



II Simpósio de Engenharia de Produção

As Contribuições da Engenharia de Produção  
para a Indústria de Serviços

## **LÂMPADAS LED E FLUORESCENTES COMPACTAS T5: UM ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DA SUSTENTABILIDADE EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO**

Éder Wilian de Macedo Siqueira - eder.wilian@hotmail.com

### **Resumo**

A energia tem uma relação direta com a sustentabilidade, uma vez que, para gerá-la, distribuí-la e conservá-la, sempre existirão impactos ambientais, sociais e econômicos. Neste artigo será abordado o consumo industrial de energia elétrica, em especial, sistemas e alternativas de iluminação que contribuem para um consumo eficiente e sustentável de energia elétrica em centros de distribuição, como as lâmpadas de LED e lâmpadas fluorescentes compactas T5 (objetos do presente estudo). Para se verificar qual o tipo de sistema de iluminação melhor se adequa a um centro de distribuição, serão exibidos dois cases, sendo o primeiro um estudo comparativo entre lâmpadas LED e lâmpadas tradicionais e o segundo um estudo comparativo entre lâmpadas LED, fluorescente compacto T5 e de vapor metálico em um projeto de edificação de um centro de distribuição. Ao se analisar os dados fornecidos pelos dois cases, concluiu-se que avaliar a viabilidade técnica financeira de um projeto iluminotécnico depende do que se adota como base de referência, comparando as potencialidades energéticas de cada tipo de lâmpada, fazendo a correta seleção das luminárias e desenvolvendo um projeto luminotécnico que determine a quantidade ideal de luminárias para o empreendimento.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, sustentabilidade, iluminotécnica

### **Abstract**

The energy has a direct relationship to sustainability, since, to generate it, distribute it and save it, there will always be environmental, social and economic impacts. This article will address the industrial electricity consumption, in particular, systems and lighting alternatives that contribute to an efficient and sustainable energy consumption in distribution centers, such as the LED lamps and compact fluorescent lamps T5 (objects of the present study). To check which type of lighting system best suited to a distribution center, two cases appear, the first being a comparative study between LED lamps and traditional lamps and the second a



comparative study between LED lamps, compact fluorescent lamps T5 and metal vapor lamps on a distribution center's project building. When analyzing the data provided by the two cases, it was concluded that assess the financial viability of a technical Lighting design depends on what one takes as a baseline, comparing the energy potential of each type of lamp, making the correct selection of luminaries and developing a lighting design that determines the optimum amount of illumination for the venture.

**Keywords:** Energy efficiency, sustainability, illumination

## 1. Introdução

A crescente preocupação com o meio ambiente, em especial a possibilidade de alterações climáticas causadas pelo aquecimento global, dirige o foco para o modo como as atividades humanas e econômicas podem afetar negativamente a sustentabilidade do planeta em longo prazo.

A definição de sustentabilidade mais amplamente utilizada é originária da Comissão Brundtland das Nações Unidas, que a apresentou em 1987. Sustentabilidade, como a Comissão sugeriu, é “atender a necessidade do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras para satisfazer às suas próprias necessidades” (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1987 *apud* MARTIN, 2011). Essa definição pode ser reforçada pela adoção da ideia paralela do *triple bottom line*, que define os resultados de uma organização enfatizando a importância de se analisar o impacto das decisões de negócios sobre três áreas-chave: a) Meio ambiente (*planet*); b) Economia (*profit*); e c) Sociedade (*people*).

Essas três áreas estão inevitavelmente interligadas e se uma empresa pretende continuar viável e rentável, ela deve levar em consideração o impacto das atividades desenvolvidas pela área social e pela área econômica sobre a área ambiental. No contexto da logística verde, tendo em vista a filosofia do *triple bottom line*, segundo Martin (2011):

“a sustentabilidade está preocupada em garantir no longo prazo a viabilidade e a continuidade da empresa, bem como em contribuir para o futuro bem-estar da sociedade. De fato, (...) estratégias de cadeia de suprimentos que beneficiam o meio ambiente em geral também são suscetíveis de envolver a empresa em menos custos no longo prazo, como resultado da melhor utilização dos recursos” (p. 291).



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

Partindo destes pressupostos, neste artigo será abordado um dos fatores que causam grande impacto ambiental no meio ambiente: o consumo industrial de energia elétrica. Em especial, esta temática será tratada com o foco em sistemas e alternativas de iluminação que contribuem para um consumo eficiente e sustentável de energia elétrica em centros de distribuição, como as lâmpadas de LED e lâmpadas fluorescentes compactas T5. Para se verificar qual o tipo de sistema de iluminação melhor se adequa a um centro de distribuição, serão exibidos dois *cases*, sendo o primeiro um estudo comparativo entre lâmpadas LED e lâmpadas tradicionais e o segundo um estudo comparativo entre lâmpadas LED, fluorescente compacto T5 e de vapor metálico em um projeto de edificação de um centro de distribuição.

Dessa forma, é importante investigar novas maneiras de lidar com a energia para fins de produção (indústria), principalmente estudando novos usos e fontes. Visando objetivos financeiros e a realização do lucro operacional, as indústrias também devem lançar mão de processos de gerenciamento da energia bem estabelecidos, podendo obter, assim, competitividade dentro do mercado globalizado, em que a ordem é produzir mais com cada vez menos, ou seja, com menor externalidade possível.

## 2. Iluminação de edificações industriais

Segundo Villar e Júnior (2004, p. 195), “a iluminação dos edifícios industriais é um tema de extrema importância, pois colabora para elevar a produtividade do trabalhador e previne os riscos de acidentes e doenças do trabalho”. Dessa forma, compreende-se que um sistema de iluminação ineficiente e mal projetado pode reduzir a produtividade, comprometer a higiene no ambiente de trabalho e a segurança do operário.

Paralelamente à questão da adequação da iluminação ao ambiente e a atividade nele desempenhada, deve existir a preocupação com o controle do consumo de energia elétrica, pois um bom projeto de iluminação deve considerar a economia de energia a fim de utilizar este recurso racionalmente, gerando o mínimo de externalidades para o meio-ambiente e para a sociedade.



## 2.1. Planejamento da iluminação de edificações industriais

O projeto de iluminação inicia-se com o estabelecimento das condições luminotécnicas para todo o ambiente, particularizando as necessidades luminotécnicas dos postos de trabalho no que tange aos contrastes entre planos, ao tipo de serviço, a velocidade, ao tempo de execução, entre outros (VILLAR; JÚNIOR, 2004). Segundo Kalache et al. (2013), alguns fatores devem ser considerados no decorrer deste planejamento:

- a) Determinar o nível de iluminância do local de acordo com a atividade a ser desenvolvida no ambiente, orientando-se para tal pela norma brasileira NBR 5413/1992 – Iluminância de interiores. De acordo com a norma NBR 5413, a idade média dos ocupantes do recinto também influencia no valor da iluminância;
- b) A distribuição das iluminâncias nos planos iluminados deve ser razoavelmente uniforme. O fator de uniformidade (a relação entre a menor e a maior iluminância obtida no local) mínimo está relacionado com a utilização a ser feita do local;
- c) Deve-se evitar o ofuscamento, ou seja, a impressão de mal estar que o olho humano experimenta ao receber um fluxo luminoso de alta iluminância. Também, deve-se ser criterioso na escolha das fontes de luz para que o ambiente não fique com as cores deformadas e a decoração prejudicada pela iluminação artificial. Quando se deseja uma boa reprodução de cores, utiliza-se de fontes de elevado índice de reprodução de cores (IRC).

Depois de determinada a necessidade de iluminância para o ambiente, se procede ao planejamento do sistema de iluminação escolhendo-se as lâmpadas e luminárias mais adequadas; calculando a quantidade das mesmas, a sua disposição no ambiente e calculando a viabilidade economia do projeto.

### 2.1.1. Método dos lúmens

Para efeito de estudo comparativo entre os diferentes tipos de iluminação e sistemas de iluminação, será adotado o método dos lúmens para o cálculo de iluminação industrial. A esse respeito, Villar e Júnior (2004) ressaltam que faz-se necessário conhecer os seguintes procedimentos para aplicação deste método :



## II Simpósio de Engenharia de Produção

As Contribuições da Engenharia de Produção  
para a Indústria de Serviços

- a) Determinação do nível de iluminação do plano de trabalho: os níveis padrão de iluminação são estabelecidos pela NB-57 que constam na tabela 1, acompanhados dos valores adotados pelo IES (*Illuminating Engineering Society* – EUA) onde se leva em consideração o tipo de atividade e a estrutura da área ou edificação em que se desenvolve;

Tabela 1 – Iluminamentos por áreas de trabalho

Atividades		Iluminamentos Médios (lux)	
		ABNT	IES
Escritórios	a) Salas de trabalho	250	700
	b) Salas de desenho	400	1500
	c) Arquivos	200	300
Escolas	a) Salas de aula	200	700
	b) Salas de desenho	350	1000
	c) Refeitório	100	300
	d) Auditório	60	150
	e) Quadro negro	250	1500
Lojas	a) Circulação	100	300
	b) Área de exposição	350	1000
	c) Balcões, mostruários	600	2000
	d) Exposições de realce	1500	5000
	e) Depósito	80	300
Indústrias	a) Fabricação	300	500
	b) Depósito	60	200
	c) Inspeção comum	300	500
	d) Inspeção delicada	500	1000
	e) Empacotamento	80	500
	f) Montagem simples	200	500
	g) Montagem delicada	1000	5000
Hospitais	a) Enfermeira	160	300
	b) Sala de operações	450	1000
	c) Mesa de operações	6000	25000
	d) Laboratório	200	500



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

Bibliotecas	a) Iluminação geral	100	300
	b) Mesas	300	700
	c) Estantes	140	300
	d) Fichário	250	700

Fonte: Villar; Júnior (2004)

- b) Escolha da luminária: na escolha do tipo de luminária deve-se considerar a função do espaço e da instalação (comercial, habitacional, industrial etc.), fatores econômicos, de decoração, manutenção, entre outros. Esta escolha é feita utilizando-se os catálogos dos fabricantes, contendo o desenho de cada luminária, tipo de iluminação, modo de instalação, entre outros dados relevantes. É muito importante que além do nível de iluminância, da quantidade de luminárias e lâmpadas, se determine a potência da instalação para a avaliação dos custos com energia e, conseqüentemente, da viabilidade econômica do projeto;
- c) Determinação do índice do local: este índice relaciona a altura da luminária ao plano de trabalho entrando-se na tabela com o comprimento e largura do recinto e a altura (distância da luminária ao plano de trabalho);
- d) Determinação do coeficiente de utilização: o coeficiente de utilização relaciona o fluxo luminoso emitido pela luminária e o fluxo recebido no plano de trabalho, dependendo das dimensões do local, da cor do teto e das paredes e do desenho das luminárias;
- e) Determinação do fator de depreciação: este fator, também denominado fator de manutenção, relaciona o fluxo luminoso emitido ao fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma;
- f) Determinação do fluxo total e do número de luminárias: de posse dos dados obtidos anteriormente, pode-se determinar o fluxo luminoso total e o número de um determinado tipo de luminárias para um determinado nível de iluminamento;
- g) Distribuição das luminárias no recinto: conhecido o número de luminárias necessário, faz-se sua distribuição no plano horizontal obedecendo aos critérios da tabela 2, onde são fixadas as distâncias das luminárias entre si tomando por unidade as alturas de montagem;





Tabela 2 – Espaçamento máximo entre luminárias de iluminação direta

<u>Distância às paredes</u>	<u>Espaçamento entre luminárias</u>
1/3 da distância da luminária ao piso se as bancadas ou mesas estão contra as paredes	0,9 da distância da luminária ao piso
1/2 em outros casos	0,9 da distância da luminária ao piso

Fonte: Villar; Júnior (2004)

- h) Viabilidade econômica do projeto de iluminação: o estudo de viabilidade econômica do sistema de iluminação se faz avaliando os custos de investimento (soma dos custos de aquisição de todos os equipamentos do sistema de iluminação como transformadores, ignitores, reatores, fiação, lâmpadas e luminárias) e os custos operacionais do sistema (soma dos custos provenientes da manutenção com os custos de energia consumida). Os custos de manutenção são alcançados pela soma do custo de reposição de novas lâmpadas com o custo da mão-de-obra.

### 3. Iluminação natural *versus* Iluminação artificial

Atualmente, os projetos industriais fazem uma mescla de iluminação artificial (controlável) com a iluminação natural. Esta interação do ambiente interno de trabalho com o ambiente externo permite que o trabalhador não perca a noção do tempo, do clima e diminui o tempo de permanência de lâmpadas acesas. Este artigo dará ênfase apenas no que concerne à iluminação artificial.

#### 3.1. Iluminação artificial

Na iluminação das áreas de produção industrial costuma-se utilizar uma iluminação geral, direta, uniformemente distribuída e rebaixada (pendurada) do teto da edificação. De acordo com Villar e Júnior (2004, p. 203), os sistemas de iluminação artificial mais utilizados são:

- a) Iluminação geral: possui distribuição uniforme das luminárias e do seu iluminamento. Este sistema pode provocar uma indesejada monotonia no ambiente e não supre as necessidades específicas de cada posto de trabalho. Porém possui a grande vantagem



- da iluminação ser independente dos postos de trabalho, o que implica em maior flexibilidade;
- b) Iluminação direcional: quando o feixe de luz incide predominantemente em uma só direção, como resultante da distribuição e tipo das luminárias utilizadas;
  - c) Iluminação localizada: fornece iluminamento concentrado em locais específicos. Este sistema de iluminamento é indicado para atividades que exigem altos níveis de iluminância;
  - d) Iluminação local: nesse sistema as luminárias localizam-se próximas à tarefa visual. A aplicação da iluminação local é delimitada a pequenas áreas e por isso necessita de outro sistema simultâneo. É também indicado para atividades que exigem altos níveis de iluminância, bem como para pessoas com desempenho visual reduzido e quando o sistema projetado de iluminação não contemplar algumas áreas.

### 3.1.1. Fontes de iluminação artificial

As fontes de iluminação disponíveis são de dois tipos: as lâmpadas incandescentes e as lâmpadas de descarga. As lâmpadas incandescentes foram utilizadas durante muitos anos principalmente em iluminação de interiores, entretanto, este é um método pouco eficaz, uma vez que aproximadamente 90% da energia consumida é convertida em calor e apenas os 10% restantes são convertidos em luz visível. Existem no mercado diversos tipos de lâmpadas incandescentes, sendo as mais importantes, segundo Villar e Júnior (2004, p. 204):

- Incandescentes refletoras: fornecem uma luz mais dirigida do que as incandescentes comuns a partir de uma camada refletora na superfície interna do bulbo, o que resulta em um maior aproveitamento luminoso;
- Incandescentes halógenas: o que as difere das incandescentes comuns são gases halógenos que, quando entram em contato com a corrente térmica dentro da lâmpada, acrescem as seguintes vantagens – luz mais brilhante e uniforme, maior eficiência energética e maior vida útil;
- Lâmpadas halógenas dicróicas: as halógenas dicróicas possuem, além do que já foi mencionado acima, um espelho refletor multifacetado dicróico que transmite na direção





contrária ao foco (para traz da lâmpada) cerca de 60% da radiação infravermelha emitida.

Nas lâmpadas de descarga, a luz é produzida pela passagem da corrente elétrica em um gás ou mistura de gases contidos em um tubo. Isso acontece quando uma tensão elevada é aplicada em seus eletrodos, vencendo a rigidez dielétrica do meio gasoso, este processo é conhecido como ignição da lâmpada. Essas lâmpadas necessitam de uma voltagem mínima para a partida e depois de uma estabilização de corrente – o reator. Villar e Júnior (2004, p. 205-206) afirmam que a diversidade desse tipo de lâmpada no mercado também é vasta, a saber:

- Fluorescente tubular: utiliza pó fluorescente revestido a superfície interna do bulbo, do qual resulta a qualidade, a quantidade de luz e a eficiência na reprodução da cor;
- Fluorescente compacta: possibilita a redução de até 80% do consumo de energia em relação a incandescente, além de apresentar maior vida útil;
- Vapor de mercúrio de alta pressão: tem aparência de cor branca azulada, eficácia de 55 lm/W e grande aplicação em iluminação pública e industrial;
- Vapor metálico: tem grande eficácia (70 a 90 lm/W), aplicação em iluminação de estádios, estacionamentos e grandes áreas;
- Vapor sódio de baixa pressão: tem radiação quase monocromática com aparência de cor amarela, alta eficácia luminosa (200 lm/W) e longa vida;
- Vapor sódio de alta pressão: possui boa reprodução de cor, eficácia de até 130 lm/W e também tem aplicação em iluminação externa e industrial de grandes alturas;
- Luz mista: esse tipo de lâmpada possui tubo de preenchido com gás e filamento de tungstênio e dispensa o uso de reator, tem o dobro da eficácia e quase seis vezes a vida útil das incandescentes.

### 3.1.1.1. Iluminação por LED

Os Diodos Emissores de Luz (*Light Emitting Diode* LED) ou popularmente conhecidos como LED surgiram no início dos anos 60. “O LED é um dispositivo semicondutor que tem como princípio de funcionamento a eletroluminescência, emitindo luz através da combinação de elétrons e lacunas em um material sólido” (SÁ JUNIOR, 2007a *apud* KALACHE et al., 2013, p. 02). Os LEDs podem emitir luz tanto na faixa visível ao olho humano – sobretudo no



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

espectro de frequência das cores azul, verde, vermelho, branco e suas combinações – quanto nas faixas ultravioleta e infravermelho.

A princípio, os LEDs foram utilizados para iluminação indicativa em aparelhos eletroeletrônicos, porém, com o desenvolvimento de LEDs mais potentes e com maior eficácia luminosa agregada à longa vida útil, tornou-se possível e viável sua utilização em semáforos, iluminação de emergência, lanternas e iluminação de ambientes (KALACHE et al., 2013). Na tabela 3 são expostos os benefícios que este tipo de iluminação pode vir a trazer para o consumidor final.

Tabela 3 – Vantagens e benefícios do LED

Vantagem	Benefício
Alto Rendimento Luminoso	As lâmpadas LED têm um maior Rendimento Luminoso Útil (expressado em porcentagem de lumens por watt) que as lâmpadas ‘economizadoras de energia’ (CFL) ou as lâmpadas de vapor de sódio (HPS), tradicionalmente utilizadas nos sistemas de iluminação pública. Adicionalmente, as lâmpadas LED oferecem oito vezes mais iluminação que as obsoletas lâmpadas incandescentes.
Economia de Energia Extraordinária	As luzes LED são extremamente eficientes e permitem economizar entre 60 e 90% se comparadas às lâmpadas incandescentes convencionais, de sódio ou de mercúrio, e de 10 a 20% se são as lâmpadas ‘economizadoras de energia’ (de baixo consumo).
Custo Mínimo de Manutenção	As lâmpadas LED, por motivo de sua longa vida, evitam interrupções do serviço, prejuízos e substituições constantes, oferecendo uma economia excepcional na manutenção. As lâmpadas LED resultam enormemente práticas naquelas aplicações em que é complicado ou custoso instalar e manter as luminárias, como por exemplo: as pontes, as estruturas de grande altura ou a iluminação de segurança.
Grande Economia em Novas Instalações	As instalações novas se beneficiam de uma economia substancial no custo do fio



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

	de cobre, cuja espessura (diâmetro) é apenas uma fração do requerido por instalações de lâmpadas tradicionais (sódio ou vapor metálico).
Longa Vida Útil	As lâmpadas LED têm uma vida útil de mais de 50.000 horas (uma lâmpada ligada em pro médio 8 horas diárias tem uma vida de 17 anos).
Maior Segurança na Instalação e Operação	As luzes LED operam a baixa voltagem (< 32 v) e geram um calor mínimo proporcionando segurança aos usuários durante sua instalação e operação.
Maior Confiabilidade e Resistência Mecânica (ao impacto)	As luzes LED resistem a grandes variações de temperatura e a vibração, o que assegura a continuidade de operação. As lâmpadas LED não são frágeis e dificilmente se quebram, ao contrário de todas as outras lâmpadas convencionais, incandescentes, fluorescentes (econômicas), ou de descarga de alta intensidade.
Alta Qualidade da Cor	As lâmpadas LED vêm numa ampla versatilidade de cores (reais), com um alto (CRI) Índice de Rendimento Cromático (Ra>80). Adicionalmente, as luzes LED oferecem cores vivas, já que não requerem de filtros para criar luz de cor; como resultado geram cores mais puras e profundas, sem desperdício de energia.
Aplicações Gerais	Utilizada originalmente só em aplicações muito específicas (sinais luminosos testemunho da presença da energia elétrica), atualmente, a tecnologia e os sistemas de iluminação LED penetraram praticamente na totalidade do mercado mundial de iluminação geral, substituindo as tradicionais lâmpadas incandescentes e fluorescentes.
Desenhos Fotométricos Inovadores	Os sistemas de iluminação LED para exteriores ou espaços abertos podem proporcionar um padrão regular do feixe de luz, com uma luminosidade uniforme. Também não produzem resplendor nem um efeito estroboscópico. Os LEDs oferecem extensas possibilidades de desenhos inovadores, luminárias que maximizam o rendimento dos sistemas de



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

	iluminação, graças ao tamanho reduzido e a sua geometria. Assim mesmo, por ser uma fonte de luz monocromática, sem geração de radiações ultravioletas ou infravermelhas, alcança uma saturação de cor e brilho maior que as lâmpadas convencionais.
Ligado Instantâneo	Ao contrário das lâmpadas fluorescentes (econômicas) ou de sódio, as LED têm um arranque rápido e não requerem uma demora em alcançar um nível ótimo de iluminação e de temperatura da cor (inclusive com temperaturas de até -30 °C). Pelo qual, ademais possibilitam a criação de efeitos tipo 'flash' (flashing).
Proteção do Meio-Ambiente	As lâmpadas LED são recicláveis e não contaminam ao meio-ambiente. As lâmpadas fluorescentes economizadoras de energia e as de sódio contém mercúrio; ademais que as fluorescentes emitem ondas eletromagnéticas nocivas à saúde a uma curta distância (lâmpadas de escritório ou de cabeceira).

Fonte: Souto (2012)

#### 4. Case 1: análise comparativa entre lâmpadas de LED e lâmpadas tradicionais

Em um estudo comparativo das informações sobre o IRC, a eficiência luminosa, a vida média e a temperatura de cor dos fabricantes Sylvania, Osram, Ledmax, LLUM e Philips, obteve-se como resultado os dados apresentados nas tabelas 4 e 5 seguintes (KALACHE et al., 2013).

Tabela 4 – Comparativo dos índices de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média dos tipos de lâmpadas estudados

FONTE LUMINOSA	IRC (%)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (LM/W)	VIDA MÉDIA (HORAS)
Incandescente	100	10-15	750 - 1.000
Halógena	100	15-35	1.500 - 2.000
Fluorescente tubular	80-85	40-100	6.000 - 24.000
Fluorescente compacta	80	40-80	6.000 - 24.000
Vapor de mercúrio	40-55	45-58	9.000 – 15.000
Vapor de sódio	22	80 – 150	18.000 – 32.000



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

Vapor metálico	65 – 85	65 – 90	8.000 – 12.000
Indução	80 – 90	80 - 110	60.000
LED	70-95	35-130	25.000 - 100.000
LED tubular	85	33-97	50.000

Fonte: Sales (2010) *apud* Kalache et al. (2013)

Tabela 5 – Comparativo para Temperatura de cor

FONTE LUMINOSA	2.700 K	3.000 K	3.500 K	4.100 K	5.000 K – 6.500 K
Incandescente			X		
Halógena			X		
Fluorescente tubular		X		X	
Fluorescente compacta	X	X	X	X	X
LED	X	X	X	X	X
LED tubular			X		

Fonte: Marteleto (2011) *apud* Kalache et al. (2013)

De acordo com os dados apresentados na tabela 4, as lâmpadas LED apresentaram valor IRC entre 70% e 95%, bem como eficiência luminosa de 130 lm/W e vida útil de 100.000 horas, sendo, dessa forma, superior a todos os outros tipos de lâmpadas comparadas, exceto as lâmpadas de vapor de sódio que apresentaram eficiência de até 150 lm/W. Com relação à temperatura de cor, a tabela 5 informa que as lâmpadas fluorescentes compactas e as de LED são mais abrangentes (KALACHE et al., 2013).

### 5. Case 2: eficiência energética em Centros de Distribuição – equipamentos eficientes

A eficiência do sistema de iluminação passa pela seleção do equipamento correto para cada situação. É necessário avaliar a eficiência do conjunto (lâmpada + luminária) para assegurar a seleção do melhor equipamento.

## 5.1. Luminárias

Destinadas a distribuir, controlar ou filtrar a luz proveniente das lâmpadas, as luminárias (figura 1 – a, b, c) desempenham um papel fundamental no sistema de iluminação, sendo responsáveis por boa parte da otimização do desempenho do sistema.

Figura 1 – Modelos de luminárias usualmente utilizadas na iluminação residencial e comercial: a) luminária de alto rendimento; b) luminária a LED e c) luminária para fluorescente tubular



Fonte: Vasconcellos; Limberger (2013)

Basicamente as luminárias são compostas de refletor, soquete e fiação elétrica. Além destas partes, uma luminária pode também conter um ou mais dos seguintes componentes: lente, difusor, elementos decorativos e filtros de raios ultravioletas ou de cor.

Uma das partes mais importantes da luminária e seu refletor, geralmente fabricado em alumínio, são sua forma e material, que são responsáveis pela distribuição da luz originária da lâmpada. Em relação ao projeto do sistema de iluminação, deve-se atentar aos cuidados técnicos como interpretação de curvas de distribuição da luz, número correto de luminárias por área, espaçamento entre elas, especificações de controle de ofuscamento, entre outros. Uma luminária deve proporcionar uma iluminação suficiente para execução das tarefas desejadas, ser segura, sempre que possível controlável e garantir o conforto ambiental.

Outro aspecto relevante é a eficiência da luminária, que pode ser obtida pela fração de emissão de luz (FEL) ou rendimento, que nada mais é do que a relação entre a luz emitida pela luminária e a luz emitida pela lâmpada. Essas informações são fornecidas pelos



fabricantes e geralmente estão contidas nos catálogos (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013).

A iluminação residencial e comercial esta presente na vida de todos e suas características técnicas são muitas vezes negligenciadas em função apenas do *design* da luminária. O uso de materiais com tecnologias mais avançadas deve ser visto com critério, não bastando que se faça simplesmente a troca do refletor, das lâmpadas e dispositivos auxiliares antigos por outros de tecnologia mais recente (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013). É importante que se considerem todos os fatores já citados.

## 5.2. Estudo comparativo entre equipamentos

Atualmente, lâmpadas fluorescentes tubulares T5 possuem o melhor desempenho quando se trata de iluminação de interiores. Esses sistemas de iluminação estão em um alto grau de desenvolvimento, chegando, como será mostrado mais a frente, a ter uma eficiência superior a alguns sistemas LED. A tabela 6 exibe uma comparação da eficiência energética entre três tipos de lâmpadas e luminárias (vapor metálico, LED e fluorescentes tubulares T5) avaliadas para um centro de distribuição.

Tabela 6 – Eficiência dos equipamentos



Fonte: Belloni; Petinelli (2013)



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

Para Belloni; Petinelli (2013), “a escolha da luminária certa também é essencial para um projeto eficiente. Esta decisão depende, dentre alguns fatores, da sua capacidade de entregar o máximo de luz para o ambiente sem perder luminosidade dentro da luminária”. Ainda segundo os autores, devido ao alto custo de aquisição frente às outras duas opções de luminárias, as luminárias LED foram excluídas da comparação, confrontando-se, assim, apenas o consumo entre vapor metálico e T5.

Como resultado desta comparação, obteve-se a tabela 7, revelando que mesmo sendo necessárias mais luminárias T5 para manter o mesmo nível de iluminação das de vapor metálico, a economia gerada foi de quase R\$ 60.000,00 fazendo com que o centro logístico reduzisse seu investimento em equipamentos e custo de operação pela metade.

Tabela 7 - Custo total de luminárias para o centro de distribuição.

TIPO	N. DE LUMINÁRIAS	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
VAPOR METÁLICO (1x400W)	1200	R\$383.57	R\$460.284,00
FLUORESCENTE T5 (4x50W)	1272	R\$314.78	R\$400.400,16

Fonte: Belloni; Petinelli (2013)

## 6. Considerações finais

Os sistemas de iluminação representam uma parcela significativa dos custos com energia elétrica nos setores da economia comercial, industrial, residencial e órgãos públicos. Os mesmos devem ser foco de atenção nas análises relativas à otimização no uso da energia. Fazer a correta seleção das luminárias e desenvolver um projeto luminotécnico é necessário para encontrar a quantidade ideal de luminárias para o empreendimento.

Avaliar a viabilidade técnica financeira de um projeto iluminotécnico depende do que se adota como base de referência. Comparando as potencialidades energéticas de cada tipo de lâmpada, é possível observar que mesmo as lâmpadas LED, sendo mais eficientes na redução dos gastos com consumo de energia elétrica frente às lâmpadas fluorescentes compactas T5, o seu custo de instalação é maior que o custo de instalação das T5.



## II Simpósio de Engenharia de Produção

### As Contribuições da Engenharia de Produção para a Indústria de Serviços

No caso de um centro de distribuição que está sendo criado, a instalação de lâmpadas LED não é vantajosa por onerar muito o custo de investimento inicial na execução de todo o projeto de edificação. Porém, para um centro de distribuição já existente que queira reformular sua planta elétrica de maneira a torná-la mais econômica e sustentável, a melhor opção passa a ser o LED, por apresentar uma vida média mínima (25.000h a 100.000h) superior a quatro vezes a vida média das lâmpadas fluorescentes tubulares (6.000h a 24.000h).

### REFERÊNCIAS

BELLONI, André; PETINELLI, Guido. *Eficiência Energética e Sustentabilidade em Centros Logísticos*.

Webnar Mundo Logística. Disponível em:

<<http://www.revistamundologistica.com.br/portal/Webinar.jsp?webinar=0603>>. Acesso em: 18. Ago. 2013.

KALACHE, Nadya et al.. *Análise Comparativa de Sistemas de Iluminação: Viabilidade Econômica da Aplicação de LED*. In: IX Encontro Mineiro de Engenharia de Produção. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013.

MARTIN, Christopher. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos*. Tradução da 4ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de; LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto (Orgs.). *Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobrás Procel e Parceiros*. Rio de Janeiro: Eletrobrás/ Procel, 2013.

VILLAR, Antônio de Melo; JÚNIOR, Claudino Lins Nóbrega. *Planejamento das instalações industriais*. João Pessoa: Manufatura, 2004.