



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



EDUARDO QUARESMA GONÇALVES

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2018

EDUARDO QUARESMA GONÇALVES

EQUIPAMENTO FOTOTERÁPICO COM CONTROLE DE POSICIONAMENTO E INTENSIDADE LUMINOSA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Fernando Bianchi

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Julho/2018

G635e Gonçalves, Eduardo.
Equipamento fototerápico com controle de posicionamento e intensidade
luminosa [manuscrito] / Eduardo Gonçalves. - 2018.

74f.: il.: color; grafs.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bianchi.
Coorientador: Prof. Dr. Gonçalves Eduardo.

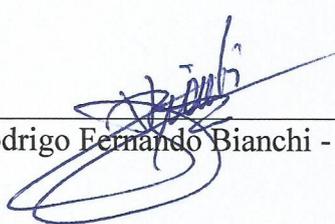
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas
Fundamentais.

1. Fototerapia. 2. Icterícia. 3. Controle de Posicionamento. I. Bianchi,
Rodrigo. II. Eduardo, Gonçalves. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV.
Titulo.

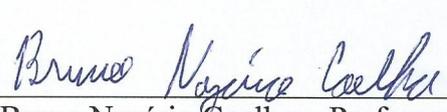
CDU: 681.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

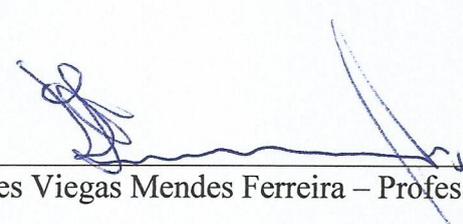
Monografia defendida e aprovada, em 31 de julho de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Rodrigo Fernando Bianchi - Orientador



Prof. Dr. Bruno Nazário Coelho – Professor Convidado



M.Sc. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Substituto Convidado

Aos meus pais por me dedicarem o tempo de suas vidas e me guiarem a este momento.

Ao meu irmão pelo exemplo e por me apresentar ao mundo acadêmico.

A Tayane por todo afeto e incentivo constante durante essa jornada.

“Remember to look up at the stars and not down at your feet. Try to make sense of what you see and wonder about what makes the universe exist. Be curious!”

(Prof. Stephen Hawking)

RESUMO

Desenvolver novas tecnologias e promover inovações que contribuam com a adaptação do ser humano ao mundo é parte da responsabilidade da engenharia, sempre considerando as possíveis questões ambientais envolvidas no processo. Nesta monografia de conclusão de curso é abordado o desenvolvimento de um equipamento portátil, para realizar, de maneira eficaz, o tratamento de fototerapia neonatal. O equipamento pode contribuir com a redução das taxas de complicações decorrentes da ineficiência de tratamentos fototerápicos com luz azul de recém-nascidos (RNs) ictericos. Dentre as complicações, podem-se citar o autismo secundário, surdez, cegueira, danos cerebrais e *kernicterus*. O equipamento desenvolvido é de alta eficiência, fácil manuseio, baixo custo e com monitoramento autônomo de posição, o que aumenta a efetividade do tratamento de fototerapia neonatal e contribui com a redução das taxas de complicações supracitadas. Para tanto, inicialmente desenvolveu-se um novo sistema de fototerapia que a partir da incidência de um feixe de luz vermelha é capaz de auxiliar os profissionais da área da saúde a otimizar a irradiância da frente de luz. Este equipamento recebeu o nome de Neofocus (patente: BR1020130284769) e posteriormente foi aperfeiçoado a um sistema de alta eficiência, com monitoramento autônomo de posição, a partir do acoplamento de sensores e um controlador, os quais permitem a exposição contínua do paciente e viabilizam o tratamento, tornando-o de alta eficiência. Por fim, esta monografia apresenta, também, uma proposta de continuidade para o projeto objetivando o incentivo à pesquisa acadêmica.

Palavras-chave: Fototerapia, Icterícia, Controle de Posicionamento, Atmega328p, Neofocus-D.

ABSTRACT

Developing new technologies and promoting innovations that contribute to human adaptation to the world is part of the engineering responsibility to the world, always considering the possible environmental issues involved in the process. In this course conclusion monograph will be approached the development of a portable equipment, to perform, in an effective way, the treatment of neonatal phototherapy. The equipment can contribute to reduce the complication rates originated by the inefficiency of phototherapy equipments with blue light in newborns. Among the complications, can be mentioned autism, deafness, blindness, brain damage and kernicterus. The equipment developed has high efficiency, it's easy to handle, is a low cost device and autonomous position monitoring, which increases the effectiveness of the phototherapy treatment and contributes to the complication rates reduction abovementioned. In order to do so, a new phototherapy system was developed that, based on a red-light beam incidence, is able to help health professionals to optimize the light's radiance. This equipment was named Neofocus (patent: BR1020130284769) and later it was improved to a high efficiency system with autonomous position monitoring, using ultrasound sensors and a controller, which allow the continuous patient exposure on the radiation center, making it highly efficient. Finally, this monograph also presents a continuity proposal for the project trying to encourage the academic research.

Keywords: Phototherapy, Jaundice, Positioning Control, ATMEGA328P, Neofocus-D.

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 3.1 - Cálculo da distância entre sensor e paciente.....	37
EQUAÇÃO 5.1 - Relação entre distância Neofocus/neonato e a distância real.....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Exemplo de recém-nascido: (a) Saudável; (b) Ictérico.	15
FIGURA 2.2 - Porcentagem de Recém-nascidos ictericos, Brasil e suas regiões, 2011.....	16
FIGURA 2.3 - Mecanismo de transformação da molécula de bilirrubina em um composto solúvel em água.	17
FIGURA 2.4 - Recém-Nascidos submetidos a um tratamento incorreto de fototerapia neonatal.....	17
FIGURA 2.5 - Exemplos de equipamentos de Fototerapia disponíveis no Brasil	18
FIGURA 2.6 - Variáveis que influenciam diretamente na eficiência dos tratamentos de Fototerapia Neonatal.....	19
FIGURA 2.7 - Comparação da eficiência das luzes azul, verde e vermelha na degradação da bilirrubina.	20
FIGURA 2.8 - Espectros de absorção da molécula de bilirrubina e emissão da Luz azul.	21
FIGURA 2.9- Exemplos de fatores que podem comprometer um tratamento de fototerapia adequado.....	22
FIGURA 2.10 - Mapa comparativo da intensidade da luz azul na superfície do corpo de um recém-nascido.....	23
FIGURA 3.1 - Princípio de operação do Neofocus.....	25
FIGURA 3.2 - Protótipo do Neofocus em operação.	26
FIGURA 3.3 - Princípio de operação do NeoFocus-D.....	28
FIGURA 3.4 - Circuito integrado 555 e sua pinagem padrão.	29
FIGURA 3.5 - Circuito integrado 555 em configuração astável.	29
FIGURA 3.6 - Placa experimental de fonte luminosa com oscilador.	30
FIGURA 3.7 - Pinagem do sensor de temperatura LM35.....	30
FIGURA 3.8 -Sensor e emissor ultrassônico HC-SR04.....	32
FIGURA 3.9 - Microcontrolador ATMEGA328p.....	33
FIGURA 3.10 - Servo Motor 9g implementado como atuador.	34
FIGURA 3.11 - Plataforma didática Arduino UNO.....	355
FIGURA 3.12 - Software de programação, Arduino IDE.....	355
FIGURA 3.13 - Lógica de conexão do microcontrolador e demais componentes.....	366
FIGURA 3.14 - Representação da reflexão do ultrassom.	366
FIGURA 3.15 - Fluxograma da lógica de funcionamento do sistema.	388

FIGURA 3.16 - Lógica de atuação do Neofocus-D.	399
FIGURA 3.17 - Dimensões do protótipo do Neofocus-D.	40
FIGURA 3.18 - Protótipo do Neofocus-D.	41
FIGURA 4.1 - Protótipo do Neofocus-D em operação.	422
FIGURA 5.1 - Relação entre distancia Neococus/neonato e deslocamento horizontal.	477

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 - Demonstrativo do decaimento da radiação de acordo com a distância do foco.....	277
GRÁFICO 4.1 - Comparativo do decaimento da radiação entre o sistema controlado e o sistema sem controle.....	433
GRÁFICO 4.2 - Regressão linear para o sistema sem controle.	433
GRÁFICO 4.3 - Regressão linear para o sistema com controle.....	444

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Descrição do Problema.....	12
1.2	Objetivo	12
1.3	Justificativa.....	12
1.4	Metodologia.....	13
1.5	Estrutura do Trabalho	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Sistemas de Fototerapia com LED's Azuis	18
2.2	Fatores que Influenciam na Qualidade do Tratamento Fototerápico	19
2.2.1	Espectro da Fonte de Luz	20
2.2.2	Intensidade Luminosa (irradiância) no RN	21
2.2.3	Distância e Posicionamento Entre o RN e a Fonte Luminosa.....	23
2.2.4	Variação da Irradiância com o Posicionamento	23
3	METODOLOGIA.....	1525
3.1	Componentes do Neofocus-D.....	28
3.1.1	Fonte Luminosa	28
3.1.2	Oscilador.....	288
3.1.3	Sensor de Temperatura	30
3.1.4	Sensor de Localização	31
3.1.5	Microcontrolador	32
3.1.6	Motor de Atuação	33
3.1.7	Componentes complementares	34
3.2	Programação	34
3.3	Confecção do Protótipo	39
4	RESULTADOS	42
5	PROPOSTA DE CONTINUIDADE.....	46

6	APLICABILIDADE.....	49
7	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO A	53

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas seis décadas a expectativa de vida do brasileiro aumentou de 48 para aproximadamente 75 anos de idade, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ao passo que esse crescimento sinaliza uma evolução social e econômica a demanda de investimento na área da saúde também cresce. A inovação tecnológica se apresenta como ferramenta para o aperfeiçoamento de equipamentos médicos e sua atenção deve estar voltada para todas as etapas da vida do ser humano, desde o seu nascimento.

1.1 Descrição do Problema

A icterícia neonatal é uma patologia que está presente em 2 de cada 3 recém-nascidos brasileiros. Seu tratamento incorreto pode resultar em complicações irreversíveis como, o autismo secundário, surdez, cegueira, danos cerebrais, *kernicterus* ou até mesmo o óbito.

Dentre as formas de tratamento mais eficientes destaca-se a fototerapia (tratamento à base de banhos de luz, capaz de sintetizar a molécula responsável pela icterícia). Diversas variáveis, interferem na eficácia do tratamento e, portanto, devem ser consideradas no projeto de um equipamento, sendo o posicionamento do recém-nascido sob a fonte de luz um fator comumente negligenciado tanto por fabricantes, quanto por profissionais da área da saúde.

1.2 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e aprimorar um equipamento portátil de fototerapia neonatal, de fácil manuseio e de baixo custo, para realizar de maneira eficaz e eficiente o tratamento de fototerapia, e reduzir as taxas de morbidade infantil decorrentes da icterícia.

1.3 Justificativa

Tal sistema de fototerapia busca aplicar os melhores parâmetros determinados na bibliografia para atender as variáveis que influenciam o tratamento, focando sua operação no controle e monitoramento do neonato sob a fonte de luz. Esse equipamento de baixo custo, poderá beneficiar, segundo o DATASUS 2011, *ca.* 293 mil RNs no Brasil, sendo destes, *ca.* 24 mil em Minas Gerais.

1.4 Metodologia

No Laboratório de Polímeros e Propriedades Eletrônica dos Materiais (LAPPEM) da UFOP foi desenvolvido um novo sistema de fototerapia, que a partir de um feixe de luz vermelha é capaz de auxiliar os profissionais da área da saúde a otimizar o posicionamento dos recém-nascidos frente à fonte de luz, o Neofocus (patente: BR1020130284769).

Posteriormente, esta mesma tecnologia foi aperfeiçoada a um sistema de alta eficiência, com monitoramento autônomo, a partir do acoplamento de sensores de posição e um controlador, denominado Neofocus-D.

Os resultados obtidos ao final deste trabalho demonstraram que a fabricação deste sistema pode não apenas substituir as versões de tratamentos de fototerapia neonatal existentes no mercado, mas como também, introduzir ao meio uma nova versão automatizada, de maior confiabilidade, e reduzir erros recorrentes do tratamento incorreto da doença.

Como incentivo à continuidade acadêmica desta pesquisa este trabalho visa também, baseado em toda metodologia aplicada até o momento, traçar uma nova linha de pesquisa que permita amplificar a eficiência do Neofocus-D contribuindo ainda mais para redução das taxas de morbidade infantil decorrentes desta enfermidade. Esta linha de pesquisa visa o controle simultâneo, não só do posicionamento, como feito até o momento, mas também da intensidade da fonte luminosa almejando a homogeneização da irradiância sobre corpo do neonato icterício independente do seu posicionamento sob o equipamento.

1.5 Estrutura do Trabalho

A estrutura desta monografia é composta por sete capítulos e referência bibliográfica. No primeiro capítulo é realizada uma introdução sobre o trabalho; o objetivo da pesquisa é apresentado, assim como uma visão superficial da metodologia aplicada e a estrutura de apresentação do texto. No capítulo seguinte é apresentada toda a revisão da literatura realizada em etapa inicial, descrevendo a patologia, as principais formas de tratamento e os principais fatores que interferem diretamente no tratamento da hiperbilirrubinemia.

O terceiro capítulo detalha a metodologia aplicada descrevendo o processo de desenvolvimento dos dois protótipos construídos no decorrer da pesquisa. Em sequência, o quarto tópico trata dos resultados alcançados, apresentando gráficos de desempenho realizados em laboratório levando a constatar que a tecnologia desenvolvida pode contribuir

positivamente para a melhoria do tratamento. O quinto capítulo propõe, como forma de incentivo a pesquisa, a continuidade do trabalho através de uma nova abordagem que poderá levar o tratamento fototerápico a resultados ainda melhores.

Objetivando justificar o esforço dedicado a esta pesquisa, o sexto tópico descreve a aplicabilidade do Neofocus-D no mercado atual, dando ênfase a possíveis parcerias com programas do governo de Minas Gerais e estimando o positivo impacto que a inserção dessa tecnologia poderia gerar. Por fim, o sétimo capítulo apresenta as considerações finais e reafirma a expectativa de que esta pesquisa venha a contribuir para a redução das taxas de morbidade e mortalidade infantis decorrente da icterícia neonatal.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A icterícia é uma das patologias neonatais que tem recebido grande atenção nos últimos anos por ser um dos problemas mais comum encontrado em recém-nascidos (RN). Atualmente, cerca de 60 a 70% dos neonatos a termos¹, com 37 semanas de gestação ou mais, e de 80 a 90% dos bebês pré-termos², apresentam icterícia nas suas primeiras semanas de vida. Ela é decorrente do aumento da concentração sérica de bilirrubina, *i.e.*, no sangue, a qual se trata de um pigmento alaranjado, que causa o amarelamento da pele do recém-nascido, como mostrado na figura 2.1. Quando os níveis de bilirrubina excedem 5 mg/dL, o recém-nascido passa a ser diagnosticado com hiperbilirrubinemia neonatal, doença que pode acarretar em morbidades como autismo secundário, surdez, cegueira, danos cerebrais e *kernicterus*³, além de poder levar o RN ao óbito.

Segundo o Departamento de Informática do SUS (2011) – DATASUS, 1.839.220 recém-nascidos brasileiros apresentam icterícia em seus primeiros dias de vida, sendo 293.371 os RNs expostos à fototerapia com riscos de neurotoxicidade, cegueira, autismo secundário, surdez, paralisia cerebral, *kernicterus* e óbito. Destes, 8% (*i.e.* 23.649 RNs) encontram-se em Minas Gerais, 8% na região Centro-Oeste, 11% na região Norte, 13% na região Sul, 29% no Nordeste e 39% no Sudeste, como observado na. Figura 2.2.



FIGURA 2.1 - Exemplo de recém-nascido: (a) Saudável; (b) Ictérico.

¹ Recém-nascido cuja idade gestacional está entre 37 semanas e 41 semanas.

² Recém-nascido com menos de 37 semanas de idade gestacional.

³ Complicação da icterícia que provoca lesões no cérebro do recém-nascido.

A mortalidade neonatal associada à icterícia e suas complicações é de 0,1%, mas pode chegar, segundo outras estatísticas mundiais, a 10% dos RNs icterícios em regiões de extrema pobreza, como o Vale do Jequitinhonha.

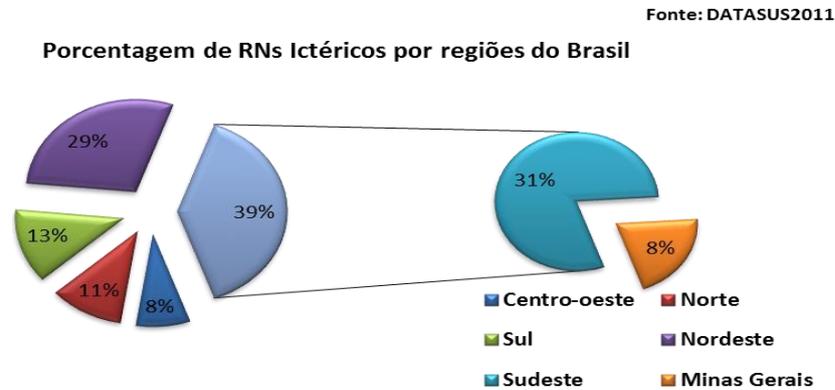


FIGURA 2.2 - Porcentagem de Recém-nascidos icterícios, Brasil e suas regiões, 2011.

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011

Em linhas gerais, existem três formas de tratamentos para a icterícia, sobretudo da hiperbilirrubinemia, a saber: tratamento farmacológico, exsanguineotransfusão e fototerapia, sendo as duas primeiras menos viáveis devido à agressividade, à alta invasão ao organismo do RN e a complexidade/alto custo. Neste contexto:

- o tratamento farmacológico consiste na utilização de fármacos para diminuir a produção de bilirrubina pelo organismo do RN, reduzindo então, sua concentração no sangue. Esse é um tratamento efetivo, porém agressivo ao organismo do RN, principalmente ao fígado, devido à alta sensibilidade que estes apresentam;
- a exsanguineotransfusão tem como objetivo principal remover o excesso de bilirrubina sérica do organismo, através de transfusão de sangue, sendo possível diminuir os efeitos de toxicidade da doença. Este é um procedimento utilizado em casos extremos e pode ocasionar, por exemplo perfuração vascular e enterite necrosante sendo, portanto, possivelmente traumática ao RN;
- a fototerapia consiste em expor o RN a banhos de luz azul para reduzir consideravelmente a concentração de bilirrubina sérica do neonato. A radiação emitida por equipamentos fototerápicos interage com a bilirrubina e promove a decomposição fotoquímica dessa molécula. Isso ocorre principalmente nos tecidos extra vasculares com até 1 mm de distância da superfície da pele da criança. Os produtos originados

através da decomposição deste composto são solúveis em água, sendo excretados pela urina e suor do neonato.

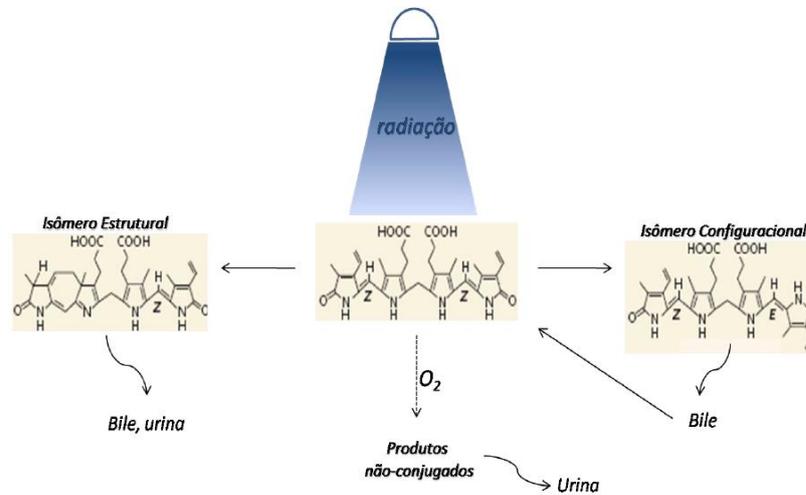


FIGURA 2.3 - Mecanismo de transformação da molécula de bilirrubina em um composto solúvel em água.

Fonte: MAISELS, M. J. e MCDONAGH, A. F., 2008

Por sua viabilidade, custo e segurança, a fototerapia é o procedimento terapêutico mais utilizado no tratamento da hiperbilirrubinemia neonatal. Entretanto, a efetividade deste tratamento depende de vários fatores, tais como a intensidade da luz emitida pelo aparelho, a irradiância, a potência, além de inúmeros problemas que interferem em sua qualidade, os quais serão discutidos a posteriormente.



"A eficácia da fototerapia é muito influenciada pelas habilidades, conhecimentos e atenção aos detalhes por parte do profissional da saúde que submete os Recém-Nascidos a este tratamento", Stokowski (2011).

FIGURA 2.4 - Recém-Nascidos submetidos a um tratamento incorreto de fototerapia neonatal.

Fonte: <http://www.sigmaaldrich.com/sigma-aldrich/home.htm>

2.1 Sistemas de Fototerapia com LED's Azuis

Atualmente são vários os equipamentos de fototerapia existentes no mercado (Figura 2.5). A diferença entre eles é o tipo, a quantidade e a qualidade das lâmpadas utilizadas, bem como sua potência luminosa.

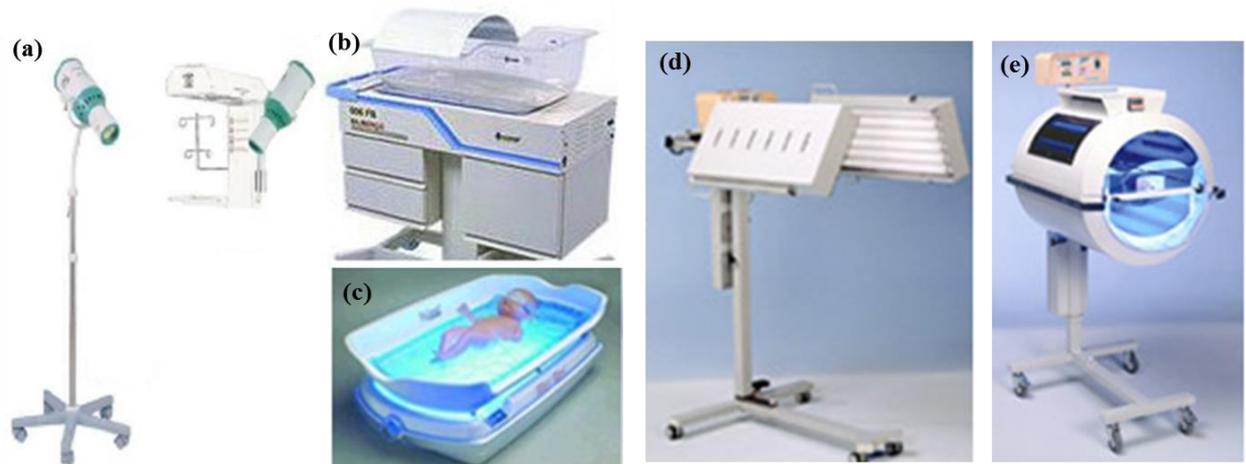


FIGURA 2.5 - Exemplos de equipamentos de fototerapia disponíveis no Brasil: (a) Lâmpadas halógenas $34 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$; super LEDs $65 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$: (b) e (c); Lâmpadas halógenas: (d) 8 brancas $24 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ e (e) 8 azuis $34 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$.

Dentre todos os equipamentos de fototerapia utilizados no Brasil, os que aplicam super LEDs azuis como fonte de irradiação são os mais indicados para tratamentos fototerápicos. Em geral, tais sistemas emitem radiação azul com comprimento de onda em torno de 460 nm e irradiância $40 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, quando posicionados a 30 cm do neonato. Tais equipamentos, quando posicionado acima do RN, podem ter seus ângulos de incidência alterados, o que resulta em uma diminuição da irradiância efetiva administrada no neonato, resultando em um tratamento ineficiente.

Para o melhor aproveitamento da irradiância, é recomendado que o foco da luz seja ajustado em uma forma elíptica de incidência. Entretanto, esse ajuste do foco sobre o recém-nascido não é simples, já que não existem no mercado equipamentos que indiquem um ponto de referência da região de maior incidência da luz azul em sua forma elíptica e que se movimentem de maneira autônoma, reconhecendo e direcionando o equipamento para essa região.

2.2 Fatores que Influenciam na Qualidade do Tratamento Fototerápico

Após a constatação da eficácia da fototerapia no tratamento da icterícia, muitos equipamentos foram desenvolvidos a partir de diferentes metodologias e propostas conceituais. Infelizmente, muitas variáveis influenciam na qualidade terapêutica desse processo (Figura 2.6), podendo limitar os resultados do tratamento. Ou seja, a utilização inapropriada ou inadequada de fontes de iluminação, bem como a remoção e o bloqueio do RN da fonte de luz, torna o procedimento fototerápico pouco efetivo ou nulo.

Infelizmente, a influência destes fatores ainda é desconhecida, ignorada ou negligenciada por muitos profissionais da área da saúde. Para o desenvolvimento desse projeto, diversas questões foram levantadas com o objetivo de aperfeiçoar e controlar os parâmetros de qualidade desse tratamento, as quais são elencadas nas subseções a seguir.

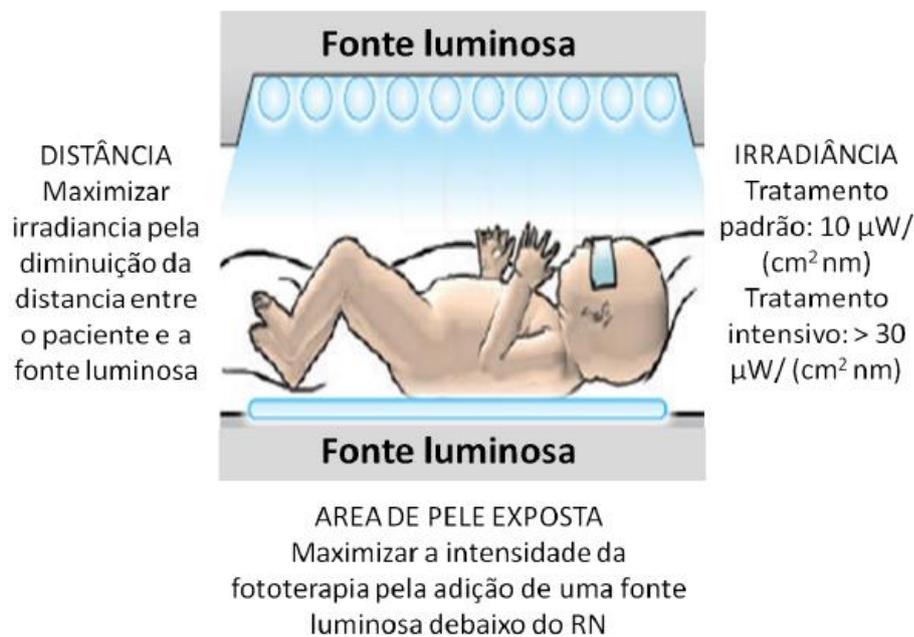


FIGURA 2.6 - Variáveis que influenciam diretamente na eficiência dos tratamentos de Fototerapia Neonatal.

Fonte: SILVA, 2011

2.2.1 Espectro da Fonte de Luz

Inicialmente, o tratamento de fototerapia neonatal era realizado com a utilização da luz branca. Apesar de ter despertado os olhares da ciência, estudos posteriores comprovaram que ela não era o tipo de luz mais adequada para tal procedimento, uma vez que a banda de absorção da bilirrubina (400 – 500 nm) é estreita, quando comparada a banda de emissão da luz branca (380 – 700 nm). Neste contexto, diante da limitação da utilização da luz branca na fototerapia, pesquisas foram desenvolvidas a fim de encontrar fontes luminosas mais eficazes no tratamento e conseqüentemente na diminuição dos níveis séricos da bilirrubina. Esses estudos revelaram inicialmente que a luz verde poderia ser considerada uma alternativa viável para esse tratamento, pois sua banda de emissão (525 – 550 nm) é próxima a banda de absorção da bilirrubina. Entretanto, essa fonte de luz não é a melhor para este tipo de tratamento, dado que o pico de absorção da bilirrubina não se encontra na banda de emissão da luz verde.

O segmento de estudos em busca de uma melhor fonte de irradiância apontou a luz azul como a mais efetiva, já que, sua banda de emissão (400 - 500 nm, 450 nm máx.) é semelhante à da bilirrubina. Segundo Siqueira e Cardoso, ao se dividir a luz branca e realizar uma análise separadamente dos espectros da luz no visível, é possível avaliar qual a frequência em que bilirrubina é degradada com maior eficiência. Dentre as luzes visíveis azul, verde e vermelha (Figura 2.7), a primeira possui maior eficiência energética para a degradação e expõe o paciente a menor energia luminosa, sendo a mais indicada para os tratamentos de fototerapia neonatal.

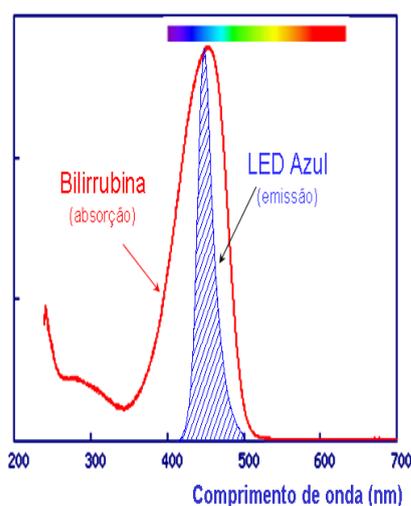


FIGURA 2.7 - Comparação da eficiência das luzes azul, verde e vermelha na degradação da bilirrubina.

Ademais, a luz azul possui mais energia na faixa de absorção da bilirrubina quando comparada às demais, o que facilita e potencializa o processo de degradação desta molécula, conforme a figura 2.8.

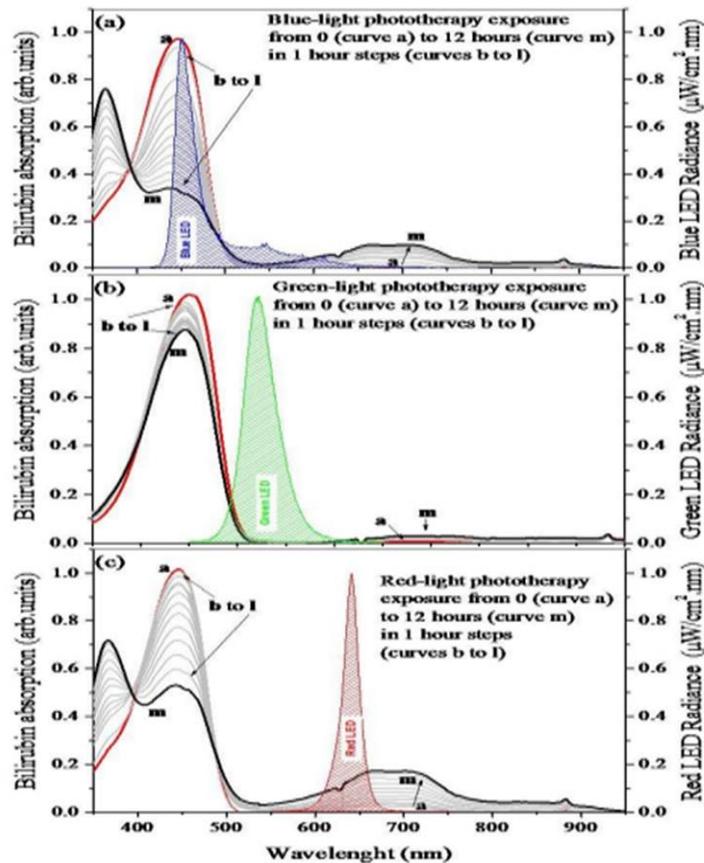


FIGURA 2.8 - Espectros de absorção da molécula de bilirrubina e emissão da Luz azul.

Fonte: SILVA, 2011

Portanto, conforme discutido, conclui-se que os LEDs azuis são candidatos promissores para a fabricação de equipamentos de fototerapia neonatal, pois os seus espectros coincidem com os espectros da bilirrubina.

2.2.2 Intensidade Luminosa (irradiância) no RN

O controle do nível da irradiação administrada ao paciente é de fundamental importância para a efetividade do tratamento de fototerapia neonatal (Figura 2.9). Visto que a irradiância subterapêutica é de $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, infelizmente um grande número de equipamentos utilizados para o tratamento no Brasil atua completamente fora dos padrões adequados de

qualidade. Um exemplo foi um levantamento de dados realizados em hospitais de São Paulo, os quais identificaram equipamentos de fototerapia operando com potências luminosas de variações entre $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ e $3,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. Outro estudo realizado em uma rede pública de hospitais do Rio de Janeiro mostrou que a média da potência luminosa emitida por 102 equipamentos testados, era de aproximadamente $2,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$.

Até então, não é conhecido nenhum levantamento ou estudo em Minas Gerais, que divulgue informações das reais condições de trabalho dos profissionais da área de saúde ou, até mesmo, dos equipamentos utilizados para os tratamentos de fototerapia. Os fatores listados acima demonstram a necessidade de um melhor controle da radiação aplicada ao tratamento.

Os principais fatores que interferem na intensidade de radiação administrada ao recém-nascido e, conseqüentemente, comprometem o tratamento fototerápico são a distância e o posicionamento do neonato, utilização de fontes de luz adequadas (como discutido a seguir), além da presença de barreiras que limitam a incidência da luz no RN (fraldas grandes, incubadora, dentre outros) e o tempo de vida das lâmpadas, conforme representado na Figura 2.9.

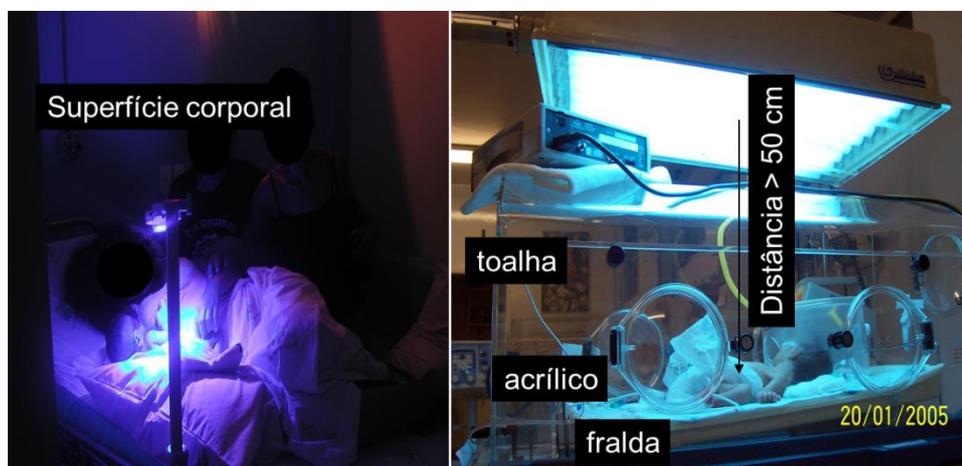


FIGURA 2.9- Exemplos de fatores que podem comprometer um tratamento de fototerapia adequado.

Fonte: SILVA, 2011

2.2.3 Distância e Posicionamento Entre o RN e a Fonte Luminosa

Um dos principais fatores que interfere diretamente na qualidade do tratamento fototerápico é a distância entre o neonato e a fonte de irradiação da luz. Cada equipamento possui uma especificação sobre esse quesito. A distância mínima estabelecida por grande parte dos fabricantes é de aproximadamente 30 cm, o que garante a integridade física do neonato, minimiza as possibilidades de superaquecimento corporal e queimaduras que podem ser ocasionadas por diversas lâmpadas inadequadas utilizadas nesse tratamento. Portanto, como a irradiância sobre o RN aumenta de acordo com aproximação da fonte luminosa, é possível concluir que sistemas fototerápicos que utilizam lâmpadas de alta potência e mínimo aquecimento, resultam em melhores resultados e na possibilidade do posicionamento mais próximo do neonato.

2.2.4 Variação da Irradiância com o Posicionamento

Dentre os vários fatores que influenciam a efetividade da fototerapia, o posicionamento do RN em relação ao ponto de maior irradiância, é um dos mais importantes, conforme ilustrado na Figura 2.10. Mesmo que o aparelho apresente todas as características capazes de otimizar a fototerapia, caso o posicionamento do neonato estiver incorreto, o tratamento será menos efetivo ou até mesmo ineficaz, dependendo da distância.

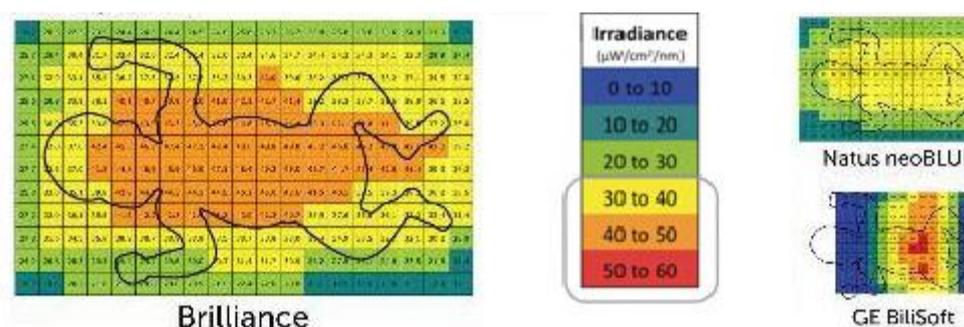


FIGURA 2.10 - Mapa comparativo da intensidade da luz azul na superfície do corpo de um recém-nascido.

Fonte: www.phoenixmedicalsystems.com

Devido à impossibilidade de apontar o centro da radiação dos equipamentos, não existia até o momento dados que ilustrassem o decaimento da radiação conforme se afaste o recém-nascido do foco. Entretanto, estimava-se que essa variação poderia chegar na maioria dos casos em até 30% de uma extremidade à outra do corpo do indivíduo. Isso comprova a

importância do controle do posicionamento do neonato perante o foco de luz da fototerapia na região de maior importância para o tratamento: o tórax.

Após a apresentação dos fatores que interferem na qualidade do tratamento fototerápico, pode-se sugerir que milhares de neonatos icterícos estão recebendo atendimento sem garantias de qualidade no Brasil. Nesse contexto, as possíveis falhas operacionais, a falta de controle, os eventos adversos e os malefícios causados pelo uso incorreto de sistemas fototerápicos deixam clara a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que possam direcionar a irradiância máxima dos equipamentos no tórax do RN, além de monitorar a dose de irradiação administrada pelo paciente.

3 METODOLOGIA

A conclusão desse projeto se deu pela construção de dois protótipos eficientes e de baixo custo, capazes de otimizar o tratamento de fototerapia neonatal. Também, apresentou-se uma proposta de continuidade a afim de instigar o aprimoramento contínuo do sistema, garantindo que o neonato receba a maior quantidade de luz possível.

O conceito do primeiro protótipo, denominado Neofocus, consiste em um equipamento que, além de fornecer o banho de luz azul ao recém-nascido icterício, projeta um feixe de luz vermelha indicando o centro da radiação. Esse feixe pode ser usado como referência para o correto posicionamento do recém-nascido sob a fonte de fototerapia, resultando no maior aproveitamento da radiação fornecida. Um esquema ilustrativo da operação do Neofocus é exibido na Figura 3.1:

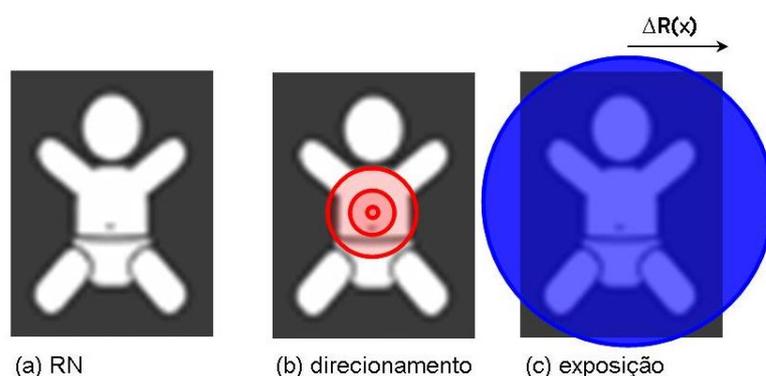


FIGURA 0.11 - Princípio de operação do Neofocus. Em (a) tem-se o RN; em (b) tem-se o direcionamento de uma fonte de luz vermelha, tipo foco, para posicionamento do RN nas melhores condições de irradiância e, finalmente, em (c) a exposição otimizada de irradiância ao RN.

Fonte: Própria (2018)

Para a construção deste protótipo foi elaborado um circuito chaveado alternando entre o estado de operação, composto por vinte e oito LED's azuis, e um estado de orientação onde o feixe de luz vermelha é acionado.

Após simulações em softwares, testes em *protoboard* e construção do circuito em placa de fenolite, o dispositivo foi montado e acoplado em gabinete dando finalização a primeira etapa deste projeto:



FIGURA 0.12 - Protótipo do Neofocus em operação.

Fonte: Própria (2018)

No primeiro momento, os testes com o protótipo foram satisfatórios, uma vez que o conceito de orientação se mostrou eficiente no auxílio do tratamento para icterícia, garantindo um sistema de alto desempenho. Os resultados demonstraram que a inovação aplicada se mostrou efetiva apontando um potencial de mercado que justificou o registro de patente (BR1020130284769) ao final dessa etapa do projeto. Ela se encontra no final desta monografia, no anexo A.

Sendo obtida com êxito a indicação do centro da radiação, esta tecnologia possibilitou também um estudo preciso do decaimento da radiação com o distanciamento da referência.

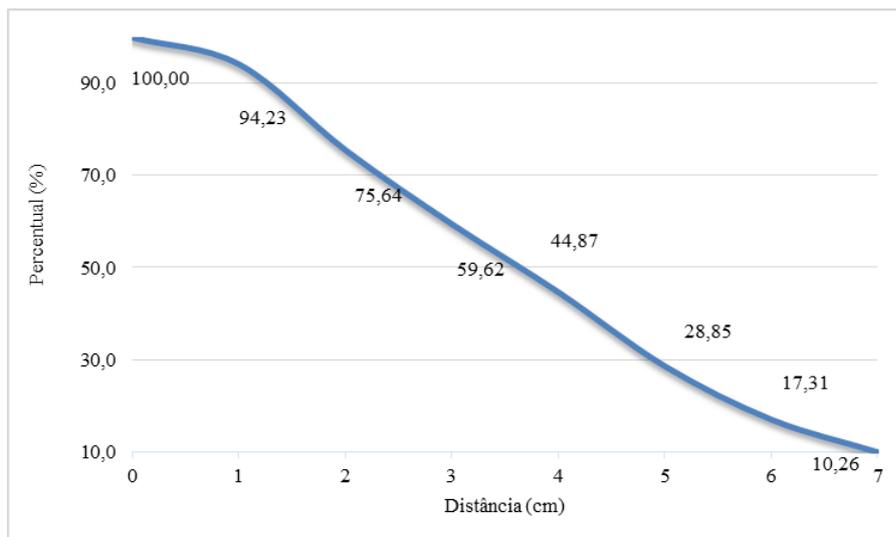


GRÁFICO 0.1 - Demonstrativo do decaimento da radiação de acordo com a distância do foco.

Fonte: Própria (2018)

Dependendo da distância entre a fonte de luz e o neonato, um deslocamento radial de apenas 3 centímetros do centro pode comprometer sua eficiência em até 40%, aproximadamente, o que reforça a necessidade do controle de posicionamento do RN sob a fonte de luz (Gráfico 3.1).

Apesar do Neofocus ser uma eficiente ferramenta no tratamento da hiperbilirrubinemia, para que a eficácia da fototerapia seja garantida, é necessário o acompanhamento contínuo de profissionais, pois, caso o recém-nascido se desloque dentro da incubadora, algum responsável, utilizando o feixe de referência, deverá corrigir o posicionamento do paciente sob a fonte de luz. Isso significa que, apesar da indicação do posicionamento ideal, a ausência de um profissional para monitorar a operação pode comprometer a efetividade do tratamento.

Buscando solucionar esta limitação, foi proposto um equipamento de fototerapia não somente capaz de indicar o centro da radiação, mas também de atuar no tratamento corrigindo possíveis erros de posicionamento do recém-nascido sob a fonte de luz, sem o auxílio de profissionais da área de saúde. Foi nesta proposta do direcionamento autônomo da fonte de luz que Neofocus-D, o segundo protótipo deste projeto, foi fundamentado (Figura 3.3).

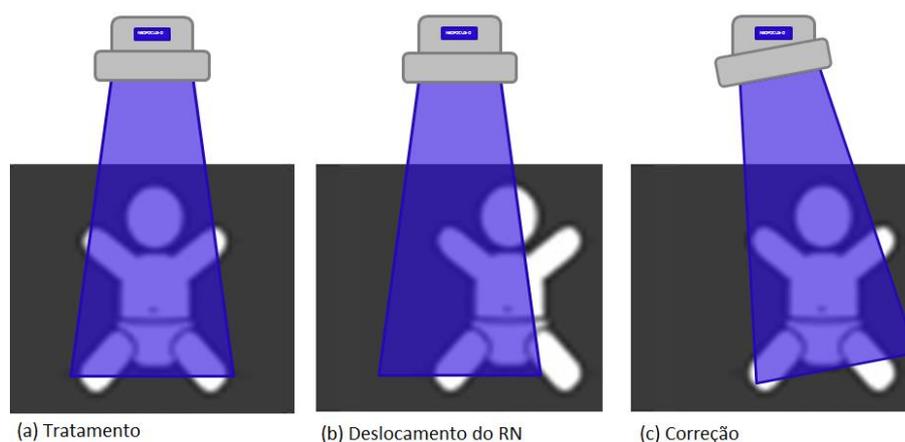


FIGURA 0.13 - Princípio de operação do Neofocus-D. Em (a) Tem-se o RN sob a fonte de luz ; em (b) tem-se o deslocamento do RN para um dos lados; e em (c) tem-se, como resposta ao deslocamento, a rotação do eixo de operação do equipamento em relação ao recém-nascido, garantindo a máxima radiação de luz sobre o paciente.

Fonte: Própria (2018)

Essa nova fase da pesquisa contou com a colaboração da professora Dra. Melissa Fabíola Siqueira Savedra e do aluno João Henrique Rocha Matos. Para o desenvolvimento do novo protótipo, o projeto passou por etapas de estudo dos componentes ideais para o sistema, desenvolvimento da programação, confecção do protótipo e testes de desempenho, que serão discutidos na próxima seção.

3.1 Componentes do Neofocus-D

3.1.1 Fonte Luminosa

Com o objetivo de criar um produto que atendesse a proposta do projeto, garantisse uma alta efetividade no tratamento e exigisse um baixo custo de fabricação, quando comparado aos outros modelos oferecidos no mercado, após testes e avaliações, optou-se pela utilização de Diodos Emissores de Luz (LED's) na fabricação do equipamento. Essa escolha foi baseada por possuírem maior vida útil que outras fontes de luz e por, emitirem uma quantidade mínima de calor, o que elimina riscos de queimaduras, garantindo a integridade do recém-nascido.

3.1.2 Oscilador

Para consumir menos energia elétrica optou-se pelo uso de um oscilador, tendo, assim, um ciclo de operação ligado e desligado. Além disso, o sistema reduziria, também, o aquecimento dos LED's e, conseqüentemente, aumentaria a integridade do recém-nascido.

Como opção viável foi utilizado como oscilador um circuito integrado (CI) 555 (Figura 3.4).

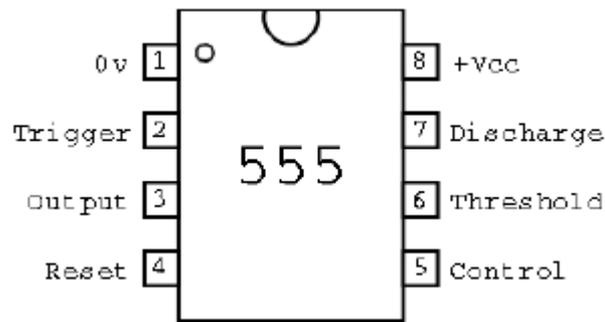


FIGURA 0.14 - Circuito integrado 555 e sua pinagem padrão.

Fonte: Própria (2018)

O CI 555 foi escolhido por possuir as funções de operação astável e monoastável, que emitem, como saída, ondas quadráticas. A função astável controla o tempo dos degraus de subida e descida em função das resistências e do capacitor do circuito, o que possibilita o dimensionamento do ciclo de operação dos LED's, como exemplifica a Figura 3.5.

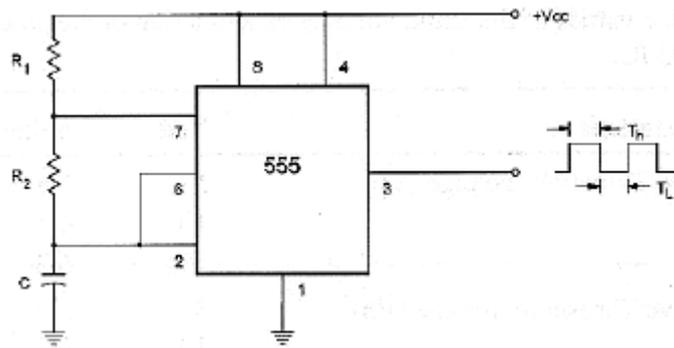


FIGURA 0.15 - Circuito integrado 555 em configuração astável.

Fonte: Própria (2018)

Em seguida, foram realizados testes em *protoboard* e placa de fenolite (Figura 3.6), com o circuito de iluminação e o oscilador implementados, a fim de testar a metodologia desenvolvida até o momento.



FIGURA 0.16 - Placa experimental de fonte luminosa com oscilador.

Fonte: Própria (2018)

3.1.3 Sensor de Temperatura

A anatomia dos neonatos, principalmente os prematuros, é de natureza extremamente frágil, por isso não é indicado que os pacientes sejam expostos a condições extremas durante o tratamento, tornando essencial o controle de temperatura do ambiente durante o tratamento e recuperação do recém-nascido icterício.

Um sensor de temperatura comumente usado no mercado e que atende perfeitamente as necessidades do projeto é o LM35, apresentado a seguir:



FIGURA 0.17 - Pinagem do sensor de temperatura LM35.

Fonte: Própria (2018)

Uma das vantagens na seleção do LM35 para o controle de temperatura foi a facilidade na leitura da saída analógica do equipamento, uma vez que a saída do sensor varia em escala de $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Ainda, quando o equipamento está a 0°C , a sua saída é de 0V , tornando a aquisição de dados da temperatura de fácil leitura. A alimentação do componente também se mostra flexível, sendo que o LM35 pode ser alimentado em uma faixa de 5 a 12V.

3.1.4 Sensor de Localização

A partir de medidas precisas da distância e do ângulo entre o equipamento e o neonato, é possível mensurar o erro de posicionamento do recém-nascido sob a fonte de luz. Para que o equipamento funcione de forma autônoma, é necessário que o projeto tenha um eficiente sistema de medida de dados. Por isso, foi necessária uma etapa de estudo e determinação do sensor de localização mais eficiente para este contexto.

Foram estudadas as seguintes opções de sensores: tratamento de imagem com câmera digital, sensor de infravermelho e sensor emissor de ultrassom.

O tratamento de imagem é o método sensível mais preciso dentre os propostos, entretanto os custos financeiros com o uso de câmera digital, microcontroladores robustos e memória externa, inviabilizaram sua implementação no projeto.

Já o sensoriamento com infravermelho, embora seja o método de custo mais reduzido, apresenta limitações em sua confiabilidade na tomada de dados. Foram feitos alguns testes com o modelo TCRT5000 e constatado que, para medidas precisas, o sensor deveria interagir obrigatoriamente com uma superfície reflexiva e preferencialmente plana. Como o corpo não apresenta características reflexivas satisfatórias, além de formato irregular, o método de sensoriamento por infravermelho não se mostrou eficiente para o projeto.

Devido aos testes de precisão realizados em laboratório e as dimensões dos custos envolvidos, a implementação de sensores emissores de ultrassom mostrou-se mais eficiente na medição de posicionamento no contexto apresentado. O sensor de ultrassom selecionado para o projeto foi o HC-SR04 (Figura 3.8), por possuir leitura satisfatória em distâncias de até 3 metros, não precisar de uma superfície completamente regular para bom funcionamento, além de baixo custo.



FIGURA 0.18 -Sensor e emissor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>

Para assegurar que os sensores detectem a movimentação do paciente é necessário que o microcontrolador receba informações dos dois sensores e calcule matematicamente para qual lado o paciente está se movimentando. Ou seja, através dos dados dos sensores, o microcontrolador será capaz de avaliar se o ângulo do tratamento está correto e a distância condizente com a radiância necessária para o tratamento do recém-nascido.

3.1.5 Microcontrolador

Para o tratamento das variáveis do sistema, foi necessário um estudo aprofundado de microcontroladores, a fim de determinar aquele que seria capaz de atender as necessidades do equipamento, recebendo dados coletados pelos sensores, realizando os cálculos matemáticos necessários, controlando o atuador de ângulo e enviando as informações para uma interface visual.

Após pesquisas, duas opções de microcontroladores foram levantadas: o PIC18f4550 e o ATMEGA328p. A opção por esses controladores foi em consequência das necessidades computacionais do trabalho, já que o microcontrolador precisa de portas analógicas, da funcionalidade na leitura de pulsos dos sensores, pinos suficientes para o envio de dados para a interface visual e de uma saída com PWM para o atuador.

O PIC18f4550 é um microcontrolador com preço de mercado próximo do ATMEGA328p. Porém, após alguns testes, foi constatado que os microcontroladores PIC possuem limitações ligadas à dificuldade de gravação, da necessidade do aprofundamento nos componentes do

equipamento como endereçamento de memória e de poucas funções genéricas de alto nível que atenderiam os protótipos em agilidade de produção.

Portanto, foi selecionado para a construção do protótipo o microcontrolador ATMEGA328p (Figura 3.9). Além de possuir entradas analógicas, 23 pinos I/O e baixo custo, tem a facilidade de edição de programação permitida pela plataforma didática Arduino UNO.

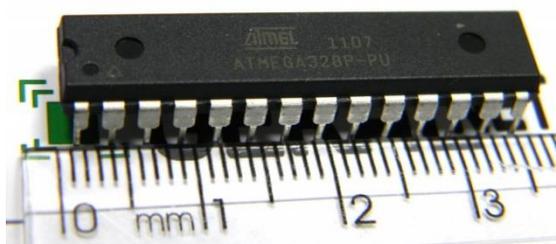


FIGURA 0.19 - Microcontrolador ATMEGA328p.

Fonte: <http://labdegaragem.com/m/blogpost?id=6223006%3ABlogPost%3A327207>

3.1.6 Motor de Atuação

O eixo que liga as duas estruturas físicas do equipamento necessita de um atuador de junção rotativa com ângulo de rotação controlado. Para isso, foram avaliados os seguintes motores: motor sem escova de corrente contínua, motor de passo e servo motor.

O motor sem escova de corrente contínua foi descartado devido ao alto nível de complexidade do controle de posição angular para a rotação do equipamento.

Apesar do baixo custo, da facilidade de realizar o mapeamento de posição angular e de possuir o torque necessário para a rotação do equipamento, o motor de passo apresenta consumo de energia relativamente alto e, conseqüentemente, geração de calor acima do desejado. Como a integridade do ambiente de tratamento é um importante aspecto do projeto, este também se mostrou inviável para o desenvolvimento do protótipo.

Por fim, o componente selecionado para a concretização do Neofocus-D foi o servo motor, devido ao baixo custo, a baixa geração calor, por oferecer torque suficiente para a rotação e

por possuir encoder próprio. A Figura 3.10 ilustra um servo motor de 9g, o mesmo utilizado como atuador no projeto.



FIGURA 0.20 - Servo Motor 9g implementado como atuador.

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/micro-servo-9g-sg90-towerpro/>

3.1.7 Componentes complementares

Além dos elementos apresentados anteriormente, é válido ressaltar que o conceito do feixe de luz vermelha indicativo do centro da radiação, inicialmente implementado no Neofocus, foi mantido nesta etapa do projeto.

Foram utilizados, também, no desenvolvimento deste protótipo, um display LCD 16x2 para a interface visual com o operador; um CI regulador de tensão L7805, para ajustar a alimentação do sistema; um cooler para resfriamento do equipamento acionado pelo sensor de temperatura e um alarme de proximidade para evitar que o Neofocus-D seja posicionado em distâncias que possam trazer riscos ao paciente.

3.2 Programação

Para a programação do microcontrolador ATMEGA328p foi necessária a utilização da plataforma didática Arduino UNO e sua IDE de programação representadas nas Figuras 3.11 e 12, respectivamente.



FIGURA 0.21 - Plataforma didática Arduino UNO.

Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

```

Blink | Arduino 1.0.1
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeats.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);               // wait for a second
}

Done uploading.
Binary sketch size: 1,000 bytes (of a 32,256 byte maximum)
avrdude: Error: Could not find USBtiny device (0x1781/0x0c9f)
22 Arduino Uno as COM1

```

FIGURA 0.22 - Software de programação, Arduino IDE.

Fonte: Própria (2018)

O principal fator na escolha do ATMEGA328p foi a possibilidade de se trabalhar com o Arduino IDE. Instalando a build aberta da IDE, pode-se acoplar o ATMEGA328p na placa e usar a programação intuitiva do software, o que facilita a escrita e modificações na programação do protótipo durante o desenvolvimento, caso necessário.

A Figura 3.13 exemplifica o ambiente de comunicação do projeto exibindo os elementos do Neofocus-D, o microcontrolador e os canais de fluxo de dados (listras verdes representam canais de saída e listras vermelhas os canais de entrada de dados do microcontrolador).

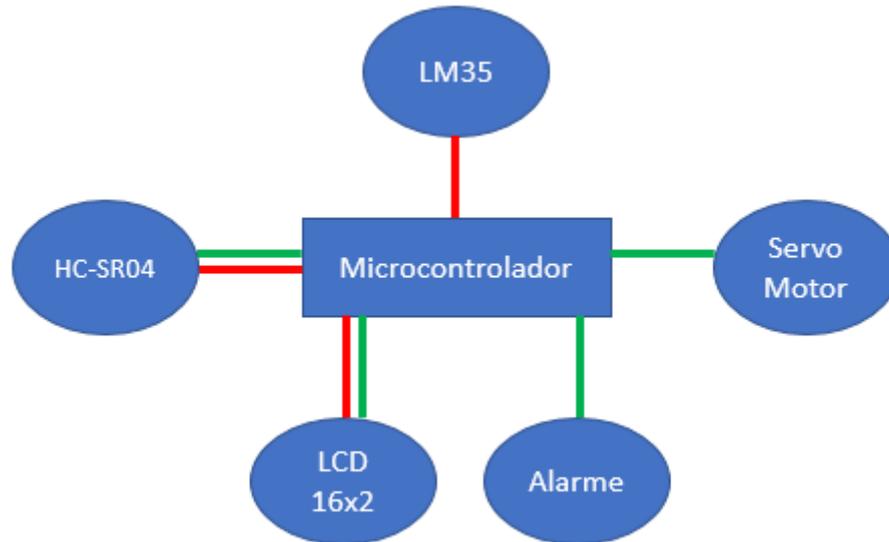


FIGURA 0.23 - Lógica de conexão do microcontrolador e demais componentes.

Fonte: Própria (2018)

A primeira etapa da programação consistiu em comunicar o microcontrolador com os sensores HC-SR04, que permite a leitura dos dados dos mesmos. Estes componentes utilizam duas portas digitais, cada um, para o funcionamento correto, sendo uma como saída para ativar o pulso ultrassônico e a outra como entrada para receber o eco, cronometrar o tempo, e calcular a distância entre o equipamento e o neonato. A reflexão do ultrassom está representada na Figura 3.14, sendo P o sensor HC-SR04 e a linha sólida o paciente.

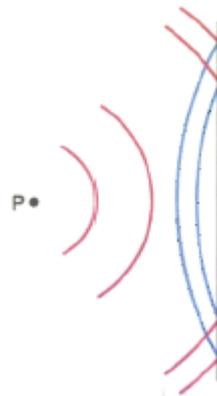


FIGURA 0.24 - Representação da reflexão do ultrassom.

Fonte: Própria (2018)

Com aquisição dos valores de tempo de resposta do eco, o controlador utilizou-se da equação 1 para determinar a distância do sensor ao obstáculo:

$$d = V_s . t \quad (3.1)$$

Onde:

V_s = velocidade do ultrassom;

t = tempo de resposta do eco;

d = distância do sensor ao paciente.

O fluxograma da Figura 3.15 apresenta a lógica de programação implementada que objetiva manter recém-nascido no centro da radiação independente de seu posicionamento:

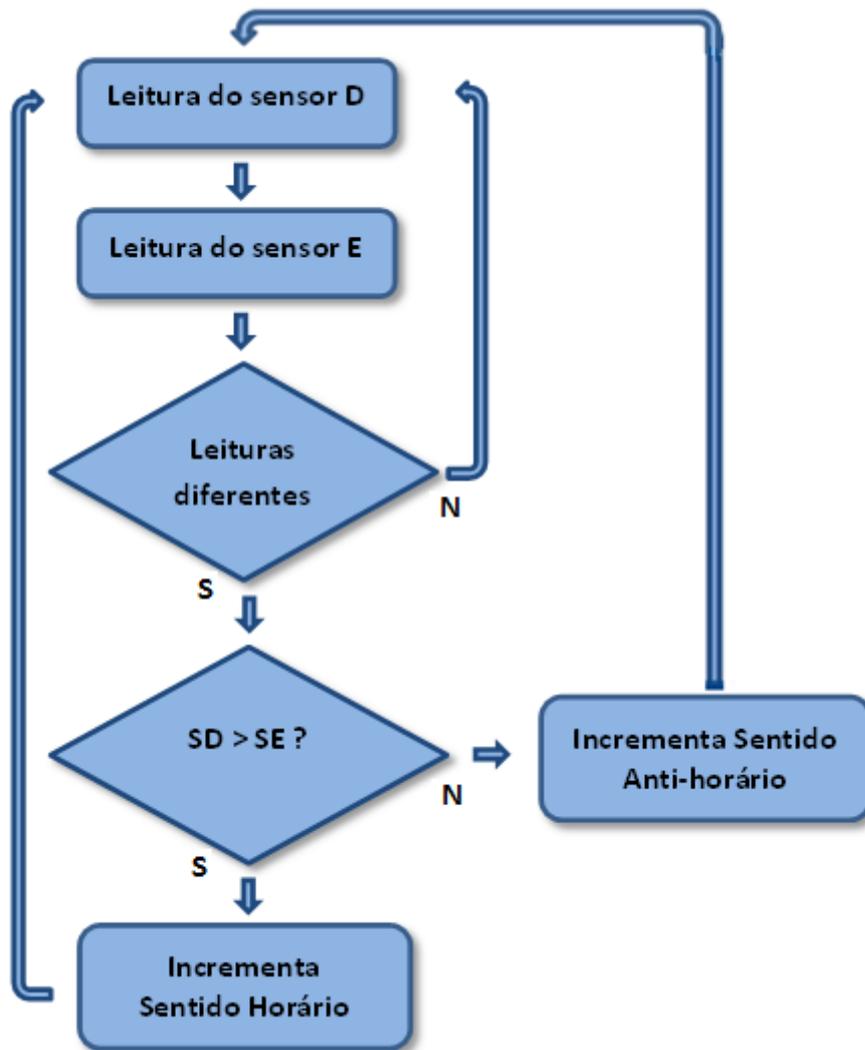


FIGURA 0.25 - Fluxograma da lógica de funcionamento do sistema.

Fonte: Própria (2018)

Ao ser iniciado, a primeira tarefa realizada pelo sistema é o rastreamento do recém-nascido a partir da leitura dos sensores. Estando o neonato posicionado corretamente sob a fonte de luz, espera-se que as respostas sejam semelhantes, com certa tolerância a divergências estabelecidas em código. Caso contrário, constata-se a necessidade de atuação do controlador no tratamento.

A diferença entre as duas leituras também é levada em consideração para a tomada de decisão. Se o valor registrado pelo sensor da direita (SD) é maior que o da esquerda (SE), o Neofocus-D deverá rotacionar em sentido horário. Se não for esse o caso, o controlador deverá atuar no sistema rotacionando o equipamento em sentido oposto.

A figura a seguir ilustra essas situações:

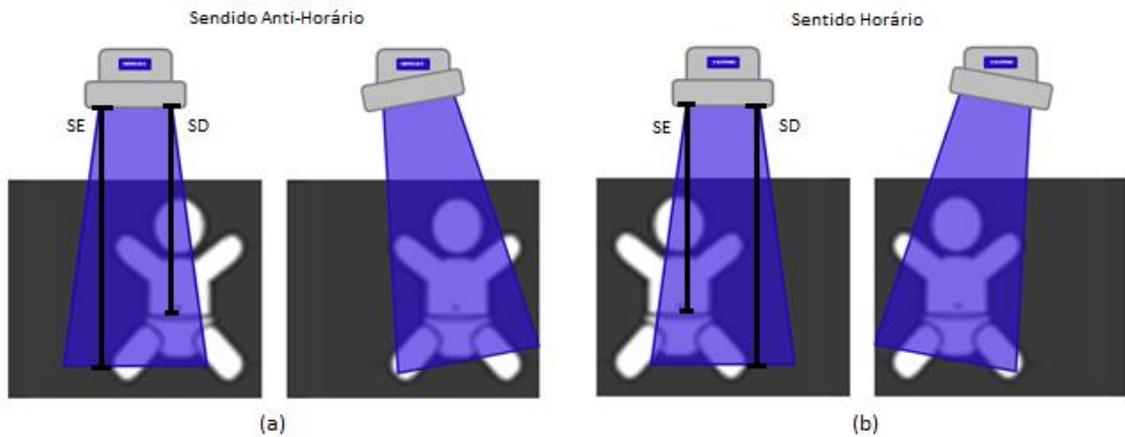


FIGURA 0.26 - Lógica de atuação do Neofocus-D.

Fonte: Própria (2018)

A rotação do equipamento é realizada com o auxílio do encoder interno do servo motor. De acordo com a necessidade do sistema, o sinal do encoder é incrementado ou decrementado e, a cada pulso de rotação, a leitura das entradas é atualizada, afim de investigar se o posicionamento foi corrigido. Como todo sistema embarcado, esse processo trabalha em loop infinito e monitora continuamente o posicionamento do recém-nascido sob a fonte de luz.

3.3 Confeção do Protótipo

Nesta etapa foi desenvolvido o protótipo do NeoFocus-D, priorizando seu design, tornando-o uma fonte de fototerapia que privilegiou o baixo custo, a inovação e os sete parâmetros de qualidade (eficácia, eficiência, otimização, aceitabilidade, legitimidade e equidade). Para isso foi necessária a confecção e usinagem de dois gabinetes plásticos de acordo com as seguintes dimensões:

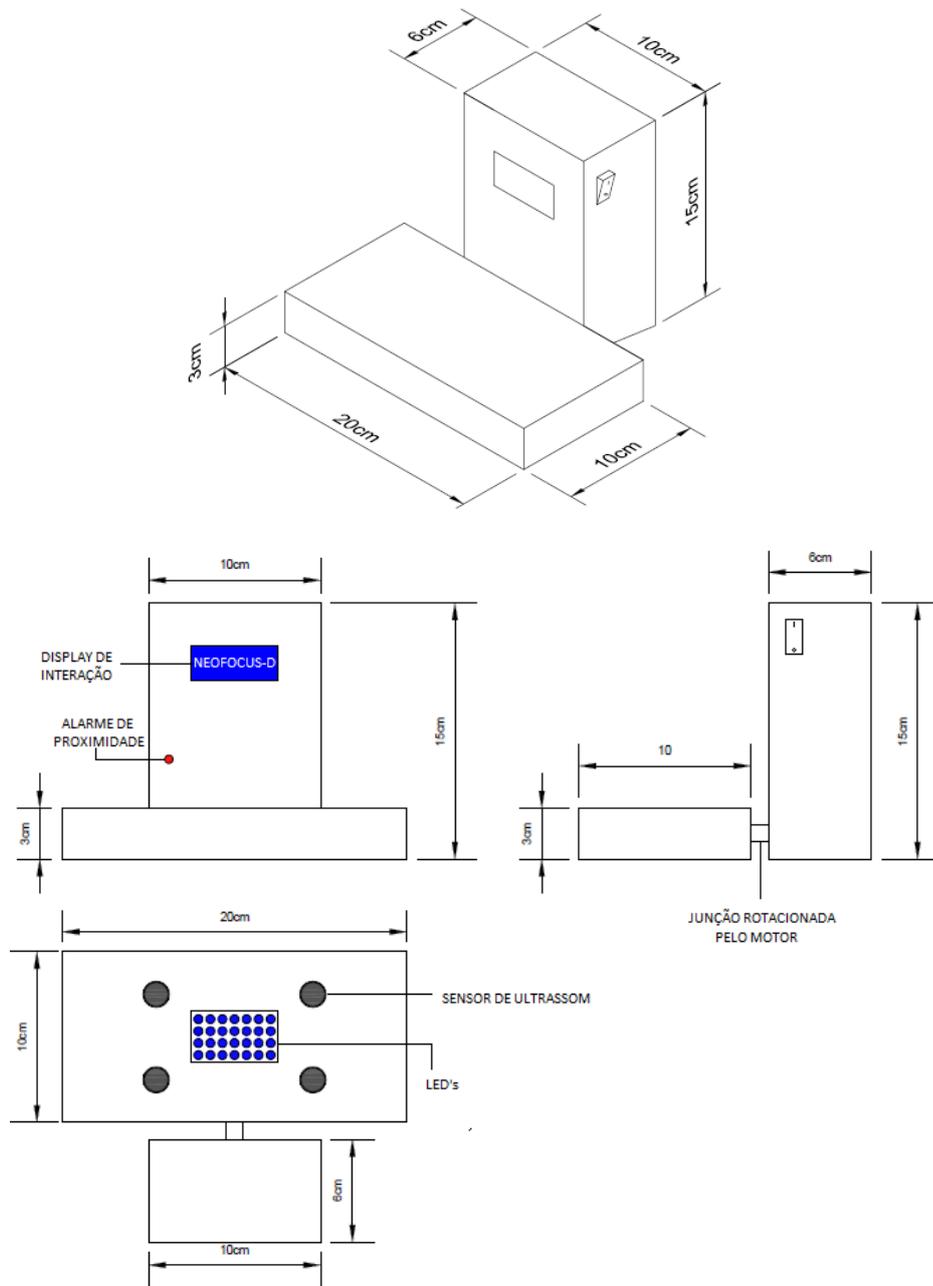


FIGURA 0.27 - Dimensões do protótipo do Neofocus-D.

Fonte: Própria (2018)

Posteriormente, foi construído o circuito elétrico em placa de fenolite e, por fim, todos os elementos de hardware foram montados para concluir o protótipo do equipamento de fototerapia almejado.



FIGURA 0.28 - Protótipo do Neofocus-D.

Fonte: Própria (2018)

4 RESULTADOS

Após a concretização da construção do protótipo, foram realizados testes de desempenho e eficiência do equipamento, a fim de verificar se o Neofocus-D funcionaria da forma esperada, e se seu sistema de controle de posicionamento seria efetivo.

Para observar o desempenho do equipamento, um boneco com dimensões próximas a de um recém-nascido foi posicionado idealmente para o tratamento e, posteriormente, deslocado sob a fonte de luz. A Figura 4.1 traz imagens do teste de performance.

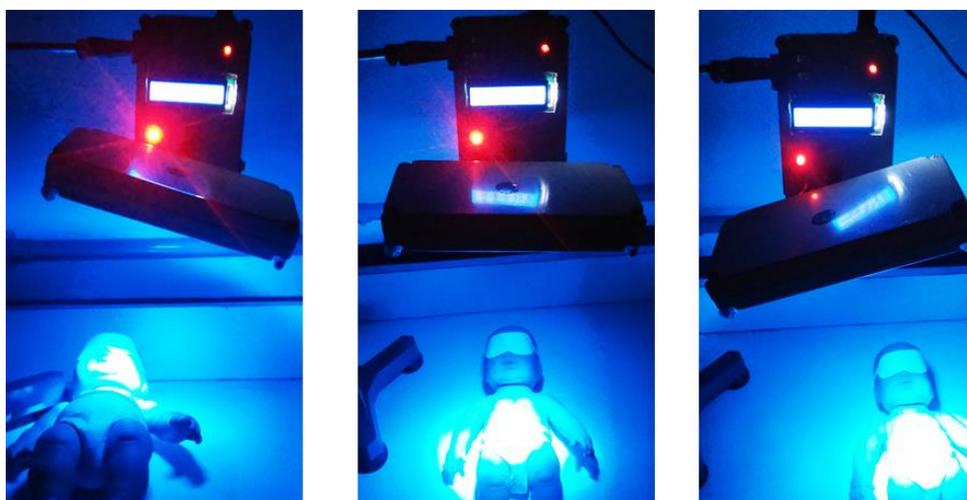


FIGURA 0.1 - Protótipo do Neofocus-D em operação.

Fonte: Própria (2018)

O equipamento possui comportamento similar ao proposto. Isso significa que o sistema de sensoriamento e controle de posição do Neofocus-D é efetivo e, potencialmente, eficaz no tratamento da icterícia neonatal.

Para a segunda etapa de testes foi acoplado um luxímetro na região do abdômen do boneco para observar o decaimento da radiação incidente sobre um suposto paciente, conforme ele se afasta do centro de radiação. O gráfico a seguir exhibe uma comparação entre os resultados obtidos a partir do Neofocus-D e o sistema sem controle de posicionamento.

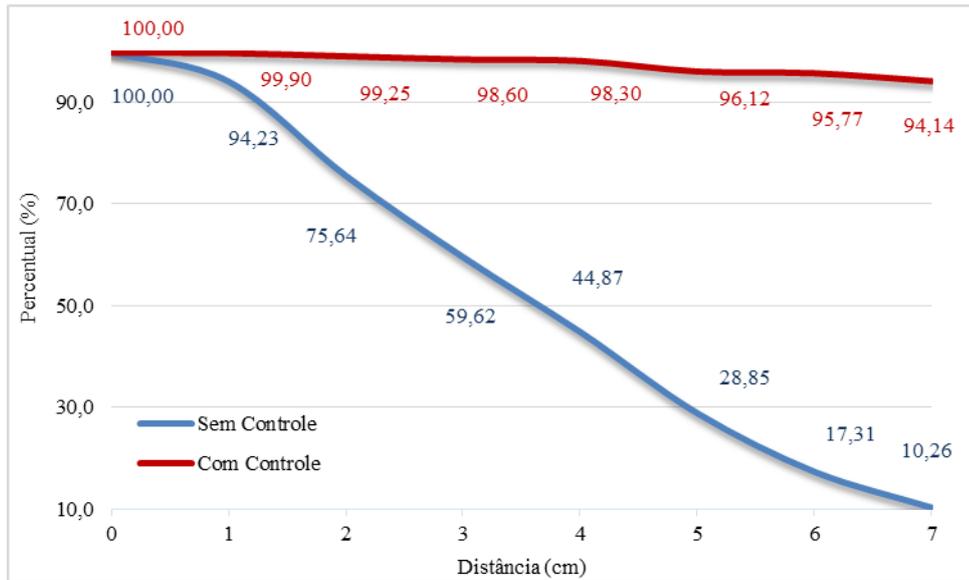


GRÁFICO 0.1 - Comparativo do decaimento da radiação entre o sistema controlado e o sistema sem controle.

Fonte: Própria (2018)

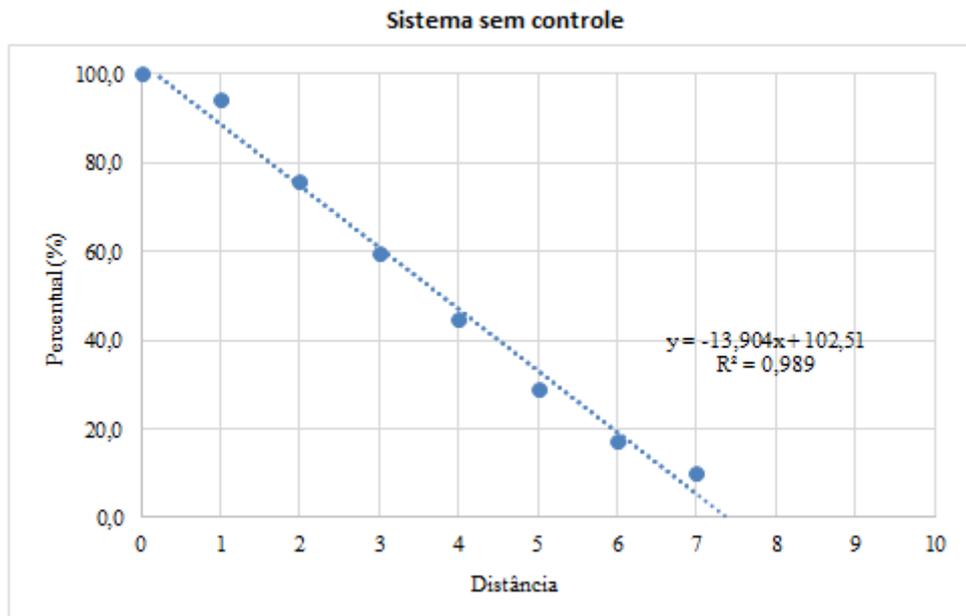


GRÁFICO 0.2 - Regressão linear para o sistema sem controle.

Fonte: Própria (2018)

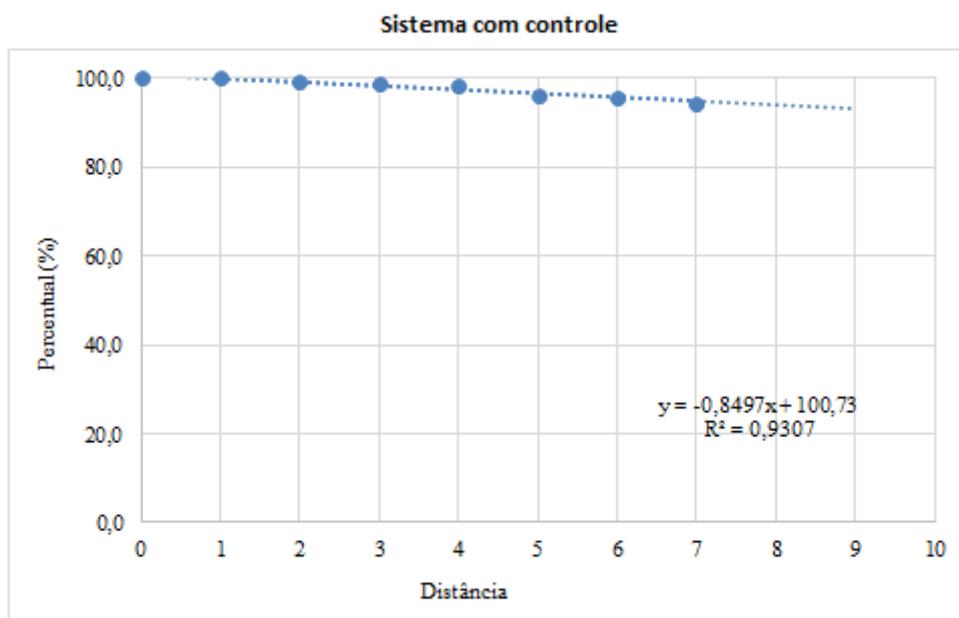


GRÁFICO 0.3 - Regressão linear para o sistema com controle.

Fonte: Própria (2018)

Pelos dados apresentados no Gráfico 4.1 pode-se inferir que o decaimento da radiação incidida sobre o paciente é de aproximadamente 6% quando afastado 7 cm do centro da radiação, enquanto no sistema sem controle de posicionamento o decaimento foi de quase 90%, com a mesma distância de afastamento.

Os gráficos de regressão linear demonstram que a variância da radiação incidida sobre o paciente é explicada pela variância da distância primordialmente no teste sem controle: 98,9%. Além disso, tem-se uma relação inversa em ambos: conforme se aumenta a distância do centro da radiação, menor a radiação incidida sobre o recém-nascido. No teste sem o controle de posicionamento, o aumento de um centímetro na distância leva a uma redução de 13,90% na radiação, enquanto no teste com o controle de posicionamento, a redução é de apenas 0,85%. Isso comprova a efetividade do protótipo na atenuação da queda da radiação oferecida ao paciente.

A partir das constatações supracitadas, conclui-se que o Neofocus-D se mostrou um dispositivo eficiente, capaz de otimizar o tratamento fototerápico e garantir um maior aproveitamento da radiação oferecida pelo equipamento.

A relevância do problema abordado e a efetividade da solução proposta foram constatados pela contemplação da pesquisa com a medalha Henri Gorceix de melhor projeto de inovação durante o Encontro de Saberes de 2013 da UFOP com a proposta do Neofocus. A pesquisa também foi agraciada com o primeiro lugar no 23º Prêmio de Ciência, Tecnologia e Inovação da Sociedade Mineira de Engenheiros (SME) em 2016, dessa vez, com a proposta do Neofocus-D.

5 PROPOSTA DE CONTINUIDADE

A pesquisa é o pilar para o desenvolvimento de uma sociedade. Ela permite que cientistas possam interagir com o mundo de novas formas buscando aproximar pessoas, superar dificuldades e concretizar melhorias estendendo os limites da ciência e buscando sempre preservar a integridade do homem e do meio ambiente.

Particularmente, no caso da saúde, a ciência se mostra ainda mais imprescindível, considerando as inúmeras limitações ainda existentes nesta área e a possibilidade da preservação da vida por meio de inovações tecnológicas. Por isso, acredita-se que a pesquisa é também um fator formador do caráter do futuro profissional, uma vez que, além de proporcionar conhecimento, amplia a visão do engenheiro, frequentemente acostumado a lidar apenas com questões técnicas, possibilitando-o vivenciar fatores humanos da profissão e levando-o a enxergar seu ramo de atuação, não somente como um meio de sobrevivência, mas também como uma forma de contribuir para a construção de uma sociedade avançada, efetiva e econômica.

Como forma de incentivo a pesquisa acadêmica, será apresentada a seguir uma proposta de continuidade objetivando instigar novos pesquisadores a aperfeiçoar ainda mais o tratamento da hiperbilirrubinemia.

O Neofocus-D apresenta uma melhora significativa no tratamento da icterícia neonatal quando comparado com o primeiro protótipo elaborado. Entretanto, o equipamento é incapaz de garantir a linearidade da irradiação, independente do posicionamento do neonato. Isso se deve ao fato de que mesmo que o equipamento mantenha o recém-nascido icterício no centro da radiação, a distância entre equipamento e o paciente aumentam com o deslocamento tangencial, como representado abaixo.

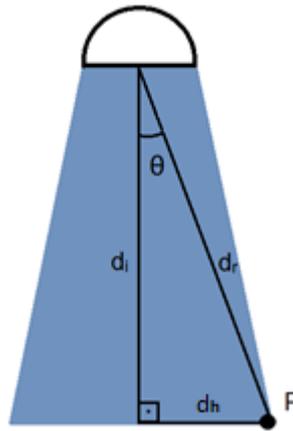


FIGURA 0.1 - Relação entre distancia Neofocus/neonato e deslocamento horizontal.

Fonte: Própria (2018)

Onde:

θ = ângulo de deslocamento

d_i = distância ideal entre neonato e equipamento

d_r = distância real entre neonato e equipamento

d_h = deslocamento horizontal do paciente

Para esta situação, a equação 2 pode ser enunciada:

$$d_i = d_r \cdot \cos \theta \quad (5.1)$$

O $\cos \theta$ pode assumir somente valores entre $0 \leq \cos \theta \leq 1$. Logo, constata-se que, conforme o neonato se afastar do centro da radiação, sua distância da fonte de luz obrigatoriamente aumentará.

Além de controlar o posicionamento do paciente sob a fonte de luz, outra possível forma de atuar no tratamento fototerápico pode ser através da variação da intensidade luminosa emitida pelos LED's. Sabe-se, pelas especificações técnicas, que um LED de alta potência possui um range de operação e que o projetista deve manter a alimentação desses fotodiodos dentro da especificação para garantir a integridade e bom funcionamento do componente. Entretanto, este range também possibilita ao projetista controlar a intensidade luminosa emitida conforme ela varia proporcionalmente com a alimentação.

Através de testes em laboratório é possível levantar a curva de correlação entre a alimentação e a intensidade luminosa emitida pelo equipamento, e, em seguida, equacionar a alimentação necessária para manter a intensidade luminosa recebida pelo neonato constante, mesmo que se afaste do centro de radiação.

Tomando como referência os incrementos do encoder no servo motor, esta nova etapa de desenvolvimento permitirá projetar um controlador de intensidade luminosa que otimizará o desempenho do equipamento. Os esforços aplicados nesta etapa permitirão que, futuramente, um sensor de luminosidade seja acoplado junto ao corpo do recém-nascido e, através de comunicação sem fio, forneça informações em tempo real ao sistema, reduzindo, assim, de forma automática, o decaimento da radiação a zero.

A continuidade dessa pesquisa permitirá que alunos de Engenharia de Controle e Automação possam trabalhar diversos elementos relacionados ao curso, como modelagem de problemas, projeto de controladores, desenvolvimento de sistemas embarcados e automação de processos, além de concretizar o desenvolvimento de um equipamento de fototerapia de mais alta performance construído até o momento.

6 APLICABILIDADE: UMA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA A SAÚDE PÚBLICA

O desenvolvimento de novos dispositivos capazes de otimizar e monitorar o tratamento fototerápico é de extrema importância, considerando o quadro da situação tecnológica atual. Desta forma, o equipamento fototerápico desenvolvido no presente trabalho, o Neofocus-D, surge como uma eficiente solução para correções da fototerapia. O desenvolvimento e a aplicação de fontes de iluminação inteligentes, de fácil manuseio e, sobretudo, autônomas, permitem o posicionamento ideal do recém-nascido frente à fonte de luz, o que otimiza a exposição dos neonatos ictericos perante a fonte de luz e, conseqüentemente, a eficiência do tratamento.

O custo total para o desenvolvimento do protótipo foi de aproximadamente R\$300,00. Para a inserção dessa tecnologia no mercado, projetando uma produção em larga escala, atendendo as determinações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e considerando custos, tais como energia e mão de obra, estima-se que, ainda assim, seu custo de fabricação seja inferior a R\$ 1.000,00. Isso demonstra o seu baixo custo de fabricação, quando comparado aos equipamentos disponíveis no mercado atualmente, que são disponibilizados com valores a partir de R\$ 7.000,00.

Conseqüentemente, o uso desses dispositivos se tornaria uma ferramenta de detecção de falhas e correção de problemas antes que os níveis de bilirrubina atingissem números alarmantes (> 17 mg/ml), o que provocaria sequelas irreversíveis ou até mesmo óbito.

A literatura médica estima que o número de recém-nascidos brasileiros que necessitam da fototerapia, mas que nem sequer tem acesso a esse tratamento, pode chegar a 41.000 RN/ano, sendo até 4 mil RN/ano em Minas Gerais. Tais números evidenciam a necessidade de maior atenção ao tratamento de neonatos ictericos e da busca de novas formas para melhorar e otimizar o tratamento fototerápico, além de torná-lo acessível ao maior número de pacientes possível. Desta forma, a inserção dessa tecnologia em hospitais e dentro do contexto da ANVISA, do SUS e dos Programas de Segurança do Paciente e Rede Cegonha do Ministério da Saúde, bem como do Programa Mães de Minas da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, deverão colocar o estado de Minas Gerais em posição de destaque na redução das taxas de mortalidade e morbidade infantil decorrentes da hiperbilirrubinemia.

7 CONCLUSÃO

Em síntese, as constatações supracitadas não deixam dúvidas quanto à necessidade do emprego de novas tecnologias a fim de assegurar a qualidade e eficiência dos tratamentos administrados em recém-nascidos ictericos. Esperar-se, como consequência direta desse trabalho, aperfeiçoar a técnica da fototerapia e garantir o controle da radiação incidida sobre o neonato através da utilização do equipamento proposto, o *Neofocus-D*, e, assim, reduzir também erros operacionais recorrentes no estado de Minas Gerais e no Brasil. Consequentemente, esperar-se-á diminuir drasticamente as taxas de mortalidade e morbidade infantil no estado causado por hiperbilirrubinemia e por suas complicações.

REFERÊNCIAS

ARCAS R.M., WAGNER N.H.C.V., REIS M.E. **Avaliação da eficácia da fototerapia convencional versus alta irradiância.** Resumos do XV Congresso Brasileiro de Perinatologia, XII Reunião de Enfermagem Perinatal. 1996 novembro, Belo Horizonte, p.112.

ARGYRAKIS P. et al. Synthetic Metals. 91, 159-160 (1997).

BUENO M.; SACAI S. e TOMA E. **Hiperbilirrubinemia neonatal:** propostas de intervenções de enfermagem. Acta Paul Enf., São Paulo, V. 16 (2), p. 75 – 83, 2003

BURROUGHES J. H. et al. Nature. 347, 539 (1990).

CALY J.P. **Estudo e avaliação da radiometria no tratamento fototerápico da hiperbilirrubinemia neonatal.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2009;

DE CARVALHO M. et al Jornal de Pediatria: 0021-7557/01/77- Supl.1/S71(2001).

DE CARVALHO M., LOPES J.M.A. **Fototerapia nos hospitais públicos do Rio de Janeiro.** J Pediatr (Rio J) 1991; 67:157-62.

DE MELLO L.C.; PAULA A.M.C.; MARGOTTO P.R. **Assistência Ao Recém Nascido De Risco.** 3ª Edição. Em Preparação;

DICKEN P., GRANT L. J. e JONES S. **An evaluation of the characteristics and performance of neonatal phototherapy equipment.** Physiol. Meas., V. 21, p. 493 –503, 2000.

“Estudantes da UFOP são premiados no 23º Prêmio SME de Ciência, Tecnologia e Inovação”:

www.ufop.br/noticias/pesquisa-e-inovacao/estudantes-da-ufop-sao-premiados-no-23o-premio-sme-de-ciencia

Acesso em: 19 jul de 2018

ENK I.; ABEGG M. P.; ALVEZ R. J. V.; STRINGHANI F.; CAMPOS J. F.; MENEZES H. S. e JUNG C. **Icterícia como causa de internação neonatal:** a experiência em um serviço terciário de Porto Alegre, RS. Revista AMRIGS, V. 53 (4), p. 361 – 367, 2009

FALCÃO, M. C. e DEUTSCH, A. D’A.. **Abordagem clínica, laboratorial e terapêutica do recém-nascido icterício.** Pediatria (São Paulo), v.19, n.4, p. 283 –287, 1997.

GONÇALVES E.Q., BIANCHI R.F. Aparelho de fototerapia com feixe e/ou alvo luminoso, Brasil, patente BR1020130284769. 2013 Nov 11.

“Grupo da UFOP desenvolve tecnologias para melhorar o tratamento de icterícia”:

www.ufop.br/noticias/grupo-da-ufop-desenvolve-tecnologias-para-melhorar-o-tratamento-de-ictericia

Acesso em: 19 jul de 2018

MAISELS M. J. e MCDONAGH A. F. **Phototherapy for neonatal jaundice**. The new England journal of medicine, V. 358, p. 920 – 8, 2008

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atenção à saúde do recém-nascido: intervenções comuns, Icterícia e infecções**. Brasília: Distrito Federal, 2013.

PHYLLIS A. et al. N Engl J Med 344, 8, 581-590 (2001).

SILVA M. M. **Sensor orgânico para controle de fototerapia neonatal**. Ouro Preto: UFOP, 2011

SIQUEIRA, M.; CARDOSO, L. **Análise experimental da fotodegradação da bilirrubina: efeitos de solvente e temperatura**. Ouro Preto: UFOP, 2013.

VIEIRA A.A.; DE CARVALHO M.; LIMA C.L.A. **O uso da fototerapia em recém-nascidos: avaliação da prática clínica**. Revista Brasileira De Saúde Materna E Infantil. 4, 359, 2004

VREMAN H. J.; WONG J.; STEVENSON D.K. **Phototherapy: current methods and future directions**. Semin. Perinatol., v.28, p.326-33, 2004;

ANEXO A



Universidade Federal de Ouro Preto

Processo Número

23109.008232/2013-26

Data/Hora Abertura

12/11/2013 16:12



Volume: 1

Assunto

PATENTE DA INVENCAO

BR1020130284769 - Aparelho Fototerapia...

Procedência

7.00.00

PROPP - PRO-REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUACAO

Documento Origem

SEM

Interessado(s)

Núcleo de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo

APARELHO DE FOTOTERAPIA COM DIRECIONAMENTO DE FEIXE E/OU ALVO LUMINOSOS

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção trata-se de um aparelho para direcionamento de feixe e/ou

5 alvo luminosos a recém-nascidos ictericos, sob fototerapia neonatal, composto de uma ou mais fontes de iluminação, uma selecionada dentro da banda de absorção da bilirrubina e de seus isômeros (faixa espectral de 300 a 800 nm), e outra de qualquer cor ou espectro que possibilite o posicionamento ideal de pacientes ictericos sob fontes de fototerapia, por meio do direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos, com opção de

10 intermitência, para uso em recém-nascidos ictericos em incubadoras, maternidades, hospitais, unidades de pediatria, unidades de tratamento intensivo e domicílios. O aparelho tem variedade de uso em tratamentos médicos, hospitalares, comerciais e estéticos, com radiações ionizante ou não ionizante e com propósitos terapêuticos ou tecnológicos, tais como bronzamento artificial, tratamento de vitiligo, tratamento

15 oncológico e desinfestação, inibição de brotamento e retardo de maturação de alimentos.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO E ESTADO DA ARTE

A icterícia neonatal resulta da predisposição para produção de bilirrubina pelo recém-nascido (RN) e da sua capacidade de excretá-la vide (D.L. Wong, Enfermagem

20 Pediátrica, 5ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara (1999); T.W.R Hansen, Therapeutic

Approaches to Neonatal Jaundice: An International Survey, *Clinical Pediatrics* 35, 6, 309-16 (1996); L. Grossweiner, *The Science of Phototherapy: an Introduction*, Ed. Jones & Linda R. (2005); P.K. Vandiborg, Dose-response relationship of phototherapy for hyperbilirubinemia, *Pediatrics* 130, 352-357 (2012); M.J. Maisels, Neonatal jaundice, *Pediatrics Review* 27, 443-454 (2006); S. Simmons, This just in: hyperbilirubinemia in neonates: prevention, early identification, and treatment, *Advances in neonatal care* 11, 5, s22-s27 (2011); M.J. Maisels, A.F. Mcdonagh, Phototherapy for Neonatal Jaundice. *The New England Journal of Medicine* 358, 9, 920-928 (2008); M.J. Maisells, Neonatal hyperbilirubinaemia and kernicterus – not gone but sometimes forgotten, *Early Human Development* 85, 11, 727–732 (2009); A.L.C. Ferreira, R.M. Nascimento, R.C.S.S. Veríssimo, Irradiância dos aparelhos de fototerapia nas maternidades de Maceió, *Revista Americana de Enfermagem* 17, 5 (2009); R. Kliemann, P. Nohama, Avaliação dos equipamentos de fototerapia no tratamento da hiperbilirrubinemia neonatal em Maternidades de Curitiba, II Congresso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica; 23 al 25 maio 2001. La Habana, Cuba; J.V. de Oliveira, Avaliação Técnica dos aparelhos de fototerapia do serviço de neonatologia do hospital regional da asa sul, Monografia (Residência em Pediatria), Hospital Regional da Asa Sul/SES/DF, (2006). Estima-se que cerca de sessenta por cento dos RNs apresentam níveis séricos de bilirrubina superiores a 5 mg/dl, e sua etiologia é tipicamente multifatorial. Felizmente, a simples fototerapia com luz azul (400-500 nm, pico em 460 nm) é o procedimento terapêutico mais usado no tratamento dessa patologia e visa, sobretudo, a rápida redução dos níveis de bilirrubina sérica de RNs. No Brasil, segundo o DATASUS, em 2011 (Departamento de Informática do SUS – DATASUS Ministério da Saúde. Disponível em:

<http://www2.datasus.gov.br/datasus/index.php?acao=11&id=30730>. Acesso em junho de 2013) do Ministério da Saúde, 1.839.220 recém-nascidos (RN) brasileiros apresentam icterícia em seus primeiros dias de vida, sendo 293.371 RNs expostos a tratamentos fototerapêuticos. Destes, 8% na região Centro-Oeste, 11% na região Norte, 13% na região Sul, 29% na região Nordeste e 39% na região Sudeste.

Ainda segundo o DATASUS 2011, a mortalidade neonatal associada à hiperbilirrubinemia neonatal e suas complicações é de 0,1%, mas pode chegar, segundo estatísticas mundiais vide (*Design Revolution* Disponível em: <http://www.d-rev.org>. Acesso em junho de 2013), a até 10% em regiões menos desenvolvidas. Associado a estes números, também segundo a literatura médica, vide (J.A. Owa, O.J. Adebami, F.F. Fadero, T.M. Slusher, Irradiance Readings of Phototherapy Equipment: Nigeria, *The Indian Journal of Pediatrics* 8, 996–998 (2011); R.K. Pejaver, J. Vishwanath, An audit of phototherapy units, *The Indian Journal of Pediatrics* 67, 12, 883-884 (2000); M. de Carvalho, J. Lopes, A. Maria, Fototerapia nos Hospitais Públicos do Rio de Janeiro: nem tudo que ilumina trata, *Jornal de Pediatria* 67, 157-162 (1991); American Academy of Pediatrics, Management of Hyperbilirubinemia in the Newborn Infant 35 or More Weeks of Gestation, *Pediatrics* 94, 4, 1192-1199 (2009); Investigators of the National Neonatal Perinatal Database –NNPD, Morbidity and Mortality among Outborn Neonates at 10 Tertiary Care Institutions in India During the Year 2000, *Journal of Tropical Pediatrics* 50, 3, 170-174 (2004); T.M. Slusher, A. Zipursky; V.K.A. Bhutani, A Global Need for Affordable Neonatal Jaundice Technologies, *Seminars in Perinatology* 35, 185-191 (2011); Jaundice is a critical global health issue among newborns, em <http://d-rev.org/projects/brilliance/nind.html>; K.L. Tan, The nature of the dose response relationship of phototherapy for neonatal hyperbilirubinaemia, *The*

Journal of Pediatrics 90, 3, 448–452 (1977); M. de Carvalho, Tratamento da icterícia neonatal, *Jornal de Pediatria* 77, 71-80 (2001); T.M. Lee, C.C.H. Chan, Dose-response relationship of phototherapy for seasonal affective disorder: a meta-analysis, *Acta Psychiatrica Scandinavica* 99, 5, 315–323 (1999)), a intensidade luminosa (irradiância) que incide no RN é um dos principais fatores que influenciam a qualidade do tratamento fototerapêutico com luz azul. A ineficiência ou a falta de tratamento fototerapêutico resulta no aumento progressivo dos níveis séricos de bilirrubina no RN que, por sua vez, pode levar a sequelas decorrentes, como autismo secundário, surdez, cegueira, danos cerebrais e, os mais graves, *kernicterus* e óbito, vide (M.J. Maisells, Neonatal hyperbilirubinaemia and kernicterus – not gone but sometimes forgotten, *Early Human Development* 85, 11, 727–732 (2009)).

Ou seja, o mau posicionamento dos recém-nascidos em relação às fontes de luz azul torna o tratamento fototerápico menos efetivo para o controle da icterícia, aumentando, por exemplo, as chances de sequelas decorrentes dessa patologia. Atrelado a essa constatação sobre o mau posicionamento dos recém-nascidos, destaca-se que pequenas variações de posicionamento do RN em relação ao foco das fontes de fototerapia podem resultar em perdas de mais de 20% de irradiância no RN. Conseqüentemente, aumenta a morbi-mortalidade em neonatos e em alguns países, como a Índia, vide (Investigators of the National Neonatal Perinatal Database –NNPD, Morbidity and Mortality among Outborn Neonates at 10 Tertiary Care Institutions in India During the Year 2000, *Journal of Tropical Pediatrics* 50, 3, 170-174 (2004)), as sequelas decorrentes da hiperbilirrubinemia neonatal representam até 30% dos casos de morbidade infantil.

Devido aos malefícios causados pelo mau posicionamento do RN frente às fontes de luz azul justifica-se a necessidade de desenvolvimento de aparelhos de fototerapia de fácil manuseio e de custo acessível a hospitais de baixas receitas, cujo princípio de operação e utilidade favorecem o posicionamento adequado do RN icterício

5 frente à iluminação, proveniente das fontes de fototerapia, com o objetivo de minimizar eventos adversos, promover melhores condições de iluminação do RN e intervenções positivas, e, finalmente, contribuir para auxiliar os profissionais da área de saúde na tomada de decisões em ambientes domiciliares, incubadoras, maternidades, hospitais, unidades de pediatria e unidades de tratamento intensivo.

10 As patentes US8202307B2, PI8400812-1, DE112004001731T5, US20070027510, Wo2005025671A1, US5698866, US6290713, US6596019, US6596016, WO2004032714A2, WO2004033028A2 e WO2004033029A2 tratam de diversos equipamentos de fototerapia para tratamento da icterícia neonatal, todavia o uso de foco ou alvo luminosos para direcionamento de feixe luminosos ao recém-

15 nascido icterício sob tratamento fototerápico não é mencionado no estado da arte.

As patentes US2006/0100675 A1, WO 2006/052953 A1, US 2010/0106228 A1, GB 2476616 A, CA 2741124 A1, CA 2586847 A1 e AU 2005304736 A1, tratam de equipamentos de fototerapia descritos por dispositivo flexível composto de LEDs azuis, todavia o uso de foco ou alvo luminosos para direcionamento de feixe luminosos ao

20 recém-nascido icterício sob tratamento fototerápico não é mencionado no estado da arte.

As patentes PI 0007324-5, PI 0204158-8, PI 0305577-9 e MU 8701235-9, e o pedido de patente brasileira 018110047225 de 05/12/2011 tratam de dispositivos à base

de LEDs para tratamentos de, respectivamente, câncer, icterícia, psoríase, HPV e onicomicose, todavia o uso de foco ou alvo luminosos para direcionamento de feixe luminosos aos pacientes em tratamento por LEDs não é mencionado no estado da arte.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

5 De um modo amplo o aparelho de fototerapia conforme a invenção compreende um dispositivo ótico para expor o paciente icterico às condições adequadas de iluminação azul para tratamento de recém-nascidos ictericos, por meio de:

10 (a) uma fonte de iluminação com espectro de emissão luminosa, ou dispositivo(s) similar(es), selecionado dentro da banda de absorção da bilirrubina e de seus isômeros (faixa espectral de 300 a 800 nm), incluindo fontes de iluminação nas regiões do violeta, azul, verde, amarelo, laranja e/ou vermelho, dotado(s) ou não de filtro(s) e componente(s) óptico(s), laser(es), LED(s), lente(s), espelho(s) e componente(es) elétrico(s) e/ou magnético(s);

15 (b) uma fonte de iluminação, tipo feixe e/ou alvo luminosos, com espectro de emissão luminosa, ou dispositivo(s) similar(es), selecionados dentro da faixa do espectro visível, incluindo violeta, azul, verde, amarelo, laranja e/ou vermelho, dotado(s) ou não de filtro(s) e componente(s) óptico(s), laser(es), LED(s), lente(s), espelho(s) e componente(es) elétrico(s) e/ou magnético(s), capaz de projetar ou direcionar um feixe ou alvo luminosos diretamente ao corpo do recém-nascido icterico ou ao seu entorno, que favoreça o posicionamento
20 adequado do RN icterico frente as condições de iluminação das fontes de

fototerapia, por meio da identificação de maior irradiância da fonte luminosa ou as condições ideais de iluminação do RN.

A presente invenção pode ser usada em conjunto com sensores indicadores de dose de radiação, vide patentes PI0600986-7 e 0220700175455, para controle e
5 monitoramento em tempo real da dose de radiação administrada a recém-nascidos ictericos sob tratamento fototerápico.

A invenção provê ainda um aparelho de fototerapia descrito por sistemas de iluminação (lasers e lâmpadas incandescentes, dicroicas, fluorescentes e halógenas; tipo LED orgânico, inorgânico ou híbrido, ou combinações de duas ou mais lâmpadas
10 diferentes combinadas em qualquer configuração, dispostas em aparelhos de fototerapia com feixe e/ou alvo luminosos, para direcionamento do foco de iluminação e máxima intensidade luminosos (radiância), proveniente da fonte de fototerapia, ao corpo do recém-nascido icterico ou de qualquer região em seu entorno.

Ainda, a invenção provê um aparelho de fototerapia com luz azul composta por
15 sistemas de iluminação baseado em dispositivos emissores de luz orgânicos, inorgânicos ou híbridos, flexíveis ou rígidos, capaz de englobar todo ou parcialmente o corpo do paciente icterico;

A invenção provê ainda um aparelho com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para intensificação da intensidade luminosa (irradiância) em recém-nascidos
20 submetidos ao tratamento fototerapêutico da icterícia ou hiperbilirrubinemia neonatal;

A invenção provê um aparelho com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos na forma de filme luminosos que é alternativamente impresso via técnicas de

silk screen, rotogravura, impressão à jato de tinta, ou similares sobre uma peça de roupa, fraldas, calças etc;

- A invenção provê ainda um aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos operando com baterias, pilhas, fontes de corrente contínua (dc) e/ou
- 5 fontes de corrente alternada (ac);

A invenção provê um aparelho com direcionamento ou não de feixe e/ou alvo luminosos na forma de filme luminosos e vestimenta, tipo manta ou roupa em formatos diversos, incluindo cobertores, pijamas, blusas, macacões, calças e fraldas para englobar ou vestir o recém-nascido a fonte de fototerapia;

- 10 A invenção provê também um aparelho para direcionamento de feixe ou alvo luminosos para máquinas de bronzamento artificial;

A invenção provê ainda um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de iluminação usadas no tratamento de vitiligo;

- A invenção provê ainda um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo
- 15 luminosos para fontes de terapia fotodinâmica usadas em tratamentos de pacientes oncológicos;

A invenção provê adicionalmente um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação UV usadas no controle germicida e bactericida;

A invenção provê adicionalmente um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante usadas em processos de irradiação com fins terapêuticos e estéticos;

5 A invenção provê adicionalmente um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante usadas em processos de irradiação de alimentos com fins sanitários, fitossanitários, de inibição de brotamento e de retardo de maturação;

10 A invenção provê adicionalmente um aparelho para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante usadas nos processos de irradiação de flores para fins sanitários, fitossanitários, comerciais e tecnológicos;

A invenção provê ainda um aparelho com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para inspeção e/ou avaliação das condições de iluminação em tratamento fototerapêutico da icterícia, do vitiligo, do câncer de pele e de outras doenças dermatológicas;

15 A invenção provê ainda um aparelho capaz de auxiliar o tratamento realizado por profissionais qualificados, da área de saúde ou não, e o público leigo intensificando a radiância proveniente de fontes de radiação em pacientes sob tratamento com radiações, ionizantes ou não, em hospitais, maternidades, unidades de terapia intensiva e domicílios;

20 A invenção provê ainda um aparelho para estudo científico e tecnológico, sistemático ou não, dos efeitos da irradiância em pacientes sob tratamento com

radiações, ionizantes ou não, em hospitais, maternidades, unidades de terapia intensiva e domicílios;

A invenção provê ainda um aparelho com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para estudo científico e tecnológico, sistemático ou não, dos efeitos da
5 intensidade de fontes de radiação para avaliação das condições dos processos de radiação para fins sanitários, fitossanitários e ou tecnológicos.

A invenção provê ainda um aparelho de fototerapia, com motor(es) e/ou dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou dispositivo(s) optoeletônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou sistema(s) de reconhecimento de imagem(ens) e/ou sistema de
10 reconhecimento de padrão(ões) do recém-nascido e/ou sistema de detecção(ões) de movimento do recém-nascido frente a fonte de luz para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos ao corpo de pacientes ictericos, ou ao seu entorno, em tempo real ou não:

A invenção provê ainda um aparelho de fototerapia, com motor(es) e/ou
15 dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou dispositivo(s) optoeletrônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou sistema(s) de reconhecimento de imagem(ens) e/ou sistema de reconhecimento de padrão(ões) de pacientes com vitiligo e/ou sistema de detecção(ões) de movimento destes pacientes frente a fonte de luz para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos ao corpo de pacientes com vitiligo, ou ao seu entorno, em tempo real ou
20 não;

A invenção provê ainda um aparelho de fototerapia, com motor(es) e/ou dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou dispositivo(s) optoeletônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou sistema(s) de reconhecimento de imagem(ens) e/ou sistema de

reconhecimento de padrã(ões) de pacientes com câncer de pele, ou outra neoplasia, e/ou sistema de detecção(ões) de movimento destes pacientes frente a fonte de luz para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos ao corpo de pacientes oncológico, ou ao seu entorno, em tempo real ou não;

5 Em anexo, a **Figura 1** ilustra o princípio de funcionamento do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterico (**Figura 1a**). Nesse aparelho, um alvo de luz vermelha é direcionado ao centro do RN (**Figura 1b**) para posterior ou concomitante exposição ideal do RN as condições de exposição à iluminação azul (**Figura 1c**).

10 A **Figura 2** ilustra esquematicamente a configuração do dispositivo eletrônico da invenção.

 O dispositivo eletrônico (**100**) de acordo com a invenção, capaz de direcionar um feixe e/ou alvo luminosos a recém-nascidos ictericos sob fototerapia neonatal, compreende uma fonte de iluminação (**1**) dentro da faixa do visível para direcionamento
15 de feixe ou alvo luminosos em recém nascidos ictericos ou na região de seu entorno, e uma fonte de iluminação (**2**) selecionada dentro da banda de absorção da bilirrubina e de seus isômeros (faixa espectral de 300 a 800 nm), e outra de qualquer cor ou espectro. A fonte (**1**) é em geral um LED com emissão na faixa do visível (violeta, azul, verde, laranja, vermelho etc.).

20 O **Anexo 1** apresenta fotos de um aparelho de fototerapia da invenção com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterico. Nesse aparelho, o feixe de luz vermelha é direcionado ao centro do RN (**Anexo 1**) para posterior exposição ideal do RN as condições de iluminação azul da fototerapia neonatal (**Anexo 1**).

O **Anexo 2** apresenta uma foto de um alvo de luz vermelha oriundo do feixe de luz vermelha direcionado ao paciente icterício.

Listagem de figuras

Figura 1: Princípio de funcionamento do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterício. Em (a) tem-se o RN; em (b) tem-se o direcionamento de uma fonte de luz vermelha, tipo foco, para posicionamento do RN nas melhores condições de iluminação e, finalmente, em (c) a exposição ideal de iluminação ao RN.

Figura 2: Esquema eletrônico do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterício.

Listagem de anexos

Anexo 1: Aplicabilidade do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos. À esquerda vê-se o feixe e alvo luminosos vermelho, tipo alvo, direcionado ao tórax do RN. À direita vê-se a luz azul maximizada na região do Tórax do RN. O sistema é tido como indutivo, pois permite que os profissionais da área de saúde direcionem corretamente a fonte de fototerapia a região de maior influência no tratamento da hiperbilirrubinemia neonatal.

Anexo 2: Detalhes do alvo proveniente do alvo luminosos do aparelho de fototerapia dessa invenção. ⁴

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de fototerapia caracterizado por compreender um dispositivo ótico, por meio de: (a) uma fonte de iluminação com espectro de emissão luminosa, ou dispositivo(s) similar (es), selecionado dentro da banda de absorção da bilirrubina e de seus isômeros (faixa espectral de 300 a 800 nm), incluindo fontes de iluminação nas regiões do violeta, azul, verde, amarelo, laranja e/ou vermelho, dotado(s) ou não de filtro(s) e componente(s) óptico(s), laser(es), LED(s), lente(s), espelho(s) e componente(s) elétrico(s) e/ou magnético(s); (b) uma fonte de iluminação, tipo feixe e/ou alvo luminosos, com espectro de emissão luminosa, ou dispositivo(s) similar(es), selecionados dentro da faixa do espectro visível, incluindo violeta, azul, verde, amarelo, laranja e/ou vermelho, dotado(s) ou não de filtro(s) e componente(s) óptico(s), laser(es), LED(s), lente(s), espelho(s) e componente(s) elétrico(s) e/ou magnético(s).
2. Aparelho de fototerapia, de acordo com a reivindicação 01, caracterizado por sistemas de iluminação como lasers e lâmpadas incandescentes, dicroicas, fluorescentes e halógenas; tipo LED orgânico, inorgânico ou híbrido, ou combinações de duas ou mais lâmpadas diferentes combinadas em qualquer configuração, dispostas em aparelhos de fototerapia com feixe e/ou alvo luminosos com direcionamento do foco de iluminação proveniente da fonte de fototerapia ao objeto de interesse ou na região em seu entorno.
3. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01 e 02, caracterizado por o objeto de interesse apresentar condições de máxima intensidade luminosa ou de irradiância.

4. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02 e 03, caracterizado por conter luz azul e sistemas de iluminação baseados em dispositivos emissores de luz orgânicos, inorgânicos ou híbridos, flexíveis ou rígidos, capaz de englobar todo ou parcialmente o objeto de interesse.
- 5 5. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03 e 04 caracterizado pelo direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para intensificação da irradiância em recém-nascidos submetidos ao tratamento fototerapêutico da icterícia ou hiperbilirrubinemia neonatal.
6. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04 e 05
10 caracterizado pelo direcionamento de feixe e/ou alvos luminosos na forma de filme luminoso que é alternativamente impresso via técnicas de *silk screen*, rotogravura, impressão a jato de tinta, ou similares sobre uma peça de vestuário, tais como calças, macacões, pijamas e blusas, e fraldas.
7. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05 e 06
15 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos operando com baterias, pilhas, fontes de corrente contínua (dc) e/ou fontes de corrente alternada (ac).
8. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07 caracterizado pelo direcionamento ou não de feixe e/ou alvo luminosos na forma de filme luminoso.
- 20 9. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 08, caracterizado por envolver o corpo de interesse na forma de vestimenta tipo manta ou cobertores ou roupas em formatos diversos, incluindo pijamas, blusas, macacões, calças, fraldas.

10. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08 e 09 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para dosar e avaliar as condições dos processos de irradiação para fins sanitários, fitossanitários e ou tecnológicos.

5 11. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 e 10, caracterizado por conter motor (es) e/ou dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou dispositivo(s) optoeletrônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou sistema(s) de reconhecimento de imagem (ens) e/ou sistema de reconhecimento de padrão (ões) e/ou sistemas de sensoriamento de recém-nascido e/ou sistema de detecção(ões) de movimento do recém-nascido frente a fonte de luz para direcionamento de feixe e/ou
10 alvo luminosos ao corpo de pacientes ictericos, ou ao seu entorno, em tempo real ou não.

12. Aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11 caracterizado por conter motor (es) e/ou dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou
15 dispositivo(s) optoeletrônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou sistema(s) de reconhecimento de imagem (ens) e/ou sistema de reconhecimento de padrão(ões) e/ou sistemas de sensoriamento de pacientes com câncer de pele, ou outra neoplasia, e/ou sistema de detecção(ões) de movimento destes pacientes frente a fonte de luz para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos ao corpo de pacientes oncológicos, ou ao
20 seu entorno, em tempo real ou não.

13. Equipamento para irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12 caracterizado por conter motor (es) e/ou dispositivo(s) eletrônico(s) e/ou dispositivo(s) optoeletrônico(s) e/ou dispositivo(s) óptico(s) e/ou

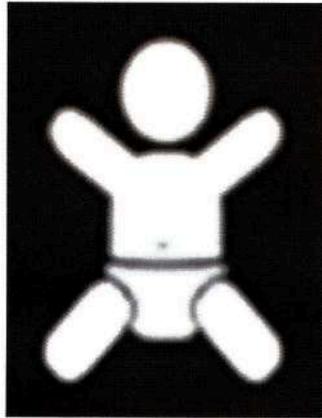
- sistema(s) de reconhecimento de imagem (ens) e/ou sistema de reconhecimento de padrão(ões) e/ou sistemas de sensoriamento de pacientes com vitiligo e/ou sistema de detecção(ões) de movimento destes pacientes frente a fonte de irradiação para direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos ao corpo desses pacientes, ou ao seu
- 5 entorno, em tempo real ou não.
14. Uso do aparelho para irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12 e 13 caracterizado por direcionamento de feixe ou alvo luminosos para máquinas de bronzeamento artificial.
15. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12,
- 10 13 e 14 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de iluminação no tratamento de vitiligo.
16. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de terapia fotodinâmica no tratamento de pacientes oncológicos.
- 15 17. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para inspeção e/ou avaliação das condições de iluminação em tratamento fototerapêutico da icterícia, do vitiligo, do câncer de pele e de outras doenças dermatológicas.
18. Uso do aparelho de fototerapia, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12,
- 20 13, 14, 15, 16 e 17 caracterizado por dosar a irradiância em pacientes sob tratamento com radiações, ionizantes ou não, em hospitais, maternidades, unidades de terapia intensiva e domicílios.

19. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação UV no controle germicida e bactericida.
20. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante em processos de irradiação com fins terapêuticos e estéticos.
21. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante em processos de irradiação de alimentos com fins sanitários, fitossanitários, de inibição de brotamento e de retardo de maturação.
22. Uso do aparelho de irradiação, de acordo com as reivindicações 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 caracterizado por direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos para fontes de radiação ionizante em processos de irradiação de flores para fins sanitários, fitossanitários, comerciais e tecnológicos.

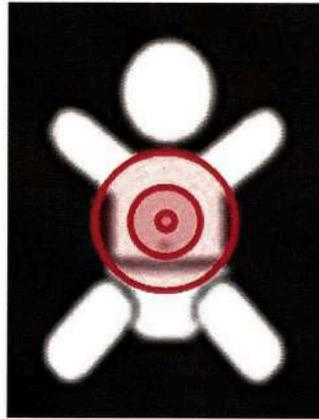
Patente de invenção: "APARELHO DE FOTOTERAPIA COM DIRECIONAMENTO DE FEIXE E/OU ALVO LUMINOSOS"

Trata-se a presente invenção de um aparelho para direcionamento de feixes luminosos a recém-nascidos ictericos sob fototerapia neonatal, composto de uma ou mais fontes de
5 iluminação, uma selecionada dentro da banda de absorção da bilirrubina e de seus isômeros (faixa espectral de 300 a 800 nm), e outra de qualquer cor ou espectro que possibilite o posicionamento ideal de pacientes ictericos sob fontes de fototerapia, por meio do direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos, intermitentes ou não, para uso em recém-nascidos ictericos em incubadoras, maternidades, hospitais, unidades de
10 pediatria, unidades de tratamento intensivo e domicílios. O aparelho tem variedade de uso em tratamentos médicos, hospitalares, comerciais e estéticos, com radiações ionizante ou não-ionizante e com propósitos terapêuticos ou tecnológicos, tais como bronzeamento artificial, tratamento de vitiligo, tratamento oncológico e desinfestação, inibição de brotamento e retardo de maturação de alimentos.

FIGURAS



(a) RN

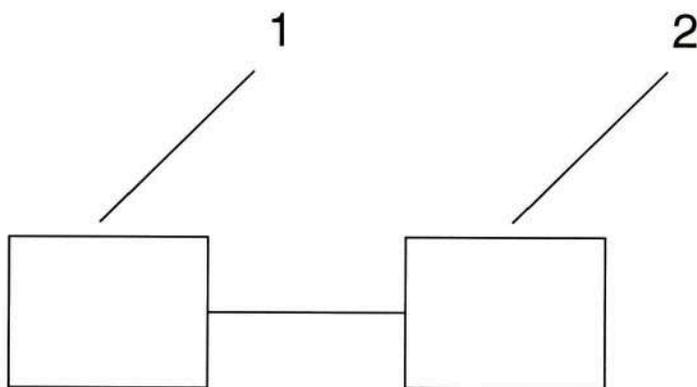


(b) direcionamento



(c) exposição

FIGURA 1: Princípio de funcionamento do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterício. Em (a) tem-se o RN; em (b) tem-se o direcionamento de uma fonte de luz vermelha, tipo foco, para posicionamento do RN nas melhores condições de iluminação e, finalmente, em (c) a exposição ideal de iluminação ao RN.



100

FIGURA 2: Esquema eletrônico do aparelho de fototerapia com direcionamento de feixe e alvo luminosos ao paciente icterício

ANEXOS

ANEXO 1: Aplicabilidade de fototerapia com direcionamento de feixe e/ou alvo luminosos. À esquerda vê-se o feixe e alvo luminoso vermelho, tipo alvo, direcionado ao tórax do RN. A direita vê-se a luz azul maximizada na região do Tórax do RN. O sistema é tido como indutivo, pois permite que os profissionais da área de saúde direcionem corretamente a fonte de fototerapia a região de maior influencia no tratamento da hiperbilirrubinemia neonatal.



ANEXO 2: Detalhes do alvo proveniente do alvo luminoso do aparelho de fototerapia dessa invenção.