

Análise técnico-econômica de manutenção e redimensionamento luminotécnico de um laboratório de eletromecânica

Evandro André Konopatzki (UTFPR – MD) eakonopatzki@utfpr.edu.br
Victor Hugo Soares Prestes Martins (UTFPR – MD) vhprestes@gmail.com

Resumo

Esse artigo mostra a importância da aplicação da manutenção no sistema de iluminação de ambientes e também a viabilidade técnico-econômica na substituição das lâmpadas existentes por outras mais modernas ou com maior eficiência luminosa. A prática deste experimento foi realizada no laboratório J25 da UTFPR – Medianeira onde foi realizada a medição da iluminância do laboratório quando o sistema de iluminação se encontrava sem limpeza e, posteriormente, comparada à medição do sistema limpo. As medições foram realizadas conforme apresenta a norma ABNT-NBR5382/1992. A metodologia comparou os valores de iluminância medidos no laboratório aos valores calculados para o ambiente estudado. Os valores foram calculados pelo método de lumens em que o fator de depreciação do sistema de iluminação foi variado para diversos períodos de manutenção. Também foi reprojeto o laboratório com três diferentes lâmpadas (características técnicas diferentes) para análise de viabilidade de troca do sistema atual. Foi constatado que a manutenção atual do laboratório consiste na substituição de componentes defeituosos e iluminância média do laboratório apresentava-se inferior à norma. Após efetuada a limpeza das lâmpadas e luminárias observou-se que a iluminância média aumentou e permaneceu dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação. Conclui-se deste estudo que a manutenção periódica do sistema de iluminação melhora os níveis de iluminação e prolonga a eficiência do sistema de iluminação, bem como é necessário fazer uma análise criteriosa quando da substituição do sistema de iluminação, pois algumas tecnologias não se mostraram viáveis para o ambiente estudado.

Palavras chave: Luminotécnica, eficiência luminosa, viabilidade técnico-econômica, manutenção.

Maintenance analysis and technical economic feasibility of luminotechnical resizing in electromechanical laboratory

Abstract

This paper presents applied to lightning systems' maintenance and so the techno-economic feasibility of replacing the lamps existing by efficiency higher or modern luminous. The practice helded in the UTFPR – Medianeira J25 laboratory, the laboratory's measurement made according ABNT-NBR 5382/1992. The method comparing the values illumination measured in laboratory with calculated values. The values calculated by the lumens' method that the factor depreciation of the system's lighting was varied for different periods' maintenance. Was also laboratory redesigned with three lamps different (different characteristics technical) for analysis feasibility system trading today. The laboratory's maintenance current make of replacing defective components and average illumination showed up below the standard. After cleaning the bulbs and lamps showed that the average illumination increased and remained of established parameters on actuality legislation. Periodic maintenance further improves the

luminance efficiency and extends the system's illumination. It's analysis careful when replacing system lighting, because some technologies were unfeasible for the studied environment.

Key-words: Luminotechnical, luminous efficiency, technical and economic feasibility, maintenance.

1. Introdução

A iluminação é uma das mais importantes tecnologias desenvolvidas pelo homem e, no mundo de hoje, é essencial em todos os ambientes. Seja ela desenvolvida para produzir baixos valores - tornando um ambiente agradável e romântico - ou alta luminosidade a fim de melhorar as condições de trabalho, tendo interferência nos fatores, segundo Hawthorne (1927): produtividade, fadiga e acidentes. Em um local de trabalho mal iluminado é exigido maior esforço da visão do trabalhador, o que pode provocar dores de cabeça, falta de atenção, sonolência e até enjoo. Esta resposta corporal é devida ao esforço excessivo dos músculos ciliares humanos que, em locais com pouca iluminação, são mais exigidos para ajudar a focar a figura.

Os baixos níveis de iluminamento podem provocar erros frequentes sendo até causadores de acidentes do trabalho. Já em ambientes com a iluminação adequada, a produtividade e a atenção das pessoas aumentam consideravelmente. Para definir valores adequados de iluminância no interior dos ambientes há diversas referências e normas vigentes, dentre elas a ABNT/NBR 5410/2004, a ABNT/ISO 8995-1/2013 e a MTE/NR-17/2012.

A hipótese que embasa este estudo é que a iluminação no laboratório J-25 (laboratório de eletromecânica da UTFPR campus Medianeira) seja menor do que o previsto pela norma vigente, dando espaço para a aplicação de um projeto de redimensionamento da iluminação e da manutenção nas lâmpadas e luminárias encontradas no laboratório.

Este estudo apresenta alternativas para manter a iluminação do laboratório em boas condições, de forma que o sistema proporcione a iluminância adequada ao ambiente, foi estudado o período ideal para manutenção do sistema e também uma possível substituição das lâmpadas por outras que possuam maior eficiência luminotécnica.

Este estudo, que foi realizado no laboratório J-25 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira e visou garantir as condições luminotécnicas normatizadas para o ambiente estudado, oferecendo manutenção e apresentando possíveis melhorias no sistema.

2. Metodologia

O estudo é composto por duas partes: verificação da iluminância e aplicação da manutenção no ambiente e estudo da viabilidade de troca das lâmpadas do laboratório.

O laboratório usado neste estudo foi dividido em dois ambientes retangulares onde as características principais (dimensões, cores de teto, parede e piso, layout das máquinas e características do sistema de iluminação) de cada ambiente seguem:

- a) Dimensões do ambiente 1 (C x L x h): 14,48 x 5,22 x 2,90 m;
- b) Dimensões do ambiente 2 (C x L x h): 18,00 x 8,50 x 2,90 m;
- c) Iluminância adequada: $E = 300$ lux, normatizada pela ABNT-NBR 5413/1992;
- d) Luminárias instaladas no ambiente 1: 18 luminárias industriais tipo Muller modelo TCW 502 composto por 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8;

- e) Luminárias instaladas no ambiente 2: 28 luminárias industriais tipo Muller modelo TCW 502 composto por 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8;
- f) Fator do ambiente do trabalho: teto claro, paredes claras e piso escuro

A Figura 2, no anexo apresenta uma planta baixa simples do laboratório estudado.

A primeira parte do estudo consistiu na medição da iluminância média do ambiente em três momentos.

No primeiro momento foram verificadas as condições gerais do sistema de iluminação do laboratório, denominadas no estudo como “sem limpeza”, e uma medição foi realizada neste momento.

O segundo momento consistiu na limpeza de 50% das lâmpadas e luminárias do laboratório, realizadas de forma intercalada seguida por uma nova medição. Esta medição teve o objetivo de constatar evolução da manutenção no sistema.

No terceiro momento todas as lâmpadas e luminárias foram limpas e uma terceira medição foi realizada. Analisou-se a evolução da iluminância pela variação simples entre as medidas pontuais.

Para obter as medições de iluminância no laboratório utilizou-se um Luxímetro de rápida resposta da marca Minipa. As leituras seguiram a metodologia apresentada pela ABNT-NBR 5413/1992 e aconteceram no período de janeiro a fevereiro do ano 2013, há uma altura útil de 0,80 m do piso. A Figura 1 (do anexo) apresenta os pontos nos quais o luxímetro foi posicionado para a obtenção da iluminância média. Com as medições realizadas para o cálculo da iluminância média, foram encontrados os valores P, Q, R e T cuja ponderação é dada pela equação 1, a seguir:

$$l_M = \frac{R(N - 1). (M - 1) + Q(N - 1) + T(M - 1) + P}{N.M} \quad (1)$$

Onde N é o número de luminárias e M é o número de lâmpadas, por fila. Os parâmetros iniciais utilizados neste estudo foram aqueles que o laboratório apresenta, sendo ele dividido em dois ambientes retangulares:

- a) O ambiente 1 apresenta as dimensões (C x L x h): 14,48 x 5,22 x 2,90 m, 18 luminárias industriais tipo Muller modelo TCW 502 composto por 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8;
- b) O ambiente 2, por sua vez, tem as dimensões (C x L x h): 18,00 x 8,50 x 2,90 m, 28 luminárias industriais tipo Muller modelo TCW 502 composto por 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8;
- c) Iluminância adequada: E = 300 lux, normatizada pela ABNT-NBR 5413/1992;
- d) Fator do ambiente do trabalho: teto claro, paredes claras e piso escuro.

Para calcular o efeito da manutenção no ambiente foi utilizado o método de Lumens que apresenta o fator de depreciação do ambiente e, neste, inclui o período de manutenção do sistema de iluminação como fator ponderante. O fator de manutenção (d) relaciona o fluxo emitido no fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma considerando o período de manutenção do sistema de iluminação como aquele que preserva (ou degrada) o sistema.

“Tem-se por evidência que quanto melhor for a manutenção das luminárias (limpeza e

substituições mais frequentes), mais alto será este fator, porém mais dispendioso” (CREDER, 2008, p.166). Este valor é visto na tabela 3 e determina uma ponderação para ambientes ou atividades que proporcionem limpeza, normalidade ou sujeira ambiental. Levando em conta o tempo para realização da limpeza das luminárias como 2.500 h, 5.000 h ou 7.500h, considerando ainda que lâmpadas queimadas são substituídas imediatamente após sua queima. Os valores apresentados por Creder são apresentados na Tabela 1.

Tipo de Ambiente	Período de Manutenção (h)		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,8
Sujo	0,8	0,66	0,57

Tabela 1: Valores do coeficiente de depreciação em relação ao tempo de manutenção
Fonte: CRÉDER (2006)

A equação a seguir mostra o cálculo do fluxo luminoso total do ambiente.

$$\varphi_{total} = \frac{E \cdot S}{u \cdot d} \quad (2)$$

Onde E é a iluminância normatizada (lux), S é tida pela área do ambiente (m²), u é o fator de utilização da luminária (adimensional), apresentado na Tabela 2, e d o fator de manutenção do ambiente (adimensional).

Uma vez conhecido o método de Lumens e os valores de iluminância média nas três condições expostas anteriormente foi possível determinar a quantidade mínima de lâmpadas que atenderia a iluminância adequada ao ambiente. O laboratório de Eletromecânica J-25 foi considerado pelos autores deste estudo como ambiente normal de trabalho, cujos resíduos da tarefa são depositados sobre paredes e ambiente de trabalho de forma leve.

O período de uso do laboratório foi levantado em campo, sendo o sistema de iluminação acionado das 18h00 às 23h00, somando 5h diárias. Desta forma os períodos de manutenção foram considerados como 100 semanas (aproximadamente 1 ano), 200 semanas (aproximadamente 1,5 anos) e 300 semanas de intervalo (aproximadamente 2 anos). Os resultados abordaram, de forma comparativa, a quantidade de luminárias e o efeito da manutenção bem como, na forma de tabelas, foram apresentadas a quantidade mínima de luminárias que o laboratório deve apresentar em cada período apresentado.

Para a segunda parte do projeto, que consiste na viabilidade técnica da substituição das lâmpadas, foi feita análise da troca das lâmpadas atuais instaladas no laboratório por lâmpadas de diferentes tecnologias. Inicialmente foi realizado um levantamento das lâmpadas atualmente existentes, verificando se há padrão nas lâmpadas instaladas e controle da data de instalação das mesmas, isto com o objetivo de encontrar a vida útil do sistema atual.

Em seguida foram escolhidos três marcas e modelos de lâmpadas com padrão de encaixe T8 para manter a instalação elétrica e luminárias inalteradas, ou seja, promover a troca das lâmpadas mantendo as luminárias atuais.

Para calcular o número de luminárias necessárias no ambiente foi utilizado também o método de Lumens, utilizando os mesmos dados do que a primeira parte do projeto, de acordo com cada lâmpada escolhida, e as dimensões dos ambientes para calcular o fator do índice local (k), de acordo com a Equação 3, onde C é o comprimento do ambiente, L é a Largura do recinto e H é a distância entre o plano de trabalho e a luminária:

$$K = \frac{C \cdot L}{h \cdot (C + L)} \quad (3)$$

É necessário também determinar o fator do ambiente de trabalho (ρ) que é dado pelo índice de reflexão do teto, das paredes e do piso, sendo estes elementos ponderados conforma a Tabela 2.

fator	Branco	Claro	Escuro
Teto	0,7	0,5	0,3
Paredes	N.A	0,5	0,3
Piso	N.A	N.A	0,1

Tabela 2: Fator do ambiente de trabalho

Para determinar o coeficiente de utilização da luminária (u), relação entre o fluxo luminoso útil recebido pelo plano de trabalho e o fluxo luminoso emitido na luminária. Este coeficiente utiliza o índice do local (K) e o fator do ambiente. Um exemplo do coeficiente de utilização considerando o teto claro, a parede clara ou parede escura e piso escuro é apresentado na Tabela 3, a seguir.

K	Paredes Claras	Paredes Escuras
0,6	0,19	0,16
0,8	0,24	0,21
1	0,28	0,25
1,25	0,32	0,29
1,5	0,35	0,32
2	0,4	0,38
2,5	0,44	0,41
3	0,46	0,44
4	0,49	0,47
5	0,51	0,5

Tabela 3: Coeficiente de utilização da luminária (u)

Fonte: MAMEDE (2002), adaptado pelo autor

Com os dados apresentados, é possível calcular do número de luminárias (n) pela relação entre o fluxo luminoso total e o fluxo luminoso de cada luminária, este dependente do número de lâmpadas que abriga:

$$n = \frac{\varphi_{total}}{\varphi_{luminária}} \quad (4)$$

Como na primeira parte do estudo foram utilizados os parâmetros iniciais que o laboratório apresentou.

Uma vez determinada a quantidade necessária de lâmpadas é realizado o cálculo da viabilidade econômica, por meio dos índices *payback* descontado (PB), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). A taxa de juros escolhida pelos autores foi de 10 % a.a.e a análise do *payback* foi feita considerando o investimento necessário para a aquisição da lâmpada somado à mão de obra para instalá-las. Contra-ponto, a economia gerada na fatura energética devido à instalação deste sistema foi analisada para o cálculo.

O critério escolhido para representar a viabilidade técnico-econômica é que o sistema apresente a iluminância adequada, *payback* menor que 50% da vida útil da lâmpada, VPL positivo e TIR maior que a taxa de juros escolhida.

Para análise da economia gerada foi analisado o tempo de funcionamento das luminárias do referido laboratório e este foi relacionado ao preço pago pela energia (R\$.kW⁻¹.h⁻¹) nas diversas tarifas impostas pelo horário de uso e forma contratual na qual a UTFPR se enquadra atualmente.

3. Resultados e discussões

O levantamento das lâmpadas e luminárias do laboratório apresentou diversidade de 14 tipos de lâmpadas, variando a marca, o modelo e as características técnicas entre elas. As principais diferenças encontradas foram potência elétrica desigual, Temperatura de Cor, Fluxo Luminoso e Vida Útil diferentes. Alguns desses fatores como a temperatura da cor geram desconforto visual por apresentarem na mesma luminária uma lâmpada com luz amarela e outra com luz branca.

Para a manutenção, pode ser feita uma análise dos valores encontrados em cada ponto de acordo com a Tabela 4. Sendo o laboratório dividido em Espaço 1 e Espaço 2, a tabela apresenta as medições nas três condições citadas pela metodologia: Condição 1 representando o ambiente original, sem manutenção ou limpeza no sistema de lâmpadas e luminárias. A condição 2 representando a medição realizada no ambiente com 50% das luminárias e lâmpadas limpas e, por fim, a condição 3 que apresenta as medições de iluminância após todas as luminárias e lâmpadas serem limpas.

Ponto	Espaço 1			Espaço 2		
	Condição 1	Condição 2	Condição 3	Condição 1	Condição 2	Condição 3
r1	314	371	400	356	365	378
r2	338	383	395	322	349	361
r3	316	355	380	325	330	340
r4	290	366	379	279	320	338
r5	405	420	438	238	201	222
r6	393	416	436	234	220	249
r7	376	405	420	209	198	211
r8	381	413	435	144	103	135
t1	159	171	193	262	281	295
t2	161	190	198	220	232	252
t3	104	115	138	256	256	258
t4	133	135	141	193	266	275
q1	320	326	340	246	253	260
q2	360	378	390	232	239	250
q3	247	248	240	250	198	228
q4	224	228	243	249	207	214
p1	123	138	147	223	225	225
p2	110	121	134	297	305	325
Média r	351	391	410	263	261	279
média t	139	153	168	233	259	270

Ponto	Espaço 1			Espaço 2			Conclusão
	Condição 1	Condição 2	Condição 3	Condição 1	Condição 2	Condição 3	
<i>média q</i>	288	295	303	244	224	238	
<i>média p</i>	117	120	141	260	265	275	
Média	272	300	316	255	257	273	

Tabela 4: Medições luminotécnicas dos pontos no laboratório

A iluminância média apresentou evolução com a limpeza realizada, com os valores dados por 272; 300 e 316 lux, respectivamente. A melhoria na iluminância média do ambiente 1 foi de, aproximadamente, 16%. Pode-se observar a limpeza das lâmpadas e luminárias promoveu melhoria pontual de, até, 30% na iluminância medida. A limpeza do sistema promoveu a adequação do sistema de iluminação à norma usada como referência deste estudo.

No ambiente 2 houve aumento discreto na iluminância média final. Esse ambiente não mostrou uma evolução considerável nas medições devido ao fato de 3 (três) luminárias apresentarem defeito após a sua intervenção, ou seja, após efetuada a limpeza os 3 equipamentos deixaram de funcionar.

Como não havia peças de reposição no período do estudo (aquele em que as medições foram realizadas) as medições seguintes foram realizadas com as 3 luminárias avariadas.

Ainda assim houve um aumento de 7% na iluminância média do ambiente inicial (sujo) para a terceira medição (ambiente limpo). Porém o ambiente apresentou iluminância inferior à exigida pela norma de referência.

Para calcular o tempo necessário entre as limpezas, de forma a manter o ambiente com uma iluminância aceitável, é possível utilizar-se do método de lúmens com os valores encontrados no laboratório.

Para tanto as tabelas 5 e 6 usam os fatores de projeto definidos. São eles a distância entre a luminária e o plano de trabalho (HLP) igual a 2,9 m; o fator do ambiente (k) igual a 1,32; o comprimento do espaço 1 (L) igual a 14,48 m; a largura do espaço 1 (W) igual a 5,22 m; a área do espaço 1 (A) igual a 75,59 m² e a iluminância do ambiente (E), conforme a NBR-ABNT 5413/1992 igual a 300 lux.

A Tabela 5, a seguir, apresenta o número de luminárias necessárias para o ambiente 1, considerando que nele deve haver a iluminância de 300 lux, sendo realizada a manutenção periódica no intervalo de tempo de 100, 200 e 300 semanas, respectivamente.

Grandeza	Manutenção periódica, a cada 300 semanas	Manutenção periódica, a cada 200 semanas	Manutenção periódica, a cada 100 semanas
D	0,8	0,85	0,91
N/u	0,32	0,32	0,32
FL (Lm)	88.576,88	83.366,47	78.735,00
Fi (Lm)	5000	5000	5000
N (Luminárias)	18	17	16

Tabela 5- Dimensionamento do espaço 1 com alteração no período de manutenção

A tabela acima mostra que a aplicação da manutenção a cada 100 semanas (bienio aproximadamente) apresenta uma economia de 2 luminárias. E que o ambiente 1, que possui

18 luminárias, para permanecer adequado à norma, pode passar por manutenção a cada 300 semanas (6 anos aproximadamente). Cabe ao gestor definir o custo-benefício a mão de obra gasta para manutenções com menor intervalo de tempo e a redução no custo de aquisição de 2 luminárias bem como na economia da fatura de energia delas.

No ambiente 2, pode-se fazer a mesma aplicação, usando os mesmos dados de projeto. Sendo construída a Tabela 6.

Grandeza	Manutenção periódica, a cada 300 semanas	Manutenção periódica, a cada 200 semanas	Manutenção periódica, a cada 100 semanas
	0,8	0,85	0,9
N/u	0,4	0,4	0,4
FL	143437,5	135000	127500
Fi	5000	5000	5000
N	29	27	26

Tabela 6- Dimensionamento do espaço 2 com alteração no período de manutenção

A Tabela 6, acima, mostra que a aplicação da manutenção bienal apresenta uma economia de 3 luminárias. Tendo o ambiente 28 luminárias, a manutenção ideal deve acontecer no intervalo de aproximadamente 4 anos (300 semanas). Isto para garantir que o ambiente 2 apresente iluminância conforme indicado na norma.

A Tabela 7 apresenta as características das três lâmpadas escolhidas para este estudo:

Lâmpada	Potência (W)	Vida Útil (h)	IRC (%)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura (k)	Preço da lâmpada (R\$)
Phillips TLD De luxe	36	12000	96%	2800	6500	10,96
Philips Master LEDTUBE	19	40000	83%	1650	6500	155,47
Osram Lumilux F032	32	18000	80-89%	2700	3000	18,00

Tabela 7-características das lâmpadas utilizadas para viabilidade técnica

Fonte: Osram (2013); Phillips (2013). Adaptado pelo autor

Realizando orçamento na região, o valor para instalação de duas lâmpadas em uma luminária foi de R\$ 10,00. Já para a instalação da lâmpada Philips Master LEDTUBE o valor cotado foi de R\$ 20,00 sob a justificativa de que são necessárias adaptações elétricas na instalação da luminária. Considerando estes valores como os de instalação de uma luminária. Caso necessário acrescentar luminárias ao sistema já instalado, o valor de aquisição e instalação das novas luminárias foi cotado em R\$ 53,00 cada uma.

A Tabela 8, a seguir, apresenta o fluxo luminoso total, o fluxo luminoso da luminária, o número de luminárias e o número de lâmpadas necessário para atender o iluminamento adequado do laboratório estudado. O método de Lumens foi usado com os seguintes critérios:

- Distância entre a luminária e o plano de trabalho: $h = 2,90\text{m}$;
- Índice do local usado para o ambiente 1: $k = 1,32$;
- Índice do local usado para o ambiente 2: $k = 1,99$;
- Dimensões do ambiente 1 (C x L x h): $14,48 \times 5,22 \times 2,90 \text{ m}$;
- Dimensões do ambiente 2 (C x L x h): $18,00 \times 8,50 \times 2,90 \text{ m}$;

- f) Área do ambiente 1 e do ambiente 2: $A_1 = 75,59 \text{ m}^2$ e $A_2 = 153 \text{ m}^2$;
- g) Iluminância adequada: $E = 300 \text{ lux}$, normatizada pela ABNT-NBR 5413/1992;
- h) Coeficiente de utilização da luminária: $u = 0,32$
- i) Fator de depreciação do ambiente: $d = 0,9$

	Phillips TLD de luxe		Phillips Master LEDTUBE		Osram Lumilux F032	
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 1	Ambiente 2
$\Phi_{\text{total}} \text{ (lm)}$	78.735	159.375	78.735	159.375	78.735	159.375
$\Phi_{\text{lumin.}} \text{ (lm)}$	5.600	5.600	3.300	3.300	5.400	5.400
$N_{\text{por ambiente}}$	15	29	24	49	15	30
$N_{\text{total de luminárias}}$	44		73		45	
$n_{\text{lâmpadas}}$	88		146		90	

Tabela 8 – Número de lâmpadas necessário para atender o iluminamento adequado ao laboratório

A Tabela 8 mostra que o ambiente 1 necessita 15 luminárias Osram Lumilux e Phillips DeLuxe, enquanto são necessárias 24 luminárias Phillips LEDTUBE para que o ambiente tenha iluminância de 300 lux. Mostra ainda que o ambiente 2 necessita 29 luminárias Phillips DeLuxe, 30 luminárias Osram Lumilux e 49 luminárias Phillips LEDTUBE para atingir a iluminância de 300 lux. Observa-se, ainda, da Tabela 8, que se for escolhido instalar o sistema LED será necessária a instalação de mais 27 luminárias no laboratório, uma vez existem apenas 46 luminárias instaladas atualmente no referido laboratório.

O valor para aquisição e instalação de cada um dos sistemas estudados é de: R\$ 1.404,48; R\$ 24.158,62 e R\$ 2.050,00 para os modelos, respectivamente, Phillips DeLuxe, Phillips LEDTUBE e Osram Lumilux.

Considerando uso do sistema de iluminação diário entre 18h00 e 23h00, o que resulta em 25 horas semanais de uso, ou seja, 1300 horas anuais. Levando em conta, ainda, 15 horas semanais de uso no horário de pico com valor de tarifa elétrica vigente (agosto/2013) de R\$ 1,00493 kWh^{-1} e 10 horas semanais no horário fora de pico a vida útil da cada sistema, em anos, foi calculado, sendo o período de vida útil da lâmpada Phillips DeLuxe igual a 9,23 anos, já a lâmpada Phillips LEDTUBE terá um período de 30,77 anos e a lâmpada Osram Lumilux apresenta um período de vida útil igual a 13,85 anos.

Com valor de tarifa elétrica vigente (agosto/2013) de R\$ 0,22597 kWh^{-1} a Tabela 9 apresenta o consumo de energia de cada sistema.

Lâmpada	Consumo semanal (kW.h^{-1})	Consumo Anual (kW.h^{-1})	Consumo Vida Útil (kW.h^{-1})	Fatura consumo (R\$)		
				Mensal	Anual	V. Útil
Atual	92,0	4.784,0	não definido	63,79	3.316,97	não definido
Phillips TLD De luxe	79,2	4.118,4	3.8016,0	54,91	2.855,48	26.358,24
Phillips Master LEDTUBE	43,8	2.277,6	70.080,0	30,37	1.579,16	48.589,69
Osram Lumilux F032	72,0	3.744,0	51.840,0	49,92	2.595,89	35.943,06

Tabela 9 – Consumo de energia e fatura dos sistemas de iluminação estudados, analisados no período semana, anual e ao fim da vida útil de cada sistema.

Os dados da Tabela 9 foram construídos levando em conta que a potência instalada das lâmpadas Phillips DeLuxe, Phillips LEDTUBE e Osram Lumilux é de, respectivamente, 3.168W; 1.752 W e 2.880 W. Considerando, ainda, que a potência instalada do sistema atual é de 3.680 W.

Como não foi possível estimar a vida do sistema atual, uma forma de comparar o consumo atual com uma redução na substituição das lâmpadas é conhecer o consumo do sistema atual no período de vida útil de cada modelo estudado, tendo como resultado uma fatura de R\$ 30.618,16 no período de 9,23 anos; R\$ 102.060,53 no período de 30,77 anos e, por fim, R\$ 45.927,24 no período de 13,85 anos. Com estes dados é possível encontrar a redução da fatura de energia elétrica proveniente da troca das lâmpadas e, conseqüentemente, os índices econômicos *payback*, TIR e VPL. Dados apresentados na Tabela 10, a seguir.

A Tabela 10, que segue, apresenta o sistema LED como inviável, pois apresenta *payback* e Valor Presente Líquido negativos, mesmo apresentando taxa interna de retorno positivo a execução deste projeto não é recomendada.

A lâmpada fluorescente Philips TLD De Luxe apresentou *payback* de 3,4 anos, taxa interna de retorno de 29,69% mostrando que, considerada a taxa de juros de 10 %a.a., a relação entre a economia gerada pelo uso desta lâmpada será 29,69% maior que o valor investido, sendo o valor presente líquido de R\$1.139,33.

Lâmpada	Economia semanal (R\$)	Economia Anual (R\$)	Economia na Vida Útil (R\$)	Indicadores econômicos		
				<i>Payback</i> (ano)	TIR (%)	VPL (R\$)
Phillips TLD De luxe	8,87	461,49	4.259,92	3,4	29,69	1.139,33
Philips Master LEDTUBE	33,42	1.737,80	53.470,84	Negativo	5,38	Negativo
Osram Lumilux F032	13,87	721,08	9.984,18	3,17	34,06	2.774,62

Tabela 10 – Economia na fatura dos sistemas de iluminação estudados e indicadores econômicos dos projetos. Já a lâmpada fluorescente Osram Lumilux F032 apresentou *payback* de 3,17 anos, taxa interna de retorno de 34,06% que, à mesma taxa de juros (10 %a.a.), mostra que a economia gerada será 34,06% maior que o valor investido na aquisição e instalação das lâmpadas, sendo o valor presente líquido de R\$2.774,62.

4. Conclusão

A manutenção das luminárias e lâmpadas é válida para que o ambiente estudado apresente boa iluminação e mantenha-se dentro da iluminação estabelecida pela norma vigente. O estudo mostrou que a aplicação da manutenção pode apresentar uma variação positiva de até 30% na iluminância pontual. Sendo a iluminância média melhorada em 16% no espaço 1 e 7% no ambiente 2, aproximadamente.

Apesar dos problemas encontrados com as lâmpadas que apresentaram defeito durante a realização da pesquisa e não puderam ser substituídas, houve um aumento gradual da iluminação média que comprova a efetividade de um plano de manutenção do sistema de iluminação.

Conclui-se ainda que, para o Ambiente 1, a manutenção ótima deve ocorrer a cada 6 anos enquanto que no ambiente 2 a manutenção ideal tem periodicidade de 4 anos. Sendo recomendado, neste artigo, que a manutenção aconteça com periodicidade de 4 anos.

Substituindo-se lâmpadas queimadas ou defeituosas imediatamente após a ocorrência do defeito, como prevê o método de Lumens.

Este estudo mostrou viabilidade econômica na substituição do sistema atual pelas lâmpadas Phillips DeLuxe e Osram Lumilux F032. A lâmpada fluorescente Philips TLD De Luxe apresentou *payback* de 3,4 anos, taxa interna de retorno de 29,69% e valor presente líquido de R\$1.139,33. Já a lâmpada fluorescente Osram Lumilux F032 apresentou *payback* de 3,17 anos, taxa interna de retorno de 34,06% e valor presente líquido de R\$2.774,62. Sendo esta a melhor opção financeira, recomendada neste projeto.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382** – Verificação de Iluminância em Interiores, 1985
- [2] _____, **NBR 5413** – Iluminância de Interiores, 1992
- [3] COTRIM, Ademaro. **Instalações Elétricas**.4 ed. São Paulo, Prentice Hall 2003
- [4] FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**.6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002
- [5] CREDER, Helio. **Instalações Elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007
- [6] CARVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Curso Técnico em Eletrotécnica – Módulo 1**, Livro 5: Instalações Elétricas Prediais: Teoria e Prática. 22 ed. Curitiba: CCD, 2008

ANEXO

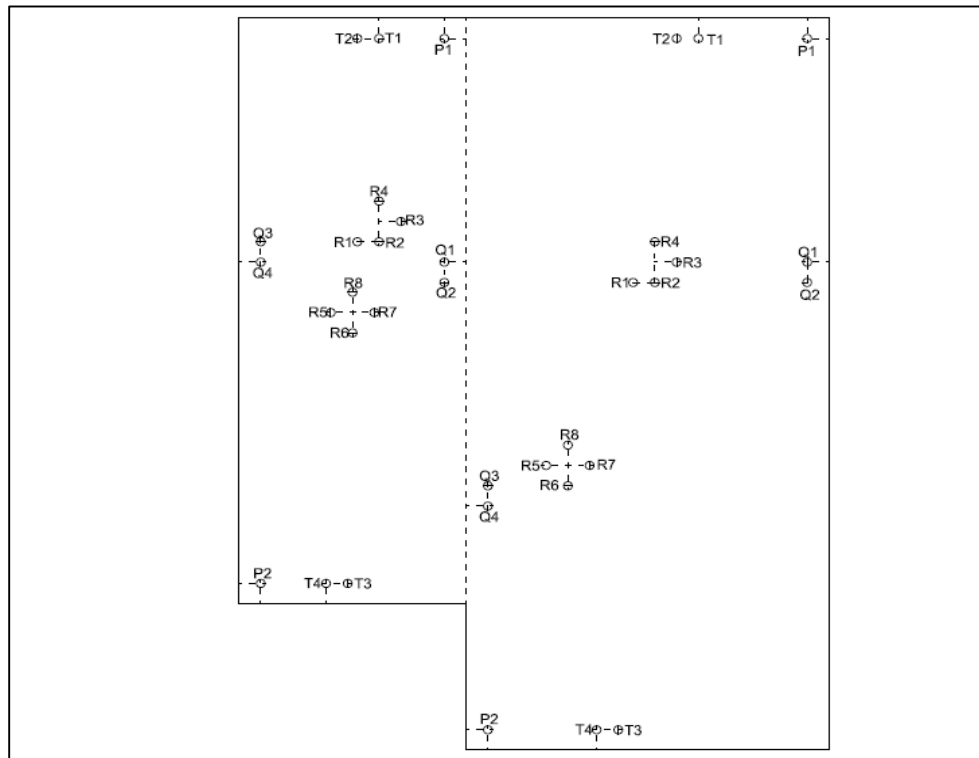


Figura 1 – Croqui com os pontos de medição da iluminância no laboratório J-25

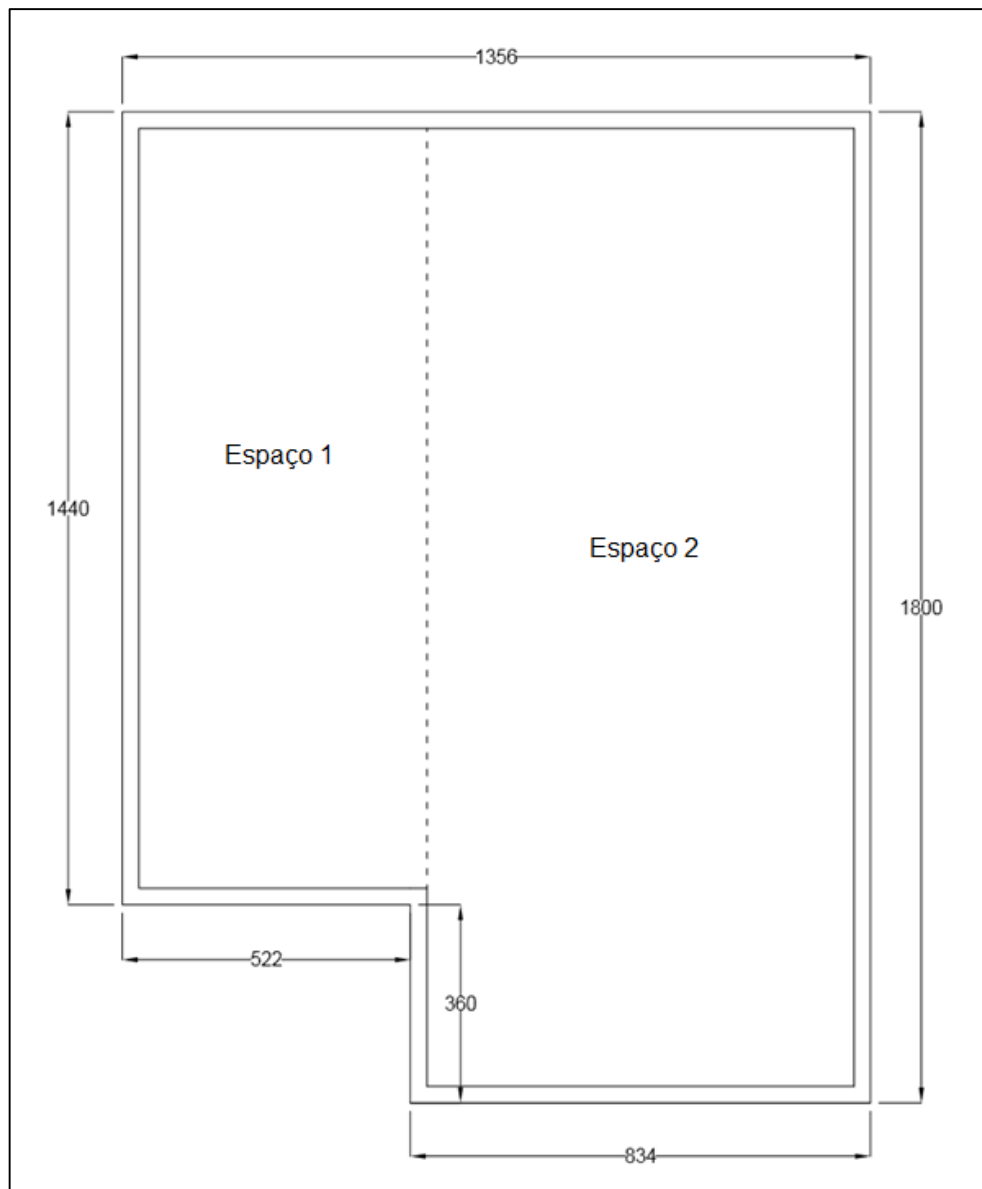


Figura 2 – Planta baixa do laboratório J-25