



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Vila Flores

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE
ILUMINAÇÃO DE UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR:
FLUORESCENTES TUBULARES (T5) VERSUS LED**

Freo, Cassiano Montagner

Salvador, Cesar Addis Valverde

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de eficiência energética no sistema de iluminação de uma instituição de saúde de pequeno porte. Busca-se determinar a situação do sistema de iluminação da instituição, apontando-se possíveis soluções para reduzir o consumo de energia elétrica. Como objetivo secundário este trabalho ainda destina-se à adequar as instalações às normas de modo a propiciar aos pacientes e à equipe de saúde bem estar, conforto e qualidade no atendimento. A estimativa do potencial de conservação de energia elétrica é feita pela análise da viabilidade técnico-econômica dos sistemas de iluminação baseados em lâmpadas fluorescentes tubulares *versus* LED. De modo a se verificar a viabilidade econômica da implementação de uma ação de eficiência energética determina-se alguns

indicadores, como o tempo de retorno do *retrofit*¹ e a relação custo-benefício (RCB).

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, qualidade, conservação de energia elétrica.

ABSTRACT:

This paper presents a study of energy efficiency in the lighting system of a health care small. Seeks to determine the status of the lighting system of the institution anonymous, pointing to possible solutions to reduce electricity consumption. As a secondary objective this work also aims to adapt the facilities to standards in order to provide to patients and the healthcare staff welfare, comfort and quality service. The estimated potential electricity conservation is done by analyzing the technical and economic feasibility of lighting systems based on fluorescent lamps *versus* LED. In order to verify the economic feasibility of implementation of an energy efficiency action determines some indicators, such as the return time of the retrofit and cost-benefit (RCB).

1 INTRODUÇÃO

As instalações físicas de ambientes de saúde devem proporcionar às pessoas um ambiente confortável para o desenvolvimento de suas atividades, bem como oferecer condições favoráveis para os pacientes. Para o planejamento adequado do sistema de iluminação em ambientes de saúde (Enfermarias, Salas de Observação, Ambulatórios, etc.), devem ser levadas em consideração inúmeras variáveis. Para isso busca-se a realização e a adaptação das instalações de acordo com os padrões e normas estabelecidas para este propósito, por exemplo, normas de iluminação, ergonomia e acessibilidade.

Souza, Leite e Soares (2011), o emprego de iluminação eficiente pode alcançar economias de 30% a 70% em edificações não residenciais, ressaltando assim, a elevada importância de sistemas de iluminação eficientes em instalações comerciais

¹ *Retrofit*: Termo para designar o processo de modernização de algum equipamento considerado ultrapassado ou fora de norma.

e industriais.

O processo de conservação de energia se inicia com a reeducação, com a mudança de usos e de hábitos. A mudança de hábitos é uma das maiores dificuldades, pois a rotina diária das pessoas, muitas vezes é feita de forma inconsciente, sem se perceber exatamente o que se está fazendo. É necessária atenção para a rotina, pois as mudanças são importantes para o combate ao desperdício de energia (GELLER, 2007).

O setor de iluminação, além de possuir os maiores potenciais de conservação de energia elétrica é também o segmento onde se podem perceber mais rapidamente os resultados da economia de energia, além de exigir os menores investimentos, resultando, portanto, em retornos mais atrativos (COSTA, 2005).

Neste contexto, este trabalho analisa o potencial de conservação de eletricidade numa instituição hospitalar através de medidas de eficiência energética aplicadas em sistemas de iluminação. A possibilidade que se apresenta na implementação efetiva de um sistema de iluminação atualizado, como o que pretende este trabalho, poderá desonerar o orçamento da entidade, cuja economia poderá se reverter na melhoria da qualidade dos serviços oferecidos à população. Buscou-se assim tornar o sistema energeticamente eficiente e ao mesmo tempo proporcionando maior conforto luminoso a todos os usuários. Para isso comparou-se os dois sistemas de iluminação que apresentam os melhores rendimentos energéticos, lâmpadas fluorescentes tubulares (T5) *versus* LED.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem

Segundo Costa (2005), o papel da iluminação para o homem, vem de longas datas, desde a época da revolução industrial no século XVIII, caracterizada pelos ambientes fabris da época, com ambientes inadequados para a prática do trabalho. A partir desta época percebe-se a necessidade de uma melhor iluminação para o homem, criando então um novo ramo especializado de conhecimento.

2.2 O mercado da iluminação no Brasil

Segundo (Iluminação eficiente-ELETROBRÁS, PROCEL e Parceiros, 2013) uma pesquisa de mercado realizada pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX), a indústria brasileira de iluminação era composta de 604 empresas, sendo que 58% estavam localizadas na grande São Paulo e 17% no interior do estado. As demais indústrias (25%) estavam distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia e Pernambuco. Ainda segundo a ABILUX, o setor de iluminação faturou R\$ 3,7 bilhões em 2011, sendo que as importações representaram 80% do que era consumido no País.

2.3 O uso da energia elétrica no setor hospitalar brasileiro

Com o aumento da população do país e a busca pela melhoria do sistema de saúde com a compra de novos equipamentos e construção de novos edifícios, o setor hospitalar brasileiro vem tendo um aumento crescente da demanda de energia.

A demanda de energia em hospitais é caracterizada pela necessidade de alta confiabilidade e qualidade do fornecimento, dado que grande parte dos equipamentos é destinada à manutenção da vida do paciente. De modo geral, hospitais apresentam alta intensidade energética e em sua maioria pouco eficiente. Outro fato observado é que muitos deles resolvem seu aumento de demanda de energia com ações pontuais, sem um planejamento ou estudo que busque uma solução definitiva (SILVEIRA, 2008).

Essas medidas improvisadas podem colocar em risco as instalações de todo o estabelecimento, e por consequência geram a utilização ineficiente da energia. Algumas medidas simples como a limpeza periódica de luminárias e lâmpadas, regulagem dos termostatos e temporizadores, podem possibilitar uma redução de energia e uma melhora dos ganhos com iluminação.

A redução do consumo de energia não gera apenas benefícios para a instituição de saúde, a sociedade também é beneficiada com a redução da emissão de gases poluentes ao meio ambiente proveniente dessa geração de energia desperdiçada. Os clientes dos hospitais, já que os custos de energia são computados diretamente nos preços dos atendimentos hospitalares e as concessionárias de energia que podem protelar investimentos com geração, transmissão e distribuição (SILVEIRA, 2008).

O desperdício de energia e de outros insumos é uma doença que tem de ser extirpada. É inadmissível investir em expansão do sistema elétrico para suprir cargas mal geridas. A competitividade não é generosa com a ineficiência e com a má gestão de recursos.

O principal insumo energético utilizado em hospitais é a eletricidade, que representa 50%, quando o hospital conta com caldeira a vapor, podendo chegar a 100% do consumo de energia utilizada quando inexistente a mesma. A participação deste energético vem tendo um aumento nos últimos tempos, o que indica a substituição de outras fontes de energia como óleo combustível, gás liquefeito de petróleo, etc., por energia elétrica (VARGAS Jr,2006).

Conforme MOREIRA (2010), a iluminação é responsável por 20% do consumo de energia elétrica das instituições hospitalares brasileiras e pode chegar a um percentual de 50% nos países desenvolvidos. Ressalta ainda, que os países do hemisfério norte têm um potencial de conservação de economia em iluminação entre 20% a 40%.

SILVEIRA (2008) complementa ainda, que em instituições de saúde de pequeno porte, com capacidade de 50 a 150 leitos, podem ser encontradas as mais variadas situações de consumo, desde estabelecimentos que utilizam exclusivamente energia elétrica, até mesmo para aquecimento de água destinada a cocção ou para secagem de roupa na lavanderia, até os que geram calor em sistemas centralizados com consumo de gás em caldeiras. Nesses locais, a participação média da energia elétrica na matriz energética é de 76%.

A arquitetura e a situação do sistema elétrico da edificação exercem muita influência no consumo de energia elétrica, como materiais e cores dos ambientes, situação dos quadros de distribuição e aproveitamento da iluminação natural, são fatores essenciais para conservação de energia elétrica.

Segundo VARGAS Jr. (2006), o sistema de iluminação de hospitais de pequeno porte no Brasil tem um enorme potencial de conservação de energia. Ainda conforme VARGAS Jr. (2006), há uma grande dificuldade em se obter diagnósticos energéticos no setor hospitalar brasileiro, tanto quantitativamente quanto qualitativamente e que um aumento da qualidade e quantidade dessas informações tornaria possível a obtenção de resultados mais precisos.

2.4 Iluminação Artificial: Definições Técnicas

Segundo Costa, (2005) as grandezas básicas utilizadas em iluminação são regidas pelas leis da ótica energética e fotometria. A ótica energética é mais abrangente e atinge todo domínio da iluminação. Já a ótica fotométrica está ligada diretamente com o ato de ver. Ainda segundo Costa, (2005), das sete grandezas de base, três são fundamentais, (massa, comprimento e tempo) a estas se une uma outra que irá complementar o sistema de medidas, em luminotécnica a quarta unidade é a intensidade luminosa, expressa em candelas, sendo que as demais são derivadas. Assim o quadro fica completo à medida que se unem grandezas suplementares, de caráter geométrico: O ângulo plano (a unidade é o radiano [Rad] e o ângulo sólido ω tem como unidade o esferorradiano [Sr]).

2.4.1 Ângulo Sólido

É o ângulo espacial que tem seu vértice no centro da esfera, cuja área superficial é igual ao quadrado de seu raio, representado em detalhe na Figura 1, [IESNA-Lighting-Handbook].

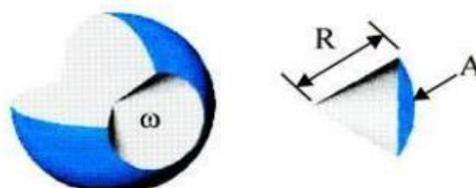


Figura 1: Detalhe para definição ângulo solido (Esferorradiano). Fonte: (IESNA, 2000).

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde:

A= área da superfície da esfera (m^2) = $4\pi R^2$

R= Raio do círculo (m)

ω = Ângulo solido (Sr)

2.4.2 Ângulo Plano

A partir de uma circunferência de centro O e raio R, com um arco de comprimento s e sendo α o ângulo central do arco, determina-se a medida do arco em radianos de acordo com a Figura 2 a seguir.

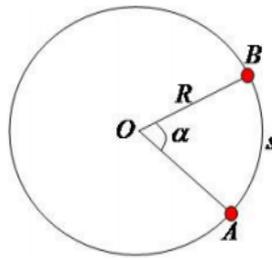


Figura 2: Detalhe do ângulo plano Fonte: (IESNA, 2000).

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde:

S = comprimento do arco (m)

R = raio do círculo (m)

α = ângulo plano (Rad)

2.4.3 Iluminância [E]

A iluminância é definida como sendo o limite da razão do fluxo luminoso $d\phi$, incidente num elemento de superfície que contém um ponto dado, para uma área dA deste elemento, quando esta área tende para zero. Em outras palavras, é o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área.

$$E = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta A} = \frac{d\phi}{dA} \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde:

$d\phi$ = fluxo luminoso (lm)

dA = área (m^2)

E = iluminância (lux)

Considerando ambientes de trabalho, a iluminância é definida como iluminância mínima no plano de trabalho, cujos valores recomendados são apresentados na NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013).

2.4.4 Iluminamento Horizontal

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano horizontal. Utilizando-se da lei dos cossenos, consegue-se obter a equação

do iluminamento horizontal. O iluminamento médio na superfície depende da relação entre a superfície (plana) considerada e a direção definida pela intensidade luminosa, função do cosseno do ângulo formado entre as normais das duas superfícies, em detalhes na Figura 3.

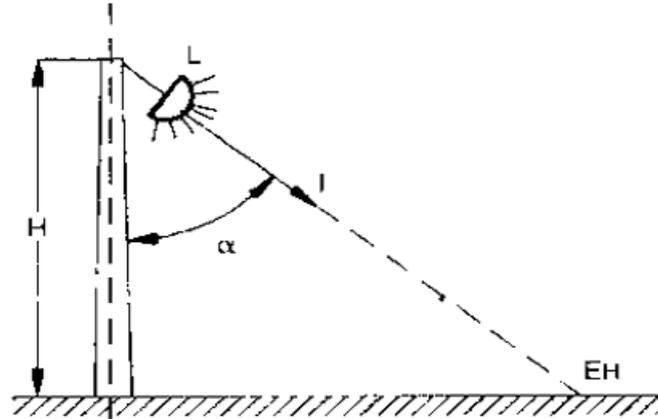


Figura 3: Definição Iluminamento Horizontal Fonte: (IESNA, 2000).

Onde:

- E_h - iluminamento horizontal, [lux];
- I - intensidade do fluxo luminoso, [cd];
- α - ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;
- H - altura vertical da luminária, [m]
- D - distância da luminária até o ponto a ser iluminado [m].

Dedução:

$$E_p = \frac{I(\alpha)}{D^2} = \frac{I(\alpha)}{\left(\frac{H}{\cos(\alpha)}\right)^2} = \frac{I(\alpha) * \cos^2(\alpha)}{H^2} \quad \text{Eq.(4)}$$

$$E_h = E_p * \cos(\alpha) \quad \text{Eq.(5)}$$

$$E_h = \frac{I(\alpha) * \cos^3(\alpha)}{H^2} \quad \text{Eq.(6)}$$

2.4.5 Iluminamento Vertical

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias num ponto do plano vertical, em detalhes na Figura 4.

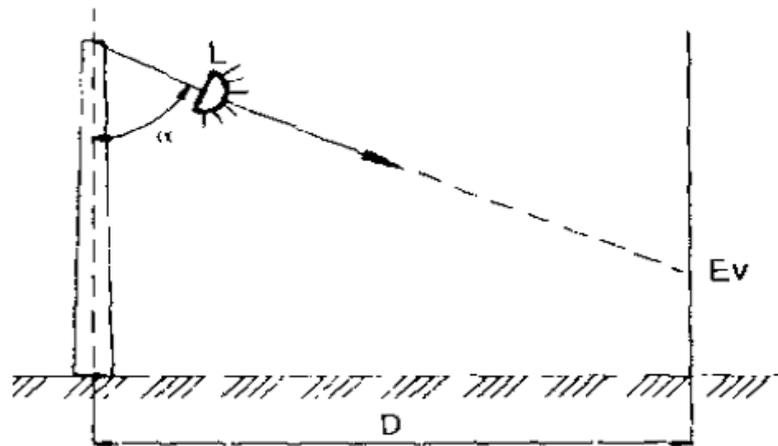


Figura 4: Definição iluminamento vertical Fonte: (IESNA, 2000).

Onde:

- E_v – iluminamento vertical, [lux];
- I – intensidade do fluxo luminoso, [cd];
- α – ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;
- D – distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, [m].

$$E_h = \frac{I(\alpha) * \cos^3(\alpha)}{H^2} \quad \text{Eq.(7)}$$

Os iluminamentos E_h e E_v variam na proporção inversa do quadrado da distância da fonte de luz ao ponto iluminado e variam na proporção direta da intensidade luminosa na direção do ponto iluminado. O iluminamento E_h varia na proporção direta do cosseno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal. O iluminamento E_v varia na proporção direta do seno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal. A intensidade do fluxo luminoso é obtida a partir das curvas de distribuição luminosa, também conhecidas como curvas isocandelas.

2.4.6 Fluxo Luminoso

Segundo (Costa, 2005) fluxo luminoso é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço e avaliada pelo olho humano. A

unidade é o lúmen [lm], e representa a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1 m² feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio, por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro. 1 candela emite uniformemente 12,56 lumens considerando um raio R de 1 m.

O fluxo luminoso é função da sensibilidade do olho humano, cuja faixa de percepção varia para o espectro de cores entre os comprimentos de onda de 3800 nm (cor violeta) a 780 nm (cor vermelha). Uma radiação monocromática de comprimento de onda igual a 555 nm e de 1 W, equivale a 683 lumens. Na prática, as fontes luminosas, não são monocromáticas e sua energia se distribui ao longo do espectro.

Conforme (Costa, 2005) uma definição mais rigorosa de fluxo luminoso é a de uma grandeza derivada do fluxo radiante e, pela avaliação da radiação, de acordo com a sua ação sobre o observador fotométrico padrão da Comissão Internacional de Iluminação (CIE).

2.4.7 Intensidade luminosa

Limite da relação entre o fluxo luminoso num ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tender para zero. Pode-se dizer que é a propagação da luz em uma dada direção dentro de um ângulo sólido unitário.

$$I = \frac{d\phi}{d\beta} \quad \text{Eq.(8)}$$

Onde:

ϕ = Fluxo luminoso

β = Ângulo Sólido

Intensidade luminosa é uma expressão da quantidade de luz irradiada num determinado sentido no interior. É calculada como a razão entre o fluxo luminoso ao elemento relevante para o ângulo sólido. A intensidade luminosa de uma lâmpada ou luminária não é igual em todas as direções. Grafando a intensidade luminosa em torno da lâmpada ou luminária, a distribuição da intensidade luminosa pode ser definida. Isto oferece uma descrição precisa das características fotométricas da lâmpada ou luminária. Distribuição de intensidade luminosa está geralmente representado na forma de um diagrama polar ou linear.

2.4.8 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \text{Eq.(9)}$$

Onde:

Φ = Eficiência luminosa (lm/W).

P= Potência consumida (W).

As lâmpadas se diferenciam entre si, não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. A Tabela 1 apresenta a eficiência luminosa de diferentes tecnologias de iluminação.

Tabela 1: Rendimento das fontes luminosas

Tipo	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	8 a 16
Halógena	15 a 25
Fluorescente Tubular	48 a 114
Fluorescente Compacta	44 a 82
Vapor de Mercúrio	46 a 96
Vapor de Sódio	26 a 150
LED	68 a 114

Fonte: Sales (2011).

Tratando-se de eficiência global de uma luminária, esta depende de muitos outros fatores, como:

- Conformidade da Luminária;
- Características materiais (opaco, alumínio alta-refletância);
- Grau de Reflexão;
- Altura do foco;
- Diâmetro da lâmpada (T8, T5).

A Figura 5 permite uma visualização do fluxo luminoso para cada tipo de conformidade, sendo que cada um deles possui uma característica única e conseqüentemente diferentes ângulos de abertura de suas curvas de distribuição luminosa (CDL).

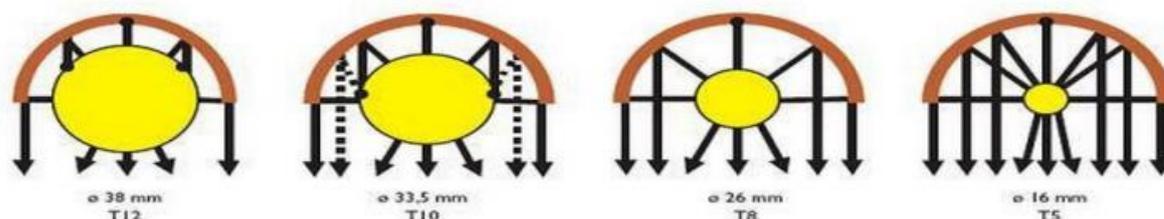


Figura 5: Modelo conformação em função do tipo de lâmpada – (PHILIPS, 2007)

Permite ainda, ter uma noção dos diferentes tipos de conformação em função dos diferentes tipos de lâmpadas que existem no mercado, pois cada modelo possui uma dimensão padrão diferente uma da outra, por exemplo, uma T8 possui diâmetro de 26mm, já uma T5 possui dimensão 16mm.

2.4.9 Curva de Distribuição Luminosa [CDL]

A curva de distribuição luminosa de uma lâmpada é a curva que representa em coordenadas polares, as intensidades luminosas nos planos transversal e longitudinal, normalmente fornecidas em candelas/1000 lúmens. Ou seja, é a demonstração por meio de curvas e a forma como a luminária distribui a luz.

Com esses dados é possível determinar qual a quantidade de luminárias necessárias para o ambiente, bem como, o alcance da luz em determinados ângulos. A Figura 6 apresenta um exemplo de uma curva de distribuição luminosa e a Figura 7 apresenta os esquemas de distribuição luminosa.

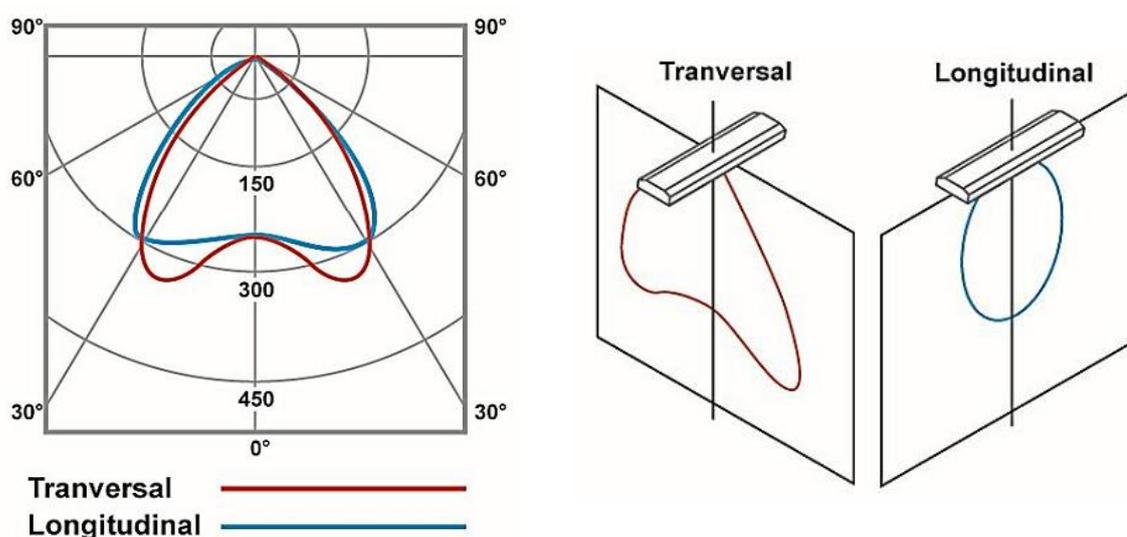


Figura 6: Exemplo de curva de distribuição luminosa. Fonte: (ECP, 2013)²

² ECP: Fabricante de Luminárias

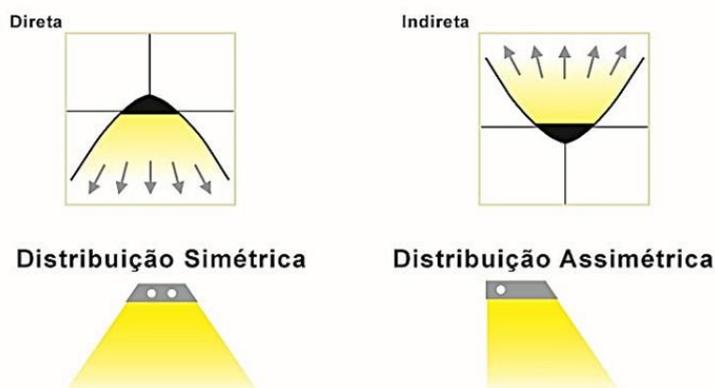


Figura 7: Esquemas de Distribuição Luminosa de uma luminária. Fonte: (ECP 2013)

Os refletores têm como função distribuir e direcionar o fluxo luminoso. Os refletores de alto rendimento possuem baixa taxa de absorção de luz, o que significa que o material aplicado na superfície do refletor deve refletir mais luz do que absorvê-la. Quanto mais puro for o alumínio, mais luz ele reflete e menos luz ele absorve, aproveitando melhor a luz emitida pela lâmpada. Alguns exemplos de refletores podem ser vistos na Figura 8 e Figura 9, a qual demonstra a influência do refletor em uma luminária, onde a luminária sem refletor deixa o fluxo luminoso se espalhar se pendendo em todas as direções. Já a luminária com refletor direciona o fluxo luminoso para baixo, fazendo com que a curva luminosa aumente longitudinalmente.

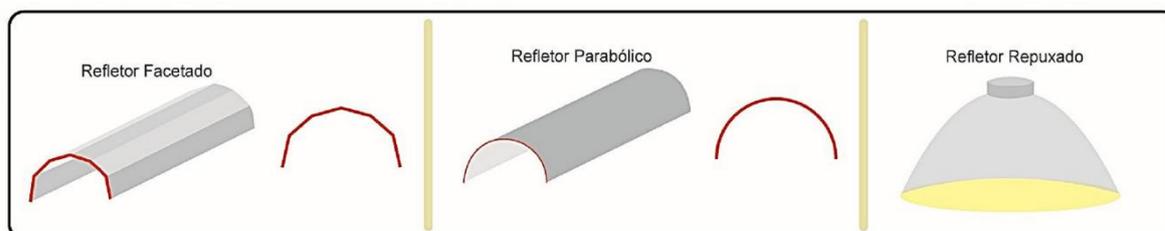


Figura 8: Refletores de alta pureza e refletância. Fonte: (ECP 2013)

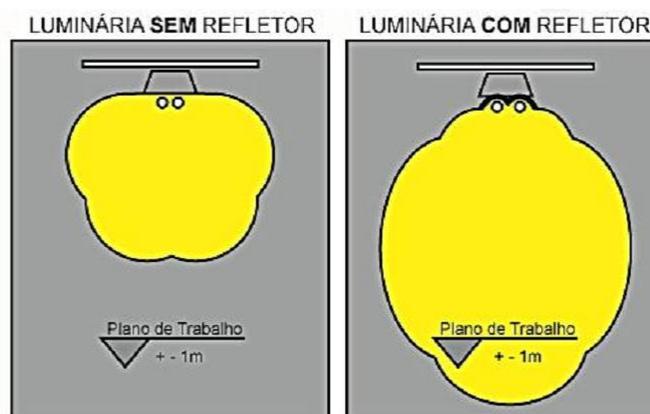


Figura 9: Exemplo de aplicação de refletores de alta refletância. Fonte: (ECP, 2013)

2.4.10 Índice de Reprodução de Cores [IRC]

O índice de reprodução de cores é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cores de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio entre as cores, a Figura 10 abaixo mostra diferentes IRC (PROCEL Educação, 2006).



Figura 10: Exemplos de diferentes IRC. Fonte: OSRAM(2012)

2.5 Eficiência do Sistema de Iluminação

Conservação de energia elétrica não é racionamento, isto é, não implica em perda de qualidade de vida, conforto, segurança e não compromete a produtividade ou desempenho da produção. A Conservação de energia elétrica permite que o serviço seja realizado utilizando uma quantidade menor de energia elétrica (JANNUZZI G. e SWISHER, 1997).

A redução da potência instalada dos ambientes não pode ocorrer de forma a comprometer a satisfação e o conforto dos usuários nos ambientes, embora, segundo VEITH e HINE (1993), é difícil se propor um cenário luminoso onde se consiga uma satisfação maior que 50% dos ocupantes.

Segundo IESNA (1995), a carga térmica gerada pelo sistema de iluminação artificial, genericamente, corresponde por 15 a 20% da carga total do sistema de condicionamento ambiental de um edifício. Nesse sentido um estudo feito por WESTPHAL (1998) na FIESC após um *retrofit* no sistema de iluminação, apontou uma redução de cerca de 14% em refrigeração, como consequência da diminuição da carga térmica na iluminação, resultando em 3% de economia na conta total de energia.

2.5.1 Eficiência das Luminárias

É a razão do fluxo luminoso emitido por uma luminária, em relação à soma dos fluxos individuais das lâmpadas, normalmente indicado pelos fabricantes de luminárias. Dependendo do ambiente que está luminária for instalada ela propagará com maior facilidade o fluxo luminoso, esta condição é dada pela eficiência do recinto.

As luminárias que são largamente usadas nas instalações existentes pelo mundo, absorvem cerca de 50% do fluxo luminoso produzido pelas lâmpadas, enquanto que as luminárias eficientes atualmente fabricadas absorvem menos de 20% (IEA, 2006).

Segundo MARTINI (2008) a combinação de lâmpada fluorescente, luminária e reator utilizado na década de 70 geravam uma densidade de potência média instalada na ordem de 25W/m². Nos dias de hoje, com equipamentos eficientes estes valores não passam de 11W/m² em escritórios e 3W/m² nos demais recintos de um edifício.

Em ambientes hospitalares a escolha da luminária adequada para se utilizar não leva em conta apenas ser eficiente, é preciso se ela possua uma eficácia contra a retenção de bactérias, resíduos e poeira.

2.5.2 Eficiência dos Reatores

Os reatores convencionais disponíveis hoje no mercado possuem menos da metade das perdas dos reatores de vinte a trinta anos atrás, devido ao uso de componentes ativos que possuem perdas bem menores que os passivos.

Os reatores mais utilizados no Brasil são os reatores eletromagnéticos duplos de 40W, os quais possuem uma perda média de 22W, contra os 7W dos eletrônicos (ROIZENBLATT, 2003). Outra desvantagem dos reatores eletromagnéticos é o rendimento médio, fica entre 70 a 80%, enquanto os eletrônicos possuem um rendimento médio entre 85% e 99%. O rendimento máximo de um reator eletrônico é atingido quando opera à uma frequência próxima de 30kHz (MOREIRA, 2007).

2.5.3 Eficiência das Lâmpadas

2.5.3.1 Fluorescentes Tubulares (T5)

Em nível mundial, as lâmpadas fluorescentes correspondem a 20% em relação ao

volume total de lâmpadas vendidas e consomem cerca de 45% da eletricidade despendida pelo segmento de iluminação (IEA, 2006).

Embora as lâmpadas fluorescentes possuam um rendimento muito superior às incandescentes, em média, convertem em luz cerca de 23% da energia consumida, o restante é convertido em calor e perdas no reator (MOREIRA, 2007).

Uma forma de se melhorar a eficiência das lâmpadas fluorescentes é a redução do seu diâmetro, onde a eficiência dos pó de cobertura utilizados nessa lâmpada de diâmetro reduzido é melhor, além de ser um obstáculo menor para a passagem de luz das luminárias. As lâmpadas fluorescentes T10 e T12 utilizam pó-comuns, já as lâmpadas T8, cerca de 50% são fluorescentes tri-fósforo, enquanto que 100% das lâmpadas T5 o são (ROIZENBLATT, 2003).

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de descarga que utiliza vapor de mercúrio em baixa pressão. Neste tipo de lâmpada é necessária a utilização de reatores que são responsáveis pela estabilização da corrente que passa pelo interior da lâmpada, aquecendo o filamento e provocando a vaporização do mercúrio, produzindo a emissão de raio ultravioleta, que ao passarem pelas paredes da lâmpada pintadas em pó de fósforo ocorre à transformação em luz visível.

As lâmpadas fluorescentes tubulares apresentam uma alta eficiência energética e longa durabilidade, garantindo sua aplicação nas mais diversas áreas, inclusive em hospitais. Desde o desenvolvimento das primeiras lâmpadas bulbo T12 que utilizavam um revestimento de pó comum, até a mais nova com a otimização do sistema com a lâmpada bulbo T5 que utiliza o pó tri fósforo que resulta em uma melhor reprodução de cor, as lâmpadas fluorescentes tubulares sempre foram referências para sistemas de iluminação eficientes.

2.5.3.2 Diodos Emissores de Luz

Os diodos emissores de luz são conhecidos por sua sigla LED, e como seu próprio nome diz, são diodos que emitem luz.

A pouco tempo os LEDs eram utilizados apenas para decoração e iluminação de pequenos detalhes ou em equipamentos eletrônicos, porém com a evolução do fluxo luminoso emitido pelos LEDs, estes vêm se tornando uma tendência comercial e seus preços vem diminuindo gradativamente, fazendo com que aos poucos a população

venha adquirindo essa nova tecnologia em substituição as mais convencionais.

A evolução dos LEDs só foi possível graças a descoberta de Shuji Nakamura que descobriu o LED branco, desde então vem-se melhorando a qualidade de luz que é emitida e a eficiência luminosa dos LEDs, possibilitando que estes possam ser utilizados para a iluminação de ambientes (FREITAS, 2010).

Segundo Freitas (2010), os LEDs possuem uma série de vantagens, tais como: isento de raios ultravioletas e infravermelhos, pode emitir cores específicas, emissão de luz direcional, grande resistência mecânica, acionamento rápido, resistente a acionamentos cíclicos, controle versátil, tamanho compacto o que possibilita ser instalado em placas de circuito impresso, elevada vida útil, em torno de 50 mil horas e baixa toxicidade por não possuir mercúrio. E também apresentam algumas desvantagens como: elevado custo de investimento inicial, dependência da temperatura e sensibilidade à tensão de alimentação.

Tais dificuldades vêm melhorando ao longo dos últimos anos fazendo com que os LEDs já sejam uma realidade no mercado a preços competitivos com os outros sistemas de iluminação convencionais.

Segundo Gonçalves (2011), as diferenças entre uma lâmpada fluorescente e uma lâmpada LED, é que esta não possui um gás que é o responsável pela emissão de luz, funcionam sob baixa tensão e em corrente contínua.

Apesar dos LEDs possuírem alta eficiência energética, convertendo boa parte da energia elétrica em energia luminosa, a pequena parte que não é aproveitada é convertida em forma de calor, o que se não for dissipado de forma correta eleva os LEDs a uma temperatura acima dos níveis aceitáveis, diminuindo a vida útil dos componentes. Embora se tenha vários estudos para solucionar este problema na dissipação do calor, este ainda é um grande desafio para os fabricantes.

2.5.4 Eficiência do Recinto

A eficiência do recinto é fornecida por tabelas dos fabricantes das luminárias, os quais levam em conta os coeficientes de reflexão do teto, paredes e piso. Tais valores ainda levam em conta a curva de distribuição luminosa e o índice do recinto.

2.6 Normas

Recentemente entrou em vigor a norma NBR ISO/CIE 8995-1 que trata da iluminação interior de ambientes de trabalho, substituindo a antiga norma a NBR 5413.

A NBR ISO/CIE 8995-1 é uma norma brasileira específica que determina todos os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. A nova norma cancela e substituí as normas ABNT NBR 5413 (Iluminância de interiores), com última revisão em 1992 e a ABNT NBR 5382 (Iluminação de ambientes de trabalho), que havia sido inicialmente publicada em 1977 e que se encontrava sem atualização há 28 anos.

A Comissão de Estudo CE-03:034.04 (Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (COBEI) foi a responsável pela elaboração dessa norma e contou com a participação de mais de 60 profissionais representantes da ABILUX, CIE Brasil, ELETROBRÁS, PROCEL, INMETRO, FUNDACENTRO, empresas projetistas de sistemas de iluminação, fabricantes de equipamentos de iluminação, laboratórios de ensaios e concessionárias de energia.

No Brasil, atualmente existem inúmeras associações relacionadas à iluminação, sendo as principais:

- Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação (ABILU MI);
- Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX);
- Centros de Demonstração da PUCRS, CEPEL, UFSC e ELETROBRÁS ELETROSUL;
- Centro de Excelência em Iluminação Pública (Labelo/PUCRS);
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO);

Segundo (Kawasaki, 2013) coordenadora da revisão da norma NBR 5413, os principais acréscimos incluídos na nova norma 8995:1 são relacionados principalmente com a adoção da iluminação de tarefas e de aspectos quantitativos, como o controle do ofuscamento e a reprodução de cor mínima para realização de atividades. Um ponto importante da norma é a questão da zona de trabalho, sendo criada uma área denominada entorno imediato à área da tarefa, exemplo representado pela Figura 11, sendo no mínimo 0,5m de largura ao redor da zona. Outro ponto importante é a questão da iluminação natural e da manutenção do sistema de iluminação.

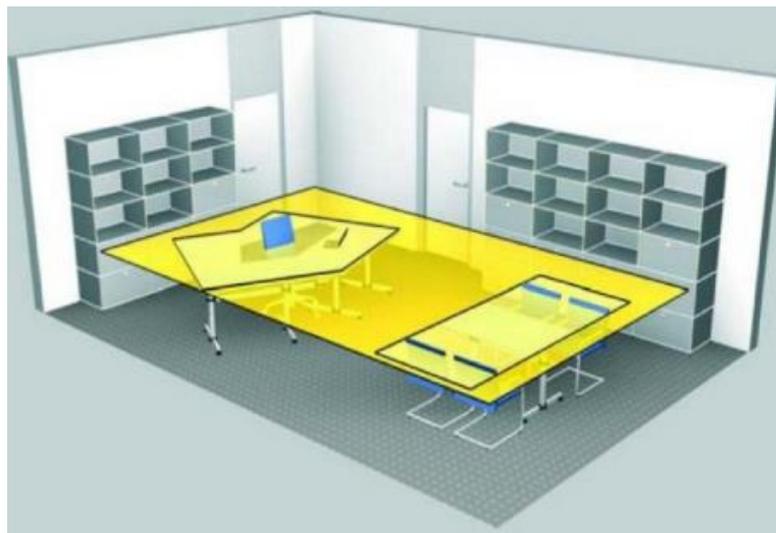


Figura 11: Zona de tarefa - Entorno imediato- Fonte: NBR 8995:1

Segundo (NBR 8995:1, 2013) a adoção da iluminância no entorno imediato pode ser mais baixa que a iluminância da área da tarefa. A iluminância, porém deve ser alterada gradualmente. Esta área deve ser iluminada o mais uniformemente possível, não devendo ser menor que 0,7 e 0,5 no entorno imediato. Tratando de ofuscamento, a Norma define 3 tipos, ofuscamento desconfortável, ofuscamento inabilitador e ofuscamento refletido. Para evitar o ofuscamento, a norma define ângulos de corte mínimo (ângulo medido a partir do plano horizontal, abaixo da lâmpada). Para reduzir o ofuscamento desconfortável e restritivo é utilizado o método UGR (Unified Glare Rating) que estabelece valores índices limite para o ofuscamento UGRL (Limiting Unified Glare Rating) para as atividades e tarefas, diferente do método de Sollner. Neste, o brilho é avaliado de luminância de uma única luminária, calculando o ofuscamento da instalação como um todo, através de uma posição padrão do observador. A Norma faz recomendações pontuais, tratando do aspecto de cor para algumas atividades, como T_{cp} (Temperatura de cor correlata) mínima de 4000K para salas de atendimento médico, área de trabalho de precisão. Referente à reprodução de cor (R_a), recomenda-se que as lâmpadas com R_a menor que 80 não sejam utilizadas em interiores.

2.7 Iluminação em Ambientes Hospitalares

Em ambientes hospitalares a luz é de fundamental importância para a realização dos diagnósticos corretos e também promover um ambiente com maior conforto luminoso, diminuindo o estresse da equipe de saúde e acelerando o tempo de

recuperação de pacientes.

Segundo CEI (2001), a iluminação de ambientes hospitalares deve ter dois objetivos principais: garantir condições ótimas para o desenvolvimento das atividades; e contribuir para uma atmosfera em que os pacientes da equipe de saúde se sintam confortáveis.

Ainda segundo CEI (2001), a implementação de um sistema de iluminação de qualidade elevada nos espaços hospitalares deve promover uma boa uniformidade da distribuição da luz e em quantidade suficiente para executar a tarefa. Deve haver um controle de ofuscamento eficiente e uma boa reprodução de cores, pois a mesma ajuda a realizar diagnósticos mais corretos. Em ambientes hospitalares é recomendada a utilização de lâmpadas fluorescentes com Temperatura da Cor Correlata (TCC) da ordem de 4000K e IRC superior a 80.

Para usuários de ambientes hospitalares, é necessário que a redução de contraste entre os ambientes não seja superior a 1:5, pois eles provocam a diminuição da visão.

Para o projeto de um sistema de iluminação eficiente às lâmpadas devem possuir uma eficiência superior a 90 lm/W e as luminárias devem possuir rendimento maior de 75%.

Conforme CEI (2001) e IESNA (1995), tetos das enfermarias com reflexão superior a 75%, paredes com refletância entre 60 e 80%, pisos entre 20 e 40% e mobiliário entre 40 e 60%, produzem padrões adequados para um projeto luminotécnico eficiente e confortável.

Os níveis recomendados de iluminância em enfermarias são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Iluminâncias Recomendadas para Enfermarias e Quartos Particulares

Entidade	Iluminância [lux]
Philips (1981)	100 a 200
IESNA (1995)	50 a 100
CEI (2001)	100
ES (2002)	100
ABNT (1992)	100 a 200
ABNT (2013)	100 - 300 ³

Fonte: Adaptado de MOREIRA (2010)

³ Iluminância ao nível do piso e no leito.

A NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013) prevê ainda uma iluminação de corredores de 200 lux ao nível do piso durante o dia e 50 lux durante a noite. Já a iluminação de exames de pacientes a norma prevê de 500 a 1000 lux.

Em hospitais a diversos tipos de ambientes, tais como laboratórios, cozinhas, refeitórios, salas de espera, sala de reuniões, entre outros. Nesses ambientes os níveis de iluminação seguem as mesmas normas gerais de edificações comuns.

Existem poucos trabalhos que analisam o potencial de conservação de energia em instituições de saúde, entretanto, o potencial de conservação destes locais é muito promissor, uma vez que, a obsolescência que se observa nos equipamentos e nas instalações de muitas instituições, aliada aos maus hábitos de uso da eletricidade, vislumbram uma condição otimista sobre a viabilidade econômica de se implantar *retrofit* em sistemas de iluminação nas mais diversas instituições hospitalares.

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

A metodologia a ser proposta compreende a atual situação da entidade com relação à quantidade e qualidade dos diversos ambientes. Compreende também a avaliação dos usos finais frente à demanda e ao consumo total do estabelecimento e avaliação da possibilidade de se implementar um retrofit, em função da economia de energia resultante com o uso de equipamentos eficientes.

O objetivo geral deste trabalho é comparar sistemas de iluminação que utilizem lâmpadas fluorescentes tubulares(T5) e sistemas que utilizam LED, e determinar qual sistema apresenta a melhor relação custo benefício para cada região ou setor da instituição hospital.

3.2. Objetivo específico

Contribuir com os gestores ajudando-os em suas decisões empresariais, que apesar de vir acontecendo com maior frequência nos últimos anos, há ainda de se empregar uma maior velocidade a sua ampliação.

Produzir indicadores que possam ajudar a identificar os principais pontos

ineficientes de um sistema e a melhor solução possível para cada ambiente.

Avaliar a implementação de um programa de gestão de eficiência energética sobre a iluminação hospitalar.

4. METODOLOGIA

A metodologia a ser desenvolvida inicia-se realizando uma visita ao hospital, de modo a expor para a diretoria da instituição os principais benefícios da eficiência energética e os objetivos deste trabalho. Havendo interesse por parte da instituição, inicia-se a coleta de dados preliminar, de forma a se consolidar a obsolescência do sistema de iluminação e a necessidade de um *retrofit*.

Constatado a ineficiência dos sistemas de iluminação, inicia-se a determinação do consumo atual do sistema de iluminação, de maneira a se quantificar sua relevância em face do consumo total do estabelecimento.

Paralelamente à determinação do consumo, deve ser feito o levantamento dos níveis de iluminamento dos ambientes do sistema atual de iluminação. Os dados coletados deverão evidenciar a ineficiência do sistema atual e que conseqüentemente, permitirá a determinação do potencial de conservação de energia.

A determinação do uso final do sistema de iluminação é de fundamental para os cálculos de viabilidade econômica do investimento, pois possibilitará desagregar da conta de energia, aquela parte relativa aos gastos com iluminação.

Verificando-se a necessidade de se implantar um sistema eficiente de iluminação, deve-se iniciar o novo projeto luminotécnico, buscando a adequação de todo o sistema as normas vigentes e deste modo, proporcionando um ambiente melhor para a realização dos trabalhos e um maior conforto para os pacientes.

4.1 Conceitos Básicos da Iluminação Adequada

Antes de se iniciar os cálculos luminotécnicos devem ser definidos os equipamentos a serem utilizados para o *retrofit* do sistema de iluminação. Tratando de ambientes luminosos, a prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa. É necessário que as tarefas sejam realizadas com facilidade e conforto. Para isso além de seguir à risca a Norma NBR8995 que aborda tais níveis de iluminação para ambientes interiores, levou-se em consideração inúmeras questões para garantir que o projeto assegure o

conforto luminoso para os ambientes de saúde, sendo as principais:

- Distribuição uniforme da iluminação;
- Ofuscamento;
- Direcionalidade da luz;
- Reprodução de cor.

Segundo a NBR 8995-1 a distribuição da iluminação no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, o qual afeta a visibilidade da tarefa. Uma iluminação balanceada permite uma melhora na acuidade visual (Nitidez), uma maior sensibilidade ao contraste. Uma iluminação excessiva causa desconforto visual, podendo levar ao ofuscamento. É muito importante limitar o ofuscamento (desconfortável e restritor) para prevenir erros, fadiga e acidentes, se os limites referentes ao ofuscamento desconfortável forem atendidos, o ofuscamento restritor geralmente não será um problema. Para proteção contra ofuscamento, para fontes de luz artificial, o ângulo de corte mínimo para proteção da visualização direta do ponto de luz não pode ser menor que os estabelecidos pela Tabela 3:

Tabela 3: Iluminância x Ângulo de corte mínimo

Luminância da Lâmpada (kcd/m²)	Ângulo de Corte
1 a 20	10°
20 a 50	20°
50 a 500	30°
≥ 500	40°

Fonte: NBR 8995-1

O ofuscamento desconfortável de um ambiente a ser iluminado deve ser determinado pelo método tabular do índice de ofuscamento unificado (UGR) da CIE pela seguinte equação:

$$UGR = 8 * \text{Log} \left(\frac{0,25}{L_b} * \sum \frac{L^2 * \omega}{P^2} \right) \quad \text{Eq.(10)}$$

Onde:

L_b = É a luminância de fundo (cd/m²).

L = É a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador.

P = É o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

$\Omega = \acute{E}$ o ângulo s33lido da parte luminosa junto ao olho do observador.

Desta maneira, todos os valores encontrados para UGR devem respeitar os limites estabelecidos pela se337o 5 da NBR 8995-1, sendo estes baseados na posi337o padr33o do observador, validada pelo m33todo tabular UGR com raz33o 1:1 da rela33o entre espa33amento e altura.

A NBR 8995-1 trata da reprodu33o de cores (R_a) como um 33ndice geral de reprodu33o de cor, antigamente conhecido por IRC no Brasil e CRI internacionalmente. 33 primordial para um bom desempenho visual e para sensa33o de conforto/bem estar que as cores do ambiente, dos objetos e da pele humana sejam reproduzidas natural e corretamente. As cores para seguran33a de acordo com a ISO 3864 devem ser reconhec33veis e claramente discrimin33veis.

O valor m33ximo para R_a 33 100 (reprodu33o perfeita das cores). Estes diminuem gradualmente com a redu33o da qualidade de reprodu33o de cor. Desta maneira, todos os valores encontrados para R_a devem respeitar os limites m33nimos estabelecidos pela se337o 5 da NBR 8995-1, devendo estes estarem acima do m33nimo que 33 80 para ambientes interiores, onde pessoas trabalham ou permane33am por longos per33odos.

Todos os valores de ilumin33ncias especificados pela Norma s33o valores de ilumin33ncias mantidas e proporcionam a seguran33a visual no trabalho e as necessidades do desempenho visual exigido para cada tipo de ambiente. A ilumin33ncia m33dia para cada tarefa n33o depende mais da idade e condi33o33es da instala33o. Os valores s33o validados para condi33o visual normal e s33o levados em considera33o os seguintes fatores:

- Requisitos para tarefa visual;
- Seguran33a;
- Aspectos psicofisiol33gicos (conforto visual/ bem estar);
- Economia;
- Experi33ncia pr33tica;

A norma NBR 8995-1 trata a quest33o da ilumin33ncia no entorno imediato relacionada 33 ilumin33ncia da 33rea de tarefa e prop33em que aja um balanceamento entre ambas no campo de vis33o. Isso porque as mudan33as dr33sticas na ilumin33ncia ao redor da 33rea de tarefa acarretam desconforto visual e esfor33o visual estressante.

A norma estabelece valores mínimos para o entorno imediato, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Iluminância da tarefa x Entorno imediato

Iluminância da Tarefa (lux)	Iluminância do Entorno Imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área da tarefa

Fonte: NBR 8995-1

Concluído o projeto luminotécnico e estimado o potencial de conservação de energia, inicia-se a elaboração da análise econômica do projeto. Onde devem ser levantados os custos dos equipamentos, despesas com intervenções na infraestrutura e reposicionamento das luminárias, custos da realização do diagnóstico energético, entre outros. Do outro lado, devem ser calculados os benefícios do investimento com os valores de conservação de energia e redução de demanda de ponta.

Com todos os custos e benefícios levantados é possível estimar a relação custo benefício do investimento e deste modo, proceder com a avaliação final da implantação do *retrofit* na instituição.

A metodologia descrita é baseada em GHISI e LAMBERTS (1998), e será detalhada ao longo deste trabalho, utilizando para o estudo de caso da instituição.

4.2 Sistema de Iluminação

A estimativa do consumo do sistema de iluminação dos ambientes é feita conhecendo a potência instalada e o tempo em que a mesma permanece ligada ao longo do ano. A potência instalada é calculada pelo somatório da potência de todas as luminárias existentes, adicionado às perdas dos reatores, quando presentes. O tempo em que o sistema de iluminação fica ligado deve ser determinado com entrevistas com os gestores e funcionários de cada ambiente.

A determinação da potência demandada, do consumo e do nível de iluminação do ambiente é fundamental para a determinação do diagnóstico energético correto. Para o levantamento das informações e posterior análise do diagnóstico, foram utilizados alguns equipamentos como, uma trena eletrônica Trena Digital Eletrônica Laser Impac IP-050 e um luxímetro Mastech MS6610 digital luxímetro 0-50000 lux.

4.3 Avaliação dos Níveis Atuais de Iluminância Artificial

De modo a se avaliar as condições atuais do sistema de iluminação da instituição e desta forma estabelecer indicadores que permitam a comparação antes e depois do retrofit, devem ser medidos os níveis atuais de iluminação.

A determinação dos níveis adequados para as necessidades visuais de cada ambiente deve ser feita de acordo com a NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013). Posteriormente os valores levantados devem ser comparados com os índices recomendados na norma.

Para que as medições sejam as mais precisas e não sofram influência da luz natural, é de fundamental importância que os levantamentos sejam realizados no período da noite.

4.4 Metodologia de Medição

As medições devem ser realizadas conforme a norma da NBR 15215-4 (ABNT, 2005) para ambientes irregulares.

Em ambientes irregulares como ocorre na maioria dos ambientes da instituição, objetivo de estudo de caso, a quantidade mínima de pontos a serem medidos deve obedecer à Tabela 5.

Tabela 5: Quantidade Mínima de Pontos a Serem Medidos.

K	Número de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K \leq 2$	16
$2 \leq K \leq 3$	25
$K > 3$	36

Fonte: NBR 15215-4 (ABNT, 2005)

Para a determinação da iluminância média do recinto é considerada a média ponderada dos pontos. O valor de K é o índice de ambiente, calculado através da equação:

$$K = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)} \quad \text{Eq.(11)}$$

Onde:

K = índice do ambiente;

C = maior comprimento do ambiente [m];

L = maior largura do ambiente [m];

H_m = distância vertical entre a superfície de trabalho e a luminária [m].

A Figura 12 demonstra os pontos de medição um ambiente hipotético.

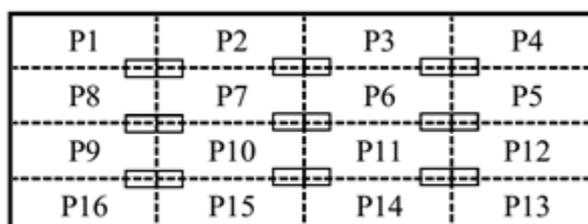


Figura 12: Método da NBR 15215-4: Pontos de Medição de Iluminância de um Ambiente Hipotético. Fonte: (MOREIRA, 2007)

4.5 Elaboração do Projeto Luminotécnico

Após a avaliação da condição atual do sistema de iluminação e da necessidade de realização do *retrofit*, deve ser elaborado um novo projeto luminotécnico da edificação. Para a realização do cálculo luminotécnico foi utilizada o software DIALUX, o qual possui diversos catálogos de luminárias disponibilizados pelos fabricantes e é considerado uma referência no cálculo de iluminância (TEIXEIRA 2003).

O projeto luminotécnico é a elaboração da reengenharia do sistema de iluminação, empregando equipamentos eficientes e adequando a iluminação aos níveis ocupacionais ideais para o ambiente.

4.6 Estudo de Viabilidade Econômica do Sistema Proposto para o *Retrofit*

Este trabalho tem por finalidade o estudo da viabilidade da realização de um *retrofit* do sistema de iluminação, comparando dois sistemas eficientes, fluorescentes tubulares T5 *versus* LED. De modo, a proporcionar a adoção de um sistema que proporcione a menor densidade de potência instalada, sem deixar de lado o conforto visual dos usuários.

A viabilidade da implementação da ação passa por um estudo econômico seguindo uma tendência forte do mercado por reduzir ao máximo o consumo de energia e em contrapartida o aumento do conforto luminoso dos pacientes e da equipe de saúde.

Estudos econômicos são importantes também como uma medida para integrar

dossiês para o pleito de programas de eficiência energética, junto à concessionária de energia elétrica local, em alocação de recursos disponíveis para realização de medidas de conservação de energia elétrica, conforme estabelece a lei 12.212 de 20 de janeiro de 2010 que prevê a aplicação de no mínimo 0,5% de todo o faturamento anual das concessionárias em programas de combate ao desperdício de energia.

Para se tornar a realização de um retrofit viável é necessário que os custos de manutenção do sistema sejam reduzidos ao máximo, de forma que a economia propiciada amortize o investimento inicial com o projeto.

A metodologia utilizada para o estudo de viabilidade econômica é descrita no PROPEE da ANEEL, e podem ser vistas no ANEXO I.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o levantamento do sistema de iluminação e dos hábitos de consumo, foi constatado além do sistema ineficiente que a instituição possui diversos tipos de lâmpadas e luminárias, o que acarreta em dificuldades para a manutenção e necessita de um amplo estoque de equipamentos. A seguir as Figura 13 e Figura 14 apresentam fotos da situação atual de iluminação da instituição:



Figura 13: Exemplo de luminárias do sistema atual.



Figura 14: Exemplo de luminárias do sistema atual.

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos no levantamento do atual sistema de iluminação.

Tabela 6: Situação Atual da Iluminação da Instituição

Sistema	Horas Ano	Quantidade
Incandescente 40W	4380	2
LFC 15W	2190	36
LFC 15W	4380	8
LFC 25W	2190	18
LFC 25W	4380	10
LFC 25W	6570	4
LFT 1x40W	2190	7
LFT 1x40W	4380	1
LFT 1x40W	8760	5
LFT 1x110W	4380	4
LFT 1x110W	8760	3
LFT 2x20W	4380	3
LFT 2x32W	4380	1
LFT 2x32W	8760	4
LFT 2x40W	2190	42
LFT 2x40W	4380	23
LFT 2x40W	6570	19
LFT 2x40W	8760	10
LFT 2x110W	2190	1
LFT 2x110W	4380	2
LFT 2x110W	8760	9
Total Geral		212

5.1 Medição dos Atuais Níveis de Iluminação

Os parâmetros levantados são apresentados na Tabela 7, onde 'Er' é a iluminância recomendada pela NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013) e 'Em' é a iluminância medida no ambiente.

Tabela 7: Análise da iluminação artificial dos ambientes.

Er [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Em [lux]	Relação Em/Er
100	0,5<K≤1,0	Depósito Almoxarifado 1	79	79,00%
	0,5<K≤1,0	Depósito Almoxarifado 2	91	91,00%
	0,5<K≤1,0	Depósito Almoxarifado 3	100	+0,00%
	0,5<K≤1,0	Depósito Almoxarifado 4	102	+2,00%
	0,5<K≤1,0	Depósito Almoxarifado 5	103	+3,00%
	0,5<K≤1,0	Depósito Farmácia Externa 1	127	+27,0%
	0,5<K≤1,0	Depósito Farmácia Externa 2	123	+23,0%
	0,5<K≤1,0	Arquivos Faturamento	138	+38,0%

Tabela 7: Análise da iluminação artificial dos ambientes.

Er [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Em [lux]	Relação Em/Er
200	0,5<K≤1,0	Corredor Atendimento	412	+106,0%
	0,5<K≤1,0	Circulação Dependentes Químicos	372	+86,00%
	1,0<K≤1,5	Hall da Entrada Antiga	47	23,50%
	1,0<K≤1,5	Saguão Principal	301	+50,50%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 4	53	26,50%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 5	57	28,50%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 7	114	57,00%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 8	67	33,50%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 11	73	36,50%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 12	114	57,00%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 13	116	58,00%
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 14	113	56,50%
	0,5<K≤1,0	Corredor Tomografia	267	+33,5%
	0,5<K≤1,0	Higienização	151	75,50%
	0,5<K≤1,0	Corredor Farmácia Externa	384	+92,0%
	0,5<K≤1,0	Rouparia	705	+252%
	1,0<K≤1,5	Raio - X 1	214	+7,00%
	0,5<K≤1,0	Raio - X 2	110	55,00%
	0,5<K≤1,0	Corredor Raio – X	108	54,00%
	0,5<K≤1,0	Corredor Ambulatório 1	212	+6,00%
	0,5<K≤1,0	Arquivos Recepção	280	+40,00%
	1,0<K≤1,5	Depósito de Alimentos	123	61,50%
	1,0<K≤1,5	Refrigeradores	323	+61,50%
	0,5<K≤1,0	Depósito Farmácia Interna	216	+8,00%
	K>3,0	Entrada Ambulância	123	61,50%
	1,0<K≤1,5	Morgue	120	60,00%
300	0,5<K≤1,0	Recepção Geral	983	+227,7%
	1,0<K≤1,5	Lavanderia Área Suja	99	33,00%
	2,0< K≤3,0	Lavanderia Área Limpa	94	31,30%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 31	39	13,00%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos – 32	42	14,00%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos – 33	68	22,70%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos – 34	35	11,70%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos – 35	80	26,70%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos – 36	51	17,00%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 37	59	19,70%
	0,5<K≤1,0	Enfermarias Particular 1 leito - 9	104	34,70%
	0,5<K≤1,0	Enfermarias Particular 1 leito - 10	112	37,30%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 30	253	84,30%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 5 leitos - 41	48	16,00%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 21	46	15,30%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 22	88	29,30%
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Coletiva 2 leitos - 23	170	56,70%

Tabela 7: Análise da iluminação artificial dos ambientes.

Er [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Em [lux]	Relação Em/Er	
300	1,0<K≤1,5	Enfermaria Particular 1 leito - 24	79	26,30%	
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Particular 1 leito - 25	90	30,00%	
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Particular 1 leito - 26	133	44,30%	
	0,5<K≤1,0	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 1	314	+4,67%	
	0,5<K≤1,0	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 2	308	+2,67%	
	0,5<K≤1,0	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 3	299	99,67%	
	1,0<K≤1,5	Enfermaria Dependentes Químicos 3 leitos - 4	297	99,00%	
	1,0<K≤1,5	Observação Feminina 4 leitos	43	14,30%	
	0,5<K≤1,0	Observação Adolescente 4 leitos	53	17,70%	
	1,0<K≤1,5	Observação Pediatria 5 leitos	62	20,70%	
	1,0<K≤1,5	Observação Masculina 5 leitos	54	18,00%	
	0,5<K≤1,0	Escritório Raio-X	188	62,70%	
	1,0<K≤1,5	Tomografia	210	70,00%	
	0,5<K≤1,0	VDT Tomografia	296	98,70%	
	2,0<K≤3,0	Administração Cópias/Circulação	290	96,70%	
	1,0<K≤1,5	Depósito Materiais e Manutenção	415	+38,30%	
	0,5<K≤1,0	Acolhimento	447	+49,00%	
	1,0<K≤1,5	Análise de Laudos	285	95,00%	
	0,5<K≤1,0	Recepção Exames	400	+33,30%	
	0,5<K≤1,0	Mamografia	98	32,70%	
	1,0<K≤1,5	Recreação Dependentes Químicos	265	88,33%	
	1,0<K≤1,5	Chefe Enfermagem	95	31,70%	
	1,0<K≤1,5	Pequenos Procedimentos	125	41,67%	
	0,5<K≤1,0	Sala de Injeções	292	97,30%	
	0,5<K≤1,0	Recepção Farmácia Interna	120	40,00%	
	500	2,0<K<3,0	Cozinha	207	41,40%
		2,0<K≤3,0	Farmácia Externa	242	48,40%
		0,5<K≤1,0	Consultório Exames	65	13,00%
1,0<K≤1,5		Vredução de Fraturas	715	+43,00%	
1,0<K≤1,5		Psicóloga	387	96,75%	
1,0<K≤1,5		Direção	241	48,20%	
1,0<K≤1,5		Vice Direção	229	45,80%	
1,0<K≤1,5		Faturamento	751	+50,20%	
1,0<K≤1,5		Administração Farmácia	498	99,60%	
1,0<K≤1,5		Administração Geral	557	+11,40%	
1,0<K≤1,5		Posto de Enfermagem 2	343	68,60%	
0,5<K≤1,0		Escritório Exames	195	39,00%	
0,5<K≤1,0		Prescrição Médica	374	74,80%	
1,0<K≤1,5		Posto de Enfermagem 1	414	82,80%	
0,5<K≤1,0		Sala Farmacêutica	624	+24,80%	
1,0<K≤1,5		Sala de Reuniões	379	75,80%	
1,0<K≤1,5		Ambulatório 2	382	76,40%	
1,0<K≤1,5		Ambulatório 3	473	94,60%	
0,5<K≤1,0		Lactário	343	68,60%	

Tabela 7: Análise da iluminação artificial dos ambientes.

Er [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Em [lux]	Relação Em/Er
500	0,5<K≤1,0	Preparo e Envase	298	59,60%
	1,0<K≤1,5	Contabilidade	434	86,80%
	1,0<K≤1,5	Farmácia Interna	680	+36,00%
	0,5<K≤1,0	Nutricionista	224	44,80%
	0,5<K≤1,0	Compras/Recebimento	188	37,60%
750	0,5<K≤1,0	Sala de Reparos/Costura	97	12,90%
1000	1,0<K≤1,5	Ambulatório 1	770	77,00%

Como pode ser visto na Tabela 7, os níveis de iluminamento médio em diversos ambientes da instituição estão abaixo do recomendado pela NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013), requerendo uma adequação luminotécnica nestes locais, para isso iremos realizar um comparativo entre as principais tecnologias disponíveis no mercado atualmente, lâmpadas fluorescentes tubulares (T5), lâmpadas tubulares LED e luminárias LED de placas de circuito impresso.

5.2 Sistemas de Iluminação Propostos

Com o objetivo de encontrar a menor densidade de potência para atender as necessidades de iluminação do ambiente, foi realizado um novo projeto luminotécnico para cada ambiente, adotando para os cálculos os níveis de iluminação sugeridos pela norma NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013), norma da RDC 50 (ANVISA, 2002) e também foram levadas em consideração algumas recomendações feitas pela direção e demais funcionários da instituição. Dentre as principais recomendações feitas foi à utilização de luminárias fechadas com vidro temperado, nas enfermarias, ambulatórios, salas de observação, salas de exames, entre outros.

Devido a algumas enfermarias possuírem características físicas e ocupacionais parecidas, tais locais serão agrupados para a realização dos cálculos luminotécnicos.

Para a realização dos cálculos luminotécnicos foram inicialmente escolhidos equipamentos que tivessem um alto rendimento e uma boa relação custo benefício.

Para o sistema 1 proposto utilizou-se luminárias que possuíssem as melhores qualidades e informações técnicas necessárias para a realização do estudo. Como critério de seleção para a escolha da luminária admitiu-se que as mesmas devem possuir um rendimento mínimo de 75% para as luminárias herméticas, 75% para as

luminárias herméticas IP65 e 80% para as luminárias comerciais.

As lâmpadas fluorescentes tubulares são encontradas com grande facilidade e variedade no mercado. Sua seleção foi feita respeitando lâmpadas que tivessem seu rendimento luminoso elevado, acima de 100lm/W, IRC de no mínimo 80% e vida útil elevada de no mínimo 24.000 horas.

Os reatores escolhidos foram eletrônicos pois possuem as menores perdas, entretanto analisou-se outros aspectos como o fator de fluxo luminoso, fator de potência, tensão suportada, pela distorção harmônica e vida útil de 50.000 horas.

Para o sistema 2 proposto a escolha das lâmpadas tubulares de LED foram adotados alguns critérios como fator de potência acima de 0,92, tensão suportada, vida útil mínima de 30.000 horas e um rendimento luminoso acima de 90 lm/W.

Para o sistema 3 proposto a escolhida foi por uma luminária LED fechada com acrílico leitoso que atendesse aos mais diversos ambientes da instituição. A opção de utilizar uma luminária que tivessem acrílico leitosos foi em grande parte para o controle do ofuscamento, entretanto, atende-se também as normas que solicitam que em determinados ambientes empregue-se luminárias fechadas. Outros detalhes também foram observados como alto fator de potência, tensão suportada do driver, vida útil de no mínimo 50.000 horas e um rendimento luminoso maior que 80 lm/W.

Após definidas as características das luminárias, lâmpadas e reatores a serem utilizados para o estudo, foram efetuados os cálculos luminotécnicos com o software DIALUX para a determinação da quantidade de luminárias necessárias para a adequação dos níveis de luminosidade de cada ambiente.

Os novos fluxos luminosos de cada ambiente e sistema são apresentados na Tabela 8:

Tabela 8: Determinação da quantidade de luminárias em cada ambiente.

E_r [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Sistema 1 E_m Calculada [lux]	Sistema 2 E_m Calculada [lux]	Sistema 3 E_m Calculada [lux]
100	0,5<K≤1,0	Depósito Almojarifado 1	114	100	135
	0,5<K≤1,0	Depósito Almojarifado 2	131	111	141
	0,5<K≤1,0	Depósito Almojarifado 3	145	125	153
	0,5<K≤1,0	Depósito Almojarifado 4	148	122	150
	0,5<K≤1,0	Depósito Almojarifado 5	149	160	180
	0,5<K≤1,0	Depósito Farmácia Ext. 1	137	117	100
	0,5<K≤1,0	Depósito Farmácia Ext. 2	143	119	103
	0,5<K≤1,0	Arquivos Faturamento	118	100	140
200	0,5<K≤1,0	Corredor Atendimento	201	211	200
	0,5<K≤1,0	Circulação Dependentes Químicos	203	206	231
	1,0<K≤1,5	Hall da Entrada Antiga	204	248	239
	1,0<K≤1,5	Saguão Principal	269	235	201
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 4	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 5	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 7	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 8	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 11	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 12	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 13	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Quarto Particular 1 leito - 14	202	237	249
	0,5<K≤1,0	Corredor Tomografia	203	235	269
	0,5<K≤1,0	Higienização	244	211	295
	0,5<K≤1,0	Corredor Farmácia Externa	204	208	265
	0,5<K≤1,0	Rouparia	252	201	204
	1,0<K≤1,5	Raio-X 1	239	205	217

Tabela 8: Determinação da quantidade de luminárias em cada ambiente.

E_r [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Sistema 1 E_m Calculada [lux]	Sistema 2 E_m Calculada [lux]	Sistema 3 E_m Calculada [lux]
200	$0,5 < K \leq 1,0$	Raio-X 2	214	211	289
	$0,5 < K \leq 1,0$	Corredor Raio-X	217	201	215
	$0,5 < K \leq 1,0$	Corredor Ambulatório 1	240	214	200
	$0,5 < K \leq 1,0$	Arquivos Recepção	217	245	262
	$1,0 < K < 1,5$	Depósito de Alimentos	208	201	226
	$1,0 < K \leq 1,5$	Refrigeradores	205	219	200
	$0,5 < K \leq 1,0$	Depósito Farmácia Interna	236	210	314
	$K > 3,0$	Entrada Ambulância	238	213	202
	$1,0 < K \leq 1,5$	Morgue	211	215	201
300	$0,5 < K \leq 1,0$	Recepção Geral	312	312	320
	$1,0 < K \leq 1,5$	Lavanderia Área Suja	359	310	319
	$2,0 < K \leq 3,0$	Lavanderia Área Limpa	302	300	308
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 31	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 32	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 33	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 34	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 35	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 36	330	304	318
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 37	330	304	318
	$0,5 < K \leq 1,0$	Enfermaria Coletiva 1 leito - 9	334	347	350
	$0,5 < K \leq 1,0$	Enfermaria Coletiva 1 leito - 10	334	347	350
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 4 leitos - 30	361	304	346
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 5 leitos - 41	303	310	300
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 21	301	305	319
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 3 leitos - 22	301	305	319
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 2 leitos - 23	301	305	319

Tabela 8: Determinação da quantidade de luminárias em cada ambiente.

E_r [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Sistema 1 E_m Calculada [lux]	Sistema 2 E_m Calculada [lux]	Sistema 3 E_m Calculada [lux]
300	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 1 leito - 24	301	305	319
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 1 leito - 25	301	305	319
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Coletiva 1 leito - 26	301	305	319
	$0,5 < K \leq 1,0$	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 1	303	303	346
	$0,5 < K \leq 1,0$	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 2	303	303	346
	$0,5 < K \leq 1,0$	Enfermaria Dependentes Químicos 2 leitos - 3	303	303	346
	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria Dependentes Químicos 3 leitos - 4	401	365	300
	$1,0 < K \leq 1,5$	Quarto Observação Feminina 4 leitos	331	338	353
	$0,5 < K \leq 1,0$	Quarto Observação Adolescentes 4 leitos	390	397	303
	$1,0 < K \leq 1,5$	Quarto Observação Pediatria 5 leitos	402	300	302
	$1,0 < K \leq 1,5$	Quarto Observação Masculina 5 leitos	314	313	326
	$0,5 < K \leq 1,0$	Escritório Raio-X	322	346	425
	$1,0 < K \leq 1,5$	Tomografia	305	321	325
	$0,5 < K \leq 1,0$	VDT Tomografia	383	376	301
	$2,0 < K \leq 3,0$	Administração Cópias/Circulação	402	311	372
	$1,0 < K \leq 1,5$	Depósito Materiais e Manutenção	353	355	312
	$0,5 < K \leq 1,0$	Acolhimento	336	338	458
	$1,0 < K \leq 1,5$	Análise de Laudos	374	336	387
	$0,5 < K \leq 1,0$	Recepção Exames	357	404	421
	$0,5 < K \leq 1,0$	Mamografia	333	351	303
	$1,0 < K \leq 1,5$	Recreação Dependentes Químicos	385	301	304
	$1,0 < K \leq 1,5$	Chefe Enfermagem	319	320	353
	$1,0 < K \leq 1,5$	Pequenos Procedimentos	333	310	363
$0,5 < K \leq 1,0$	Sala de Injeções	366	360	300	
$0,5 < K \leq 1,0$	Recepção Farmácia Interna	306	312	389	

Tabela 8: Determinação da quantidade de luminárias em cada ambiente.

E_r [lux]	Índice de Ambiente	Ambiente	Sistema 1 E_m Calculada [lux]	Sistema 2 E_m Calculada [lux]	Sistema 3 E_m Calculada [lux]
500	$2,0 < K < 3,0$	Cozinha	512	531	501
	$2,0 < K \leq 3,0$	Farmácia Externa	599	524	568
	$0,5 < K \leq 1,0$	Consultório Exames	529	546	558
	$1,0 < K \leq 1,5$	Vredução de Fraturas	501	529	539
	$1,0 < K \leq 1,5$	Psicóloga	564	562	565
	$1,0 < K \leq 1,5$	Direção	510	512	501
	$1,0 < K \leq 1,5$	Vice Direção	512	515	502
	$1,0 < K \leq 1,5$	Faturamento	563	502	500
	$1,0 < K \leq 1,5$	Administração Farmácia	507	541	517
	$1,0 < K \leq 1,5$	Administração Geral	541	557	509
	$1,0 < K \leq 1,5$	Posto de Enfermagem 2	518	523	505
	$0,5 < K \leq 1,0$	Escritório Exames	567	530	517
	$0,5 < K \leq 1,0$	Prescrição Médica	501	502	522
	$1,0 < K \leq 1,5$	Posto de Enfermagem 1	528	501	502
	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala Farmacêutica	601	500	581
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de Reuniões	549	522	523
	$1,0 < K \leq 1,5$	Ambulatório 2	500	516	500
	$1,0 < K \leq 1,5$	Ambulatório 3	549	544	505
	$0,5 < K \leq 1,0$	Lactário	547	571	502
	$0,5 < K \leq 1,0$	Preparo e Envase	532	558	500
$1,0 < K \leq 1,5$	Contabilidade	538	508	503	
$1,0 < K \leq 1,5$	Farmácia Interna	502	522	501	
$0,5 < K \leq 1,0$	Nutricionista	569	591	503	
$0,5 < K \leq 1,0$	Compras/Recebimento	558	511	510	
750	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala de Reparos/Costura	771	790	750
1000	$1,0 < K \leq 1,5$	Ambulatório 1	1029	1022	1085

Com a realização do novo cálculo luminotécnico para a instituição pode-se melhorar os atuais níveis de iluminação e ainda reduzir a potência instalada.

A proposta de efficientização dos sistemas de iluminação anteriormente apresentadas contemplam melhorias e equipamentos, demanda e consumo de energia elétrica, e ainda, adequação do nível de iluminamento à norma correspondente. Entretanto, outros benefícios não mensuráveis podem ser observados, como a melhora do iluminamento, propiciando ambientes mais agradáveis e confortáveis, para pacientes e funcionários.

A Figura 15 apresenta o estudo luminotécnico realizado para uma enfermaria coletiva, onde os níveis de iluminamento médio recomendados para os leitos são de 300 lux e para a iluminação geral ao nível do piso é de 100 lux. Já a Figura 16 apresenta a representação de cores falsas da enfermaria anterior.

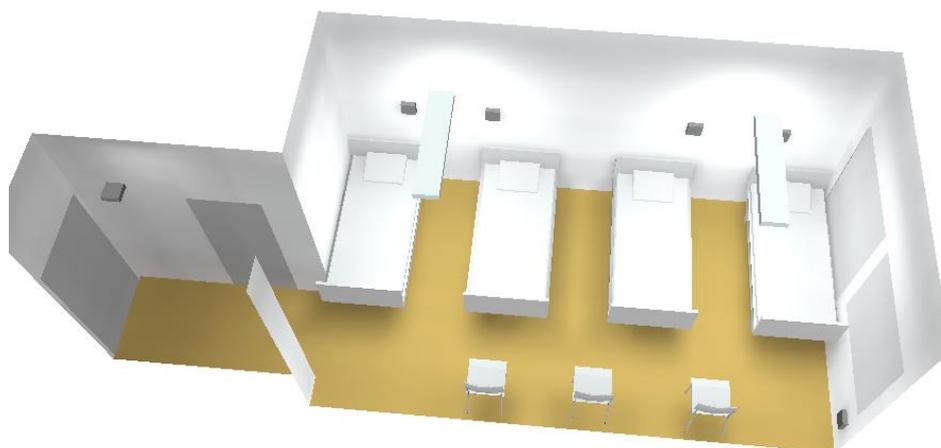


Figura 15: Cálculo Luminotécnico para uma Enfermaria Coletiva

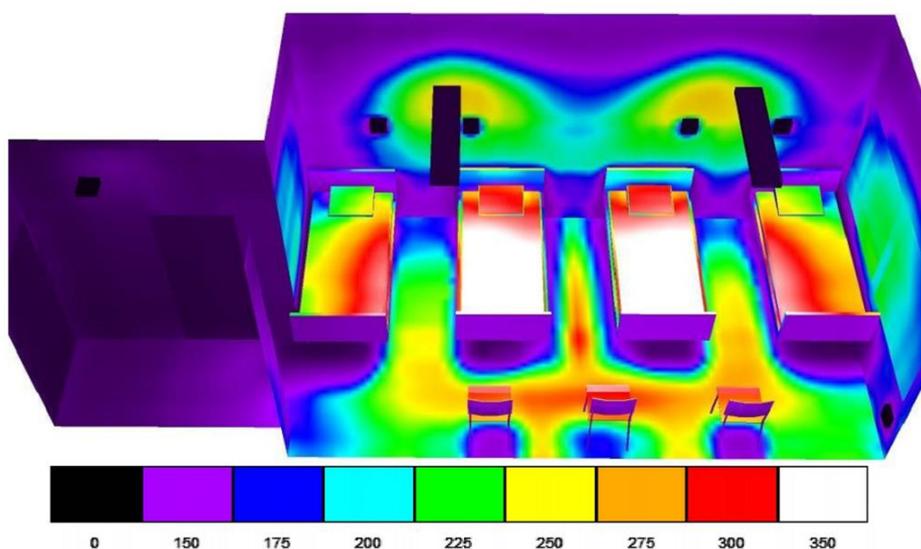


Figura 16: Representação de cores falsas da enfermaria coletiva.

A Figura 17 apresenta o levantamento dos atuais níveis de iluminância da enfermaria citada acima. A qual apresentou uma iluminância média de 80 lux, muito abaixo dos 300 lux exigidos pela NBR ISO/CIE8995:1 (ABNT, 2013). Com algumas luminárias cedidas por empresas do segmento na região foram realizados alguns testes em alguns ambientes da instituição, o qual pode ser visto na Figura 18.

62	83	95	51
76	97	102	70
75	103	101	81
67	70	82	70

Figura 17: Medição dos níveis atuais de iluminância de uma enfermaria coletiva.

260	422	388	270
354	560	550	358
366	580	578	366
344	567	563	343

Figura 18: Medição dos níveis de iluminância da enfermaria com o sistema proposto.

O sistema proposto apresentou inicialmente uma iluminância média de 429lux, aplicando-se o fator de manutenção 0,8 obtêm-se uma iluminância média de 343lux. Tais valores encontram-se muito próximos aos valores encontrados no cálculo luminotécnico realizado com o auxílio do software DIALUX, que apresentou uma iluminância média de 330 lux, para o sistema 1 com lâmpadas fluorescente tubulares. Deste modo é possível concluir que os cálculos realizados estão muitos próximos dos níveis reais.

A nova quantidade de luminárias para os sistemas propostos é apresentada na Tabela 9:

Tabela 9: Sistemas de Iluminação Propostos

Sistema 1	Qtde	Sistema 2	Qtde	Sistema 3	Qtde	Horas Ano
FT T5-1x28W	24	TLED-1x18W	36	LLED38,7W	24	2190
FT T5-1x28W	29	TLED-1x18W	46	LLED38,7W	29	4380
FT T5-1x28W	4	TLED-1x18W	5	LLED38,7W	2	6570
FT T5-1x28W	21	TLED-1x18W	42	LLED38,7W	21	8760
FT T5-2x28W	51	TLED-2x18W	77	LLED38,7W	69	2190
FT T5-2x28W	42	TLED-2x18W	62	LLED38,7W	55	4380
FT T5-2x28W	24	TLED-2x18W	36	LLED38,7W	26	6570
FT T5-2x28W	47	TLED-2x18W	67	LLED38,7W	62	8760
TOTAL	242		371		290	

Como pode ser visto na tabela acima, os sistemas de LED tiveram um incremento significativo no número de luminárias, em especial no sistema que se utilizou lâmpadas tubulares de LED onde a quantidade de luminárias aumentou mais de 50%. Entretanto como pode ser visto na Tabela 10 abaixo, a carga instalada diminuiu mesmo elevando o número de luminárias, e consequentemente possibilitando uma maior redução da demanda e do consumo.

Tabela 10: Comparação entre os sistemas de iluminação

Sistema	Nº de Luminárias	Potência Instalada [kW]
Fluorescente Tubular T5	242	13,48
Lâmpada Tubular LED	371	11,03
Luminária LED	290	11,22

Se analisarmos com maior cuidado veremos que o sistema 3 teve uma potência instalada maior que o sistema 2, isto deve-se ao um fator muito importante para a análise econômica da implementação de uma ação de eficiência energética, que é a Seção 8.2 do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), que descreve sobre o ajuste de linha de base. Esse ajuste deve ser feito em situações em que os índices estão abaixo dos valores normatizados pela ABNT. Nestes casos, considera-se pertinente um ajuste da linha de base inicial para trazer as condições do local às preconizadas pela norma.

O ajuste da linha de base deve ser feito supondo-se a utilização da nova tecnologia empregada na ação de eficiência energética (por exemplo, um local que apresenta

100 lux e a norma indica no mínimo 300 lux, a linha de base deve considerar a energia medida para atender aos 100 lux com a tecnologia existente somada à energia necessária para fornecer mais 200 lux com a nova tecnologia) (PROPEE, 2013).

Este ajuste da linha de base foi utilizado em alguns locais da instituição onde os níveis atuais de iluminância estão muito abaixo da norma, gerando uma diferença na demanda instalada do sistema de referência.

5.3 Estudo de Viabilidade Econômica do *Retrofit* da Solução Proposta

Para se determinar a viabilidade econômica da implantação do *retrofit* das soluções sugeridas, é necessária a determinação da energia economizada, da redução de demanda e dos custos envolvidos.

Para os cálculos de *retrofit*, de energia economizada e redução de demanda de ponta será utilizada a metodologia desenvolvida pela ANEEL para programas de eficiência energética, descrita no PROPEE. A seção 0 contém as principais equações necessárias para a realização do estudo, as quais podem ser vistas no ANEXO I deste trabalho.

Após a obtermos a relação custo benefício de cada sistema é necessário que se determine os custo de implementação da ação de eficiência energética, de modo a verificarmos quais dos sistemas propostos é o melhor economicamente viável.

Os custos envolvidos para a realização da ação na instituição, estudo de caso deste trabalho, são:

- Custo de realização dos estudos de diagnóstico energético e elaboração dos projetos e cálculos luminotécnicos;
- Custo de aquisição dos novos equipamentos de iluminação e materiais necessários para a instalação e adequação da infraestrutura; e,
- Custo de remoção dos equipamentos de iluminação ineficientes existentes e instalação dos novos equipamentos eficientes;
- Custos medição e verificação das ações realizadas;
- Custos com descarte correto dos equipamentos retirados;

Os custos relativos a cada sistema proposto é apresentado na Tabela 11:

Tabela 11: Custos de investimento para implementação dos sistemas propostos

Custos Projeto	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Diagnóstico Energético e Projeto	R\$ 5.000,00	R\$ 5000,00	R\$ 5.000,00
Aquisição dos equipamentos	R\$38.571,96	R\$ 68.892,08	R\$ 94.370,64
Instalação dos equipamentos	R\$17.500,00	R\$ 26.000,00	R\$ 20.000,00
Medição e Verificação	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Descarte correto dos materiais	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00
TOTAL	R\$62.721,96	R\$101.542,08	R\$121.020,64

Analisando os custos relativos a cada sistema percebe-se claramente que para a implementação de sistemas que utilizem LED é necessário um investimento consideravelmente mais elevado do que para o sistema de lâmpadas fluorescentes T5. Se compararmos o sistema de luminárias LED com T5 vemos que o investimento é praticamente o dobro, isto, obrigatoriamente requer que as reduções de consumo e demanda sejam maiores, de modo a viabilizar tais ações.

Com posse dos custos referentes à implementação da ação na instituição pode-se determinar os custos anualizados (CA_T) de cada sistema, conforme apresentam a Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 12: Custos Anualizados Totais para o Sistema 1

Equipamento	u (anos)	i	FRC	CA_n
Luminárias	15,0	8%	0,1168	R\$ 5.395,44
Reatores Eletrônicos	9,58	8%	0,1534	R\$ 1.985,55
Lâmpadas T5 28W	3,83	8%	0,3133	R\$ 1.127,44
Custo Anualizado Total (CA_T)				R\$ 8.508,43

Tabela 13: Custos Anualizados Totais para o Sistema 2

Equipamento	u (anos)	i	FRC	CA_n
Luminárias	15,0	8%	0,1168	R\$ 5086,31
Lâmpadas Tubulares LED	5,74	8%	0,2241	R\$12.999,01
Custo Anualizado Total (CA_T)				R\$18.085,32

Tabela 14: Custos Anualizados Totais para o Sistema 3

Equipamento	u (anos)	i	FRC	CA_n
Luminárias	15,0	8%	0,1168	R\$ 6.215,70
Driver	9,65	8%	0,1527	R\$ 2.821,30
Módulo LED	9,65	8%	0,1527	R\$ 7.531,19
Custo Anualizado Total (CA_T)				R\$16.568,19

Após calcularmos os custos anualizados para cada sistema, devemos calcular os

benefícios para que possamos enfim verificar qual sistema possui a melhor relação custo benefício. Para o cálculo do benefício anualizado são aplicadas as fórmulas do Custo Evitado de Demanda – CED e do Custo Evitado de Energia – CEE que encontramos no PROPEE. Deste modo, tem-se:

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde:

$$CEE = 184,87 \text{ R\$/MWh}^4$$

$$CED = 471,45 \text{ R\$/kW.ano}^4$$

A Tabela 15 apresenta a energia economizada, a redução de demanda de ponta e os benefícios para os sistemas propostos.

Tabela 15: Benefícios obtidos para cada sistema

Sistema	Redução de Demanda [kW]	Energia Economizada [kWh/ano]	Benefícios [R\$]
Sistema 1	6,03	37,89	R\$ 18.997,19
Sistema 2	7,17	45,34	R\$ 22.702,69
Sistema 3	7,47	47,36	R\$ 23.710,02

Com os dados de custo anualizado e benefício para cada sistema é possível determinar a relação custo benefício para cada sistema, bem como, tempo de retorno simples do investimento. Tais informações podem ser vistas na Tabela 16 abaixo:

Tabela 16: Relação Custo Benefício e Tempo de Retorno Simples

Sistema	Custo Anualizado (CA_T) [R\$]	Benefício Anualizado (BA_T) [R\$]	TRS [meses]	RCB
Sistema 1	R\$ 8.508,43	R\$ 18.997,19	40	0,45
Sistema 2	R\$18.085,32	R\$ 22.702,69	54	0,80
Sistema 3	R\$16.568,19	R\$ 23.710,02	61	0,70

Considerando os sistemas propostos pelos critérios da ANEEL, vemos que qualquer um dos projetos poderia ser implementado, uma vez que a ANEEL estabelece como viável qualquer projeto que apresente um RCB igual ou inferior a 0,8. Isto significa que cada real investido em projetos de eficiência energética, o

⁴ De acordo com o preço final da energia e da demanda paga pela instituição, incluindo impostos e encargos.

mesmo deve proporcionar uma economia de energia e/ou demanda evitada, cujo valor monetário seja de no mínimo R\$ 1,25.

6. OBSERVAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho consistiu em identificar as principais características de consumo de energia elétrica de uma instituição hospitalar de pequeno porte, com ênfase no sistema de iluminação, comparando um sistema que utilize lâmpadas fluorescentes tubulares T5, um sistema que utilize lâmpadas tubulares LED e um sistema que utilize luminárias de LED. Em consequência foi necessário estimar o consumo de energia elétrica, o potencial de conservação de energia elétrica, o investimento necessário para a implementação da ação de eficiência energética e o tempo médio de retorno, de modo a constatar qual dos sistemas é o que apresente a melhor relação custo benefício.

Os sistemas de iluminação não fazem parte da atividade-fim de uma instituição hospitalar, porém seria impraticável gerir um hospital sem a presença da iluminação, pois em muitos ambientes a luz natural não é suficiente, além de estar disponível em certos períodos do dia. Deste modo a qualidade desse sistema é muito importante para uma instituição hospitalar, e projetos de eficiência energética, além de proporcionarem a redução da fatura de energia, reduzindo os custos dos hospitais, proporcionam ainda uma melhora na qualidade da iluminação.

Analisando as informações obtidas, podemos verificar que embora os preços dos LEDs venham caindo gradativamente nos últimos anos, ele ainda apresenta um custo muito elevado em relação a outros sistemas mais convencionais, sendo a melhor opção de investimento o sistema 1 que utiliza lâmpadas fluorescentes tubulares, o qual apresentou a menor RCB.

Os incentivos da ANEEL, disponibilizando recursos para serem investidos em programas de eficiência energética, mostram-se uma política válida para a renovação de equipamentos de iluminação gerando grandes economias de energia elétrica, tanto para o cliente quanto para a própria geração, uma vez que, os sistemas de iluminação representam uma parcela significativa da demanda total de energia do sistema elétrico nacional.

Deste modo, é possível afirmar que projetos que contemplem a efficientização

em todos os setores da economia do país, contribuem para o desenvolvimento do setor energético, evitando o desperdício de energia elétrica e postergam investimentos na geração, transmissão e distribuição do setor elétrico nacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR 15215-4. “Iluminação natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.” 2005.
- [2] ABNT NBR ISO/CIE8995:1. “Iluminação de Ambientes de Trabalho.” 21 de abril de 2013.
- [3] ANVISA RDC 50, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. “Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.” 21 de fevereiro de 2002.
- [4] CEI, - COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN. “Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria.” Madrid, 2001.
- [5] COSTA, G.J.C. “Iluminação econômica: cálculo e avaliação.” p.576. EDIPUCRS, Porto Alegre, 2005.
- [6] ECP. “Caderno de Orientação Técnica - Luminárias de Alto Rendimento.” 2013. <http://www.ecp.com.br/> (acesso em 6 de setembro de 2013).
- [7] FREITAS, Luciana. *A era dos LEDs*. Revista Lumière, 2010.
- [8] GELLER, H.S. “Governo não prioriza a eficiência energética.” *Folha de São Paulo*, São Paulo. 27 de Maio de 2007. www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi2605200727.htm (acesso em 23 de Junho de 2013).
- [9] GHISI, E., e R. LAMBERTS. *Influência das Características Reflexivas da Luminária e da Refletância das Paredes na Potência Instalada em Sistemas de Iluminação*. ENTAC, Santa Catarina, 1998.
- [10] GONÇALVES, Rui S. de S. Eficiência energética na parte comum dos edifícios coletivos. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência

Energética) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2011.

[11] IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Light's Labor Lost*. Fact Sheet Paris, France, 2006.

[12] IESNA, ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. *Lighting Handbook*. Reference & Application. 8th. edition. New York, 1995.

[13] IESNA (2000), "The IESNA Lighting Handbook", 9ª ed, IESNA.

[14] JANNUZZI G. e SWISHER J. "Planejamento integrado de recursos energéticos." p.251. Campinas, 1997.

[15] LAMBERTS, R., e F. WESTPHA. *Energy efficiency in building in Brazil - Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação na Construção (CIB)*. Florianópolis, 2000.

[16] KAWASAKI, J. I. Revisão da ABNT NBR 5413. <http://www.osetoreletrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/891-revisao-da-abnt-nbr-5413-e-encaminhada-a-consulta-publica.html> (acesso em 5 de setembro de 2014).

[17] MARTINI, J.L. *Infraestrutura para centros comerciais*. Revista Lumière, São Paulo, 2008.

[18] MME, Ministério de Minas e Energia. "Portaria Interministerial N° 1.007." 31 de dezembro de 2010. http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Portaria_Interministerial_nx_1007_2010.pdf (acesso em 03 de setembro de 2014).

[19] MOREIRA, J.F.C. *Método para Retrofit em Sistemas de Iluminação de Hospitais Públicos: Estudo de Caso no Hospital Público Regional de Betim*. Florianópolis, 2010.

[20] MOREIRA, J.R. "Iluminação e conservação de energia." Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2007.

[21] OSRAM. "Catálogo Gerais." 2013. http://www.osram.com.br/osram_br/ferramentas-e-servicos/servicos/downloads/index.jsp (acesso em 4 de setembro de 2013).

- [22] —. “Manual do Curso Iluminação, Conceitos e Projetos.” 2012. http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Catalogo_Geral_2012/index.html (acesso em 04 de Julho de 2013).
- [23] PENA, S. “Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração.” PROCEL EPP, RJ, 2002 .
- [24] PHILIPS (2007), “Guia de Iluminação”. Acesso a 22 de Julho de 2010, em: www.luz.PHILIPS.com.br/archives/guide_iluminacaoleve.pdf
- [25] PHILIPS. “Catálogo de Produtos.” 2013. <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/lampadas/41334/cat/> (acesso em 4 de setembro de 2013).
- [26] PROCEL. “Conservação de Energia Elétrica, Eficiência Energética em Instalações e Equipamento.” PROCEL - Eletrobrás/EFEI, 2001.
- [27] PROCEL Educação. “Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.” Itajubá, 2006.
- [28] PROCEL. “Manual de eficiência energética em prédios públicos.” 2003.
- [29] PROCEL, "Avaliação do mercado de eficiência energética do brasil - pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005 -classe comercial – alta tensão relatório setorial: hospitais / clínicas," 2006.
- [30] PROPEE ANEEL. “ Procedimentos do Programa de Eficiência Energética.” 2013.
- [31] ROIZENBLATT, I. *Contribuição para uma iluminação eficiente*. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.
- [32] SALES, R. P. "LED, o novo paradigma da iluminação pública." Curitiba, 2011.
- [33] SILVEIRA, A. H. da. “Avaliação do potencial de conservação de energia no setor hospitalar da região su do Brasil.” Porto Alegre, 2008.
- [34] SOUZA, Roberta V. G., Paula R. LEITE, e Carla P. S. SOARES. “Revista Lumière.” n. v.159. junho de 2011.
- [35] TEIXEIRA, W. “Arquivos fotométricos digitais.” São Paulo, 2003, p. 102-104.

[36] VARGAS Jr, Raunilo H. “Análise do potencial de conservação de energia elétrica em hospitais públicos de pequeno porte no Brasil: Sistemas de iluminação e ar condicionado do tipo Janela.” Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p.218.

[37] VEITH, J.A., e D.W. HINE. *End users knowledge, beliefs, and preferences, for lighting*. Journal for Interior Design, 1993.

[38] WESTPHAL, F. S., E. GHISI, e R. LAMBERTS. “ Simulação energética do edifício sede da FIESC: estudo de retrofit no sistema de iluminação. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído.” Florianópolis, Santa Catarina: ENTAC, 1998.

ANEXO I

Fórmulas para Cálculo da Viabilidade Econômica seguindo a metodologia da ANEEL

- **Determinação da Energia Consumida, Demanda Média na Ponta, Energia Economizada e Redução de Demanda de Ponta**

$$Pa_1 = \frac{pa_1 \times qa_1}{1.000}$$

$$Pp_1 = \frac{pa_1 \times qp_1}{1.000}$$

$$FCPa_1 = \frac{Da_1}{Pa_1}$$

$$FCPp_1 = \frac{Dp_1}{Pp_1}$$

$$Ea_1 = \frac{Pa_1 \times ha_1}{1.000}$$

$$Ep_1 = \frac{Pp_1 \times hp_1}{1.000}$$

$$Ea = \sum Ea_i$$

$$Ep = \sum Ep_i$$

$$Da = \sum Da_i$$

$$Dp = \sum Dp_i$$

$$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$$

$$RDP = \sum RDP$$

$$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$$

$$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$$

$$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$$

$$EE = \sum EE_i$$

$$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_2}$$

$$EE\% = \frac{EE}{Ea}$$

$$EE = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times ha_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times hp_i) \right] \times 10^{-6} \quad (\text{MWh/ano})$$

$$RDP = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times FCPa_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times FCPp_i) \right] \times 10^{-3} \quad (\text{kW})$$

Onde:

Pa_i = Potência Instalada Sistema i atual [kW];

Ea_i = Energia Consumida no Sistema i atual [MWh/ano];

Da_i = Demanda Média na Ponta do Sistema i atual [kW];

EE = Energia Economizada [MWh/ano];

- qa_i = número de lâmpadas no Sistema i atual [unidade];
 pa_i = potência da lâmpada e reator no Sistema i atual [W];
 ha_i = tempo de funcionamento do Sistema i atual [h/ano];
 Pp_i = Potência Instalada Sistema i proposto [kW];
 Ep_i = Energia Consumida no Sistema i proposto [MWh/ano];
 Dp_i = Demanda Média na Ponta do Sistema i proposto [kW];
 qp_i = número de lâmpadas no Sistema i proposto [unidade];
 pp_i = potência da lâmpada e reator no Sistema i proposto [W];
 hp_i = tempo de funcionamento do Sistema i proposto [h/ano];
 RDP = Redução de Demanda na Ponta [kW];
 $FCPa_i$ = fator de coincidência na ponta no Sistema i atual [unidade];
 $FCPp_i$ = fator de coincidência na ponta no Sistema i proposto [unidade];

- **Custo Unitário Evitado de Demanda (CED)**

$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP) \quad [R\$/kW.ano]$$

- **Custo Unitário Evitado de Energia (CEE)**

$$CEE = \frac{(C_3 \times LE_1) + (C_4 \times LE_2) + (C_5 \times LE_3) + (C_6 \times LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad [R\$/MWh]$$

Onde:

LP - constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.

LE_1, LE_2, LE_3 e LE_4 - constantes de perdas de energia nos postos de ponta e fora de ponta para os períodos seco e úmido, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.

C_1 - custo unitário da demanda no horário de ponta [R\$/kW.mês];

C_2 - custo unitário da demanda fora do horário de ponta [R\$/kW.mês];

C_3 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];

C_4 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh];

C_5 - custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];

C_6 - custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh].

Os valores das constantes LP e LE foram calculados a partir dos postos horários da tarifa horosazonal azul (ótica do sistema) e horosazonal verde (ótica da instituição),

com base em uma série de Fatores de Carga (FC) e Fatores de Perdas (Fp), segundo a fórmula a seguir:

$$F_p = k \times FC + (1 - k) \times FC^2$$

Onde:

$$k = 0,15.$$

FC - Fator de carga médio da instituição dos últimos 12 meses = 0,45

- **Fator de Recuperação de Capital (FRC)**

$$FRC = \frac{(i \times (1 + i)^n)}{((1 + i)^n - 1)}$$

Onde:

i = taxa de juros = 8%

n = vida útil do equipamento

- **Custo Total Estimado em Equipamentos (CE_T)**

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad [R\$]$$

- **Custo Estimado Anualizado dos Equipamentos**

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad [R\$]$$

- **Benefícios Anualizados (BA_T)**

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$$

- **Relação Custo Benefício Estimada (RCB)**

$$RCB = \frac{\text{Custo Anualizado Total}}{\text{Benefício Anualizado}}$$