

Capítulo IV

Aspectos para eficiência energética em sistemas de iluminação em indústrias

*Por Juliana Iwashita Kawasaki e Vanderson Oliveira**

Os temas ligados a eficiência energética, adequação do uso dos recursos naturais e sustentabilidade estão se tornando cada dia mais frequentes. É notório analisar diversas publicações de variados setores e identificar algo relacionado a essa constante preocupação por parte dos órgãos ligados a energia, segurança e meio ambiente.

Quando se trata de eficiência energética voltada para o setor elétrico, deve-se reconhecer ao Programa de Conservação de Energia Elétrica (Procel) do governo federal, elaborado pela Eletrobras e pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que contribuiu para estimular consumidores de diversos potenciais a refletir a respeito do assunto e realizar ações para o cumprimento de políticas de adequação para economia de energia elétrica e seu uso racional.

No entanto, apesar de esse assunto estar em pauta em diversos fóruns e discussões, percebe-se ainda algumas barreiras para a implementação de projetos de eficiência energética por conta de diversos fatores que envolvem o ambiente externo e interno das corporações. Focos em investimentos direcionados a produção, barreiras culturais, carência de incentivo financeiro de órgãos de apoio e receio diante das novas tecnologias são algumas das barreiras encontradas ao propor projetos de eficiência energética nas indústrias.

Contudo deve-se ressaltar que os benefícios que

se obtêm no uso racional de energia elétrica são substanciais para toda a sociedade se considerar que os altos custos resultantes de sistemas elétricos obsoletos e ineficientes estão indiretamente (e algumas vezes diretamente) ligados ao preço dos produtos fornecidos para o consumidor, abrindo espaço para concorrências do mercado externo.

Na edição anterior pôde-se entender a significativa participação que os sistemas motrizes acionados por inversores de frequência possuem no processo de eficientização energética. Como possui uma participação expressiva – cerca de 70% dos recursos energéticos são despendidos para esses sistemas –, grande parte do foco é direcionada para esta questão. No entanto, devemos considerar os outros aspectos das instalações industriais que fazem valer o esforço dos estudos para racionalizar os recursos energéticos.

Neste artigo trataremos do uso final da iluminação e sua participação no processo de eficiência energética. A iluminação possui características peculiares no que diz respeito à segurança da mão de obra, conforto e desempenho do potencial humano, aspectos esses que transcendem a necessidade única de economia de energia e se liga a abrangência do maior patrimônio corporativo: as pessoas. Portanto, fica a cargo dos profissionais da iluminação fornecer condições para o desenvolvimento das atividades que fazem uso

dos recursos visuais, evitando esforço desnecessário, cansaço e acidentes de trabalho oriundos de sistemas de iluminação deficientes.

Dessa forma, observam-se dois extremos muito encontrados nas plantas das indústrias em território nacional. O primeiro é o excesso de iluminação, que causa desconforto, ofuscamento, prejudica os aspectos de segurança e ainda nos dá evidência que existe desperdício de energia elétrica. O segundo é a insuficiência de luz, que pode provocar condições propícias a acidentes de trabalho e desgaste da saúde das pessoas.

Para ajudar a delinear esses aspectos mais voltados para a relação humana na iluminação, a norma técnica concernente a esse

assunto recomenda níveis de iluminação específicos para diferentes atividades e ambientes. A norma recém publicada ABNT NBR ISO 8995-1: Iluminação de ambientes internos de trabalho, que substitui a norma NBR 5413: iluminância de interiores, estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para a iluminação artificial para as diferentes áreas de trabalho em diferentes tipos industriais. Novos aspectos são agora recomendados, além da iluminância, como a reprodução de cor e o controle de ofuscamento. Assim, aspectos mais qualitativos de iluminação deverão também ser levados em consideração nos ambientes.

A Tabela 1, a seguir, apresenta exemplos de recomendações para uma área industrial, segundo a nova norma.

TABELA 1 – EXEMPLO DE RECOMENDAÇÕES PARA ILUMINAÇÃO EM ATIVIDADES INDUSTRIAIS

TIPO DE AMBIENTE, TAREFA OU ATIVIDADE	\bar{E}_m LUX	UGR_L	R_a	OBSERVAÇÕES
TRABALHOS EM FERRO E AÇO				
Instalações de produção sem intervenção manual	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis
Instalações de produção com operação manual ocasional	150	28	40	
Instalações de produção com operação manual contínua	200	25	80	Para alturas de montagem acima de 6 m: ver também a subseção 4.6.2
Depósito de chapas	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis
Fornos	200	25	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis
Usinagem, bobinadeira, linha de corte	300	25	40	
Plataformas de controle, painéis de controle	300	22	80	
Ensaio, medição e inspeção	500	22	80	

Se considerarmos um ambiente industrial padrão, é razoável entender que temos diversos tipos de ambientes para a mesma planta. Existem áreas externas para circulação de veículos de carga e transporte de passageiros, escritório em conjunto com a produção e escritórios privados para reuniões com visitas etc. Existem ainda ambientes inóspitos de produção, fundições, câmaras de pinturas e caldeiras que concentram altos níveis de poeira, fuligem, entre outras partículas suspensas. Dessa forma, o projetista de iluminação deve ponderar o ambiente e suas condições específicas de operação e de manutenção para definir os diferentes parâmetros de projeto.

Tecnologias atuais e suas peculiaridades

Uma vez conhecidos os níveis de iluminância para os diferentes ambientes, outro aspecto importante a ser considerado no projeto de iluminação industrial é a escolha do conjunto luminária + lâmpada + equipamento de controle.

Recomendações referentes ao controle de ofuscamento (UGRL) e o índice de reprodução de cores (Ra) também tornam-se aspectos importantes para a elaboração de especificações técnicas e definição das luminárias e lâmpadas. Para determinação do UGRL em projetos luminotécnicos é necessária a análise do tipo de luminária em conjunto com a lâmpada. Quanto maior o valor de UGRL, maior o ofuscamento do conjunto.

Em relação à reprodução de cor, recomenda-se, para ambientes de trabalho contínuo, o uso de fontes luminosas com Ra superior ou igual a 80. Para ambientes com pés-direitos elevados, superior a 6 m, e áreas externas são permitidos Ra inferiores, porém, mesmo nessas condições devem ser tomadas medidas adequadas para garantir que lâmpadas com uma reprodução de cor mais alta sejam utilizadas em locais de trabalho continuamente ocupados e também onde as cores para segurança têm de ser reconhecidas. Dessa forma, o uso de lâmpadas a vapor de sódio em ambientes continuamente ocupados não é recomendado.

No que diz respeito às luminárias, o uso de equipamentos de alto desempenho é primordial para projetos que visem eficiência energética. O desempenho da luminária depende muito das características óticas do refletor e da fonte luminosa, sendo desejada a otimização das superfícies especulares para direcionar a luz gerada pelas lâmpadas aos planos de trabalho. Em ambientes industriais, é necessário levar em consideração aspectos relacionados à facilidade de manutenção do conjunto luminária-lâmpada-equipamentos de controle, uma vez que muitas vezes o acesso aos equipamentos é dificultado por problemas de elevadas alturas e/ou condições de operação da indústria.

Outros requisitos específicos de segurança e desempenho devem ser observados em função do tipo de aplicação, como suportar vibrações, possuir estanqueidade e/ou ser à prova de explosão.

As luminárias para o ambiente industrial devem seguir a premissa de ter alto desempenho fotométrico e alto fluxo luminoso (por conta do pé-direito diferenciado nas aplicações industriais), fator esse que determina o tipo de lâmpada que será utilizado nas instalações. Os tipos de luminárias mais utilizados nas indústrias brasileiras são do tipo pendente ou sobrepor com alojamento para o reator (equipamento auxiliar), refletor/refrator em acrílico prismático transparente ou de alumínio com fecho aberto ou concentrado dependendo do pé-direito da instalação.

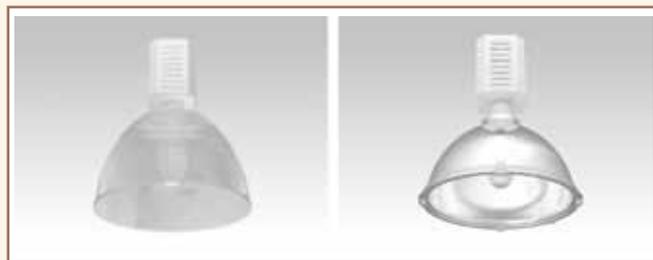


Figura 1 – Luminárias pendentes industriais.

Os tipos de lâmpadas para essas luminárias são consideradas as fontes de maior fluxo luminoso existentes no mercado. São elas:

a) Lâmpadas de multivapores metálicos

Possuem vida útil de 10 a 12 mil horas, produzem luz branca brilhante e índice de reprodução de cores na ordem de 80% a 90% (Ra = 80 a 90). As potências mais usuais são de 250 W e 400 W. Elas precisam operar fazendo uso de reatores eletromagnéticos para o seu funcionamento. São lâmpadas utilizadas em indústrias têxteis e alimentícias, que exigem boa reprodução de cor dos objetos produzidos/inspecionados. Possuem custo maior que as outras lâmpadas da mesma família.

b) Lâmpadas a vapor de sódio

Possuem vida útil de 15 a 22 mil horas, produzem luz amarelada ofuscante e baixa reprodução de cores na ordem de 50%. Elas precisam operar fazendo uso de reatores eletromagnéticos para o seu funcionamento. São lâmpadas utilizadas em iluminação pública devido ao custo baixo e vida útil elevada. Contou com o apoio do governo federal com relação às alíquotas de impostos. Tem rendimento energético maior do que as lâmpadas de multivapores metálicos.

c) Lâmpadas mistas

Possuem vida útil de 8 mil horas (inferior comparado às anteriores, mas foi uma grande inovação nos anos que precederam às incandescentes). Elas não necessitam de equipamento auxiliar de partida (reatores). São lâmpadas de baixo custo, mas está caindo em desuso por conta da sua ineficiência energética.

d) Lâmpadas a vapor de mercúrio

Possuem vida útil de 16 mil horas, luz branca acinzentada e baixa reprodução de cor. Custo relativamente baixo e requerem reator para o seu funcionamento. Possuem aplicações diversas nos ambientes industriais, mas por conta de sua baixa eficiência estão deixando de ser utilizadas.

Pelo fato de a luminária pendente prismática ou com refletor ter como característica o uso de lâmpadas de formato elipsoidais, elas são largamente aplicadas com lâmpadas fluorescentes compactas de alto fluxo, por apresentarem porta-lâmpadas do tipo rosca (E27 ou E40). No entanto, esse tipo de lâmpada apresenta características elétricas com altos conteúdos harmônicos (THD), podendo prejudicar o funcionamento de outros equipamentos como máquinas e computadores.

Para complementar as informações referentes às lâmpadas, a Tabela 2 apresenta a eficácia luminosa das diferentes lâmpadas utilizadas comumente em aplicações industriais.

TABELA 2 - LÂMPADAS MAIS USUAIS EM ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL

LÂMPADAS PARA USO EM LUMINÁRIAS INDUSTRIAIS	EFICÁCIA LUMINOSA
Mista	20 a 35 lm/W
Vapor de mercúrio	45 a 55 lm/W
Multivapores metálicos	65 a 90 lm/W
Vapor de sódio	80 a 140 lm/W

Tecnologias do futuro e suas vantagens

Ainda no âmbito de seleção do conjunto luminária + lâmpada + equipamento de controle, as premissas de rendimento, fluxo luminoso e consumo de energia devem fazer parte dos projetos luminotécnicos nos próximos anos. Na verdade, as tecnologias de lâmpadas apresentadas anteriormente seguiram uma espécie de evolução em que o requisito principal é a eficiência energética, como não poderia ser diferente.

No entanto, as luminárias que prometem fazer parte dos projetos no futuro são as luminárias fluorescentes tubulares com reatores de partida pré-aquecida e as luminárias com a tecnologia de Led. As luminárias fluorescentes suscitam muitas dúvidas e desconfiança nos engenheiros de instalações pelo simples fato de terem como base tecnologias antigas de lâmpadas fluorescentes HO (high output) de 110 W. Apesar de a lâmpada T5 estar no mercado há mais de dez anos, ainda vemos muita resistência ao se aplicar essa tecnologia nos diversos setores da indústria.

As luminárias fluorescentes tubulares são concebidas, na maioria das vezes, com conjunto refletor a base de alumínio anodizado de alto brilho, colaborando para o rendimento da luminária e tornando o sistema mais frio pelo fato de termos lâmpadas “frias” e reatores mais eficientes. Um modelo típico dessa luminária está na Figura 2.



Figura 2 – Luminária de alto desempenho industrial com quatro lâmpadas fluorescentes tubulares.

Os tipos de lâmpadas para esse tipo de luminária são aquelas consideradas fontes de maior rendimento energético aliado ao fluxo luminoso e a baixa temperatura dos sistemas existentes no mercado. São elas:

a) Lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (5/8 de polegada de diâmetro)

Possuem vida útil de 20 a 25 mil horas, produzem luz branca e índice de reprodução de cores na ordem de 80% a 90% (Ra = 80 a 90). Elas precisam operar fazendo uso de reatores para o seu funcionamento. São lâmpadas utilizadas geralmente em ambientes comerciais, mas, devido à eficiência dos conjuntos refletores das luminárias, podem ser aplicadas nos ambientes industriais. A lâmpada fluorescente na versão T5 de 54 W/50 W é largamente sugerida pelos profissionais responsáveis por retrofits industriais e apresenta fluxo luminoso de 5.000 lúmens para aplicações em luminárias da Figura 2. Alguns fabricantes possuem versões em 80 W para pé-direito mais alto (cerca de 16 metros), no entanto, o conceito básico permanece o mesmo.

A seguir observam-se os valores de eficácia luminosa das lâmpadas fluorescentes mais comuns utilizadas nos ambientes industriais.

TABELA 3 – EFICÁCIA LUMINOSA DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES

LÂMPADAS PARA USO EM LUMINÁRIAS FLUORESCENTES	EFICÁCIA LUMINOSA
Fluorescente comum 40 W	40 a 60 lm/W
Fluorescente T10/T12 110 W	45 a 65 lm/W
Fluorescente T8 32 W	55 a 75 lm/W
Fluorescente T5 54 W e 80 W	75 a 95 lm/W

Uma das grandes vantagens em trabalhar com projetos de eficiência energética com lâmpadas fluorescentes é que podem ser operadas com reatores que possuem funções especiais como partida pré-aquecida.

A partida pré-aquecida do reator é obtida no início da operação ao se energizar o sistema. Durante aproximadamente 200 milissegundos, o reator envia uma corrente elétrica pequena para os filamentos da lâmpada de modo que proporcione seu aquecimento antes de serem exigidos de maneira mais efetiva. Após esse período, o reator procede à partida normal da lâmpada enviando um pulso de alta tensão (da ordem de

centenas de volts) e em seguida estabiliza para permitir que a lâmpada permaneça ligada sem necessidade de constantes números de pulsos de energia e consumo desnecessário.

Essa característica faz a vida útil da lâmpada aumentar em 30% em relação às lâmpadas que operam com reatores de partida instantânea.

Outro tipo de tecnologia que tem despertado interesse, curiosidade e até certa ansiedade nos consumidores industriais e nos projetistas é a tecnologia que utiliza Led como fonte principal.

Essa tecnologia é de fato eficiente com relação aos valores absolutos de energia consumida versus a quantidade de luz gerada. Em um passado recente havia muita suspeita com relação ao potencial luminoso dos sistemas confeccionados com Led. No entanto, hoje já existem fabricantes com luminárias de Led para aplicação industrial que faz frente aos antigos projetores industriais. A discussão que impera agora é com relação ao custo dessa nova tecnologia e, com isso, a sua viabilidade de aplicação.

Muitos produtos importados dos países asiáticos têm prometido alcançar valores adequados para esses projetos, mas observa-se certa resistência por parte dos projetistas, devido a fatores, como temperatura de operação, dissipação adequada, garantia da vida útil apresentada, uniformidade na cor da luz e custo. A constante evolução da tecnologia e dos produtos sinaliza que o Led será uma forte alternativa para eficiência energética nos sistemas de iluminação industrial, sobretudo pelo aspecto da manutenção, haja visto sua maior vida útil.

Como obter economia de energia no retrofit de iluminação

A melhor maneira de alcançar níveis satisfatórios de

economia de energia em um ambiente industrial é entender os principais aspectos das tecnologias vigentes e aplicá-la com base nas premissas de eficiência energética e normatização de iluminância para os ambientes.

O exemplo a seguir é de uma indústria no interior paulistano que possuía sistemas de iluminação convencionais de luminárias pendentes prismáticas e lâmpadas de vapor metálico de 400 W. As principais exigências dessa indústria quanto à elaboração do estudo técnico era conseguir 25% de economia de energia e ter o nível de iluminação restabelecido dentro das normas vigentes na época (NBR 5413).

De posse dos dados de iluminâncias extraídos das normas e diante das necessidades de adequação de níveis de luz recomendados, chegou-se a um estudo de substituição dos sistemas convencionais por luminárias fluorescentes 4 x 54 W e reatores de alto desempenho energético.

A tabela a seguir apresenta as principais informações e cálculos para obter a prévia de consumo do sistema existente e do sistema proposto.

Os principais aspectos que valem ser ressaltados nesse estudo são:

- O nível de iluminância dos ambientes dessa indústria estava muito abaixo dos níveis requeridos pela norma e pelas necessidades de segurança e exigências das tarefas realizadas. O departamento de manutenção foi chamado para readequar os níveis previstos na norma de 200 lux para essa operação (armazenamento, estoque e maquinários);
- As luminárias de 400 W utilizam reatores eletromagnéticos que consomem (perda) cerca de 10% a 15% da potência útil em forma de calor;

TABELA 4 – CONSUMO DO SISTEMA EXISTENTE VERSUS CONSUMO DO SISTEMA PROPOSTO

CÁLCULO DE RETORNO DE INVESTIMENTO		EXISTENTE	UNID.	PROPOSTO	UNID.
ÁREA		44.000	m ²	44.000	m ²
ATIVIDADE DESEMPENHADA		industrial		industrial	
ILUMINÂNCIA MÉDIA (Lux)*		105	Lux	200	Lux
Quantidade de luminárias pela norma NBR 5413		540	PÇS	638	PÇS
Modelo da luminária adequada para a iluminação		Pendente 400 W		Fluor 4x54 W	
Quantidade de lâmpadas por luminária		1	UNID	4	UNID
Quantidade total de lâmpadas x quantidade de luminárias		540	UNID	2.552	UNID
Potência de cada lâmpada		400	W	54	W
Potência consumida pelo reator – PERDA (varia de acordo com o fabricante)		10%		2%	
Consumo total da luminária considerando lâmpada e reator		440	W	279	W
Consumo total do projeto luminotécnico		237,60	kW	177,77	kW
Quantidade de horas de uso da iluminação por dia		24	hrs	24	hrs
Quantidade de dias de uso da iluminação		30	dias	30	dias
Quantidade de horas de uso da iluminação por mês		720	hrs	720	hrs
Consumo mensal com iluminação		171.072,00	kWh/mês	127.996,07	kWh/mês
Tarifa cobrada na região		0,23	kWh	0,23	kWh
Gasto mensal com iluminação		39.346,56	kWh/mês	29.439,10	kWh/mês
Vida mediana da lâmpada baseada no catálogo do fabricante		10.000	hrs	24.000	hrs
Tempo necessária, devido à vida mediana, para manutenção das lâmpadas		14	meses	33	meses
Preço de cada lâmpada		51,54	R\$	12,70	R\$
Custo relativo da manutenção das lâmpadas dividido pela vida mediana em meses		3,71	R\$/mês	0,38	R\$/mês
Gasto com a manutenção de todo o projeto luminotécnico por mês		2.003,88	R\$/mês	972,31	R\$/mês
GASTO TOTAL ILUMINAÇÃO/MÊS		R\$ 41.350,44	R\$/mês	R\$ 30.411,41	R\$/mês
ECONOMIA MENSAL/MÊS EM R\$				R\$ 10.939,03	R\$/mês
PORCENTAGEM DE ECONOMIA				-25%	
ECONOMIA EM kWh				43.075,93	kWh
PREÇO MEDIO UNITÁRIO DA LUMINÁRIA				R\$	500,00
INVESTIMENTO				R\$	338.000,00
PAYBACK	31	MESES			

Os principais aspectos que valem ser ressaltados nesse estudo são:

- O nível de iluminância dos ambientes dessa indústria estava muito abaixo dos níveis requeridos pela norma e pelas necessidades de segurança e exigências das tarefas realizadas. O departamento de manutenção foi chamado para readequar os níveis previstos na norma de 200 lux para essa operação (armazenamento, estoque e maquinários);
 - As luminárias de 400 W utilizam reatores eletromagnéticos que consomem (perda) cerca de 10% a 15% da potencia útil

em forma de calor;

- Para dobrar a iluminância, seria necessário acrescentar o número de pontos instalados de 540 peças (do sistema existente) para 638 peças (do sistema proposto). No entanto, constatou-se que a potência individual total ainda ficou muito abaixo em relação à carga existente. A quantidade maior de luminárias também garante uma melhor uniformidade da iluminância e uma menor possibilidade de impactos negativos quando uma luminária ou lâmpada pontualmente é desativada ou queimada;
- O turno de trabalho consistia de 24 horas por dia durante os 30 dias do mês, somando assim 720 horas trabalhadas;

- A tarifa apresentada pela empresa com inclusão de impostos e encargos girava em torno de R\$ 0,23 no momento do estudo. Muito em função do tipo de atividade e do contrato de demanda que a indústria possuía, garantia descontos consideráveis diante da maioria dos consumidores de energia;
- Foram considerados os valores de manutenção para as trocas recorrentes do sistema antigo. Para efeito de cálculo de payback, foram desconsiderados possíveis queimas dos reatores tanto do sistema existente como do sistema proposto, uma vez que se registra vida útil desses reatores aproximada de 50 mil horas (mais que o previsto do payback);
- Diante dos cálculos apresentados, conseguiu-se chegar a uma taxa de economia de energia de 25%, considerando a readequação das iluminâncias;
- Não foram considerados valores referentes à mão de obra, uma vez que a indústria solicitante mantinha em seu quadro de colaboradores equipes capazes de executar o trabalho conforme projeto.

Com base nas características particulares da situação apresentada conseguiu-se um retorno do investimento de aproximadamente 31 meses, considerando o pagamento do investimento com a economia de energia gerada. Observa-se que o payback poderia ser bem inferior, caso os níveis de iluminância não precisassem ser aumentados. Existe, portanto, um potencial de

economia de energia muito significativo em indústrias, visto que a maior parte delas ainda usa sistemas de iluminação com luminárias ineficientes para lâmpadas de descarga de alta pressão com reatores eletromagnéticos. Luminárias de alto desempenho para lâmpadas T5 e Led são as grandes tendências para eficiência de indústrias, existindo para o caso das fluorescentes retornos de investimentos geralmente bastante atrativos. Somado a isso, melhores condições elétricas (menor THD e maior FP) são obtidas com o uso de reatores eletrônicos desses sistemas.

**JULIANA IWASHITA KAWASAKI é arquiteta, mestre em Engenharia Elétrica, coordenadora da Comissão de normas técnicas de Aplicações luminotécnicas e medições fotométricas e diretora da Exper Soluções Luminotécnicas, especializada em treinamentos, ensaios laboratoriais, projetos e consultorias em eficiência energética e iluminação.*

VANDERSON OLIVEIRA é engenheiro eletricista, pós-graduado em Administração de Negócios pela Universidade Mackenzie. Especializado em produtos nas áreas de gerenciamento de iluminação e energia. É diretor da Ideal Energia Representações e coordena projetos ligados a eficiência energética em indústrias de diversos segmentos.

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.oseletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br