em torno da média (azul médio e escuro) representam cerca de 95,45 % e três desvios padrões (azul claro, médio e escuro) representam 99,7 % (MOSQUERA, 2017).

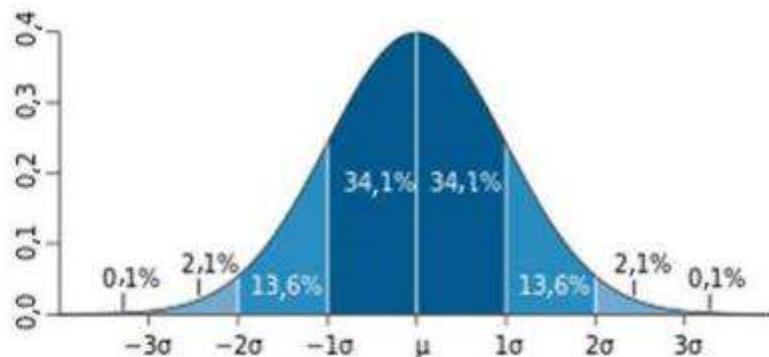


Figura 2.8 - Distribuição Normal de Probabilidade (ISO TAG 4WG-3, 2008).

Na distribuição retangular é possível estimar apenas os limites superior e inferior para a variável de entrada e estabelecer que a probabilidade de que o valor desta variável pertença ao intervalo $[-a, +a]$, é igual a um e a probabilidade para que o valor esteja fora desse intervalo é igual à zero. A variável pode assumir infinitos valores no intervalo considerado e consequentemente, o seu grau de liberdade é infinito. Para tais situações deve ser utilizada a distribuição retangular, conforme mostra a Figura 2.9.

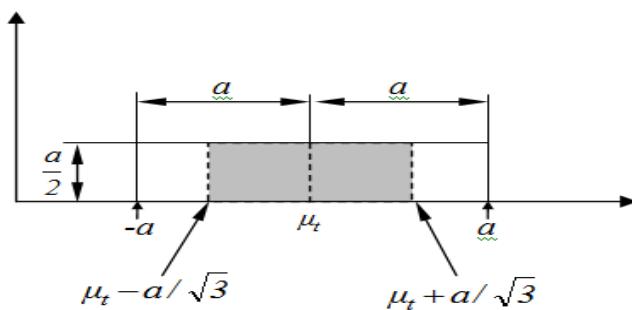


Figura 2.9 - Distribuição Retangular (Adaptado BIPM et al., 2008).

Assumindo-se que a variação da incerteza padrão $u(x_i)$ tenha distribuição retangular num intervalo simétrico entre os limites $[-a, +a]$, a estimativa da incerteza-padrão neste caso é definida pela Equação (2.7).

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

A distribuição retangular ou uniforme é utilizada quando se dispõe de pouca informação a respeito de uma determinada variável. No caso da resolução, se o instrumento for digital, o denominador da Equação (2.7) deve ser multiplicado por dois.

Na distribuição triangular, é mais realista esperar que valores perto dos limites sejam menos prováveis do que os que estejam perto do ponto médio, conforme Figura 2.10.

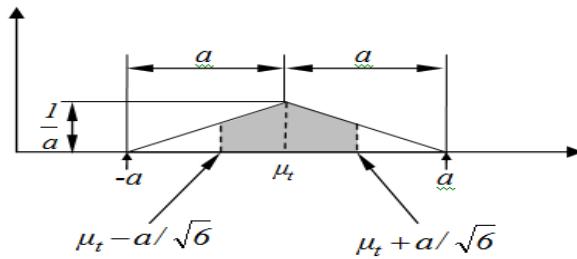


Figura 2.10 - Distribuição Triangular (BIPM, et al., 2008).

Neste tipo de destruição, tem mais conhecimento sobre os valores possíveis da grandeza, com infinitos graus de liberdade. A Equação (2.8) mostra o cálculo da incerteza padrão para a distribuição triangular.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2.8)$$

A incerteza padrão-combinada de um resultado de medição pode ser calculada a partir das incertezas padrão associadas às grandezas de entrada do modelo de medição, através de uma lei conhecida como “lei da propagação de incertezas”. A incerteza padrão-combinada de uma estimativa y é representada por $u_c(y)$ (BIPM, et al., 2008).

A incerteza-padrão combinada $u_c(y)$ é a raiz quadrada da variância combinada $u_c^2(y)$, que é dada pela Equação (2.9) e expressa a lei da propagação de incertezas, aproximada pela série de Taylor de primeira ordem.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i) \quad (2.9)$$

Onde, f é a função que modela matematicamente o processo de medição segundo a Equação (2.3).

Os coeficientes de sensibilidade c_i provenientes das derivadas parciais $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ da função da medição, descrevem como estimativa y varia de acordo com as estimativas de entrada x_i .

Com isso, a incerteza padrão-combinada $u_c(y)$, é uma soma linear de termos que representa a variação da estimativa de saída y , gerada pela incerteza padrão.

A incerteza expandida $U(y)$, associada a variável de saída y , é obtida, pela multiplicação da incerteza padrão combinada $u_c(y)$ por um fator de abrangência k , Equação (2.10).

$$U(y) = k \cdot u_c(y) \quad (2.10)$$

Na Eq. (2.13) para determinar o k que é definido como fator de abrangência, deve-se calcular o número de graus de liberdade efetivos v_{ef} , e podem ser estimada por meio da fórmula de Welch-Satterthwaite, Equação (2.11).

$$v_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{(u_i(x) \cdot c_i)^4}{v_i}} \quad (2.11)$$

Onde: N é o número de variáveis de entrada; v_i é o número de graus de liberdade de cada variável de entrada; $u_c(y)$ é a incerteza-padrão combinada da variável de saída; $u_i(x)$ é a incerteza-padrão de cada variável de entrada e c_i é o coeficiente de sensibilidade do mensurando em relação a cada variável de entrada.

O resultado de uma medição é um conjunto de valores atribuídos a um mensurando, juntamente com toda outra informação pertinente disponível (INMETRO, 2012). É então convenientemente expresso levando em consideração a incerteza expandida, como mostra a Equação (2.12).

$$RM = \bar{Y} \pm U(Y) \quad (2.12)$$

Onde, \bar{Y} é a estimativa de Y , mais especificamente, seu valor médio e $U(Y)$ é a incerteza expandida associada a y .

Para que este resultado esteja em conformidade com a ABNT NBR ISO 17025 (ABNT, 2017) deve ser especificada a probabilidade de abrangência e o fator de abrangência.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para a avaliação do desempenho metrológico das incubadoras neonatais monitorando a temperatura e a umidade de acordo com a ABNT NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014). Para um melhor entendimento, os mesmos foram divididos em três etapas principais: procedimento de medição; especificação do *hardware* e do *software* desenvolvido; e avaliação da incerteza de medição.

3.1 Procedimento de Medição

Neste trabalho foi avaliado o desempenho metrológico de 4 incubadoras neonatais pertencentes a um hospital público de grande porte e alta complexidade. Cabe ressaltar que este EAS possui 31 incubadoras neonatais, alocadas no setor de Unidade Terapia Intensiva de Neonatologia (UTIN). Todas as incubadoras são de um mesmo fabricante e existem quatro modelos diferentes no EAS, porém para este trabalho apenas dois modelos de incubadoras foram analisados devido à disponibilidade das incubadoras do setor de UTIN.

- Fabricante A
 - Modelo 1 - Incubadoras 1 e 2
 - Modelo 2- Incubadoras 3 e 4

Sobre os modelos das incubadoras neonatais analisadas, as principais características de interesse são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Principais Características das incubadoras neonatais analisadas (Fonte: Manual do fabricante).

Modelo	1	2
Temperatura		
Faixa de Controle – Modo Ar	(20,0 a 37,0) °C	(20,0 a 39,0) °C
Resolução da indicação de Temperatura	0,1 °C	0,1 °C
Sobre-elevação da Temperatura	< 0,7 °C	0,8 °C
Tempo de elevação da Temperatura	40 min	40 min
Uniformidade de Temperatura	< 0,8 °C	< 0,6 °C
Variação da Temperatura	< 0,5 °C	± 0,2 °C
Umidade		
Capacidade do Reservatório	1000 ml	950 ml
Faixa de Controle	(20 a 95) %	(30 a 95) %
Precisão do Controle	± 10 %	± 5 %
Sistema de Umidificação	Ativo	Passivo

Para avaliar o desempenho metrológico das incubadoras foram avaliados os requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial das incubados para recém-nascidos de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) e para todos os ensaios executados foram efetuados os cálculos de média, desvio padrão, determinação do erro e incerteza de medição. Para tanto, foram avaliados os seguintes parâmetros contidos nas seções e subseções da norma:

- Temperatura ambiente (Subseção 201.5.3);
- Tempo de aquecimento da incubadora (Subseção 201.12.1.107);
- Condição de temperatura estável (Subseção 201.3.212);
- Estabilidade da temperatura da incubadora (Subseção 201.12.1.101);
- Uniformidade da temperatura da incubadora (Subseção 201.12.1.102);
- Exatidão do controle da temperatura da incubadora (Subseção 201.12.1.106);
- *Overshoot* (ou sobre-elevação) da temperatura da incubadora (Subseção 201.12.1.108);
- Exatidão da indicação de umidade relativa (Subseção 201.12.1.109).

Todos os experimentos foram efetuados no setor de Engenharia Clínica do EAS. E conduzidos à temperatura ambiente entre 21 °C e 26 °C, conforme proposto pela norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014). Para avaliação das condições de temperatura do ambiente do local de execução do ensaio, o sistema de medição utilizado foi um termohigrômetro digital com resolução de 0,1 °C e faixa nominal de (-20 a 60) °C. Este equipamento possui certificado de calibração N.R4996/13, emitido pelo Laboratório de Temperatura e Umidade da Elus Instrumentação (ANEXO II). Para toda a faixa nominal de temperatura, a incerteza expandida é declarada como sendo 0,3 °C para k igual a 2,00 e

infinitos graus de liberdade. A incerteza expandida de calibração da umidade, em toda sua faixa nominal a incerteza configura em 1,3 % do valor medido para um k igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade.

Para avaliação dos demais parâmetros, o sistema de medição utilizado é composto por cinco sensores de temperatura, um sensor de umidade relativa do ar que é acoplado em todos os sensores de temperatura e um programa computacional para aquisição dos dados e realização da interface entre o usuário e o sistema de medição.

Os sensores utilizados foram do tipo circuito integrado modelo HTU21D e fabricados pela *Measurement Specialties*. Na Tabela 3.2 são apresentadas as principais características desse sensor.

Tabela 3.2 - Principais Características do Sensor HTU21D.

Parâmetro	Condições	Mínimo	Típico	Máximo	Unidade
Temperatura					
Resolução	12 bits		0,04		°C
Exatidão	20 a 40	±0,4	±0,3	±0,4	°C
Faixa		-40		+125	°C
Umidade					
Resolução	12 bits		0,04		% UR
Exatidão	20 a 80	±3	±2	±3	% UR
Faixa		0		100	% UR

Os cinco sensores HTU21D possuem certificado de calibração, emitido pelo Laboratório de Medição de Uberlândia (ANEXOS III, IV, V e VI). A incerteza expandida declarada para as temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C para os sensores A, B, C, D e M, para k igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade, são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Incerteza Expandida do certificado de calibração dos sensores A, B, C, D e M.

Incerteza Expandida					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor M
32 °C	0,22 °C	0,21 °C	0,21 °C	0,20 °C	0,21 °C
36 °C	0,21 °C	0,21 °C	0,22 °C	0,22 °C	0,21 °C

A temperatura interna da incubadora foi medida em cinco pontos diferentes, sendo estes em um plano paralelo ao plano do colchão e a uma altura em relação a este de 10 cm. Os cinco pontos foram assim definidos pela norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), onde: o ponto M é a interseção das duas diagonais do retângulo ocupado pelo colchão, ou seja, é o ponto central do colchão; os outros pontos foram obtidos por meio da divisão da

superfície, em quatro retângulos iguais, formados a partir das mediatrizes dos lados do retângulo formado pelo colchão. O cruzamento das diagonais de cada um desses retângulos representa os pontos A, B, C e D, respectivamente.

Quanto à posição do sensor de umidade relativa do ar, a norma especifica a posição central da incubadora, a uma altura de 10 cm do colchão, como ponto de medição. Por isso o ponto de medição de umidade relativa é o ponto M. Foram realizadas medições no colchão da incubadora para determinar o posicionamento dos pontos A, B, C, D e M sendo a dimensão do colchão de 32 cm x 61 cm, e a partir disso determinou-se a distância entre os sensores no interior da incubadora, conforme mostrado na Figura 3.1.

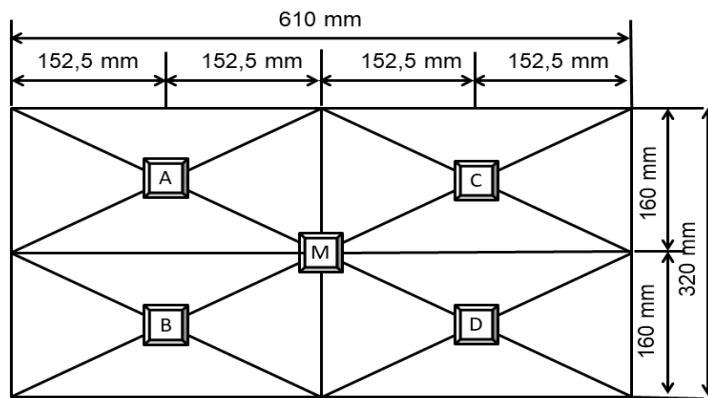


Figura 3.1 - Indicação do posicionamento dos sensores HTU21D nos pontos A, B, C, D e M no interior da incubadora.

Uma estrutura para posicionamento e fixação dos sensores foi idealizada e construída para facilitar o uso do protótipo. A estrutura de posicionamento dos sensores foi confeccionada em acrílico. Os sensores (A, B, C e D) foram fixados em cada bloco periférico e o sensor M fixado no bloco central.

Em função do ensaio descrito pela norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) requisitar a realização de um grande número de medidas e a atuação do operador sobre os controles da incubadora neonatal, foi desenvolvido um programa computacional. Além disso, como o ensaio dura aproximadamente 6 horas, foi necessário o gerenciamento dos dados por *software*.

Com isso, os ensaios foram estruturados em uma sequência de procedimentos definidos de modo a possibilitar uma padronização de sua execução, respeitando as condições normativas correspondentes.

Para facilitar a leitura seguem as definições das temperaturas que estão na NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) e que foram utilizadas nesse trabalho:

- Temperatura da incubadora: é a temperatura do ar no ponto 10 cm acima do centro da superfície do colchão no interior da incubadora (ponto M);
- Temperatura média da incubadora: é a média das leituras da temperatura da incubadora (ponto M) que foram obtidas durante a condição de temperatura estável e a intervalos regulares;
- Temperatura média: é a média das leituras de temperatura obtidas em qualquer ponto especificado no interior da incubadora, obtidas durante a condição de temperatura estável e a intervalos regulares;
- Temperatura de controle: é a temperatura selecionada no controle de temperatura da incubadora.

Nas Seções 3.1.1 a 3.1.9 apresenta-se a descrição detalhada para cada parâmetro avaliado neste trabalho.

3.1.1. Temperatura ambiente

Para dar início às coletas de dados foi necessário inicialmente verificar a temperatura ambiente. Assim, inseriu-se o sistema de medição contendo os sensores no interior da incubadora e, com a incubadora ainda aberta e desligada foi feita a medição da temperatura ambiente, que neste primeiro momento é a temperatura da incubadora (Subseção 201.3.207 da ABNT NBR IEC 60601-2-19) coletada no ponto M.

Como estabelecido na Subseção 201.5.3 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), todos os ensaios foram executados em temperatura ambiente na faixa de 21 °C a 26 °C. Assim, os demais testes somente foram iniciados após a temperatura ambiente atingir essa faixa.

Após a incubadora ser ligada a temperatura ambiente foi verificada a cada 20 minutos, durante todo o período de ensaio, com isso a cada 1 hora foram coletados 3 valores de temperatura ambiente, por meio do termohigrômetro digital descrito na Seção 3.1, localizado na parte superior da incubadora. Os valores de temperatura foram coletados de forma manual.

3.1.2. Tempo de aquecimento da incubadora neonatal

O tempo de aquecimento da incubadora neonatal (Subseção 201.12.1.107 da ABNT NBR IEC 60601-2-19) é definido como o tempo decorrido até que a temperatura do ponto M (Temperatura da incubadora) eleve-se em 11 °C, iniciando-se com a temperatura ambiente,

até atingir a condição de estabilidade (descrito na Seção 3.1.3) da temperatura da incubadora.

Assim, a temperatura de controle da incubadora foi ajustada para 12 °C acima da temperatura ambiente e o tempo para que temperatura da incubadora aumentasse em 11 °C foi medido, sendo que esse valor não pode variar em mais do que 20 % em relação ao tempo de aquecimento especificado pelo fabricante, como mostra a Equação (3.1). Para as incubadoras utilizadas nesta pesquisa o tempo de aquecimento especificado pelo fabricante é de 40 minutos.

$$\left| \frac{\text{taquecimento(medido)} - \text{taquecimento(especificado)}}{\text{taquecimento(especificado)}} \right| \cdot 100 \leq 20\% \quad (3.1)$$

Para realização deste ensaio, o controle de umidade deve ser ajustado para o seu valor máximo proposto por cada fabricante (ABNT, 2014). Para atender esse requisito foi consultado o manual do fabricante e o valor máximo do controle da umidade relativa proposto pelo fabricante é de 95 %.

Para realização do ensaio a incubadora estava funcionando em modo ATC, com as portinholas e portas de acesso das incubadoras fechadas.

Para avaliação do tempo de aquecimento da incubadora neonatal foram utilizados um sensor de temperatura HTU21D no ponto M e o programa computacional desenvolvido. O programa computacional possui uma tela de visualização das informações dos sensores permitindo visualizar a elevação da temperatura em 11 °C no ponto M e cronometrar o tempo de aquecimento da incubadora neonatal. Com isso, os ensaios foram realizados com intervalos de 1 minuto entre medições até que temperatura da incubadora aumentasse 11 °C.

3.1.3. Condição de temperatura estável

A condição de temperatura estável (Subseção 201.3.212) é atingida quando a temperatura da incubadora não varia em mais de 1 °C por um período de 1 hora. O ensaio foi executado em modo ATC, para as temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C. Para a avaliação da condição de temperatura estável a temperatura mínima obtida no ponto M e a temperatura máxima não pode diferir de 1 °C por um período de 1 hora, como mostra a Figura 3.2.

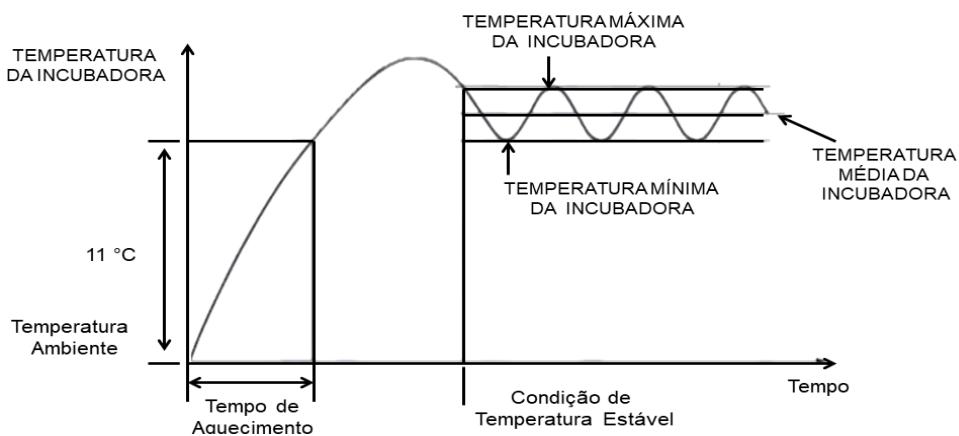


Figura 3.2 - Variação da Temperatura da Incubadora. (Adaptado de: ABNT, 2014)

3.1.4. Estabilidade da temperatura da incubadora

De acordo com a Subseção 201.12.1.101 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) durante a condição de temperatura estável, a temperatura da incubadora ($TempM$) (ponto M) não pode variar em mais de 0,5 °C da temperatura média da incubadora ($médiaTempM$) por um período de pelo menos 1 hora (Eq. (3.2)).

$$\text{Condição de estabilidade :} | TempM - médiaTempM | \leq 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

De acordo com a Subseção 201.3.202 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) para obtenção da temperatura média da incubadora as leituras devem ser feitas a intervalos regulares. Neste trabalho foram utilizados intervalos de 1 minuto para as coletas com um período de aquisição de 1 hora para atender a condição de análise da estabilidade da incubadora.

O ensaio deve ser executado no modo ATC, para as temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, com as portinholas e portas de acesso das incubadoras fechadas. Como não há definição normativa sobre a posição do colchão, arbitrou-se a posição horizontal para o presente ensaio.

Assim, para avaliação da condição de temperatura estável, as medições de temperatura foram aquisitionadas pelo sensor de temperatura HTU21D no ponto M e enviadas ao programa computacional para registrar os valores de temperatura obtidos.

O programa computacional registra os valores de temperatura e umidade do sensor HTU21D em bloco de notas. Com isso, o operador não tem influência no resultado do ensaio, eliminando assim a possibilidade de erros grosseiros por conta da falta de atenção, pouco treino ou falta de imperícia.

3.1.5 Uniformidade da temperatura da incubadora

A uniformidade da temperatura da incubadora (Subseção 201.12.1.102 da NBR IEC 60601-2-19), (ABNT, 2014) é alcançada na situação em que a temperatura média em cada um dos pontos (A, B, C e D) ($médiaTempJ$), não apresente diferença da temperatura média da incubadora ($médiaTempM$) no ponto M em mais que 0,8 °C na posição horizontal (utilização normal), e nos dois extremos da sua posição de inclinação, não pode diferir em mais do que 1 °C (ABNT, 2014), conforme mostrado nas Equação (3.3) e Equação (3.4).

$$\text{Condição Uniformidade : } |médiaTempJ - médiaTempM| \leq 0,8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

$$\text{Condição Uniformidade : } |médiaTempJ - médiaTempM| \leq 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

O ensaio deve ser executado com a incubadora no modo ATC, para as temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C com o colchão nas posições horizontal, inclinação máxima à direita e inclinação máxima à esquerda, totalizando seis repetições.

Os testes nas posições de inclinação à direita e de inclinação à esquerda foram realizados por um período de aquisição de 30 minutos para cada inclinação, e intervalo entre medições de 1 minuto para cada posição. Ao finalizar a posição horizontal alterou a posição do colchão para a inclinação à direita, parando o ensaio para mudar a posição da incubadora, depois, inclinou a incubadora para à esquerda.

Os testes na posição horizontal foram realizados durante a condição de temperatura estável da incubadora um período de aquisição 30 minutos, e intervalo entre medições de 1 minuto para cada temperatura de controle (32 °C e 36 °C). O programa computacional armazenou todas as medições obtidas no período de 30 minutos, e durante este período foram coletadas 30 medições de temperatura em cada ponto, lembrando que essas medições são feitas somente após a condição de temperatura estável ser atingida, tanto para a temperatura de controle em 32 °C, quanto para a temperatura de controle em 36 °C.

Para a realização do ensaio dos requisitos de condição de temperatura estável, estabilidade da temperatura da incubadora e uniformidade da temperatura da incubadora, foram utilizados os cinco sensores de temperatura HTU21D dos pontos A, B, C, D e M e os valores de temperatura coletados foram armazenadas pelo programa computacional no bloco de notas. Durante todo o ensaio as portinholas e portas de acesso estavam fechadas.

3.1.6 Overshoot da temperatura da incubadora

A Subseção 201.12.1.108 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) traz o ensaio para avaliar o overshoot da temperatura da incubadora. Assim, com a incubadora para recém-

nascido operando em modo ATC deve-se ajustar a temperatura de controle para 32 °C e aguardar até que a condição de temperatura estável seja atingida. A seguir, ajusta-se o controle de temperatura para 36 °C. O *overshoot* (sobre-elevação) da temperatura da incubadora não pode exceder 2 °C e a condição de temperatura estável, a partir da primeira passagem para 36 °C, deve ser restaurada dentro de 15 minutos.

Como não há definição normativa sobre a posição do colchão, arbitrou-se a posição horizontal (utilização normal) para o presente ensaio.

A condição de *overshoot* foi analisada por meio dos dados obtidos no ensaio realizado na Seção 3.1.3, a partir do momento em que a temperatura de controle foi ajustada de 32 °C para 36 °C. Como a norma diz avaliar o *overshoot* da temperatura da incubadora, esta análise foi feita para a temperatura no ponto M.

3.1.7 Exatidão do controle de temperatura da incubadora

De acordo com a Subseção 201.12.1.106 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) a incubadora operando no modo ATC a temperatura média da incubadora ($médiaTempM$) não pode diferir da temperatura de controle ($Temp$) (em 36 °C) em mais de $\pm 1,5$ °C, conforme mostrado na Equação (3.5).

$$Exatidão : | médiaTempM - Temp | \pm 1,5 °C \quad (3.5)$$

Como não há definição normativa sobre a posição do colchão, arbitrou-se a posição horizontal para o presente ensaio. Este ensaio foi realizado simultaneamente com a uniformidade da temperatura da incubadora na posição horizontal.

Assim, na temperatura de controle de 36 °C e utilizando-se os dados coletados no sensor de temperatura HTU21D do ponto M e, armazenadas pelo programa computacional no bloco de notas, avaliou-se a exatidão do controle de temperatura da incubadora.

Durante todo o ensaio as portinholas e portas de acesso estavam fechadas.

Para uma melhor compreensão, a Figura 3.3 traz o fluxograma de execução da coleta de dados de temperatura das incubadoras neonatais avaliadas nesta pesquisa.

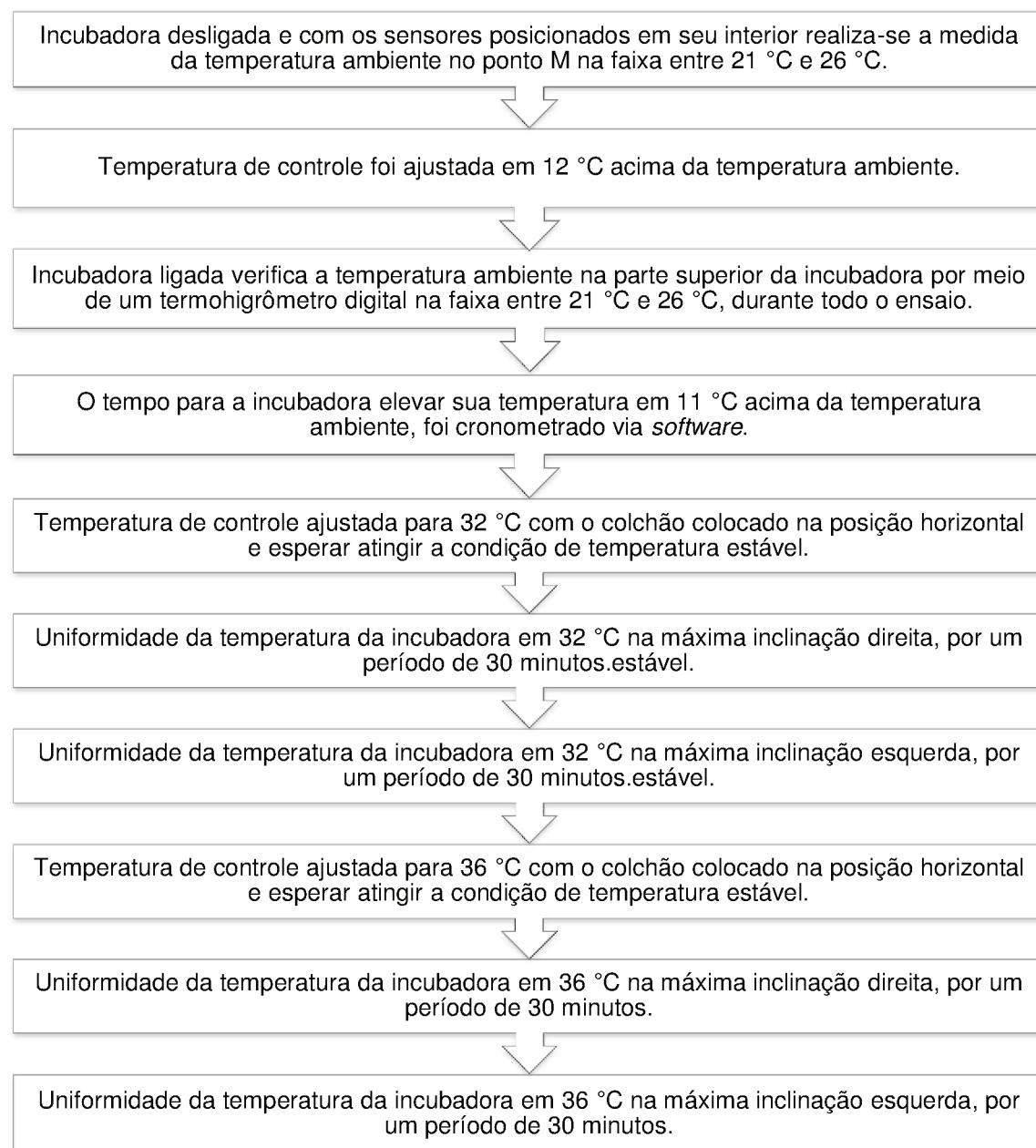


Figura 3.3 - Fluxograma de execução da coleta de dados de temperatura das incubadoras neonatais.

3.1.8 Exatidão da indicação de umidade relativa

A Subseção 201.12.1.109 da NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) cita que a indicação da umidade relativa deve possuir uma exatidão de $\pm 10\%$ do valor medido real, e a umidade relativa deve ser avaliada na temperatura de controle entre 32 °C e 36 °C.

A norma cita ainda que o dispositivo de medição deve estar no centro do gabinete (ponto M). Dessa forma a umidade relativa do ar foi verificada com o sensor de umidade relativa do ar no ponto M.

A norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) não determina o valor de umidade relativa para realização dos ensaios no interior da incubadora, entretanto na literatura estudada nos trabalhos (ARONE, 1995; ALMEIDA et al., 2011; AMORIM et al., 2015) mostram que a umidade relativa do ar precisa ser mantida em níveis compatíveis com as necessidades dos recém-nascidos, geralmente, entre 40 % e 60 % de umidade relativa no interior da incubadora neonatal.

Com isso, a umidade de controle foi ajustada em três modos de operação: 40 %, 50 % e 60 %. Os ensaios foram realizados simultaneamente na condição de temperatura estável por um período de aquisição de 60 minutos para cada modo de ajuste da umidade relativa do ar, com um intervalo entre amostras de 1 minuto, totalizando 60 medições para cada modo de operação da umidade relativa do ar.

3.2 Especificações do *hardware* e do *software* desenvolvido

O sistema desenvolvido possui um módulo microcontrolado para automatizar o processo de aquisição dos dados no interior da incubadora neonatal. Este módulo estabelece uma comunicação com um computador onde os dados são apresentados e armazenados. O protótipo possui quatro módulos: sensores, aquisição, comunicação e o software para o microcontrolador. Os dados foram adquiridos por meio dos sensores e enviados ao computador pelo protocolo *Bluetooth*. No computador os dados são mostrados através da interface gráfica e do armazenamento dos dados.

3.2.1 Módulo de Sensores

Foi utilizado o sensor de temperatura e umidade HTU21D fabricado pela *Measurement Specialties*. Os critérios para escolha dos sensores foram precisão e resolução, sensibilidade dos sensores e custo de aquisição. As características elétricas do sensor HTU21D são apresentadas na Tabela 3.4.

Este sensor possui quatro pinos, dois de alimentação e dois de linha de dados. A tensão de alimentação deve ser na faixa de 1,5 V a 3,6 V e utiliza o protocolo I²C.

Tabela 3.4 - Características Gerais e Elétricas do Sensor HTU21D.

Parâmetro	Mínimo	Típico	Máximo	Unidade
Tensão de Alimentação	1,5	3,0	3,6	V
Corrente	300	450	500	µA
Potência Dissipada		2,7		µW
Comunicação	Digital 2-wire interface, protocolo I ² C			

O protocolo I²C foi desenvolvido na década de 90 pela *Philips Semiconductors* (hoje NXP), com o objetivo simplificar a comunicação entre uma unidade de controle e diversos dispositivos de baixa complexidade pertencentes ao mesmo circuito (PHILIPS SEMICONDUCTORS, 1995).

O protocolo I²C é composto por duas linhas, o SCL (*Serial Clock Line* ou *clock serial*) e a SDA (*Serial Data Input/Output*), ou linha de dados serial. Ambas as linhas SCL e SDA são bidirecionais, e cada linha necessita de um resistor de *pull-up* externo. Este protocolo tem dois tipos de dispositivos: *Master* e *Slave*, onde o *Master* (mestre em Inglês) é a unidade de controle responsável por coordenar todos os periféricos *Slave* (escravo em Inglês), conforme mostrado na Figura 3.4 (URL 1, 2018).

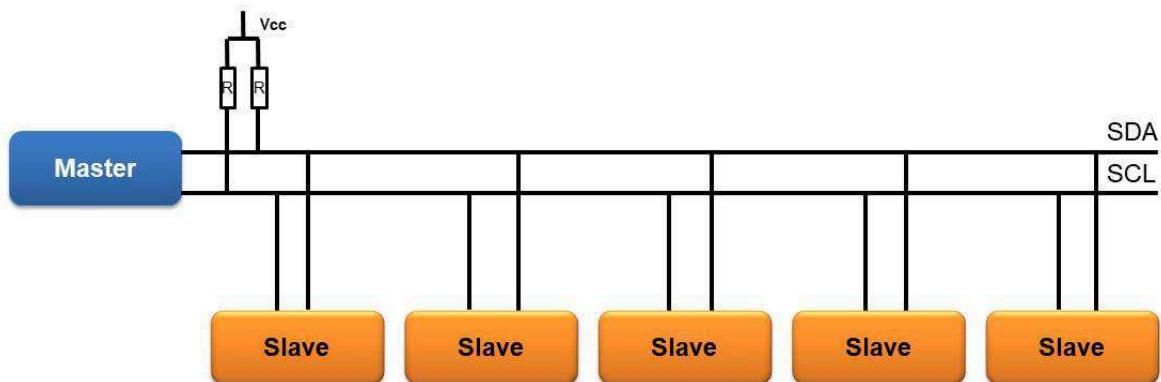


Figura 3.4 - Barramento I²C com resistor *pull-up*.

No sensor HTU21D o protocolo I²C tem os seguintes pinos, o SCK (*Serial Clock Input*) utilizado para sincronizar a comunicação entre o microcontrolador e o sensor HTU21D e o DATA (*Serial Data*) é usado para transferir os dados para dentro e para fora do dispositivo.

3.2.2 Multiplexador

O multiplexador é um dispositivo que seleciona informações de duas ou mais fontes de dados em um único canal. Os sensores de temperatura e umidade HTU21D são conectados em um Multiplexador TCA9548A fabricado pela *Texas Instruments*. Este dispositivo possui oito canais bidirecionais controlados por meio de um barramento I²C. O par de sinais SCL/SDA principal é direcionado para oito canais de dispositivos escravos (SC0/SD0 - SC7/SD7), em que qualquer canal pode ser selecionado individualmente.

As conexões de dados I²C são controladas pelo mesmo dispositivo mestre I²C (arduino) que é comutado para se comunicar com vários escravos I²C (sensores HTU21D). O multiplexador possui um controle I²C usando um único registro de controle de 8 bits, em

que cada bit controla a ativação e desativação de um dos 8 canais de comutação correspondentes para o fluxo de dados I²C.

O TCA9548A permite o uso de diferentes tensões de barramento em cada par SCn/SDn, utilizando resistores *pull-up* externos para puxar o barramento até a tensão desejada para o *Master* e para cada *Slave*. O barramento I²C requer resistores *pull-up* em suas linhas de *clock* (SCL) e de dados (SCA), em cada entrada utilizada do multiplexador tem-se um resistor *pull-up* de 1,5 kΩ. Na Tabela 3.5 pode observar as especificações do multiplexador TCA9548A.

Tabela 3.5 - Características Gerais e Elétricas do multiplexador TCA9548A.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Unidade
Tensão de Alimentação	1,65	5,5	V
Corrente	6	15	μA
Temperatura Operacional	-40	85	°C
Frequência de <i>clock</i>	0	400	kHz
Comunicação	Protocolo I ² C		

3.2.3 Módulo de Aquisição

A plataforma Arduino foi uma das plataformas mais inovadoras e de mais sucesso. Hoje possui dezenas de modelos disponíveis, e uma grande quantidade de software e hardware já pode ser usada em conjunto.

Neste projeto foi utilizado como módulo de aquisição o Arduino Nano V3.0 que possui um processador capaz de diferentes funções, como: pinos com múltiplas funções (saídas e entradas digitais), PWM, conversor Analógico-Digital, comunicação serial, comunicação I²C, comunicação SPI, *timers*, interrupções, entre outras funções.

Na Tabela 3.6 pode observar as especificações técnicas do Arduino Nano V 3.0.

Tabela 3.6 - Especificações Técnicas do Arduino Nano V 3.0.

Parâmetro	Unidade
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de Operação	5 V
Portas Digitais	14
Portas Analógicas	8
Corrente Pinos	40 mA
Memória Flash	32 kB
Velocidade de Clock	16 MHz

O Arduino vem com os pinos próprios para a conexão I²C, no Arduino Nano utilizado no protejo foram à porta A4 do Arduino para os dados (SDA) e a porta A5 do Arduino para as linhas de *clock* (SCL).

3.2.4 Módulo de transmissão Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicações sem fio que opera na faixa de (2,4 a 2,485) GHz cujo objetivo é substituir cabos na conexão de dispositivos eletrônicos. Dentre as principais características dessa tecnologia destacam-se a baixa potência, baixo custo e pequenas dimensões (BLUETOOTH SIG, 2005).

A comunicação entre o módulo de aquisição (Arduino) e o computador foi implementado em protocolo *Bluetooth*. O módulo utilizado na placa de transmissão foi o HC-06 com alcance de 10 m.

O módulo possui 4 pinos: tensão de alimentação (VCC), terra (GND), RX e TX, sendo os dois últimos pinos utilizados para comunicação com o Arduino. A tensão de alimentação é de (3,6 a 6) V, porém a tensão de comunicação nos módulos é de 3,3 V, ou seja, apesar de a alimentação ser 5V, os pinos RX e TX utilizam sinais de 3.3V para se comunicar. Desta forma, é necessário utilizar o divisor de tensão para obter 3.3 V a partir da saída de 5V do RX do Arduino.

3.2.5 Software de Aquisição

O *software* desenvolvido para o microcontrolador interage com o *hardware* implementado e realiza a interface entre o usuário e o sistema.

Para o desenvolvimento do programa computacional para aquisição da temperatura e umidade no interior das incubadoras neonatais, foram determinadas técnicas de desenvolvimento de software para atingir um resultado satisfatório, com isso, houve a estruturação do software. Baseando na Engenharia de Software, o processo de desenvolvimento do sistema foi subdividido em ciclos de vida:

- A primeira etapa foi referente à Engenharia de Sistemas, em que foram estabelecidos os requisitos técnicos, como: linguagem de programação, comunicação, etc;
- A segunda etapa foi a Análise de Requisitos na qual foi efetuada a definição dos requisitos de *software* de acordo com a NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014);

- A terceira etapa foi o Projeto, em que determinou as representações gráficas ou textuais, os passos que foram executados durante o desenvolvimento e a interface;
- A quarta etapa foi a Codificação, onde as representações realizadas na etapa de projeto foram mapeadas em uma linguagem computacional determinada;
- A quinta etapa é o Teste, ou seja, a validação do sistema, na busca de determinados erros que possam prejudicar a execução do sistema;
- A sexta etapa, é a Manutenção, que tem como finalidade prever e corrigir problemas futuros no sistema.

A linguagem de programação utilizada neste projeto foi à própria linguagem do Arduino C++ e para realizar a análise e visualização dos dados obtidos através do módulo *Bluetooth*, foi construído um aplicativo em *Visual Studio Community 2017*.

As tarefas do programa computacional são realizar a aquisição e armazenamento das grandezas, não avaliando as conformidades das incubadoras, a avaliação as conformidades foi realizada por planilhas do Excel. O programa computacional também gerencia a transmissão dos dados para o computador. O *software* desenvolvido apresenta os resultados na tela do computador, em forma de arquivo texto ou gráfica.

O *software* desenvolvido tem como função a aquisição e armazenamento da temperatura e da umidade na incubadora neonatal. Com isso, o programa computacional possui as funções de conectar com o módulo *Bluetooth*, determinar o intervalo entre as medições e o período de aquisição, armazenar os dados em formato txt ou no Excel.

Na Figura 3.5, tem-se o diagrama da lógica de funcionamento do *software* como um todo. Primeiramente, as portas seriais são inicializadas e a comunicação inicial do módulo *Bluetooth* com o Arduino e sensores são estabelecidos. Em caso de erro, é necessário realizar a conexão do módulo *Bluetooth* novamente. Após ter a comunicação do módulo *Bluetooth* estabelecida, o usuário deve informar o intervalo entre medições (minutos) e o período de aquisição dos dados (minutos), e assim iniciar a aquisição de dados. Os gráficos de temperatura e umidade são plotados em tempo real, de acordo com a variação dos sensores de temperatura e umidade em relação ao tempo, assim é possível acompanhar qualquer alteração ou erro apresentado nos sensores.

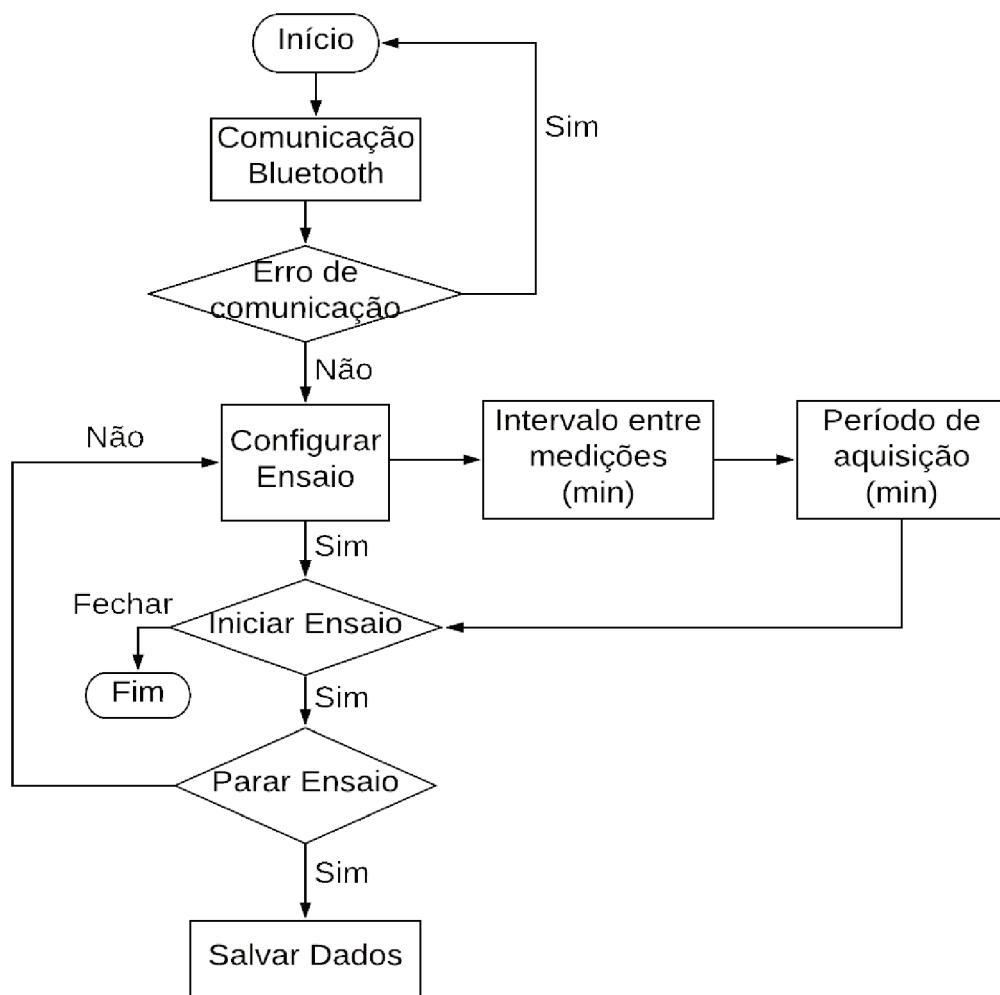


Figura 3.5 - Diagrama da lógica de funcionamento do programa.

3.3 Avaliação da Incerteza de Medição

A incerteza associada à medição foi avaliada seguindo-se o método GUM descrito na Seção 2.6. Com o intuito de garantir a confiabilidade e a rastreabilidade dos resultados obtidos, a incerteza de medição foi calculada para as temperaturas e umidades analisadas.

3.3.1 Cálculo de Incerteza associada à medição da temperatura

O modelo matemático proposto para a avaliação da incerteza de medição associada à temperatura é representado pela Equação (3.6).

$$T = \bar{T} + \Delta R + \Delta IC \quad (3.6)$$

Onde, T representa o mensurando (temperatura); \bar{T} é a variabilidade das leituras indicadas pelo sensor de temperatura; ΔR é a correção devido à resolução do sensor de temperatura e ΔIC é a correção associada à calibração do sensor de temperatura.

A incerteza padrão associada à variabilidade das leituras foi estimada por meio de uma avaliação do tipo A, considerando a distribuição *t-Student* com $n-1$ graus de liberdade, conforme mostra a Equação (3.7).

$$u(\bar{T}) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

Na Equação (3.7), s representa o desvio padrão experimental e n o número de leituras que foi realizado.

A resolução dos sensores de temperatura (A, B, C, D e M), R , é de 0,01 °C. Para avaliar a incerteza padrão associada a esta variável, $u(\Delta R)$, foi considerando uma avaliação do tipo B com uma distribuição retangular e infinitos graus de liberdade. Vale ressaltar que o multiplicador 2 no denominador da Equação (3.8) é considerado, pois o sistema de medição é digital.

$$u(\Delta R) = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad (3.8)$$

A incerteza padrão associada à calibração dos sensores de temperatura, $u(\Delta IC)$ foi calculada por meio de uma avaliação do tipo B, com distribuição *t-Student* e infinitos graus de liberdade conforme declara o certificado de calibração dos sensores de temperatura, Equação (3.9). Os valores de $U(C)$ e k , incerteza expandida e fator de abrangência, respectivamente, são declarados no certificado de calibração.

$$u(\Delta IC) = \frac{U(C)}{k} \quad (3.9)$$

A seguir foi aplicada a Lei de Propagação de Incertezas no modelo matemático da medição, Equação (3.6), para calcular a incerteza-padrão combinada associada aos mensurando, $u_c^2(T)$, obtida por meio da Equação (3.10):

$$u_c^2(T) = \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)^2 u^2(\bar{T}) + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta R} \right)^2 u^2(\Delta R) + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta IC} \right)^2 u^2(\Delta IC) \quad (3.10)$$

Resolvendo, as derivadas parciais, tem-se a Equação (3.11).

$$u_c(T) = \sqrt{u^2(\bar{T}) + u^2(\Delta R) + u^2(\Delta IC)} \quad (3.11)$$

Desse modo, a incerteza expandida $U(T)$ associada aos resultados da medição de temperatura, é a multiplicação da incerteza - padrão combinada pelo fator de abrangência k , determinado por meio da Equação (3.12).

$$U(T) = k \cdot u_c(T) \quad (3.12)$$

3.3.2 Cálculo de Incerteza associada à medição da umidade

O cálculo de incerteza associada à umidade possui três fatores de influência principais. São eles: U representa o mensurando (umidade); \bar{U} é a variabilidade das leituras indicado pelo sensor de umidade; ΔR é a correção devido à resolução do sensor de umidade e ΔIC é a correção associada à calibração do sensor de umidade. A partir da determinação dos fatores de influência, é possível formular o módulo matemático, que foi definido conforme a Equação (3.13).

$$U = \bar{U} + \Delta R + \Delta IC \quad (3.13)$$

A incerteza padrão associada à variabilidade das leituras foi calculada conforme a Equação (3.14) e estimada por meio de uma avaliação do tipo A, considerando a distribuição normal com $n-1$ graus de liberdade. Nesta equação, a variável s representa o desvio padrão experimental e n o número de leituras que foi realizado.

$$u(\bar{U}) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.14)$$

A resolução do sensor de umidade, R , é de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para avaliar a incerteza padrão associada à resolução do sensor de umidade, $u(\Delta R)$ foi considerada uma avaliação do tipo B com uma distribuição retangular e com infinitos graus de liberdade (Equação 3.15).

$$u(\Delta R) = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad (3.15)$$

A incerteza padrão associada à calibração do analisador de incubadora, $u(\Delta IC)$, foi calculada por meio de uma avaliação do tipo B, com distribuição *t-Student* e infinitos graus de liberdade conforme declara o certificado de calibração do sensor de umidade, da Equação (3.16). Os valores da incerteza expandida $U(C)$ e fator de abrangência k , também foram retirados do certificado de calibração.

$$u(\Delta IC) = \frac{U(C)}{k} \quad (3.16)$$

Foi aplicada a Lei de Propagação de Incertezas no modelo matemático da medição, Equação (3.12), para calcular a incerteza-padrão combinada associada aos mensurando, $u_c(U)$, obtida pela Equação (3.17).

$$u_c^2(U) = \left(\frac{\partial f}{\partial U} \right)^2 u^2(\bar{U}) + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta R} \right)^2 u^2(\Delta R) + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta IC} \right)^2 u^2(\Delta IC) \quad (3.17)$$

Resolvendo, as derivadas parciais, tem-se a Equação (3.18).

$$u_c(U) = \sqrt{u^2(\bar{U}) + u^2(\Delta R) + u^2(\Delta IC)} \quad (3.18)$$

A incerteza expandida associada aos resultados da medição de umidade foi determinada por meio da Equação (3.19).

$$U(U) = k \cdot u_c(U) \quad (3.19)$$

3.4 Determinação do Erro

O tratamento dos dados constitui na determinação do erro de medição e do erro máximo para os cinco sensores HTU21D de temperatura nos pontos A, B, C, D e M, e também para o sensor de umidade relativa do ar, em todo ensaio realizado.

3.4.1 Determinação do Erro de Medição

A diferença entre a média (\bar{x}) obtida por cada sensor de temperatura e umidade relativa do ar e o valor convencional (VC) de temperatura e umidade relativa do ar foi determinada para cada medição, Equação (3.20). A repetibilidade dos valores de diferença obtidos para todos os ensaios executados foi avaliada para uma confiabilidade de 95,45 %.

$$E = \bar{x} - VC \quad (3.20)$$

3.4.2 Determinação do Erro Máximo

O erro máximo associado às medições foi estimado por meio da Equação (3.21). Em que o $E_{MÁX}$ representa o erro máximo admissível, o E representa o erro de medição e U a incerteza expandida associada à medição.

$$E_{MÁX} = E + U \quad (3.21)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de apresentados os aspectos teóricos e os procedimentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, cabe fazer a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Neste capítulo, são apresentadas as características físicas do protótipo desenvolvido (*hardware*), o programa computacional desenvolvido e os resultados e discussões relacionados aos ensaios referentes à norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) e a avaliação da incerteza de medição das 4 incubadoras neonatais.

4.1 Protótipo desenvolvido

Os testes foram realizados no EAS no setor de Engenharia Clínica. A taxa de amostragem utilizada foi de 1 medição/minuto.

Na Figura 4.1 pode-se visualizar o dispositivo de acrílico contendo os sensores.

As Figuras 4.2 (a) e (b) mostram a montagem utilizada para realizar os ensaios. O computador foi instalado em uma mesa ao lado da incubadora. O dispositivo de acrílico com os sensores foi colocado dentro da incubadora, com transmissão sem fio via *Bluetooth* com o computador.

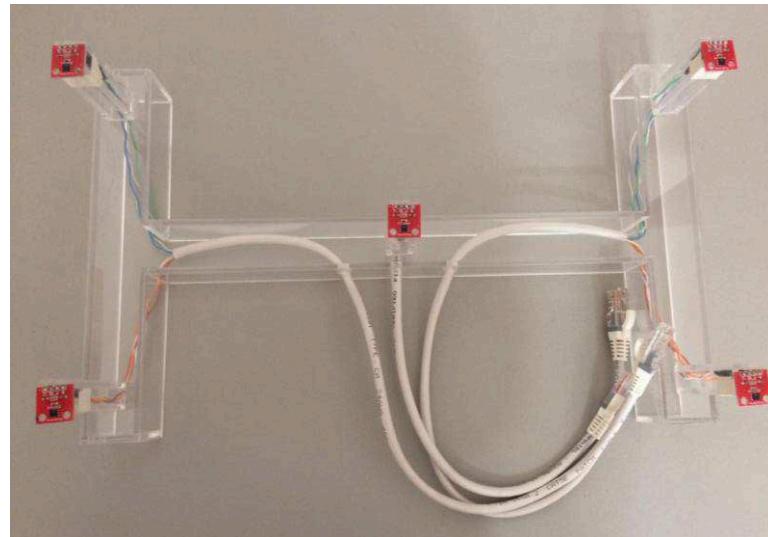
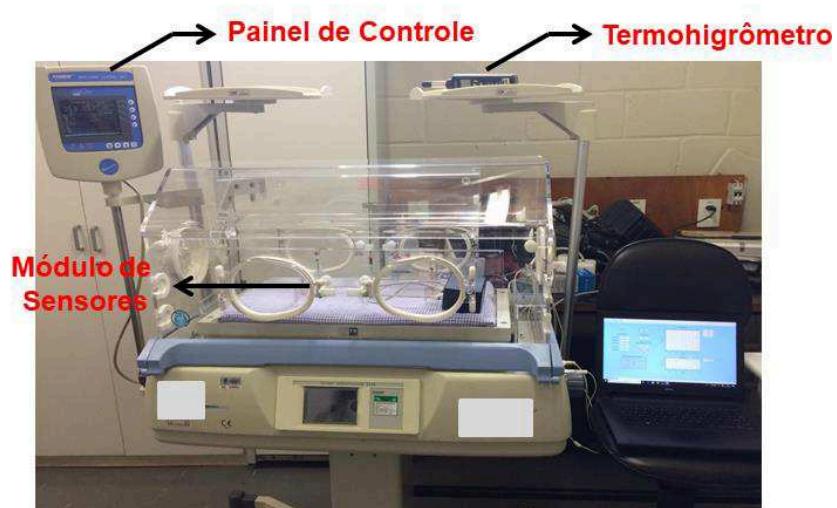
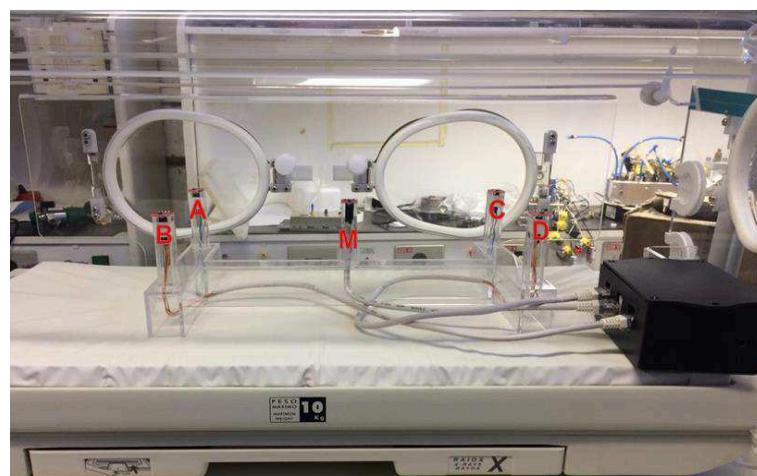


Figura 4.1 - Dispositivo de acrílico contendo os sensores. Fonte: Autor.



(a)



(b)

Figura 4.2 - Sistema montado durante o ensaio. Fonte: Autor.

O programa computacional foi desenvolvido em Arduíno C++ e para realizar a análise e visualização dos dados obtidos através do módulo *Bluetooth*, foi construído um aplicativo em *Visual Studio Community 2017*, conforme descrito na Seção 3.1.5.

Ao inicializar o software, o usuário visualiza a tela inicial. No menu principal é disponibilizado o botão “Conectar”, ao clicar no mesmo a conexão do computador com o módulo *Bluetooth* é iniciada, e uma segunda aba é aberta para mostrar a conexão, como mostrada na Figura 4.3. Quando ocorre algum erro na conexão do computador com o módulo *Bluetooth*, é aberta uma aba com a mensagem “Tempo de conexão excedido!”, conforme mostrado na Figura 4.4.

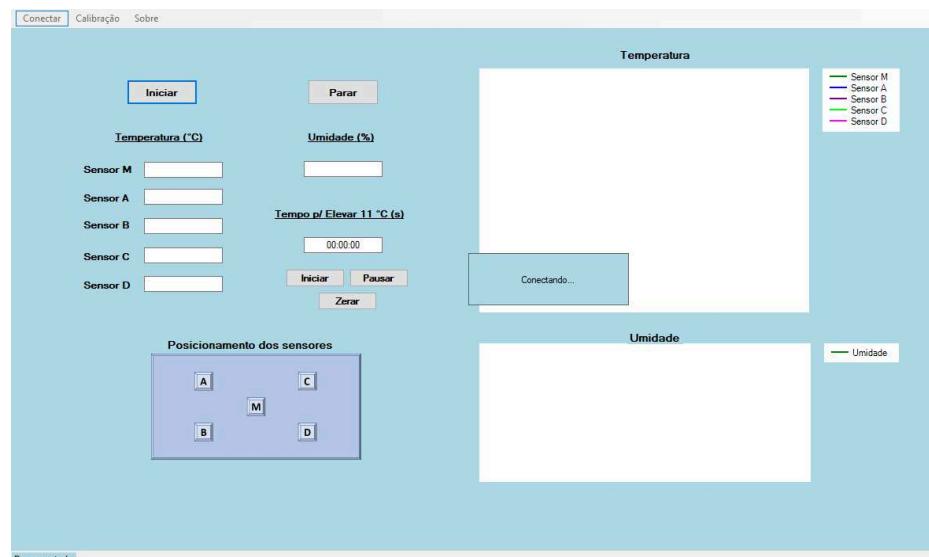


Figura 4.3 - Iniciando a conexão do módulo *Bluetooth* com o computador.

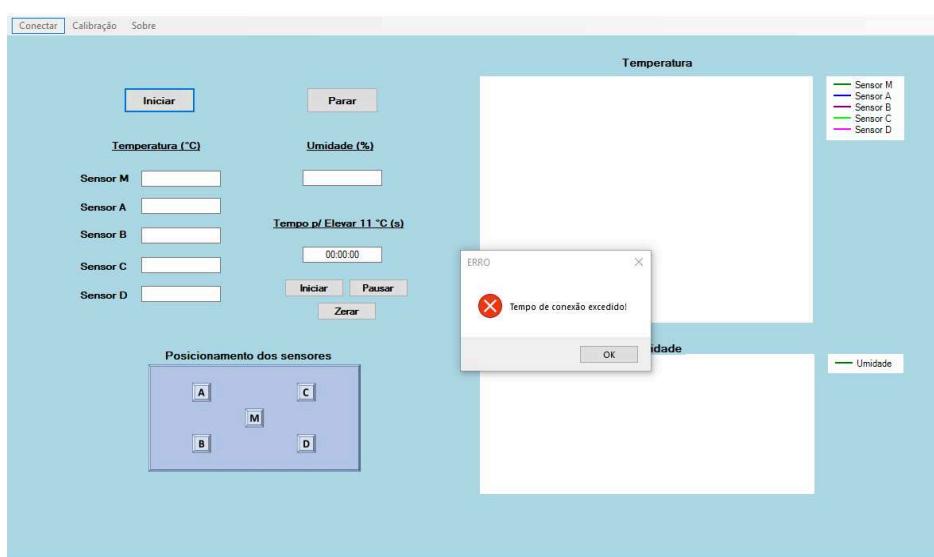


Figura 4.4 - Erro na conexão do módulo *Bluetooth* com o computador.

O botão “Calibração” (Fig. 4.5), disponível no menu principal, tem a função de dar início ao ensaio. Para iniciar o ensaio foi preciso determinar o “Intervalo entre as medições (minutos)” e o “Tempo de Aquisição (minutos)”, e assim clicar no botão “Iniciar”. O ensaio é finalizado de acordo com tempo de aquisição determinado pelo usuário e a mensagem “Ensaio Encerrado” é exibida. Todas as medições obtidas durante o ensaio são armazenadas em um arquivo .txt.

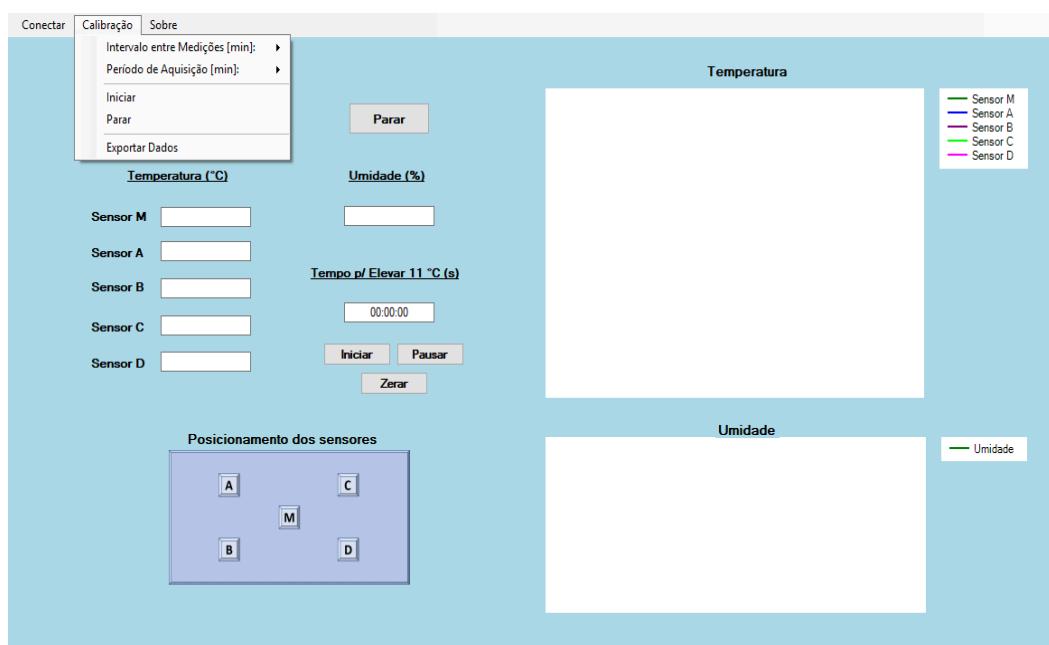


Figura 4.5 - Botão “Calibração” do software desenvolvido.

Na tela principal (Figura 4.4) tem os botões “Iniciar” e “Parar” para disponibilizar as medições de temperatura e umidade relativa do ar em tempo real, acompanhando as alterações de temperatura e umidade ao longo do ensaio.

O cronômetro foi utilizado para avaliar o tempo de aquecimento da temperatura em 11 °C conforme descrito pela norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), com os botões de “Iniciar”, “Parar” e “Zerar”.

Os gráficos de temperatura e umidade relativa do ar apresentados na tela principal do software são em tempo real, com taxa de amostragem de 1 segundo. A escala do eixo das coordenadas (y) é definida pela temperatura medida dos sensores (A, B, C, D e M) e umidade relativa do ar do sensor M e a escala das abscissas (x) é o tempo do ensaio em segundos.

Os dados transferidos do programa computacional foram armazenados no formato .txt podem ser visualizados nas planilhas do Microsoft Office Excel e assim avaliar as conformidades das incubadoras neonatais.

4.2 Resultados obtidos das incubadoras neonatais

O ensaio foi executado em 4 incubadoras do mesmo fabricante e com dois modelos diferentes de incubadoras neonatais (Modelo 1 e Modelo 2), as incubadoras 1 e 2 são do Modelo 1, e as incubadoras 3 e 4 do Modelo 2. A Tabela 4.1 traz os detalhes da data de aquisição, dias de funcionamento e o número de ordens de serviços (OS) de manutenções corretivas.

Tabela 4.1 - Dados das incubadoras neonatais avaliadas

Incubadora Neonatal	Data de Aquisição	Dias de Funcionamento	Número de Os Corretiva
1	03/06/2013	1 973	13
2	03/06/2013	2 003	12
3	04/08/2009	2 403	10
4	03/08/2009	3 404	12

A temperatura ambiente no início do ensaio da incubadora 1 foi de 25 °C e nos ensaios das demais incubadoras a temperatura ambiente inicial de foi de 24 °C.

4.2.1 *Tempo de aquecimento da incubadora neonatal*

De acordo com os dados do fabricante, citados na Tabela 3.1, o tempo de elevação da temperatura (tempo de aquecimento) da incubadora é de 40 minutos.

O tempo de aquecimento (Figura 4.6) para que a incubadora neonatal eleve em 11 °C acima da temperatura ambiente foi de 25 minutos para as incubadoras 1 e 2.

A incubadora 4 obteve um tempo de aquecimento de 35 minutos e a incubadora 3 não elevou 11 °C em 40 minutos estando não conforme com as especificações do fabricante.

De acordo com a NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) o tempo de aquecimento não pode diferir em mais de 20 % do especificado, porém a incubadora 3 demorou 50 minutos para elevar 11 °C, estando também não conforme as exigências normativas.

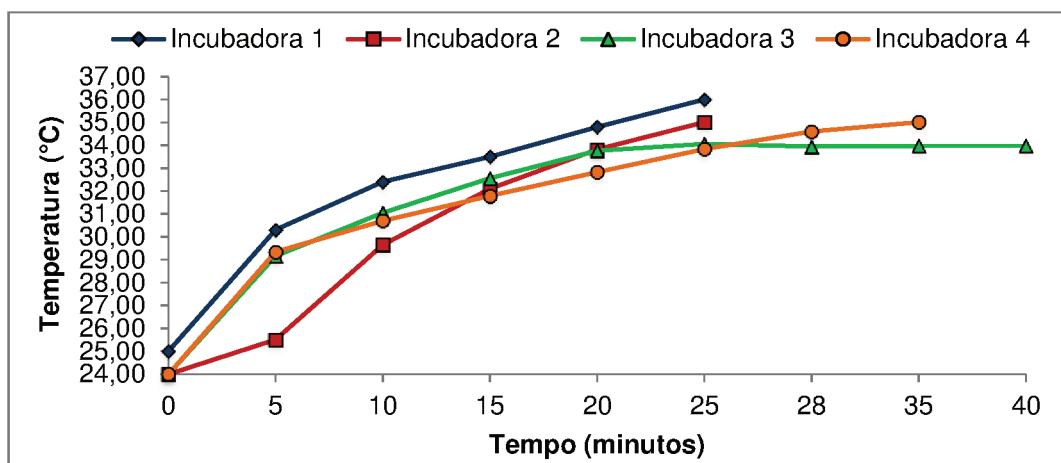


Figura 4.6 - Tempo de Aquecimento das incubadoras.

4.2.2. Condição de temperatura estável na temperatura de controle de 32 °C

A condição de temperatura estável na temperatura de controle de 32 °C foi alcançada em todas as incubadoras avaliadas não variando em mais de 1 °C no intervalo de 1 hora.

O tempo para as incubadoras 1, 2, 3 e 4 alcançarem esta condição foi de 109 minutos, 109 minutos, 86 minutos e 97 minutos, respectivamente, conforme mostrado na Figura 4.7.

Pode-se observar que as incubadoras 1 e 2 atingiram a condição de temperatura estável no mesmo tempo. Vale ressaltar que estas incubadoras são do mesmo modelo e foram adquiridas no mesmo ano.

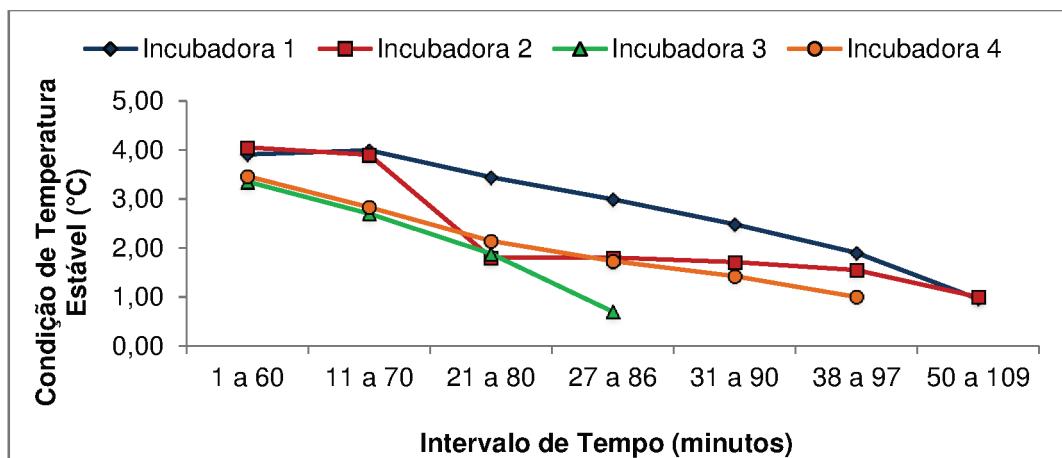


Figura 4.7 - Condição de temperatura estável das incubadoras em 32 °C.

A Figura 4.8 mostra a variação da temperatura da incubadora (ponto M) das incubadoras 1, 2, 3 e 4 desde o tempo de aquecimento até atingir a condição de

temperatura estável para a temperatura de controle de 32 °C. A variação da temperatura da incubadora é avaliada pela temperatura máxima e mínima da temperatura da incubadora neonatal.

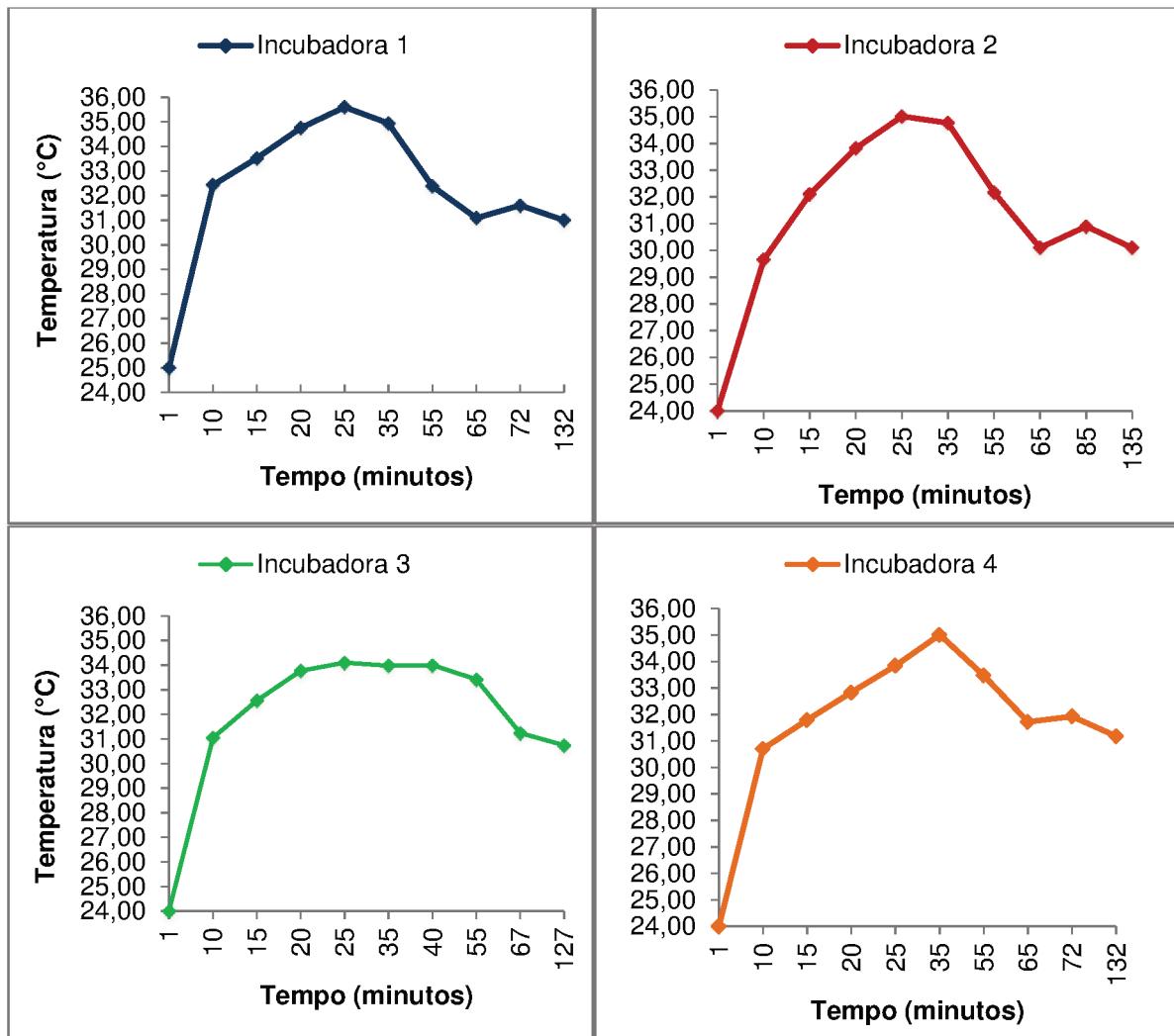


Figura 4.8 - Variação da temperatura das incubadoras na temperatura de controle de 32 °C.

4.2.3. Estabilidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 32 °C

A Figura 4.9 mostra a curva estabilidade da temperatura da incubadora para a temperatura de controle de 32 °C.

Observa-se que todas as incubadoras analisadas atenderam os requisitos estabelecidos pela norma não variando em mais do que 0,5 °C por um período de pelo menos 1 hora durante a condição de temperatura estável. Importante observar que em 1 minuto de ensaio, a estabilidade das quatro incubadoras já está no limite aceito pela norma e que a incubadora 3 apresentou a menor variação de temperatura.

Ressalta-se que de acordo com o fabricante (Tabela 3.1) a estabilidade da temperatura da incubadora (variação da temperatura) é alcançada quando a mesma não variar 0,5 °C para as incubadoras 1 e 2 (modelo 1) e $\pm 0,2$ °C para as incubadoras 3 e 4 (modelo 2). Observa-se que pelo fabricante as incubadoras 1 e 2 permanecem na condição de estabilidade, mas as incubadoras 3 e 4 no primeiro minuto não estão conforme o fabricante, variando 0,5 °C.

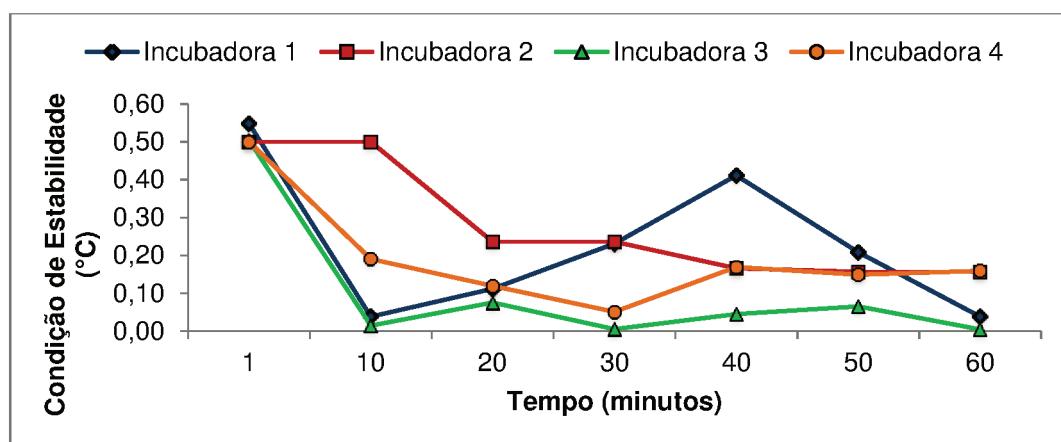


Figura 4.9 - Estabilidade da temperatura das incubadoras em 32 °C.

4.2.4 Uniformidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 32 °C

A Figura 4.10 mostra a uniformidade da temperatura das incubadoras para temperatura de controle de 32 °C nas posições analisadas (posição horizontal, inclinação direita e inclinação esquerda).

A uniformidade na temperatura de controle de 32 °C mostra que em todas as posições do colchão, as incubadoras neonatais 1, 2, 3 e 4 está conforme os requisitos estabelecidos pela norma, mostrando um aquecimento homogêneo no interior das mesmas.

Na posição horizontal as incubadoras avaliadas exibiram variações menores em todos os sensores. Na inclinação à direita, a incubadora 1 apresentou maior variação de uniformidade no sensor A. Na inclinação à esquerda, as incubadoras 1 e 4 apresentaram maior variação no sensor A. Com isso, pode-se concluir que na incubadora 1 no sensor A foi o que apresentou maior variação da uniformidade, com variações de 0,3 °C, 0,8 °C e 0,9 °C, na posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda, respectivamente.

Segundo o fabricante (Tabela 3.1) a uniformidade da temperatura da incubadora é alcançada quando for menor que 0,8 °C para as incubadoras do modelo 1 (incubadoras 1 e 2) e menor que 0,6 °C para as incubadoras do modelo 2 (incubadoras 3 e 4) nas posição horizontal, o fabricante não informa as variações na inclinação a esquerda e a direita. Com isso, as incubadoras 1, 2, 3 e 4 estão conforme o fabricante na posição horizontal.

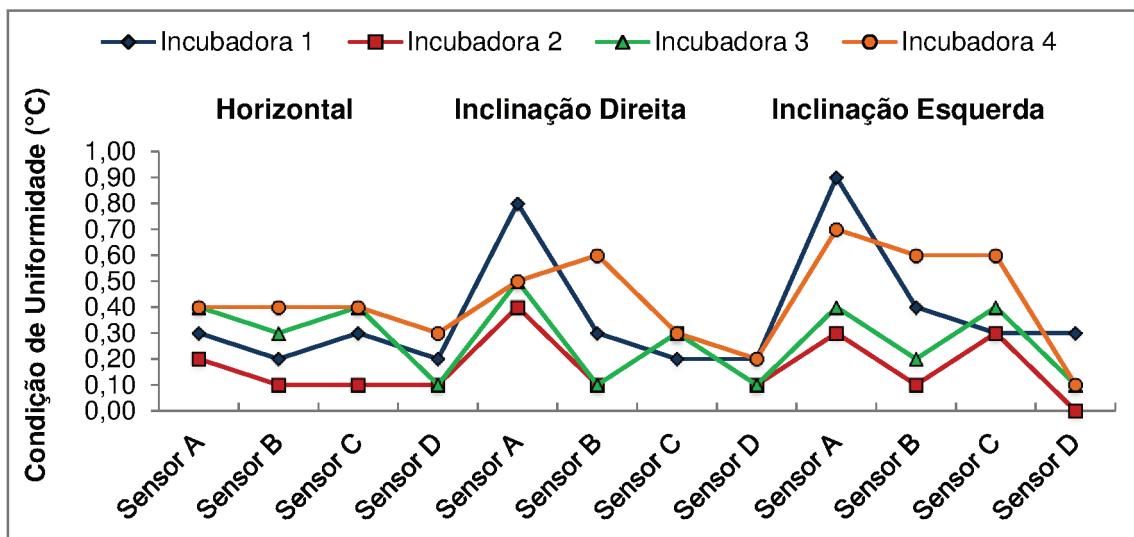


Figura 4.10 - Uniformidade da temperatura das incubadoras em 32 °C na posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda.

4.2.5. Condição de temperatura estável na temperatura de controle de 36 °C

Seguindo os ensaios de acordo com a norma, as avaliações foram feitas na temperatura de controle de 36 °C.

A Figura 4.11 mostra a condição de temperatura estável para temperatura de controle de 36 °C não variando 1 °C por um intervalo de tempo de 1 hora para as incubadoras analisadas, sendo alcançada após 90 minutos, 80 minutos, 80 minutos e 83 minutos para as incubadoras 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

De acordo com as Figuras 4.7 e 4.11 que se referem às condições de temperatura estável em 32 °C e em 36 °C, pode-se observar que em ambas temperaturas de controle a incubadora 3 atingiu a condição de temperatura estável em um menor tempo quando comparada com as demais incubadoras neonatais analisadas. Esses tempos foram 86 minutos e 80 minutos, respectivamente. Por sua vez, a incubadora 1 apresentou o maior tempo (109 minutos e 90 minutos) para atingir a condição de temperatura estável nas temperaturas de controle.

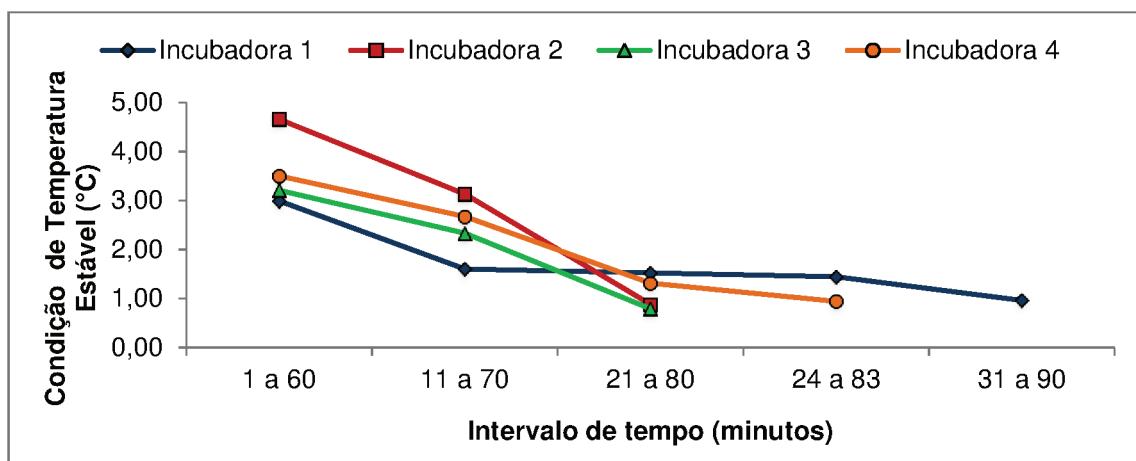


Figura 4.11 - Condição de temperatura estável em 36 °C.

4.2.6 Overshoot da temperatura da incubadora

A sobrelevação é o resultado de uma mudança no controle da temperatura na condição de temperatura estável. Quando a temperatura de controle foi ajustada de 32 °C para 36 °C fez-se a avaliação do valor de sobrelevação da temperatura da incubadora neonatal (*overshoot*), conforme descrito na Seção 3.1.6. A temperatura das incubadoras avaliadas não excedeu 2 °C, porém a condição de temperatura estável não foi restaurada dentro de 15 minutos. Assim, no *overshoot*, em relação à temperatura, as incubadoras obedecem os critérios definidos pela norma, porém em relação ao tempo todas estão não conforme.

Em relação ao *overshoot* os dados do fabricante (Tabela 3.1) só trazem parâmetros para temperatura. De acordo com as informações do fabricante para o modelo 1 (incubadoras 1 e 2) a sobrelevação da temperatura da incubadora deve ser menor que 0,7 °C. Para o modelo 2 (incubadoras 3 e 4) a sobrelevação não pode diferir de 0,8 °C. Assim, de acordo com o fabricante, em relação à temperatura, todas as incubadoras avaliadas não estão conforme o fabricante.

4.2.7 Exatidão do controle de temperatura da incubadora

Outro ensaio que foi realizado, descrito na Seção 3.1.7, foi a exatidão do controle de temperatura da incubadora. Assim, a variação entre o valor da temperatura de controle (em 36 °C) e a temperatura média da incubadora não pode variar em $\pm 1,5$ °C.

As incubadoras 2 e 4 estão conforme a variação especificada da norma com uma exatidão de 1,3 °C e 1,0 °C, respectivamente. As incubadoras 1 e 3 apresentaram a exatidão de 1,6 °C e 1,8 °C, portanto não conformes.

A Figura 4.12 mostra a variação da temperatura da incubadora (sensor M) desde o tempo de aquecimento até atingir a condição de temperatura estável ao longo do tempo para a temperatura de controle de 36 °C.

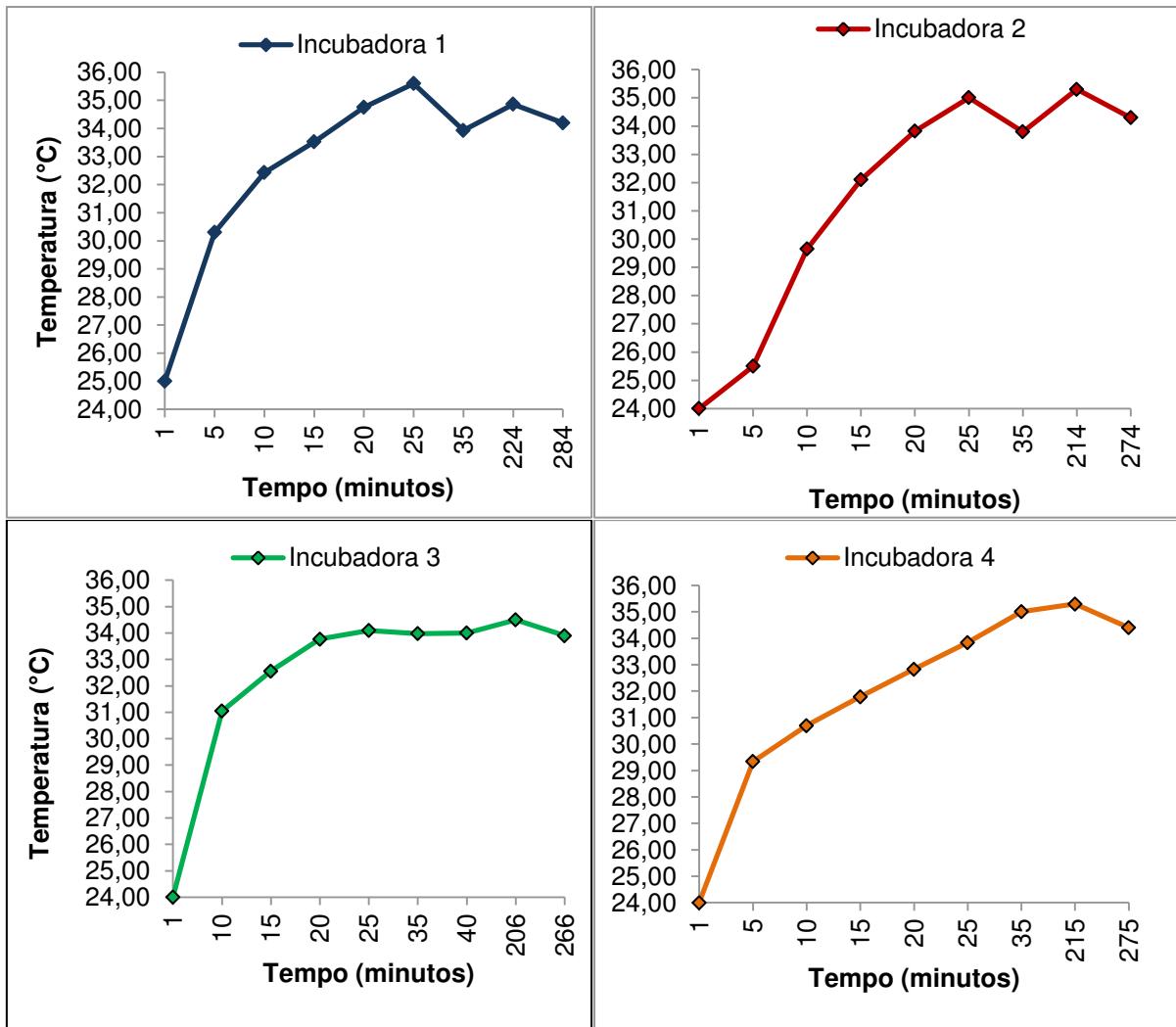


Figura 4.12 - Variação da temperatura das incubadoras na temperatura de controle de 36 °C.

4.2.8. Estabilidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 36 °C

Após atingir a condição de temperatura estável na temperatura de controle de 36 °C avaliou-se também a estabilidade da temperatura da incubadora. Os dados mostram que as incubadoras 1, 2, 3 e 4 atenderam os requisitos estabelecidos pela norma variando no máximo 0,5 °C por um período de pelo menos 1 hora (Figura 4.13).

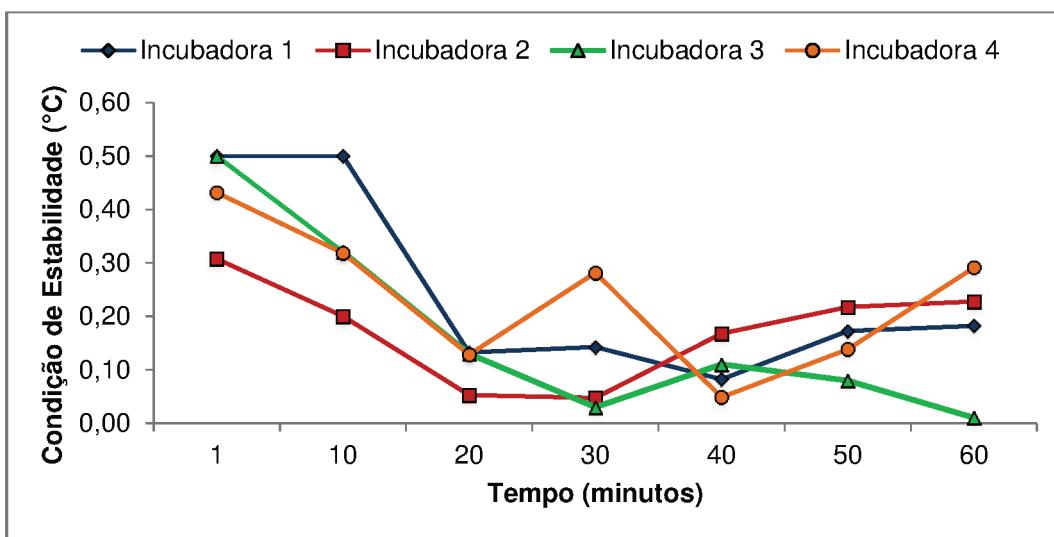


Figura 4.13 – Estabilidade da temperatura da incubadora em 36 °C.

Conforme, a Tabela 3.1 à estabilidade da temperatura da incubadora de acordo com o fabricante é alcançada quando não variar 0,5 °C para as incubadoras 1 e 2 e $\pm 0,2$ °C para as incubadoras 3 e 4. Nota-se que pelo fabricante as incubadoras 1 e 2 permanecem na condição de estabilidade, mas as incubadoras 3 e 4 variam mais do que o valor permitido pelo fabricante.

4.2.9 Uniformidade da temperatura da incubadora na temperatura de controle de 36 °C

A Figura 4.14 mostra a uniformidade da temperatura da incubadora para temperatura de controle de 36 °C, para a posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda. Para a temperatura de controle de 36 °C, a incubadora 1 mostrou maiores variações na uniformidade quando comparada com as demais incubadoras.

Segundo o fabricante (Tabela 3.1) a uniformidade da temperatura da incubadora é alcançada quando for menor que 0,8 °C para as incubadoras do modelo 1 (Incubadora 1 e 2) e menor que 0,6 °C para as incubadoras do modelo 2 (Incubadoras 3 e 4) na posição horizontal. Observa-se que as incubadoras 1, 2, 3 e 4 estão conforme as exigências da norma em todas as posições da incubadora e, segundo os dados do fabricante, está conforme na posição horizontal.

Na avaliação da uniformidade da temperatura das incubadoras, as incubadoras 1, 2, 3 e 4 apresentaram resultados similares nas temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, tanto pelas exigências normativas quanto pelo fabricante.

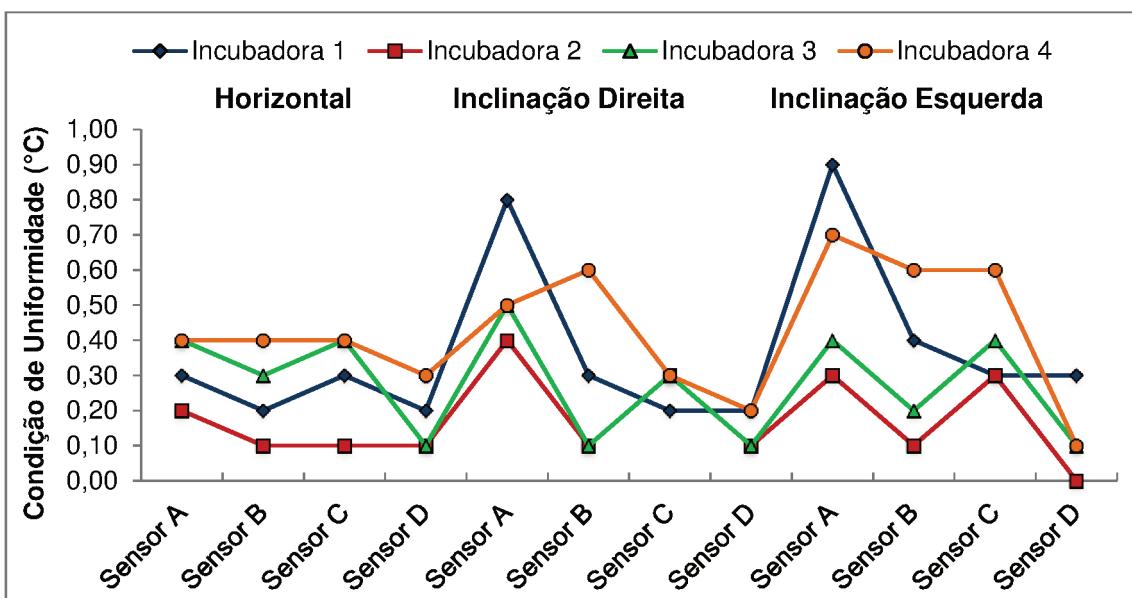


Figura 4.14 - Uniformidade da temperatura das incubadoras em 36 °C na posição horizontal, inclinação à direita e à esquerda.

4.2.10 Exatidão de indicação de umidade relativa

Seguindo os ensaios a serem realizados, propostos na Seção 3.1.8, foi avaliada a exatidão de indicação de umidade relativa. Como a norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) diz que a temperatura de controle deve ser ajustada entre 32 °C e 36 °C, optou-se por avaliar em de 36 °C.

Assim, a umidade relativa do ar foi avaliada em 60 %, 50 % e 40 %, conforme descrito na Seção 3.1.8, não podendo diferir de $\pm 10\%$ do valor medido, em qualquer valor indicado de umidade relativa, das incubadoras avaliadas. Como a norma não estabelece um período para a análise, a mesma foi feita em um intervalo de medição de 60 minutos, na condição de temperatura estável.

A Figura 4.15 traz os resultados dos valores de umidade medidos nas incubadoras 1, 2, 3 e 4. Em 60 % e 40 % a incubadora 3 apresentou uma variação maior do que $\pm 10\%$ conforme citada na norma.

Para uma melhor visualização dos resultados das avaliações feitas, foi montada a Tabela 4.2 que traz o resumo das conformidades e não conformidades para as incubadoras 1, 2, 3 e 4, para as temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, e as umidades relativas do ar (60 %, 50 % e 40 %), de acordo com as exigências da norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014) e as informações retiradas do manual do fabricante (citado como F na tabela).

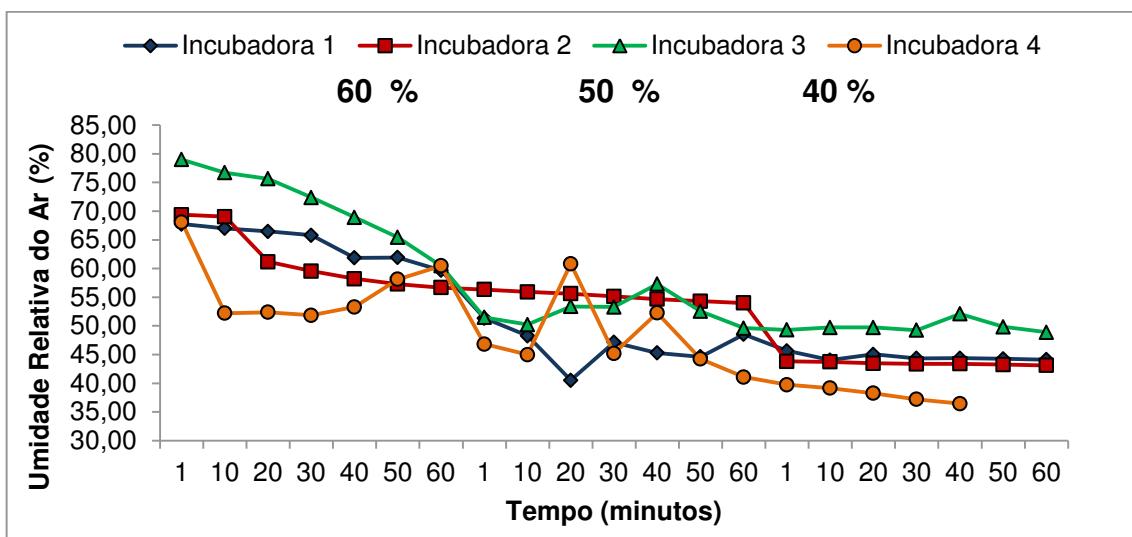


Figura 4.15 - Exatidão da indicação de umidade relativa.

Tabela 4.2 - Resumo das conformidades e não conformidades para as incubadoras

Temperatura de Controle de 32 °C								
Equipamento	Tempo de Aquecimento		Temperatura Estável		Estabilidade		Uniformidade	
	ABNT	F	ABNT	F	ABNT	F	ABNT	F
Incubadora 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incubadora 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incubadora 3	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Incubadora 4	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Temperatura de Controle de 36 °C								
Equipamento	Overshoot		Temperatura Estável		Estabilidade		Uniformidade	
	ABNT	F	ABNT	F	ABNT	F	ABNT	F
Incubadora 1	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incubadora 2	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incubadora 3	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Incubadora 4	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Umidade Relativa do Ar								
Equipamento	60 %		50 %		40 %			
	ABNT		ABNT		ABNT			
Incubadora 1	✓		✓		✓			
Incubadora 2	✓		✓		✓			
Incubadora 3	✗		✓		✗			
Incubadora 4	✓		✓		✓			

4.2.11 Resultados da Incerteza de Medição associada à medição da Temperatura e a Umidade Relativa do ar da Incubadora 1

As Tabelas 4.3 a 4.5 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} a uma temperatura de controle de 32 °C do sensor M, na posição horizontal, inclinação à direita e inclinação à esquerda.

Tabela 4.3 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(31,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(30,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(30,7 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(30,8 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,0 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.4 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M na inclinação à direita permitem concluir que o resultado de medição do sensor A medida é igual a $(31,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(31,3 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(31,2 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,2 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,3 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.5 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(32,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(31,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(31,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,4 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,4 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

As Tabelas 4.6 a 4.8 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} na temperatura de controle de 36 °C do sensor M na posição horizontal, inclinação à direita e inclinação à esquerda, respectivamente.

Tabela 4.6 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(34,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(34,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(33,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,0 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,4 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.7 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Grandezas	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(\text{ }^{\circ}\text{C})$
\bar{T}	34,386	A	<i>t-student</i>	29	1	0,036
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,111
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,222

O resultado de medição na inclinação à direita do sensor A medida é igual a $(35,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(34,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,0 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,4 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.8 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Grandezas	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(\text{ }^{\circ}\text{C})$
\bar{T}	34,405	A	<i>t-student</i>	29	1	0,003
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,107
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,210

Os resultados de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(34,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(34,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,1 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,3$

$\pm 0,3$) °C e do sensor M ($34,4 \pm 0,3$) °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Os valores da incerteza expandida foram maiores na posição horizontal, na temperatura de controle de 36 °C em todos os sensores, uma vez nesta temperatura de controle e nesta posição foram observados os maiores valores de desvio padrão.

A Tabela 4.9 expõe a informação referente à avaliação da incerteza de medição da umidade relativa do ar (\bar{U}) em 60 % do sensor M.

Tabela 4.9 - Dados da avaliação de incerteza de medição da umidade relativa do ar (60 %).

Grandezas	Estimativa (%)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	u (%)
\bar{U}	64,559	A	Normal	59	1	0,392
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	1,81	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,905
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,986
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						1,973

Os resultados de medição da umidade relativa do ar medida no sensor M em 60 % é igual a $(64,6 \pm 2,0)$ %, em 50 % $(45,8 \pm 2,0)$ % e em 40 % $(44,5 \pm 2,0)$ % com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Em todos os valores medidos de umidade relativa do ar a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

A Figura 4.16 mostra a média da temperatura dos sensores A, B, C, D e M da incubadora neonatal 1, nas temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.

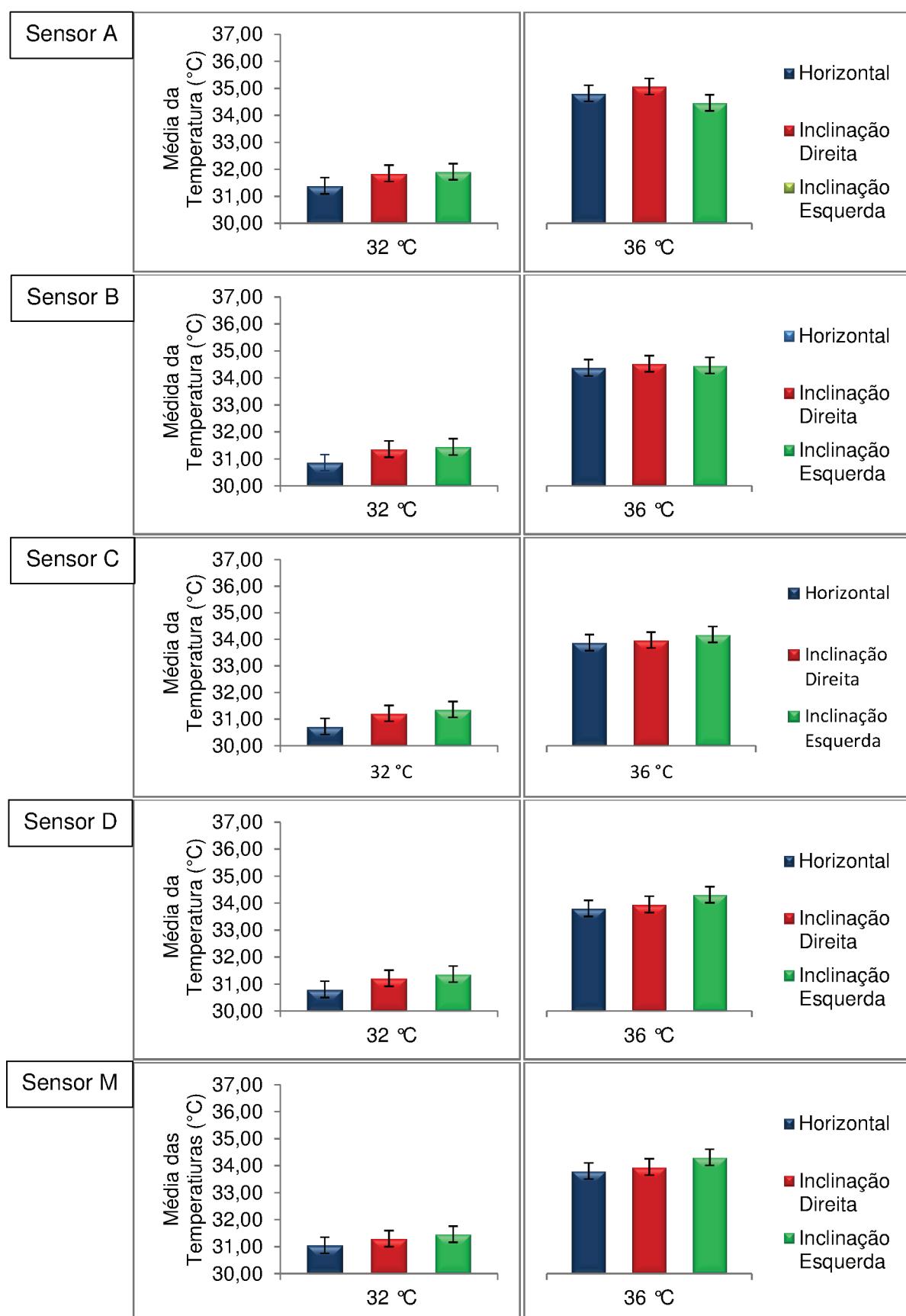


Figura 4.16 - Média de temperatura dos sensores A, B, C, D e M. com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 1).

A Figura 4.17 mostra a média da umidade relativa do ar da incubadora neonatal 1, da umidade de 60 %, 50 % e 40 %, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.

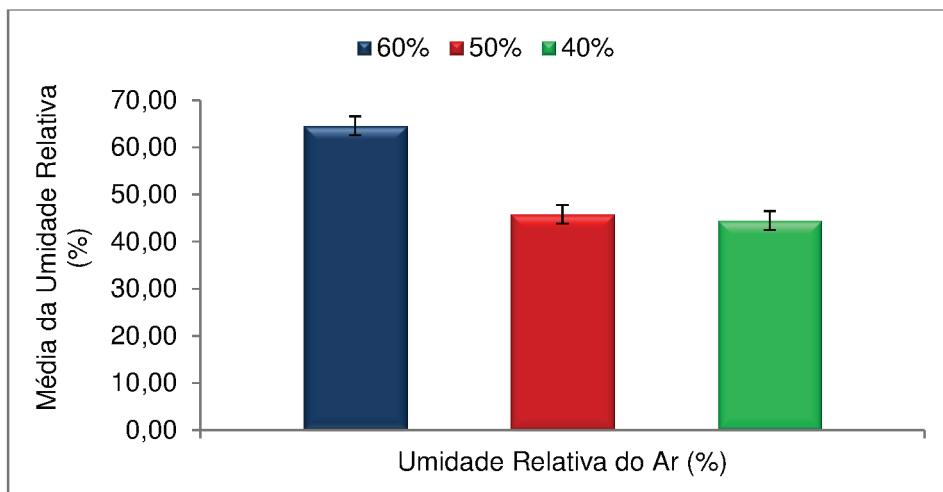


Figura 4.17 - Média da umidade relativa do ar, com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 1).

O tratamento apresentado para a incubadora neonatal 1 foi dado a todas as incubadoras neonatais avaliadas. Como os resultados obtidos, foram similares, não são apresentados aqui. Os mesmos são apresentados no APÊNDICE I a III.

De forma geral à incerteza expandida (95,45 %) associada à temperatura foi similar para todos os sensores, todas as posições e temperaturas de controle avaliada, sendo de 0,3 °C. Esta incerteza representa 1 % do valor da média, mostrando que todas as incubadoras analisadas não estão adequadas para as suas funcionalidades.

Com relação à umidade relativa do ar, a incerteza expandida (95,45 %) foi de 2,0 % na maioria das incubadoras analisadas, com exceção das incubadoras 2, 3 e 4 (60 %) que foi de 3,0 %.

4.3 Curvas de Erros

As Figuras 4.18 e 4.19 mostram os valores de erro (diferença) associados à temperatura nos sensores A, B, C, D e M para as duas temperaturas de controle (32 °C e 36 °C) na posição horizontal, inclinação à direita e a esquerda, para a incubadora neonatal 1. Os gráficos das Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 são compostos por três marcadores: o marcador vermelho indica os erros de medição, o marcador azul indica o desvio padrão positivo com

uma confiabilidade de 95 % e o marcador verde indica o desvio padrão negativo com uma confiabilidade de 95 %.

Observa-se que todas as incubadoras avaliadas apresentaram tendências similares. Os erros de medição foram negativos, o que indica que a tendência das incubadoras neonatais entregarem temperaturas menores que a temperatura de controle em 32 °C.

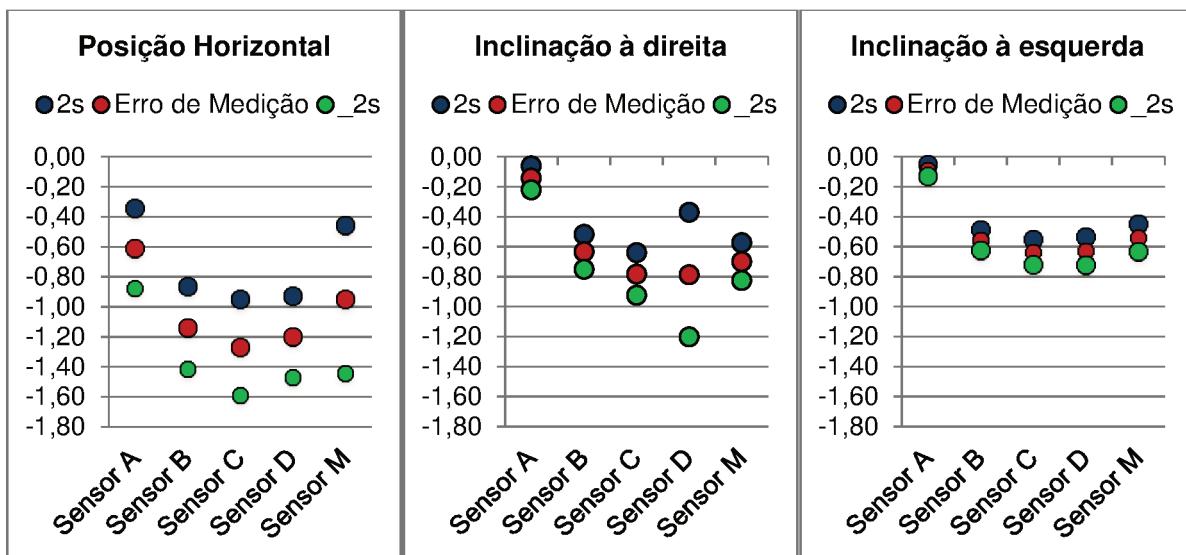


Figura 4.18 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 32 °C (Incubadora 1).

A Figura 4.20 mostra os valores de erro de medição (diferença) associados à umidade relativa do ar no sensor M para a incubadora 1. Observa-se que os erros foram positivos e negativos não apresentando tendências similares. As incubadoras 2 e 3 apresentaram erros positivos em todas as umidades de controle, indicando a tendência das mesmas em entregarem umidades maiores que a umidade de controle. A incubadora 1 apresentou erro negativo em 50 % de umidade relativa do ar e a incubadora 4 obteve apenas erros negativos, o que indica que a tendência das incubadoras neonatais 1 e 4 é de entregarem umidades menores que a umidade de controle.

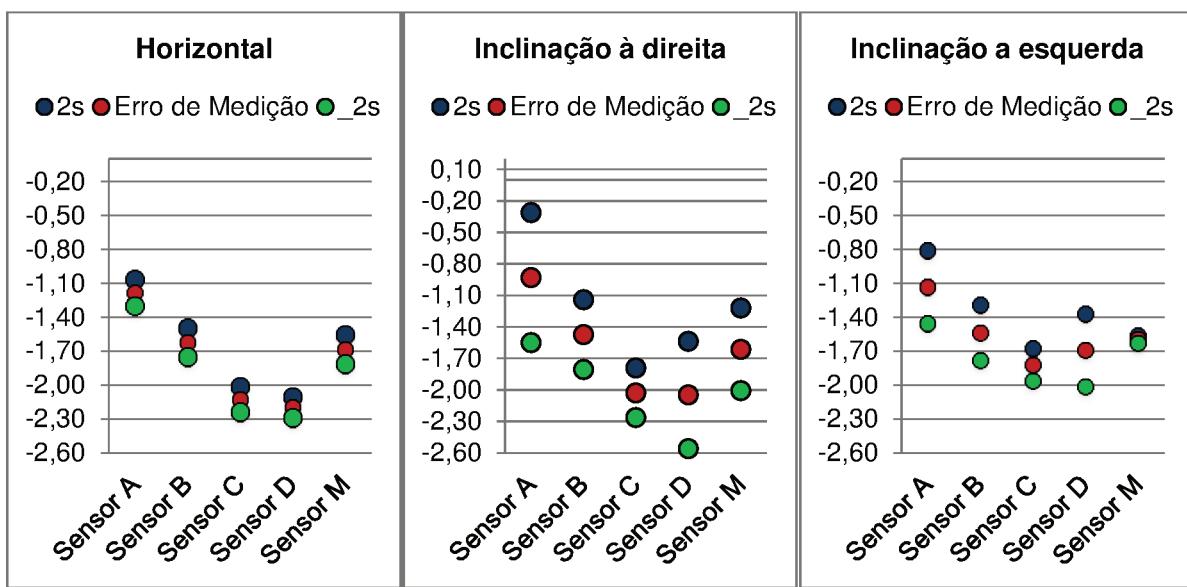


Figura 4.19 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 36 °C (Incubadora 1).

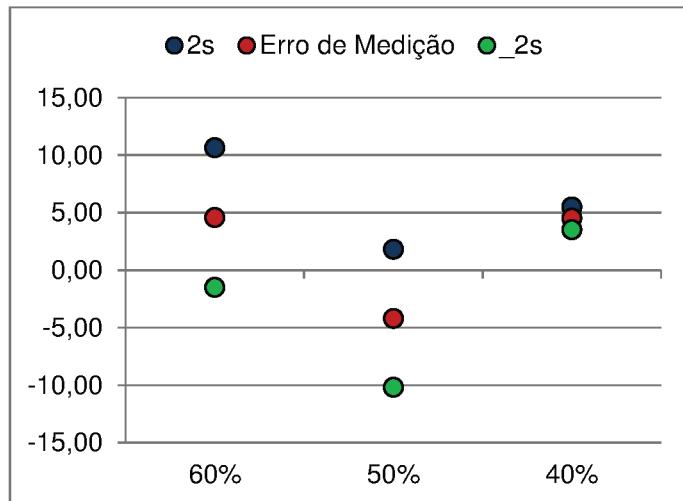


Figura 4.20 - Erro de medição associado à repetibilidade da umidade relativa do ar (Incubadora 1).

As Figuras 4.21 e 4.22 mostram os valores do erro máximo para a temperatura de controle de 32 °C e 36 °C, respectivamente, para todas as incubadoras analisadas. Para a temperatura de controle de 32 °C o erro máximo foi de 1,47 °C, o que indica maiores valores em módulo do erro na medição. O maior erro máximo foi observado na incubadora 2, nos sensores B, D e M, na posição horizontal. A incubadora 4 apresentou o menor erro máximo na maioria dos sensores.

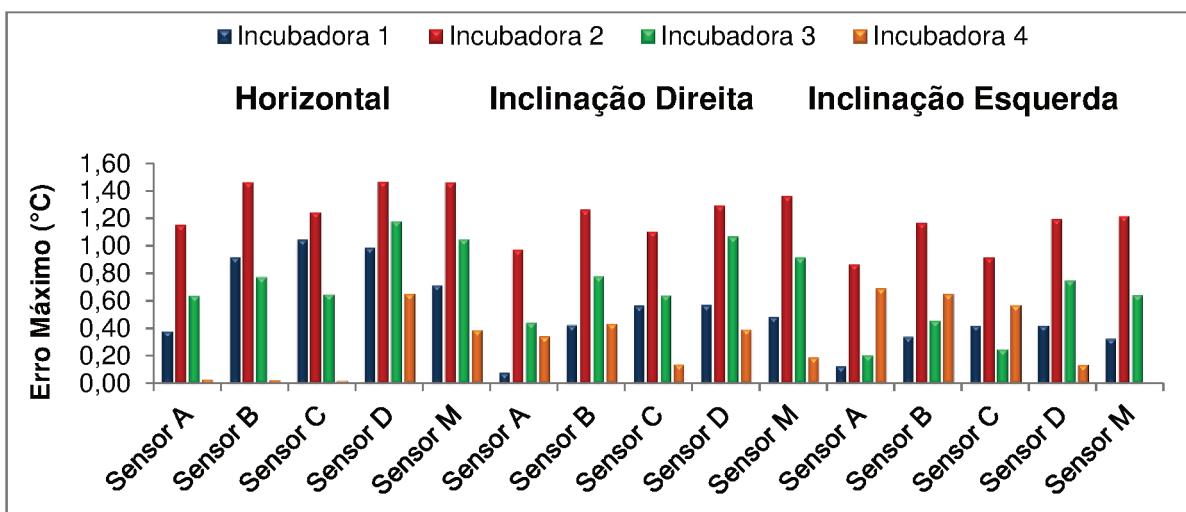


Figura 4.21 - Valores de erro máximo para a temperatura de controle 32 °C.

Para a temperatura de controle de 36 °C o erro máximo foi de 1,96 °C, o que indica maiores valores em módulo do erro na medição. O maior erro máximo foi observado na incubadora 1, no sensor D, na posição horizontal. A incubadora 4 apresentou o menor erro máximo em todos os sensores.

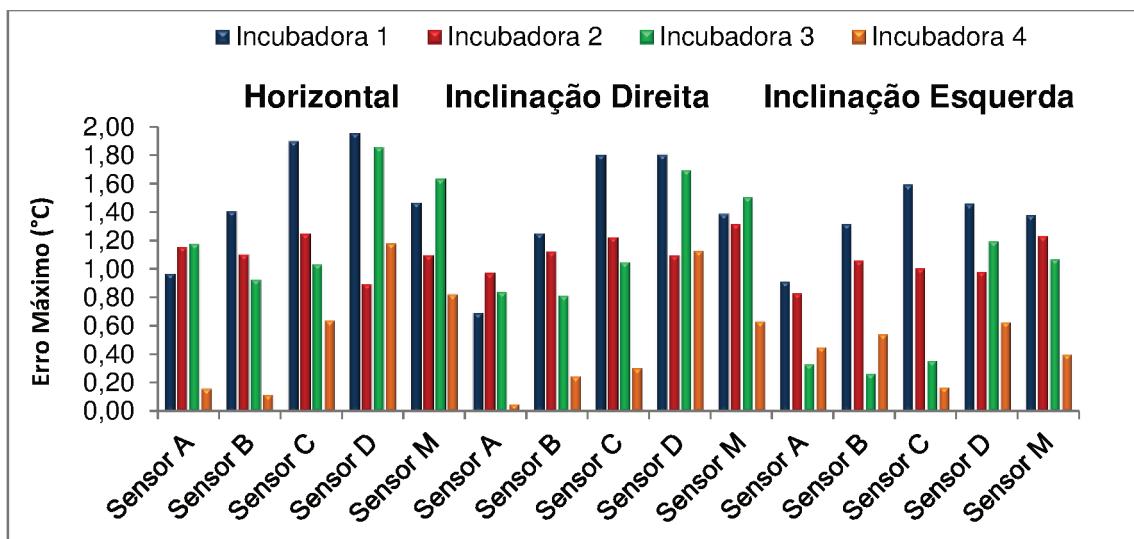


Figura 4.22 - Valores de erro máximo para a temperatura de controle 36 °C.

A Figura 4.23 mostra que para a umidade relativa do ar de 60 %, 50 % e 40 %, o erro máximo foi de 1,09 % (incubadora 4), 13,80 % (incubadora 3), 6,23 % (incubadora 2) e 6,56 % (incubadora 1). A incubadora 3 apresentou elevado erro máximo em 60 % e 40 %. Vale ressaltar, que em 50 % o erro de medição na incubadora 1 e 4 foi negativo.

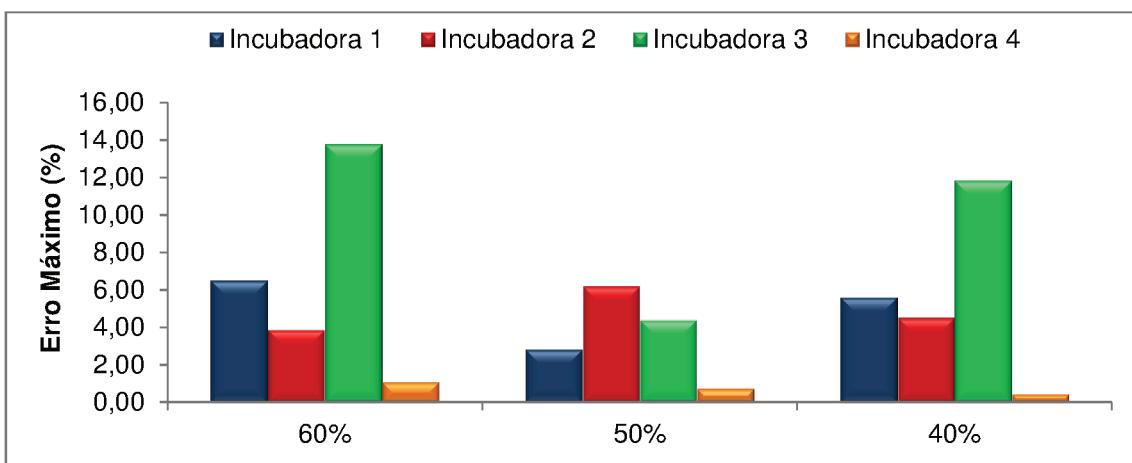


Figura 4.23 - Valores de erro máximo para a umidade relativa do ar (60 %, 50 % e 40 %).

Ao comparar as incubadoras neonatais em relação à data de cadastro das mesmas no software de gestão de manutenção do EAS, ou seja, o tempo em que as mesmas estão em funcionamento, e suas respectivas manutenções corretivas, observa-se que as incubadoras 3 e 4 têm maior tempo de funcionamento e com quantidade de PSMs de manutenções corretivas similares em relação às incubadoras 1 e 2.

De forma geral à incerteza expandida (95,45 %) associada à temperatura foi similar para todos os sensores, todas as posições e temperaturas de controle avaliada, sendo de 0,3 °C. Esta incerteza representa 1 % do valor da média, mostrando que todas as incubadoras analisadas não estão adequadas para as suas funcionalidades.

Com relação à umidade relativa do ar, a incerteza expandida (95,45 %) foi de 2,0 % na maioria das incubadoras analisadas, com exceção das incubadoras 2, 3 e 4 (60 %) que foi de 3,0 %.

Fazendo uma comparação entre trabalhos realizados, descritos na Seção 2.5, e a pesquisa desenvolvida aqui podemos fazer as seguintes considerações.

Oliveira (2007) avaliou uma única incubadora neonatal que não possui controle ativo de umidade relativa do ar, e neste estudo foi desenvolvido um *software* para auxiliar na aquisição dos dados e gerado um relatório com as conformidades da norma. A calibração dos sensores não foi realizada em um laboratório credenciado.

Em relação aos trabalhos anteriores (IANONE, 1999; AGOSTINI, 2003) um dos diferenciais consiste no uso de sensores com melhor faixa de exatidão e resolução, porém neste trabalho não foi realizada a medida de velocidade do fluxo do ar.

Agostini (2003) desenvolveu um protótipo com uma conexão entre os sensores e o computador via cabo. Neste estudo avaliou duas incubadoras da mesma marca, porém com modelos diferentes, mostrando em forma de relatório as conformidades exigentes pela

norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), neste estudo não foram realizados os cálculos de incerteza de medição, visto que o principal objetivo era o desenvolvido do analisador de incubadora.

Alexandrino (2012) adquiriu uma incubadora para o desenvolvimento do protótipo e para aquisição dos dados do ensaio. Com relação ao trabalho de Alexandrino um dos diferenciais em relação ao trabalho aqui apresentado é que nesse foram utilizadas incubadoras do setor de UTIN (Unidade de Tratamento Intensivo de Neonatologia), com uma média de 2 400 dias de funcionamento.

É importante ressaltar que o desenvolvimento desse trabalho foi realizado em um EAS público onde as incubadoras estão quase 100 % do tempo em utilização pelos bebês neonatos, porque a demanda é muito alta. Assim, a retirada de uma incubadora para realizar testes nas mesmas é sempre uma tarefa necessária, porém difícil. Foi preciso aproveitar momentos em que as incubadoras eram retiradas para manutenção preventiva e poucos espaços em que as mesmas não estavam sendo utilizadas. Foi muito importante a contribuição dos profissionais da Engenharia Clínica, bem como da UTI neonatal para ajudar na disponibilização dessas quatro incubadoras. Como visto os testes utilizados foram definidos pela norma e o tempo gasto é alto, mas a contribuição advinda dos resultados certamente será relevante para a melhoria na utilização e conhecimento dessas incubadoras.

Outro ponto é que o sistema desenvolvido não contempla o ensaio de incubadora neonatal operando no modo ITC, isso foi devido à dificuldade de encontrar um termômetro referência padrão que atendesse às prescrições presentes na norma. Esse sensor deve possuir exatidão de $\pm 0,05$ °C na faixa de medição de 20 °C a 40 °C.

Com relação ao sistema de medição o mesmo apresentou-se eficiente, prático e de fácil utilização. O sistema de medição desenvolvido será disponibilizado para o laboratório de controle de qualidade da Engenharia Clínica do EAS, que hoje realiza medição em um ponto da incubadora.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

Ao finalizar o presente trabalho as seguintes conclusões podem ser formuladas:

- O trabalho descreve uma solução simples, portátil, de baixo custo e fácil de usar para aquisição dos dados de temperatura e umidade relativa do ar em incubadoras neonatais.

- A verificação da conformidade das incubadoras neonatais para proporcionar ao recém-nascido um ambiente termoneutro, em relação à norma NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014), é uma tarefa altamente trabalhosa, necessitando de um tempo relativamente grande para execução do ensaio, em torno de 6 horas. A automatização dos ensaios facilita a realização dos testes reduzindo os erros de paralaxe e os erros grosseiros do operador.

- Com relação às exigências normativa e do fabricante, a incubadora 3 apresentou maiores problemas pois não atingiu o tempo de aquecimento e não atingiu a estabilidade variando mais do que 0,2 °C. A incubadora 4 atingiu o tempo de aquecimento, porém a estabilidade não foi alcançada de acordo com o fabricante. As incubadoras neonatais 3 e 4 tem maior vida útil quando comparadas com as incubadoras 1 e 2.

- Apesar das incubadoras do modelo 2 terem maior tempo de funcionamento observa-se que as manutenções corretivas entre os modelos 1 e 2 são similares. Entretanto, os resultados de medição da comparação entre os modelos das incubadoras mostraram que o desempenho metrológico nas incubadoras neonatais do modelo 2 é superior.

- A incubadora 4 tem uma diferença de dias de funcionamento maior em relação as demais incubadoras, porém a média obtida das leituras nos sensores apresentou valores mais próximos das temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C.

- A umidade relativa do ar em 60 % e 40 % apresentou maiores variações na incubadora 3 e em 50 % a variação foi maior na incubadora 4.

- Com relação ao sistema de medição desenvolvido para a avaliação de temperatura e umidade relativa do ar, o mesmo apresentou-se eficiente e prático. O sistema de medição apresentou algumas dificuldades na comunicação com o módulo *Bluetooth*. Durante sua utilização foram visualizadas várias possibilidades para melhorar sua performance e facilitar ainda mais o seu uso. Esse sistema de medição desenvolvido será disponibilizado para o laboratório de controle de qualidade da Engenharia Clínica do EAS, que hoje realiza medição em apenas um ponto da incubadora; - As não conformidades encontradas nos resultados ressaltam que as incubadoras neonatais, precisam ser avaliadas periodicamente pois problemas em seu desempenho podem afetar e retardar a recuperação de um neonato e, oneram também o sistema de saúde;

- Ao final dessa pesquisa é possível afirmar que o desenvolvimento de ferramentas como essa é fundamental para buscar cada vez mais manter os equipamentos médico-assistenciais seguro ao uso, principalmente em ambientes de EASs públicos que possuem inúmeras carências;

- Não é suficiente que a tecnologia seja cadastrada ou registrada para ter seu uso permitido, é preciso acompanhá-la em seu pós-uso e pós-comercialização durante toda a sua vida útil, pois é no ambiente de utilização que existem diversas adversidades que podem alterar e comprometer o desempenho dessas tecnologias, bem como é nesse ambiente real onde podem ser descobertos também erros relativos ao projeto da tecnologia.

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos são apresenta-se propostas para trabalhos futuros:

- Avaliar a velocidade do fluxo do ar e o nível de pressão sonora no interior da incubadora neonatal;
- Inserir um banco de dados no *software* para armazenamento dos dados coletados;
- Melhorar a interface do software;
- Projetar modificações e melhorias no protótipo desenvolvido visando sua adequação a outros modelos de incubadoras neonatais com diferentes tamanhos de colchão, tornado ajustáveis os locais onde estão os sensores.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Position Statement: principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. Joint Committee on Infant Hearing. 2007 p.898-921.

AMORIN, M.F.; PONCIANO,L.H.; CAVALCANTI, A.C.; ALTAFIM, R.A. Umidade relativa em incubadora neonatal: implicações sobre a sensação térmica do neonato. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014.

AGOSTINI, N. **Sistema computadorizado para verificação da funcionalidade em Incubadoras Neonatais.** 2003. 89 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ALEXANDRINO, J.C. **Metodologia para Avaliação do Desempenho Metrológico em Equipamentos Médico-Hospitalares.** 2012. 220 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

ALMEIDA, A. B. L. **Sistema de Monitoramento de incubadoras neonatais.** Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, 2011.

ARONE, E.M. **Variações da umidade relativa no microclima de uma incubadora.** São Paulo: FANEM LTDA, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO/IEC 17025, **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.** Rio de Janeiro, 2005, 31p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60601-2-19, **Equipamento eletromédico - Parte 2-19: Requisitos particulares para segurança**

básica e desempenho essencial das incubadoras para recém-nascidos. Rio de Janeiro, 2014. 35p.

AVERY, B.G. **Neonatologia:** Fisiopatologia e Cuidado do Recém-Nascido. 1.ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1978. 1024p.

BAZZOTTO, C. B; BRUDNIEWSKI, M.; SCMIDT, A.P; JUNIOR, J.O. Hipotermia no período peri-operatório. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 56, n. 1, p. 89–106, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0034-70942006000100012>

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, **JCGM 101 - Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement - Propagation of distributions using a Monte Carlo method**, 2008.

BOUATTOURA, D., VILLON, P., FARGES, P. Dynamic Programming Approach for Newborn's Incubator Humidity Control. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**. v. 45, n.1, p. 48-55, Jan. 1998. <https://doi.org/10.1109/10.650351>

CLOHERTY, J. P.; STARK, A. R. **Manual de Neonatologia**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. 664p.

COMISSÃO SETORIAL PARA SAÚDE. **Metrologia na Saúde – Guia de Boas Práticas**. Governo de Portugal, 2015. 31 p.

COSTA, E.J.L. **Análise Crítica de Incubadoras Neonatais a partir de medições de parâmetros dos ambientes interno e externo**. 2009. 114 f. Tese de Doutorado-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

COSTA, E.J.L; FREIRE, R.C.S.; SILVA, J.B.A.; CURSINO, C.M.P.; OLIVEIRA, C.R.; PEREITA, B.A.M.; SILVA, R.F.L. Humidity control system in newborn incubator. In: IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, 19,2009, Lisboa. **Anais**.

DOMENEGHETTI G. **A expressão da incerteza de medição em ensaios mecânicos: ISO GUM e Monte Carlo aplicados no ensaio de tração**. 2011.121 f. Dissertação de Mestrado-Instituto Superior Tupy, Joinville.

DRÄGUER MEDICAL. *Manual do Usuário de Incubadora Neonatal*, 2007.

FARIA, R.A. **Desenvolvimento de uma Incubadora Neonatal Microprocessada de acordo com a Norma Técnica NBR-IEC-601-2-19.** 2001. 143 f. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.

FARIA, V. N. R. **Avaliação da incerteza de medição no setor médico-hospitalar.** 2016. 170 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FERREIRA, M. C. A importância da metrologia na saúde. **Física e Sociedade**, v. 36,n.1, p. 8–11, 2008.

FERREIRA, M.; MATOS, A. Metrology in health: A pilot study. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 588, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/588/1/012018>

FINESCHI V.; ERRICO D.S; NERI M.; PANARESE F.; RICCI A.P.; TURILLAZZI E. Heat stroke in an incubator: an immunohistochemical study in a fatal case. In: **J Legal Med**, v. 119, p.94–97, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00414-004-0498-4>

HALL, J. E. ; GUYTON, A. C. **Tratado de Fisiologia Médica.** 12.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.1173p.

HOCKENBERRY M. J; WILSON D. W. **Fundamentos de enfermagem pediátrica.** 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2011.

IANONE, F. **Desenvolvimento de equipamento eletrônico para ensaio de Incubadoras Infantis.** 1999. 111 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

INMETRO. **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição.** Rio de Janeiro, Nota técnica, 2008. 138p.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados.** Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 95p.

ISO TAG 4WG-3, 2008. **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements,** Geneva: Switzerland, 141 p.

KENNER C. **Enfermagem Neonatal.** 2.ed. Rio de Janeiro: Reichman Affonso,2001.

KESTER, W. *Power and Thermal Management Design Technique*. Seção 6, Analog Device, 2004.

LEFORT, B.; REIS, B. *Taking the Uncertainty out of Thermocouple Temperature Measurement*, Analog Devices- - Aplications reference manual, 1993.

MARCONDES, M. B. **Pediatria Básica:** Pediatria Geral e Neonatal. 9ºed. Sarvier. São Paulo, 2002.

MENEZES, C.; SILVA, M.; SALLES, M. **Atuação Da Metrologia Legal Na Área Da Saúde.** ENQUALAB 2003-Encontro para qualidade de laboratórios. Dez. 2003.

MEASUREMENT SPECIALTIES. HTU21D **Datasheet**, 2013.

MIERZWA T. **Análise de prontuários de acompanhamento de bebês de alto risco participantes de um programa de intervenção precoce.** 2007. Trabalho de conclusão de curso- Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atenção à saúde do recém-nascido: guia para os profissionais de saúde**, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção, Capacitação a Distância**, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS / Ministério da Saúde, Brasília, 709p, 2002.

MONTEIRO, E. C.; LEON, L. F. Metrological reliability of medical devices. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 588, n. 1, 2015.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/588/1/012032>

MONTEIRO, E. C.; LESSA, M. L. A Metrologia Na Área De Saúde : Garantia Da Segurança E Da Qualidade Dos Equipamentos Eletromédicos. **Revista Engevista**, v. 7, n. 2, p. 51–60, 2005.

MOSQUERA, M.E.O. **Estudo da incerteza de medição de rugosidade usando simulação de Monte Carlo na presença de dados não gaussiano**. 2017. 265 f. Tese de Doutorado-Universidade de Brasília.

OLIVEIRA, I.C.S. O advento das Incubadoras e os cuidados de enfermagem aos prematuros na primeira metade do século XX. **Texto e Contexto de Enfermagem**, Santa Catarina, v.13, n. 3, p. 459-466, julho, 2004.

<https://doi.org/10.1590/S0104-07072004000300017>

OLIVEIRA, M.A. **Sistema de Ensaio de Desempenho de Incubadora Neonatal**. 2007. 112 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PHILBIN, M.K. Planning the acoustic environment of a neonatal intensive care unit. **Clinics in Perinatology**. Camden (USA), v.31, p.331-352,2004.

PHILIPS SEMICONDUCTORES. The i c-bus and how to use it. Technical report, **Philips Semiconductores**, 1995.

PORTH, C.M; MATFIN, G. **Fisiopatologia**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koognan, 2010. 911p.

RIBEIRO, M.A.C. **Aspectos que influenciam a termorregulação: assistência de enfermagem ao recém-nascido pré-termo**. 2005. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade JK, Taguatinga, Brasília.

SANTOS, M.S.M. **Sistema de aquisição de dados para acompanhamento remoto de recém-nascidos prematuros**. 2006. 117 f. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

SCHIMITZ, E. M. et al. **A enfermagem em Pediatria e Puericultura**. São Paulo: Editora Atheneu, 1995.

SCOCHI, C.G.S.; GAÍVA, M.A.M.; SILVA, M.H.A. Termorregulação: assistência hospitalar ao recém-nascido pré-termo. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v.15, n. 1, p.72-78, 2002.

SENSIRION AG. **Application Note Introduction to Relative Humidity**, Switzerland, 2006.

SILVA, M. T. A. **Avaliação do desempenho de Unidade Eletrocirúrgica**. 2017. 195 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SILVA, W.C.P.; GOMES, M.N.C.; BARBOSA, A.L.; GURGEL, E.P.P.; ROLIM, K.M.C. A incubadora umidificada como instrumento de manutenção da temperatura corporal do recém-nascido prematuro. In: Congresso Brasileiro de Enfermagem Obstétrica e Neonatal, 2013, Florianópolis. **Anais do 8º COBEON.**

SILVERTHORN, D.U. **Fisiologia Humana: Uma abordagem Integrada.** 5.ed. São Paulo: Artmed, 2010. 961p.

STEPHENSON, R. J., MOULIN, A. M., WELLAND, M. E., et al. VI Mechanical Variables Measurement — Thermal. Temperature Measurement. In: Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. USA: CRC Press LLC, 1999. p. 951-1019.

THOMAS,K. Thermoregulation in Neonates. **Neonatal network**, v.13, n.2, p.15-25,1994.

TORRES, M.G.L. **Conforto Térmico e Desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas – Estudo de Multicasos no Nordeste Brasileiro.** 2016. 162 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

URL 1- OMEGA ENGINEERING. Practical Guidelines for Temperature Measurement. Disponível em <<https://www.omega.com/prodinfo/Integrated-Circuit-Sensors.html>>. Acesso em: 02/04/2018.

URL 2- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Rede Interagencial de Informações para a Saúde. Indicadores de Dados Básicos - IDB 2012. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2012/c0101b.htm>>. Acesso em: 11/06/2018.

URL 3 - ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=incubadora>. Acesso em: 21/06/2018.

URL 4- I²C Bus-Organization. I2c-bus: What's that? Disponível em:< <http://www.i2c-bus.org>>. Acesso em: 20/10/2018

URL 5- BLUETOOTH SIG; 2005. Specification of the Bluetooth System Core v1.2. Disponível em:< www.bluetooth.com>. Acesso em: 30/03/2018.

VAN WYLEN, G. J., SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** 6. ed.
São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003.

APÊNDICE I

As Tabelas 4.10 a 4.12 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} a uma temperatura de controle de 32 °C da incubadora 2 do sensor M, respectivamente, em todas as posições.

Tabela 4.10 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na posição horizontal do sensor M.

Grandeza	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(°C)$
\bar{T}	30,323	A	<i>t-student</i>	29	1	0,004
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
ΔIC	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,105
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,210

Os resultados de medição na posição horizontal medida no sensor A é igual a $(30,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(30,3 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(30,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(30,3 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(30,3 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.11 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Grandeza	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(°C)$
\bar{T}	30,419	A	<i>t-student</i>	29	1	0,009
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
ΔIC	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,105
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,211

Os resultados de medição na inclinação à direita medida no sensor A é igual a $(30,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(30,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(30,7 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(30,5 \pm 0,3)$

°C e do sensor M ($30,4 \pm 0,3$) °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.12 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à esquerda medida no sensor A é igual a $(30,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(30,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(30,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(30,6 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(30,6 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

As Tabelas 4.13 a 4.15 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} a uma temperatura de controle de 36 °C da Incubadora 2 do sensor M, respectivamente, em todas as posições.

Tabela 4.13 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os resultados de medição na posição horizontal medida do sensor A é igual a $(34,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(35,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(35,2 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,7 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.14 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à direita medida no sensor A é igual a $(34,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(34,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,7 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,5 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.15 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à esquerda medida no sensor A é igual a $(34,9 \pm 0,3)^\circ\text{C}$, do sensor B $(34,7 \pm 0,3)^\circ\text{C}$, do sensor C $(34,8 \pm 0,3)^\circ\text{C}$, do sensor D $(34,8 \pm 0,3)^\circ\text{C}$ e do sensor M $(34,5 \pm 0,3)^\circ\text{C}$ com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

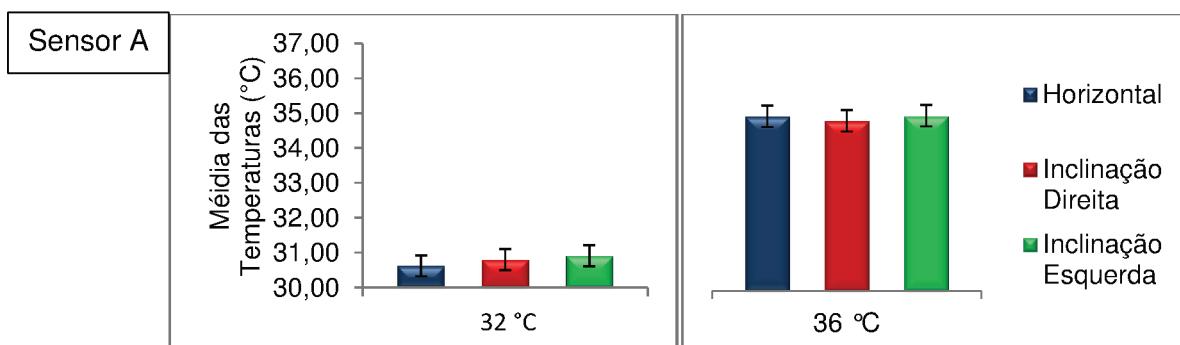
A Tabela 4.16 expõe a informação referente à avaliação da incerteza de medição da umidade relativa do ar (\bar{U}) em 60 % do sensor M.

Tabela 4.16 - Dados da avaliação de incerteza de medição da umidade relativa do ar (60 %).

Grandezas	Estimativa (%)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	u (%)
\bar{U}	61,690	A	<i>t-student</i>	59	1	0,643
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	1,81	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,905
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						1,110
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						2,220

Os resultados de medição da umidade relativa do ar medida no sensor M em 60 % é igual a $(61,7 \pm 3,0)\%$, em 50 % $(55,1 \pm 2,0)\%$ e em 40 % $(43,4 \pm 2,0)\%$ com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Em todos os valores medidos de umidade relativa do ar a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

A Figura 4.24 mostra a média da temperatura dos sensores A, B, C, D e M da incubadora 2, nas temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.



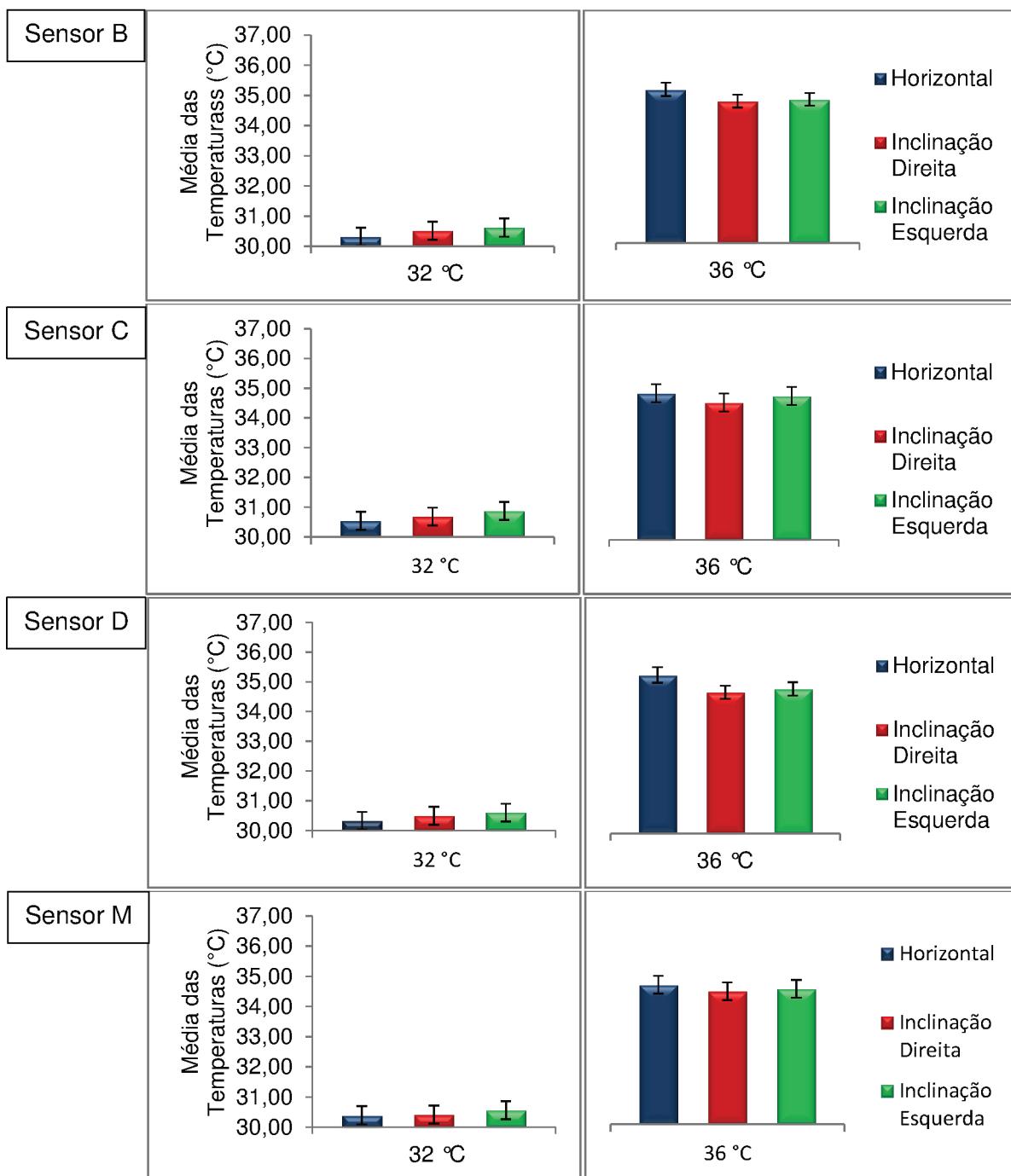


Figura 4.24 - Média de temperatura dos sensores A, B, C, D e M. com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 2).

A Figura 4.25 mostra a média da umidade relativa do ar da incubadora 2, da umidade de 60 %, 50 % e 40 %, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.

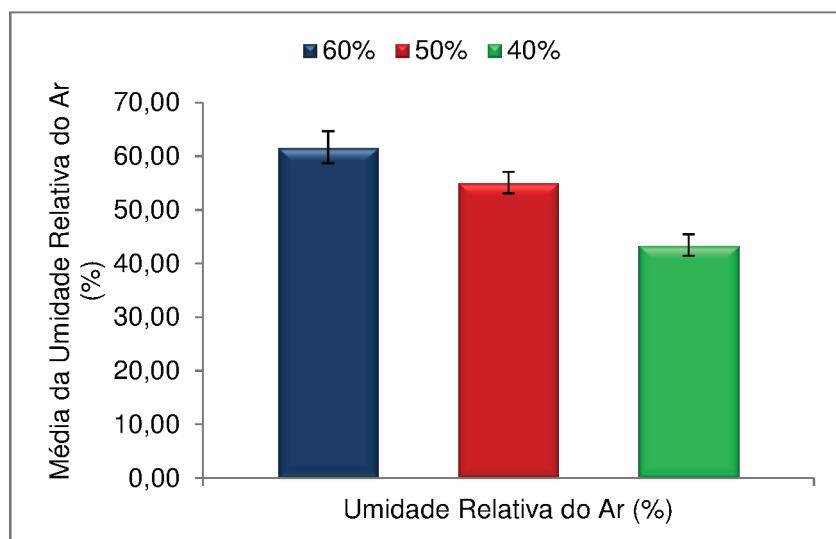


Figura 4.25 - Média da umidade relativa do ar, com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 2).

As Figuras 4.26 e 4.27 mostram os valores de erro (diferença) associados à temperatura nos sensores A, B, C, D e M para as duas temperaturas de controle (32°C e 36°C) na posição horizontal, inclinação à direita e a esquerda, para a incubadora 2. Os gráficos das Figuras 4.26 e 4.27 são compostos por três marcadores: o marcador vermelho indica os erros de medição, o marcador azul indica o desvio padrão positivo com uma confiabilidade de 95 % e o marcador verde indica o desvio padrão negativo com uma confiabilidade de 95 %.

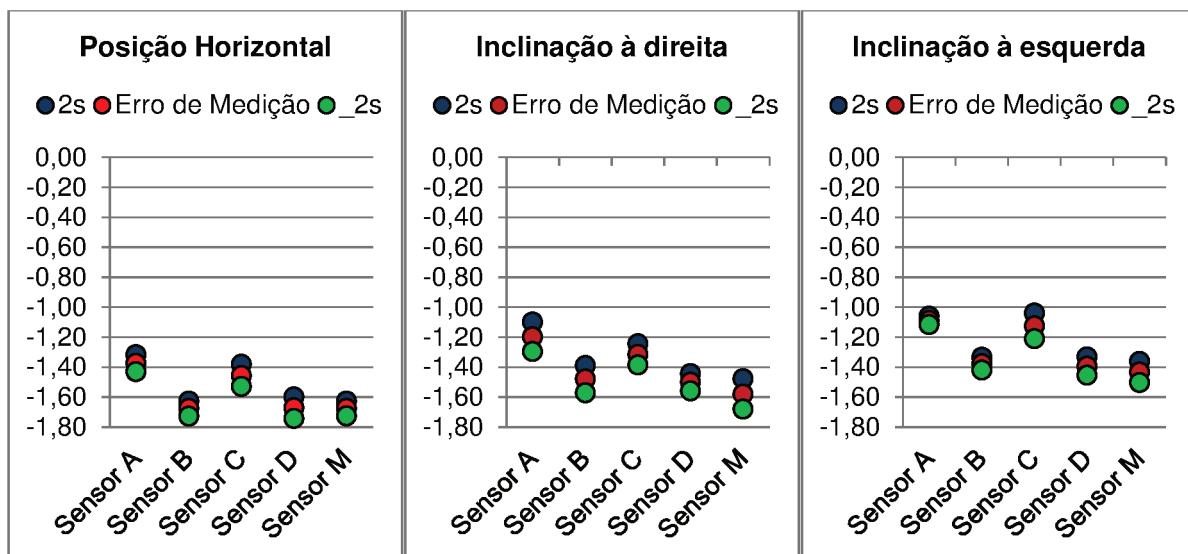


Figura 4.26 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 32°C (Incubadora 2).

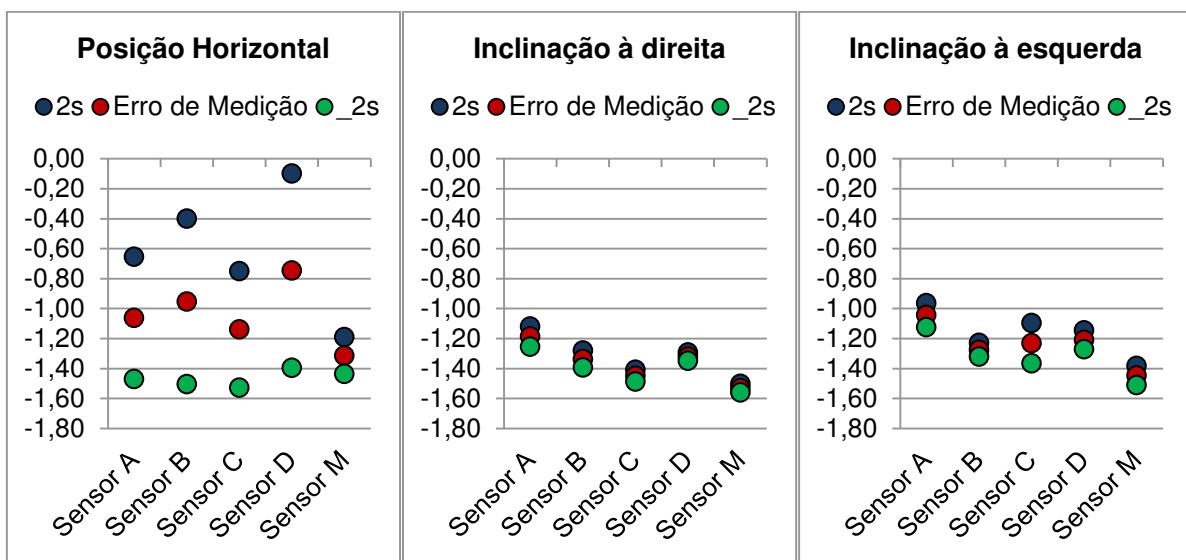


Figura 4.27 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 36 °C (Incubadora 2).

APÊNDICE II

As Tabelas 4.17 a 4.19 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} a uma temperatura de controle de 32 °C da incubadora 3 do sensor M, respectivamente, em todas as posições.

Tabela 4.17 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na posição horizontal do sensor M.

Grandezas	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(\text{ }^{\circ}\text{C})$
\bar{T}	30,735	A	<i>t-student</i>	29	1	0,016
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,106
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,212

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(31,1 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$, do sensor B $(31,0 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$, do sensor C $(31,1 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$, do sensor D $(30,6 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$ e do sensor M $(30,7 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$ com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.18 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Grandezas	Estimativa (°C)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	$u(\text{ }^{\circ}\text{C})$
\bar{T}	30,869	A	<i>t-student</i>	29	1	0,011
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	0,210	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,105
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						0,106
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						0,211

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na inclinação à direita do sensor A medida é igual a $(31,3 \pm 0,3) \text{ }^{\circ}\text{C}$, do sensor B $(31,0 \pm 0,3)$

°C, do sensor C ($31,1 \pm 0,3$) °C, do sensor D ($30,7 \pm 0,3$) °C e do sensor M ($30,9 \pm 0,3$) °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.19 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(31,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(31,3 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(31,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,0 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,1 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

As Tabelas 4.20 a 4.22 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} na temperatura de controle de 36 °C do sensor M na posição horizontal, inclinação à direita e inclinação à esquerda, respectivamente.

Tabela 4.20 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os resultados de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(34,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(34,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,7 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,0 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,1 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.21 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à direita do sensor A medida é igual a $(35,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(35,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(34,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,1 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(34,3 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.22 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(35,5 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$, do sensor B $(35,5 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$, do sensor C $(35,4 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$, do sensor D $(34,6 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$ e do sensor M $(34,8 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$ com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

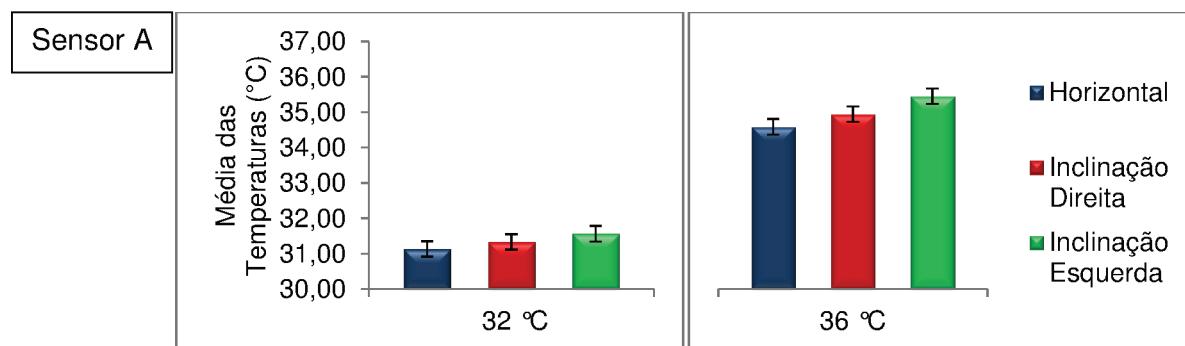
A Tabela 4.23 expõe a informação referente à avaliação da incerteza de medição da umidade relativa do ar (\bar{U}) em 60 % do sensor M.

Tabela 4.23 - Dados da avaliação de incerteza de medição da umidade relativa do ar (60 %).

Grandezas	Estimativa (%)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	u (%)
\bar{U}	71,544	A	<i>t-student</i>	59	1	0,675
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
$\Delta I/C$	1,81	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,905
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						1,129
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						2,259

Os resultados de medição da umidade relativa do ar medida no sensor M em 60 % é igual a $(71,5 \pm 3,0) \%$, em 50 % $(53,0 \pm 2,0) \%$ e em 40 % $(51,0 \pm 2,0) \%$ com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Em todos os valores medidos de umidade relativa do ar a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

A Figura 4.28 mostra a média da temperatura dos sensores A, B, C, D e M da incubadora 3, nas temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.



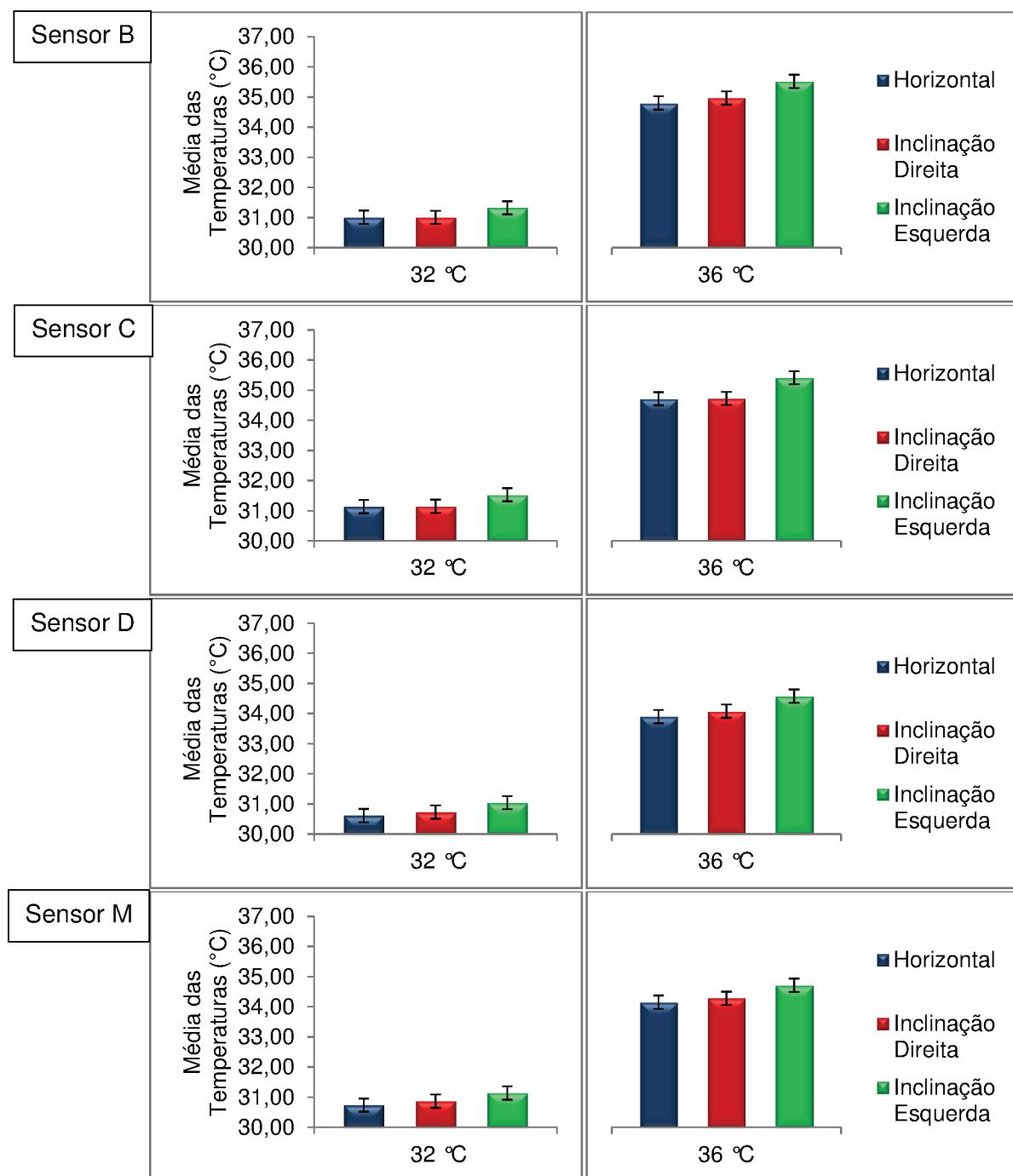


Figura 4.28 - Média de temperatura dos sensores A, B, C, D e M. com barras de erro de incerteza expandida (Incubadora 3).

A Figura 4.29 mostra a média da umidade relativa do ar da incubadora 3, da umidade de 60 %, 50 % e 40 %, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.

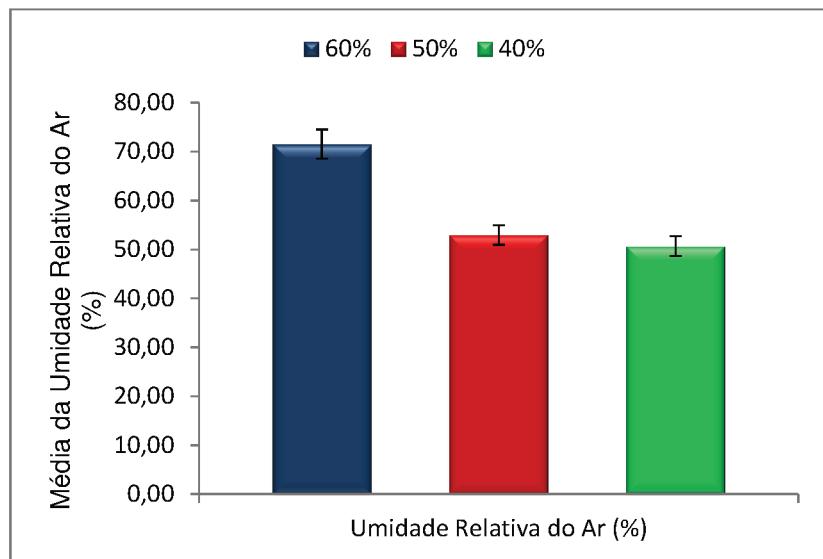


Figura 4.29 - Média da umidade relativa do ar, com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 3).

As Figuras 4.30 e 4.31 mostram os valores de erro (diferença) associados à temperatura nos sensores A, B, C, D e M para as duas temperaturas de controle (32°C e 36°C) na posição horizontal, inclinação à direita e a esquerda, para a incubadora 3. Os gráficos das Figuras 4.30 e 4.31 são compostos por três marcadores: o marcador vermelho indica os erros de medição, o marcador azul indica o desvio padrão positivo com uma confiabilidade de 95 % e o marcador verde indica o desvio padrão negativo com uma confiabilidade de 95 %.

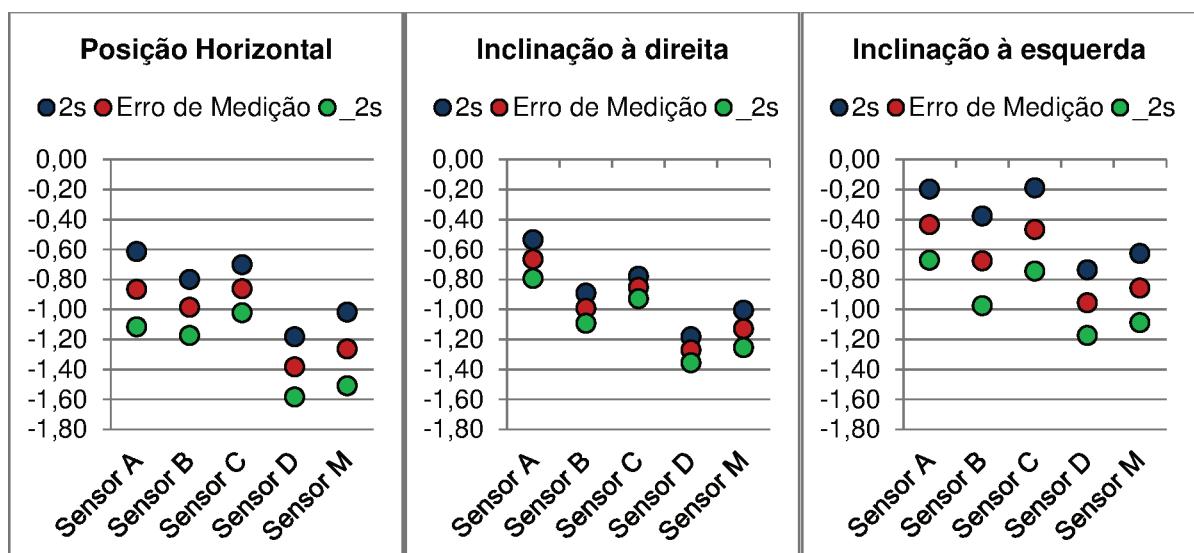


Figura 4.30 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 32°C (Incubadora 3).

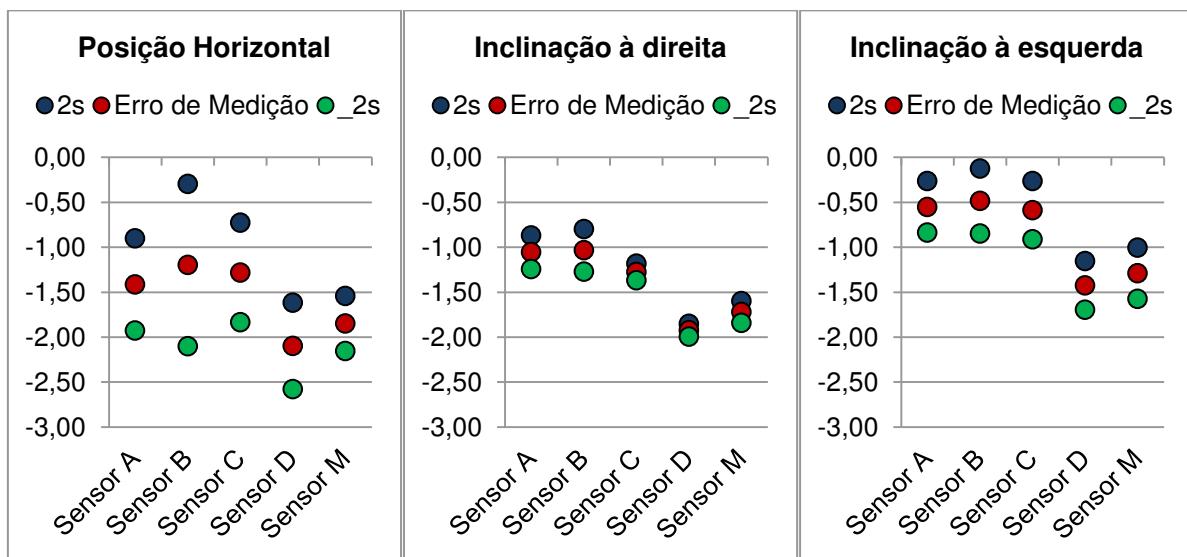


Figura 4.31 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 36 °C (Incubadora 3).

APÊNDICE III

As Tabelas 4.24 a 4.26 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} a uma temperatura de controle de 32 °C do sensor M, na posição horizontal, inclinação à direita e inclinação à esquerda, para a incubadora 4.

Tabela 4.24 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(31,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(31,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(31,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,1 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,4 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, sequida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.25 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na inclinação à direita do sensor A medida é igual a $(32,1 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(32,2 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(31,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,4 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,6 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.26 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 32 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os sensores A, B, C, D e M permitem concluir que o resultado de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(32,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(32,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(32,4 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(31,7 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(31,8 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

As Tabelas 4.27 a 4.29 expõem as informações referentes à avaliação da incerteza de medição da temperatura \bar{T} na temperatura de controle de 36 °C do sensor M na posição horizontal, inclinação à direita e inclinação à esquerda, respectivamente.

Tabela 4.27 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na posição horizontal do sensor M.

Os resultados de medição na posição horizontal do sensor A medida é igual a $(35,6 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(35,9 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(35,1 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,6 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(35,0 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.28 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à direita do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à direita do sensor A medida é igual a $(35,8 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(36,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(35,5 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(34,6 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(35,1 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

Tabela 4.29 - Dados da avaliação de incerteza de medição da temperatura de controle de 36 °C, na inclinação à esquerda do sensor M.

Os resultados de medição na inclinação à esquerda do sensor A medida é igual a $(36,2 \pm 0,3)$ °C, do sensor B $(36,3 \pm 0,3)$ °C, do sensor C $(36,0 \pm 0,3)$ °C, do sensor D $(35,1 \pm 0,3)$ °C e do sensor M $(35,9 \pm 0,3)$ °C com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Nos sensores A, B, C, D e M a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

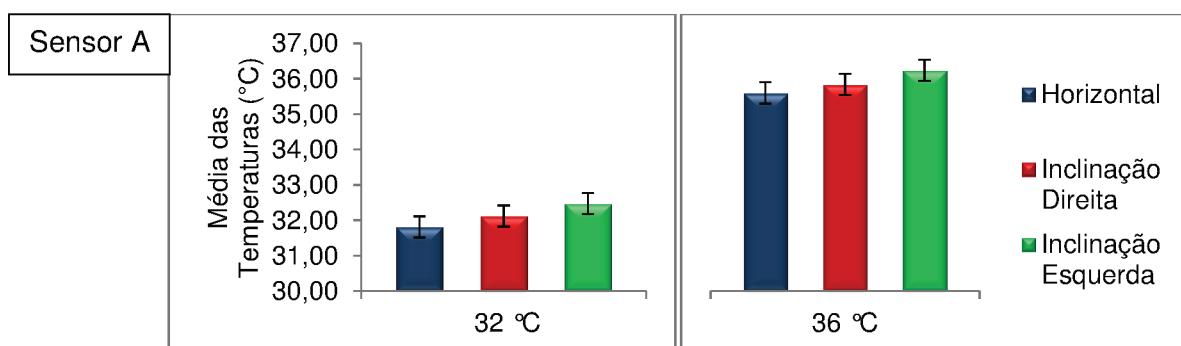
A Tabela 4.30 expõe a informação referente à avaliação da incerteza de medição da umidade relativa do ar (\bar{U}) em 60 % do sensor M.

Tabela 4.30 - Dados da avaliação de incerteza de medição da umidade relativa do ar (60 %).

Grandezas	Estimativa (%)	Tipo Avaliação	Distribuição Padrão	Grau de Liberdade	Coeficiente de Sensibilidade	u (%)
\bar{U}	56,588	A	<i>t-student</i>	59	1	0,728
ΔR	0,010	B	Retangular	∞	1	0,003
ΔC	1,81	B	<i>t-student</i>	∞	1	0,905
Incerteza Padrão Combinada $u_c(T)$						1,161
Graus de Liberdade Efetivo						∞
Fator de Abrangência k						2,00
Incerteza Expandida $U(T)$						2,323

Os resultados de medição da umidade relativa do ar medida no sensor M em 60 % é igual a $(56,6 \pm 3,0)$ %, em 50 % $(49,0 \pm 2,0)$ % e em 40 % $(39,1 \pm 2,0)$ % com um fator de abrangência de 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %. Em todos os valores medidos de umidade relativa do ar a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi à incerteza da calibração, seguida da variabilidade das leituras e da resolução dos sensores.

A Figura 4.32 mostra a média da temperatura dos sensores A, B, C, D e M da incubadora 4, nas temperaturas de controle de 32 °C e 36 °C, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.



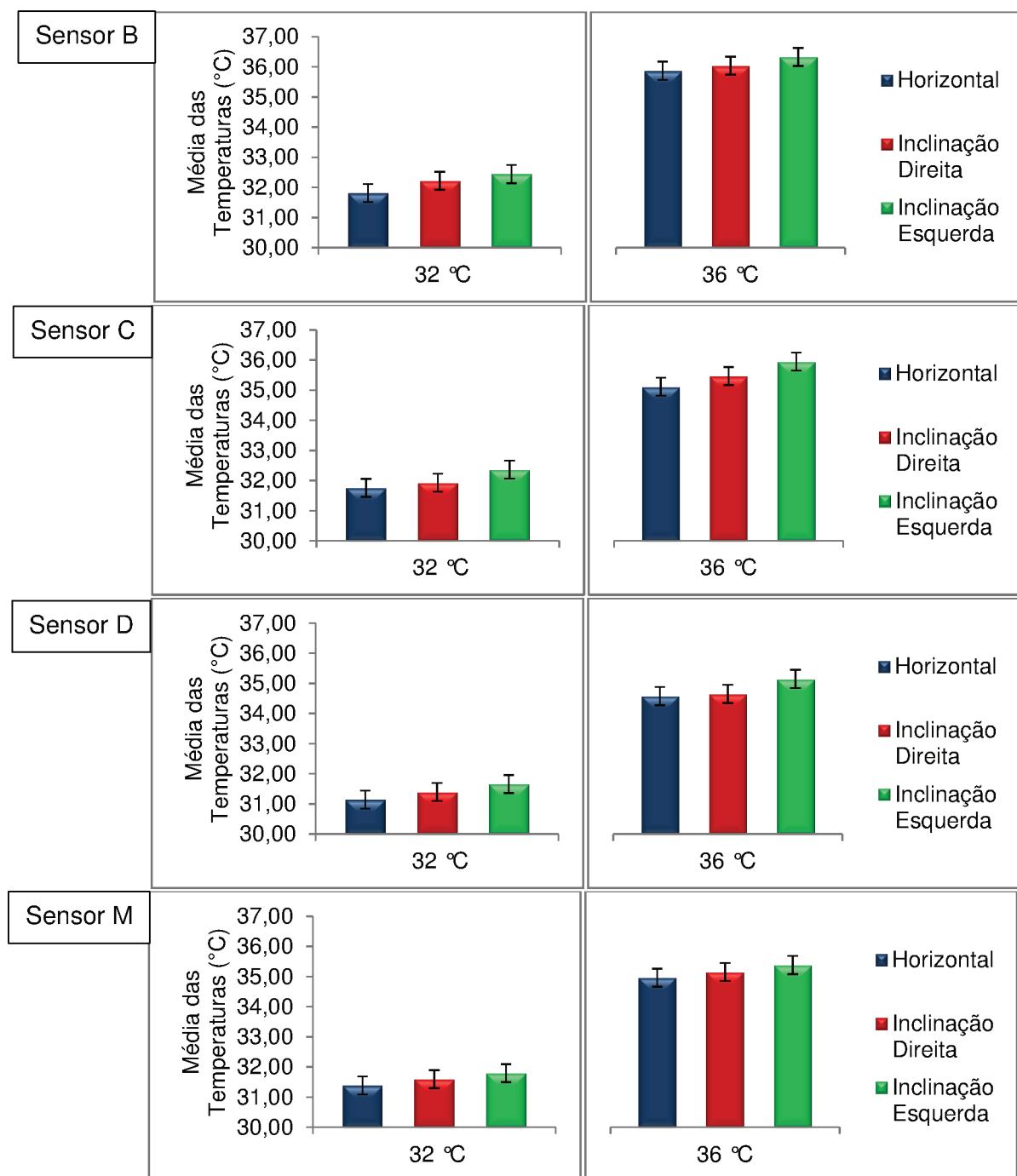


Figura 4.32 - Média de temperatura dos sensores A, B, C, D e M. com barras de erro de incerteza expandida. (Incubadora 4).

A Figura 4.33 mostra a média da umidade relativa do ar da incubadora 4, da umidade de 60 %, 50 % e 40 %, e com os valores de incerteza expandida associada à barra de erros.

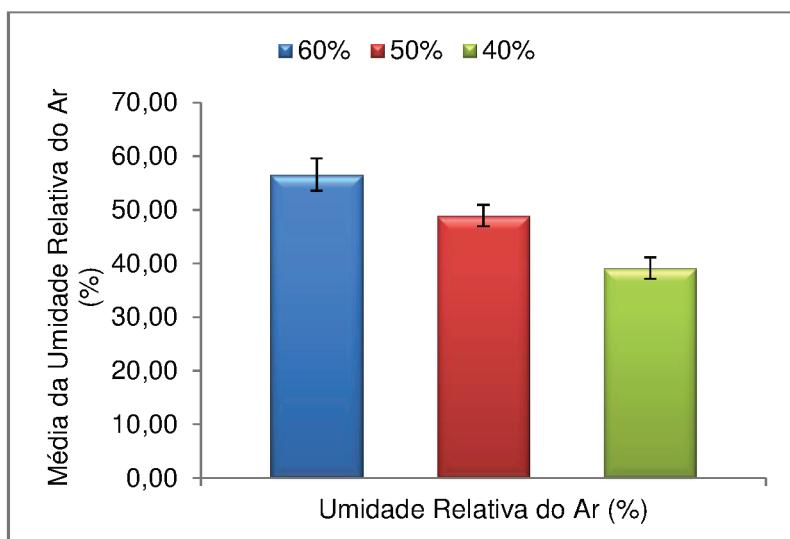


Figura 4.33 - Média da umidade relativa do ar, com barras de erro associada à incerteza expandida. (Incubadora 4).

As Figuras 4.34 e 4.35 mostram os valores de erro (diferença) associados à temperatura nos sensores A, B, C, D e M para as duas temperaturas de controle (32°C e 36°C) na posição horizontal, inclinação à direita e a esquerda, para a incubadora 4. Os gráficos das Figuras 4.34 e 4.35 são compostos por três marcadores: o marcador vermelho indica os erros de medição, o marcador azul indica o desvio padrão positivo com uma confiabilidade de 95 % e o marcador verde indica o desvio padrão negativo com uma confiabilidade de 95 %.

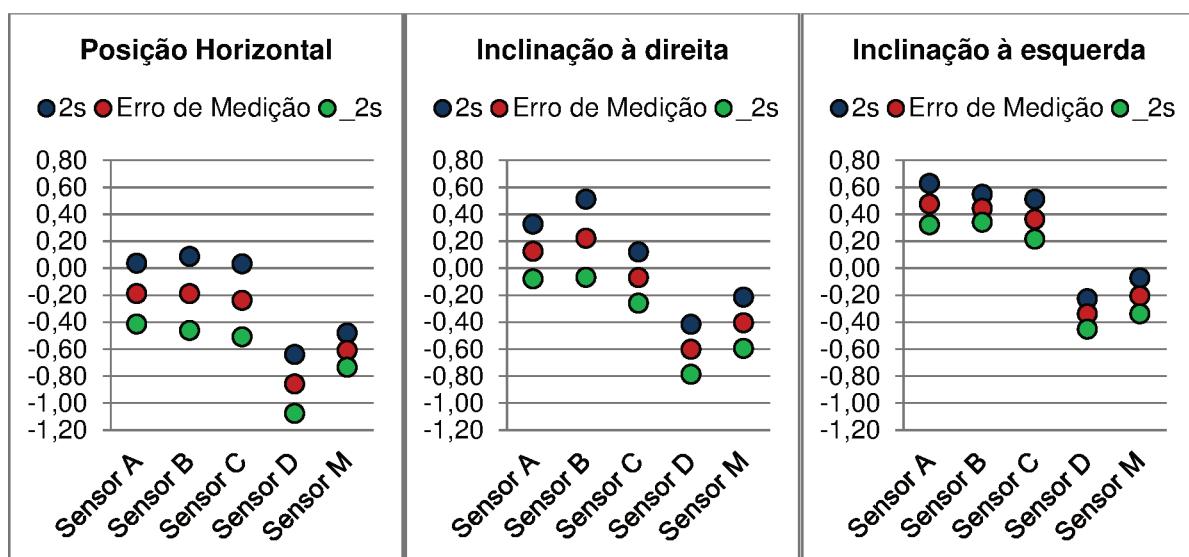


Figura 4.34 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 32°C (Incubadora 4).

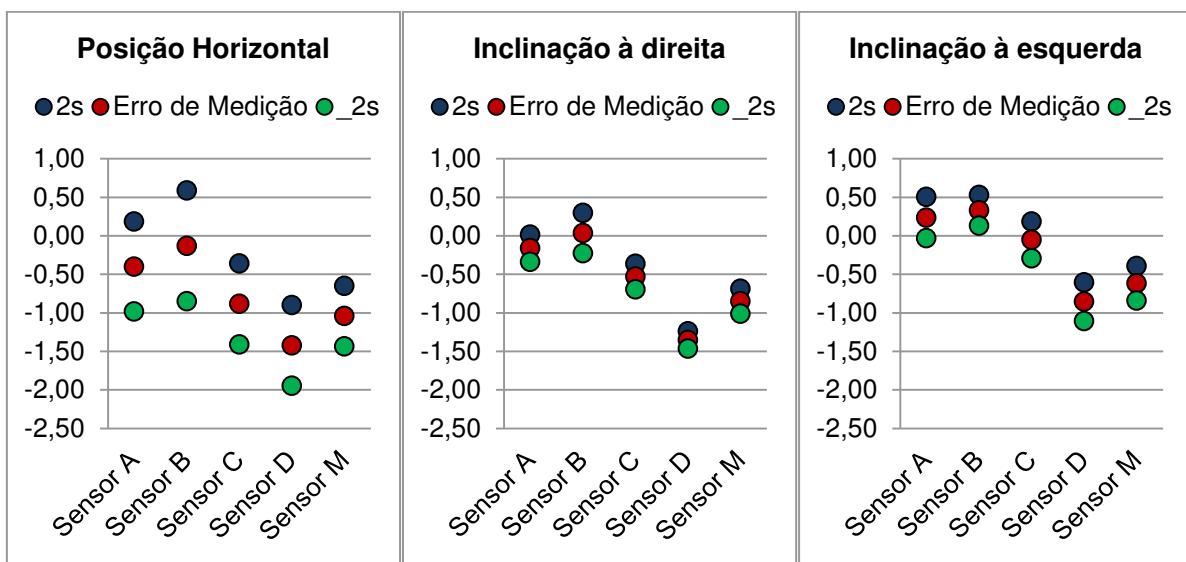


Figura 4.35 – Erro de medição associado à repetibilidade dos sensores A, B, C, D e M, na temperatura de controle de 36 °C (Incubadora 4).

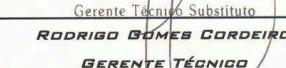
ANEXO I

Idade e Massa	Temperatura Ideal (°C)	Faixa Permitida (°C)
0-6 horas		
Abaixo de 1200 g	35	34,0-35,4
1200-1500 g	34,1	33,9-34,4
1501-2500 g	33,4	32,8-33,8
Acima de 2500 g	32,9	32,0-33,8
6-12 horas		
Abaixo de 1200g	35,0	34,0-35,4
1200-1500g	34,0	33,5-34,4
1501-2500g	33,1	32,2-33,8
Acima de 2500 g	32,8	33,1-33,8
12-24 horas		
Abaixo de 1200g	34,0	34,0-35,4
1200-1500g	33,8	33,3-34,3
1501-2500g	32,8	31,8-33,8
Acima de 2500 g	32,4	31,0-33,7
24-36 horas		
Abaixo de 1200g	34,0	34,0-35,0
1200-1500g	33,6	33,1-34,2
1501-2500g	32,6	31,6-33,6
Acima de 2500 g	32,1	30,7-33,5
36-48 horas		
Abaixo de 1200g	34,0	34,0-35,0
1200-1500g	33,5	33,0-34,1
1501-2500g	32,5	31,4-33,5
Acima de 2500 g	31,9	30,5-33,3
48-72 horas		
Abaixo de 1200g	34,0	34,0-35,0
1200-1500g	33,5	33,0-34,0
1501-2500g	32,3	31,2-33,4
Acima de 2500 g	31,7	30,1-33,2
72-96 horas		
Abaixo de 1200g	34,0	34,0-35,0
1200-1500g	33,5	33,0-34,0
1501-2500g	32,3	31,1-33,2
Acima de 2500 g	31,3	31,1-33,2
4-12 dias		
Abaixo de 1500g	33,5	33,0-33,4
1501-2500g	32,1	31,0-33,2

Acima de 2500 g		
4-5 dias	31,0	29,5-32,6
5-6 dias	30,9	29,4-32,3
6-8 dias	30,6	29,0-32,4
8-10 dias	30,3	29,0-31,8
10-12 dias	30,1	29,0-31,4
12-14 dias		
Abaixo de 1500g	33,5	32,8-34,0
1501-2500g	32,1	32,0-33,2
Acima de 2500 g	29,8	29,0-30,8
2- 3 semanas		
Abaixo de 1500 g	33,1	32,2-34,0
1501-2500g	31,7	30,5-33,0
3- 4 semanas		
Abaixo de 1500 g	32,6	31,6-33,6
1501-2500g	31,4	30,0-32,7
4- 5 semanas		
Abaixo de 1500 g	32,0	31,2-33,0
1501-2500g	30,9	29,5-32,2
6 semanas		
Abaixo de 1500 g	31,4	30,6-32,3
1501-2500g	30,4	29,0-31,8

Fonte: CLOHERTY; STARK, 2011.

ANEXO II

 Certificado de Calibração	 Laboratório de Temperatura & Umidade		
Número do Certificado R4996/13 Folha 1 / 2			
CONTRATANTE :	Universidade Federal de Uberlândia - UFU		
ENDEREÇO :	Av. João N. de Ávila, 2121, Bl. 1M - Campus Sta. Mônica - Uberlândia - MG		
INTERESSADO :	O mesmo		
ENDEREÇO :	O mesmo		
INSTRUMENTO :	<u>Termohigrômetro Digital</u>		
FABRICANTE :	Instrutherm		
MODELO :	HT-260		
IDENTIFICAÇÃO :	Não especificado		
NÚMERO DE SÉRIE :	06120362		
DATA DA CALIBRAÇÃO :	19/06/2013	LOCAL DA CALIBRAÇÃO:	Laboratório Elus
PRÓXIMA CALIBRAÇÃO :	Determinado pelo cliente	TEMPERATURA DO AR :	23°C ± 5°C
DATA DA EMISSÃO :	20/06/2013	UMIDADE RELATIVA AR :	45%UR a 70%UR
PADRÕES UTILIZADOS :			
Termohigrômetro Digital identificação EL-225 rastreado por Laboratório RBC - CAL 0439 em 28/02/2013 sob certificado R1678/13 válido até fevereiro/2014.			
PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO :			
<p>- A calibração foi realizada pelo método comparativo contra padrões de referência, seguindo os procedimentos internos: PCT-003 rev. 01 / PCT-012 rev. 02.</p>			
OBSERVAÇÕES :			
<ul style="list-style-type: none"> - Este certificado atende aos requisitos de acreditação pelo CGCRE, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. - A calibração foi realizada em 3 medições por ponto. O Valor Verdadeiro foi herdado pela média de 3 medições obtidas pelo padrão em cada ponto. - Os valores de temperatura apresentados estão em conformidade com a Escala Internacional de Temperatura de 1990. - k = fator de abrangência (fator multiplicativo adimensional) / Veff = graus de liberdade efetivo. / I.M. = Incerteza de Medição. 			
TÉCNICO EXECUTANTE: CAIO CESAR SILVA			
 Julio Cesar Pereira de Souza Gerente Técnico Substituto			
 RODRIGO GOMES CORDEIRO GERENTE TÉCNICO			
<small>A reprodução deste certificado só poderá ser total, sem nenhuma alteração. Os Resultados deste certificado referem-se somente ao item calibrado ou ensaiado. Este certificado atende os requisitos estabelecidos pela norma NBR ISO/IEC 17025. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência "k" que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.</small>			
<small>Rua Dendezeiro, 29 Jd. Matarazzo São Paulo SP 03813-130 Tel 11 2214-0049 Email: atendimento@elusinstrumentacao.com.br</small>			

Certificado de Calibração

Laboratório de Temperatura & Umidade

Número do Certificado R4996/13 Folha 2 / 2

Laboratório de Calibração acreditado pelo CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0439.

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO :

UMIDADE RELATIVA DO AR SENSOR EXTERNO : TEMPERATURA DA CALIBRAÇÃO - 20°C

Sensor - Fabricante: Não especificado; Modelo: Não especificado; Id.: Não especificado; n°.s.: Não especificado
Faixa de medição: 0 ~ 100 %UR, divisão de escala: 0,1 %UR.

Indicação do Instrum. (%UR)	Valor Verdadeiro (%UR)	Ero (%UR)	I.M. (%UR)	k	Veff
31,8	29,9	1,9	1,0	2,00	∞
50,6	49,7	0,9	1,0	2,00	∞
79,2	79,5	-0,3	1,3	2,00	∞

TEMPERATURA SENSOR EXTERNO :

Sensor - Fabricante: Não especificado; Modelo: Não especificado; Id.: Não especificado; n°.s.: Não especificado
Faixa de medição: -20 ~ 60 °C, divisão de escala: 0,1 °C.

Imersão (mm)	Indicação do Instrum. (°C)	Valor Verdadeiro (°C)	Ero (°C)	I.M. (°C)	k	Veff
---	20,6	20,0	0,6	0,3	2,00	∞
---	25,9	25,0	0,9	0,3	2,00	∞
---	31,3	30,0	1,3	0,3	2,00	∞

A reprodução deste certificado só poderá ser total, sem nenhuma alteração. Os Resultados deste certificado referem-se somente ao item calibrado ou ensaiado. Este certificado atende os requisitos estabelecidos pela norma NBR ISO/IEC 17025. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência "k" que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Rua Dendezeiro, 29 | Jd. Matarazzo | São Paulo | SP | 03813-130 | Tel 11 2214-0049 | Email: atendimento@elusinstrumentacao.com.br

ANEXO III



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181672/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

1 / 2

Solicitante: UNIV.FEDERAL DE UBERLANDIA
AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, UBERLÂNDIA, MG
Contratante: O MESMO

Características do Instrumento

Descrição: SENSOR DE TEMPERATURA
Marca: TE

Identificação: SENSOR-A

Modelo: HTU21D

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 24,7 °C ± 1 °C Umidade: 44 %ur ± 5%ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048
Calibração Executada conforme: ITTEC019

Revisão: 2
Revisão: 2

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0617 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	TFA	PTO061727/12/16	MEDIDAÇÃO-CAL0183	12/2018
PTO-0670 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	MINIPA	LV028730086917R	VISOMES	01/2019
PTT-0717 CALIBRADOR PORTÁTIL	ECIL	3559/17	ECIL-CAL0026	05/2020
PTT-0863 TERMORRESISTÊNCIA PADRÃO	SALVI	999/2017	SALCAS-CAL0139	04/2020

Resultados Obtidos**TEMPERATURA**

Faixa de Uso: -50,00 a 150,00 °C

Faixa de Indicação: -50,00 a 150,00 °C

Resolução: 0,01 °C

V.R °C	V.I °C	Erro de Medição °C	Incerteza Expandida °C	Incerteza Expandida + Erro °C	(k)	Veff
32,00	31,96	-0,04	0,22	0,26	2,00	Infinito
34,00	33,76	-0,24	0,20	0,44	2,00	Infinito
36,00	36,12	0,12	0,21	0,33	2,00	Infinito

UMIDADE

Faixa de Uso: 0,00 a 99,00 %ur

Faixa de Indicação: 0,00 a 99,00 %ur

Resolução: 0,01 %ur

V.R %ur	V.I %ur	Erro de Medição %ur	Incerteza Expandida %ur	Incerteza Expandida + Erro %ur	(k)	Veff
37,50	37,40	-0,10	1,10	1,20	2,00	Infinito
50,00	51,65	1,65	1,11	2,76	2,00	Infinito
60,00	62,00	2,00	1,81	3,81	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APlica SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181672/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metroológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: RUA NICARÁGUA, 1390 - TIBERY - UBERLÂNDIA - MG
Data de emissão: 09 de outubro de 2018

Leandro Silva de Bastos

Assinado Eletronicamente
LEANDRO SILVA DE BASTOS
Gerente Técnico



Digitally signed by LEANDRO
SILVA DE BASTOS:09319226699
Date: 2018.10.23 14:43:00 -03:00
Reason: Certificado de Calibração
Location: Laboratorio Medicao
Uberlandia

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APlica SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

ANEXO IV



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181718/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

1 / 2

Solicitante: UNIV.FEDERAL DE UBERLANDIA
AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, UBERLÂNDIA, MG

Contratante: O MESMO**Características do Instrumento**Descrição: SENSOR DE TEMPERATURA
Marca: TE

Identificação: SENSOR-B

Modelo: HTU21D

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 24,7 °C ± 1 °C Umidade: 44 %ur ± 5%ur

ProcedimentosCalibração Executada conforme: ITTEC048
Calibração Executada conforme: ITTEC019

Revisão: 2

Revisão: 2

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0617 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	TFA	PTO061727/12/16	MEDIÇÃO-CAL0183	12/2018
PTO-0670 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	MINIPA	LV028730086917R	VISOMES	01/2019
PTT-0717 CALIBRADOR PORTATIL	ECIL	3559/17	ECIL-CAL0026	05/2020
PTT-0863 TERMORRESISTÊNCIA PADRÃO	SALVI	999/2017	SALCAS-CAL0139	04/2020

Resultados Obtidos**TEMPERATURA**Faixa de Uso: -50,00 a 150,00 °C
Faixa de Indicação: -50,00 a 150,00 °C

Resolução: 0,01 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
32,00	31,78	-0,22	0,21	0,43	2,00	Infinito
34,00	33,76	-0,24	0,23	0,47	2,00	Infinito
36,00	35,84	-0,16	0,21	0,37	2,00	Infinito

UMIDADEFaixa de Uso: 0,00 a 99,00 %ur
Faixa de Indicação: 0,00 a 99,00 %ur

Resolução: 0,01 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
37,50	37,47	-0,03	1,10	1,13	2,00	Infinito
50,00	51,71	1,71	1,11	2,82	2,00	Infinito
60,00	61,60	1,60	1,87	3,47	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181718/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: RUA NICARÁGUA, 1390 - TIBERY - UBERLÂNDIA - MG
Data de emissão: 09 de outubro de 2018

Leandro Silva de Bastos

Assinado Eletronicamente
LEANDRO SILVA DE BASTOS
Gerente Técnico



Digitally signed by LEANDRO
SILVA DE BASTOS:09319225699
Date: 2018.10.23 14:43:06 -03:00
Reason: Certificado de Calibração
Location: Laboratório Medição
Uberlândia

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

ANEXO V



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181734/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

1 / 2

Solicitante: UNIV.FEDERAL DE UBERLANDIA
AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, UBERLÂNDIA, MG

Contratante: O MESMO**Características do Instrumento**

Descrição: SENSOR DE TEMPERATURA

Identificação: SENSOR-C

Marca: TE

Modelo: HTU21D

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 24,7 °C ± 1 °C Umidade: 44 %ur ± 5%ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 2

Calibração Executada conforme: ITTEC019

Revisão: 2

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0617 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	TFA	PTO061727/12/16	MEDIÇÃO-CAL0183	12/2018
PTO-0670 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	MINIPA	LV028730086917R	VISOMES	01/2019
PTT-0717 CALIBRADOR PORTÁTIL	ECIL	3559/17	ECIL-CAL0026	05/2020
PTT-0863 TERMORESISTÊNCIA PADRÃO	SALVI	999/2017	SALCAS-CAL0139	04/2020

Resultados Obtidos**TEMPERATURA**

Faixa de Uso: -50,00 a 150,00 °C

Faixa de Indicação: -50,00 a 150,00 °C

Resolução: 0,01 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
32,00	32,06	0,06	0,21	0,27	2,00	Infinito
34,00	33,77	-0,23	0,20	0,43	2,00	Infinito
36,00	36,18	0,18	0,22	0,40	2,00	Infinito

UMIDADE

Faixa de Uso: 0,00 a 99,00 %ur

Faixa de Indicação: 0,00 a 99,00 %ur

Resolução: 0,01 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
35,70	37,40	1,70	1,10	2,80	2,00	Infinito
50,00	51,71	1,71	1,11	2,82	2,00	Infinito
60,00	62,00	2,00	1,81	3,81	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181734/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veif graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: RUA NICARÁGUA, 1390 - TIBERY - UBERLÂNDIA - MG
Data de emissão: 09 de outubro de 2018

Leandro Silva de Bastos

Assinado Eletronicamente
LEANDRO SILVA DE BASTOS
Gerente Técnico



Digitally signed by LEANDRO
SILVA DE BASTOS:09319225699
Date: 2018.10.23 14:43:12 -03:00
Reason: Certificado de Calibração
Location: Laboratorio Medicao
Uberlandia

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

ANEXO VI



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181777/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

1 / 2

Solicitante: UNIV.FEDERAL DE UBERLANDIA
AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, UBERLÂNDIA, MG

Contratante: O MESMO**Características do Instrumento**

Descrição: SENSOR DE TEMPERATURA

Marca: TE

Identificação: SENSOR-D

Modelo: HTU21D

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 24,7 °C ± 1 °C Umidade: 44 %ur ± 5%ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 2

Calibração Executada conforme: ITTEC019

Revisão: 2

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0617	TFA	PTO061727/12/16	MEDIÇÃO-CAL0183	12/2018
PTO-0670	MINIPA	LV028730086917R	VISOMES	01/2019
PTT-0717	ECIL	3559/17	ECIL-CAL0026	05/2020
PTT-0863	SALVI	999/2017	SALCAS-CAL0139	04/2020

Resultados Obtidos**TEMPERATURA**

Faixa de Uso: -50,00 a 150,00 °C

Faixa de Indicação: -50,00 a 150,00 °C

Resolução: 0,01 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(K)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
32,00	31,79	-0,21	0,20	0,41	2,00	Infinito
34,00	33,71	-0,29	0,20	0,49	2,00	Infinito
36,00	36,18	0,18	0,22	0,40	2,00	Infinito

UMIDADE

Faixa de Uso: 0,00 a 99,00 %ur

Faixa de Indicação: 0,00 a 99,00 %ur

Resolução: 0,01 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(K)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
37,50	37,40	-0,10	1,10	1,20	2,00	Infinito
50,00	51,71	1,71	1,11	2,82	2,00	Infinito
60,00	61,33	1,33	1,86	3,19	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181777/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: RUA NICARÁGUA, 1390 - TIBERY - UBERLÂNDIA - MG
Data de emissão: 09 de outubro de 2018

Leandro Silva de Bastos

Assinado Eletronicamente
LEANDRO SILVA DE BASTOS
Gerente Técnico



Digitally signed by LEANDRO
SILVA DE BASTOS:09319225699
Date: 2018.10.23 14:43:18 -03:00
Reason: Certificado de Calibração
Location: Laboratório Medição
Uberlândia

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

ANEXO VII



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181644/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

1 / 2

Solicitante: UNIV.FEDERAL DE UBERLANDIA
AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, UBERLÂNDIA, MG

Contratante: O MESMO**Características do Instrumento**

Descrição: SENSOR DE TEMPERATURA

Identificação: SENSOR-M

Marca: TE

Modelo: HTU21D

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 24,7 °C ± 1 °C Umidade: 44 %ur ± 5%ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 2

Calibração Executada conforme: ITTEC019

Revisão: 2

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0617 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	TFA	PTO061727/12/16	MEDIÇÃO-CAL0183	12/2018
PTO-0670 TERMOHIGRÔMETRO PADRÃO	MINIPA	LV028730086917R	VISOMES	01/2019
PTT-0717 CALIBRADOR PORTÁTIL	ECIL	3559/17	ECIL-CAL0026	05/2020
PTT-0863 TERMORRESISTÊNCIA PADRÃO	SALVI	999/2017	SALCAS-CAL0139	04/2020

Resultados Obtidos**TEMPERATURA**

Faixa de Uso: -50,00 a 150,00 °C

Faixa de Indicação: -50,00 a 150,00 °C

Resolução: 0,01 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
32,00	31,97	-0,03	0,21	0,24	2,00	Infinito
34,00	33,80	-0,20	0,20	0,40	2,00	Infinito
36,00	36,09	0,09	0,21	0,30	2,00	Infinito

UMIDADE

Faixa de Uso: 0,00 a 99,00 %ur

Faixa de Indicação: 0,00 a 99,00 %ur

Resolução: 0,01 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
37,50	37,40	-0,10	1,10	1,20	2,00	Infinito
50,00	51,65	1,65	1,11	2,76	2,00	Infinito
60,00	62,00	2,00	1,81	3,81	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 181644/18

Data Calibração: 09/10/2018

OS: 488658-A/2018

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: RUA NICARÁGUA, 1390 - TIBERY - UBERLÂNDIA - MG
Data de emissão: 09 de outubro de 2018

Leandro Silva de Bastos

Assinado Eletronicamente
LEANDRO SILVA DE BASTOS
Gerente Técnico



Digitally signed by LEANDRO
SILVA DE BASTOS:09319225699
Date: 2018.10.23 14:42:54 -03:00
Reason: Certificado de Calibração
Location: Laboratório Medição
Uberlândia

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.