

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Biomédica

RAFAEL PAGOTTO MIGUEL

**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA DE LÂMPADAS LEDS EM
EQUIPAMENTOS HOSPITALARES**

Uberlândia

2021

RAFAEL PAGOTTO MIGUEL

**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA DE LÂMPADAS LEDS EM
EQUIPAMENTOS HOSPITALARES**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação
na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Biomédica da Universidade Federal de
Uberlândia.

Orientador: Selma Terezinha Milagre

Assinatura do Orientador

Uberlândia

2021

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram
ao longo desta jornada que é a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora e professora Dra. Selma Terezinha Milagre pelo auxílio e paciência no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também o Prof. Dr. Adriano Alves Pereira e o Prof. Dr. Fernando Pasquini Santos por dedicarem tempo à leitura e avaliação deste trabalho.

RESUMO

A qualidade do funcionamento dos equipamentos eletromédicos interfere diretamente no diagnóstico, tratamento e monitoração dos pacientes, que às vezes dependem dos equipamentos para sobreviver, portanto, precisam estar em perfeitas condições. Sabe-se que os equipamentos eletromédicos (EEM) são compostos por materiais eletrônicos que podem ser afetados por problemas de interferência magnética. Diante disso, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise sobre os efeitos da interferência eletromagnética provenientes das lâmpadas LED em ambientes de EASSs. A metodologia utilizada para a realização deste estudo foi uma revisão bibliográfica sobre a interferência eletromagnética de lâmpadas LEDs incidentes nos equipamentos, em artigos, dissertações, revistas especializadas em Engenharia Biomédica, Engenharia Elétrica, Física, Eletrônica Luminotécnica e Equipamentos Eletromédicos e publicados no máximo há 20 anos. Foram realizadas também buscas que ocorreram de março de 2021 a junho de 2021, em bancos de dados da ABNT, INMETRO, IEEE e ANVISA, sendo a última utilizada para buscar equipamentos que utilizam lâmpadas LEDs com registros válidos e alertas acerca de ocorrências de interferências eletromagnéticas em equipamentos eletromédicos. Com base nas informações adquiridas ficou claro a ampla utilização e importância deste tipo de lâmpada em EASSs, além da notável susceptibilidade eletromagnética dos mesmos e os prejuízos passíveis de surgirem no caso da não adequação dos EEMs aos ambientes eletromagnéticos nos quais são utilizados. Para a solução deste problema foram apresentadas diversas técnicas de filtragens em drivers de lâmpadas LED propostas por diferentes autores, além das suas DTHi em comparação aos drivers de fábrica de diferentes marcas e tipos de lâmpadas LED.

Palavras-chave: Equipamentos Eletromédicos. Interferência Eletromagnética. Lâmpada LED. Ondas Eletromagnéticas. DHT.

ABSTRACT

The quality of the operation of electromedical equipment directly interferes with the diagnosis, treatment and monitoring of patients, who sometimes depend on the equipment to survive, leading them to be in need of working on its best conditions. It is known that electromedical equipment (EMS) are composed of electronic materials that can be affected by problems caused by magnetic interference, therefore, the objective of this work is to analyze the effects of electromagnetic interference from LED lamps on electrical equipment. The methodology used to carry out this study was a bibliographic review on the electromagnetic interference of LED lamps in equipment within the analysis of articles, dissertations and journals specialized in Biomedical Engineering, Electrical Engineering, Physics, Electronics, Lightning Technique and Electromedical Equipment, among other research sites within the maximum time gap of 20 years. Along with researches the occurred from March 2021 to June 2021 in databases such as ABNT, INMETRO, IEEE and ANVISA, being the last one used to find equipment's based on the use of LED's lights with valid registers and alerts of electromagnetic interference in medical equipment. Based on researches, it became clear the importance of using those equipment's beside their electromagnetic susceptibility and the possibility of harms in situations where those equipment's are not proper to the electromagnetic environment which it's in. Intending to solve this problem, it's been approached several filtering techniques used on LED lamps drivers, which were proposed by different authors, in addition to their THDi in comparison to the lamps factory drivers.

Keywords: Electromedical Equipment. Electromagnetic interference. Led lamp. Electromagnetic Waves. THD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Espectro Eletromagnético.....	20
FIGURA 2 – Etiqueta ENCE para lâmpadas LED.....	40

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Acréscimo de corrente e fp por DHTi.....	27
QUADRO 2 – Registros de Equipamentos Hospitalares com LED's.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Potência das lâmpadas LED e seu Custo em reais.....	48
TABELA 2 - Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas Fluorescentes.....	49
TABELA 3 - Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas LED.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM – Amplitude Modulada

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CDRG - Centro para Dispositivos e Saúde Radiológica

CEM - Compatibilidade Eletromagnética

CISPR - Comitê Internacional Especial de perturbações radioelétricas

DHT - Distorção Harmônica Total

DHTi - Distorção Harmônica Total de Corrente

DHTp - Distorção Harmônica Total de Potência

DHTv - Distorção Harmônica Total de Tensão

EAS – Estabelecimento Assistencial de Saúde

ELM – Eletromagnética

EM - Equipamentos Eletromédicos

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

FDA – Administração de Alimentos e Medicamentos

FM - Frequência Modulada

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional

IEM - Interferência Eletromagnética

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IRC - Índice de Reprodução de Cor

LED - *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

NI – Não Informado

NP – Não Proposto

RSR - Relação Sinal Ruído

UTI - Unidade de Terapia Intensiva

LISTA DE SÍMBOLOS

c – Velocidade da luz
CA- Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
cd - Candela
E - Campo Elétrico
E - Iluminância
Em - Iluminância Média
f - Frequência
h - Constante de *Planck*
H - Campo Magnético
I - Intensidade Luminosa
K - *Kelvin*
lm - *Lúmen*
lx - *Lux*
nm - Nanômetro
S - Densidade da potência
Sv - *Sievert*
T - Temperatura de Cor
V - Diferença de Potencial ou Tensão
Vmed - Tensão Eficaz
v- Velocidade
@ - em/na (*at*)
 α - alfa
 β - beta
 γ - gamma
 λ - Lambda
 μ - Micro

η_w - Eficiência Energética das Lâmpadas

ρ - rho

σ - Sigma

ϕ - Fluxo Luminoso (phi)

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – Energia do Fóton.....	18
EQUAÇÃO 2 – Distorção Harmônica Total.....	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. JUSTIFICATIVA	17
1.2. OBJETIVO GERAL	17
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. DESENVOLVIMENTO	18
3.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1.1.1. Fótons.....	18
3.1.1.2. Efeito fotoelétrico.....	18
3.1.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	19
3.1.2.1. Espectro Eletromagnético	19
3.1.2.2. Natureza quântica da luz.....	20
3.1.2.3. Dualidade onda – partícula da luz.....	20
3.1.3. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (CEM)	21
3.1.3.1. Suscetibilidade eletromagnética	22
3.1.3.2. Proteção Eletromagnética	22
3.1.4. INTERFERÊNCIA, RUÍDO E ARTEFATO	23
3.1.4.1. Interferências Eletromagnéticas	24
3.1.4.2. Artefato.....	25
3.1.4.3. Ruído	25
3.1.5. INTERFERÊNCIAS HARMÔNICAS.....	25
3.1.5.1. Quantização da Distorção Harmônica.....	26
3.1.5.2. Efeitos da Distorção Harmônica.....	26

3.1.6. AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO	27
3.1.7. LÂMPADAS LED	28
3.1.8. LUMINOTÉCNICA	30
3.1.9. INTERFERÊNCIA EM EQUIPAMENTOS HOSPITALARES.....	32
3.1.9.1.Efeito Estroboscópico	32
3.1.9.2.Máquinas rotativas	32
3.1.9.3.Efeito <i>ripple</i>	32
3.1.10. Outros tipos de lâmpadas.....	32
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.3. RESULTADO E DISCUSSÃO	35
3.3.1. Lâmpadas LED e Interferências nos ambientes de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde	35
3.3.2. NORMAS E PORTARIAS	37
3.3.3. REGISTROS ANVISA	41
3.3.4. ALERTAS DE TECNOVIGIÂNCIA ANVISA.....	45
3.3.5. ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LÂMPADAS DE LED.....	47
3.3.6. COMPARAÇÃO DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS.....	48
3.3.7. RECOMENDAÇÕES.....	51
4. CONCLUSÃO	52
5. REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o uso de lâmpadas do tipo LED vem crescendo devido às suas vantagens perante os outros tipos, como redução no consumo mensal de energia, maior durabilidade, menos manutenção e crescente redução no seu custo de mercado (MARTELETO, 2011), o qual por muito tempo foi um dos maiores empecilhos para a difusão dessa tecnologia. Porém estudos revelam que em média a cada 2 anos o custo de produção dessas lâmpadas seja reduzido em 50 %, além de também ocorrer um aumento significativo na sua potência de iluminação (DALMAZO, 2009).

Esta modernização vem gerando preocupações a profissionais nos campos de engenharia e da saúde acerca da possibilidade de mal funcionamento nos equipamentos eletromédicos oriundo da IEM nos ambientes de EASs, os quais são provenientes da introdução desse novo sistema de iluminação composto na sua maioria por lâmpadas do tipo LED somada a toda a interferência já presente (ZEVZIKOVAS, 2004).

Sabe-se que as lâmpadas do tipo LED emitem luz, a qual é uma onda eletromagnética. Sendo assim a energia luminosa possui determinado comprimento de onda, a qual se encontra dentro de uma faixa visível (400 nm a 700 nm) (BARROS, 2018). Quando há um somatório de campos eletromagnéticos elevados, que é gerado pela incidência dessa energia luminosa somada à interferência oriunda de outros equipamentos, gerando consequências negativas aos equipamentos, define-se que ocorreram problemas de IEM (POMÍLIO, 2013).

Dentro dos EASs é importante que os equipamentos atendam às devidas normas, atentando-se às novas tecnologias eletroeletrônicas para minimizar qualquer tipo de prejuízo oriundo de IEM, os quais vão de prejuízos à saúde dos pacientes, geradas diretamente por defeitos nos equipamentos ou indiretamente, como atraso nas consultas, exames e cirurgias devido à alta taxa de manutenção. Isso pode também gerar um maior gasto com o setor de manutenção devido ao aumento no número de demandas por serviços de manutenção e reposição de equipamentos, o que acaba por impactar negativamente a saúde financeira do estabelecimento.

Portanto deve-se notar a importância dos cuidados com o uso dos equipamentos eletromédicos (EEMs), e projeção do ambiente eletromagnético hospitalar, gerando então uma necessidade de maiores estudos para este caso.

1.1. JUSTIFICATIVA

Evangelista (2012) afirma que equipamentos eletroeletrônicos quando estão funcionando, geram campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos que em algumas situações podem causar interferências eletromagnéticas em outros equipamentos.

Nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde encontram-se diversos equipamentos eletroeletrônicos, que propiciam o aparecimento de interferências eletromagnéticas, o que pode causar alterações funcionais em equipamentos eletromédicos devido à exposição de campos eletromagnéticos.

Por se tratar de equipamentos eletromédicos (EEMs), que às vezes estão monitorando e dando suporte a vida de um paciente, os efeitos da interferência eletromagnética são preocupantes, mesmo muitas vezes não sendo de conhecimento direto dos trabalhadores da área de saúde. Diante disso, este trabalho apresenta um estudo sobre a interferência eletromagnética gerada pelas lâmpadas LEDs nos EEMs.

1.2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre os efeitos provindos de interferências eletromagnéticas, provenientes de lâmpadas do tipo LED, no funcionamento de equipamentos eletromédicos inseridos nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar base eletromagnética para lâmpadas;
- Explicar o funcionamento e a composição de lâmpadas LED;
- Apresentar normativas para fabricação e uso de lâmpadas LEDs;
- Apresentar registros de produtos e equipamentos médicos que utilizam LEDs;
- Apresentar ocorrências de interferências por lâmpadas LEDs em EASs;
- Obter um preço médio para tal lâmpada a partir de uma pesquisa de preço com base em estudos aprovados em pesquisas ou bancadas universitárias para justificar o uso deste tipo de lâmpada;
- Fazer uma revisão de valores para Interferências Harmônicas em diferentes tipos de lâmpadas LED.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Fundamentação Teórica

2.1.1 Fótons

De acordo com Einstein (1917), a radiação eletromagnética deveria ser quantizada e para tal finalidade foi criada a unidade fóton, sendo um fóton a menor partícula que compõe a luz, o qual foi definido como uma quantia fixa de energia por fóton, como se pode observar na Equação 1 (Energia do Fóton):

$$E = h * f \quad (1)$$

Em que:

- E = Energia do Fóton;
- h = Constante de Plank;
- f = Frequência.

Ainda, de acordo com Einstein (1917), os fótons não necessitam de um meio para atravessar, são produzidos por um campo elétrico e um campo magnético que se move pelo espaço, eles compõem a radiação eletromagnética e viajam à velocidade da luz.

2.1.2. Efeito fotoelétrico

A emissão de elétrons por meio de radiação eletromagnética sobre um material faz com que elétrons da camada mais próxima ao núcleo, que é a camada menos energética, sejam ejetados (fotoelétrons). A segunda lei da termodinâmica diz que a natureza tende a se manter em equilíbrio, portanto ao retornar ao equilíbrio nuclear, um dos elétrons da camada superior se liga a camada mais interna, porém, este elétron vem da camada mais energética, sendo assim ele possui mais energia do que deveria para ficar na camada menos energética, portanto este elétron precisa perder energia e para isso libera-a em forma de radiação (SILVA, 2000).

2.1.3. Ondas Eletromagnéticas

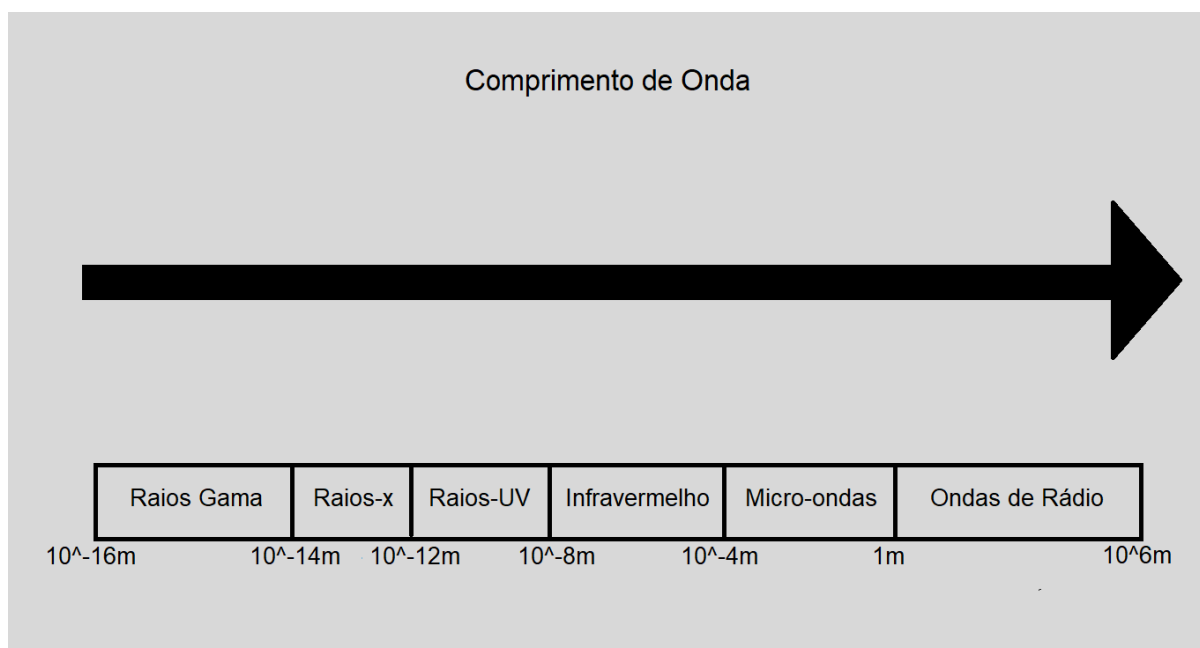
A combinação entre um campo elétrico e um campo magnético resultam nas ondas eletromagnéticas. De acordo com Cabral (2001) elas são caracterizadas por um conjunto de parâmetros, entre eles a frequência, comprimento de onda, densidade de potência, intensidade de campo elétrico, magnético e polarização elétrica.

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo na velocidade da luz, 3×10^8 m/s, independente da sua frequência. O espectro eletromagnético (Figura 1) é classificado em escalas de frequências ou comprimentos de ondas, para separar as ondas ELM. Com diferentes comportamentos, as ondas visíveis estão na faixa de 400 nm a 700 nm, outras ondas que estão neste espectro são, ondas de rádio AM e FM, raio x, ultravioleta, infravermelho, micro-ondas, raios gama (BARROS, 2018).

De acordo com a teoria ondulatória em geral, sabe-se que as ondas eletromagnéticas são constituídas de reflexão, refração, difração, superposição e inversão ou não de fase.

2.1.4. Espectro Eletromagnético

Espectro Eletromagnético pode ser entendido como a agregação de todas as ondas eletromagnéticas conhecidas até então, ordenadas de forma crescente em relação ao seu comprimento de onda, tendo sua unidade de medida no sistema internacional o metro (m) (BARROS, 2018). Também, de acordo com Barros (2018), Espectro Eletromagnético é o nome dado aos diferentes “tipos de radiações eletromagnéticas que se classificam em faixas de diferentes frequências, ou seja: ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios-X e raios gama. Ao conjunto dessas radiações, de diferentes frequências, dá-se o nome de espectro eletromagnético, como se pode ver na Figura 1.

Figura 1 – Espectro Eletromagnético

Fonte: Autoria própria

2.1.5. Natureza quântica da luz

Em 1905, em sua obra conhecida como “Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz”, Dionísio (2005) define a quantização de energia baseando-se em Einstein (1905).

De acordo com Dionísio (2005) a hipótese que foi considerada, durante a propagação de um raio de luz emitido por uma fonte puntiforme, a energia não pode ser continuamente distribuída sobre volumes cada vez maiores de espaço, e sim consiste em um número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço, que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados somente como unidades integrais, quantizando-os assim, o que viria mais tarde a receber o nome de fóton.

2.1.6. Dualidade onda – partícula da luz

Por mais que seja uma questão fundamental para o entendimento físico de várias questões, o conceito da dualidade onda - partícula é conhecido por ser bastante controverso, isto pois o conceito de onda e partículas podem ser interpretados como opostos, sendo eles o conceito de onda como sendo perturbações que propagam em um meio de formas espalhadas e

indefinidas no espaço, enquanto partículas se comportam como pequenas esferas que se movem no espaço com velocidade e trajeto definido. Sendo assim, podemos dizer que são ondas com propriedades de partículas, ao serem estudadas de forma pontual (PEREIRA, 2009).

A dualidade onda partícula também pode ser compreendida de forma mais simplificada, Novoa e Tomioka (2017) explica que os elétrons estão dispostos em órbitas, e a energia orbital se organiza de ordem crescente da camada mais internas até a mais externa, para que um elétron muda de órbita é necessário fornecer a energia, a qual é liberada em forma de fótons e quanto maior a distância das órbitas, mais energia é emitida em forma de radiação, o que gera fótons de diferentes frequências.

2.1.7. Compatibilidade Eletromagnética (CEM)

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997) a definição de Compatibilidade Eletromagnética “é a capacidade de um equipamento e/ou sistema, funcionar satisfatoriamente em seu ambiente eletromagnético, sem introduzir interferências eletromagnéticas intoleráveis para qualquer outra coisa neste ambiente”.

Para um sistema ser considerado eletromagneticamente compatível, é necessário obter três aspectos: o sistema não causar interferência em outros sistemas, o sistema não for suscetível às emissões de outros sistemas e o sistema não causar interferência nele mesmo (MORAES, 2013).

Atualmente, a tecnologia vem avançando cada vez mais em equipamentos hospitalares, tornando-os essenciais para exames, diagnósticos e tratamentos, necessitando de alta confiabilidade. De acordo com o Centro para Dispositivos e Saúde Radiológica (CDRG) são necessários cuidados variados aos serviços de saúde em relação à Compatibilidade Eletromagnética (CEM), entre eles podemos citar do uso de publicações, notificações e normas disponíveis na literatura, a avaliação e gestão dos equipamentos eletromédicos desde o momento da compra e o posicionamento deles nos ambientes eletromagnéticos, fornecimento de um devido treinamento e informações para equipe de funcionários, visitantes e pacientes, além de estabelecer protocolos e por fim comunicar os problemas de IEM em sites específicos, como o MedWatch FDA (MORAES, 2013).

Quando um sistema ou equipamento consegue funcionar em determinado ambiente eletromagnético sem causar perturbações nos outros equipamentos, é considerado

eletromagneticamente compatível com o ambiente, caso contrário ocorre o aparecimento de IEM.

Pedroni (2017) durante seu estudo a respeito de compatibilidade eletromagnética, constatou que a mesma pode ser dividida em dois grandes fenômenos, emissão e susceptibilidade e que a primeira trata da quantidade de ruído eletromagnético que o equipamento insere no ambiente, seja de forma conduzida ou radiada. Já a susceptibilidade se refere à robustez de determinado equipamento a perturbações eletromagnéticas, sejam elas captadas pelo sistema de forma conduzida ou radiada.

2.1.8. Susceptibilidade Eletromagnética

Seguindo para o tipo de sensibilidade física específica deste estudo, temos que a susceptibilidade eletromagnética, também conhecida como Imunidade Eletromagnética, é de acordo com Sanches (2010), “definida como o nível máximo de uma perturbação eletromagnética, que pode ser tolerado sobre um determinado sistema, de forma que o sistema vítima permaneça capaz de se manter operando em um nível de desempenho exigido, isto é, com um nível de degradação aceitável [...]”. Valente Junior (2006) explica que a suscetibilidade eletromagnética de um instrumento é relativa à inclinação deste equipamento sofrer influências caso haja interferências externas.

2.1.9. Proteção Eletromagnética

Utilizada com uma tratativa para os problemas de interferência oriundos da energia eletromagnética recebida sob a forma radiada, reduzindo a suscetibilidade radiada a partir de blindagem metálica dos componentes eletrônicos (blindagem eletromagnética). Porém, ainda é necessário tratar a radiação conduzida, a qual na maioria das vezes é tratada por meio da utilização de filtros (VALENTE JUNIOR, 2006).

De acordo com Valente Junior (2006) a proteção dos equipamentos visa blindá-los de interferências, tanto radiadas, quanto conduzidas. Para realizar a blindagem o autor cita um método, o qual evita/reduz a radiação de energia ELM indesejada enquanto a radiação conduzida fica por conta dos filtros de alimentação e ferrites, os quais evitam/reduzem a

condução da energia ELM indesejável, completando assim o isolamento dos dois tipos de meio de condução de interferências eletromagnéticas.

Além de abordar os dois tipos de proteções eletromagnéticas, Valente Junior (2006) explicou a construção e função de ambas:

A blindagem é definida como sendo um invólucro metálico que envolve de forma completa ou parcial os sistemas eletrônicos do equipamento. Sua principal função é atuar como um dispositivo isolador de sistemas (interno e externo), de modo a minimizar as emissões radiadas e a suscetibilidade radiada do equipamento em questão.

Os filtros supressores são caracterizados geralmente pela inserção de perdas, ou seja, provocam a redução da tensão ou corrente na carga do circuito para uma determinada faixa de frequência de interesse, em função da inserção de elementos reativos estrategicamente posicionados (capacitores e indutores).

2.1.10. Interferência, Ruído e Artefato.

As ondas eletromagnéticas possuem um conteúdo espectral que podem causar Interferências Eletromagnéticas em equipamentos eletroeletrônicos. Quando a energia transferida de um sistema para o outro causa um comportamento indesejado, ocorre uma IEM, isso ocorre devido à combinação entre uma fonte emissora e um receptor suscetível (CABRAL, 2001).

É importante ressaltar que nem sempre a transmissão ou recepção de energia eletromagnética é danosa. Cabral (2001) relata que a energia recebida é considerada interferência a partir do momento que influencia, de forma indesejada, o receptor. As Interferências Eletromagnéticas podem ser divididas em 2 grupos, as fontes naturais e as fontes artificiais, além disso as interferências eletromagnéticas se classificam em dois tipos diferentes, a interferência intra-sistema, quando o próprio equipamento produz e sofre a IEM. E a interferência inter-sistema, quando ocorre em sistemas diferentes, que o caso de estudo deste trabalho.

De acordo com Silva et al. (2004) a ocorrência das interferências pode ser explicada como:

"um campo elétrico variável gera um campo magnético variável que também gerará um campo elétrico e assim sucessivamente. Originando uma perturbação eletromagnética que irá se propagar no espaço, através da união dos dois campos em recíprocas induções"

Almeida et al. (2019) explica que a blindagem eletromagnética é uma característica dos equipamentos eletrônicos que visa imuniza-lo contra emissões de interferências eletromagnéticas que gerem prejuízo no funcionamento do equipamento.

A interferência eletromagnética é medida utilizando três tipos de detectores: detector de pico, valor médio e quase pico, sendo o detector de pico o mais fácil de medir as emissões conduzidas e mede a maior magnitude do sinal que ocorreu. O detector de valor médio consiste em um filtro passa-baixa com frequência de corte abaixo da frequência da rede, e o detector de quase pico indica o efeito subjetivo de um nível de interferência (PEDRONI, 2017).

Nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, as instalações possuem diversos equipamentos eletroeletrônicos que são emissores de energia eletromagnética, podendo gerar interferência eletromagnética. A norma da ABNT IEC 60601-1-2: 2017: “Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial - Norma Colateral: Perturbações eletromagnéticas - Requisitos e ensaios”, rege os requisitos básicos de segurança e desempenho de equipamentos e sistemas eletromédicos (EVANGELISTA, 2018).

2.1.11. Interferências Eletromagnéticas

A interferência eletromagnética pode ser definida como uma perturbação não intencional em um ambiente eletromagnético gerando uma consequente falha no funcionamento de algum sistema em consequência da radiação ELM emitida por outro(s) equipamento(s) (CABRAL, 2001).

Vale mencionar a interferência de 60 Hz, a qual além de gerar interferência devido a ocorrência de harmônicos múltiplos inteiros de sessenta, ainda podem interferir a partir do efeito *ripple*, visto que as lâmpadas LED funcionam a partir de uma tensão contínua fornecida pela rede elétrica. Como no Brasil a energia fornecida chega nas residências e indústrias numa frequência de 60 Hz, faz-se necessário o uso de um equipamento para converter essa CA em uma CC, momento no qual ocorre o efeito *ripple* (PEDROSO, 2013).

De acordo a Suela (2016) já é amplamente entendido na comunidade acadêmica que o processo de conversão CC/CA gera diversos problemas eletromagnéticos como ruídos, os quais podem terminar por causar interferências em dispositivos eletromédicos.

2.1.12. Artefato

Nos ambientes hospitalares os artefatos nas aquisições de sinais podem ser causados por fontes endógenas (fisiológicas) e exógenas (interferências, ruídos). Analisando esses sinais, nota-se a diversidade de fontes eletromagnéticas capazes de gerar interferências nos ambientes dos EAS o que aponta para uma também grande capacidade de geração de interferência nos equipamentos eletromédicos (MINGUILLON; LOPEZ-GORDO; PELAYO, 2017).

Ainda, de acordo com Minguillon, Lopez-Gordo e Pelayo (2017) essas interferências, muitas vezes são expressas como artefatos e ruídos no sinal devido à incompatibilidade eletromagnética do equipamento com o ambiente eletromagnético a seu redor, para isso é necessário realizar a blindagem e a medição periódica/análise para o acompanhamento do comportamento eletromagnético dos ambientes e evitar esses tipos de interferências.

2.1.13. Ruído

De acordo com Liz (2003) ruído pode ser entendido como uma energia de origem eletromagnética que se propaga de forma conduzida ou radiada, sem possuir informação e com a capacidade de interferir e até mesmo sobrepor-se a um sinal.

É muito comum utilizar a Relação Sinal Ruído – RSR conhecida como a divisão da tensão eficaz pelo desvio padrão da intensidade do sinal de interesse para realizar a análise do funcionamento de equipamentos (ZENA *et al.*, 2014).

2.1.14. Interferência Harmônicas

As Interferências Harmônicas são fundamentais no estudo da análise das Interferências Eletromagnéticas causadas por lâmpadas LED. Elas se manifestam na mesma forma de onda da fundamental, porém em múltiplos inteiros, como a terceira harmônica ($60 \times 3 = 180$ Hz), quarta harmônica ($60 \times 4 = 240$ Hz), daí por diante. Os efeitos destas frequências seguem o princípio de sobreposição, portanto ao se propagarem pelo circuito todas essas frequências se somam à frequência fundamental, o que é responsável por uma deformidade na onda, desconfigurando sua forma (POMÍLIO, 2013).

Ainda, de acordo com Pomílio (2013):

Sabe-se ainda que as harmônicas pares produzem assimetrias de meia onda. Como esse tipo de assimetria não é muito comum nos dispositivos elétricos, mesmo nos casos não-lineares, as harmônicas pares se manifestam em menor intensidade no sistema elétrico. No entanto, alguns transitórios como a energização de transformadores [...] tem a capacidade de produzir essa assimetria de meia onda e, portanto, de gerar harmônicas pares, especialmente a 2a e a 4a.

O que leva à conclusão da necessidade de analisar com maior ênfase as harmônicas de ordem ímpares.

2.1.15. Quantização da Distorção Harmônica

A quantização deste fenômeno é realizada matematicamente e denominada Distorção Harmônica Total (DHT). O cálculo da mesma é explicado na obra de Abdullah, Kustiawan e Wahyudin (2017). É tratada a partir da Equação 2, na qual os valores de “Mh”, “h” e M, representam o valor RMS da harmônica h, a ordem da harmônica e a magnitude da mesma, respectivamente, como se pode observar na Equação 2:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>2}^{hmax} M_h^2}}{M_1} \quad (2)$$

Abdullah, Kustiawan e Wahyudin (2017) ainda citam que os valores de THD de 0 % a 5% são aceitáveis atualmente para a fabricação de lâmpadas LEDs, porém valores acima de 10% são inadmissíveis por causarem interferências em equipamentos ou cargas sensíveis.

2.1.16. Efeitos da Distorção Harmônica

Uma das consequências desta distorção é o acréscimo de corrente no circuito e consequente redução do fator de potência. De acordo com a Quadro 1 da PROCEL tem-se a informação em % do acréscimo de corrente para diferentes valores de DHTi (Distorção Harmônica Total de Corrente), além dos seus respectivos valores de fator de potência DHTp (Distorção Harmônica Total de Potência) (DUGAN *et. al.*, 2004).

Quadro 1 - Acréscimo de corrente e fp por DHTi

DHTi (%)	Acréscimo de corrente (%)	Fator de Potência
0	0,00	1,000
10	0,50	0,995
30	4,40	0,958
50	11,80	0,894
70	22,07	0,819
100	41,42	0,707
150	80,28	0,555
200	123,61	0,447

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (2006)

O acréscimo na corrente, juntamente à DTHv (Distorção Harmônica Total de Tensão), que é a distorção total da tensão gerada pela ocorrência de harmônicos da fundamental de 60 Hz, pode gerar Interferências de diversos modos, entre eles o sobreaquecimento em transformadores e motores, interferências em redes de comunicação ou até mesmo o rompimento de componentes capacitivos (DUGAN *et. al.*, 2004).

2.1.16. Ambiente Eletromagnético

O ambiente eletromagnético em um EAS é definido por diversos fatores, sendo alguns deles: rede de energia elétrica, o tipo de edificação, equipamentos eletroeletrônicos e até o ambiente externo o que tornam complexo e, portanto, importante o estudo destes fenômenos (WESTON, 2001).

As fontes de IEM podem ser divididas por diversas classificações. Neste trabalho foram tratadas e abordadas duas concepções diferentes de parâmetros para as classificações, sendo a primeira dividida em naturais e não naturais, ou seja, produzidas pelo homem ou não (WESTON, 2001). A segunda, de acordo com Valente Júnior (2006) utiliza a classificação de fontes de IEM intencionais ou não intencionais, ou seja, aquelas que são geradas com propósito e aquelas decorrentes de interferências presentes/originadas no ambiente.

Valente Júnior (2006) explica a classificação das fontes em Intencionais: sistemas de comunicação transmitem informações aos equipamentos receptores de antenas de TV e rádio, além de equipamentos portáteis como o telefone celular e não intencionais: emitir energia eletromagnética como um subproduto do seu princípio de funcionamento, na sua maioria

oriunda de computadores, sistemas de televisão e rádio, aparelhos de TV, lâmpadas, equipamentos de cozinha entre outros.

De acordo com o Instituto Nacional do Câncer (2019) as fontes naturais podem ser ruídos atmosféricos, descargas eletrostáticas e até mesmo ruídos cósmicos provocados por explosões de estrelas como o Sol. Todos nós somos expostos a diferentes intensidades de radiação que inclui aquelas provenientes de fontes naturais ou produzidas pelo homem.

Mazzilli, Máduar e Campos (2011) alertam que os raios cósmicos são responsáveis por pouco menos da metade da exposição do homem à radiação natural externa sendo a radiação ambiente normal ao nível do mar = 0,03 uSv/hora, porém estudos realizados mostraram que aproximadamente 95% da população mundial vivem em áreas onde a dose média oscila entre 0,3 e 0,6 mSv/ano. Aproximadamente 3% da população recebem doses da ordem de 1 mSv/ano e 1,5% acima de 1,4 mSv/ano, existindo lugares em que os níveis de radiação terrestre são muito mais elevados.

Ainda de acordo com Mazzilli, Máduar e Campos (2011) as fontes de IEM não naturais são geradas tanto dentro do ambiente hospitalar como fora dele pelo uso de equipamentos no próprio EAS como as lâmpadas, equipamentos eletromédicos, micro-ondas, liquidificadores, celulares, Wi-Fi, telefones móveis, etc. Em qualquer caso, sejam as fontes de ruídos naturais ou não, a qualidade da energia elétrica é comprometida e consequentemente a qualidade do atendimento ao paciente também.

2.2. Lâmpadas LED

Os LEDs (Diodos Emissores de Luz) são componentes eletrônicos semicondutores em estado sólido que transformam energia elétrica em luz monocromática, diferente de uma lâmpada incandescente que emana um espectro contínuo de luz. O diodo emissor de luz faz isso através do que é conhecido como uma junção *pn*, que é formada por um semicondutor do tipo *p* e um semicondutor do tipo *n*.

Assim, se a tensão aplicada entre ânodo e cátodo do semicondutor for adequado aos elétrons do material do tipo *n*, e as lacunas do material do tipo *p*, ambos se deslocam em direção a junção *p-n*. a radiação emitida pelos LEDs pode ir desde ultravioleta e infravermelha e a dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, zinco, fósforo, índio e nitrogênio (MARTELETO, 2011).

É possível encontrar lâmpadas LED em diferentes formatos: bulbo, tubular e spot. A anatomia das lâmpadas LEDs é composta em camadas, geralmente, pela seguinte sequência: um globo, o painel de LED, dissipador térmico, circuito eletrônico, conector elétrico e por último a base de rosqueio (MIYASHIRO, 2016).

Serão tratados então os principais componentes eletrônicos presentes no circuito eletrônico das lâmpadas LED, conhecido também como *driver* ou conversor AC/DC (SANTIAGO, 2016).

A função do *Driver* é de controlar e limitar a corrente, para que a potência certa seja entregue aos LED e em consequente entregar a quantidade de iluminação para a qual foi projetada. O conversor AC/DC é composto por um circuito retificador utilizando diodos com filtro capacitivo, o qual transforma a tensão alternada de 220 V ou 110 V para a tensão de funcionamento ideal do LED da lâmpada, normalmente +5 V de tensão contínua. entre outros circuitos/componentes com: regulador de corrente, transistores, capacitores, resistores, indutores (SANTIAGO, 2016). As lâmpadas modernas utilizam LED em sua formação e apresentam maior durabilidade que as demais e não promovem o aquecimento dos ambientes internos (SANTOS et al., 2015).

No decorrer dos últimos anos, vários tipos e modelos de lâmpadas LED surgiram no mercado, diante disso tornou-se obrigatório cumprir os requisitos da norma ABNT NBR IEC/CISPR 15, que trata da compatibilidade eletromagnética em equipamentos de iluminação (PEDRONI, 2017).

A norma da ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014 define três ensaios para a avaliação da compatibilidade eletromagnética em lâmpadas LED, entre eles os ensaios de perturbações eletromagnéticas radiadas de campo elétrico e magnético e a análise de tensão de perturbação dos terminais de alimentação (IWASHITA, 2015).

Os principais benefícios das lâmpadas LED são, o baixo consumo de energia, a vida útil, alta eficiência, ausência de radiação infravermelha, ausência de radiação ultravioleta, alto índice de reprodução de cor, disponibilidade de temperatura de cor e custo de manutenção reduzido (MARTELETO, 2011).

Dentre os benefícios das lâmpadas LED, tem-se a economia na energia. A lâmpada LED utiliza 82% menos energia elétrica que uma lâmpada incandescente, sua eficiência luminosa é maior do que as das outras lâmpadas. Elas podem ser fabricadas em diversos tamanhos e

formatos, sendo utilizadas em vários tipos de ambientes, dependendo do modelo podem durar até 25 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes e 4 vezes mais do que as fluorescentes compactas (INMETRO, 2020).

As lâmpadas LED também geram menos riscos para o meio ambiente, pois não possuem mercúrio em sua composição, diferente das fluorescentes compactas, portanto, podem ser descartadas em lixo comum. Às LED não emitem radiação ultravioleta e infravermelha, e apesar de o custo ser mais alto que as outras o gasto na sua compra é compensado pois há um baixo custo de manutenção e redução do custo na conta de luz (INMETRO, 2020).

As LED também possuem tonalidades de cores diferentes que podem ser identificadas nas embalagens, expressas em Kelvin (K), como “temperaturas de cor”. Essas temperaturas não estão associadas diretamente à quantidade de calor gerado pela lâmpada. A luz emitida passa por uma sequência de cores, que vai do vermelho ao laranja e daí para amarelo, branco e azul, tal como acontece com a ponta de um maçarico, por exemplo (INMETRO, 2020).

Neste tipo de lâmpada LED, o globo protege a lâmpada e faz a dispersão da luz. Os LEDs são feitos em uma placa de circuito impresso. O dissipador absorve o calor provocado na junção do LED. O circuito eletrônico retifica a tensão da rede elétrica e alimenta os LEDs. O conector elétrico faz a conexão do circuito eletrônico com a rede elétrica e a base tem a função de prender a lâmpada na instalação elétrica (MIYASHIRO, 2016).

2.3. Luminotécnica

A luminotécnica é um meio utilizado para se estudar parâmetros relacionados à iluminação artificial. Há diversos parâmetros estudados por esta técnica, porém neste tópico serão apresentados apenas os mais necessários para o entendimento do comportamento luminoso das lâmpadas de LED.

2.3.1. Fluxo Luminoso (ϕ)

De acordo com Pilon *et al.* (2011) este fluxo é quantificado pelo sistema internacional de medidas em lúmens (lm). É uma informação acerca da quantidade de luz emitida por uma lâmpada funcionando dentro de sua tensão nominal.

2.3.2. Eficiência Energética das Lâmpadas (η)

Também conhecido como eficiência ou rendimento luminoso, é uma unidade de medida da quantidade de lúmens gerado por Watt de equipamento, expresso pelo sistema internacional de medidas como lm/W (lúmen/watt) (CARVALHO, 2020).

2.3.3. Iluminância (E)

Ainda de acordo com Carvalho (2020) a Iluminância, também conhecida como Iluminância média, é uma medida de lúmens por área irradiada em m^2 , expressa como lx, onde $lx = lm/m^2$.

2.3.4. Intensidade Luminosa (I)

Medida em candela (cd), é a expressão da irradiação do fluxo luminoso em certo ponto de interesse (CARVALHO, 2020).

2.3.5. Luminância (L)

É uma proporção da intensidade luminosa gerada por cada metro quadrado de área irradiada (cd/m^2) (CARVALHO, 2020).

2.3.6. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

O IRC é expresso na faixa de valores que vai de 0 a 100, é um índice que mede a capacidade da lâmpada de reproduzir a cor da luz solar, sendo 100 o IRC da própria luz do sol. (REZENDE; LISITA JUNIOR, 2014).

2.3.7. Temperatura de Cor (T)

Esta é uma medida da temperatura da luz da lâmpada em determinado ponto, expresso na unidade de medida convencional K (escala Kelvin), este índice influencia na aparência da cor das lâmpadas (REZENDE; LISITA JUNIOR, 2014).

2.4. Interferência em Equipamentos Hospitalares

À *priori* deve-se compreender alguns conceitos relacionados a interferência e equipamentos elétricos, para tal serão citados nas Seções 2.4.1. a 2.4.3. conceitos julgados necessários para a devida compreensão deste tópico.

2.4.1. Efeito Estroboscópico

O efeito estroboscópico, além de possuir uma ampla utilização, inclusive para realização de estudos, é também conhecido na literatura pela sua capacidade de provocar acidentes em máquinas rotativas (FASSBINDER, 2017). Para a melhor compreensão deste efeito, julgou-se necessária uma breve explicação que envolve os conceitos fundamentais para o entendimento do efeito em questão.

Luz estroboscópica, ou também luz pulsante, é gerada a partir de uma fonte luminosa que varia de forma intermitente sua emissão luminosa, sendo essa variação necessariamente uma mudança brusca entre a emissão de luz em alta intensidade e não emissão luminosa (FASSBINDER, 2017).

2.4.2. Máquinas rotativas

São aquelas compostas de uma parte fixa e outra que gira em redor da primeira, normalmente são motores compostos de estator, a parte do motor que está estático e rotor, o qual que gira livremente no espaço em torno de um eixo fixo (SOUTO, 2000).

2.4.3. Efeito *ripple*

É a aparição de um serrilhamento de ocorrência constante em um sinal que deveria ser totalmente contínuo, gerado pelo uso de um circuito retificador, responsável pela retificação da tensão da rede, a qual é capaz de alimentar corretamente as lâmpadas de LED (FREITAS, *et al.*, 2016).

2.5. Outros tipos de lâmpadas

Ainda há mercado e utilidades específicas para outros tipos de lâmpadas, algumas das quais serão abordadas neste trabalho e apresentadas algumas informações como princípios de funcionamento, vantagens e desvantagens das mesmas.

2.5.1 Lâmpadas Incandescentes

Uma das lâmpadas mais antigas, funcionando já com o uso de corrente elétrica, a qual percorre um filamento de tungstênio interno ao bulbo, liberando calor e luz ao ser excitado. (MASCIA, 2011).

2.5.2. Lâmpadas Halógenas

São do tipo incandescente, gerando iluminação com o uso de gases halógenos como iodo. Uma das suas vantagens com relação à incandescente é a de não escurecer devido a esses gases que reagem com os átomos de tungstênio, forçando-os a evaporarem com o calor gerado pela lâmpada, formando haleto de tungstênio. Outra vantagem é a questão da durabilidade, visto que o haleto de tungstênio então circula e chega próximo ao filamento, onde se dissocia e deposita o tungstênio de volta, regenerando assim o filamento (MASCIA, 2011).

2.5.3. Lâmpadas Fluorescentes

Estas lâmpadas são constituídas por um par de eletrodos e um bulbo envolto por fósforo e cheio de gás, (comumente argônio e vapor de mercúrio). O par de eletrodos gera uma corrente que, devido a natureza dos gases presentes, permite a corrente fluir pelo meio gasoso entre eles. Ao se chocarem com os átomos de mercúrio, há a emissão de fótons ultravioletas, tais fótons estimulam o fósforo que cobre a parte externa da lâmpada, liberando assim fótons como radiação luminosa (MASCIA, 2011).

2.5.4. Lâmpadas de Néon

Segue o mesmo princípio das fluorescentes, porém utilizam gases nobres, como neon, argon, xenon, ou uma mistura dos supracitados ou até mesmo de outros gases nobres. Estes, quando excitado pelos elétrons, acabam por produzir a radiação visível, porém acabam também por produzir radiações infra-vermelhas (EBERHARDT, 2017).

2.5.5. Lâmpadas de Descarga

Estas são lâmpadas mais específicas, comumente utilizadas para cultivo, isto por possuírem uma radiação muito próxima a do sol além da temperatura de cor, a qual varia de 2k

a 6k dependendo da composição da lâmpada), e calor. Funciona também a partir de uma descarga elétrica entre dois eletrodos em uma cápsula de *quartzo* com gás (xenon, mercúrio ou sódio, neon, revestimento de fósforo. Costumam possuir alta potência, na faixa de 500 W (MASCIA, 2011).

2.5.6. Fibra Óptica ou Fibra de Vidro

Conhecida por ter uma maior segurança, devido a mesma não possuir condução de energia elétrica pelos cabos, pois os filamentos de fibra óptica transmitem uma luz gerada por outra fonte reflexão nas suas paredes internas (PURIM, 2010).

3. Materiais e Métodos

Para a elaboração deste estudo foi realizada uma revisão bibliográfica que trata da interferência eletromagnética de lâmpadas LEDs no funcionamento dos equipamentos hospitalares existentes nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.

Para abordar esta temática, foram selecionados artigos científicos, dissertações e monografias, com autores que elaboraram pesquisas pertinentes ao assunto, além de livros e revistas especializadas em Engenharia Biomédica, Engenharia Elétrica, Física, Eletrônica e Luminotécnica.

Foram pesquisadas as seguintes bases de dados: Scielo, Google Scholar, Periodicos CAPES e Spell.

O período estipulado para as escolhas dos artigos foi de 2001 a 2021, evitando pesquisas em artigos com mais de 20 anos, visto que tendem a conter informações desatualizadas sobre o assunto.

Foram utilizadas como descritores as seguintes expressões: “Ondas eletromagnéticas”, “Interferência Eletromagnética”, “Lâmpadas LED”, “Equipamentos Hospitalares com LED”, “LED lamps”. “LED THDi”, “LED THD”, “LED *harmonical distortion*”, “LED *harmonical*”, “LED *interference*”, “LED *Total Harmonic Distortion*”, “Equipamentos Hospitalares DHT”, “Equipamentos Hospitalares DHTi” “LED DHT”, “LED DHTi”, “Electromedical Equipment THD”, “Electromagnetic Environment”, “Hospital Electromagnetic Environment”.

Para o estudo, foi realizada uma leitura exploratória dos materiais bibliográficos pesquisados, de modo que ocorresse uma seleção do material, a fim de subjugar-se os dados que atendiam às expectativas da pesquisa, bem como a eliminação de duplicatas.

Para buscar normas vigentes sobre o tema do trabalho foram feitas consultas, no período de março 2021 a junho de 2021, na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

No mês de maio de 2021 foram buscadas informações no site da ANVISA sobre registro de equipamentos que possuem lâmpadas de LED, e estão com registro válido, e também alertas que se relacionassem com interferência eletromagnética.

4. Resultados e Discussão

4.1. Lâmpadas LED e Interferências nos ambientes de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

Desde a monitoração ao suporte à vida dos pacientes, os equipamentos eletromédicos são bastante utilizados, porém podem colocar a saúde dos pacientes em risco no caso da ocorrência de interferências eletromagnéticas, visto que podem causar alterações no seu funcionamento. Os equipamentos eletromédicos (EEM) atuais, são compostos de materiais eletrônicos que vão desde amplificadores analógicos a microprocessadores sofisticados, que podem ser afetados por problemas de interferência eletromagnética (CABRAL, 2001):

Um EEM pode funcionar tanto como fonte quanto como receptor de energia eletromagnética. Uma IEM em um EEM pode ocorrer através da transmissão de energia tanto na forma conduzida, quanto na forma radiada. A EMI de forma conduzida ocorre quando a energia causadora da perturbação é transmitida através de um meio material (cabos de alimentação ou conexão), e a EMI de forma radiada ocorre quando a transmissão da energia causadora da perturbação é através do ar (ondas eletromagnéticas).

Dentro dos EASs há vários equipamentos eletroeletrônicos que podem sofrer interferência eletromagnética das lâmpadas LEDs, quando estas estão fora do padrão de qualidade, interferindo no funcionamento dos equipamentos, portanto, a análise dessa perturbação é essencial no ambiente hospitalar.

Atualmente, as lâmpadas LEDs são muito comuns em áreas de iluminação públicas, residenciais, e bastante utilizadas dentro dos hospitais. Como a lâmpada possui componentes eletrônicos, é necessário verificar a compatibilidade eletromagnética (BOMILCAR, 2020).

Essas interferências causadas pelas lâmpadas LEDs dentro dos hospitais podem gerar tanto impactos leves quanto graves, podendo até mesmo piorar o estado de saúde do paciente. Almeida et al. (2019) cita algumas possíveis ocorrências, como em monitores multiparamétricos, ventiladores pulmonares, bombas de infusão, desfibriladores, entre diversos outros equipamentos que caso funcionem de maneira inadequada podem chegar a colocar a vida do paciente em risco.

Nas Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e nos centros cirúrgicos são locais onde há uma grande quantidade de equipamentos eletrônicos, com pouca distância entre eles, portanto, são locais onde se deve ter o maior cuidado e atenção. Almeida et al. (2009) explica que “deve-se considerar que os processos clínicos são determinantes para a elevação da intensidade de potência dos níveis de campos eletromagnéticos no ambiente”.

Zevzikovas (2014) explica que as Interferências Eletromagnéticas podem ser evitadas de três formas, suprimir a emissão em sua fonte, fazer com que o caminho de acoplamento seja o mais ineficiente possível e fazer com que o receptor seja o menos suscetível possível ao ruído. O autor relata que o problema pode ser resolvido investindo em um dos três pontos: fonte, acoplamento ou receptor (equipamento afetado).

Para diminuir ou acabar com os efeitos das interferências eletromagnéticas, pode-se aplicar alguns procedimentos na fase de projeto de um equipamento e implementá-los na fase de montagem, alguns desses procedimentos são, aterramento interno e externo, blindagem eletrostática, filtragem (aplicação de filtros de linha), isolamento, projeto adequado de layout de componentes e fiação (ZEVZIKOVAS, 2014).

Zevzikovas (2014) sugere diversas alternativas para implementação de proteção nos equipamentos, entre elas está a utilização de diversos dispositivos, como do filtro de linha, na entrada CA, que atenda os parâmetros de níveis de ruído conduzido, prescritos pela norma NBR-IEC-CISPR 11/1997, grupo 1, classe B, ou de capacitores do tipo “Y” 2,2 nF (desacoplamento) entre as fases e o terra (modo comum) ou capacitores do tipo “X” 0,1 µF (desacoplamento) entre as fases (modo diferencial).

Com base na obra de Fassbinder (2014) conclui-se que a melhor maneira para se evitar a ocorrência de interferências geradas pelo efeito estroboscópico pelas lâmpadas em questão em equipamentos, em geral, é com a utilização de um capacitor *anti aliasing* após a retificação da alimentação da onda que alimenta o circuito dos LEDs.

Sendo assim conclui-se que a interferência estroboscópica gerada pelas lâmpadas LED em equipamentos e máquinas rotativas gera sim uma superposição de ondas o que acaba por ser passível de gerar artefatos no sistema, porém tal problema pode ser sanado a partir do uso de um capacitor de alisamento para reduzir o efeito *ripple* do sinal que alimenta as lâmpadas LED Fassbinder (2014). Enquanto outros tipos de interferências como as radiadas e conduzidas podem ser tratadas com o uso de diferentes dispositivos de filtragem, além de aterramento, blindagem eletrostática, isolamento ou até mesmo um devido layout do produto e componentes. (ZEVZIKOVAS, 2014).

4.2. Normas e Portarias

Devido à grande importância do assunto em questão, foram criadas diversas normativas para tratar o problema da interferência eletromagnética em EASs, além disso, há também normativas e portarias que tratam exclusivamente de equipamentos eletromédicos ou até mesmo lâmpadas LEDs. Nas Seções 3.3.2.1 a 3.3.2.10 serão apresentadas as normas que foram encontradas no período de busca de 2020 a 2021.

4.2.1. Norma da ABNT IEC/PAS 62612:2013

Esta norma aborda a temática dos requisitos de desempenho para lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado, abordando métodos de ensaio e condições requeridas dentro dos parâmetros pré-estabelecidos de potência nominal de até 60 W; tensão nominal de até 250 V; bases da lâmpada de acordo com ABNT NBR IEC 62560 (ABNT, 2013).

4.2.2. Norma da ABNT NBR IEC 62560:2013

Esta norma trata a respeito da segurança e intercambialidade das lâmpadas LED com reator incorporado, as quais possuem potência nominal até 60 W e tensão nominal entre 50 V

e 250 V. A mesma também traz pareceres dos métodos para o ensaio e condições de conformidade para tais (ABNT, 2013).

4.2.3. Norma da ABNT IEC 60601-1-2: 2017

A mesma é responsável por normatizar a produção de equipamentos eletromédicos, visando fornecer uma segurança e qualidade mínima e essencial para o funcionamento destes sistemas durante toda sua vida útil esperada, em ambientes eletromagnéticos de EAS, sem que causem interferências eletromagnéticas significativas no ambiente, causando problemas a outros equipamentos, nem que sejam susceptíveis a ponto de terem mal funcionamento em tais ambientes, os quais costumam ter um ambiente eletromagnético bem delicado como já exposto neste trabalho (ABNT, 2017).

4.2.4. Portaria 389 do INMETRO em 25 de agosto de 2014

Esta portaria, publicada pelo INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, visualizando a importância das lâmpadas LED como dispositivos de controle integrado à base comercializadas no país, apresentarem requisitos mínimos de eficiência segurança e compatibilidade eletromagnética reconhecida, define então a necessidade de estabelecer requisitos para a produção de lâmpadas LEDs, visando os requisitos supracitados, definindo então limites para os valores de grandezas decisivas na projeção das lâmpadas, como tensões, potências, corrente, peso, fluxo luminoso, vida ideal, entre outros (INMETRO, 2014).

4.2.5. Proposta de Portaria n.º 477, de 24 de setembro de 2013

A proposta de portaria 477, atribuída pelo PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO trata do regulamento Técnico da Qualidade para Lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base, o mesmo foi decretado com o intuito de aprovar um novo Regulamento Técnico da Qualidade para Lâmpadas LED disponível no site do INMETRO (INMETRO, 2013).

4.2.6. ABNT NBR 16205-1 de 20 de agosto de 2013 e ABNT NBR 16205-2 de 08/2013

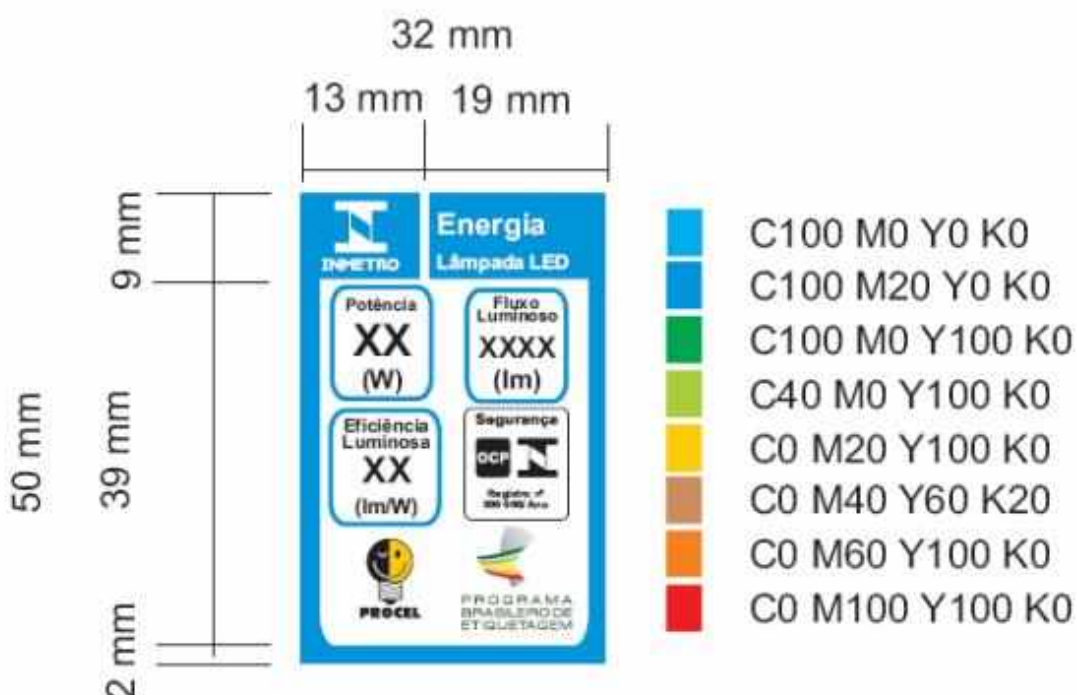
A ABNT NBR 16205-1 trata de “Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única Parte 1: Requisitos de segurança” e a ABNT NBR 16205-2 trata de “Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única Parte 2: Requisitos de desempenho”.

Assim, estas normas tratam apenas de lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado e de base única. Apesar de ambas especificarem requisitos de desempenho para as lâmpadas, a primeira faz jus às de potência nominal máxima de 60 W e tensão nominal de até 120 V. enquanto a segunda até 30 W e 50 V. (ABNT, 2013).

4.2.7. Etiqueta ENCE - Portaria INMETRO / MDIC N° 144 de 13 de março de 2015

Nesta portaria foi definida a padronização e obrigatoriedade da apresentação de um selo de identificação da conformidade, assim como as responsabilidades, obrigações e até mesmo penalidades para as empresas as quais comercializarem produtos fora dos conformes estabelecidos. Este selo, representado por uma Etiqueta Nacional de Eficiência Energética - ENCE nas caixas para a comercialização das lâmpadas LEDs, assim como parâmetros de tamanhos e cores para tais etiquetas como apresentado na Figura 2 (INMETRO, 2015).

Figura 2 - Etiqueta ENCE para lâmpadas LED



Fonte: INMETRO (2015)

4.2.8. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

Este documento visa estabelecer procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica por meio de fatores como a qualidade do produto e do serviço a partir de análises em regimes permanentes e transitórios. Para tal, define limites para os valores indicadores de fenômenos que interferem na qualidade de funcionamento do produto, como por exemplo a distorção harmônica, realiza a padronização de terminologias, estabelece padrões de metrologia e por fim lidam com a gestão de reclamações dos produtos. O PRODIST estabelece limites das distorções harmônicas em % da fundamental para diferentes faixas de tensão, no caso das situações de interesse, (categoria de <1kV), os limites permissíveis são para DHT95%, DHTp95%, DHTi 95%, DHT395%, são respectivamente 10 %, 2,5 %, 7,5 % e 6,5 % (ANEEL, 2021).

4.2.9. Norma IEC 61000-3-2 de 20 de abril de 2009

Esta norma trata sobre compatibilidade eletromagnética e estabelece valores máximos de corrente harmônica em mA/W permissíveis para cada ordem harmônica ímpar em equipamentos com corrente nominal igual ou menor que 16 A por fase (ABNT, 2009).

4.2.10. Norma IEE/ANSI C63.19 DE 19/11/2019

“American National Standard for Methods of Measurement of Capatibility between Wireless Communication Devices and Hearing Aids”, aborda equipamentos de comunicação wireless e aparelhos auditivos, mais especificamente a metodologia permitida para a medição da CEM entre eles (IEEE/ANSI, 2019).

4.3. Registros ANVISA

As lâmpadas de led são de amplo uso em EASs, realizando funções mais simples como iluminação de ambientes, de pacientes como no caso dos focos cirúrgicos e lâmpadas acopladas em equipamentos de endoscopia ou colonoscopia para a iluminação interna do paciente durante o exame, ou até mesmo lâmpadas LED infravermelho que são usadas para fisioterapias e até mesmo procedimentos estéticos.

Tecnologias para saúde só podem ser comercializadas e utilizados caso sejam devidamente notificadas, cadastradas ou registradas nos órgãos sanitários. Ressalta-se que de acordo com a RDC 509 de 27 de maio de 2021 (ANVISA, 2021a) tecnologias em saúde são definidas como “conjunto de equipamentos, de medicamentos, de insumos e de procedimentos utilizados na prestação de serviços de saúde, bem como das técnicas de infraestrutura desses serviços e de sua organização.”.

Importante salientar que a resolução que tratam da notificação, cadastro junto à ANVISA é a RDC 40 de 27 de agosto de 2015 (ANVISA, 2015) e a resolução que trata do registro, alteração, revalidação e cancelamento do registro de produtos RDC 185 de 22 de outubro de 2001 (ANVISA, 2001).

Dentro desse contexto, no mês de maio de 2021, foi realizada consulta sobre registros de tecnologias que usem LED no site da ANVISA. O Quadro 2 traz dados de registros na ANVISA (ANVISA, 2021b) de diferentes tecnologias médico hospitalares (equipamentos de saúde e produtos para saúde), com seus devidos números de registro, nome do produto, empresa responsável, função e classificação de risco.

Quadro 2 – Registros de Equipamentos Hospitalares com LEDs

(Continua)

Nº do registro ANVISA	Produto	Empresa	Função	Classificação de Risco
81431279001	FOTÓFORO	MEDIHOSP	FOTOTERAPIA	II – MÉDIO RISCO
10345500144	FOCO CIRÚRGICO	BAUMER S.A.	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I – BAIXO RISCO
80042559013	LÂMPADA DE FENDA	EYETEC	EXAMES OFTÁLMICOS	I – BAIXO RISCO
80988510001	CLAREADOR DENTAL	BASAL	CLAREAMENTO DENTAL	II – MÉDIO RISCO
10224620049	FOTÓFORO	FANEM LTDA	FOTOTERAPIA	III – ALTO RISCO
80127840015	FOCO CIRÚRGICO	MEDPEJ	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I – BAIXO RISCO
80337650008	FONTE DE LUZ PORTÁTIL	CONFIANCE MEDICAL	ILUMINAÇÃO DE ATENDIMENTO AMBULATORIAL	II – MÉDIO RISCO
10282499002	FOTOPOLIMERIZADOR ODONTOLÓGICO	SDI BRASIL	POLIMERIZAÇÃO DE RESINAS	I – BAIXO RISCO
10360310041	FOTÓFORO	IBRAMED	FOTOTERAPIA	III – ALTO RISCO
80284930304	FOTOPOLIMERIZADOR	3M	CLAREAMENTO DENTAL E FOTOPOLIMERIZAÇÃO	II – MÉDIO RISCO
80235600001	FOTÓFORO	AEASA	FOTOTERAPIA	I - BAIXO RISCO
10345500101	FOCO CIRÚRGICO	BAUMER S.A.	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80210180014	FOTÓFORO	CLEAN LINE	FOTOTERAPIA	II - MÉDIO RISCO
80070210086	FOCO AUXILIAR	MACROSUL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80337650008	FONTE DE LUZ FRIA	CONFIANCE MEDICAL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	II - MÉDIO RISCO
81259520002	CANETA ROTATIVA COM ILUMINAÇÃO LED	TOSI FOSHAN	ILUMINAÇÃO DE CANETA ROTATIVA E BOCA	II - MÉDIO RISCO
80117580540	FONTE DE LUZ PORTÁTIL	EMERGO	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES PORTATIL	I - BAIXO RISCO
80042559008	MEDIDOR DE PARÂMETROS DA CÓRNEA	EYETEC	EXAMES OFTÁLMICOS	I - BAIXO RISCO

Quadro 2 – Registros de Equipamentos Hospitalares com LEDs

(Continua)

Nº do registro ANVISA	Produto	Empresa	Função	Classificação de Risco
80213739012	VF1000 LED	FABINJECT	VISUALIZAÇÃO DE VEIAS	I - BAIXO RISCO
10224620049	FOTÓFORO ELETÔNICO MICROPROCESSADO	FANEM	FOTOTERAPIA	III - ALTO RISCO
80259110044	FOCO AUXILIAR	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80259110045	FOCO CIRÚRGICO	GETINGE	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES MÓVEL	I - BAIXO RISCO
80259110046	FOCO CIRÚRGICO	GETINGE	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80259110080	FOCO CIRÚRGICO	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80259110081	FOCO AUXILIAR	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES MÓVEL	I - BAIXO RISCO
80259110082	FOCO AUXILIAR	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80259110083	FOCO CIRÚRGICO	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES MÓVEL	I - BAIXO RISCO
8025911016	FOCO CIRÚRGICO	MAQUET	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
10302860251	ENDOSCÓPIO COM ILUMINAÇÃO LED	KARL STORZ	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
10360310037	FOTÓFORO	IBRAMED	FOTOTERAPIA	III - ALTO RISCO
10360310041	FOTÓFORO	IBRAMED	FOTOTERAPIA	III - ALTO RISCO
80351900011	MONITOR LED HD	SHENZHEN BEACON	EXIBICAO DE IMAGENS MEDICAS E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80351900014	FONTE DE LUZ FRIA	INNOVA TECHNIK	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	II - MÉDIO RISCO
80351900016	FONTE DE LUZ FRIA	INNOVA TECHNIK	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	II - MÉDIO RISCO
80351909001	FONTE DE LUZ FRIA	INNOVA TECHNIK	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	II - MÉDIO RISCO
80753460080	ENDOSCÓPIO COM ILUMINAÇÃO LED	KARL STORZ	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
10237619015	FOCO AUXILIAR	KOLPLAST	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO

10317490152	CÂMERA DE VÍDEO CIRURGICA COM ILUMINAÇÃO	RICHARD WOLF	CIRURGIAS INVASIVAS	II - MÉDIO RISCO
-------------	--	--------------	---------------------	------------------

Quadro 2 – Registros de Equipamentos Hospitalares com LEDs

(Continua)

Nº Registro da ANVISA	Produto	Empresa	Função	Classificação de Risco
10232100042	BISTURI ELETRÔNICO	MEDICAL CIRURGICA	BISTURI	III - ALTO RISCO
80127840015	FOCO CIRÚRGICO	MEDPEJ	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80127840016	FOCO CIRÚRGICO	MEDPEJ	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80127840018	FOCO CIRÚRGICO AUXILIAR	MEDPEJ	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80136999049	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RICHARD WOLF	ENDOSCOPIA	I - BAIXO RISCO
80047309142	FOTÓFOTO	MEDSTAR	FOTOTERAPIA	II - MÉDIO RISCO
81205910005	FOCO CIRÚRGICO	MENDEL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
81205910006	FOCO AUXILIAR	MENDEL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80840260008	NEWTRON P5	SATELEC	ULTRASSOM ODONTOLÓGICO	II - MÉDIO RISCO
81205910005	FOCO CIRÚRGICO	MENDEL	FOCO CIRÚRGICO LED	I - BAIXO RISCO
81205910006	FOCO AUXILIAR	MENDEL	FOCO AUXILIAR LED	I - BAIXO RISCO
80840260008	NEWTRON P5 XS	SATELEC	ULTRASSOM ODONTOLÓGICO	II - MÉDIO RISCO
10331310022	FOCO CIRÚRGICO	S.I.M.E.O.N MEDICAL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
10331310023	FOCO CIRÚRGICO	S.I.M.E.O.N MEDICAL	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
8120791000	FONTE DE LUZ FRIA	DONGGUAN KAISER	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
0073250045	FOTÓFORO	QED INC	FOTOTERAPIA	I - BAIXO RISCO
80613170003	ESPÉCULO DESCARTAVEL	EK COLORLIFE	ESPÉCULO VAGINAL	I - BAIXO RISCO
80743239001	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	NEXXMED	ENDOSCOPIA	I - BAIXO RISCO
10223710104	FOCO CIRÚRGICO	ORTOSINTE SE	ILUMINAÇÃO PARA EXAMES E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80413800008	FONTE DE LUZ FRIA	PHOTONITA	ILUMINAÇÃO PARA PROCEDIMENTOS AMBULATORIAIS	I - BAIXO RISCO
81037949028	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RICHARD WOLF	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
81037949069	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RICHARD WOLF	ENDOSCOPIA	I - BAIXO RISCO
81037949008	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RICHARD WOLF	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO

81037949022	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RICHARD WOLF	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
-------------	-----------------------------------	--------------	------------	------------------

Quadro 2 – Registros de Equipamentos Hospitalares com LEDs

(Conclusão)

Nº Registro da ANVISA	Produto	Empresa	Função	Classificação de Risco
81326930010	FOTOPOLIMERIZADOR	GUILIN WOODPECKER	CLAREAMENTO DENTAL E FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINAS	II - MÉDIO RISCO
81326930011	FOTOPOLIMERIZADOR	GUILIN WOODPECKER	CLAREAMENTO DENTAL E FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINAS	II - MÉDIO RISCO
81326939003	FOTOPOLIMERIZADOR	FOSHAN COXO	CLAREAMENTO DENTAL E FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINAS	II - MÉDIO RISCO
80370820017	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	SCHÖLLY FIBEROPTIC	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
80370820019	MONITOR LED	FORESEESON	EXIBIÇÃO DE IMAGENS MÉDICAS E CIRURGIAS	I - BAIXO RISCO
80370829004	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	SCHOLLY FIBEROPTIC	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
8050528000	REFLETOR PARABÓLICO	G. COMM	FILMADORA COM ILUMINAÇÃO	I - BAIXO RISCO
80329729002	FONTE DE LUZ FRIA PARA ENDOSCÓPIO	RUSSER	ENDOSCOPIA	II - MÉDIO RISCO
10068879010	FOTOPOLIMERIZADOR	SIGMED	CLAREAMENTO DENTAL	I - BAIXO RISCO
10417940122	FONTE DE LUZ FRIA	VIMEX	FONTE DE LUZ LED	II - MÉDIO RISCO
80102511366	ULTRASSOM ODONTOLÓGICO	ELECTRO MEDICAL SYSTEM	EXAME DE ULTRASSOM ODONTOLÓGICO	II - MÉDIO RISCO
80058580009	FOTÓFORO	VYDENCE MÉDICA	FOTOTERAPIA	II - MÉDIO RISCO

Fonte: (ANVISA, 2021b)

4.4. Alertas de Tecnovigilância ANVISA

Foi realizada consulta sobre interferência eletromagnética nos alertas disponibilizados no site da ANVISA. A pesquisa foi realizada de 18/05/2021 a 15/06/2021, buscando todos os alertas que estivessem no site da ANVISA.

Foram encontrados três alertas, Alerta 670 de 2002, Alerta 1455 de 2014 e Alerta 119 de 2020.

4.4.1. Alerta 670, classe 11111, datado de 20/03/2002 (ANVISA, 2002)

Este alerta se refere ao produto INFRAVERMELHO LONGO INVEL e FID INFRARED DOME distribuídos pela empresa GOEN3 COMERCIAL LTDA.

O mesmo informa que o produto supracitado está sendo comercializado sem registro junto à ANVISA, o que vai em desacordo ao art. 7º e o art. 12 da Lei n.º 6.360, de 23 de setembro de 1976; § 3º, do art. 111 do Regimento Interno aprovado pela Portaria n.º 593, de 25 de agosto de 2000, republicada no DOU de 22 de dezembro de 2000; art. 10, itens II, IV e XXIX, da Lei n.º 6.437, de 20 de agosto de 1977; art. 12 da Lei n.º 6.360, de 23 de setembro de 1976, combinado com os artigos 14 e 35 do Decreto n.º 79.094, de 5 de janeiro de 1977 de acordo a Resolução - RE nº 473, de 19 de março de 2002, publicada no D.O de 20/03/2002, sendo assim foi determinado a interdição deste produto em todo o território nacional.

4.4.2. Alerta 1455, classe 11111, datado de 10/11/2014 (ANVISA, 2014)

Este alerta emitido pela MEDTRONIC COMERCIAL LTDA relata a possibilidade de interferência eletromagnética (EMI) no Sistema STEALTHSTATION S7, gerada a partir da utilização das Lâmpadas Berchtold F-Generation. LED Berchtold F-Generation.

O mesmo informa que no caso do uso das lâmpadas a uma distância inferior a 1 metro (distância mínima estabelecida pela Berchtold), o sistema StealthStation® AxiEM™ ou Fusion EM deixar de fazer o rastreamento e de exibir o "status vermelho" que impede a navegação até que a EMI seja eliminada, ou seja, até que haja o afastamento entre o paciente e a(s) lâmpada(s).

4.4.3. Alerta 119, classe 13037, datado de 29/09/2020 (ANVISA, 2020)

Alerta a respeito de unidades de fototerapia HILL-ROM AIR-SHIELDS dos modelos PTL 68, PTM 78 e PTS 68, emitido pela própria fabricante.

A empresa após ter ciência de que hospitais estejam substituindo as lâmpadas destas unidades por outras não autorizadas e não compatíveis pela HILL-ROM editou um informativo de serviço de produto informando que na situação supracitada existe a possibilidade de uma

geração aumentada de energia no feixe de luz, comprometendo não apenas o funcionamento do aparelho como a própria segurança do paciente e profissional da saúde.

4.5. Estimativa de Custos de Lâmpadas de LED

A tecnologia de lâmpadas de LED está se modernizando cada vez mais, possuindo modelos os quais já são capazes inclusive de se conectar a alguns modelos de telefones móveis, devido a este fator, juntamente a seu baixo consumo de energia mensal e alta durabilidade (FERNANDES, 2011), fazem com que a concorrência atual deste tipo de lâmpada não seja como foi no passado, quando seus preços eram bem mais altos na média de (SANTOS, *et al.* 2015), sendo assim a concorrência atual das lâmpadas LEDs na área de iluminação ocorre entre diferentes marcas deste tipo.

A estimativa de custos foi obtida por meio de obras devidamente referenciadas, num período máximo de 6 anos, visando evitar divergências muito grandes nos valores advindos da constante queda do preço do produto nos últimos anos, foram também retratados valores principalmente das lâmpadas fluorescentes, além das de LED, por serem uma das tecnologias mais utilizadas antes da popularização das lâmpadas dos tipos diodo emissores de luz.

Devido a diversidade de tipos como diferentes tamanhos, potências, luminosidades das lâmpadas, os valores aqui são apresentados em forma de R\$ por Watts. Para realizar a comparação com outros tipos de lâmpadas, utiliza-se de um fator de correção devido a diferença entre fatores como os supracitados entre os diferentes tipos de lâmpadas.

Os dados referentes aos valores das lâmpadas LEDS foram retirados dos artigos: Piroca e Fank (2017), Reis e Souza (2015), Fernandes e Rasoto (2017), Santos, Felici e Santos (2020) e Santos (2018), Marques (2019).

Com o intuito de apresentar os resultados obtidos das estimativas de custos, foram montadas tabelas no EXCEL® as quais expressam valores médios dos custos das lâmpadas em relação a sua potência, expresso em R\$/W, muito bem como os valores em reais e Watts utilizados para estes cálculos. Concluindo-se que para cada Watt de potência de uma lâmpada LED se pagará aproximadamente 1,33 reais, obtido através da divisão do valor médio da potência de cada lâmpada pelo seu preço em reais obtidos na Tabela 1:

Tabela 1 - Potência das lâmpadas LED e seu custo em reais

Potência (W)	Média (R\$)
9	26,80
10	26,00
14	22,90
18	20,50
20	51,51
30	51,90
50	70,00
80	90,00
100	100,00
150	180,00
Média: 1,33 R\$/W	

Fonte: Elaborada pelo autor com base em: (Marques, 2019); (Piroca, 2017); (Reis e Souza, 2015); (Padilha, Jung e Rodrigues, 2015); (Fortes et al., 2018).

4.6. Comparação de Distorções Harmônicas

Para este tópico, foram montadas as Tabelas 2 e 3, as quais exibem os valores de Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas Fluorescentes e LEDs respectivamente. Esses

valores foram obtidos através da revisão bibliográfica de estudos práticos os quais realizaram os devidos testes com a finalidade de encontrar os valores das distorções infracitadas.

Tabela 2- Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpada	POT (W)	DTHi (%)	DHTv (%)
1	15	2,90	70,70
2	100	4,74	2,65
3	26	90,00	2,69
4	40	9,96	2,67
5	20	96,23	2,80
6	16	2,60	33,00
7	32	3,50	33,00
8	14	70,70	2,90
9	40	10,60	-
10	20	139,4	1,94
Média	32,3	43,06	15,23

Fonte: Adaptado de: (Reis e Souza, 2015); (Braga, 2014); (Fortes et al., 2018); (Monteiro, 2015)

Tabela 3 - Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas LED

(Continua)

Autor	DTHi% Drive de Fábrica	DTHi% Filtragem proposta
Prasuna et al. (2012)	97,54	10,29
Pandey; Tondare (2016)	68,50	0,93
Cheng et al. (2017)	15,27	6,86
Grado (2016)	65,06	12,87
Gnanavadivel et al. (2019)	NI	2,93
Gnanavadivel et al. (2016)	10,36	1,24

Gnanavadiavel et al. (2018)	89,00	0,47
Kane et al. (2016)	154,08	18,90
C. Costa et al. (2021)	55,58	0,08
Oliveira, L. M.; Braga, F. S.; Ferreira, I. L. P.; Cruz, A. F. DOS S. (2014)	48,10	NP

Tabela 3 - Potência e Distorções Harmônicas de Lâmpadas LED

(Conclusão)

Autor	DTHi% Drive de Fábrica	DTHi% Filtragem proposta
Medved (2019)	42,01	NP
(CATTANEO; PACHECO; CHINAZZO, 2017)	76,55	33,00
MONTEIRO (2015)	51,23	NP
Putz et al. (2019)	87,65	25,85
Fillat (2018)	23,17	6,50
Revelo-Fuelagán et al. (2020)	136,00	10,9
Gritti; Adragna (2019)	99,70	4,00
(FRUND, <i>et al.</i> , 2018)	124,00	18,54
(TUNG <i>et al.</i> , 2020)	20,25	6,50
Hermoso-Orzáez et al. (2017)	10,28	NP
Sikora et al. (2018)	14,00	NP
Ramljak; Tokić (2020)	11,00	NP
Mag; Harmonics (2012)	29,10	NP
(YAU; WHU; LIU, 2020)	9,40	11,00
Fortes et al. (2018)	3,13	NP
Média	54,08 %	9,85 %

Legenda: NI (Não Informado); NP (Não Proposto)

Fonte: Autores

Com base nos estudos apresentados neste trabalho, conclui-se que o uso das lâmpadas de LED vem se modernizando e o seu custo barateando cada vez mais ao passar dos anos. Além disso, seu consumo de energia por iluminação é bastante superior aos outros tipos de lâmpadas, porém com base nos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, nota-se que as lâmpadas LED podem possuir uma DHTi superior às fluorescentes. Foi visto que esse tipo de DHT é capaz de gerar aquecimento de cabo, problemas em motores e até mesmo derreter fiação, além de gerar erros de medidas em equipamentos eletromédicos. Porém, mesmo com o aumento deste indicador, há lâmpadas LED com valores de DHTi menores, o que é de extrema importância para alguns tipos de instalação. Nota-se que de acordo com autores como Kane et al. (2016) e Revelo-Fuelagán et al. (2020) o teste das lâmpadas mostrou que algumas das submetidas aos testes não atenderam a IEC 6100-3-2.

4.7. Recomendações

Antes de realizar o projeto elétrico de um ambiente hospitalar, ou até mesmo optar por uma modernização de lâmpadas do tipo fluorescente para LED visando maior eficiência luminosa, é importante buscar ocorrências, alertas e registros em sites de confiança como o da ANVISA antes de adquirir qualquer equipamento.

Foi observada também a importância de respeitar os limites pré estabelecidos pelos fabricantes, como pode-se ver no tópico 6.1.1. Alerta 1455, que informa acerca de interferências em equipamentos de sistema de navegação cirúrgica caso a distância paciente - lâmpada não seja respeitada.

Por último, vale ressaltar que é necessário buscar informações e estudos que envolvam a DHTi (%) das lâmpadas desejadas para verificar se as mesmas possuem ou não um nível de distorção harmônica total de corrente dentro do aceitável para o ambiente eletromagnético no qual serão inseridas além de ter sido demonstrada a possibilidade da utilização de diferentes circuitos capazes de realizar reduções significativas nos valores de DHTi.

5. CONCLUSÃO

A qualidade e a efetividade dos atendimentos aos pacientes nos hospitais dependem dos equipamentos adquiridos para o diagnóstico, tratamento ou monitoramento dos pacientes. Diante disso, é importante que as instituições de saúde estejam com todos os equipamentos, inclusive as lâmpadas de LED, em conformidade com as normas de fabricação, compatibilidade, usabilidade e segurança.

Por haver muitos equipamentos os quais conduzem e/ou irradiam ruídos na linha de alimentação, a interferência eletromagnética está muito presente dentro dos EASs, o que pode colocar em risco a segurança dos pacientes, profissionais e equipamentos. Portanto, os ambientes devem ter muita cautela na instalação elétrica, infraestrutura e garantir uma aquisição de equipamentos de qualidade, com certificados e devidamente calibrados.

Vários elementos definem o ambiente eletromagnético de um EAS, como por exemplo a rede de energia elétrica, o tipo de edificação e outros equipamentos eletroeletrônicos. Quando ocorrem reformulações no layout dos equipamentos ou na instalação elétrica, esse ambiente eletromagnético é alterado. Portanto, é necessário que haja um programa de cuidados específicos acerca da compatibilidade eletromagnética para evitar problemas de interferência eletromagnética.

Por último, sugere-se que os EASs desenvolvam estudos e análises baseados nas normas existentes para tratar o problema da interferência eletromagnética em suas organizações.

6. REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A. G.; KUSTIAWAN, I.; WAHYUDIN, D. International Symposium on Materials and Electrical Engineering (ISMEE). Bandung, 2017.

ABNT. NBR-IEC-CISPR 11/1997: Ensaios elétricos e magnéticos: Emissão de perturbações eletromagnéticas conduzidas. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. NBR-IEC 60601-1-2: Equipamento eletromédico – Parte 1: Prescrições gerais para segurança – 2. Norma colateral: compatibilidade eletromagnética – Prescrições e ensaios. Rio de Janeiro, 1997. 10 p.

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Site da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

AKILA, A.; ETMAN, M.; YOUSSEF, K. **Passive Mitigation Technique for the Harmonics Caused by LED Lamps**. 25 th International Conference on Electricity Distribution. Madrid , 2019.

ALERTA ANVISA. Alerta 670, classe 11111, datado de 20/03/2002. Disponível em: https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=CO_SEQ_ALERTA&Parametro=670. Acesso em: 31/07/2021.

ALERTA ANVISA. Alerta 1455, classe 11111, datado de 10/11/2014. Disponível em: https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=L%E2mpada. Acesso em: 31/07/2021.

ALERTA ANVISA. Alerta 119, classe 13037, datado de 29/09/2020. Disponível em: https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=L%E2mpada. Acesso em: 31/07/2021.

ALMEIDA, A. A. *et al.* Interferência eletromagnética causada por emissões conduzidas em eletromédico. **Revista Diálogos Interdisciplinares**, v. 8, n. 2, 2019.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alertas de Tecnovigilância. Núcleo de Gestão do Sistema Nacional de Notificação e Investigação em Vigilância Sanitária, 2001. Disponível em:

https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=L%E2mpada. Acesso em: 18/05/2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Consultas. Disponível em: <https://consultas.anvisa.gov.br/#/genericos/q/?nomeProduto=LED>. Acesso em: 18/05/2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- **RDC Nº 40**, de 27 de agosto de 2015. Disponível em: http://www.sbpc.org.br/upload/conteudo/anvisa_rdc40_27ago2015.pdf . Acesso em: 15/06/2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da Diretoria Colegiada - **RDC Nº 509** de 27 de maio de 2021. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-509-de-27-de-maio-de-2021-323002855>. Acesso em: 26/07/2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- **RDC Nº 185**, de 22 de outubro de 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf . Acesso em: 15/06/2021.

BARROS, A. L. L. **Uma abordagem sobre o espectro eletromagnético por meio de estudos de caso**. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Campos dos Goytacazes, 2018.

BOMILCAR, A. **Entenda como uma lâmpada LED fora do padrão de qualidade pode interferir no funcionamento de eletroeletrônicos**. 2020. Disponível em: <https://www.abilumi.org.br/lampada-led-fora-padrao-de-qualidade-intefere-no-funcionamento-de-eletroeletronicos/>. Acesso em: 19/06/2020.

BRAGA, F. S. *et al.* Análise Comparativa da Eficiência Energética e Qualidade de Energia em Lâmpadas Incandescentes Fluorescentes e LEDs. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2014.

CABRAL, S. C. B. **Interferência eletromagnética em equipamento eletromédico ocasionada por telefonia móvel celular**. 2001. Dissertação (Engenharia Biomédica) - Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2001.

CARVALHO, D. F. A. **Instrumentos de Medição Para um Laboratório de Luminotécnica: Projetos e Construções**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

C. COSTA, R.; J. ARAÚJO, E.; L. G. SALMENTO, M. Análise Computacional da Distorção Harmônica de Lâmpadas LED. , 2021.

CHENG, C. An *et al.* A Single-Stage LED Tube Lamp Driver with Power-Factor Corrections and Soft Switching for Energy-Saving Indoor Lighting Applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 7, n. 2, 2017.

DALMAZO, L. (2009) Sua lâmpada será assim. Revista Exame. Edição 0935. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/0935/noticias/sua-lampada-sera-assim-416500>>. Acesso em: 12/11/2020.

DUGAN, R. C., McGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S. e BEATY, H. W. Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 2004.

DIONÍSIO, P. H. **ALBERT EINSTEIN E A FÍSICA QUÂNTICA+***. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 22, n. 2: p. 147-164, ago. **2005**. 147. Distribution 25 th International Conference on Electricity Distribution Madrid, 3-6 June 2019. n. June, p. 3–6, 2019.

ELETROBRÁS; PROCEL. **Avaliação dos Resultados do Procel 2006**. Rio de Janeiro, 2007. 151 p.

EBERHARDT, D. *et al.* Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 3, p. 928–950, 2017.

EVANGELISTA, R. L. **Estudo do ambiente eletromagnético em subestação de alta tensão e a importância do aterramento**. Monografia (Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

FASSBINDER, S.: Im Verbund läuft es rund. *Elektropraktiker*, Berlin 68 (2014) 8, S. 653 f. und 9, S. 744 f. Publicado por *LUX sob licença dos editores. Tradução e adaptação da redação de LUX*.

FDA. US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Site da FDA, 2020. Disponível em: <<http://www.fda.gov>>. Acesso em nov. 2020.

FERNANDES, A. L.; RASOTO, V. I. Estudo sobre a viabilidade econômica e impactos urbanos no uso de lâmpadas LED (diodo emissor de luz) na iluminação pública da cidade de Curitiba. **Rev. FAE**, Curitiba, v. 20, n.2, p. 21-34, 2017.

FERNANDES, F. Sistema de Iluminação Inteligente através de Redes de Sensores Wireless. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Estadual Paulista, Guringuetá, 2011.

FORTES, M. Z.; GOUVEIA, L. D. C. DOS S.; RODRIGUES, T. A.; OLIVEIRA, F. J.; OLIVEIRA, L. B. Análise dos Impactos da Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por Lâmpadas LED em Navios Militares. **Engevista**, v. 20, n. 4, p. 560, 2018.

FREITAS, S. P.; PEREIRA, H. A.; PRATES, M. O.; CUPERTINO, A. F. Projeto De Um Filtro Passivo Para Redução Do Ripple De Corrente Em Um Simulador De Arranjos Fotovoltaicos. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, CBENS, 2016.0

GNANAVADIVEL, J.; KUMAR, N. S.; YOGALAKSHMI, P. Implementation of FPGA based three-level converter for LED drive applications. **Journal of Optoelectronics and Advanced Materials**, v. 18, n. 5–6, p. 459–467, 2016.

GNANAVADIVEL, J.; SENTHIL KUMAR, N.; JAYA CHRISTA, S. T.; MURALIDHARAN, S. Design and implementation of fpga-based high power led lighting system for ships. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, v. 48, n. 5, p. 724–729, 2019.

GNANAVADIVEL, J.; YOGALAKSHMI, P.; SENTHIL KUMAR, N.; MURALIDHARAN, S. High efficient single stage cuk LED driver for universal input voltage applications with improved power quality. **Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications**, v. 12, n. 11–12, p. 694–699, 2018.

GRADO, P. D. E. Domiciliarias Led Con Corrector De Factor De Potencia Y Disminución. , 2016.

GRITTI, G.; ADRAGNA, C. Analysis, design and performance evaluation of an LED driver with unity power factor and constant-current primary sensing regulation. **AIMS Energy**, v. 7, n. 5, p. 579–599, 2019.

HERMOSO-ORZÁEZ, M. J.; GAGO-CALDERÓN, A.; ROJAS-SOLA, J. I. Power quality and energy efficiency in the pre-evaluation of an outdoor lighting renewal with light-emitting diode technology: Experimental study and amortization analysis. **Energies**, v. 10, n. 7, 2017.

IEC 61000-3-2 (2005) Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current up to 16 A per phase).

IWASHITA, J. **Compatibilidade eletromagnética em lâmpadas de Led**. 2015. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/compatibilidade-eletromagnetica-em-lampadas-de-led/>. Acesso em: 17 out. 2020.

KANE, S. N.; MISHRA, A.; DUTTA, A. K. Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). **Journal of Physics: Conference Series**, v. 755, n. 1, 2016.

MAGHFIROH, Hari; NUGRAHA, Fadhila Tresna; PRABOWO, Harry. Harmonic Comparison between Fluorescent and WOLED (White Organic LED) Lamps. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 6, n. 12, p. 1413–1417, 2012.

MINGUILLON, J.; LOPEZ-GORDO, M. A.; PELAYO, F. Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. Elsevier, Biomedical Signal Processing and Control, v. 31, p. 407-418, 2017.

MIYASHIRO, M. M. **Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED**. 2016. Dissertação (Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

MONTEIRO, R. V. A. Lâmpadas Tubulares Led X Fluorescentes – Estudos De Viabilidade, Na Perspectiva Da Qualidade Da Energia. , 2015. Disponível em: <<http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/218.pdf>>.

MORAES, F. B. **Avaliação das emissões conduzidas e radiadas geradas por unidade eletro cirúrgica e sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes em equipamentos médicos**. 2013. Dissertação (Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NOVOA, L. M. de; TOMIOKA, J. **Estudo da estrutura do White Light Emitting Diode – White LED**. Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, São Paulo.

OLIVEIRA, L. M.; BRAGA, F. S.; FERREIRA, I. L. P.; CRUZ, A. F. DOS S. Análise comparativa da eficiência energética e qualidade de energia em lâmpadas incandescentes fluorescentes e led's. **XIII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, p. 138–156, 2014. Disponível em: <www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>.

PADILHA, M.; JUNG, F.; RODRIGUES, E. Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes e LED aplicado no IFC - Campus Luzerna. Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar, Instituto Federal Catarinense, Santa Rosa do Sul, 2015.

PANDEY, R. K.; TONDARE, A. P. S. P. An AC LED Driver with Improved Total Harmonic Distortion and Power Factor. , v. 7, n. 5, p. 1532–1538, 2016.

PEDRONI, R. **Técnicas de mitigação de interferência eletromagnética em equipamentos de iluminação a LED**. 2017. Dissertação (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

- PEDROSO, L. J. G. R. **Avaliação dos Efeitos Sobre os Estimadores Eletromiográficos de Diversos Métodos de Filtragem da Interferência da Rede Elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília, 2013.
- PEREIRA, A. P. De; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula : uma investigação na formação de professores de Física. v. 8, p. 72–92, 2009.
- PILON, A. *et al.* O Estudo da Viabilidade Econômica da Luminotécnica nos Diversos Ambientes. Seminário de Pesquisa, Extensão e Inovação do IF-SC (SEPEI), p. 181-182, Criciúma, 2011.
- PIROCA, M.; FANK, O. L. **Análise da Viabilidade Econômica da Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por Tecnologia LED em um Departamento Público no Município de Caibi- SC**. Monografia, Pós Graduação: Especialização em Desenvolvimento Regional e Sustentável - FAI. Itapiranga, 2017.
- POMILIO, J. A. Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica: Conversores CC/CA - inversores. UNICAMP, 2013.
- PRASUNA, P. V.; RAO, J. V. G. R.; LAKSHMI, C. M. Improvement in Power Factor & THD Using Dual Boost Converter. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 2, n. August, p. 2368–2376, 2012.
- PURIM, C. A. *et al.* Sistema Eletrônico de Captação e Direcionamento de Iluminação Natural para Edificações Utilizando Fibras Ópticas - Girassol Eletrônico. n. August, 2010.
- PUTZ, Ł.; BEDNAREK, K.; NAWROWSKI, R. Disturbances generated by lighting systems with LED lamps and the reduction in their impacts. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 22, 2019.
- RAMLJAK, I.; TOKIĆ, A. Harmonic emission of LED lighting. **AIMS Energy**, v. 8, n. 1, p. 1–26, 2020.
- REIS, J. C.; SOUZA, T. M. Lâmpadas LED e Lâmpadas Fluorescentes Compactas - Um Estudo de Viabilidade Econômica. 8º Congresso de Extensão Universitária da UNESP, 2015.
- REVELO-FUELAGÁN, J.; CANDELO-BECERRA, J. E.; HOYOS, F. E. Power factor correction of compact fluorescent and tubular LED lamps by boost converter with hysteretic control. **Journal of Daylighting**, v. 7, n. 1, p. 73–83, 2020.
- REZENDE, D. C. C.; LISITA JUNIOR, O. Fundamentos para Projetos Luminotécnicos Comerciais: Enfoque em Livrarias. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.9, n. 1, 2014.
- SANCHES, D. Tópicos Especiais em Eletrônica: Interferência Eletromagnética - EMI. **Editora Agbook**, 2010.
- SANTIAGO, A. G. Melhoria do desempenho das lâmpadas LED através de novo conceito de design, concepção, fabrico e utilização. 2016.
- SANTOS, A. P.; FELICI, E. M.; SANTOS, V. R. Proposta de Diminuição do Consumo de Energia Elétrica e Redução dos Impactos Ambientais através da Análise da Viabilidade de

Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por Lâmpadas LED em um Supermercado. **Colloquium Exactarum**, v. 12, n. 1, p.62 - 72. Presidente Prudente, 2020.

SANTOS, T. S. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 20, n. 4, p. 595-602, 2015.

SANTOS, R. S. **Análise da Viabilidade da Substituição das Lâmpadas Como uma Alternativa Para a Redução de Custos: Um Estudo de Caso realizado no CCSA do Campus I da UFPB**. Monografia (Curso de Ciências Contábeis), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SIKORA, R.; MARKIEWICZ, P.; PABJAŃCZYK, W. Multivariable polynomial fitting of controlled single-phase nonlinear load of input current total harmonic distortion. **Open Physics**, v. 16, n. 1, p. 137–142, 2018.

SILVA, E. A. P. da. **O efeito Fotoelétrico**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, F. *et al.* **Eletromagnetismo: a interferência causada em equipamentos médico-hospitalares ocasionadas pelo campo eletromagnético existente em telefonia celular**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Jaguaribe, 2004.

SOUTO, C. d' A. **Estudo do Comportamento Dinâmico de Máquinas Rotativas através da Análise Modal Complexa**. Dissertação (Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, 2000.

WESTON, D.A. *Electromagnetic Compatibility; Principles and Applications* 2. ed. New York, USA: Marcel Dekker, Inc, 2001. p.1-17. ISBN 0-8247-8889-3.

ZEÑA, A. C. et al. Fontes De Ruídos E Relação Sinal-Ruído Em Espectrômetro Raman Dispersivo Utilizando Câmera Ccd. p. 2770–2773, 2014.

ZEVZIKOVAS, M. **Efeitos da interferência eletromagnética conduzida em equipamentos eletromédicos no ambiente hospitalar**. 2004. Dissertação (Engenharia Biomédica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.