



BAHIANA
ESCOLA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA

**ESCOLA BAHIANA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM SAÚDE**

PAULO ROBERTO MEDINA RAMOS

REDUÇÃO DE RUÍDO EM INCUBADORAS NEONATAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Salvador
2016**

PAULO ROBERTO MEDINA RAMOS

REDUÇÃO DE RUÍDO EM INCUBADORAS NEONATAIS

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Tecnologias em Saúde da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias em Saúde.

Orientador: Dr. Handerson Jorge Dourado Leite

**Salvador
2016**

Ficha Catalográfica elaborada pelo
Sistema Integrado de Bibliotecas da EBMSP

- R175 Ramos, Paulo Roberto Medina
Redução de ruído em incubadoras neonatais. / Paulo Roberto Medina Ramos. –
Salvador. 2016.
84f. il.
- Orientador: Dr. Handerson Jorge Dourado Leite
- Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Bahiana de Medicina e Saúde
Pública. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias em Saúde.
- Inclui bibliografia
- 1.Incubadora para recém-nascidos. 2. Redutor de ruídos. 3.Nível de pressão
sonora. 4.Recém-nascido. I. Título.

CDU: 613.95

Nome: RAMOS, Paulo Roberto Medina

Título: Redução de Ruído em Incubadoras Neonatais

Dissertação apresentada à Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Medicina e Saúde Humana.

Aprovado em: 04 de abril de 2016

Banca Examinadora

Prof. Dr.: Josemir da Cruz Alexandrino

Titulação: Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Instituição: Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Profª. Drª: Josiane Dantas Viana Barbosa

Titulação: Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Instituição: SENAI - CIMATEC

Prof. Dr.: Allan Edgard Silva Freitas

Titulação: Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Instituição: Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Dedico esse trabalho a Deus, pelo dom
da vida e aos meus pais pelo constante
cuidado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e fé que tem me mantido no caminho reto ao longo de toda a minha vida.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Dr. Handerson Leite, pela paciência e ensinamentos dispensados durante todo o período deste processo de aprendizado.

Agradeço ao Núcleo de Tecnologias em Saúde – NTS do Instituto Federal da Bahia - IFBA pela oportunidade de realização parcial de experimentos e a cessão de instrumentos para a realização das medições para a pesquisa. Em especial, agradeço aos professores, o Dr. Cláudio Reinaldo B. de Souza, Dr. Josemir da Cruz Alexandrino, ao Msc. Hugo Antônio Nunes Silva, ao Eng. Rui Câmara Brandão pelas valiosas contribuições e ensinamentos que culminaram em solução das etapas da pesquisa.

Agradeço ao Dr. Marcos Almeida pelas orientações e ensinamentos. Agradeço à colega Neuza Monteiro pela amizade e participação ativa em todos os trabalhos acadêmicos.

Agradeço ao Hospital Teresa de Lisieux – HTL, pelo uso das suas instalações, equipamentos e demais recursos que possibilitaram o desenvolvimento de parte muito importante da pesquisa.

Eu não vou colocar a base de minha fé em bugigangas e invenções. Como um jovem e, com grande parte de minha vida ainda pela frente, eu decidi bem cedo dar minha vida por algo absoluto e eterno. Não para estes pequenos deuses que estão por aí hoje, e amanhã se vão, mas para DEUS que é o mesmo ontem, hoje e para sempre.

Martin Luther King

RESUMO

Ramos, P.R.M. Redução de ruídos em incubadoras neonatais [Dissertação]. Salvador-Ba: Programa de Pós-Graduação em Tecnologias em Saúde, Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Salvador-Ba; 2016.

A pesquisa bibliográfica e medidas do ruído realizadas para este trabalho mostraram que os níveis de pressão sonora, ou ruídos, dentro da cúpula das incubadoras para recém-nascidos são bem mais intensos que os 60 dB(A) (decibéis) estipulado pela norma. Assim, o objetivo proposto foi reduzir o nível desse ruído no interior da cúpula da incubadora para neonatos através da modificação do sistema de convecção do ar. Foi realizado um estudo quantitativo, desenvolvido com base no método experimental onde foi idealizado, construído e testado um mecanismo de ventilação que funcionasse a partir da rede de ar comprimido, presente nas salas das unidades de tratamento intensivo neonatal e maternidades. Os dados de umidade relativa, velocidade do ar, pressão atmosférica, temperatura e ruído foram coletados por medidores eletrônicos que registraram as condições do ambiente interno e externo à cúpula de uma incubadora com sistema de umidificação passiva, antes e após a modificação do sistema de convecção. Foram analisadas, em média, mais de 9000 medidas, ou dados, coletados para cada uma das variáveis físicas citadas, feitas no ambiente interno à cúpula da incubadora. Antes da modificação proposta foram obtidos os seguintes dados: percentual de umidade relativa (% UR), cuja média foi de $\bar{X}_{urA} = 64,9$ % UR e desvio padrão (Y) igual a $Y_{urA} = 1,02$. A medida registrada ficou com 4,9% UR acima da faixa que vai de 40% a 60% UR que é ideal para o ser humano. A temperatura medida no ambiente apresentou valores dentro da média, sendo igual a $\bar{X}_{tA} = 36,5$ ($Y_{tA} = 1,45$). A velocidade do ar, cuja norma estabelece que o valor seja menor que 0,3 m/s, teve valor médio de $\bar{X}_{vA} = 0,27$ m/s ($Y_{vA} = 0,03$). As medidas do ruído também serviram para determinar a condição do ambiente no momento do registro dessas medidas. O valor do ruído, interno antes da modificação, foi $\bar{X}_{iA} = 45,99$ dB(A) ($Y_{iA} = 2,16$). Os dados obtidos depois da modificação proposta foram: umidade relativa igual a $\bar{X}_{urD} = 33,15$ % UR ($Y_{urD} = 2,64$), ou seja, 6,85% UR abaixo da faixa anteriormente citada. A temperatura foi igual a $\bar{X}_{tD} = 36,3$ °C ($Y_{tD} = 1,02$). A média da velocidade do ar foi igual a $\bar{X}_{vD} = 0,28$ m/s ($Y_{vD} = 0,03$). O ruído interno à cúpula após a modificação foi de $\bar{X}_{iD} = 30,23$. A comparação entre os dados obtidos antes e depois mostram que houve redução significativa do ruído em 34,27% ou 15,76 dB(A) com a utilização da ventilação a partir da rede de ar comprimido. Os valores da temperatura e velocidade do ar dentro da cúpula da incubadora testada não apresentaram variações significativas antes e após a modificação do sistema de convecção, entretanto, os valores de umidade relativa após a modificação ficaram abaixo do limite estabelecido pela norma, fazendo-se necessário testar o mecanismo com o controle ativo de umidificação.

Palavras – Chave: Incubadora para recém-nascidos. Redutor de ruídos. Nível de pressão sonora. Recém-nascido.

ABSTRACT

Ramos, P.R.M. Noise Reduction in Neonatal Incubators [Dissertação]. Salvador-Ba: Programa de Pós-Graduação em Tecnologias em Saúde, Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Salvador-Ba; 2016.

The literature and measures the noise carried out for this study showed that the levels of sound pressure or noise inside the dome of incubators for newborns are much more intense than the 60 dB (A) (decibels) stipulated by the standard. Thus, the proposed objective was to reduce the level of this noise inside the incubator dome for newborns by modifying the air convection system. A quantitative study, developed based on the experimental method which was designed, build and tested a mechanism ventilation that runs from the compressed air network, present in the rooms of neonatal intensive care units and maternity wards was carried out. Humidity data on air speed, air pressure, temperature and noise were collected by electronic meters that recorded the conditions of internal and external environment to the summit of an incubator with passive humidification system before and after the convection system modification. Were analyzed, on average, more than 1.000 measures, or data collected for each of the physical variables mentioned, made in the internal environment of the incubator dome. Before the proposed change data were: relative percentage of humidity (% RH), with an average of $\bar{X}rhA = 64,9$ % RH and standard deviation (Y) equal to $YrhA = 1,02$. The recorded measurement was 4.9% RH over the range that goes from 40% to 60% RH, and is ideal for humans. The room temperature is shown with values in the average, equal to $\bar{X}tA = 36,5$ °C ($YtA = 1,45$). The speed of the air, whose rule states that the value is less than 0.3 m/s, had an average value of $\bar{X}vA = 0,27$ m/s ($YvA = 0,03$). Noise measures also served to determine the environmental condition at the time of registration of such measures. The value of the internal noise before the change $\bar{X}iA = 45,99$ dB(A) ($YiA=2,16$). The data obtained after the modification were proposed: relative humidity RH equal to $\bar{X}rhD = 33,15$ % UR ($YrhD = 2,64$), below the abovementioned range. The temperature was equal to $\bar{X}tD = 36,3$ °C ($YtD = 1,02$). The average speed air was equal to $\bar{X}vD = 0,28$ m/s ($YvD = 0,03$). The internal noise to the summit after modification was $\bar{X}iD = 30,23$. The comparison between before and after the data shows that a significant noise reduction in 34.27% or 15.76 dB (A) with the use venting from the compressed air network. the values of temperature and air velocity within the incubator dome tested showed no significant change before and after the modification of the convection system, however, the values of relative humidity, after modification, were below the limit set by the standard, doing-if necessary to test the same with the active control humidification.

Keywords: Incubator for newborns. Reducing noise. Sound pressure level. Newborn.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Fatores de correção para medições feitas no nível do ruído de fundo	25
TABELA 2 -	Medidas relativas de Pressão, Intensidade e Potência sonora	30
TABELA 3 -	Resumo dos resultados das medidas efetuadas	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Detalhes do ouvido humano	22
FIGURA 2 -	Representações gráficas do Som e do Ruído	23
FIGURA 3 -	Gráfico de Ganho (dB) em função da Frequência (Hz), em escala logarítmica	27
FIGURA 4 -	Diagrama em blocos dos sistemas de controle de uma incubadora neonatal microprocessada.	33
FIGURA 5 -	Sistema de Controle Ativo	36
FIGURA 6 -	Sistema de controle de umidificação passivo	38
FIGURA 7 -	Estabilidade térmica. Temperatura X Tempo de aquecimento	41
FIGURA 8 -	Diagrama de blocos de um controle <i>ATC</i>	42
FIGURA 9 -	Diagrama de blocos de um controle <i>ITC</i> .	43
FIGURA 10 -	(a): Medidor de condições ambientais, Decibelímetro e Antena do Anemômetro posicionado no interior da cúpula da incubadora; (b): Decibelímetro e Anemômetro posicionado sobre a cúpula; (c): Vista frontal da incubadora e posicionamento dos Instrumentis de medição.	52
FIGURA 11 -	Módulo da Unidade Controladora Microprocessada-UCM	54
FIGURA 12 -	Sistema de convecção da incubadora – Antes das modificações	55
FIGURA 13 -	Esquema Eletropneumático do Controle	57
FIGURA 14 -	Painel de Controle da pressão do ar comprimido	58
FIGURA 15 -	(a): Turbinas experimentais. (b): Detalhes internos de uma turbina. (c): Turbina Experimental e motor usado em incubadoras	59
FIGURA 16 -	Câmara para conexão da Unidade Controlada Microprocessada-UCM.	60
FIGURA 17 -	Câmara com Traquéia de Silicone e Difusor Usados para a Condução do Ar	60
FIGURA 18 -	Sistema completo para ventilação da incubadora através do ar comprimido.	61
FIGURA 19 -	Velocidade do ar sobre o colchão da incubadora Antes e Depois das modificações	62
FIGURA 20 -	Temperatura Interna à Cúpula da incubadora Antes x Depois das modificações	63
FIGURA 21 -	Umidade Relativa do Ar no Interior da Cúpula da Incubadora Antes x Depois das modificações	64
FIGURA 22 -	Pressão Atmosférica do Ar Antes x Depois das modificações	65
FIGURA 23 -	Ruído Externo à Cúpula Antes x Depois das modificações	66
FIGURA 24 -	Ruído Interno à Cúpula da Incubadora Antes x Depois das modificações	67
FIGURA 25 -	Área da curva normal, percentagem limites laterais ou desvio padrão da média	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 RACIONAL TEÓRICO	18
3.1 Audição, Ruído e Escalas de Medidas	18
3.1.1 Relação entre o Excesso de Ruído e o Ouvido Humano	18
3.1.2 Ouvido Humano	19
3.1.3 Som e Tipos de Ruídos	22
3.1.4 Ruído de Fundo	24
3.1.5 Escala de Medidas de Ruídos e Circuitos	25
3.1.6 Escala Logarítmica	28
3.2 Incubadoras	30
3.2.1 Sistemas de Controle das Incubadoras	32
3.2.2 Sistemas de Controle de Umidificação	33
3.2.3 Sistema de Controle de Gases	38
3.2.4 Sistemas de Controle da Temperatura	39
3.2.5 Sistema de Controle da Circulação do Ar	43
3.2.6 Sistemas de Alarme e Segurança	44
4 Materiais e Métodos	47
4.1 Tipo de Estudo	47
4.1.1 Método	47
4.1.2 Local do Estudo	47
4.2 Dispositivos de Controle do Ar Comprimido	48
5 RESULTADOS	54
5.1 Projeto do Novo Mecanismo de Entrada de Ar	55
5.1.2 Dispositivo de ventilação	59
5.2. Medidas da Velocidade do Ar dentro da Cúpula	62
5.3 Medidas da Temperatura Ambiente dentro da Cúpula	62
5.4. Medidas da Umidade Relativa	64
5.5 Medidas da Pressão Atmosférica	65

5.6 Medidas do Ruído Externo	66
5.6.1 Medidas de ruído interno.....	67
5.7 Medidas do Ruído de Fundo	68
6 DISCUSSÃO	69
6.1 Dificuldades	74
6.2 Considerações Finais e Recomendações	75
7 CONCLUSÃO	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

A partir do século XIX cresceu a preocupação das autoridades de diversos setores da sociedade com a condição da criança. Essa preocupação com a proteção da saúde física da criança coincide com o interesse pelas necessidades dos prematuros e com a aquisição de incubadoras neonatais para o devido cuidado⁽¹⁾.

Já na segunda metade do século XX, vários autores defenderam a regionalização das unidades assistenciais e o transporte de gestantes de alto risco para centros especializados na assistência perinatal que possuíssem uma unidade de cuidados especiais para recém-nascidos (RN) prematuros. O surgimento das Unidades de Terapias Intensivas Neonatais (UTI) e a visão regional do atendimento ao RN, sobretudo aos prematuros, permitiram a melhoria desse atendimento^(2,16). Nas UTI diversos equipamentos são usados para o tratamento e suporte à vida dos neonatos, tais como os Ventiladores Pulmonares, Incubadoras Neonatais, Bombas de Infusão e Umidificadores, entre outros^(3,14,15).

Essa melhoria do atendimento tem relação direta com o ambiente e a humanização do cuidado, no sentido de se disponibilizar a melhor tecnologia, garantindo um tratamento mais seguro, de melhor qualidade e com mais conforto à recuperação do paciente RN^(3,17).

Os avanços tecnológicos nessa área têm permitido a obtenção de equipamentos e serviços cada vez mais confiáveis que cumprem exigências pré-estabelecidas de forma criteriosa. Entre esses destaca-se a incubadora neonatal por ser um equipamento médico assistencial que é utilizado para o tratamento e a manutenção da vida do RN prematuro durante o período de recuperação do seu estado de saúde em unidades de neonatologia⁽¹⁾.

As Incubadoras neonatais são equipamentos que possuem um ambiente termicamente neutro, assemelhando-se ao útero materno. Esses equipamentos são formados por circuitos eletromecânicos que controlam diversas grandezas físicas, tais como: temperatura, umidade relativa e a velocidade do ar^(5,18).

Em virtude da necessidade do uso de diversos equipamentos para o tratamento e recuperação do RN, o ruído provocado pelo seu funcionamento, associado a outros ruídos do ambiente, tornaram as UTI excessivamente ruidosas. Os ruídos são sons desorganizados, com frequências incompatíveis com a audição humana e que causam irritabilidade⁽³⁾.

Alguns RN, em especial os prematuros, apresentam sensibilidade e diversas reações aos estímulos do ambiente onde estão inseridos. Entre os estímulos do ambiente o ruído é um dos fatores que causam maior desconforto. Esse ruído pode ser proveniente de diversas fontes, como: telefones, alarmes sonoros de equipamentos assistenciais, jato de torneiras de água, “tamborilar” ou armazenar materiais em cima da cúpula da incubadora, conversação de profissionais e visitantes que circulam pelo ambiente ^(5, 19, 20).

Embora tragam benefícios à saúde dos usuários, os equipamentos médicos possuem um potencial risco de danos aos mesmos. A toda tecnologia associa-se um risco inerente que é proveniente de diversos fatores, sendo que para cada produto também é associado um tipo de risco^(9,10,21).

Atualmente toda a preocupação com a promoção da saúde e qualidade de vida durante a recuperação do RN prematuro e de alto risco, com atenção especial também à prevenção de danos auditivos, tem motivado a realização de diversos trabalhos na área de neonatologia^(4,13).

Kakehashi et. al., (2007) citam estudos de embriologia que tratam sobre a audição humana, demonstrando que as principais estruturas auditivas de um RN só irão atingir as mesmas condições da audição de um adulto um ano após o nascimento, embora elas já estejam desenvolvidas com 25 semanas de gestação. Devido ao estado de prematuridade do desenvolvimento auditivo, os RN prematuros estão mais propensos a lesões auditivas em condições ambientais onde os níveis sonoros não lhe sejam favoráveis⁽⁶⁾.

Ainda, segundo Kakehashi et. al., (2007) as competências comportamentais dos RN são suficientes para expressar estado de conforto, ou não, com relação ao

ambiente onde está inserido, porém ele não impõe modificações na sua sonoridade. A percepção desse estado de desconforto expressado pelo RN pode indicar aos profissionais da unidade hospitalar que estes devem fazer mudanças no ambiente de forma a tornar os níveis de ruído mais aceitáveis, favorecendo assim, uma recuperação mais rápida⁽⁶⁾.

Estes RN podem apresentar respostas comportamentais diferentes de acordo com os estímulos que recebem do ambiente, existindo também, fatores que podem inibir essas respostas e causar o isolamento da interação social. Pode-se citar o stress, que aumenta o consumo calórico por causa do estado de agitação, o que implica no lento ganho de peso e a surdez, total ou parcial, que podem causar o isolamento da interação social. Além da surdez e do stress existem outros fatores que comprometem a recuperação do RN, por exemplo: o choro, o aumento da frequência cardíaca e, o aumento da pressão intracraniana, entre outros^(3,7).

Os estudos realizados com incubadoras neonatais por Tragante et. al., (2010) assim como os realizados por Kakehashi et. al., (2011) têm apontado níveis sonoros bem mais intensos que os estipulados pelas normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, responsável pela normalização para o uso de equipamentos biomédicos no Brasil^(2,3).

As incubadoras neonatais, quando em funcionamento inadequado, podem se tornar potentes fontes geradoras de ruídos, transformando-se em graves fatores de stress e perda auditiva. De acordo com os autores citados, em altas frequências o ruído pode provocar nos neonatos a hiperestimulação das células ciliadas do córtex, acarretando a destruição e, conseqüentemente, a perda auditiva progressiva^(3,27,28).

Atualmente a norma ABNT NBR IEC 60.601.2.19, que se refere às prescrições particulares para a segurança e o desempenho essencial das incubadoras para recém-nascidos cita, em estudos conduzidos por Long et. al., (1980) ⁽⁶¹⁾, evidências científicas que mostraram elevações da pressão intracraniana nos RN prematuros quando submetidos a um nível de ruído ambiente entre 55 a 60 dB(A) (dB=Decibéis; A=Escala de medição). Em outro estudo, citado pela mesma norma e realizados por Philbin et.al., (1999)⁽⁶²⁾, colheu-se uma quantidade

considerável de dados que documentaram as dificuldades de sono nos RN e a ininteligibilidade da fala em níveis de ruído ambiente acima de 50 dB(A). Ambos os estudos mostraram a importância e apontam para a necessária redução de ruído no ambiente e nas incubadoras.

Apesar dos estudos citados na norma, a ABNT adotou o valor normativo de 60 dB(A) como limite aceitável para ambientes que contenham RN prematuros durante a sua recuperação. Esse valor é questionável, uma vez que os estudos citados apontam desconforto do RN em ambientes com ruídos a partir de 50 dB(A), ou seja, 10 dB(A) a menos que o limite normalizado, o que pode indicar que a norma está inadequada^(61,62).

As incubadoras utilizam um sistema de convecção para manter a temperatura adequada e constante, do qual faz parte um motor elétrico que aciona um dispositivo responsável pela circulação do ar aquecido, restrito àquele ambiente^(6,29).

As vibrações mecânicas produzidas e o atrito dos componentes do motor desse sistema são fontes geradoras de altos níveis de ruídos, principalmente se não forem feitas regulagens periódicas desse mecanismo ou houver desgaste de peças devido ao tempo de uso^(8,15,31).

Diante do problema exposto, surge a pergunta: “Como reduzir os altos níveis de ruído no interior das Incubadoras Neonatais e assim proporcionar melhor conforto, evitando possíveis lesões auditivas aos RN?”

A principal contribuição da Redução de Ruídos em Incubadoras para Neonatos será proporcionar maior qualidade de vida durante a recuperação do RN. Essa proposta possui relevância frente à carência de estudos referentes à percepção das equipes atuantes nas UTI a respeito do ruído existente e os seus efeitos nocivos, assim como a falta de conhecimento dos valores provocados por motores de incubadoras, e a necessidade de implantação de programas de controle, redução ou eliminação de ruído nesse local.

Com a finalidade de contribuir para a redução do ruído e, conseqüentemente, melhoria na qualidade de vida dos RN que necessitam de cuidados especiais realizou-se a propostas de mudança no sistema de convecção dessas incubadoras.

O Projeto foi realizado no NTS - Núcleo de Tecnologias em Saúde do IFBA - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia e teve a colaboração dos pesquisadores desse núcleo. É uma proposta inovadora com o principal objetivo de redução do ruído por meio de uma intervenção no sistema de convecção do qual faz parte o motor. Para tanto foi realizada uma pesquisa documental, seguida de montagem experimental do protótipo, que se constituiu em uma nova configuração da incubadora para atender aos propósitos experimentais. Foram realizadas várias medidas seguidas de análises dos dados e conseqüente conclusão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo do presente trabalho foi reduzir o nível de ruído no interior da cúpula da incubadora para neonatos através da modificação do sistema de convecção de ar.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

- ✓ Analisar o mecanismo de convecção de ar nas incubadoras verificando a viabilidade de mudanças no seu funcionamento de forma que seja mantida a função básica do sistema após a substituição do motor;
- ✓ Projetar um novo mecanismo que faça o processo de convecção e mantenha o transporte do ar aquecido no sistema, garantindo redução do ruído e distribuição homogênea do ar aquecido no interior da cúpula da incubadora de acordo com as normas vigentes;
- ✓ Testar o funcionamento do mecanismo;
- ✓ Analisar os resultados obtidos com a substituição do motor e verificar a sua conformidade com as normas vigentes.

3 RACIONAL TEÓRICO

3.1 Audição, Ruído e Escalas de Medidas

3.1.1 Relação entre o Excesso de Ruído e o Ouvido Humano

No processo da audição as ondas sonoras são captadas pelo pavilhão auricular e direcionadas para a orelha interna através do canal auditivo externo. Ao chegar à orelha interna os sons encontram a cóclea, que é o órgão responsável pela audição. Na cóclea encontram-se as células ciliadas do corti. Quando ocorre a perda auditiva neurossensorial o local da alteração pode ser a cóclea e/ou o nervo auditivo, que é o responsável pela estimulação cerebral. Quando os estímulos auditivos excessivos causam lesões severas às células ciliadas do corti, a percepção ao estímulo sonoro é afetada, havendo perda auditiva⁽³⁰⁾.

Segundo Enilson (2009), a audição pode ser afetada em decorrência do longo tempo que alguns RN permanecem internados nas UTI com exposição, em certos casos, a um ambiente onde o excesso de estímulos sonoros (ruídos), tornam-se inadequados à sua saúde auditiva⁽⁵⁰⁾.

De acordo com Costa (2009), dos RN advindos das UTI, 2 a 4% são afetados pela deficiência auditiva e como os RN prematuros possuem uma série de indicadores de risco para essa deficiência existe a necessidade de que a comunidade científica aprofunde seus conhecimentos sobre as propriedades do ruído e seus efeitos produzidos no sistema auditivo humano⁽⁵⁰⁾.

A importância de se conhecer como o sistema auditivo humano relaciona-se com o ruído e como ele é afetado pelo seu excesso, se dá pela necessidade de aplicar esse conhecimento na realização de testes e projetos que possibilitem não só a detecção, mas também a atuação de forma preventiva da deficiência auditiva através da redução, ou eliminação, do ruído da UTI neonatal, seja ele proveniente do ambiente ou diretamente de equipamentos médicos assistenciais^(46,50).

3.1.2 Ouvido Humano

Anatomicamente o complexo auditivo está dividido em diversas partes, sendo elas: o ouvido externo, ouvido médio, ouvido interno, nervo acústico e os centros auditivos cerebrais⁽³⁰⁾.

A audição ocorre devido aos estímulos sonoros que são captados pela membrana timpânica, transmitidos pelo ouvido médio e, no ouvido interno, são conduzidos pelo nervo auditivo até o córtex do lobo temporal⁽⁴¹⁾.

No ouvido externo temos o pavilhão da orelha, o canal auditivo e a membrana timpânica, cuja função é captar as vibrações sonoras que são propagadas pelas compressões e descompressões das moléculas do ar, transmitindo-as aos ossículos que estão em suspensão no ouvido médio⁽⁴¹⁾.

O ouvido médio é uma cavidade que está situada no osso temporal, atrás do tímpano. Dentro da cavidade temporal encontram-se três ossículos que são articulados entre si e chamados de martelo, bigorna e estribo. Temos ainda no ouvido médio a trompa de Eustáquio, também chamada de tubo eustáquiano ou tuba auditiva, que consiste em um canal que conecta a orelha média à faringe. Esse canal auxilia a manutenção do equilíbrio da pressão do ar entre ambos os lados da membrana timpânica⁽⁴⁴⁾.

Para a transmissão do som ao ouvido interno os músculos tensores do tímpano e o músculo do estapedio são muito importantes. Sons intensos provocam a contração destes músculos, provocando uma resposta chamada de reflexo de atenuação⁽⁴²⁾. Em resposta às vibrações sonoras, o martelo, a bigorna e o estribo se movem para transmitir as vibrações da membrana timpânica até a membrana da janela oval, que por sua vez, transmite as vibrações até a cóclea⁽⁴¹⁾.

A cóclea é composta por três tubos colocados em paralelo e separados por membranas chamadas de escala vestibular, escala timpânica e escala média. Existe uma membrana que separa a escala vestibular da escala média. Essa membrana é

muito fina e não faz obstáculo à passagem das ondas sonoras. Sua função básica é a separação dos líquidos existentes em ambas as escalas⁽⁴²⁾.

A membrana basilar é uma membrana que separa a escala média da timpânica, sendo uma estrutura muito resistente e que tem a função de bloquear as ondas sonoras. O órgão espiralar de corti tem origem nessa membrana e é constituído por um agrupamento de nervos⁽³⁰⁾.

Existem origens distintas e diferenças químicas que são fundamentais para o bom funcionamento das células que fazem a recepção sonora, sendo que a intensidade do som é uma qualidade que permite que o mesmo seja percebido a uma distância maior ou menor da fonte geradora. Esses sons podem ser de intensidade forte ou fraca⁽⁴⁴⁾.

A atenuação da amplitude sonora protege a cóclea das vibrações lesivas causadas pelo ruído excessivamente alto, além de mascarar os ruídos de baixa frequência em ambientes barulhentos, reduzindo assim, a intensidade da transmissão em 30 a 40 dB⁽³⁰⁾.

Um fenômeno chamado ressonância ocorre na cóclea para permitir que cada frequência sonora faça vibrar uma secção diferente da membrana basilar. Essa é a função da cóclea, sendo que as vibrações são semelhantes àquelas que ocorrem em instrumentos musicais de corda^(42,45).

Quando sons de alta frequência penetram na janela oval, sua propagação faz-se apenas num pequeno trecho da membrana basilar, antes que um ponto de ressonância seja alcançado. Como resultado, a membrana move-se forçosamente nesse ponto, enquanto o movimento de vibração é mínimo por toda a membrana⁽³⁰⁾.

Quando uma frequência sonora média penetra na janela oval, a onda propaga-se numa maior extensão ao longo da membrana basilar antes da área de ressonância ser atingida⁽³⁰⁾.

Finalmente, uma baixa frequência sonora propaga-se ao longo de quase toda a membrana antes de atingir seu ponto de ressonância. Dessa forma, quando as células ciliares próximas à base da cóclea são estimuladas, o cérebro interpreta o som como sendo de alta frequência (agudo). Quando as células da porção média da cóclea são estimuladas, o cérebro interpreta o som como de altura intermediária, e a estimulação da porção superior da cóclea é interpretada como som de frequência baixa (grave). Dessa forma, podemos perceber que a frequência do som é dependente do ponto da cóclea em que a membrana basilar é estimulada e, em consequência, vibra⁽⁴²⁾.

De uma forma geral, o sentido auditivo é ativado quando os ouvidos, direito e esquerdo, recebem energia transportada pelas ondas sonoras. A vibração criada num determinado local transmite-se pelo ar que o rodeia através de ondas que chegam aos nossos ouvidos. Nos ouvidos, o tímpano vibra com a mesma frequência da fonte sonora, sensibilizando as células auditivas. Através do nervo auditivo, esses impulsos são transmitidos para o cérebro e interpretados, dando origem às sensações sonoras^(43,44).

De acordo com Bear et. al. (2002), a exposição a níveis de ruído superiores a 50 dB, por um período prolongado, pode causar deficiência auditiva parcial ou severa em algumas pessoas. Muitos sons em nosso ambiente excedem os padrões aceitáveis para o ouvido. Há variações consideráveis de indivíduo para indivíduo relativo à susceptibilidade ao ruído, entretanto, padrões que indicam, em média, o quanto de som uma pessoa pode tolerar em relação à sua saúde auditiva têm sido estabelecidos⁽⁴²⁾.

Para estabelecer limites de ruídos não prejudiciais à saúde, e assim tornar os ambientes mais agradáveis, do ponto de vista auditivo, é necessário conhecer os seus aspectos físicos, formas de mensuração e controle⁽⁴⁶⁾. A Figura 1 mostra aspectos do ouvido humano, com detalhes da cóclea.

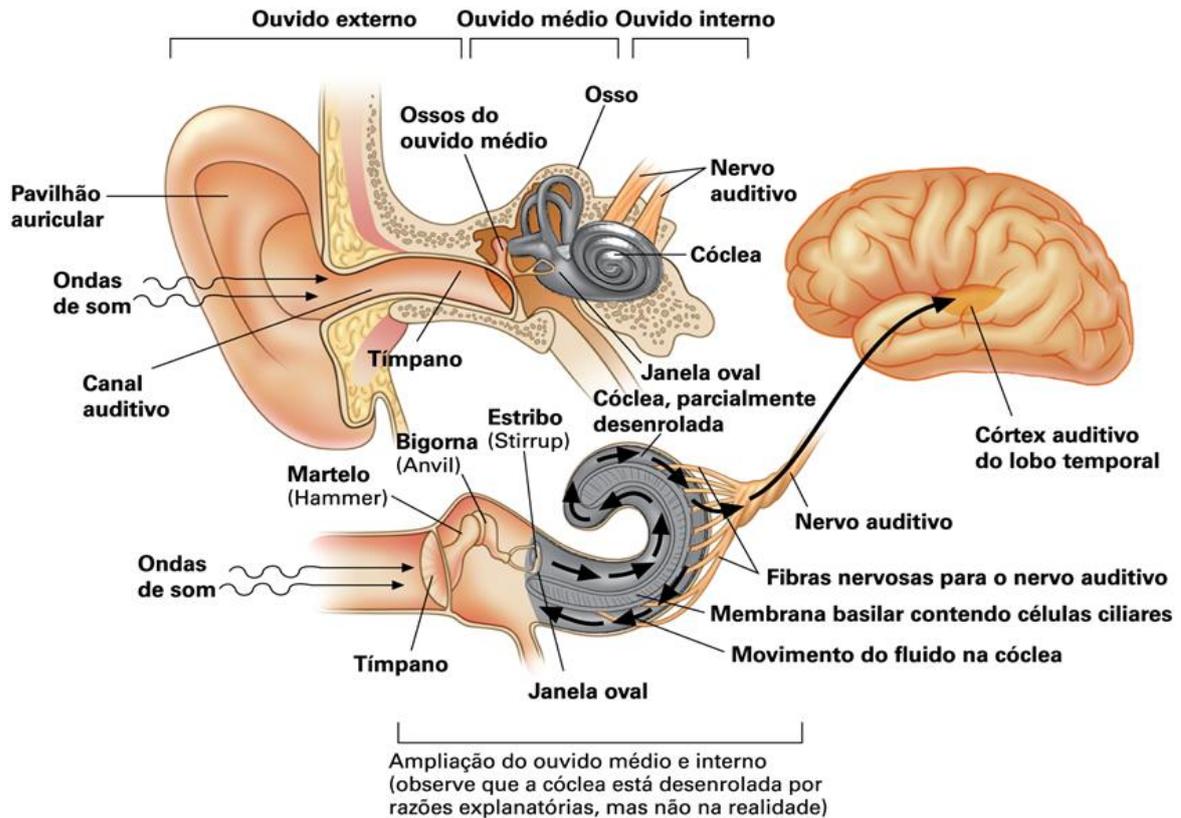


Figura 1: Detalhes do ouvido humano ⁽⁶⁵⁾

3.1.3 Som e Tipos de Ruídos

O som é uma sensação percebida e interpretada pelo cérebro, que se relaciona com a chegada de ondas de vibrações mecânicas ao ouvido, ou seja, é toda variação na pressão de um meio elástico. Também pode ser definido como um fenômeno físico de toda variação na pressão do ar, capaz de impressionar o ouvido. Tipicamente essas variações são causadas pelo movimento ou vibração de um objeto e se propagam por ondas esféricas centradas no objeto que as gerou^(30,35,41).

O ruído pode ser considerado como uma mistura de sons com frequências diversificadas entre si e valores que não podem ser percebidos pelo ouvido humano, ou ainda, como sendo sons que causam efeitos inesperados e que afetam de forma negativa a saúde e o bem-estar das pessoas⁽³²⁾. O mesmo não possui nenhum controle definido, volume, duração, fase ou demais componentes harmônicos, sendo um som de grande complexidade, resultante da superposição desarmônica de sons advindos de várias fontes e, tornando-se assim, fisiologicamente incompatíveis com

a audição humana, portanto, inúteis e desagradáveis^(6,33,41). A Figura 2 mostra como o som harmônico e o ruído desordenado propagam-se.

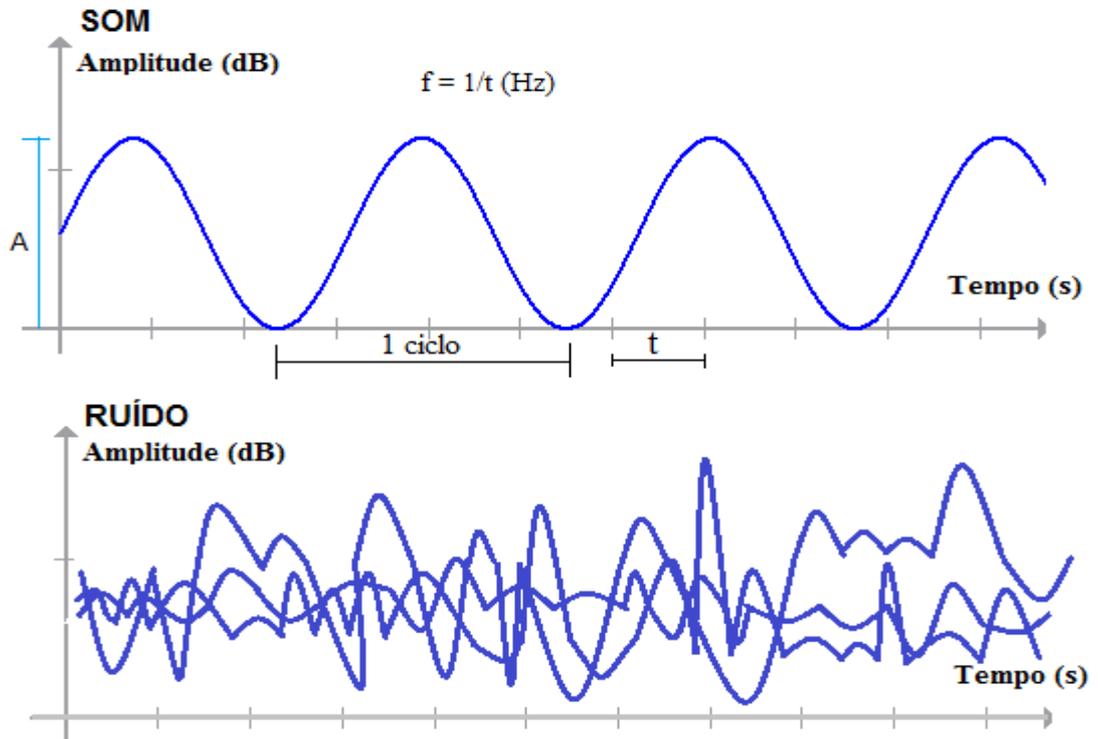


Figura 2: Representações gráficas do Som e do Ruído.
Fonte: O próprio autor

Os sons naturais são, na sua maior parte, combinações de sinais. Já um som puro, ou monotônico, representado por uma senóide pura possui duas características fundamentais: amplitude ou Intensidade e velocidade de oscilação ou frequência^(32,34).

- **INTENSIDADE:** É a quantidade de energia contida nas vibrações sonoras que se originam a partir da fonte geradora e é medida em dB^(32,34);
- **FREQUÊNCIA:** É o número de vezes que os ciclos das vibrações sonoras são completados na unidade de tempo de um segundo, podendo, portanto, serem expressas em ciclos por segundos (Ciclos/Segundos) ou em Hertz (Hz)^(32, 34).

Em função da sua variação no tempo, o ruído pode ser classificado como contínuo ou descontínuo^(32, 34):

- **RUÍDOS CONTÍNUOS:** São ruídos cujas variações encontram-se na faixa de ± 3 dB durante períodos curtos de medição^(32, 34);

- *RUÍDO DESCONTÍNUO: São ruídos no qual as variações são maiores que ± 3 dB durante períodos curtos de medição^(32, 34).*

Ainda, o ruído descontínuo pode ser subdividido em: ruído intermitente, que podem ser fixos ou variáveis, e o ruído de impacto, conforme descritos a seguir^(32, 34):

- *RUÍDO INTERMITENTE: Os ruídos intermitentes são aqueles cujos NPS caem bruscamente várias vezes ao nível do ambiente, ruído de fundo, com variações maiores que ± 3 dB, desde que o tempo de ocorrência seja superior a um segundo^(32, 34);*
- *RUÍDO INTERMITENTE FIXO: Quando alcança um nível superior fixo;*
- *RUÍDO INTERMITENTE VARIÁVEL: São constituídos por uma sucessão de níveis estáveis durante um período de medição^(32, 34);*
- *RUÍDO DE IMPACTO: Consiste em um ou mais picos de energia acústica de duração menor que um segundo em intervalos de ocorrência superiores a um segundo^(32, 34).*

3.1.4 Ruído de Fundo

Existe uma preocupação constante com a redução de ruídos provocados por máquinas e equipamentos em diversos ambientes. Com o objetivo de atenuar os efeitos que o ruído causa no organismo humano foram criadas normas regulamentadoras nacionais e internacionais que determinam os níveis de ruído para equipamentos, máquinas, motores e ambientes, bem como os procedimentos adotados para a realização das medições⁽⁶⁴⁾.

Um dos aspectos indispensáveis na realização das medidas sonoras em um determinado ambiente é o ruído de fundo. O ruído de fundo é o nível de pressão sonora proveniente de diversas fontes externas, que são captadas por um microfone colocado no ambiente a ser medido, podendo incluir contribuições do ruído transmitido pelo ar, vibrações transmitidas pelas estruturas e ruído elétrico da instrumentação. O equipamento, para o qual se quer determinar o ruído, deve estar inserido no ambiente desligado e inoperante, ou seja, deve-se medir no ambiente o ruído somente de outras fontes externas e posteriormente medir o ruído do mesmo ambiente com o equipamento, ou fonte de interesse, ligado e em funcionamento⁽⁶⁴⁾.

Os níveis de pressão sonora, ou ruídos, medidos devem ser corrigidos segundo a norma mostrada na tabela 1⁽⁶³⁾.

Tabela 1 – Fatores de correção para medições feitas no nível do ruído de fundo.

<i>Diferença do nível de pressão sonora com a máquina em funcionamento em relação ao ruído ambiente com a máquina desligada. Medido em dB.</i>	<i>Correção para ser subtraída do nível de pressão sonora medido com a máquina em funcionamento. Medido em dB.</i>
<i>Dif=Diferença Mf=Ruído ambiente com a máquina em funcionamento Md=Ruído ambiente com a máquina desligada</i>	<i>Fc=Fator de correção</i>
<i>Dif = Mf – Md</i>	<i>Medida Válida = Mf – Fc</i>
<i>< 6</i>	<i>1,0</i>
<i>6</i>	<i>1,0</i>
<i>7</i>	<i>1,0</i>
<i>8</i>	<i>0,5</i>
<i>9</i>	<i>0,5</i>
<i>10</i>	<i>0,0</i>
<i>>10</i>	<i>0,0</i>

Fonte: NEMA Standards Publication (1993)⁽⁶³⁾.

De acordo com o interesse do estudo, o ruído de fundo pode ser medido e analisado para validar as medições realizadas no ambiente verificando se as mesmas estão de acordo com os requisitos normativos adotados segundo a norma NEMA MG1-1993. Essa norma, em seu capítulo 12, determina os limites de níveis de ruído de fundo permissíveis no ambiente e os procedimentos que devem ser feitos para a correta realização e correção das medidas⁽⁶⁴⁾.

3.1.5 Escala de Medidas de Ruídos e Circuitos

Para mensurar o ruído de maneira precisa faz-se necessário a utilização de medidores de pressão sonora. Toda medição consiste em calcular quantas vezes uma determinada unidade está contida na grandeza a ser medida. Assim, a pressão sonora no ar representa a variação da pressão atmosférica em relação a um valor de referência percebido pelo ouvido^(32,34).

A fim de mensurar a sensação subjetiva de intensidade do som, que depende de sua frequência, foi criada uma grandeza psicoacústica denominada nível de audibilidade, que por sua vez é função do nível sonoro e de sua frequência. Experimentos com ouvintes treinados, que a partir de um tom puro a 1kHz e com intensidade conhecida, ajustavam o nível sonoro de outro tom puro para determinada frequência até que os julgasse equivalentes, gerando assim, as chamadas curvas isofônicas (mesmo valor de fones) ou isoaudíveis (mesmo nível de audibilidade). Essas curvas são resultantes da ligação dos pontos com mesmo nível de audibilidade ao longo da faixa de frequência audível. O nível de pressão sonora do tom puro a 1kHz passou a ser a medida do nível de audibilidade, que tem por unidade o fone^(66,67).

Os medidores de pressão sonora efetivam cálculos matemáticos e transformam o ruído, que é uma grandeza física, em um número relativo apresentando-o em unidades de Decibéis (dB). Algumas características desses medidores, segundo Kinsler (1982), são⁽³⁶⁾:

O medidor registra o nível de ruído de um fenômeno acústico diretamente na forma analógica ou digital. O resultado é expresso em dB, com uma pressão sonora de referência de $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ⁽³⁶⁾;

Eles são dotados de filtro de ponderação para frequências e circuitos de resposta. Os filtros, escalas ou circuitos de ponderação, são utilizados para aproximarem a medição das características perceptíveis do ouvido humano, e são classificados em A, B, D e C, que é plano, ou seja, não utiliza aproximações⁽³⁶⁾;

Os mais comuns e necessários em equipamentos de mensuração são os circuitos de ponderação A e C⁽³⁶⁾;

O valor medido em dB deve vir seguido da letra correspondente ao circuito de ponderação utilizado. Exemplo: dB(A), dB(B), dB(C) ou dB (D). Cada escala possui uma definição conforme listado abaixo⁽³⁶⁾:

- *ESCALA dB (A) – O circuito ou escala A, dB(A), é o que mais se aproxima das curvas de igual audibilidade para baixos NPS, se aproximando mais ao que é perceptível ao ouvido humano. É usada para NPS próximos a 50 dB⁽³⁶⁾;*

- *ESCALA dB (B) – O circuito ou escala B, dB(B), sofre menos variações nas baixas frequências, não apresentando atenuação entre 400 e*

3000 Hz. Aproxima-se das curvas de igual audibilidade para NPS médios, próximo de 75 dB⁽³⁶⁾;

- ESCALA dB (C) – O circuito ou escala C, dB(C), é utilizado para altos níveis de ruídos, próximo a 100 dB. É o mais adequado para o monitoramento de ruídos de impacto⁽³⁶⁾;
- ESCALA dB (D) – O circuito ou escala D, dB(D), tem por objetivo medir e analisar NPS acima de 120 dB⁽³⁶⁾;

A Figura 3 mostra o gráfico das curvas isofônicas com o comportamento do ganho em função da frequência.

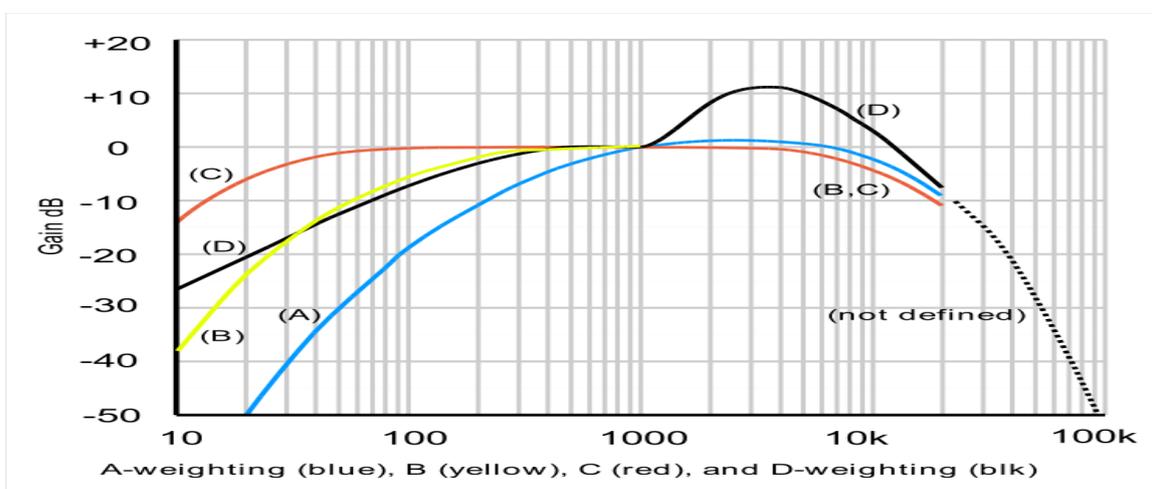


Figura 3: Gráfico de Ganho (dB) em função da Frequência (Hz), em escala logarítmica ⁽⁶⁸⁾.

Ainda segundo Kinsler (1982), os circuitos de respostas podem ser classificados como: rápido (*fast*), lento (*slow*) e impulso (*impulse*).

- CIRCUITO DE RESPOSTA FAST – O circuito de resposta rápida (*Fast*), 125 ms, é usado para medir níveis de ruído que não oscilam muito rapidamente, ruídos contínuos, e para determinar valores extremos de ruídos intermitentes⁽³⁶⁾;
- CIRCUITO DE RESPOSTA SLOW – O circuito de resposta lenta (*Slow*), 1 segundo, é usado em situações de grande flutuação para facilitar a leitura. Expressa valores que tendem para a média e é o mais utilizado para monitoramento em ambiente de trabalho. Os níveis de ruído contínuo ou intermitentes devem ser medidos em decibéis (dB) com

instrumento operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (slow)⁽³⁶⁾;

- *CIRCUITO DE RESPOSTA IMPULSE – O terceiro e último circuito, o impulsivo (Impulse), 35 ms, é usado para ruídos de impacto, pois apresenta maior velocidade de detecção⁽³⁶⁾;*
- *CIRCUITO DE RESPOSTA CONVENCIONAL – Os circuitos convencionais medem o NPS em tempo muito reduzido, quase instantâneo (decibelímetro)⁽³⁶⁾.*
- *CIRCUITOS DE RESPOSTAS INTEGRADAS – São capazes de registrar o ruído em um tempo maior que os decibelímetros e expressam o resultado refletindo a integração dos diversos valores instantâneos medidos. Assim cada nível de ruído medido tem o seu tempo de duração determinado e armazenado para comparação com os máximos níveis de ruído permitidos, cujos resultados vão sendo acumulados ao longo do tempo. São processados no dosímetro centenas de amostras (níveis) de sons por segundo, através de cálculos integrais, que permitem analisar uma exposição. O dosímetro é um monitor de exposição que acumula o ruído constante utilizando um microfone interno. Este equipamento possui um sistema integrado capaz de transformar a informação binária armazenada (ruído e tempo) em um número que expresse a dose acumulada durante o tempo em que o equipamento esteve em funcionamento⁽³⁶⁾.*

3.1.6 Escala Logarítmica

As escalas logarítmicas são utilizadas devido ao fato de nossa audição comportar-se de uma forma aproximadamente logarítmica, ou seja, a nossa percepção da variação da intensidade de um estímulo é proporcional ao estímulo já existente⁽³⁶⁾.

Esse comportamento auditivo foi fundamental para que fosse definida uma unidade logarítmica para formar a escala de níveis de sinais aplicados a níveis de potência ou a grandezas cujo quadrado fosse proporcional à potência. Essa unidade recebeu o nome de Bel (B), em homenagem a Alexander Graham Bell, o inventor do telefone. O Bell é representado da seguinte forma⁽³⁷⁾:

$$Bel = \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Onde \log_{10} é o logaritmo na base 10;

P = potência medida;

P_0 = potência de referência.

Cada variação de 1 *Bell* na escala equivale a uma multiplicação por 10 do valor da razão (P/P_0), assim, surgiu a necessidade de submúltiplos para indicar variações menores. Por conseguinte, criou-se o decibel (*dB*), onde temos a variação de 10 *dB* para cada variação de 1 *Bell* no nível de potência. Então podemos escrever⁽³⁶⁾:

$$XdB = 10 \log_{10} (P/P_0) \quad (2)$$

De acordo com Kinsler (1982), existem princípios fundamentais que devem ser ressaltados⁽³⁶⁾:

- O decibel representa uma relação ou proporção, entre duas quantidades quaisquer de potências (acústica ou elétrica), tensões, correntes, pressões⁽³⁶⁾;
- O nível de potência acústica relaciona a potência irradiada pela fonte sonora com um nível de potência de referência. O nível de potência de referência normalmente usado é $P_0 = 10^{-12}$ ou 1 picowatt⁽³⁶⁾;
- Uma redução de 3 decibéis, ou seja - 3 *dB* em um sistema, significa que a sua potência percebida é de menos 50%. Por exemplo: Um sistema de áudio que tenha uma sensibilidade de 103 *dB* tem o dobro da potência acústica que outro sistema que tenha a sensibilidade de 100 *dB*. Isso ocorre por quê⁽³⁶⁾:

$$-3 \text{ dB} = 10 \cdot \log P/P_0; \quad P/P_0 = 10^{(-3/10)}; \quad P/P_0 = 0,501187; \quad P/P_0 \equiv 0,5 \text{ (50\%)} \quad (3)$$

- É mais conveniente somar os valores em decibéis em estágios sucessivos de um sistema do que multiplicar os seus fatores;
- Faixas de razões com valores muito grandes podem ser expressas por faixas bastante moderadas em *dB*, possibilitando melhor visualização devido a uma compressão na faixa em relação a uma escala.

Uma forma prática de se entender o conceito de decibel, é através do ouvido humano, pois, este é mais sensível a mudanças na intensidade do som em níveis mais baixos que altos. Sendo o *Watt* (W) uma unidade de medida de potência do SI-Sistema Internacional de Unidade de Medidas, temos que: um acréscimo de 4 watts para 5 watts irá parecer muito mais alto do que a mudança de 20 watts para 21 watts. Ainda que ambos os incrementos sejam de apenas 1 watt, são as relações percentuais entre os valores de potência que realmente importam, ou seja, de 4 watts para 5 watts representa um aumento de 25% em potência, enquanto de 20 watts para 21 watts representa um aumento de apenas 5%^(39,40).

O estímulo auditivo é devido a sua capacidade de perceber a velocidade, ou freqüência, que ocorrem tais variações, assim como sua capacidade de perceber a amplitude dessas variações de pressão. De um modo equivalente, no lugar da pressão podemos usar a intensidade sonora ou a potência sonora⁽³⁸⁾, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Medidas relativas de Pressão, Intensidade e Potência sonora.

Medida relativa		Medida absoluta	Valor de referência (umbral)
Nome	Fórmula		
Nível de pressão sonora	$dB_{SPL} = 20 \log P/P_0$	P = pressão sonora medida	$P_0 = 0.000 02$ Newton/m ²
Nível de intensidade sonora	$dB_{IL} = 10 \log I/I_0$	I = intensidade sonora medida	$I_0 = 10^{-12}$ watt/m ²
Nível de potência sonora	$dB_{PWL} = 10 \log W/W_0$	W = potência sonora medida	$W_0 = 10^{-12}$ watt

Fonte: Kinsler (1982) ⁽³⁶⁾

3.2 Incubadoras

As incubadoras foram concebidas como um dispositivo especial para proporcionar aos RN as condições ambientais ideais quando ele estiver em dificuldades para adaptar-se ao meio externo^(1,2), ou seja, é um equipamento biomédico utilizado para o tratamento de algumas patologias que podem acometer os RN. Este equipamento deve proporcionar um ambiente termicamente neutro que possa evitar perdas de calor para o meio que o circunda⁽²²⁾.

No início as suas funções eram realizadas por mecanismos primitivos, como as primeiras incubadoras que aqueciam o ambiente interno por meio de botijas (garrafas) cheias de água quente, ou lâmpadas elétricas^(1,2).

Com o passar do tempo ocorreram avanços na tecnologia e elas passaram a ter controles digitais microprocessados. Essas incubadoras foram feitas para atender às mais variadas solicitações de controles das variáveis físicas. Tais equipamentos possuem uma unidade de controle, onde está inserido o *chip* microprocessador e todos os circuitos eletrônicos que dele fazem parte, existindo as incubadoras de UTI, também chamadas de estacionárias, e as incubadoras de transporte^(1,2,22,23).

As incubadoras de UTI, que são usadas nas salas das unidades assistenciais de neonatologia, são compostas por várias partes que facilitam o manuseio e a operação do equipamento pelos profissionais durante o tratamento do RN. O seu funcionamento envolve vários fenômenos físicos, dentre eles os provocados pelas ondas acústicas (Ruídos), e os provocados pelas trocas de calor entre o corpo do RN e as partes da estrutura interna da incubadora, que podem ocorrer por Radiação, Condução ou Convecção Térmica⁽²³⁾.

Existe também um modelo de incubadora que foi especialmente adaptada com maca de transporte e rodízios para possibilitar o transporte e remoção de pacientes em ambulâncias de socorro emergencial e por isso, foram chamadas de “incubadoras de transporte”. Essas incubadoras são destinadas ao transporte e remoção de RN prematuro de alto risco, baixo, peso ou com graves enfermidades.

Assim como as incubadoras de UTI, estes equipamentos também possuem meios de controlar a temperatura do ar, umidade relativa e manter o isolamento em relação ao ambiente externo à cúpula. Também estão inclusas baterias elétricas para funcionamento durante o transporte terrestre, conexão de alimentação para ambulâncias, aeronaves, cilindros de oxigênio e ar comprimido para serem usados em ventilação mecânica, caso os pacientes necessitem dessa assistência durante o transporte⁽²²⁾.

Ambos os modelos de incubadora possuem um sistema de convecção que é controlado pelo microprocessador e composto de uma resistência helicoidal para aquecimento do ar no qual a mesma está envolta. Um motor aciona um dispositivo responsável pela circulação do ar aquecido, restrito àquele ambiente. Vibrações mecânicas produzidas e o atrito dos componentes do motor desse sistema são fontes geradoras de ruídos (NPS), principalmente se não forem feitas regulagens periódicas desse mecanismo ou houver desgaste de peças devido ao tempo de uso. Sendo assim, existe a necessidade de conhecer os seus sistemas de controle para que tais variáveis sejam, operacionalmente, bem controladas, e que possam assim, limitar o ruído a níveis cada vez menores^(22,23).

3.2.1 Sistemas de Controle das Incubadoras

As incubadoras modernas são alimentadas direto da rede elétrica de energia ou por baterias elétricas. Possuem sensores e circuitos com funções que permitem o monitoramento e controle da temperatura do ar interno à cúpula, da umidade relativa do ar, do sistema de controle da velocidade do ar, dos atuadores para segurança e proteção contra falhas, do sistema de controle dos gases e dispositivos de *I/O* (*input/output* - entrada/saída), dentre outros^(22,23,48).

Nessas incubadoras as tarefas são gerenciadas por meio de um software armazenado no dispositivo de memória física integrada ao equipamento. As principais funções das Incubadoras modernas são^(22,23,48):

- Realizar o aquecimento do RN por meio de um ambiente de circulação controlada de ar e distribuição uniforme da temperatura dentro da sua cúpula;
- Fazer o controle da temperatura através de dois modos selecionáveis: um controlado a partir da temperatura interna do ar dentro da cúpula e outro controlado a partir da temperatura cutânea do RN;
- Isolar efetivamente o RN dos agentes contaminantes transportados pelo ar por meio do fornecimento do ar microfiltrado que é admitido na incubadora;
- Umidificar adequadamente o ambiente em que se encontra o RN através de sistemas de controle de umidade que podem ser “ativos ou passivos”;

- Fornecer diferentes concentrações de oxigênio sob a forma pura ou de mistura com o ar do ambiente, feito por meio de válvulas limitadoras.

Existem alguns modelos que oferecem a possibilidade de uso integrado de oxímetro para medição contínua da saturação de oxigênio arterial (SPO₂), frequência de pulso e monitoração do peso do RN sem precisar removê-lo do ambiente^(22,23).

Na Figura 04 pode-se observar o diagrama em blocos dos sistemas de controle de uma incubadora e suas partes constituintes.

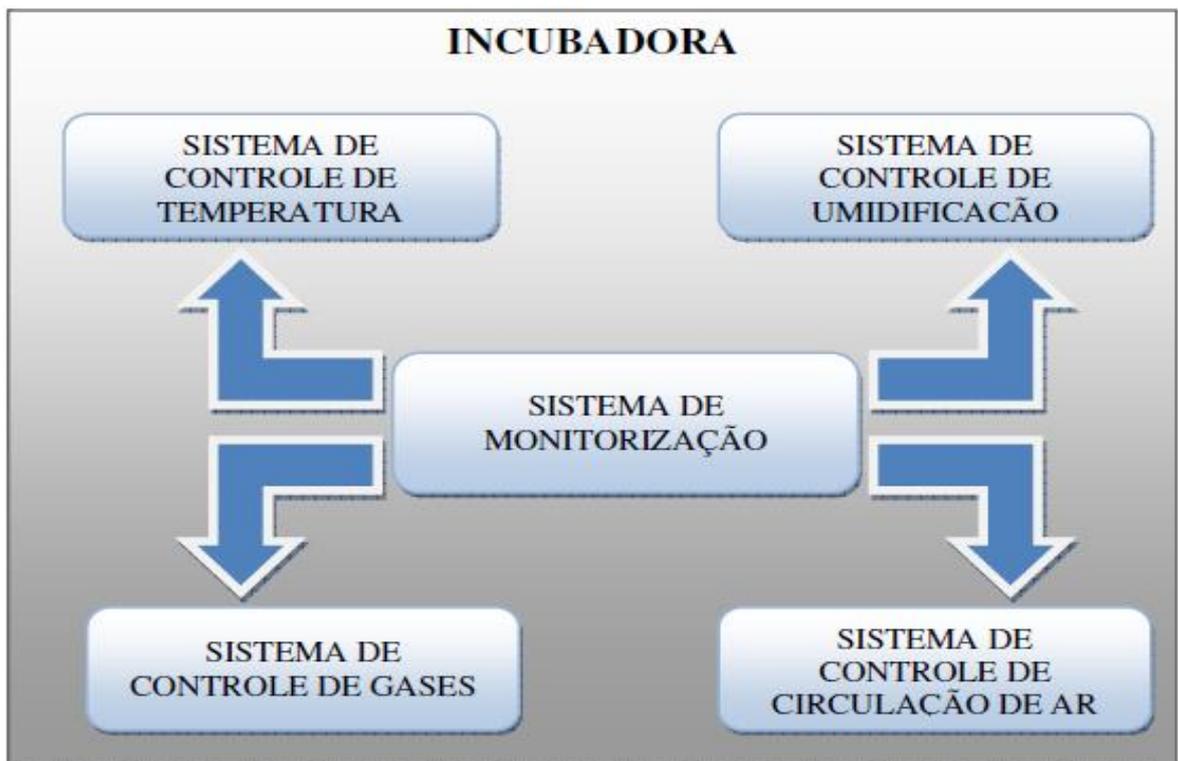


Figura 04: Diagrama em blocos dos sistemas de controle de uma incubadora neonatal microprocessada.

Fonte: Enilson et. al.; 2009. ⁽⁵³⁾

3.2.2 Sistemas de Controle de Umidificação

A função do Sistema de Controle de Umidificação do ar nas incubadoras é fornecer uma concentração adequada de umidade no interior da cúpula e propiciar ou facilitar a circulação sanguínea, diminuindo a frequência cardíaca e respiratória,

evitando assim, a perda de peso do RN pelo princípio da conservação da energia^(22,23).

A evaporação a 36° C é a maior fonte individual de transferência de calor do RN para o ambiente. Existe uma relação inversa entre a perda de calor por evaporação e a umidade relativa (UR) do ar. Quanto menor for a umidade relativa maior será a perda por evaporação e por esse motivo a UR do ar é monitorada no interior da cúpula das incubadoras⁽⁴⁹⁾.

A UR depende de alguns fatores, tais como: a quantidade de água presente no ar, a pressão parcial do vapor de água, e a temperatura do ar. Já a pressão do vapor de água saturado depende apenas da temperatura. Assim, se a temperatura do ar aumenta, a pressão do vapor de água saturado é maior, provocando uma redução da UR⁽⁴⁸⁾.

Nas incubadoras uma indicação visual é feita para permitir o monitoramento do sistema de umidificação do ar. A umidade relativa do ar, no interior da cúpula da incubadora, deve ser controlada e permanecer entre 40% a 60% UR, pois esta é a faixa de umidificação do ambiente ideal para o ser humano^(22,23,47).

Em alguns equipamentos, quando a UR é controlada, os fabricantes limitam a faixa superior em 50% UR para garantir a não formação do “ponto de orvalho” evitando assim, qualquer possibilidade de surgimento de fungos e gotejamentos devido a alta umidade relativa no interior do compartimento destinado ao RN^(22,23,47).

Já a baixa umidificação do ar, ou dos gases inspirados em oxigenoterapia por um RN ventilado, pode conduzir a disfunções progressivas e secreções grossas nas vias aéreas. Pode também provocar o desenvolvimento de efeitos sistêmicos causados por um defeito do sistema de transporte mucociliar e por um aumento na concentração do músculo liso braquial, o que reafirma a necessidade de controle da umidade relativa tanto no interior da cúpula das incubadoras neonatais como na administração de oxigênio⁽⁵⁰⁾.

Os sistemas de umidificação, nas incubadoras, podem apresentar-se sob dois aspectos: sistema passivo de controle de umidificação, também chamado de malha aberta, e o sistema ativo de controle de umificação, ou de malha fechada⁽⁴⁸⁾:

- Sistema Ativo de Controle de Umidificação

O sistema de umidificação ativo é formado por um vaporizador ultrasônico, no qual o vapor é controlado por um sistema de controle que tem um sensor de umidade. A umidade relativa do ar dentro da cúpula da incubadora é medida e comparada com um valor de referência e essa diferença é usada como meio de controle, constituindo assim, um controle em malha fechada⁽⁵⁰⁾.

A vaporização da água ocorre pela transmissão da energia acústica provenientes das vibrações de um cristal piezoelétrico presente no nebulizador. Tais vibrações geram uma fina névoa de partículas de água. Cada gota possui cerca de 2 a 5 μm . A umidade é produzida por meio das vibrações de alta frequência, em torno de 2 MHz, provenientes do cristal, que induz ondas sobre a superfície da água^(40,51).

Em alguns equipamentos o nebulizador é ajustado por meio de chaves que podem ser colocadas em várias posições e que permitem selecionar a taxa de nebulização desejada. As posições que podem ser ajustadas vão de zero a um ponto máximo e assim, o valor da umidade relativa no interior do compartimento do RN é medido através de um sensor^(50,51,53).

O sistema de controle da umidade relativa utiliza um sensor que mede o valor da umidade presente no ar do ambiente interno da cúpula da incubadora e o compara ao valor ajustado. Dessa forma o umidificador age aumentando ou diminuindo a umidade relativa do ar no ambiente até atingir o valor ajustado⁽⁴⁸⁾.

Se o ar ambiente encontrar-se saturado ocorre, geralmente, a condensação. Na condensação, a água escorre pelas paredes laterais da incubadora e gotas de água podem cair em cima do RN ou do colchão. A melhor maneira de impedir a condensação é manter a incubadora com o nebulizador em uma sala aquecida, ou aquecer as suas paredes⁽⁵⁰⁾.

O vapor de água só se condensa se o ar úmido entrar em contato com uma superfície cuja temperatura seja inferior à sua temperatura de orvalho^(48,51).

As vantagens desse sistema estão no fato de haver a possibilidade de maior controle do nível de umidificação e a facilidade no processo de assepsia da incubadora^(50,55).

Durante o controle ativo, no ebulidor, a água é aquecida a 134 °C e depois guiada na forma de vapor até a resistência^(22,23).

Na Figura 05, pode-se ver a representação esquemática de um sistema de controle de umidificação ativo.

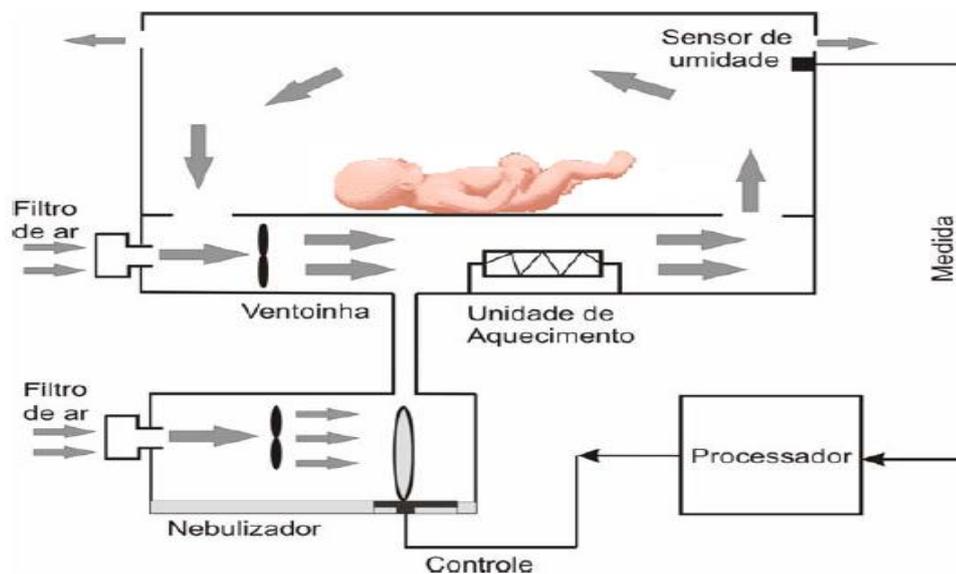


Figura 05: Sistema de Controle Ativo.
Fonte: Anne et. al.; 2015⁽⁵¹⁾.

- Sistemas Passivo de Controle de Umidificação

Esse sistema, bastante comum nas incubadoras para neonatos, consiste em um reservatório com água cuja superfície é atravessada por parte do fluxo de ar

gerado pela ventoinha. Uma maior ou menor umidificação do ar pode ser obtidas através da regulação do ar circulante^(22,23,50).

Essa umidificação ocorre pela difusão passiva da água para o ar que passa pela superfície do reservatório, e que em seguida é levada pela circulação do ar até a cúpula da incubadora. Não existe um mecanismo de controle em malha fechada por que essa umidade não é medida e nem controlada. A água é introduzida no sistema umidificador por meio de um bocal lateral à incubadora, havendo uma válvula para a retirada da mesma, quando necessário^(22,23,50).

As desvantagens da utilização desse sistema residem na baixa qualidade do controle da taxa de umidificação e a necessidade de assepsia muito rigorosa do reservatório de água da incubadora^(50,57).

Entre os itens de assepsia estão^(22,23,47,52):

- Desinfecção do reservatório usando técnicas assépticas;
- Só usar água destilada para enche-lo;
- Trocar a água a cada 48 horas, caso a incubadora esteja em funcionamento;
- Se o sistema de umidificação da incubadora não for usado, a água deve ser trocada a cada 24 horas;
- 900 ml de água destilada garantem umidificação passiva em 80% durante 24 horas;
- Incubadoras de transporte devem ter uma esponja umedecida no reservatório para evitar que, com o movimento, a água caia nas partes elétricas;
- A esponja só deve ficar no equipamento enquanto a incubadora estiver sendo usada.

O sistema de umidificação passivo, ou de malha aberta, não permite que as taxas de umidade elevada sejam mantidas ou controladas facilmente. Esse sistema, usado na maior parte das incubadoras, não pode atingir altos e constantes níveis de umidade^(50,58). Na Figura 06, pode-se ver a representação esquemática de um sistema de umidificação passivo.

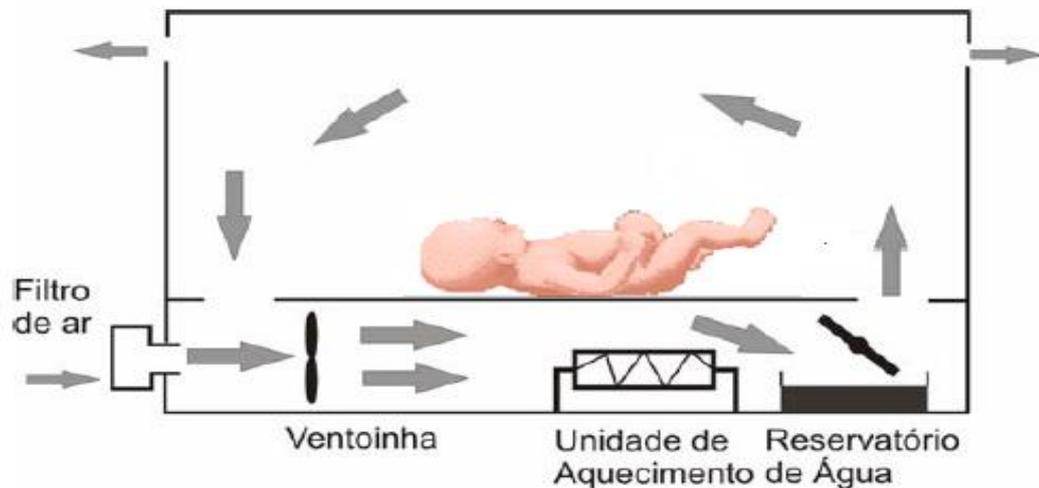


Figura 06: Sistema de controle de umidificação passivo.
Fonte: Anne et. al, 2015⁽⁵¹⁾.

3.2.3 Sistema de Controle de Gases

A entrada de oxigênio na incubadora é feita por uma conexão com uma válvula limitadora, podendo o mesmo ser puro ou misturado com ar externo. Uma entrada de emergência abre-se automaticamente para deixar passar um volume na faixa de $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ a $1,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, ($6 \text{ a } 8 \text{ l}/\text{m}$), caso o fluxo de oxigênio seja interrompido acidentalmente⁽⁵⁰⁾.

O fluxo de oxigênio medido na válvula de entrada não poderá ser usado como uma indicação acurada da concentração de oxigênio na incubadora, essa deverá ser medida com um oxímetro calibrado e em intervalos determinados pelo médico atendente. Sujeiras no filtro de ar podem afetar a concentração de oxigênio na incubadora e/ou causar a formação de dióxido de carbono, CO_2 . Deve-se certificar que o filtro seja trocado nos prazos especificados, ou sempre que se fizer necessário⁽²³⁾.

Os níveis de oxigênio dentro do ambiente da cúpula podem ser afetados caso todas as guarnições da cúpula e passadores de tubos não estejam apropriadamente instalados. Qualquer abertura na cúpula da incubadora pode reduzir o oxigênio interno⁽²²⁾.

Na eventualidade de ser necessário a administração de oxigênio, este deverá atender aos parâmetros estabelecidos pelo médico, devendo-se também, como procedimento padrão, fazer comprovações de rotina, com um analisador de oxigênio^(22,23).

Existem casos em que, para elevar a pressão de oxigênio a níveis normais, é necessário elevar a concentração do mesmo para valores acima de 60%. Por essa razão é sumariamente importante efetuar-se a análise dos níveis dos gases do sangue arterial para regular as concentrações de oxigênio inspirados⁽²²⁾.

É provável que concentrações acima de 40% de oxigênio sejam perigosas para certos RN. Existe o risco de incidência de “Fibroplastia Retrolental”, ou “Retinopatia de Prematuridade”, que é incrementada quando se aplicam concentrações de oxigênio superiores ao valor citado para RN com enfermidades cardiorespiratória, o que justifica os cuidados antes dessa administração^(22,23,54,59).

3.2.4 Sistemas de Controle da Temperatura

Nas incubadoras neonatais, faz-se necessários a presença de dispositivos que controlem a temperatura do ar para evitar a perda de calor devido a área reduzida do corpo do RN e o seu contato com as partes desses equipamentos⁽⁵²⁾.

Os dispositivos utilizados para a correção do valor da temperatura são formados por circuitos controladores eletrônicos. Entre eles estão o controle *ON/OFF* – Liga/Desliga e o controle proporcional. O controle *ON/OFF* é o mais simples e faz a correção sempre que a temperatura na cúpula estiver abaixo ou acima do valor desejado e que foi programado pelo usuário do equipamento⁽⁵²⁾.

O controle proporcional é o dispositivo mais utilizada para manter a temperatura da incubadora neonatal. Nesse tipo de controle, utiliza-se um termistor em um dos “braços” de um circuito resistivo, chamado de “ponte resistiva”, cujo valor é comparado a um valor de referência, correspondente a uma dada temperatura de referência conectada no outro braço da ponte. A resistência do termistor varia em

função da temperatura da incubadora. O sinal de saída da ponte é amplificado e a tensão resultante é proporcional à diferença de temperatura monitorada pelo termistor e a temperatura de referência^(52,60).

Como no sistema proporcional a quantidade de potência aplicada ao aquecedor é proporcional à diferença entre a temperatura do ar e a temperatura desejada, podemos dizer que a quantidade de potência decresce à medida que a temperatura se aproxima do valor desejado e, isso é uma característica importante para se ter um controle mais preciso e minimizar o risco de sobreaquecimento^(22,23).

Os Sistemas de Controle da Temperatura – SCT, mais utilizados nas incubadoras neonatais são o de Temperatura do Ar Controlada – *Air Temperature controled* – *ATC* e o de temperatura do RN controlada – *Infant Temperature Controled* – *ITC*^(22,23,51).

- MODO *ATC* – *Air Temperature Controled*

No modo *ATC*, a variável controlada é a temperatura do ar no interior da incubadora, que é medida e mantida automaticamente próximo a um valor desejado. Uma das formas de fazer o controle da temperatura é usando o controle de duas posições, *ON-OFF*. Este é o mais antigo e mais barato sistema de controle de temperatura usado nas incubadoras e baseia-se no uso de um termostato ajustável^(22,23,48,51,52,54).

O sistema fornece energia ao elemento aquecedor enquanto a temperatura do ar, que é a variável controlada dentro da cúpula da incubadora, estiver abaixo do valor ajustado no termostato. Contudo, uma vez que essa temperatura seja igual ao valor ajustado, ocorre a comutação do termostato e o elemento aquecedor para de aquecer. Ou seja, o comutador ativa o elemento aquecedor sempre que a temperatura dentro da cúpula estiver abaixo do valor ajustado, e o desliga quando o valor da temperatura estiver igual, ou acima desse valor, para controlar a temperatura em torno do valor médio ajustado no termostato pelo operador do equipamento. Daí o nome controle *ON-OFF*^(22,23,48,51,52).

Um alarme áudio-visual de subtemperatura é acionado quando a temperatura está abaixo de 28°C ($301,15\text{K}$) e um alarme de sobretemperatura é acionado quando a temperatura atingir 38°C ($311,15\text{K}$), nesse momento o fornecimento de energia ao elemento aquecedor, ou resistência helicoidal, é reduzido⁽⁴⁸⁾.

A Figura 07, mostra as fases desde o início do aquecimento até o estabelecimento da média de temperatura programada.

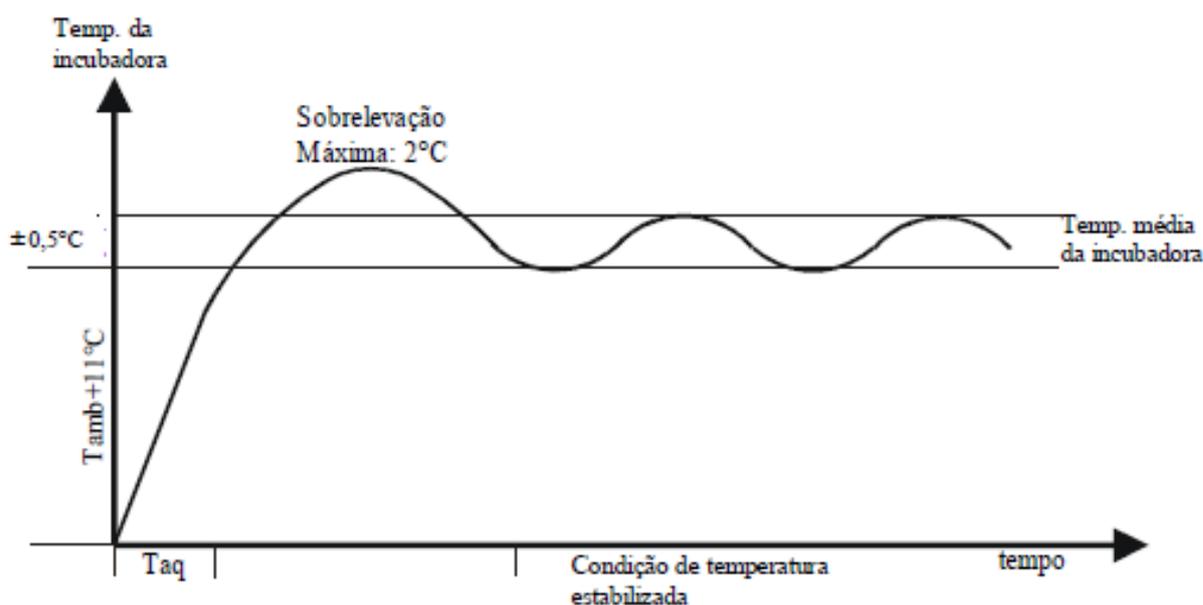


Figura 07: Estabilidade térmica. Temperatura em função do Tempo de aquecimento.
Fonte: Norma NBR IEC 60601-2-19, ABNT⁽⁵⁴⁾

No modo de controle *ATC* o operador, através de comandos disponibilizados no painel frontal do equipamento, determina a temperatura do ar desejada no interior da cúpula da incubadora. O *SCT* utiliza o aquecedor para elevar a temperatura e sensores para fazer o monitoramento e controle afim de manter essa variável física constante e no valor desejado⁽⁵²⁾.

Na Figura 08, é mostrado o diagrama em blocos do controle de temperatura *ATC* em uma incubadora.

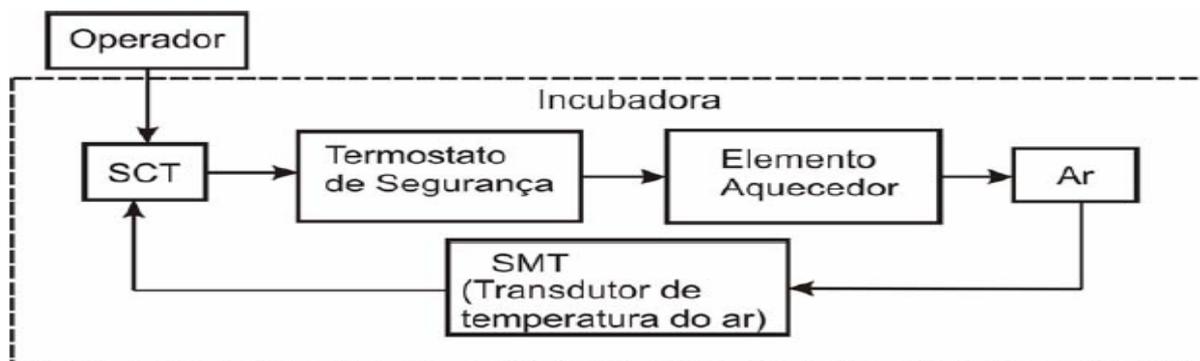


Figura 08: Diagrama de blocos de um controle ATC.

Fonte: Anne et. al.; 2015.⁵¹ Oliveira; 2007.⁵²

- MODO *ITC* – *Infant Temperature Controlled*

No modo *ITC* a variável controlada, ou variável de referência, é a temperatura na pele do RN, medida por meio de um sensor apropriado. As incubadoras neonatais modernas possuem os dois modos, enquanto as antigas possuíam apenas o modo *ATC*. As que possuem o modo *ITC* são chamadas de servocontroladas por que a variável controlada, temperatura na pele do RN, cujo valor é ajustado no equipamento pelo operador, é medida e comparada com a temperatura interna da cúpula do equipamento. O resultado encontrado, ou diferença entre as temperaturas, é usada como medida de controle⁽⁴⁸⁾.

Nesse caso a ação de controle usada é chamada de controle proporcional, e nele, caso a temperatura da pele do RN sejam diferentes daquela desejada e ajustada pelo operador do equipamento, o sistema irá gerar um sinal de erro que alimentará o SCT, e este produzirá um sinal que agirá sobre o processo, de forma a fornecer energia ao atuador, também chamado de elemento aquecedor, para que ele corrija proporcionalmente a diferença entre a temperatura medida no ar e a temperatura ajustada pelo operador⁽⁴⁸⁾.

Assim, o operador determina através do painel de controle da incubadora, uma dada temperatura para a pele do RN. O SCT utiliza o elemento aquecedor e o Sistema de Monitoramento da Temperatura - SMT para manter a temperatura da pele do RN constante. O elemento aquecedor responde diretamente às alterações

monitoradas pelo sensor de pele, de forma que a diferença entre a temperatura da pele e temperatura do ar, seja proporcionalmente usada pelo SCT para ativar o sistema afim de corrigir a temperatura sem a interferência do operador do equipamento^(52,38). A figura 09, mostra o digrama de blocos de um contrle ITC.

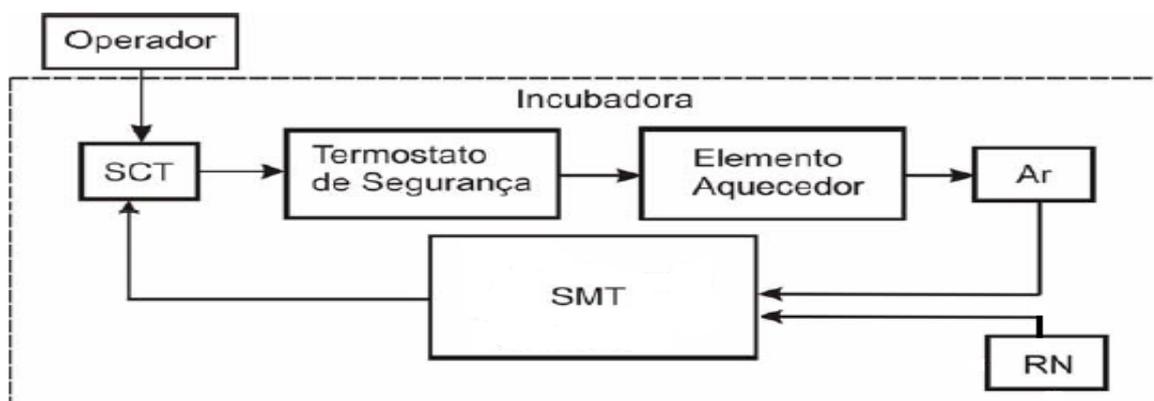


Figura 09: Diagrama de blocos de um controle ITC.

Fonte: Anne et. al.; , 2015. ⁵¹ Oliveira; 2007 ⁵²

3.2.5 Sistema de Controle da Circulação do Ar

O sistema de circulação do ar é realizado por uma ventoinha acoplada ao eixo de um motor elétrico. Esse sistema aspira o ar do ambiente externo a uma taxa de $5,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, ou 35 l/m , através de um filtro que admite partículas de $0,5 \mu\text{m}$ e retém as impurezas^(22,23). Em condições normais a norma da ABNT cita apenas que o valor da velocidade do ar sobre o colchão não deve exceder $0,30 \text{ m/s}$ ⁽⁵⁴⁾.

O ar deslocado pela ventoinha circula pelas câmaras internas até a cúpula da incubadora e desempenha as seguintes funções⁽⁵⁰⁾:

- Renovar o oxigênio e criar uma pequena diferença de pressão entre o interior e o exterior da incubadora;
- Homogeneizar a temperatura e umidade relativa no interior da incubadora.

A pressão do ar é maior no interior da cúpula da incubadora devido a ação da ventoinha, que também faz parte do sistema de convecção. O fato da cúpula ser

fechada permite uma pressão maior de dentro para fora, assim o ar do exterior é impedido de entrar pelas portinholas e outros orifícios, quando abertos, exceto o do filtro de ar^(50,56).

Os RNs têm a pele mais fina, praticamente não possuem gordura subcutânea, e apresentam uma razão elevada de superfície e volume corporal em relação ao calor que por ele é gerado, o que faz com que os vasos superficiais de sangue percam facilmente calor para o ambiente que o envolve. Assim, a conservação de energia através do suporte térmico é crítica principalmente nos RN prematuros, o que pode levar à fadiga e consequentes danos como hipoglicemia e acidose metabólica, entre outros⁽⁵⁰⁾.

Dentro da cúpula das incubadoras a ventilação controlada é responsável pela renovação do oxigênio. Se não houvesse controle a mesma afetaria a troca de calor por convecção e evaporação, e portanto, afetaria o equilíbrio térmico do RN, motivo pelo qual é controlada e monitorada segundo valores estabelecidos na norma⁽⁵⁰⁾.

As funções exercidas pelo Sistema de Controle da Circulação do Ar são muito importantes, e por esse motivo, é indispensável assegurar-se que a ventoinha esteja funcionando corretamente. O neonato pode ser prejudicado pelo calor excessivo gerado pelo elemento aquecedor, assim como uma ventilação fora do limite estabelecido na norma. O sistema possui um sensor de circulação de ar para detectar se o motor está parado ou se a velocidade do ar está abaixo do valor estabelecido na norma. Ao ser ativado O Sistema de Controle da Velocidade do Ar automaticamente acionará um alarme audio-visual, desconectando também o relé de alimentação do elemento aquecedor^(22,23,47).

3.2.6 Sistemas de Alarme e Segurança

No mercado nacional existem diversos fabricantes de incubadoras e todas devem atender aos requisitos de proteção e segurança estabelecido pela norma vigente. Alguns requisitos citados na norma da ABNT são:

- Proteção contra riscos de choques elétricos;
- Proteção contra riscos mecânicos;
- Proteção contra riscos de radiações indesejadas ou excessivas;
- Proteção contra risco de ignição de misturas anestésicas inflamáveis;
- Proteção contra temperaturas excessivas;
- Proteção contra transbordamentos, respingos, umidade, penetração de líquidos.

O modelo de incubadora estudado neste trabalho possui diversas características de proteção e segurança para o paciente, que são indicados através de alarmes audio-visuais. Nela, cinco *LED`s – Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz), são usados para indicar as condições de alarme de segurança da incubadora. O som de cada alarme pode ser inibido, ou não, durante 15 minutos, pressionando-se a tecla “INIBIR SOM”⁽²³⁾. Estes alarmes são:

- ALARME “FALTA DE ENERGIA”: É um alarme áudio visual. Indica quando a energia elétrica é interrompida, o cabo está desconectado, ou quando o fusível localizado no painel lateral está danificado.
- ALARME “CIRCULAÇÃO DE AR”: Alarme áudio visual. Indica quando o fluxo de ar está interrompido, no caso de parada do motor ou obstrução do duto de ventilação de ar.
- ALARME “FALTA SENSOR”: Também é um alarme áudio visual. Indica quando o *plug* (conector) do sensor de paciente está desconectado da tomada do painel lateral, ou em caso de falha do sensor, quando o fio do sensor estiver interrompido ou em curto circuito, ou ainda, o sensor se soltar da pele do paciente. A indicação áudio visual do alarme “Falta sensor” é diferenciada nas seguintes condições^(22,23):
- ALARME “ALTA TEMPERATURA”: Este alarme atua em duas situações distintas:
 - Quando “A Seleção De Modo Estiver Em Ar”: O alarme é acionado quando a temperatura do ar for maior ou igual a 1,5°C em relação a temperatura ajustada, e voltará a condição normal após o restabelecimento da temperatura;

- Quando “A Seleção De Modo Estiver Em Pele”: O alarme é acionado quando a temperatura da pele for maior ou igual a 1,0°C em relação a temperatura ajustada, e voltará a condição normal após o restabelecimento da temperatura.

- ALTA TEMPERATURA DE SEGURANÇA DO AR DA CÚPULA:
O alarme atuará quando a temperatura for ajustada para duas condições:
 - Ativada em 38° C, quando a temperatura do ar estiver ajustada para valores inferiores a 37° C;
 - Ativada em 40° C, Quando a temperatura do ar estiver ajustada para valores superiores a 37° C.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Tipo de Estudo

Trata-se de um estudo quantitativo, desenvolvido com base no método experimental.

4.1.1 Método

Foi utilizada uma incubadora nova, fabricada pela empresa FANEM, modelo 1186 A, números de série CL 5153, registro na ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária nº 10.224.620.054. Os valores definidos na norma ABNT NBR IEC 60.601.2.19, que trata dos requisitos de segurança e desempenho essencial para incubadoras de neonatos, foram tomados como referência.

Um dispositivo de controle foi criado para permitir a utilização do ar comprimido da rede de gases instalada no local onde foram feitas as medidas e, à incubadora, foi adaptado um novo “dispositivo de ventilação” no sistema de convecção para substituir o motor e a ventoinha.

Os dados anteriores e posteriores à instalação do dispositivo de ventilação foram coletados por instrumentos calibrados e posteriormente analisados através dos gráficos e tabelas gerados e finalmente foram feitas as conclusões sobre todo o estudo realizado.

4.1.2 Local do Estudo

Os trabalhos foram realizados parcialmente no setor de Engenharia Clínica do Hospital Teresa de Lisieux-HTL-BA e, principalmente, no Núcleo de Tecnologia em Saúde do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - (NTS/IFBA). O presente trabalho segue a mesma linha de pesquisa em equipamentos biomédicos, cujo NTS é referência no Norte e Nordeste do país, e contou com a colaboração de diversos pesquisadores que contribuíram de modo significativo para o

desenvolvimento do modelo proposto. Os testes e medições foram realizados no período de junho de 2014 a outubro de 2015.

4.2 Dispositivos de Controle do Ar Comprimido

O primeiro passo foi analisar os componentes do sistema de convecção da incubadora composto por um motor, uma ventoinha e uma resistência helicoidal. Foram feitas observações do seu funcionamento e posterior desmontagem. Observou-se a função e a importância de cada elemento individualmente e como conjunto que compõe o sistema completo.

Também foram feitos registros do seu funcionamento através de vídeos e fotografias, observando inclusive o funcionamento da incubadora sem o conjunto motor/ventoinha.

Verificou-se como o ar externo passa pelo filtro e entra na câmara destinada à conexão do módulo de controle, como ele circula nas câmaras internas do equipamento e como está instalado o conjunto que compõem o referido sistema de convecção.

A análise para o conhecimento das principais partes que compõem o módulo de controle, em especial o sistema de convecção, também foi importante para determinar um mecanismo que pudesse substituir o motor, reduzir o ruído e mantivesse na nova proposta, as mesmas condições normativas vigentes sem perder as características de sistema de convecção do ar.

Após o estudo do mecanismo foram feitas algumas tentativas de estabelecer um projeto experimental.

Na primeira tentativa desenvolveu-se um mecanismo de ventilação para o transporte do ar aquecido no qual se usava uma mangueira de borracha reforçada para direcionar o ar comprimido, proveniente da rede, diretamente ao elemento

resistivo de aquecimento. Na extremidade da mangueira utilizou-se um cone plástico para fazer a difusão, ou espalhamento, do ar.

Na segunda tentativa utilizou-se um mecanismo de ventilação que também usava o ar comprimido proveniente da régua de gases. Nesse experimento o ar comprimido foi usado para movimentar uma ventoinha instalada no interior da câmara de uma turbina de ar feita de *Polyvinyl Chloride - PVC* (Policloreto de Polivinila) semifechada.

Após as duas tentativas que utilizaram o ar comprimido sem surtir os efeitos desejados, observou-se a necessidade de uma ventilação com redução, controle da pressão e fluxo do ar comprimido proveniente da rede.

Sabe-se que o choque entre as moléculas do ar e os componentes, ou partes, internas da incubadora, são fontes geradoras de ruídos, principalmente se a pressão e velocidade do ar forem muito altas. Sendo assim, foi necessário desenvolver um painel eletropneumático para reduzir o valor da pressão e controlar a velocidade do ar da rede, fixando-o em valores que estivessem dentro das condições normativas citadas nos referentes itens da norma ABNT NBR IEC 60.601.2.19, sobre ruído e velocidade do ar dentro da cúpula da incubadora.

Foi verificado que esse tipo de controle viabilizava a ideia inicial de uma ventilação feita direto da rede de gases utilizando-se uma mangueira de ar com um cone difusor na extremidade.

Para testar o funcionamento do mecanismo foram feitas medições com a incubadora ligada em seu estado normal, ou seja, na mesma configuração de fabricação.

Embora a incubadora usada no experimento fosse nova e calibrada pelo fabricante, as medidas foram novamente realizadas para confirmar o estado de calibração de cada uma das variáveis indicadas no manual do equipamento e citadas na norma vigente.

Em seguida, com o dispositivo instalado e a incubadora ligada, foram feitos novos grupos de medições das mesmas variáveis físicas mensuradas anteriormente.

Cada um dos grupos de medições, antes e depois, foi realizado durante três noites consecutivas. Todas as medições foram realizadas no período noturno por este ser menos ruidoso, apesar de que o ambiente já contava com um bom isolamento acústico. Os registros iniciaram-se sempre às 19h00min e foram encerrados às 06h00min.

Esse procedimento de medições foi realizado para que posteriormente fosse feita uma comparação entre as medidas anteriormente feitas e as medidas realizadas após as modificações mecanismo.

As variáveis mensuradas e registradas foram:

- Velocidade do ar sobre o colchão dentro da cúpula: medida realizada para verificar se a velocidade do ar estava dentro do limite estabelecido na norma vigente;
- Temperatura interna da cúpula: feita para verificar se o valor programado pelo operador, através do painel, estava sendo atingido;
- Pressão atmosférica interna da cúpula: feita por ser uma condição importante na determinação da qualidade do ambiente;
- Umidade relativa interna à cúpula: feita para verificar se a condição do ambiente era favorável à recuperação do RN, e se estava dentro dos valores estabelecidos na norma;
- Ruído de fundo: Medida de ruído do ambiente (β) realizada com a incubadora desligada. Feitas para comparação entre as medições posteriores com a incubadora ligada e verificar os requisitos normativos para a medição de ruído, onde: Se $[6 < \beta \leq 10]$: aplicar correções e, se $\beta > 10$: não aplicar correções, validando as medições conforme norma STD 85 do IEEE, NEMA MG1-1993 e ABNT NBR IEC 60.601.2.19;
- Ruído externo à cúpula: Feito para verificar a condição do ambiente e se havia excesso de ruído no local das medições;

- Ruído interno à cúpula: Feito para verificar a condição do ruído dentro da cúpula com o motor ligado e posteriormente com o dispositivo/mecanismo instalado.

Para a medição e registro do ruído interno e externo, foram utilizados dois decibelímetros da marca Extech, modelo SDL600. Estes instrumentos foram ajustados para medida do ruído em escala de decibéis (dB), circuito de ponderação (A), tempo de resposta *Slow* (lento) e registro de medidas a cada 10 segundos.

As medições e registros da pressão atmosférica, temperatura ambiente e umidade relativa foram feitas com um medidor de condições de ambiente, também da marca Extech, modelo SD700, os quais foram ajustados para registro da pressão atmosférica em hectorPascal (hPa), temperatura em graus Celsius (°C) e umidade relativa em percentual de umidade relativa (% UR).

Um anemômetro digital marca Testo, modelo 425, foi usado para medida da velocidade do ar interno à cúpula. Este medidor foi ajustado para registrar a velocidade em unidades de metro por segundo (m/s).

Todos os instrumentos utilizados foram calibrados antecipadamente para garantir a exatidão das medições e reduzir a possibilidade de erros de leitura nas medidas efetuadas, sendo posicionados conforme indicado na norma ABNT NBR IEC 60.601.2.19. O decibelímetro interno foi posicionado a 10 ou 15 cm de altura e a um quarto do eixo longitudinal que passa pelo meio do colchão. Após os devidos ajustes nos equipamentos de medição, os mesmos foram posicionados na incubadora para iniciar o processo coleta de dados. Posicionou-se o primeiro decibelímetro, usado para medir o ruído interno e o medidor de condições ambientais na parte interna da incubadora. Um segundo decibelímetro foi colocado na parte superior da cúpula para registrar o ruído externo.

Na parte superior da incubadora também foi colocado um anemômetro digital que possui uma antena telescópica de ajuste da posição e um elemento sensor instalado na extremidade da mesma. A antena foi posicionada dentro da cúpula da incubadora, conforme mostra a Figura 10.



(a)



(b)



(c)

Figura 10: (a): Medidor de condições ambientais, Decibelímetro e Antena do Anemômetro posicionada no interior da cúpula da incubadora; (b): Decibelímetro e Anemômetro posicionado sobre a cúpula; (c): Vista frontal da incubadora e posicionamento dos Instrumentos de medição.

Fonte: O próprio autor

Para analisar os resultados, de acordo com os dados coletados pelas medições realizadas, foram feitos gráficos pareados que mostram o comportamento de cada uma das variáveis físicas mensuradas ao longo do tempo. Os gráficos foram construídos com o número total de dados coletados de cada uma das variáveis.

Realizaram-se também cálculos que determinaram a média relativa ao grupo total de medições feitas para cada uma das variáveis mensurada ao longo dos três dias de medições e os seus respectivos desvios padrão. Com a média e o desvio padrão foi possível calcular novos dados estatísticos e plotar a curva Gaussiana, fazendo-se posteriormente uma análise estatística que levou em conta os dados contidos na curva gerada. Com os dados obtidos também foi possível realizar a construção de uma tabela resumo onde foram inseridas todas as médias das grandezas mensuradas com os seus respectivos desvios padrão e limites estabelecidos pelas normas.

Por fim, cada um dos resultados obtidos após a instalação do dispositivo, ou mecanismo, foi comparado aos valores citados pela norma vigente e manuais do fabricante do equipamento utilizado para os testes.

5 RESULTADOS

No modelo de incubadora utilizado o sistema de convecção é composto por um motor com potência de 50 W (watts) que fica na parte interna do módulo da Unidade Controladora Microprocessada (UCM), uma “ventoinha” fixada na extremidade do eixo do motor e uma resistência ou elemento resistivo de aquecimento na forma helicoidal com potência de 270 W. A Figura 11 mostra a vista traseira da UCM, onde se pode ver principalmente a ventoinha e o elemento resistivo.

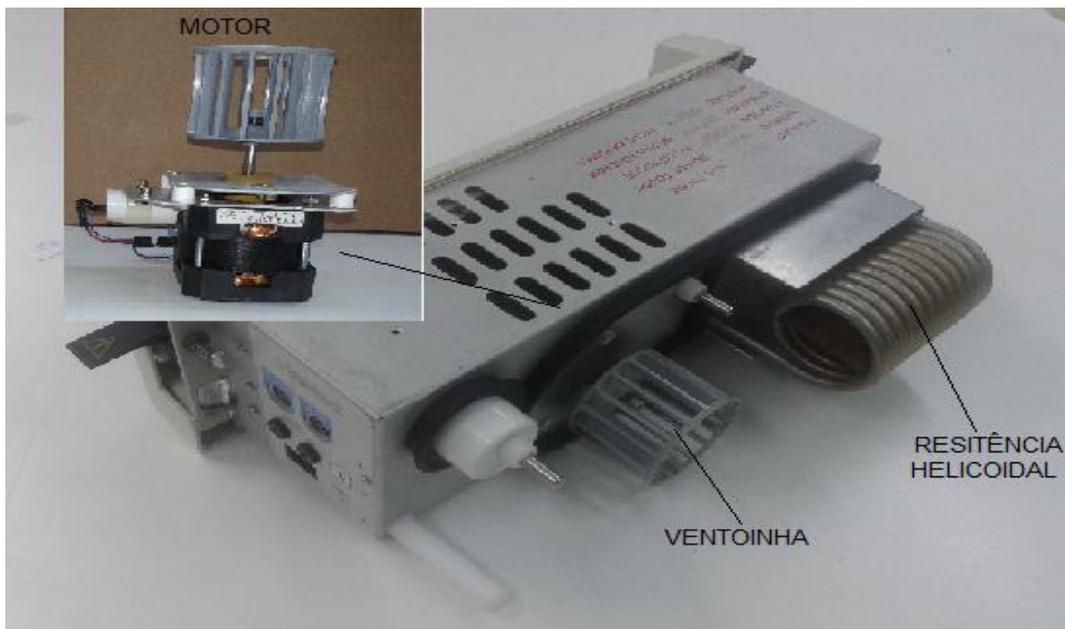


Figura 11: Módulo da Unidade Controladora Microprocessada-UCM.

Fonte: O próprio autor

Nesse sistema, o ar proveniente do ambiente externo passa por um filtro, instalado na parte traseira da incubadora, circula por tubulações internas e entra na câmara destinada à conexão do módulo da UCM. No momento em que a incubadora é ligada o elemento resistivo começa a aquecer e imediatamente o motor é energizado, iniciando o giro da ventoinha. O ar que está em volta da resistência helicoidal é aquecido e deslocado pela corrente de ar da ventoinha através da

câmara interna até a cúpula, na parte superior. Com esse procedimento tanto o ambiente interno à cúpula quanto o RN são aquecidos. A Figura 12 mostra o processo de funcionamento do sistema de convecção do módulo em questão.

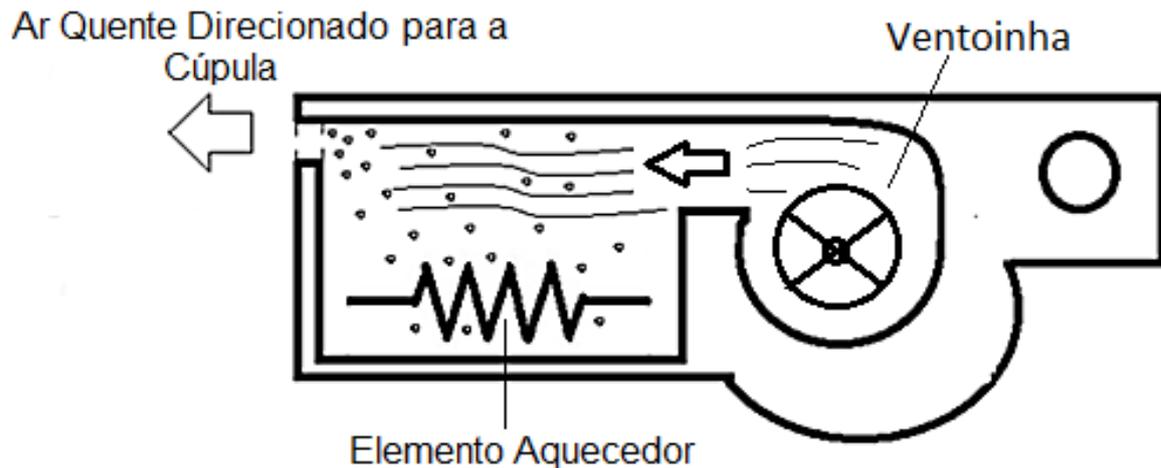


Figura 12: Sistema de convecção da incubadora – Antes das modificações.

Fonte: O próprio autor

O conhecimento técnico aliado às medições do ruído, efetuadas durante o funcionamento da incubadora em local com isolamento acústico ou isolação de ruídos externos, identificou o motor como o principal elemento gerador de ruído. Foi verificado que o mesmo ocorre devido às vibrações mecânicas produzidas e o atrito dos componentes durante o funcionamento desse motor, podendo o ruído evoluir devido ao desgaste das peças e falta de desajustes.

5.1 Projeto do Novo Mecanismo de Entrada de Ar

Para o desenvolvimento do novo mecanismo de circulação de ar, visando redução do ruído, foi necessária a retirada do motor, identificado como principal fonte de ruído. Dessa forma, foram feitas algumas alterações nos modelos apresentados nas Figuras 11 e 12. Inicialmente foi necessário fazer a retirada da “ventoinha”. Em seguida, o módulo da UCM foi aberto para que fosse desligado e

retirado o motor. Como o novo modelo proposto não seria ventilado através do conjunto motor-ventoinha, não havia mais função para este conjunto, e por isso ele foi retirado, ficando apenas a resistência helicoidal na parte traseira do módulo da UCM.

O ar comprimido utilizado para a substituição do motor foi fornecido por uma usina instalada nas dependências do hospital e, nas unidades assistenciais de saúde, é disponibilizado em réguas de gases que estão fixadas nas paredes dos leitos que o utilizam, inclusive nos leitos de neonatologia. Na linha, e conseqüentemente na régua, o ar comprimido possuía um valor de pressão igual à 4kgf/cm^2 e vazão máxima de 16 l/min .

Como a pressão do ar comprimido disponível era relativamente alta e o choque entre as moléculas do ar com os componentes internos da incubadora geravam ruído acima dos valores determinados pela norma ABNT NBR 60.601.2.19, houve necessidade de projetar um sistema que fizesse o controle da pressão desse ar que entrava na incubadora de forma a reduzir experimentalmente o valor da pressão para um valor que estivesse abaixo do ruído e mesma velocidade do ar definidas pela ABNT⁽⁵⁴⁾. Esse sistema é apresentado na Figura 13. O mesmo é constituído por:

- Válvula Solenoide Eletropneumática;
- Fluxômetro;
- Válvula Analógica Reguladora e Indicadora de Ar Comprimido;
- Indicador Analógico de Vazão;
- Indicador Digital de Pressão;
- Filtro de Ar;
- Mangueiras de Borracha (reforçada) de 1/8 polegada;
- Reservatório de Ar (Vaso de pressão) Com Capacidade de 50 litros.

Conforme mostra o esquema unifilar do dispositivo de controle do ar, foi instalada uma válvula eletropneumática em um trecho da mangueira que liga a rede de ar comprimido ao vaso de pressão. Quando o módulo da UCM é ligado ao invés

de energizar o motor que foi retirado antecipadamente junto com a “ventoinha”, ele energiza a válvula solenoide, que foi conectada nos mesmos terminais que antes energizavam o motor e também o elemento resistivo. Ao ser energizada a válvula solenoide é acionada e libera a passagem do ar comprimido, que enche o vaso de pressão de 50 litros através da entrada *in*, como mostrado na Figura 13.

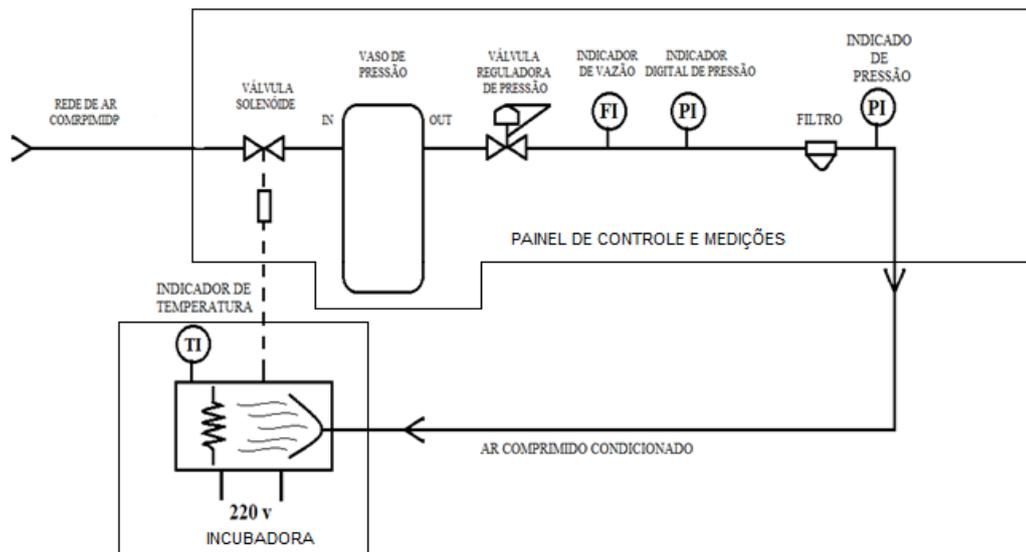


Figura 13: Esquema Eletropneumático do Controle

Fonte: O próprio autor

O objetivo do uso de um reservatório com capacidade de 50 litros foi promover a redução no valor da pressão do ar comprimido, uma vez que existe uma relação inversamente proporcional entre área e a pressão ($P=F/A$). A área no interior do reservatório é bem maior que a área de uma seção transversal interna da mangueira. Com o aumento da área (A), e a força constante (F), percebeu-se experimentalmente que a pressão (P) era reduzida à medida que as moléculas do ar se difundiam de dentro da mangueira, área menor, para dentro do tanque, área maior.

No painel há uma nova regulagem da pressão do ar, desta vez feita com uma válvula reguladora analógica que regula e indica (de zero a 10 kgf/cm²) a pressão nesse ponto. Essa válvula reguladora foi colocada para que fosse possível a realização do “ajuste fino”, ou regulagem de precisão da pressão do ar, sendo um ponto de ajuste e visualização no próprio painel. O sistema também possui um fluxômetro analógico que tem o objetivo de indicar o valor da vazão do ar

comprimido presente na linha, podendo indicar valores de vazão do ar de 0 a 18 l/min.

Para maior precisão na determinação do valor da pressão na linha de ar, segue-se um indicador digital presente no painel. A indicação digital é uma redundância, porém, com o uso desse indicador de pressão consegue-se visualizar a leitura dos mais baixos valores presentes, o que não é possível com o indicador analógico.

Completando o circuito temos um filtro de ar que tem a função de evitar que líquidos sejam conduzidos através do fluxo para o interior da cúpula da incubadora e possam interferir no funcionamento dos seus sistemas e no clima interno à cúpula. O líquido, quando presente no ar comprimido, é armazenado no interior do filtro e este possui uma válvula de expurgo. O líquido captado pode ser descartado de forma manual, e para isso é necessário que o operador acione a válvula de expurgo que fica na parte inferior do filtro. Feito o controle do ar comprimido, foi necessário adaptar a incubadora para funcionamento a partir desse ar. A Figura 14 mostra imagem do painel de controle.



Figura 14: Painel de Controle da pressão do ar comprimido

Fonte: O próprio autor

Os resultados dos testes feitos com as turbinas mostraram que o ar comprimido imprimia uma força tangencial no mesmo sentido em dois ou quatro pontos de uma ventoinha interna à câmara de *PVC*. Como essa ventoinha estava presa em uma das extremidades de um eixo central, a soma dessas forças resulta em uma torção, ou giro, na mesma. Na extremidade oposta desse eixo central, havia uma segunda ventoinha responsável pelo deslocamento do ar, que era direcionado ao elemento resistivo aquecido, fazendo assim o mesmo papel do motor elétrico. O objetivo desse dispositivo foi eliminar os contatos mecânicos usados no motor elétrico convencional e enclausurar, no interior da câmara de *PCV*, qualquer ruído gerado pela turbina.

Na Figura 15, são mostradas as turbinas utilizadas no projeto e o motor elétrico original retirado da incubadora.

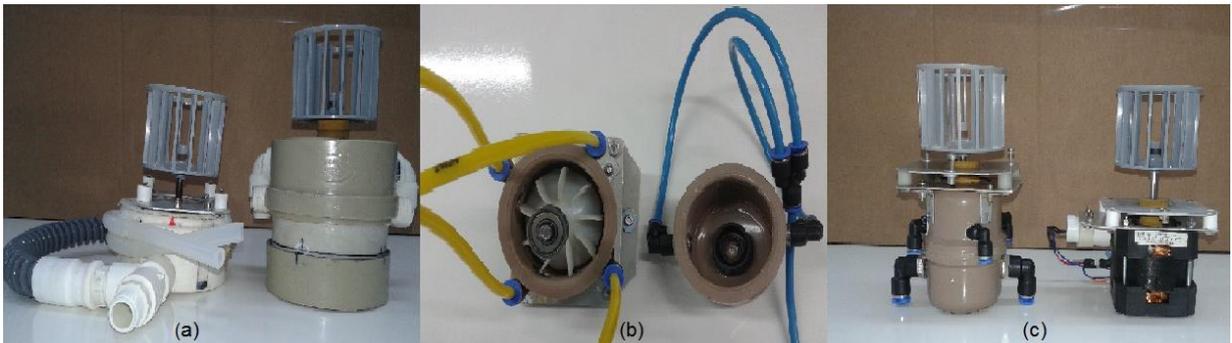


Figura 15: (a): Turbinas experimentais. (b): Detalhes internos de uma turbina. (c): Turbina experimental e motor original usado em incubadoras

Fonte: O próprio autor

5.1.2 Dispositivo de ventilação

Feito o controle da pressão, através do painel, utilizou-se uma mangueira de borracha de meia polegada de diâmetro conectando da saída do painel de controle do ar comprimido à entrada de oxigênio da incubadora através de um “nipple de O₂” instalado na parte traseira da mesma. Foi utilizado o mesmo tipo de mangueira reforçada que conectou a régua de gases à entrada do vaso de pressão. Conectado dessa forma, o ar comprimido foi injetado pelo tubo de entrada de ar filtrado e

circulou através das tubulações no interior da incubadora, chegando até a câmara destinada à conexão da parte traseira do módulo da UCM. A Figura 16 mostra a câmara para conexão da UCM com o tubo de entrada de ar filtrado.



Figura 16: Câmara para conexão da Unidade Controladora Microprocessada-UCM.
Fonte: O próprio autor

Ao tubo de entrada de ar filtrado, que fica dentro da câmara, foi conectado um trecho de mangueira ou traquéia de silicone. Na extremidade da traquéia foi conectado um difusor cônico feito de material plástico. A função do difusor cônico foi fazer o espalhamento do ar comprimido sobre a resistência helicoidal, arrastando o ar aquecido através da câmara interna que posteriormente chegava à cúpula da incubadora. A Figura 17 mostra como a mangueira e o difusor cônico foram conectados ao tubo de saída de ar filtrado.



Figura 17: Câmara com traquéia de silicone e difusor usados para a condução do ar.
Fonte: O próprio autor

A Figura 18 mostra a configuração completa do sistema que foi montado para a obtenção das medidas, mostra também como estão conectados o painel para medição/controlado e o dispositivo para a ventilação, proposto nesse trabalho. Todos os dados foram coletados conforme a configuração do dispositivo citado na referida figura e os resultados dos testes feitos com o dispositivo foram expressos através de gráficos que mostram o comportamento das variáveis que necessitavam de controle.

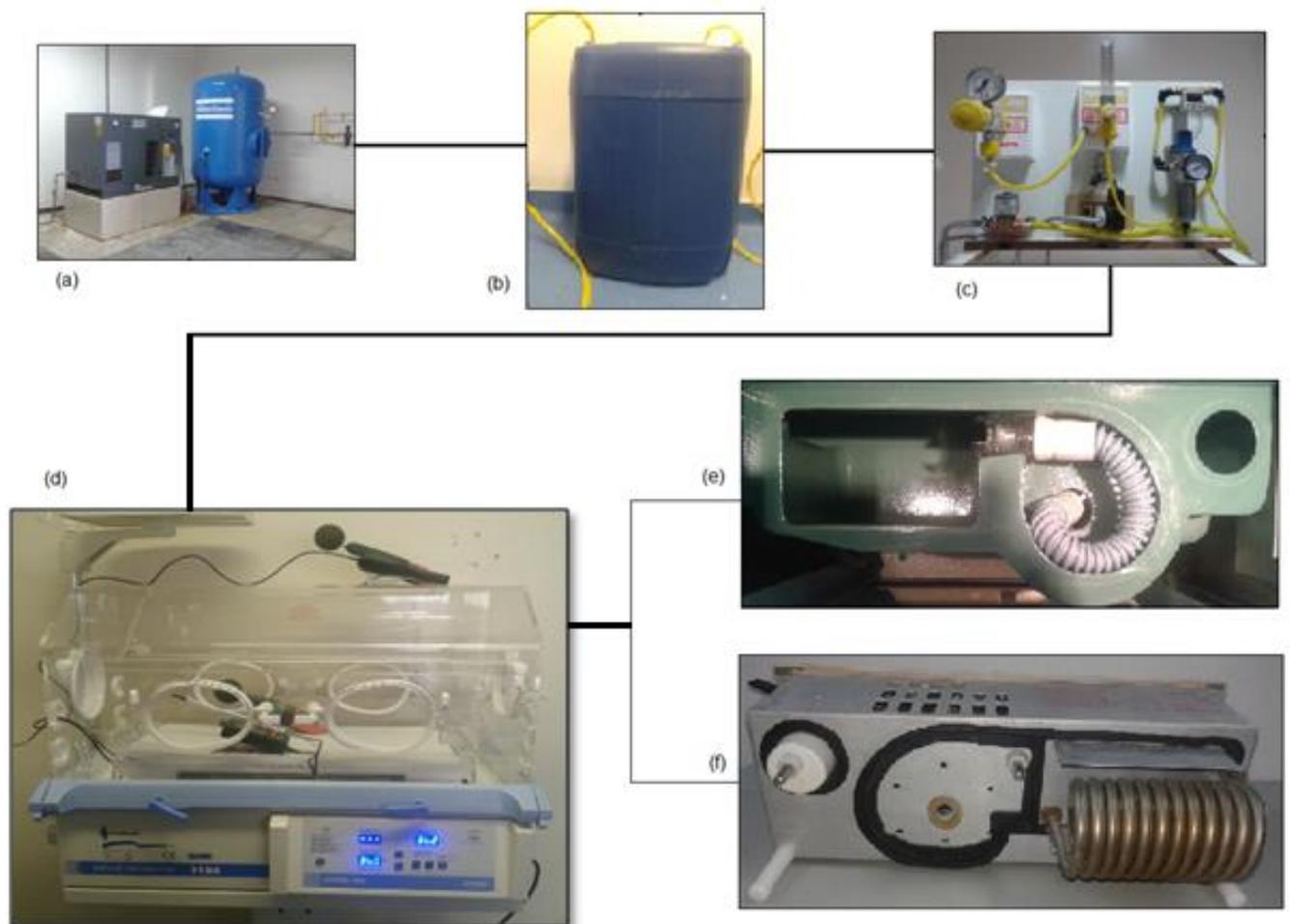


Figura 18: Sistema completo para ventilação da incubadora através do ar comprimido. (a) – Usina de produção e reservatório de ar comprimido; (b) – Reservatório para redução da pressão; (c) – Painel para controle/indicação da pressão e do fluxo do ar comprimido, (d) – Incubadora com: (e) – Cova para conexão do módulo de controle e (f) – Unidade controladora microprocessada-UCM.

Fonte: O próprio autor

5.2. Medidas da Velocidade do Ar dentro da Cúpula

Para determinar o valor da velocidade do ar na incubadora, antes e após as modificações, foram feitas um total de $A=200$ amostras de cada grupo de medidas. A velocidade média encontrada antes das modificações foi de $\bar{X}vA = 0,27\text{ m/s}$, com desvio padrão de $YvA = 0,03$. Após a modificação do sistema a velocidade média teve valor igual à $\bar{X}vD = 0,28\text{ m/s}$, com desvio padrão de $YvD = 0,03$. A Figura 19 mostra o comportamento da velocidade do ar em função do tempo antes e após as modificações.

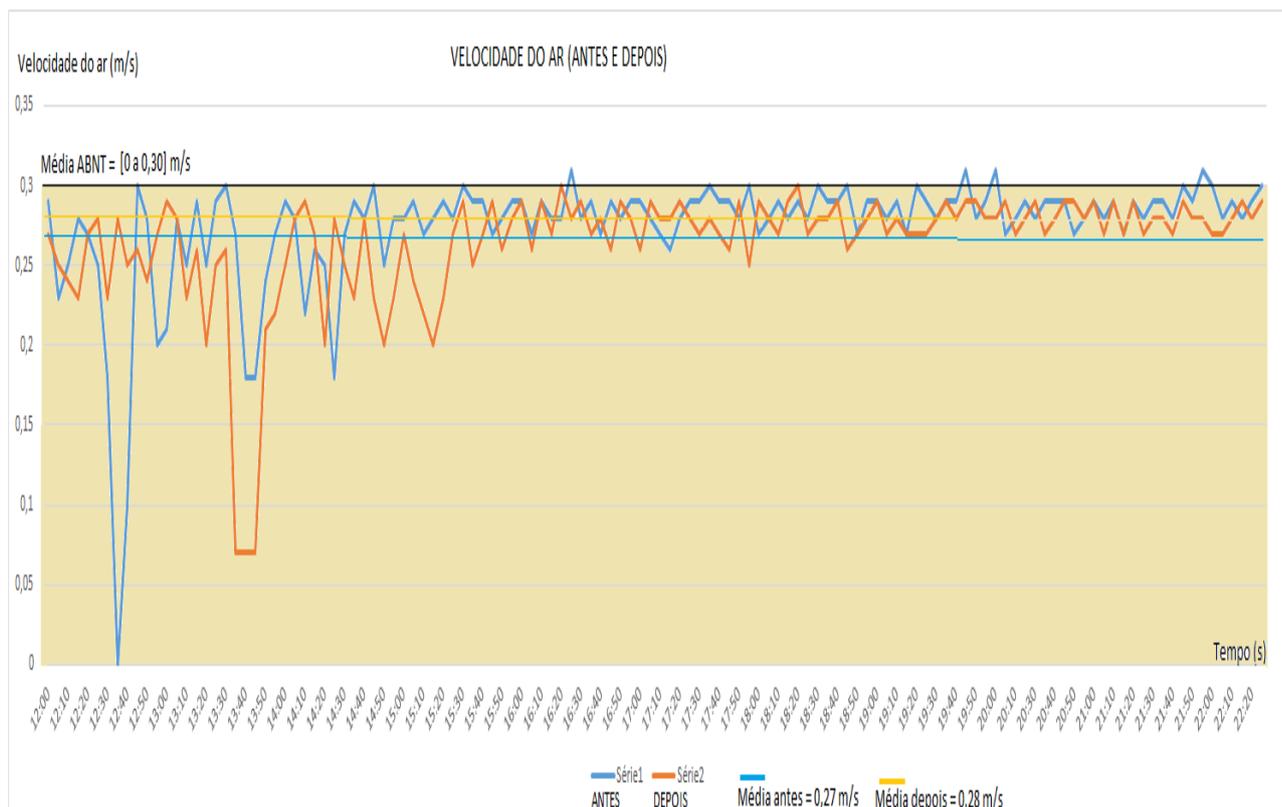


Figura 19: Velocidade do ar sobre o colchão da incubadora Antes e Depois das modificações.

Fonte: O próprio autor

5.3 Medidas da Temperatura Ambiente dentro da Cúpula

Para os testes a incubadora foi programada no modo *ATC* e o ajuste de temperatura feito no painel antes e após as modificações foi de $T=36\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Foram feitas um total de $A=900$ amostras antes das modificações para determinar a temperatura, a pressão atmosférica e a umidade relativa do ar no interior da cúpula da incubadora.

Durante os testes realizados antes das modificações a temperatura manteve uma média de $\bar{X}_{tA} = 36,5^\circ C$, medidos internamente à cúpula. O desvio padrão para esse grupo de medidas foi de $Y_{tA} = 1,45$.

Para os testes feitos após a modificação da incubadora foi realizada a mesma quantidade de medidas para a temperatura que antes, ou seja, $B=900$ amostras. A temperatura manteve um valor médio de $\bar{X}_{tD} = 36,3^\circ C$, com desvio padrão de $Y_{tD} = 1,02$. A Figura 20 mostra o comportamento da temperatura interna antes e após as modificações na incubadora.

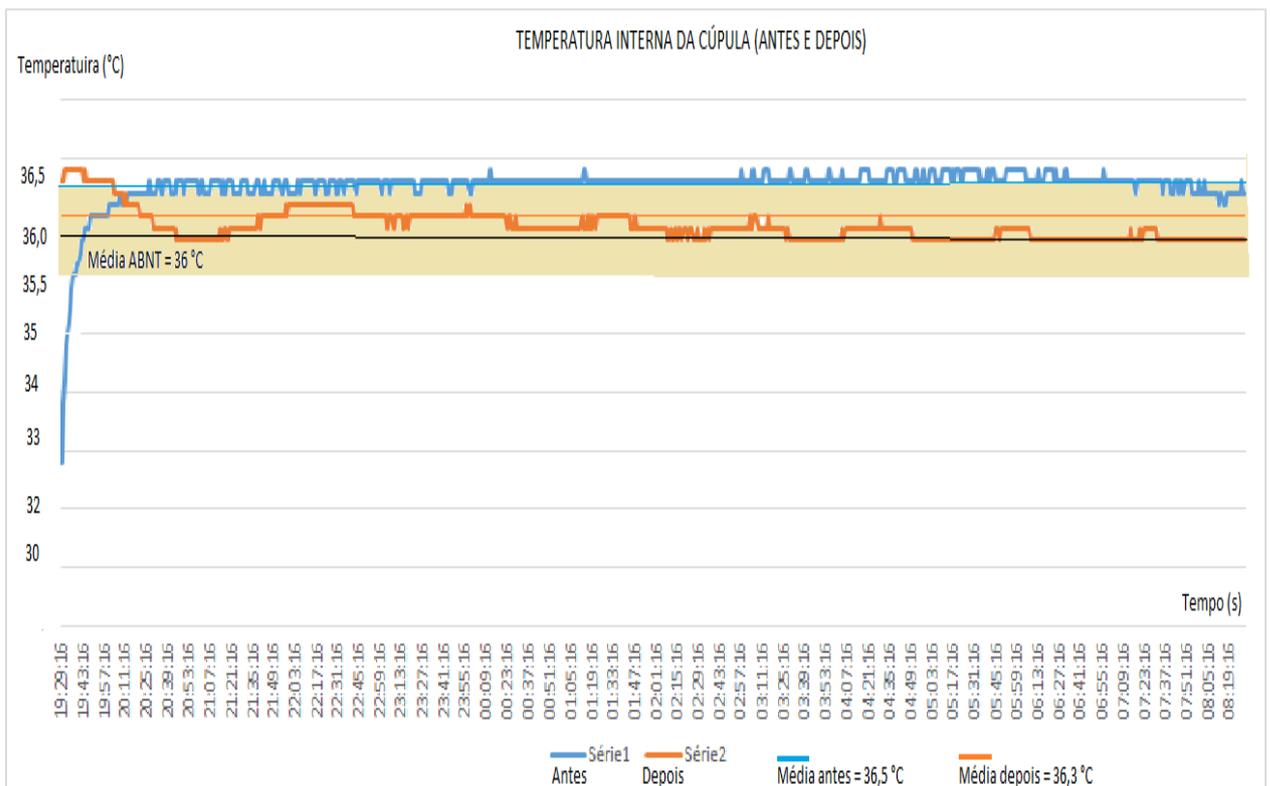


Figura 20: Temperatura Interna à Cúpula da incubadora Antes e Depois das modificações.

Fonte: O próprio autor

5.4 Medidas da Umidade Relativa

As medidas de umidade relativa no interior da cúpula da incubadora antes das modificações tiveram uma média de $\bar{X}_{urA} = 64,9$ % UR, e desvio padrão de $Y_{urA} = 1,02$.

Após as modificações as medidas de umidade relativa do ar no interior da incubadora tiveram valores registrados em $\bar{X}_{urD} = 33,15$ % UR, e desvio padrão de $Y_{urD} = 2,64$.

A Figura 21 mostra o comportamento da Umidade Relativa do Ar no interior da incubadora antes e após as modificações.

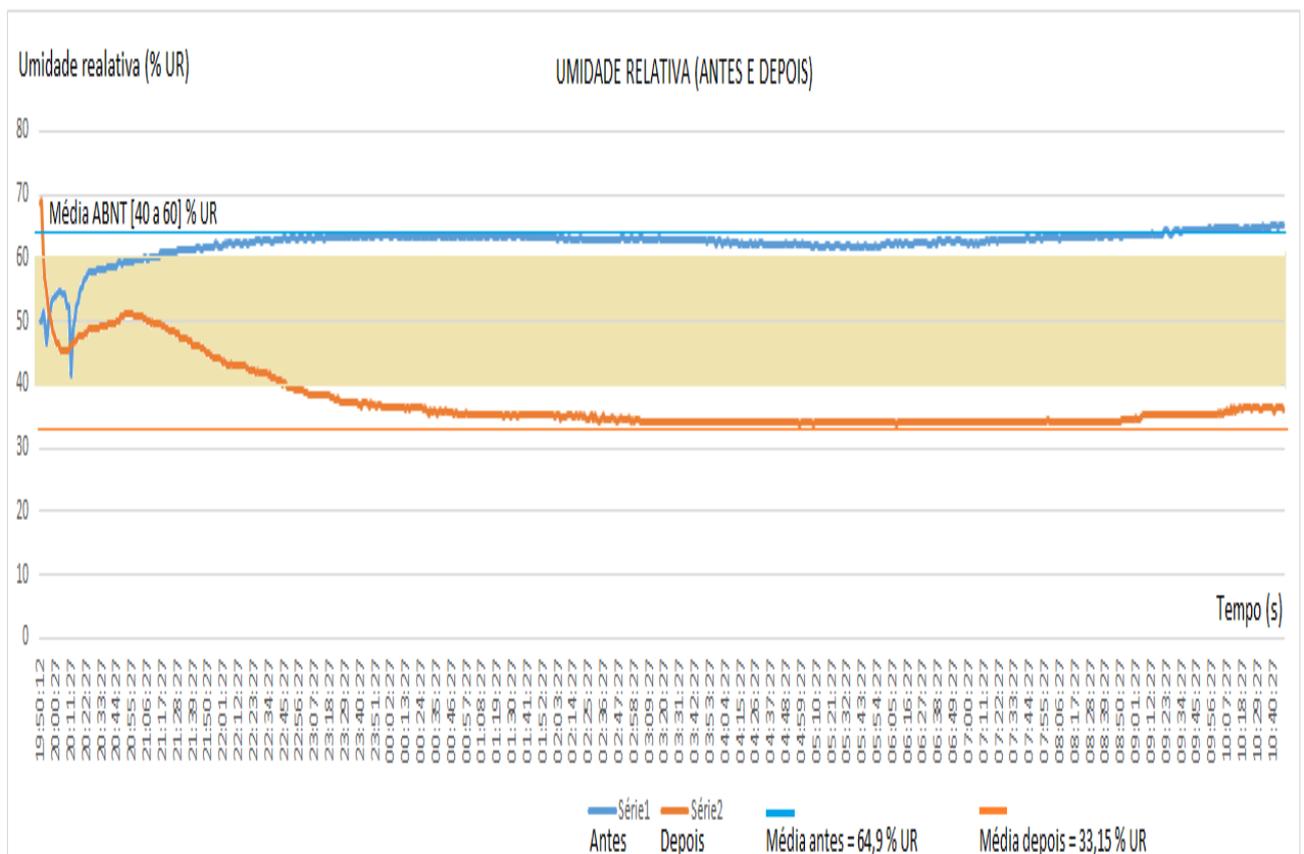


Figura 21: Umidade Relativa do Ar no Interior da Cúpula da Incubadora Antes e Depois das modificações.

Fonte: O próprio autor

5.6 Medidas do Ruído Externo

Para as medições do ruído externo, antes das modificações, foram feitas um total de $A=900$ amostras da medida. Essa amostragem do ruído externo teve uma média de $\bar{X}_{eD} = 39,00 \text{ dB}(A)$, com um desvio padrão de $Y_{eA} = 2,00$.

Já as medições do ruído externo, feitas após as modificações, tiveram um total de $B=900$ amostras medidas. Essas amostras do ruído tiveram uma média de $\bar{X}_{eD} = 36,00 \text{ dB}(A)$, com desvio padrão de $Y_{eD} = 1,96$.

A Figura 23 foi plotada com as medidas do ruído externo feitas antes e após as modificações na incubadora. O mesmo mostra o comportamento do ruído em função do tempo. As médias das medidas apresentada nos gráficos apresentam uma diferença por que foram feitas em momentos diferentes, sendo que foram feitas para garantir que o ambiente das medições estivesse dentro do limite da norma que é entre 35 a 55 $\text{dB}(A)$ para o ambiente hospitalar, local que foram feitas as medições.

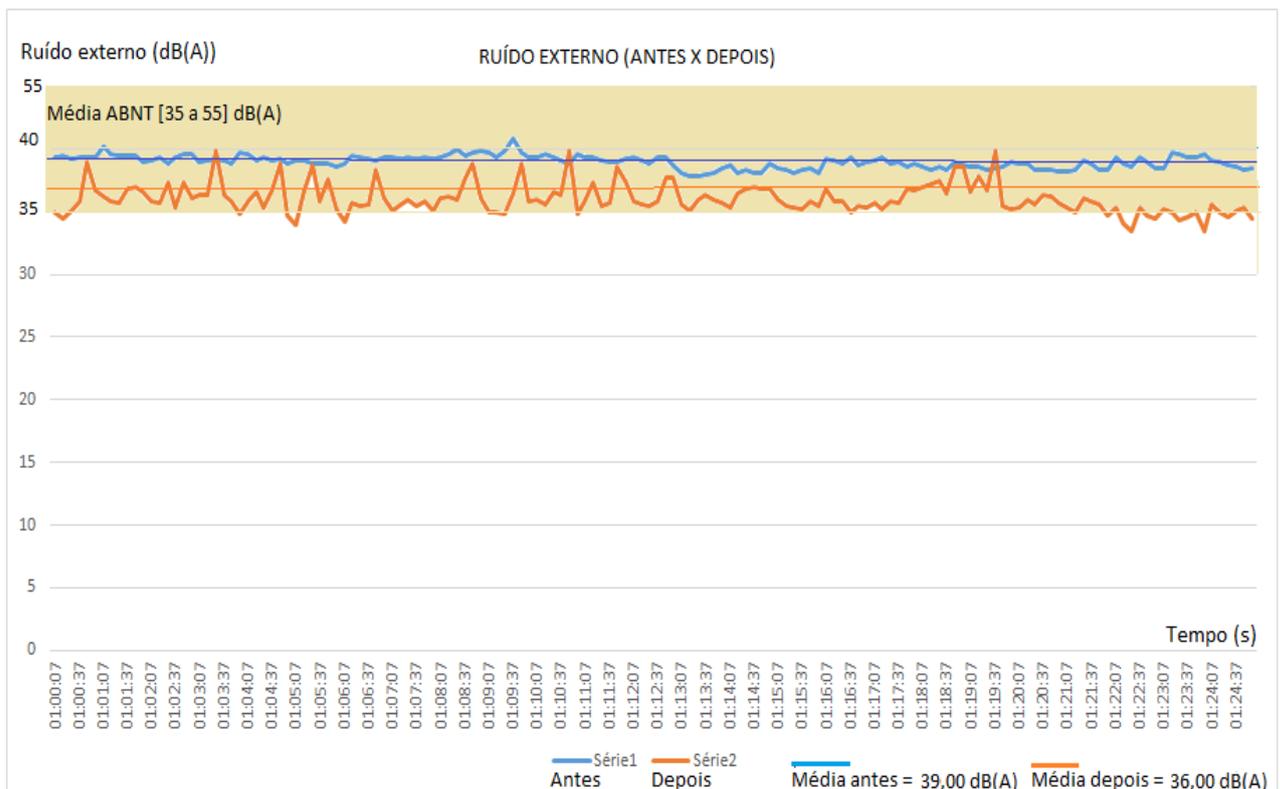


Figura 23: Ruído Externo à Cúpula Antes e Depois das modificações.

Fonte: O próprio autor

5.6.1. Medidas de ruído interno

Para determinar a média dos valores do NPS do ruído interno com a incubadora não modificada e ligada foram feitas um total de $A = 900$ amostras de medidas do ruído dentro da cúpula. A média do NPS calculada para a amostra citada foi de $\bar{X}_{iA} = 45,99 \text{ dB (A)}$, com desvio padrão de $Y_{iA} = 2,16$.

Para a verificação do ruído interno à cúpula com a incubadora modificada foram feitas um total de $B = 900$ amostras dessa variável. O valor médio encontrado, incluindo todos os valores da amostra, foi de $\bar{X}_{iD} = 30,23 \text{ dB (A)}$, com desvio padrão de $Y_{iD} = 1,26$.

A Figura 24 foi plotado com um intervalo das medidas realizadas antes e após as modificações na incubadora. O mesmo ilustra o comportamento do ruído interno em função do tempo.

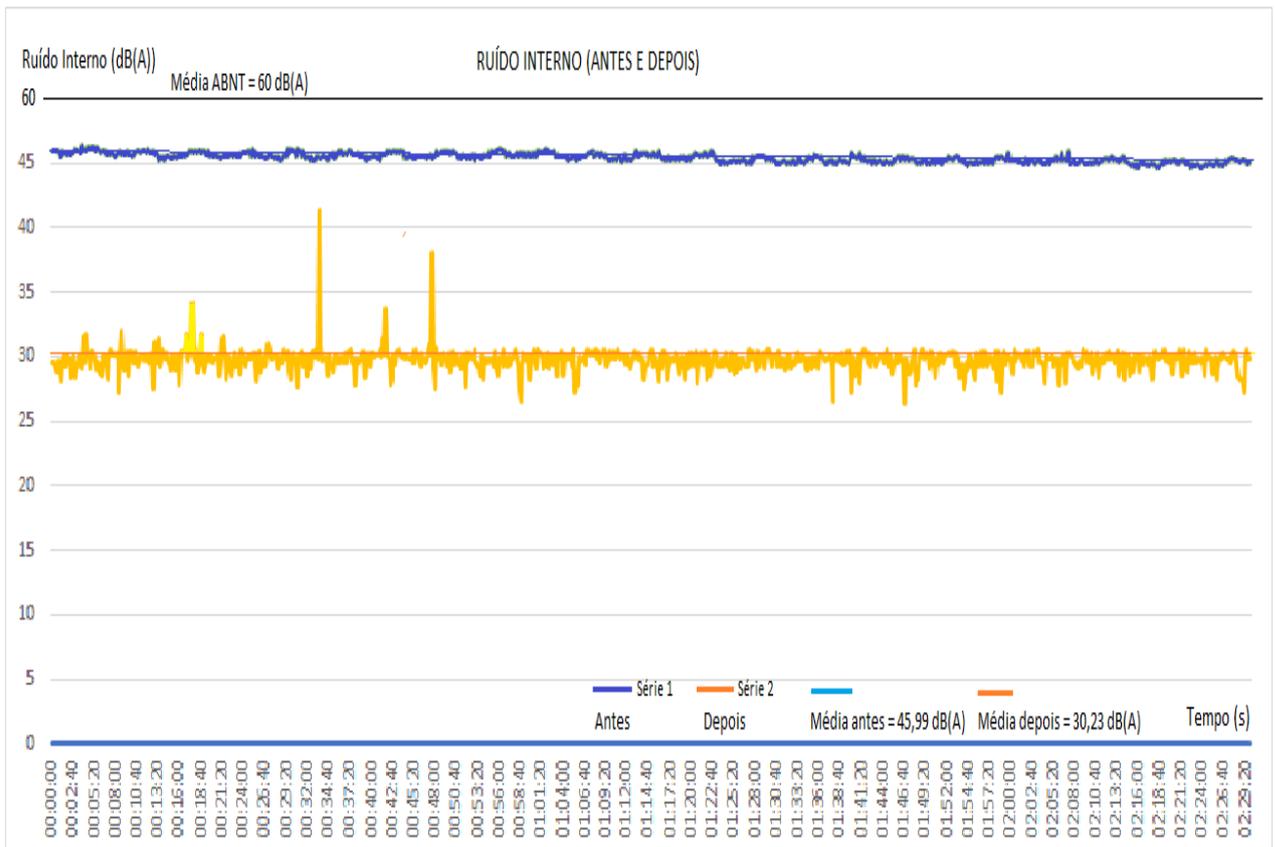


Figura 24: Ruído Interno à Cúpula da Incubadora Antes x Depois das modificações.

Fonte: O próprio autor

5.7 Medidas do Ruído de Fundo

O valor da medida do ruído do ambiente interno à cúpula com a incubadora desligada foi $\beta_D=30,28 \text{ dB(A)}$ e o valor do ruído interno à cúpula com a incubadora ligada foi $\beta_L=45,99 \text{ dB(A)}$. A diferença entre as medições foi de $\beta_i=15,71 \text{ dB(A)}$, ($\beta_i=\beta_L-\beta_D=45,99-30,28=15,71$), que representa o ruído de fundo medido a partir de medidas internas à cúpula.

Em seguida foram feitas as medidas externas à cúpula. As medidas externas com a incubadora ligada tiveram valores iguais a $\beta_L=40,90 \text{ dB(A)}$. As medidas externas feitas com a incubadora desligada foram iguais a $\beta_D=30,20 \text{ dB(A)}$, logo, ($\beta_e=\beta_L-\beta_D=40,90-30,20=10,70$), que representa o valor do ruído de fundo medido a partir das medidas externas à cúpula.

A tabela 3 apresenta um resumo de todas as médias das medidas realizadas.

Tabela 3: Resumo dos resultados das medidas efetuadas.

VELOCIDADE DO AR (V)	NORMA: $\bar{X}<0,30 \text{ m/s}$; ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 $\bar{X}_{vA} = 0,27$ $Y_{vA} = 0,03$ $\bar{X}_{vD} = 0,28$ $Y_{vD} = 0,03$
TEMPERATURA AMBIENTE (t)	NORMA: T = 36° C; ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 $\bar{X}_{tA} = 36,5$ $Y_{tA} = 1,45$ $\bar{X}_{tD} = 36,3$ $Y_{tD} = 1,02$
UMIDADE RELATIVA (UR)	NORMA: [40% a 60%] UR; ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 $\bar{X}_{urA} = 64,90$ $Y_{urA} = 1,02$ $\bar{X}_{urD} = 33,15$ $Y_{urD} = 2,64$
PRESSÃO ATMOSFÉRICA (Pa)	NORMA: [700 a 1060] HPa; ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 $\bar{X}_{paA} = 1.013,98$ $Y_{paA} = 0,99$ $\bar{X}_{paD} = 1.013,60$ $Y_{paD} = 1,13$
RUÍDO EXTERNO (re)	NORMA: 50 dB(A); ABNT NBR IEC 10.151/2000 $\bar{X}_{reA} = 39$ $Y_{reA} = 2,00$ $\bar{X}_{reD} = 36$ $Y_{reD} = 1,96$
RUÍDO INTERNO (ri)	NORMA: 60 dB(A); ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 $\bar{X}_{riA} = 45,99$ $Y_{riA} = 2,16$ $X_{riD}=30,23$ $Y_{riD} = 1,26$
RUÍDO DE FUNDO (β)	NORMA: [6 < β ≤ 10] = Aplicar Correções / $\beta > 10$ = Não Aplicar Correções; IEEE: STD 85/1973 - ABNT NBR IEC 60.601.2.19/2014 – NEMA MG1-1993 $\beta_{iL} = 45,99$ $\beta_i=30,28$ $\beta_i = \beta_{iL} - \beta_D = 45,99 - 30,28 = 15,71$ – Interno $\beta_{eL} = 40,90$ $\beta_e = 30,20$ $\beta_e = \beta_{eL} - \beta_D = 40,90 - 30,20 = 10,70$ – Externo

6 DISCUSSÃO

No presente estudo observou-se que entre os trabalhos encontrados, e anotados nas referências, citavam discretamente a questão do ruído do motor nas incubadoras, porém nenhum apresentou propostas de projetos que fizessem o controle ou a redução do ruído interno ao equipamento.

Com esse mesmo estudo evidenciou-se que um fator importante é que o motor tem limitações de redução do ruído devido à sua forma construtiva, ou seja, ainda são necessários contatos mecânicos para que o mesmo possa funcionar e são esses contatos que causam o excesso de ruídos mesmo quando os motores ainda estão novos e ajustados pelo fabricante.

Sabe-se que depois de algum tempo de funcionamento surgem os desgastes mecânicos e que não há possibilidades de lubrificação com óleos e graxas para a redução de ruído. Com o aquecimento inerente ao funcionamento do motor o uso de graxas e óleos como lubrificantes pode gerar a formação de gases tóxicos que chegam ao interior da cúpula levados pela corrente de ar, podendo causar a asfixia aos RN. A corrente de ar também impossibilita o uso de pó de grafite como lubrificante do motor.

Confirmou-se que o ruído produzido pelo motor das incubadoras tem características físicas de sinal contínuo, ou seja, sem intervalo de tempo entre os picos sonoros. Já o sinal da voz humana, que é referenciada em 60 $dB(A)$ pela norma, permite pausas ou intervalos entre um pico sonoro e outro. Segundo a literatura pesquisada, Kakehashi e outros (2011), quando os RN prematuros estão submetidos a essa exposição de sinais de ruídos contínuos por períodos de tempo muito prolongados, podem sofrer danos auditivos, sendo que a falta de períodos de “recuperação auditiva” pode causar zumbido, redução auditiva, períodos de surdez parcial ou até surdez permanente.

A norma vigente, ABNT NBR IEC 60.601.2.19, indica que a velocidade do ar sobre o colchão no interior da cúpula de uma incubadora para RN deve ser $\bar{X} < 0,30 \text{ m/s}$, ou seja, uma faixa limite de $0 < \bar{X} < 0,30 \text{ m/s}$.

Através de comparações entre os valores obtidos antes e depois da modificação do sistema de ventilação observou-se que o valor da velocidade do ar continuou próximo do valor anotado antes da modificação na incubadora e dentro do valor determinado pela norma, sendo suficiente para fazer o transporte do calor, renovação do ar e pressão positiva de dentro para fora da cúpula. A média encontrada após a instalação do dispositivo foi de $\bar{X} = 0,28$ m/s, ou seja, dentro da faixa estabelecida pela norma.

Para essa medida o valor do desvio padrão foi muito baixo, mostrando que os valores medidos não ficaram distantes da média, o que indica um bom controle da velocidade do ar pelo dispositivo instalado.

Observou-se no gráfico da Figura 19 um pico descendente da velocidade do ar em alguns instantes de tempo antes e após a modificação. Associou-se tais ocorrências à forma como o ar é direcionado sobre o sensor do medidor de velocidade, que foi colocado dentro da cúpula da incubadora, e que provavelmente não captou o deslocamento do ar naqueles instantes.

Por ter ocorrido tanto na ventilação com o motor e a ventoinha quanto na ventilação com o ar comprimido considerou-se que esse seria um comportamento normal da ventilação e que devido a curta duração da ocorrência não prejudicou as funções do ar no equipamento.

Os valores médios da temperatura registrados antes e após a instalação do dispositivo mostraram que as variações se mantiveram dentro do limite programado no equipamento e estabelecido na norma da ABNT, que é de $t=36$ °C; com variação máxima de $\pm 0,5$ ° C, tendo os desvios padrões permanecidos no mesmo valor em ambas as situações.

Da comparação entre os valores médios obtidos antes e após a instalação do dispositivo observou-se que a temperatura também estava controlada dentro das recomendações normativas e, por depender da velocidade do ar para a sua distribuição, confirmou-se que essa velocidade era suficiente para fazer uma distribuição homogênea da temperatura dentro da cúpula da incubadora, uma vez

que a temperatura manteve-se constante por mais de uma hora como recomenda a norma, conservando assim o valor para o qual foi programada.

Os limites de umidade relativa ideais para o ser humano devem ser medidos entre 40% a 60% UR, valores estes que também são indicados pela norma vigente. Observou-se no gráfico da Figura 21 que a umidade relativa antes da instalação do dispositivo iniciou-se em 40% UR, teve variações até 50% UR e estabilizou-se ao longo do tempo com o valor de $\bar{X}_{urA} = 64,9\% UR$, ou seja, 4,9% UR acima do valor máximo indicado pela norma. Já a umidade relativa, medida com o dispositivo de ventilação instalado, mostrou-se com valores iniciais oscilando entre 40% UR até 50% UR, estabilizando-se ao longo do tempo em 33,15% UR, ou seja, 6,85% UR abaixo do limite mínimo estabelecido na norma ABNT NBR IEC 60.601.2.19.

De acordo com Costa (2009) e Rodarte (2005) o sistema umidificador passivo, usado no presente trabalho, não é um controlador preciso, ou seja, a umidade relativa não é medida ou controlada pela incubadora, fato que foi comprovado através dos dados coletados e gráfico analisado, o que torna muito difícil manter altos e constantes níveis de umidade e que justifica os valores encontrados acima e abaixo da faixa estabelecida pela norma.

Outro fator importante é que o ar se torna mais seco após a compressão. Devido ao fluxo constante de ar comprimido que é injetado na incubadora ele pode estar conduzindo o calor gerado na compressão e em consequência da ineficiência do controle do sistema passivo de umidificação, que não consegue manter o ar umidificado dentro dos valores estabelecidos na norma, o ambiente interno à cúpula pode ter se tornado mais seco, o que justifica uma redução de 64% UR, valor acima da norma e medido antes, para 33,15% UR, valor abaixo da norma e medido depois, com o dispositivo instalado.

A pressão atmosférica também foi uma medida observada durante as medições e teve o objetivo de mostrar que a condição do ambiente interno à cúpula era favorável à recuperação do RN, não sendo modificada devido à administração de uma massa de ar com pressão de $0,5 \text{ Kgf/cm}^2$ e fluxo de 16 l/m . Como a pressão

atmosférica mostrou-se dentro dos limites normativos, evidenciou-se a condição favorável à qual o RN deve estar submetido durante sua recuperação no ambiente interno à cúpula das incubadoras neonatais.

As medições do ruído externo foram feitas para determinar a condição do ambiente no momento exato em que foram realizadas as demais medidas. Registrou-se um valor médio de $\bar{X}_{eA} = 39,00 \text{ dB}(A)$ nos dias em que foram feitas as medidas iniciais e valor médio de $\bar{X}_{eD} = 36,00 \text{ dB}(A)$ nos dias em que foram feitas as medidas posteriores com o dispositivo instalado.

Houve uma diferença de $\bar{X} = 3,00 \text{ dB}(A)$ entre os grupos de medidas e assim evidenciou-se o fato de que o ambiente não tinha um isolamento acústico perfeito com relação ao ambiente externo, havendo inclusive variação no valor da interferência entre os dias em que foram feitas as medições. Este fato não interfere nas medidas por que foi feito a medida do ruído de fundo e validação dos valores segundo a norma *NEMA (1993)*.

De acordo com a norma *NEMA (1993)* sobre acústica e NBR ABNT IEC 60.601.2.19 calculou-se a diferença entre as medidas do ruído com a incubadora desligada e ligada. Este procedimento foi feito no ambiente interno e externo à cúpula do equipamento e teve como objetivo validar as medições conforme a norma citada e verificar posteriormente a necessidade ou não de aplicação de medidas corretivas aos valores medidos.

Tanto nos cálculos feitos para o ruído interno, em que $\beta_i = 15,71$, como nos cálculos feitos para o ruído externo, em que $\beta_e = 10,70$, a diferença encontrada foi maior que 10 (>10) e segundo a norma *NEMA (1993)* quando a diferença for maior que 10 não há necessidade de correção, assim as medidas efetuadas foram validadas.

Encontrou-se uma média de $45,99 \text{ dB}(A)$ com desvio padrão de 2,16 para o ruído interno antes de modificar o equipamento, e ruído de $30,23 \text{ dB}(A)$ com desvio padrão de 1,26 $\text{dB}(A)$ no equipamento após a instalação do dispositivo. Observou-se uma redução de $15,76 \text{ dB}(A)$, ou um percentual de 34,27%, do ruído interno à cúpula

da incubadora com relação às medidas feitas anteriormente a instalação do dispositivo.

A distribuição Gaussiana, também conhecida como “Curva do Sino”, é um sistema de estudo estatístico onde a área sob a curva está centrada no desvio padrão em torno da média. Utilizando-se a média de $30,23 \text{ dB}(A)$ e desvio padrão de $1,26$ era esperado que pelo menos $68,26\%$ do total de $B=900$ medidas feitas da variável “Ruído Interno à Cúpula Com a Incubadora Modificada” estivesse dentro do primeiro intervalo dessa curva, como mostrada na Figura 25.

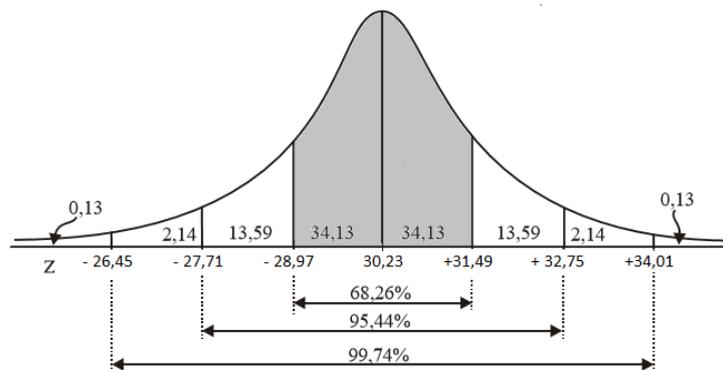


Figura 25: Área da curva normal, percentagem e limites laterais, ou, desvio padrão a partir da média.

Fonte: O próprio autor

Do estudo estatístico concluiu-se que quase todas as $B= 900$ medidas realizadas para o ruído interno à cúpula estavam dentro do primeiro intervalo, $[28,97$ a $31,49]$, próximas da média central que foi $30,23 \text{ dB}(A)$ o que confere a qualidade do dispositivo idealizado, mostrando que o mesmo era eficiente para a redução do ruído e que as amostras não ficaram distantes da média calculada, como previa o desvio padrão de $Y_{riD}= 1,26$. Essa média central é $15,76 \text{ dB}(A)$ ou $34,27\%$ menor que o ruído medido antes da instalação do dispositivo de ventilação.

Philbin et. al, (1999) e Long (1980), citadas na norma da ABNT, também apontam para o crescimento positivo do impacto causado pelas incubadoras para os RN diante da redução do nível de ruído e, que os fabricantes “devem” considerar a sua redução em projetos futuros. Diante do exposto, é recomendável que a norma

reduza o limite máximo do NPS de 60 $dB(A)$ e que os fabricantes procurem formas inovadoras de ventilação.

Se for considerado que para cada redução de -3 $dB(A)$ a sensação auditiva é reduzida em 50%, temos que: se os $\bar{X}_{iA}=45,99$ $dB(A)$ equivalem a uma sensação auditiva de 100%, conseqüentemente, os $\bar{X}_{iD} = 30,23$ $dB (A)$ equivalem a uma sensação auditiva de 3,125%. Esse valor está bem abaixo da sensação auditiva causada pelos 100% do NPS produzidos pelo equipamento em sua configuração original.

6.1 Dificuldades

Uma dificuldade encontrada no presente estudo foi o controle do ruído no ambiente de realização das medidas. Não havia um isolamento perfeito e foram registradas interferências do ruído externo, o que é percebido pela diferença na média do grupo de medidas do ruído externo realizada antes $\bar{X}_{eD} = 39,00$ $dB(A)$, e a média do grupo de medidas do ruído externo depois $\bar{X}_{eD}= 36,00$ $dB (A)$, realizada em outro período, após a instalação do dispositivo de ventilação, ou seja, uma diferença de 3 $dB(A)$ para o mesmo ambiente.

Outra dificuldade encontrada foi o controle da umidade relativa com a incubadora modificada para a ventilação a partir do ar comprimido. O gráfico da Figura 21 descreve esse comportamento onde se observa que umidade relativa da incubadora com o dispositivo instalado ficou limitada a $\bar{X}_{urD} = 33,15\%$ UR , mesmo utilizando o controle de umidade passivo, disponível no equipamento, com 900 ml de água, enquanto que no funcionamento em sua configuração original, também com 900 ml de água, a umidade relativa foi de $X_{urA}= 64,90\%$ UR .

Mesmo utilizando o equipamento nas mesmas condições e com o dispositivo instalado, houve uma queda acentuada de 30,75% UR do ar, equivalentes a um percentual de 47,38% a menos na umidade relativa, ficando abaixo do intervalo especificado para esta variável.

6.2 Considerações Finais e Recomendações

Como proposta de trabalhos futuros sugere-se que seja incentivada a criação de projetos que reduzam ainda mais os NPS nas incubadoras e apresentem pesquisas que validem e atualizem os valores citados na norma apresentando evidências científicas. A própria ABNT pode rever os valores citados, uma vez que já se pratica no mercado valores abaixo do estabelecido por ela, incentivando assim, e cada vez mais a busca pela redução de ruídos nesse equipamento.

Devidos às dificuldades encontradas em controlar a umidade relativa do ar no interior da incubadora, quando ventilada a partir do ar comprimido, recomenda-se que sejam feitos experimentos futuros utilizando-se o umidificador ativo, uma vez que o mesmo utiliza o controle em malha fechada, que é mais eficiente que o controle passivo. A utilização da melhor tecnologia do sistema de controle ativo de umidificação pode compensar a faixa de umidade relativa, mantendo a mesma dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Também podem ser feitas pesquisas para comprovar se a compressão do ar, utilizado nesse trabalho, realmente está causando aquecimento, produzindo ar seco no interior da cúpula da incubadora e interferindo, de forma a reduzir significativamente, a umidade relativa dentro da sua cúpula.

7 CONCLUSÃO

Após a modificação do sistema, concluiu-se que é possível reduzir o ruído do ambiente interno à cúpula das incubadoras utilizando um projeto inovador que substitui o motor e conserva as características do sistema de convecção. O projeto mostrou resultados satisfatórios e que incentivam a continuidade da pesquisa para melhoria do dispositivo proposto.

Concluiu-se também que: mesmo existindo uma cultura de redução do ruído no ambiente das UTIN, existe a necessidade de redução do ruído interno à cúpula do equipamento, pois, ainda que o ruído do ambiente externo seja controlado, o ruído interno existente, é maior que o ruído externo e, em alguns casos pode ser maior que os valores da norma, o que pode afetar diretamente a saúde dos RN.

REFERENCIAS

1. Oliveira ICS. O advento das incubadoras e os cuidados de enfermagem aos prematuros na primeira metade do século XX. Texto e Contexto em Enfermagem, 2004, jul. -Set, ano/vol. 13, número 003, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC – Brasil, pp. 459-66.
2. Tragante CR, Ceccon MEJ, Falcão, MC. Desenvolvimento de cuidados neonatais ao longo do tempo, Pediatria (São Paulo);32(2):121-130, abr.-jun. 2010.
3. Kakehashi TY, Peixoto PV, Balbino FS, Chimirri V, Pinheiro EM. Ruído no interior das incubadoras em unidade de terapia intensiva neonatal, ACTA Paulista de Enfermagem;24(3):359-64. 2011.
4. Rodrigues RG, Oliveira ISC. Os primórdios da assistência aos recém-nascidos no exterior e no Brasil: perspectivas para o saber da enfermagem na neonatologia (1870-1903). Rev Eletrônica Enferm [online]. 2004 [acesso MAI 2014]; 6(2). Disponível em: http://www.fen.ufg.br/revista/revista6_2/pdf/R3_primordio.pdf.
5. Costa E JL, Freire RCS, Silva JBA, Cursino CMP, Galvão RRA. Uso Adequado de Incubadora Neonatal na Assistência em Saúde. VIII SEMETRO. João Pessoa, PB, Brasil, jun 17-19, 2009.
6. Kakehashi TY, Pinheiro EM, Pizzarro G, Guilherme A. O nível de ruído em unidades de terapia intensiva neonatal, Revista ACTA Paulista de Enfermagem, 2007; 20(4); 404-9.
7. Franco MP, Alves CP. Impacto do método da mãe canguru no processo de aprendizagem de prematuros de baixo peso: Revisão de literatura. Caderno de terapia ocupacional, UFGSCar, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 163-174, 2014, [HTTP://dx.doi.org/10.4322/cto2014.018](http://dx.doi.org/10.4322/cto2014.018).
8. Fasolo MI, Moreira RN, Abatti PJ. Avaliação de nível de ruído em incubadoras. Jornal de Pediatria. Sociedade Brasileira de Pediatria, Volume 70, número 3, p. 157-162, 0021-7557/94/70-03/157, 1994.
9. Philips. 2º congresso de inovação AM materiais e equipamentos para a saúde. (Internet), http://www.newscenter.philips.com/br_pt/standard/news/press/2013/20130412-congresso.wpd#.VdaeLk25fIU, 21/08/2019, 00:43 horas, Salvador, Ba, Brasil.
10. Alexandrino JC, Leite HJD, Kalid RA, Hermeni AH, Lepkison HÁ. Desenvolvimento de um analisador de incubadoras neonatais. Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia biomédica, volume 27, numero 3, p. 194-207, 2011, DOI: 10.4322/rbeb. 2011.016.

11. Nedeff MC, Meoti S, Ganzer PP, Nodari CH, Gasperin D, Olea PM et al. Custos da adoção de novas tecnologias em saúde: ressonância magnética Convibra. Disponível em: www.convibra.org.
12. Gadelha CAG, Quental C, Fialho BC. Saúde e inovação: uma abordagem sistêmica das indústrias de saúde, Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19(1); 47-59, Jan-Fev, 2003.
13. Albuquerque EM, Souza SGA, Bessa AR. Pesquisa e inovação em saúde: uma discussão a partir da literatura sobre economia da tecnologia Ciência e Saúde Coletiva, 9(2):277-294, 2004.
14. Silvado J. Incubadoras. Revista Médica de São Paulo/ Jornal Prático de Medicina, Cirurgia e Higiene, São Paulo, v.6, n.7, p. 1-10, abr. 1903.
15. Pacheco STA, Martins do Valle ER, Simões SMF. Cuidado Prestado Pelo Acadêmico de Enfermagem em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal na Ótica da Mãe. Revista Brasileira de Enfermagem, Brasília, v. 54, n.4, p. 589-596, out./dez.2001.
16. Rodrigues RG, Oliveira ICS. Os primórdios da assistência aos recém-nascidos no exterior e no Brasil: perspectivas para o saber de enfermagem na neonatologia (1870-1903). Revista Eletrônica de Enfermagem, v. 06, n. 02, p. 286-291, 2004. Disponível em www.fen.ufg.br.
17. The premature baby book: A Parent's Guide to Coping and Caring in First Years, New York; St. Martin; 1946.
18. O saber da enfermagem como tecnologia: A Produção de Enfermeiros Brasileiros. Texto Contexto Enfermagem, 2000, Jan-Abr, 9(1), 129-52.
19. Hall M. Prematuros: Cuidados de enfermagem. Revista Brasileira de Enfermagem. 1957, mar; 10(1): 66-78.
20. Alexandrino JC, Leite HJD, Kalid RA, Hermeni AH, Lepkison HÁ. Desenvolvimento de um analisador de incubadoras neonatais. Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia biomédica, volume 27, numero 3, p. 194-207, 2011, DOI: 10.4322/rbeb. 2011.016.
21. Downess JJ. The Historical Evolution, Current Status And Prospective Development of Pediatric Critical Care, Crit Care Clin. 1992; 8(11), p. 1 – 22.
22. Manual de incubadoras microprocessadas Fanem: Manual de Usuários, Incubadora Neonatal 1186, Revisão 06/09, edição 04/09, Ref: 093.400.550, São Paulo, SP, Brasil.
23. Manual Fanem de incubadoras de transporte, Manual de Usuários, Incubadora de Transporte IT-158 TS, Revisão: 12/09, edição: 11/09, ref: 158.400.550, São Paulo, SP, Brasil.

24. Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentos de Física, Volume 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 6ª edição, Editora LTC, p. 171-172, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001, ISBN: 85-216-1317-2.
25. Paraná NSD. Física - Paraná, Volume Único, Editora Atica, p.168, 170, São Paulo, SP, Brasil, ISBN: 85-08-07663-0, www.atica.com.br.
26. Nussenzveig HM. Curso de Física Básica – Volume 2, Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, 4ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda, p.171-172, São Paulo, SP, Brasil, 2000, ISBN: 85-212-0299-7.
27. Ribeiro MAC. Aspectos que influenciam a termorregulação: Assistência de Enfermagem ao Recém-Nascido Pré-Termo [monografia]. Taguatinga (DF): Faculdade JK; 2005.
28. Scochi CGS, A humanização da Assistência Hospitalar ao Bebê Prematuro: bases teóricas para o cuidado de enfermagem [Tese]. Ribeirão Preto: Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo; 2000.
29. Wong DL, Warley & Wong. Enfermagem Pediátrica: elementos essenciais à intervenção específica. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
30. Garcia CFD, Isaac ML, Oliveira JAA. Emissão otoacústica evocada transitória: instrumento para detecção precoce de alterações auditivas em recém-nascidos a termo e pré-termo. Rev. Bras. Otorrinolaringol. vol.68 no.3 São Paulo, Maio 2002
31. Segre CAM. Prevalência de perda auditiva em recém-nascido de muito baixo peso. I Pediatria (RJ), 2003; 79(2).
32. Soares E, Guerrem SMA, Azevedo MF. Estudo Comparativo das Triagens Auditivas por Emissões Otoacústicas Evocadas Transientes, Observação Comportamental e Medidas de Emitância Acústica em Crianças com e sem Risco para Deficiência Auditiva. RBORL. 1998;64 (3):221-7.
33. Harumi Tsunemi M, Kakehashi TY, Pinheiro EM. O Ruído Da Unidade de Terapia Intensiva Neonatal Após a Implementação de Programa Educativo. Texto Contexto Enferm, Florianópolis, 2012 Out-Dez; 21(4): 775-82.
34. Souza MWCR, Silva WCR, Araújo SAN. Qualificação Das Manipulações em Recém-nascidos Pré-Termo em Unidade de Terapia Intensiva: Uma Proposta de Elaboração de Protocolo. ConScientiae, v. 7, n. 2, p. 269-274, 2008.
35. Di Piero KC. Mensuração do ruído em ambientes neonatal: Revisão sistemática de literatura – Rio de Janeiro – 2006 / Dissertação/Fundação Oswaldo Cruz/Instituto Fernandes Fiugueira/Curso de pós-graduação em saúde da criança e da mulher.
36. Kinsler LE, Frey AR, Coopens AB, Sanders J. Fundamentals of Acoustic inc. 3^o ed., John Wiley e Sons, 1982.

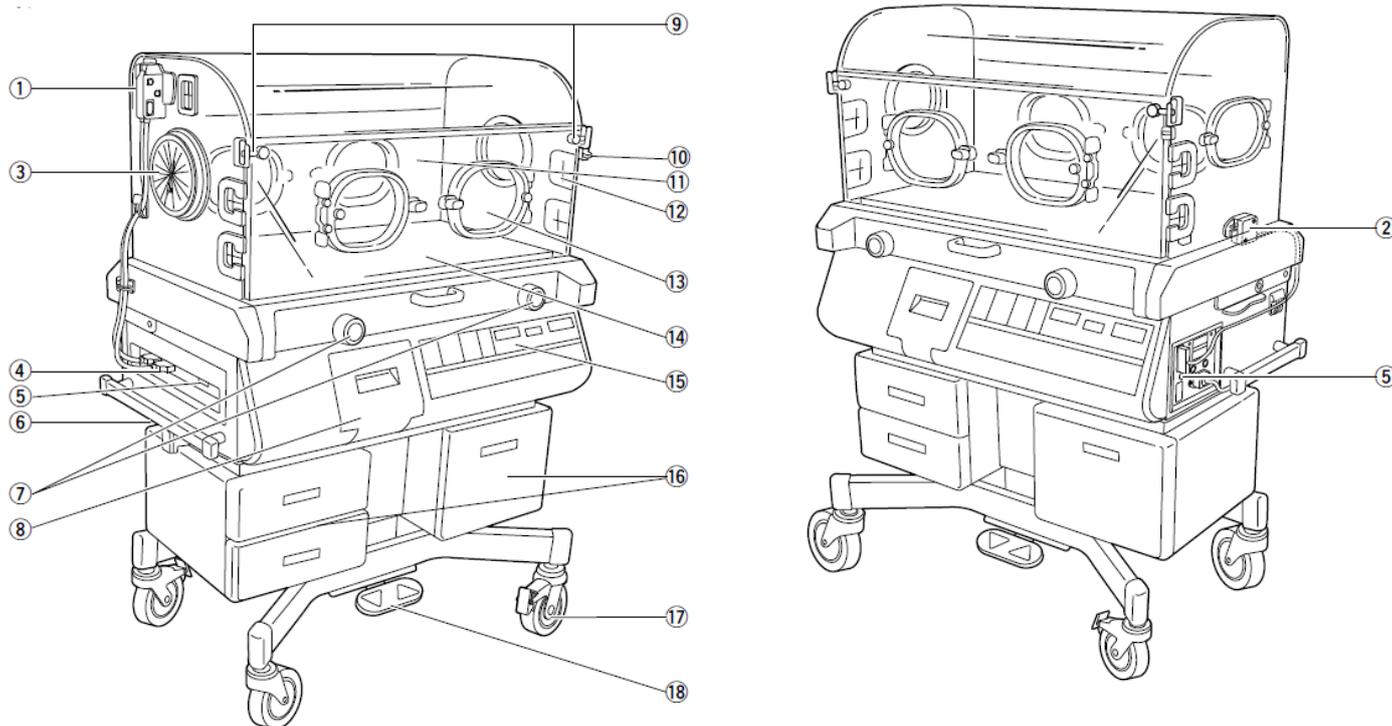
37. *IEEE Standard 100 Dictionary of thermos Standards IEEE*, Sétima Edição, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, New York, 2000; ISBN 0-7381-2601-2; página 288.
38. Nepomuceno LX. *Acústica*, São Paulo, Editora Edgar Blucher, 1997.
39. Rui LR, Stefanni MH. *Física: som e audição humana*. Mestrado profissional em ensino de física – UFRGS, 2006, disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30450/000675255.pdf>, Acesso em 23/01/ 2014.
40. Gerges SNY. *Ruídos – Fundamentos e Controle*, 2ª Edição, Santa Catarina, Editora NR, 2000.
41. Corrêa AL. *Ruído Níveis de Pressão Sonora Captados No interior e Exterior de Incubadora em Unidades de Cuidados Intensivos Neonatais*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale da Paraíba, 80fl.:il 30cm. São José dos Campos: Univap, 2005.
42. Bear FM et. al. *Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso*. Porto Alegre: Artmed, 2002, p. 351 – 392.
43. Freeman IM. Tradução: Carvalho, Napoleão de; *Som e Ultrassom*; Distribuidora Record, 2ª Edição, Rio de Janeiro, 1964, p. 09, 23 – 25, 28 – 30.
44. Grimshaw, C. Stringer J. Tradução: Monteiro, Henrique Amat Rego; *Som*; Editora Callis, 1ª Edição, 1998, Espanha, p. 05 – 10, 23, 24 – 31.
45. Fernandes M, Morata TC. *Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração*. Rev. Bras.
46. Loyola AJ. *Emissões Otoacústicas e a Detecção Precoce da Deficiência Auditiva em Recém-Nascidos*. Monografia de conclusão do curso de Especialização em Audiologia Clínica. Goiânia, 1999.
47. *Manual de Incubadoras Aton. Modelo V 2100G Infant - Incubator; Operation Manual – Atom Medical Corporation*, 3 – 18 – 15, Hongo, Bunkio-Ku, Japan, 2004.
48. Nestor A. *Sistema computadorizado para verificação da funcionalidade em incubadoras neonatal*, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Elétrica, Florianópolis, setembro, 2003.
49. Brito Neto JO. *Controle Multivariável de Temperatura e Umidade Aplicado em Incubadoras Neonatais*. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

50. Costa E JL. Análise Crítica de Incubadoras Neonatais a Partir de Medições de Parâmetros dos Ambientes Interno e Externo. Tese de Doutorado, UFPB. João Pessoa-PB. 2009.
51. Almeida ABL, Moraes JF, Monteiro RA, Monteiro YPB. Sistema de monitoramento de incubadoras neonatais, IESAM – Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – Av. Gov. José Malcher, 1148 Belém – Pará – Brasil.
52. Oliveira AC, Silva EHAA, Alves AML. Desmame precoce em prematuros participantes do método mãe canguru. Rev Soc Bras Fonoaudiol. 2007;12(1):23-8.
53. Costa E JL, Freire RCS, Silva JBA, Cursino CMP, Galvão RRA. Uso Adequado de Incubadora Neonatal na Assistência em Saúde. VIII SEMETRO. João Pessoa, PB, Brasil, jun 17-19, 2009.
54. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 60601-2-19. Equipamento Eletro médico – Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras de recém-nascidos. NBR IEC 60601-2-19 – Emenda 1. Rio de Janeiro, 2014.
55. Marins JCB. Mecanismos físicos de perda de calor e fatores associados relacionados ao exercício. Departamento de Educação Física - Universidade Federal Viçosa. R. min. Educ. Fls., Viçosa, 6(2): 5-20, 1998.
56. Schneider PSS. Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos. Medições Térmicas - ENG03108, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Setembro de 2000; Revisado 2003-1; 2005-1; 2007-2; 2009-2, 2011-2 Porto Alegre - RS – Brasil.
57. Pinheiro EM, Guinsburg R, Nabuco MAA, Kakehashi TY. Ruído em unidade de cuidados intensivos neonatais e dentro da incubadora. Rev. Latino-am Enfermagem Vol. 19 no. 5 Ribeirão Preto. Setembro/Outubro. 2011. Disponível em: <http://DX.Doi.org/10.1590/s0104-11692011000500020>
58. Rodarte MDO, Scochi CGS, Leite AM, Fujinaga CI, Zamberlan NE, Castral TC. O Ruído Durante a Manipulação das Incubadoras: Implicações para o Cuidado de Enfermagem. Rev. Latino-Americana de Enfermagem, 2005. 13(1): 79 – 85.
59. Rodarte MDO. Exposição e Reatividade do Prematuro ao Ruído Intenso Durante O Cuidado em Incubadora. Tese de Doutorado apresentada a Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto/USP. 204 folhas, 2007.
60. Amado BCT, Almeida EOC, Berni PS. Prevalência De Indicadores de Risco Para Surdez em Neonatos em Uma Maternidade Paulista. Rev Cefac, v.11, Supl1, 18-23, 2009.
61. Long JG, Lucey JF, Philip AGS. Noise and hypoxemia in the intensive care. Pediatrics, 1980, 65: p. 143-145.

62. Philbin M K, Robertson A, Hall JW. Recommended Permissible Noise Criteria for Occupied, Newly Constructed or Renovated Hospital Nurseries. J PERINATOLOGY, 1999: 19(8) Part 1, p. 559-563.
63. Nema Standarts Publication N° MG 1-1993, "Motors and generators", National Electrical Manufacturers Association – NEMA, 1993.
64. Agnaldo R M Rodrigues. Aspectos Normativos Referentes aos Ensaio de Ruído em Máquinas Girantes Adotados pela WEG - cq-lab1@weg.com.br. Seção de Controle de Produtos I – WMO.
65. http://r.search.yahoo.com/_ylt=A2KLj9PHZmNXM20Aw9Gmw4IQ;_ylu=X3oDMTBxNG1oMmE2BHNIYwNmcC1hdHRyaWIEc2xrA3J1cmwEaXQD/RV=2/RE=1466160967/RO=11/RU=http%3a%2f%2fneuropsicopedagogianasaladeaula.blogspot.com%2f2013%2f01%2fa-perda-auditiva-pode-acelerar-o.html/RK=0/RS=QyjkX3.9maGTNXI34.EdxpfD1JA-
66. Webster, J. G. (Editor-in-chief). The Measurement Instrumentation and Sensors Handbook. CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, FL 33431.
67. Bistafa, S. R.: Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. 1.ed Edgard Blücher, Ltda., 368p, 2006.
68. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Decibel%C3%ADmetro>; acesso em 16/06/2016, 23:48 horas

ANEXOS

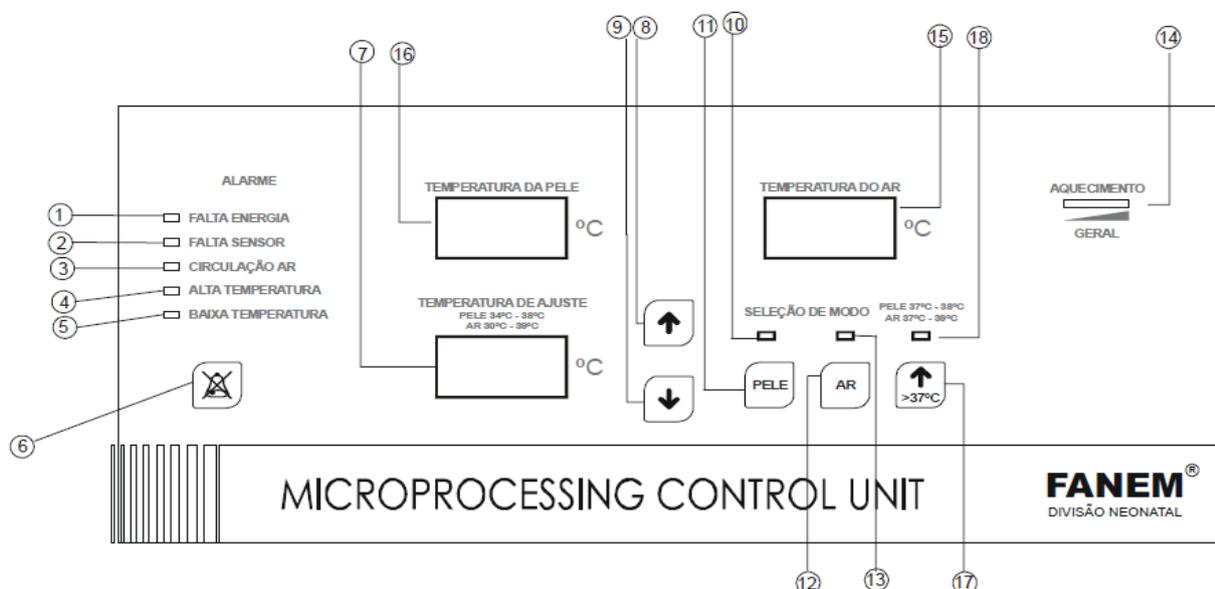
Anexo 1 - FIGURA 1: PARTES CONSTITUINTES DE UMA INCUBADORA NEONATAL



Nº	NOME	Nº	NOME
1	MÓDULO SENSOR (TIPO B, C)	10	ALAVANCA DA TRAVA DO PAINEL FRONTAL DE ENTRADA
2	MÓDULO SENSOR (TIPO A)	11	PAINEL DA ENTRADA FRONTAL
3	PORTTA DE ACESSO "TIPO IRIS"	12	GUARNIÇÃO DE SILICONE PARA A PASSAGEM DE TUBOS
4	CONEXÃO	13	PORTINHOLA DE ACESSO
5	CHAVE DE TESTE	14	COLCHÃO
6	"PUXADOR"	15	PAINEL DE CONTROLE
7	BOTÕES DE MOVIMENTAÇÃO DA PLATAFORMA DO COLCHÃO	16	GAVETAS
8	TAMPA DA CÂMARA DE UMIDIFICAÇÃO	17	RODÍZIOS
9	BOTÕES DA TRAVA DO PAINEL FRONTAL DE ENTRADA	18	PEDAL DE ELEVAÇÃO

ANEXO 1: (a): Partes uma incubadora neonatal. (b) Nomenclatura das partes de uma Incubadora Neonatal Fonte: Manual de Incubadora Aton⁽⁴⁵⁾.

Anexo 2 - FIGURA 2: DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DE UMA UNIDADE CONTROLADORA MICROPROCESSADA-UCM



Nº	NOME	Nº	NOME
1	LED DE INDICAÇÃO DO ALARME DE "FALTA ENERGIA"	10	LED DE INDICAÇÃO DO "MODO PELE"
2	LED DE INDICAÇÃO DO ALARME DE "FALTA SENSOR"	11	TECLA DE SELEÇÃO DO "MODO PELE"
3	LED DE INDICAÇÃO DO ALARME "FALTA VENTILAÇÃO"	12	TECLA DE SELEÇÃO DO "MODO AR"
4	LED DE INDICAÇÃO DO ALARME "ALTA TEMPERATURA" (Pele/Ar)	13	LED DE INDICAÇÃO DO "MODO AR"
5	LED DE INDICAÇÃO DO ALARME "BAIXA TEMPERATURA" (Pele/Ar)	14	LED DE INDICAÇÃO DE "AQUECIMENTO" DA RESISTÊNCIA
6	TECLA DE "INIBIR SOM" DOS ALARMES	15	DISPLAY DE INDICAÇÃO DE "TEMPERATURA DO AR e/ou (SENSOR AUXILIAR)"
7	DISPLAY DE "AJUSTE DE TEMPERATURA" (Pela/Ar)	16	DISPLAY DE INDICAÇÃO DE "TEMPERATURA DA PELE"
8	TECLA DE "ACRÉSCIMO" DA TEMPERATURA DE AJUSTE	17	TECLA DE AJUSTE DE TEMPERATURA (SUPERIOR A 37 °C)
9	TECLA DE "DECRÉSCIMO" DA TEMPERATURA DE AJUSTE	18	LED DE INDICAÇÃO DO AJUSTE DE TEMPERATURA (SUPERIOR A 37 °C)

ANEXO 2: (a): UCM de uma Incubadora Neonatal; (b) Nomenclaturas das funções da UCM.

Fonte: Manual de Incubadoras Fanem ⁽²²⁾.