

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA**

JHONATAN SCHUTZ TEMPESTA

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DE ILUMINAÇÃO FOTOTERÁPICA
PARA O TRATAMENTO DE ICTERÍCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

JHONATAN SCHUTZ TEMPESTA

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DE ILUMINAÇÃO FOTOTERÁPICA
PARA O TRATAMENTO DE ICTERÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em engenharia industrial elétrica, do departamento de eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Industrial Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Jhonatan Schutz Tempesta

Proposta de um protótipo de iluminação fototerápica para o tratamento de icterícia

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 13:00hs do dia 28/11/2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Kleber Romero Felizardo - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

Dedico este trabalho à minha família,
pedra angular na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tenho e sou.

Aos meus pais, Traude e Ivoli, por estarem sempre me incentivando e apoiando.

A minha esposa, Aline, pela compreensão, carinho e dedicação.

As minhas filhas Daniele e Eloisa, ainda a caminho, por me trazerem tanta alegria.

A todos os professores da UTFPR, em especial, ao professor orientador Marco Antonio Ferreira Finocchio, por todo apoio, acompanhamento e ensinamento repassado durante a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso, pela amizade e apoio durante as horas de estudos e trabalhos.

“Um homem é um sucesso quando pula da cama de manhã e vai dormir à noite, e nesse meio tempo faz o que gosta”. (Bob Dylan)

RESUMO

TEMPESTA, Jhonatan Schutz. **Proposta de um protótipo de iluminação fototerápica para o tratamento de icterícia**. 2014. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

A fototerapia tem sido um dos tratamentos mais indicados para os casos de icterícia por ser um método não invasivo e de alto impacto na diminuição da concentração dos níveis de bilirrubina. Este processo realiza a transformação fotoquímica da bilirrubina, fazendo com que seus fotoprodutos possam ser eliminados pelos rins ou fígado. A iluminação para a fototerapia pode ser obtida a partir de qualquer fonte de luz, desde que a mesma possua valores de irradiância e comprimentos de onda, compreendidos dentro dos valores aceitáveis ao tratamento, essa banda de comprimento de onda aceitável, corresponde a uma coloração azulada. O objetivo deste trabalho contempla a construção de dois protótipos de iluminação fototerápica para o tratamento de icterícia: um utilizando lâmpadas fluorescentes e o outro utilizando diodos emissores de luz, onde será avaliado qual tipo de iluminação é o mais eficiente considerando apenas valores de irradiância e iluminância, que serão obtidos através de instrumentos que estão disponíveis no LABSIEE (Laboratório de Segurança Iluminação e Eficiência Energética) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio.

Palavras-chave: Iluminação. Fototerapia. Icterícia. LED. Fluorescente.

ABSTRACT

TEMPESTA, Jhonatan Schutz. **Proposal of a prototype phototherapy lighting for treatment of jaundice**. 2014. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Phototherapy has been one of the most indicated treatment for cases of jaundice to be a noninvasive, high impact in reducing the concentration of bilirubin levels. This process performs the photochemical transformation of bilirubin, causing their photoproducts can be cleared by the kidneys or liver. The illumination for phototherapy may be obtained from any light source, provided that it has irradiance values and wavelengths included within the values acceptable to treatment, the acceptable wavelength band corresponds to a bluish. This work includes the construction of two phototherapy lighting prototypes for the treatment of jaundice: one using fluorescent lamps and the other using light emitting diodes, which will be assessed which type of lighting is the most efficient considering only irradiance values and illuminance which will be obtained through instruments that are available in LABSIEE (Safety Laboratory Lighting and Energy Efficiency) of the Federal Technological University of Paraná, Campus Cornélio Procópio.

Keywords: Lighting. Phototherapy. Jaundice. Led. Fluorescent.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lâmpada incandescente patenteada por Thomas Alva Edson.	13
Figura 2 - Enfermeira J. Ward descobriu que a luz curava os recém-nascidos.....	14
Figura 3 - Efeito da distância entre a fonte de luz e o recém-nascido.....	17
Figura 4 - Fatores importantes na eficácia da fototerapia.	19
Figura 5 - Fototerapia Convencional.	21
Figura 6 - Fototerapia por lâmpada halógena.	22
Figura 7 - Fototerapia por colchão luminoso.	23
Figura 8 - Fototerapia alta intensidade.....	24
Figura 9 - Fototerapia equipada com LED.....	25
Figura 10 - Espectro Eletromagnético (comprimentos de onda em nanômetros).....	27
Figura 11 - Curva do espectro de absorção de luz pela bilirrubina.	27
Figura 12- Fenômeno de emissão de luz por lâmpadas de descarga gasosa.	28
Figura 13 - Evolução da tecnologia das lâmpadas LED's.	30
Figura 14 - Estrutura Fixação.....	32
Figura 15 - PLF.....	33
Figura 16 - PLED.....	34
Figura 17 - Radiômetro MES100 e Luxímetro LD-200.....	35
Gráfico 1 - Concentração Bilirrubina X Tempo.....	26
Gráfico 2 - Iluminância X Distância.....	37
Gráfico 3 - Irradiância Mínima X Distância.....	37
Gráfico 4 - Irradiância Máxima X Distância.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pós utilizados em lâmpadas fluorescentes.	29
Tabela 2 - Cores associadas a alguns semicondutores usados atualmente.	30
Tabela 3 - Propriedades Reator	33
Tabela 4 - Propriedades LED	34
Tabela 5 - Medição PLF	36
Tabela 6 - Medição PLED	36

LISTA DE SIGLAS

LED	Light Emitting Diode
PLED	Protótipo Leds
PLF	Protótipo Lâmpadas Fluorescentes
RN	Recém-nascido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 A EFICÁCIA DA FOTOTERAPIA PARA RN COM ICTERÍCIA	16
2.1.1 Superfície corporal exposta à luz.....	16
2.1.2 Distância entre a fonte luminosa e o paciente	17
2.1.3 Dose de irradiância	18
2.1.4 Tipo de iluminação utilizada na fototerapia	19
2.2 TIPOS DE FOTOTERAPIA	19
2.2.1 Fototerapia Convencional	19
2.2.2 Fototerapia por lâmpada halógena	21
2.2.3 Fototerapia por colchão luminoso	22
2.2.4 Fototerapia de alta intensidade	23
2.2.5 Fototerapia utilizando LEDs	24
2.3 TIPOS DE LÂMPADAS UTILIZADAS	26
2.3.1 Lâmpadas Fluorescentes.....	28
2.3.2 Diodos Emissores de Luz	29
2.4 MECANISMOS AÇÃO FOTOTERAPIA	31
3 MÉTODOS DESENVOLVIDOS.....	32
3.1 PROTÓTIPOS	32
3.1.1 Protótipo com iluminação de lâmpadas fluorescentes - PLF	32
3.1.2 Protótipo com iluminação de LEDs - PLED	33
4 RESULTADOS DOS PROTÓTIPOS.....	35
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A luz, sem dúvida é um dos elementos de maior importância na vida dos seres humanos, seja ela em forma natural ou artificial. Desde os tempos primórdios, a humanidade já fazia uso da iluminação de maneira artificial através da utilização do fogo, que era utilizado como fonte de calor e luz (PIVA, 2009).

A primeira tentativa em obter luz a partir de energia elétrica foi em 1802, em Londres, pelo químico Humphry Davy, do *Royal Institution*. Conhecida como lâmpada de arco carbônico, era composta por dois eletrodos de carbono que, em contato, produziam um ponto luminoso intenso com a passagem da corrente elétrica. A invenção chegou a ser usada em alguns pontos de iluminação pública da Inglaterra, mas logo foi abandonada pois todos os dias era preciso fazer manutenção com a troca dos eletrodos e limpeza de seu invólucro, pois a fuligem dos carbonos enegrecia o vidro (WERUSKA, 2009).

As primeiras lâmpadas incandescentes, desenvolvidas por volta de 1870 pelo inventor Thomas Alva Edson, utilizavam um filamento constituído de um fio fino de bambu carbonizado, de durabilidade muito baixa, o que levou os pesquisadores a desenvolverem novos filamentos, baseados em fios metálicos, como o ósmio e o tungstênio (DIAS, 2004). Para solucionar o problema do escurecimento do bulbo foi introduzido dentro do mesmo um gás inerte, como argônio ou nitrogênio, que reduz a sublimação do filamento. Edson então patenteou a nova descoberta e fundou uma empresa que fabricaria e venderia em larga escala o seu modelo de lâmpada incandescente como mostrado na Figura 1 (WERUSKA, 2009).



**Figura 1 - Lâmpada incandescente patenteada por Thomas Alva Edson.
Fonte: WERUSKA (2009).**

As lâmpadas também podem ser utilizadas como fontes de luz no processo de fototerapia, que é um procedimento que utiliza a ação da luz, no tratamento de icterícia, e que consiste na exposição do recém-nascido (RN) despido a uma fonte de luz (CAMPOS; CARDOSO, 2004).

A fototerapia foi descoberta em 1956 pela enfermeira inglesa J. Ward, (Figura 2), ao verificar que as crianças perdiam o tom amarelado da pele quando dormiam próximas da janela ou tomavam sol no jardim do Rockford General Hospital, em Essex (FAPESP, 1999). Essa coloração é proveniente da icterícia neonatal, também conhecida por “amarelão”, uma patologia que ocorre em RN, como resultado de um desequilíbrio entre a produção e eliminação de bilirrubina. O excesso de bilirrubina no sangue se difunde para o tecido subcutâneo, causando o amarelamento da pele (ALLA; CLARK; JUNIOR, 2009).



**Figura 2 - Enfermeira J. Ward descobriu que a luz curava os recém-nascidos.
Fonte: FAPESP (2009).**

A icterícia tem sido uma das patologias de maior ocorrência no período neonatal. Aproximadamente 60% dos RN apresentam níveis séricos (termo utilizado por profissionais da saúde referindo-se a quantidade de alguma substância presente no sangue) de bilirrubina superiores a 5 mg/dl e cerca de 25% desenvolvem valores séricos de bilirrubina maior que 7,0mg/dl podendo ser associada a icterícia visível (REIS; ARRUDA; SANTOS, 2008).

O tratamento que tem sido mais utilizado para estes casos é a fototerapia, por ser um método não invasivo e de alto impacto na diminuição da concentração dos níveis de bilirrubina. Desde sua introdução, estima-se que só nos Estados Unidos, mais de 350.000 RN recebem esta modalidade terapêutica anualmente (VIEIRA et al., 2004).

O sucesso da fototerapia depende da transformação fotoquímica da bilirrubina nas áreas expostas à luz. Essas reações alteram a estrutura da molécula de bilirrubina e permitem que os fotoprodutos sejam eliminados pelos rins ou pelo fígado, sem sofrerem modificações metabólicas. Portanto, o mecanismo de ação básico da fototerapia é a utilização de energia luminosa na transformação da bilirrubina em produtos mais hidrossolúveis (CARVALHO, 2001).

A indicação de fototerapia para a redução de níveis séricos de bilirrubina em recém-nascidos requer vários cuidados, pois nessa fase da vida a toxicidade a níveis altos pode acarretar em sequelas neurológicas irreversíveis. Para isso deve-se avaliar a eficácia que o tratamento fototerápico irá possuir. A iluminação para a fototerapia pode ser obtida a partir de qualquer fonte de luz, contanto que seus níveis estejam compreendidos dentro dos valores aceitáveis ao tratamento. Com o passar do tempo foram surgindo novos tipos de lâmpadas, fazendo com que alguns tenham um melhor aproveitamento do que outros.

Portanto o objetivo principal deste trabalho consiste na montagem de um protótipo contendo dois tipos de iluminação: Lâmpadas Fluorescentes e LEDs. Onde em cada método de iluminação foi medidos os valores de Iluminância e Irradiância. Esses valores foram avaliados e também comparados os resultados de cada um dos tipos de iluminação. Também foi analisada a possibilidade e a necessidade de se controlar o tempo de funcionamento e a luminosidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A EFICÁCIA DA FOTOTERAPIA PARA RN COM ICTERÍCIA

A eficácia da fototerapia está relacionada a uma série de fatores, dentre os quais podem ser citados como mais importantes:

- Superfície corporal exposta à luz;
- Distância entre a fonte luminosa e o paciente;
- Dose de irradiância;
- Tipo de iluminação utilizada na fototerapia.

2.1.1 Superfície corporal exposta à luz

Como a fototerapia atua no nível da pele do paciente, pode-se deduzir que a superfície corporal exposta à luz é uma determinante de alta importância na sua eficácia. Quanto maior a área irradiada, maior a eficácia da fototerapia. O uso de fraldas em RN ictericos submetidos a fototerapia, diminui a superfície corporal exposta à luz, diminui consideravelmente sua eficácia e, por isso, deve ser evitado (CARVALHO, 2001).

Um estudo comparou a eficácia da fototerapia convencional de lâmpada fluorescente com uma fototerapia de fibra óptica (Biliblanket®), que utiliza lâmpada halógena de tungstênio de alta intensidade de luz e verificou equivalência clínica entre os aparelhos. Apesar da irradiância emitida pelo Biliblanket® ser 4,5 vezes maior do que a da fototerapia convencional, a luz incide numa área de superfície corporal significativamente menor, fazendo com que o RN receba uma dose igual de luz em ambos os grupos (MARTINS, 2006).

A área corporal de um RN a termo (nascido no tempo ideal) pesando 3,5 kg é de 2200 cm². Assumindo-se que a parte anterior (ou posterior) do corpo é aproximadamente igual a 25% da superfície corporal total, deduz-se que a área iluminada por uma fototerapia convencional é de cerca de 550 cm². Superfícies refletoras (espelho parabólico, filme refletor, folha de alumínio ou tecido branco),

colocadas abaixo ou lateralmente ao RN, têm sido usadas com sucesso para aumentar a área corporal iluminada. A utilização desses artefatos aumenta em até 35% a área corporal iluminada (CARVALHO; LOPES; NETTO, 1999).

2.1.2 Distância entre a fonte luminosa e o paciente

Segundo (MAISELS; WATCHKO, 2003) a irradiância espectral aumenta drasticamente à medida que a distância entre a fonte de luz e o RN diminui, e esse efeito é ainda maior quando são utilizados lâmpadas “*special blue*” não encontradas nacionalmente, como mostra a Figura 3, onde mostra a curva de irradiância em relação a distância para alguns tipos de lâmpadas. A distância ideal depende do tipo de luz, mas existe um limite a partir do qual não se deve abaixar, devido a alguns inconvenientes como o bloqueio da visão do paciente pelo profissional da saúde, assim como a dificuldade no manuseio.

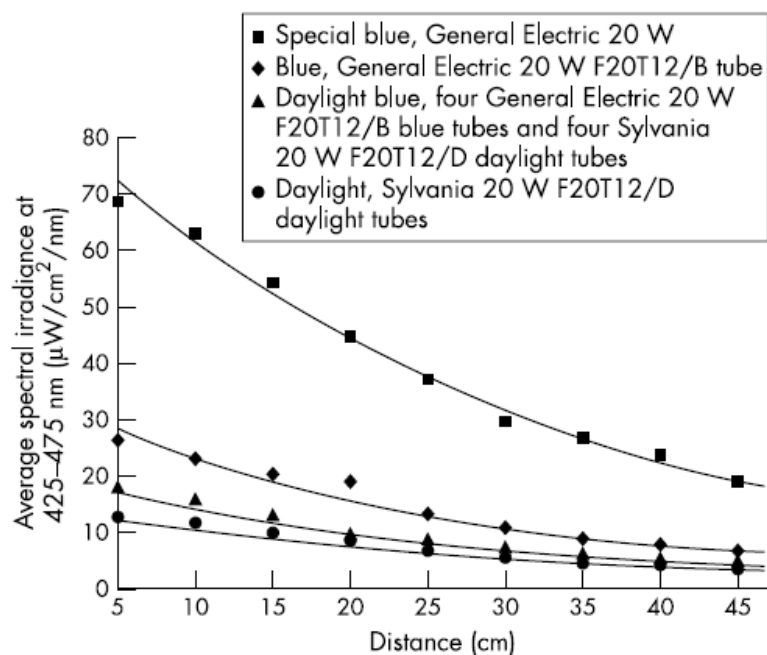


Figura 3 - Efeito da distância entre a fonte de luz e o recém-nascido
Fonte: Maisels; Watchko (2003)

A aproximação da fonte luminosa faz com que a irradiância seja distribuída de forma heterogênea, de maneira que o centro receba irradiância consideravelmente maior do que a periferia. Nem todos os tipos de luz podem ser colocados próximos ao paciente, pelo risco de queimaduras, como no uso de lâmpadas halógenas que

devem ser posicionadas a uma distância mínima 50 cm do paciente (MARTINS, 2006).

2.1.3 Dose de irradiância

Irradiância é a potência óptica da luz emitida pela fototerapia, ou seja, é a quantidade de energia luminosa incidente sobre o RN em uma determinada faixa do espectro de radiação (por exemplo, a do espectro azul é de 425 nm a 475 nm aproximadamente). A unidade usual de medida é o microwatts por centímetro quadrado por nanometro ($\mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$) (MARTINS, 2006).

É certo que existe uma correlação entre irradiância e a queda da bilirrubina, quanto maior a irradiância na faixa do azul, maior é a queda da concentração de bilirrubina, porém existe um ponto de saturação, onde um aumento na irradiância não necessariamente leva a um aumento na queda de bilirrubina. Baseado nesses resultados convencionou-se que a menor dose clínica eficaz no tratamento da icterícia pela fototerapia seria de $4 \mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$ (CARVALHO, 1999).

Segundo (MODI; KEAY, 1983) a dose de irradiância mínima que uma fototerapia deve emitir é de $4 \mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$. Esta dose mínima eficaz é o limite abaixo do qual a fotorreação da bilirrubina é tão pequena que não justifica manter o RN em fototerapia (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004).

A não observância da importância da dose de irradiância na fototerapia é, sem dúvida, um dos fatores responsáveis pela enorme variação na eficácia da fototerapia em berçários. Administrar fototerapia sem determinar a irradiância emitida constitui uma forma não controlada e, muitas vezes, ineficaz de tratamento. Diversos são os motivos pelos quais nossos aparelhos convencionais de fototerapia emitem, no nível de pele do RN, irradiância abaixo do mínimo recomendável. Dentre alguns, destacamos o número insuficiente de lâmpadas por aparelho; o uso, não raro, de aparelhos com algumas lâmpadas queimadas; a menor intensidade de energia luminosa de lâmpadas fluorescentes tipo luz do dia, de fabricação nacional, quando comparadas com similares americanas (CARVALHO, 2001).

2.1.4 Tipo de iluminação utilizada na fototerapia

Qualquer tipo de iluminação pode ser utilizada no tratamento. Porém o espectro de absorção de bilirrubina é mais efetivo em torno de 460nm, como pode ser observado na Figura 4 (MAISELS; MCDONAGH, 2008).

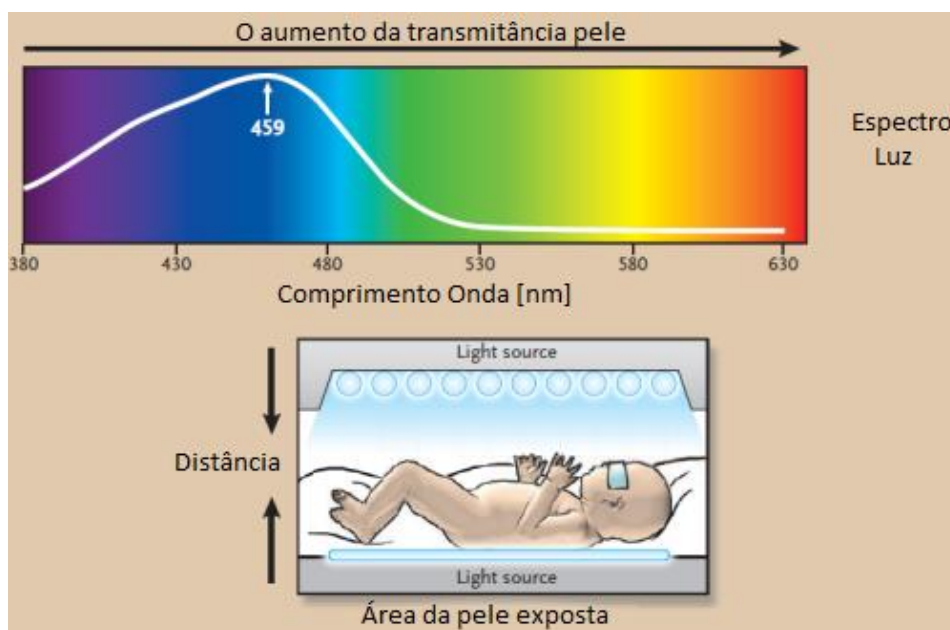


Figura 4 - Fatores importantes na eficácia da fototerapia.
Fonte: Maisels; Mcdonagh (2008).

2.2 TIPOS DE FOTOTERAPIA

Qualquer tipo de luz que emita energia suficiente na faixa entre 400 nm e 500 nm, com pico máximo ao redor de 460 nm é eficaz na fotodegradação da bilirrubina, pois é nessa faixa que a bilirrubina absorve luz. Com base nesse princípio, diversos tipos de fontes de luz têm sido utilizados em fototerapias. Com o objetivo de melhoria da fototerapia, surgiram novos aparelhos para o tratamento, como os que seguem: (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004)

2.2.1 Fototerapia Convencional

A fototerapia convencional é composta normalmente de seis a sete lâmpadas fluorescentes de 20 watts do tipo "luz do dia" dispostas aproximadamente

a 50 cm do RN, como mostrado na Figura 5. A área de superfície corporal iluminada neste tipo de iluminação é grande, uma vez que quase todo RN é irradiado. Porém a irradiância emitida neste tipo de fototerapia é muito baixa, devido à ampla faixa de comprimentos de ondas que são emitidos neste tipo de iluminação, o que faz com que os comprimentos necessários não possuem uma alta irradiação, com isso o aparelho apresenta uma eficácia menor do que a esperada (CARVALHO, 2001).

Com o objeto de melhorar a eficácia deste tipo de fototerapia, foram propostas por MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004 algumas recomendações:

- Posicionar o aparelho a cerca de 30cm do paciente;
- Manter limpa a superfície de acrílico da incubadora e a proteção do dispositivo da fototerapia;
- Verificar se todas as lâmpadas estão acesas;
- Utilizar aparelhos equipados com 7 ou 8 lâmpadas;
- Substituir duas lâmpadas fluorescentes brancas por lâmpadas azuis
- Verificar periodicamente a irradiância emitida pela fototerapia
- O RN deve ser exposto à fototerapia nu.

O ideal é a substituição de todas as lâmpadas brancas por lâmpadas azuis seria ideal, pois elas provocam uma queda mais rápida e acentuada dos níveis séricos de bilirrubina. Porém, essas lâmpadas tem um custo mais alto e não são encontradas no mercado nacional e existe uma certa resistência quanto ao seu uso em berçários pois a equipe médica queixa-se com frequência de tonteadas, náuseas e vômitos após um certo tempo de exposição a esse tipo de luz.



Figura 5 - Fototerapia Convencional.
Fonte: Martins (2006).

2.2.2 Fototerapia por lâmpada halógena

Na fototerapia por lâmpada halógena, mostrada na Figura 6, a luz é emitida por um único fecho de luz com diâmetro aproximado de 18 cm quando colocado a 50 cm do paciente. São utilizadas lâmpadas halógenas, com um filtro para as ondas infravermelho e ultravioleta, fazendo com que o dispositivo emita alta irradiância na faixa azul entre $25 \mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$ a $35 \mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$ (MARTINS, 2006).

Segundo (CARVALHO, 2001) essa fototerapia é recomendada apenas para RN com peso inferior a 2500g, pois nesse caso o RN cabe quase inteiramente no fecho luminoso emitido pelo aparelho. No caso de RN com peso superior a 2500g podem ser utilizado dois equipamentos de fototerapia, fazendo com que a superfície corporal iluminada seja aumentada.

Esse tipo de lâmpada possui uma vida média em torno de 500 a 800 horas, devido ao intenso calor que é gerado pelo filamento interno, devendo ser trocadas sempre que a irradiância medida for menor que $10 \mu\text{Wcm}^{-2}/\text{nm}$ (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004).



Figura 6 - Fototerapia por lâmpada halógena.
Fonte: Martins (2006).

2.2.3 Fototerapia por colchão luminoso

Na fototerapia por colchão luminoso, o RN é colocado em contato com um colchão luminoso como mostrado na Figura 7. A fonte de luz é uma lâmpada halógena especial, que chega até ao colchão através de um cabo de fibra óptica e possui um sistema de filtros que permite a passagem de luz apenas na faixa de 400nm a 500nm. Esse colchão luminoso é relativamente pequeno, com dimensões de 13 cm X 10 cm (CARVALHO, 2001).

Apesar da alta irradiância, que se situa entre $35 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ a $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, esse tipo de fototerapia apresenta uma baixa eficácia, devido a pequena superfície corporal exposta a luz e também a alta mobilidade do RN. Por isso, é recomendado que seja utilizado em RN prematuros, que possuem uma baixa mobilidade, ou em conjunto com fototerapia convencional (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004).



Figura 7 - Fototerapia por colchão luminoso.

Fonte: http://massonmoms.blogspot.com.br/2009_05_01_archive.html.

2.2.4 Fototerapia de alta intensidade

A fototerapia de alta intensidade consiste em um berço de acrílico de 60 cm X 35 cm, iluminado na parte de baixo por um conjunto de 7 lâmpadas fluorescentes “luz do dia” como mostrado na Figura 8. Para um melhor aproveitamento da luz, são colocadas películas refletoras nas laterais e na superfície, de modo a retornar a luz que não seria aproveitada (CARVALHO; LOPES; NETTO, 1999).

A irradiância direta emitida pelo aparelho é de aproximadamente $19 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. A irradiância indireta, proveniente da luz nas paredes e da cúpula refletora do berço é de $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. O calor gerado por esse conjunto de lâmpadas é dissipado através de um sistema de ventiladores e exaustores. (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004).

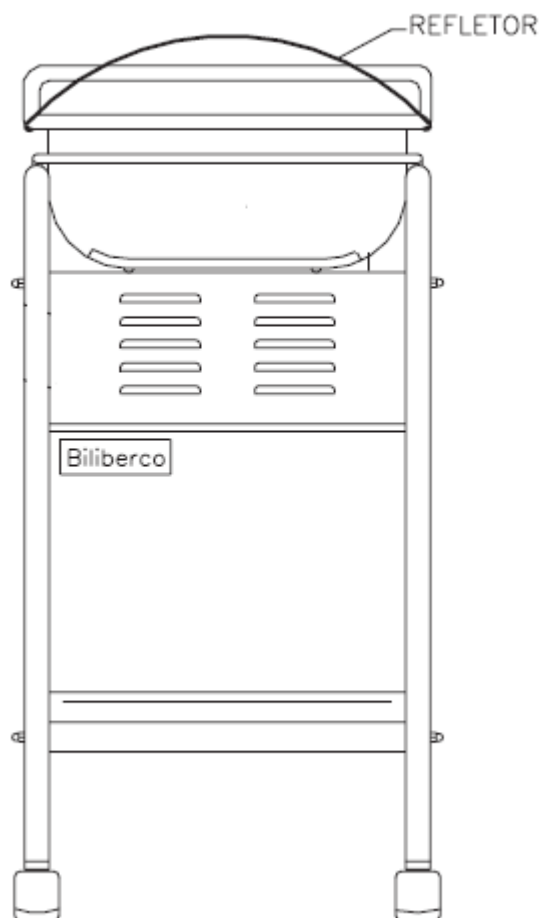


Figura 8 - Fototerapia alta intensidade.
Fonte: CARVALHO; LOPES; NETTO (1999).

2.2.5 Fototerapia utilizando LEDs

Os diodos emissores de luz, conhecidos pela sigla em inglês LED (*light emitting diode*), são basicamente fontes de luz que possuem uma banda espectral relativamente estreita, quando comparados as lâmpadas fluorescentes. Em geral, são encontrados em tamanhos e potências pequenas, porém, podem ser utilizados como fontes de luz em tratamentos fototerápicos, como ilustrado na Figura 9.

A viabilização no uso de LEDs como fontes de luz para fototerapia foi indicada inicialmente por ROSEN e ROSEN (1997). Já em 1998, VREMAN et al., demonstrou o potencial do LED como fonte de luz para fototerapia, através de um protótipo com LED azul de alta irradiação (ROSEN et al., 2005).

Em 1998, VREMAN et al., citou algumas características que sobrepõem os LEDs sobre as outras formas de iluminação, como:

- Intensidade alta e estável;
- Vida longa (mais de um ano de maneira contínua);
- Espectro luminoso estreito;
- Sem radiação infravermelho e ultravioleta;
- Sem geração de ozônio;
- A capacidade em ser focado com uma lente ou por meio da orientação espacial;
- Alta eficiência energética (3,0 mW / LED);
- Baixa tensão;
- Uso de corrente contínua (sem oscilações / sem vertigens);
- A capacidade de ser alimentado por bateria;
- Sem peças de vidro;
- Tamanho reduzido;
- A prova de choque e vibrações.



Figura 9 - Fototerapia equipada com LED.
Fonte: Martins (2006).

Em 2005, ROSEN et al., realizou um comparativo, através de medições na concentração de bilirrubina em algumas soluções. Este comparativo foi entre um

método de fototerapia convencional que utilizava duas lâmpadas GE luz do dia e uma “*INTERELETRIC BILIBLUE*” situado a 47 cm das amostras, e uma matriz de 20 LEDs azuis situada a 1 cm das amostras, medindo as concentrações de bilirrubina num período de 4 horas. Essas concentrações são mostradas através do Gráfico 1, onde é possível observar que a taxa de concentração de bilirrubina teve uma maior queda no equipamento que utiliza LEDs.

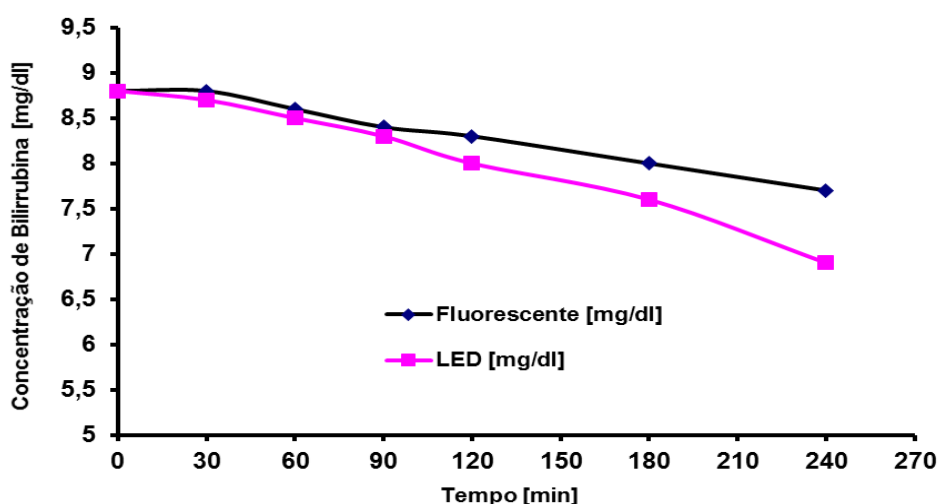


Gráfico 1 - Concentração Bilirrubina X Tempo
Fonte: ROSEN et al, (2005).

2.3 TIPOS DE LÂMPADAS UTILIZADAS

Para PEREIRA e SOUZA (2005), a luz, ou radiação visível, é energia em forma de ondas eletromagnéticas que são capazes de excitar o sistema humano olho-cérebro, produzindo diretamente uma sensação visual. Essas ondas eletromagnéticas possuem diferentes comprimentos e o olho humano é sensível a somente alguns (entre 380nm a 780nm). Ao contrário do som ou vibração, que são vibrações mecânicas, ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio para sua transmissão. Elas passam através de sólidos, líquidos ou gases, mas se propagam mais eficientemente no vácuo, onde não há nada para absorver a energia radiante.

O espectro eletromagnético, mostrado na Figura 10, mostra os diversos comprimentos de onda de alguns dos tipos de radiações eletromagnéticas, com valores em nanômetros. Entre as radiações ultravioleta e infravermelho, está situada

a radiação que é visível ao olho humano, que é capaz de discernir através de cores as variações do comprimento de onda.

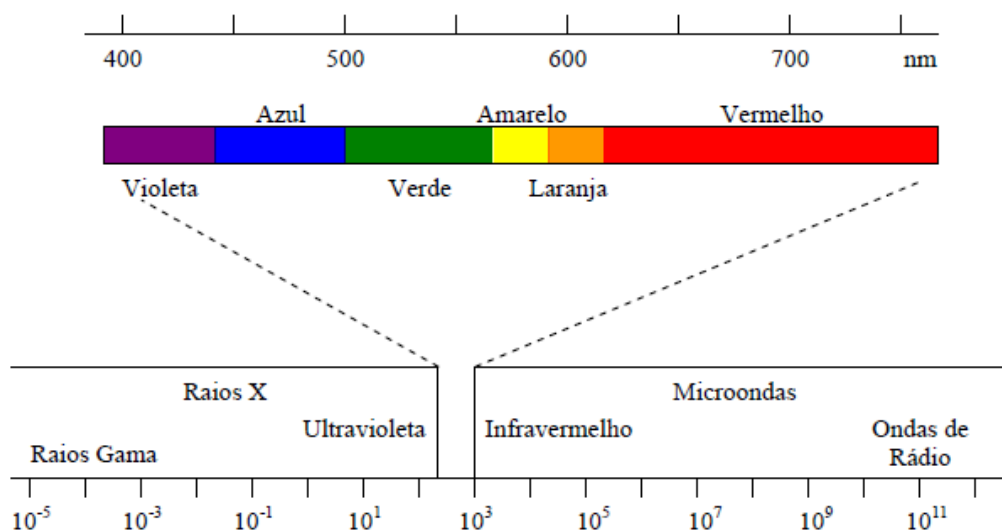


Figura 10 - Espectro Eletromagnético (comprimentos de onda em nanômetros).
Fonte: Finocchio (2014).

O fator fundamental no sucesso da fototerapia é a absorção da luz pela molécula de bilirrubina, no espectro situado na faixa de 400 nm a 500 nm, com o pico ao redor de 460 nm, como mostrado na Figura 11 (BROWN; MC DONAGH, 1980 apud MARTINS, 2006)

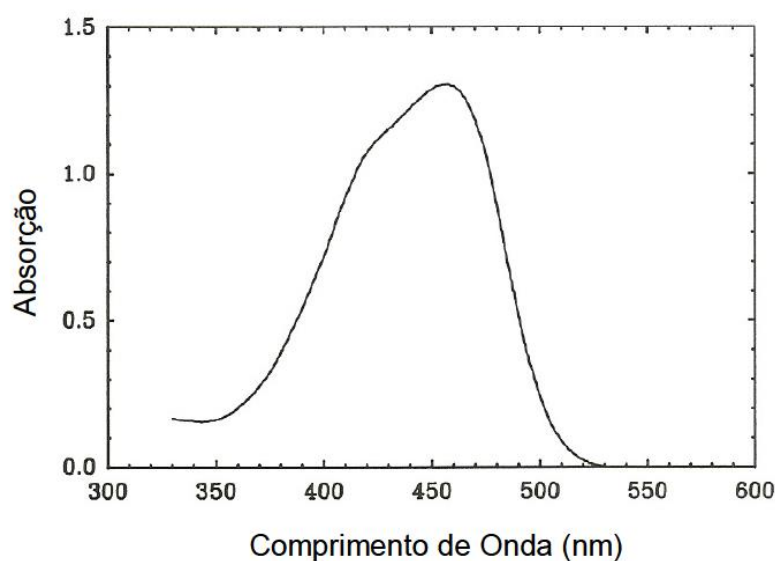


Figura 11 - Curva do espectro de absorção de luz pela bilirrubina.
Fonte: Martins (2006).

2.3.1 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga, geralmente de forma tubular, com um eletrodo em cada ponta, contendo vapor de mercúrio sob baixa pressão. A luz é produzida pela excitação de um gás, contido entre dois eletrodos, através da passagem de corrente elétrica. Esta excitação do gás contido no tubo de descarga produz radiação ultravioleta que, ao atingir a superfície interna do tubo, revestida por substâncias fluorescentes, é transformada em luz, como mostrado na Figura 12 (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Desenvolvida na década de 1940 e conhecida comercialmente como lâmpada tubular fluorescente em função da geometria do seu tubo de descarga, este tipo de lâmpada possui aplicações em praticamente todos os campos de iluminação (FINOCCHIO, 2014).

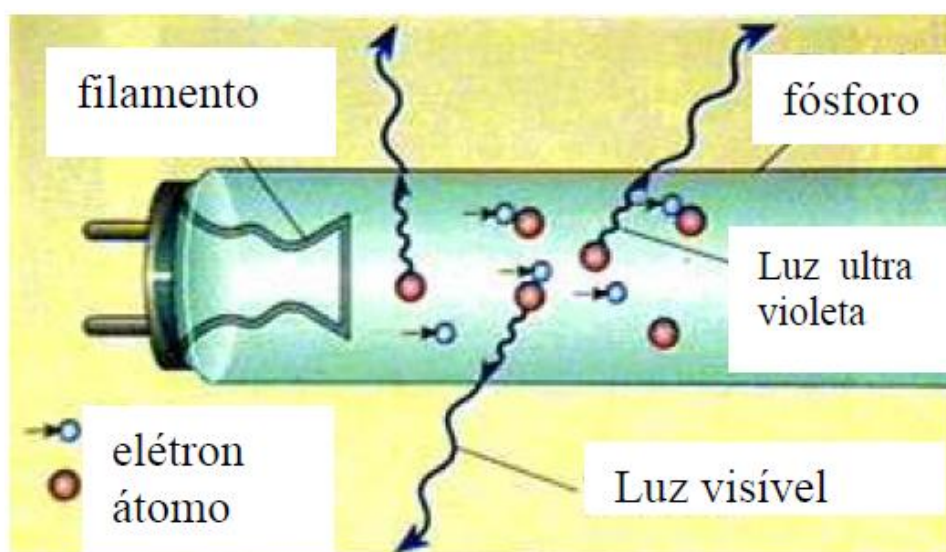


Figura 12- Fenômeno de emissão de luz por lâmpadas de descarga gasosa.
Fonte: MARTINS (2006).

As características das lâmpadas fluorescentes (temperatura da cor, índice de reprodução de cores “IRC” e eficácia luminosa) dependem do pó fluorescente que é utilizado em sua fabricação, pois este pó transforma a radiação ultravioleta em radiação visível. Atualmente existe um grande número de pós fluorescentes capazes

de cobrir todo o espectro visível e produzir luz de diversas cores para qualquer temperatura com excelente índice de reprodução de cor (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Na reprodução de uma determinada cor, utiliza-se uma combinação de pós de diversas cores. Os pós fluorescentes mais utilizados e os respectivos picos do comprimento de onda são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pós utilizados em lâmpadas fluorescentes.

Pós Fluorescentes	Pico do comprimento de onda [nm]
Aluminato de estrôncio	304
Disilicato de bário	350
Silicato de estrôncio / Bário magnésio	365
Tetraborato de estrôncio	368
Tungstato de cálcio	410
Pyrofosfato de estrôncio	418
Aluminato de bário magnésio	447
Halofosfato de cálcio	474
Aluminato de estrôncio	488
Halofosfato de estrôncio	490
Silicato de zinco	525
Oxido de yttrio	610
Borato de yttrio vanadato	615
Pentaluminato de lítio	655
Magnésio fluorgermanato	743

Fonte: Finocchio (2014).

2.3.2 Diodos Emissores de Luz

Segundo (WERUSKA, 2009), os diodos emissores de luz são compostos por diodos semicondutores que convertem eletricidade em luz visível. Seu funcionamento se baseia em junções entre semicondutores tipo n e tipo p, que

quando polarizadas diretamente, recombina suas lacunas e elétrons e nesse processo a energia dos elétrons é liberada na forma de fótons de luz e calor.

A evolução da tecnologia LED, como mostrada na Figura 13, iniciou-se em 1961, com um diodo emissor de infravermelho. E em 1962 a tecnologia LED foi empregada pela primeira vez para emissão de luz visível. Na década de 70 o LED passou a ser comercialmente viável. Os primeiros LEDs de alta luminosidade foram desenvolvidos nos anos 80, os LEDs de luz azul foram desenvolvidos em 1993 (GIANELLI et al., 2009).

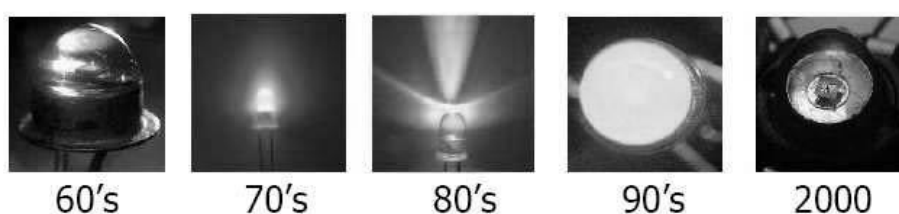


Figura 13 - Evolução da tecnologia das lâmpadas LED's.

Fonte: Gianelli (2009).

As alterações na cores dos LEDs são possíveis a partir de combinações entre os materiais utilizados em sua fabricação. Essas combinações fazem com que os LEDs exibam uma banda adequada para a emissão da cor de luz desejada (SEBBE, 2007). Na Tabela 2 é possível verificar algumas destas associações, a cor resultante e seu comprimento de onda. Os LEDs operam com voltagens relativamente baixas, geralmente entre 1 e 4 volts, e possuem uma vida útil bem maior, de aproximadamente 50000 horas (MARTINS, 2006).

Tabela 2 - Cores associadas a alguns semicondutores usados atualmente.

Semicondutor	Cor da luz	Comprimento de onda [nm]
Arseniato de gálio e alumínio	Infravermelha	880
Arseniato de gálio e alumínio	Vermelha	645
Fosfato de alumínio, índio e gálio	Amarela	595
Fosfato de gálio	Verde	565
Nitreto de gálio	Azul	430

Fonte: Finocchio (2014).

2.4 MECANISMOS AÇÃO FOTOTERAPIA

Dois mecanismos têm sido propostos para explicar a ação da fototerapia na redução dos níveis séricos de bilirrubina: a fotoisomerização e a fotooxidação (MOREIRA; LOPES; CARVALHO, 2004).

A fotoisomerização ocorre na pele, fora dos vasos sanguíneos. Uma vez irradiada pela luz a molécula de bilirrubina dá origem a dois tipos de isômeros: o geométrico, também chamado de configuracional, e o estrutural, também chamado de lumirrubina. O isômero geométrico é formado rapidamente quando a luz atinge a molécula de bilirrubina, sua excreção é feita de maneira extremamente lenta em RN, e é reversível a molécula de bilirrubina que lhe deu origem. Já a formação do isômero estrutural ocorre de maneira mais lenta, porém é irreversível, e sua excreção pelo RN é feita rapidamente por ser solúvel em água. A formação de isômeros estruturais é o mecanismo mais importante de diminuição da bilirrubina através da fototerapia (SEBBE, 2007).

A fotooxidação, ocorre quando uma pequena parte da molécula ativa de bilirrubina sofre processo de oxidação, levando a produção de complexos pirólicos solúveis em água que serão excretados através da urina. A contribuição da fotooxidação na redução dos níveis séricos da bilirrubina ainda não tem seus valores determinados, entretanto, parece ter uma contribuição pequena. (CARVALHO, 2001)

3 MÉTODOS DESENVOLVIDOS

3.1 PROTÓTIPOS

Foram desenvolvidos dois protótipos de iluminação para tratamento de icterícia, o primeiro protótipo utiliza lâmpadas fluorescentes, PLF, e o segundo protótipo utiliza LEDs, PLED. Ambos foram fixados a uma mesma estrutura, mostrada na Figura 14, onde é possível obter as medidas de irradiância e Iluminância, a partir de distâncias diferentes da fonte de luz em relação ao RN.



Figura 14 - Estrutura Fixação

3.1.1 Protótipo com iluminação de lâmpadas fluorescentes - PLF

O PLF, foi montado com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 azuis de 18 W, modelo 2283-3 da marca XELUX®, conforme ilustrado na Figura 15, com um espaçamento de 7,5 cm entre elas, para o funcionamento das lâmpadas foram utilizados 2 reatores 2x18 W, 127 V, modelo RE-220P, da marca RCG®, com as características mostradas na Tabela 3.



Figura 15 – PLF

Tabela 3 - Propriedades Reator

Corrente Nominal	0,36 A
Fator de Potência	0,99
Potência Total	44 W
Frequência de Saída	33 kHz
Peso	0,175 kg

Fonte: Catálogo RGC (2014).

3.1.2 Protótipo com iluminação de LEDs - PLED

O PLED, foi montado utilizando como fonte de luz uma matriz de LEDs contendo 448 unidades (16X28), sobre uma placa de acrílico perfurada em todos os pontos com um espaçamento de 2 cm, de furo a furo, conforme ilustrado na Figura 16. Para obter um melhor aproveitamento da luminosidade dissipada na parte superior, foi adicionada à placa de acrílico uma superfície adesiva para refletir parte desta luz.

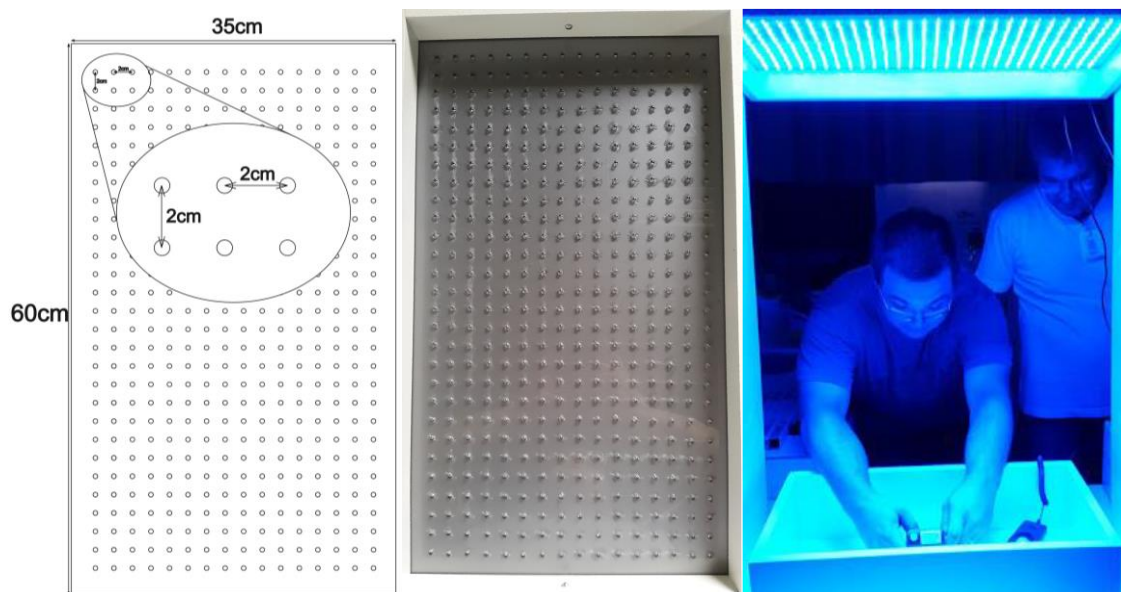


Figura 16 - PLED

Os LEDs de luz azul utilizados no protótipo possuem as características apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades LED

Diâmetro	5 mm
Intensidade Luminosa	9000 mcd
Ângulo de Visão	45°
Comprimento Cor	460 nm
Tensão	3 V

Fonte: Catálogo LED.

Os LEDs foram alimentados por uma fonte 12V, que forneceu 1,15 A, como cada LED funciona com 3 V foi necessário que fossem feitas algumas associações séries/paralelo para o correto funcionamento.

4 RESULTADOS DOS PROTÓTIPOS

Para a obtenção dos valores resultantes em cada um dos protótipos foram utilizados dois instrumentos, um radiômetro, modelo MES-100 da marca INSTRUTHERM®, responsável na aquisição dos valores mínimos e máximos para irradiância, e um luxímetro, modelo LD-200 também da marca INSTRUTHERM®, responsável na aquisição dos valores de iluminância, esses instrumentos são mostrados na Figura 17.



Figura 17 - Radiômetro MES100 e Luxímetro LD-200

Os valores foram obtidos a partir do posicionamento dos instrumentos no centro do foco luminoso, local onde o RN é colocado, e a distância entre a fonte de luz e o paciente foi sendo alterada de 15 em 15 cm iniciando em 70 cm. Para as medições, as lâmpadas do ambiente estavam apagadas, fazendo com que apenas os valores dos protótipos fossem considerados.

A Tabela 5 contém todos os valores que foram medidos para o PLF, e a Tabela 6, os valores para PLED.

Tabela 5 - Medição PLF

Distância [cm]	Iluminância [lux]	Irradiância Min [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Irradiância Max [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
70	45,5	1,1	1,5
55	66,3	1,5	2,5
40	105,6	2,9	3,2
25	183,3	4,3	4,7

Tabela 6 - Medição PLED

Distância [cm]	Iluminância [lux]	Irradiância Min [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Irradiância Max [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
70	141	2,8	3,1
55	171	3,3	3,7
40	202	4,0	4,2
25	233	4,5	4,9

O Gráfico 2 mostra as diferenças do PLF e PLED, dos valores de iluminância medidos em [lux] em relação à distância [cm].

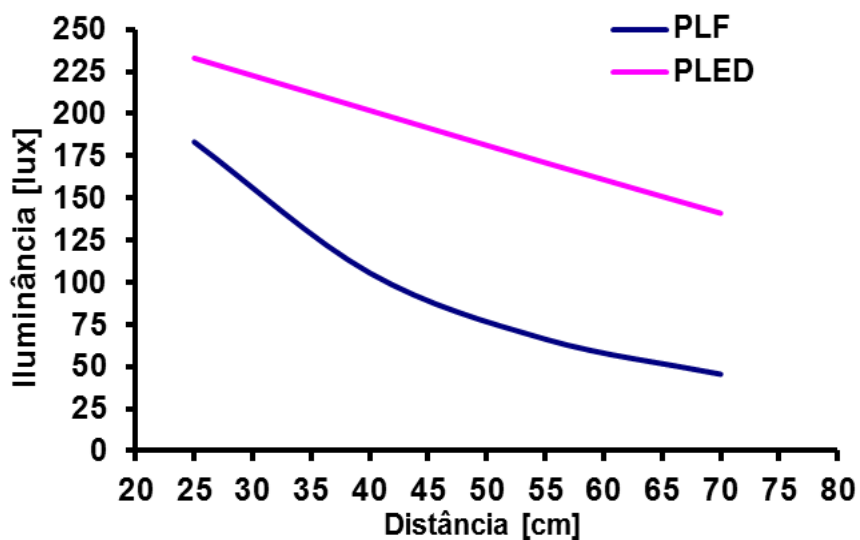


Gráfico 2 - Iluminância X Distância

O Gráfico 3 mostra as diferenças do PLF e PLED, dos valores de irradiância mínima medidos em $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ em relação à distância [cm].

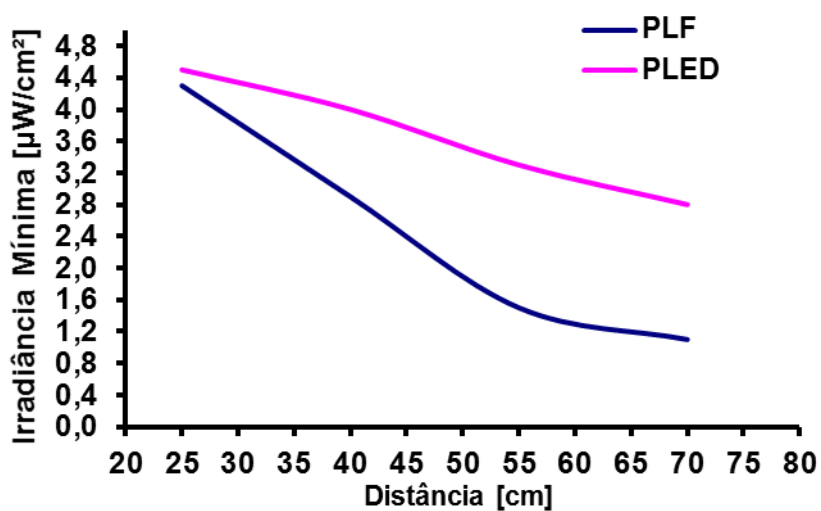


Gráfico 3 - Irradiância Mínima X Distância

O Gráfico 4 mostra as diferenças do PLF e PLED, dos valores de irradiância máxima medidos em $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ em relação à distância [cm].

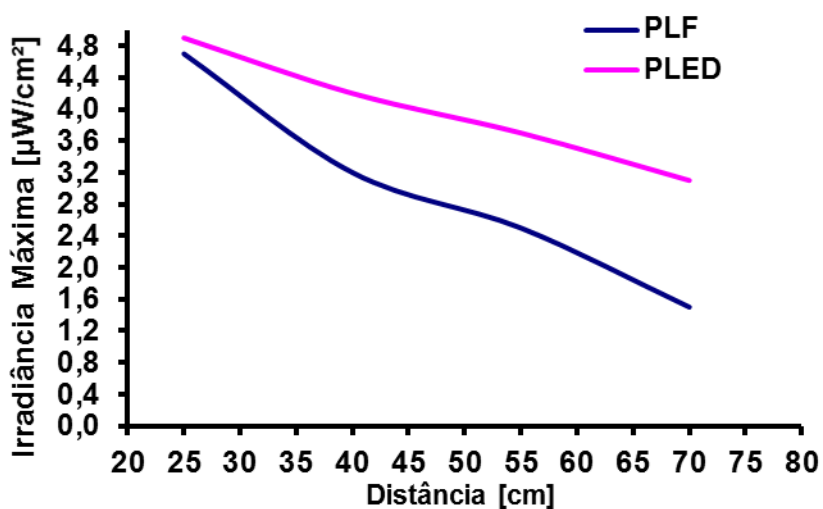


Gráfico 4 - Irradiância Máxima X Distância

Para todas situações apresentadas nos Gráficos 2, 3 e 4, o PLED apresenta melhores resultados em relação ao PLF, assim como também é possível avaliar no Gráfico 1. O PLF apresentou uma não linearidade nas três medições efetuadas, fato não ocorrido no PLED, essa não linearidade pode ter sido ocasionado devido à oscilações presente durante medições, as quais o PLED não está sujeito pelo fato de utilizar corrente contínua.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram propostos e desenvolvidos dois protótipos para tratamento de icterícia neonatal utilizando fototerapia, o PLF e o PLED, que foram avaliados segundo seus níveis de iluminância e irradiância.

Na avaliação final dos resultados pode-se perceber que o PLED foi mais eficaz do que PLF, uma vez que seus níveis de iluminância apresentam valores com uma média de 128% a mais que o PLF, e os níveis de irradiância apresentam valores com uma média de 63% a mais que o PLF.

Avaliou-se também a importância que a distância entre o RN e a fonte de luz possui, pois nos dois protótipos avaliados, quanto menor essa distância, mais eficaz é o sistema, o que faz do PLED um método mais interessante, pois pode ser colocado a uma distância bem menor do RN, devido ao fato de não aquecerem tanto como o PLF, e também de estarem isentos de radiações infravermelho e ultravioleta.

Também apresenta outras vantagens em relação ao PLF, como tempo de vida útil longo, baixa voltagem, alta eficiência energética e baixo consumo, fazem do PLED uma melhor opção.

Neste trabalho não houve a necessidade de se controlar a luminosidade ou o tempo de funcionamento, pois, quanto maior a quantidade de luz recebida pelo RN, mais rápido e eficaz será o tratamento.

Em trabalhos futuros, sugere-se que sejam avaliados os resultados dos protótipos utilizando um radiômetro espectral, que forneça as medidas de irradiância numa faixa de 400 nm a 500 nm, que correspondente à faixa onde a transformação da bilirrubina é maior.

Sugere-se também que seja avaliado o efeito que a distância entre o RN e a fonte luz, provoca nos valores de temperatura, assim como comparativos do PLED com outros métodos de iluminação.

REFERÊNCIAS

ALLA, S. K.; CLARK, J. F.; JUNIOR, F. R. B. Signal processing system to extract serum bilirubin concentration from diffuse reflectance spectrum of human. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. 31st Annual International Conference, Minneapolis, Minnesota, USA, 2009.

CAMPOS, A. C. S.; CARDOSO, M. V. L. M. L. O recém-nascido sob fototerapia: a percepção da mãe. **Revista Latino-am Enfermagem** . 12(4):606-13. jul./ago. 2004.

CARVALHO, M. Recentes avanços em fototerapia. **I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE NEONATOLOGIA**, Rio de Janeiro – RJ. 1999.

CARVALHO, M.; LOPES, J. M.; NETTO, D. B. Fototerapia integral de alta intensidade para o tratamento da icterícia do recém-nascido. **Revista Brasileira De Engenharia Biomédica**, v.15, n.3, set./dez. 1999.

CARVALHO, M. Tratamento da icterícia neonatal. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 77, 2001.

DIAS, C. C. As Lâmpadas e a Física. **Um pouco da história e do funcionamento básico das lâmpadas**. Joinville, ago. 2009. Disponível em: <<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=0&idT exto=2&pga=busca&termo=lampadas&pgn=1>>. Acesso em: 17 out. 2014.

O cobertor de luz dos recém-nascidos. **Fapesp**, São Paulo: jul. 1999. Edição 44.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira. **Apostila de Engenharia de Iluminação**. Publicação Interna, LABSIEE/UTFPR-CP, Cornélio Procópio, 2014.

GIANELLI, B. F.; SILVEIRA, M. C. F.; THAUMATURGO, L. R. Y.; ASTORGA, O. A. M.; FILHO, M. B. M. **O Emprego de Tecnologia LED na Iluminação Pública – Seus Impactos na Qualidade de Energia e no Meio Ambiente**. The 8th latin american congress on electricity generation and transmission – CLAGTEE, 2009.

MAISELS, M. J.; WATCHKO, J. F. M. A. Treatment of jaundice in low birthweight infants. **Archives of Disease in Childhood**, v. 88, p. 459-463, jan. 2003.

MAISELS, M. J.; MCDONAGH, A. F. Phototherapy for Neonatal Jaundice. **The new england journal of medicine**, v. 358, p. 900-928, fev. 2008.

MARTINS, B. M. R. **Avaliação da eficácia terapêutica de uma nova modalidade de fototerapia utilizando diodo emissor de luz.** 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Fernandes Figueira, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

MODI, N; KEAY, J. **Phototherapy for neonatal hiperbilirrubinemia: The importance of dose.** Archives of Disease in Childhood, v. 58, p.406-409, 1983.

MOREIRA, M. E. L.; LOPES, J. M. A.; CARVALHO, M. **O recém-nascido de alto risco: teoria e prática do cuidar.** Capítulo 13. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2004.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. R. **Apostila de Conforto Ambiental - Iluminação.** Florianópolis – SC, 2005.

PIVA, W. W. **Análise comparativa da eficiência de lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas de uso residencial.** 2009. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade São Francisco, Campinas, 2009.

RCG. **Reatores.** 2014 Disponível em: <http://rcg.com.br/Produto/260/1_ou_2_lampadas_bivolt_p>. Acesso em: 12 mai. 2014.

REIS, R. P.; ARRUDA, G. A.; SANTOS, C. S. Nem tudo o que ilumina trata: Irradiância dos aparelhos de fototerapia da rede pública da cidade de Maceió. **XI CONGRESSO BRASILEIRO DOS CONSELHOS DE ENFERMAGEM**, Belém – PA. 2008.

ROSEN, H.; ROSEN, A.; ROSEN, D.; ONARAL, B.; HIATT, M.. Use of a Light Emitting Diode (LED) Array for Bilirubin Phototransformation. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.** 27th Annual International Conference, Shanghai, China, 2005.

SEBBE, P. F. **Estudo da eficácia do led-terapia vs fototerapia convencional fluorescentes no tratamento de hiperbilirrubinemia em ratos wistar.** 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de pesquisa e desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, 2007.

VIEIRA, A. A.; LIMA, C. L. M. A.; CARVALHO, M.; MOREIRA, M. E. L. O uso da fototerapia em recém-nascidos: avaliação da prática clínica. **Revista Brasileira Saúde Materno Infantil**, Recife, v.4, n.4, out./dez. 2004.

VREMAN, H. J.; WONG, R. J.; STEVENSON, D. K.; ROUTE, R. K.; READER, S. D.; FEJER, M. M.; GALE, R.; SEIDMAN, D. S. Light-Emitting Diodes: A Novel Light Source for Phototherapy. **Pediatric Research**, v. 44, p. 804-809, jul. 2008.

WERUSKA, G. Lâmpadas e Leds. **Portal o Setor Elétrico**, ed. 46, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/176-lampadas-e-leds.html>>. Acesso em: 27 mai. 2014.