

## RETROFIT EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PREDIAL – ESTUDO DE CASO COM LÂMPADAS LED

### RETROFIT IN PREDIAL LIGHTING SYSTEMS - CASE STUDY WITH LED LAMPS

Lorena Baptista de Oliveira <sup>1</sup> Márcio Zamboti Fortes <sup>2</sup>  
 Antônio Marcos Estrela Pereira <sup>3</sup>  
 Adriano Pinheiros Fragoso <sup>4</sup> Geraldo Martins Tavares <sup>5</sup>

Data de entrega dos originais à redação em: 08/07/2016  
 e recebido para diagramação em: 18/06/2017

*Devido à importância dos sistemas de iluminação para a realização de tarefas com segurança e precisão, e da depreciação natural associado com estes equipamentos, este trabalho investiga uma possível inadequação dos sistemas de iluminação de uma sala de aula típica de Universidade com os padrões normatizados adotados. Para esta análise, duas salas foram estudadas, a fim de avaliar a qualidade da iluminação nos ambientes. Como referência para as medições, diferentes bibliografias foram usadas para contextualizar os principais conceitos aplicados pela norma ISO\CIE 8995: 2013 e valores comparativos são apresentados.*

*Palavras-chave: Sistemas de Iluminação. Retrofit. LED. Normatização.*

*Given the importance of the lighting system for carrying out tasks safely and accurately, and the natural depreciation associated with it, this work investigates a possible inadequacy of the lighting systems of a classroom with current lighting standard. For this analysis, two sample rooms were investigated in order to evaluate the quality of lighting in these ambiances. As a reference for the measurements, different bibliographies were used to talk the main concepts in addition to the standard ISO\CIE 8995: 2013.*

*Keywords: Lighting Systems. Retrofit. LED. Standard.*

## 1 INTRODUÇÃO

Criar um ambiente de trabalho agradável significa dar ao homem uma melhor qualidade de vida, exercendo uma influência psicológica positiva na realização de suas tarefas. Bem se sabe que um dos aspectos para criação de um ambiente confortável é o sistema de iluminação, que além do conforto é responsável por proporcionar aos usuários a iluminação necessária para a realização de tarefas. (PORTO et al., 2015)

A ABNT NBR ISO\CIE 8995 - Iluminação em ambientes de trabalho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) é a norma que apresenta requisitos mínimos para iluminação de ambiente de trabalho em interiores. Nela são estabelecidos os parâmetros que garantem a locomoção e o desempenho de tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, além da criação de condições de trabalho confortáveis ao usuário.

Segundo Krause et al. (2002) locais de trabalho com condições ambientais favoráveis, ou seja, que atendem às necessidades de seus usuários exercem impactos positivos sobre os mesmos, resultando em melhor desempenho, menor incidência de erros, redução de problemas com a visão e maior produtividade. O contrário também pode ser observado, ou seja, na maioria das vezes, a redução de eficiência e má qualidade no trabalho são consequências da tensão e da fadiga ocular que podem ser ocasionados por sistemas de

iluminação inadequados e brilho direto ou refletido, por exemplo. (FONSECA, 2004)

Na Universidade Federal Fluminense (UFF) alguns fatores que comprometem o sistema podem ser facilmente observados, todos eles ligados a manutenção do sistema e/ou da sala em questão. Bem como a falta de manutenção nas luminárias e lâmpadas provoca ao longo do tempo uma redução no fluxo luminoso, a manutenção das superfícies do ambiente também tem impacto na depreciação da iluminação. Outro aspecto importante é quanto à substituição de lâmpadas e reatores que possivelmente não seguem as especificações corretas de projeto. Assim, devido ao uso incorreto de equipamentos e possíveis depreciações no sistema, pode-se supor a ineficiência do sistema e possível inadequação do sistema de iluminação com a norma vigente.

Tendo em vista tal questionamento, o trabalho que se segue busca fazer um levantamento da iluminação de alguns ambientes de trabalho da escola de engenharia da UFF a fim de verificar a adequação com a ABNT NBR ISO\CIE 8995 e caso comprovada a inadequação propor um projeto de *retrofit* para a melhoria dos ambientes de estudo e adequação à norma de iluminação de ambiente de trabalho. Em especial, neste trabalho será avaliada a aplicação de novos dispositivos de iluminação com tecnologia *Light Emitting Diode* (LED), em que este grupo de pesquisa possui trabalhos publicados sobre o

1 - Mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense.

2 - Mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense.

3 - Mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense.

4 - Laboratório de Luminotécnica - LALBUX - Universidade Federal Fluminense.

5 - Laboratório de Luminotécnica - LALBUX - Universidade Federal Fluminense.

tema, como: PEREIRA et al. (2016), PEREIRA et al.<sup>1</sup> (2015), PEREIRA et al.<sup>2</sup> (2015) e FORTES et al. (2014).

## 2 FONTES DE LUZ ARTIFICIAIS

### A) LÂMPADAS DE DESCARGA

Seu funcionamento está baseado na descarga elétrica ocorrida num gás, mistura de gases ou vapores. Para tanto, faz-se necessária a criação de um campo elétrico proveniente de dois eletrodos ligados a uma fonte de tensão. Quando os átomos do gás sofrem colisão com elétrons provenientes dos eletrodos, eles são excitados e ionizados de forma que haja a liberação de radiação. A intensidade da luz emitida depende do potencial do campo elétrico gerado e sua coloração da natureza do gás (FONSECA, 1976). Uma das principais lâmpadas de descarga é a lâmpada fluorescente de baixa pressão. Ela possui mercúrio no seu interior e material fluorescente na sua camada mais externa, que quando excitado pela radiação UV proveniente da descarga emite luz. (ANDRÉ, 2004)

### B) LÂMPADAS DE ESTADO SÓLIDO

Diferentemente de outras fontes de luz artificiais, as lâmpadas de estado sólido não necessitam de filamentos, eletrodos ou tubos de descarga e são caracterizadas pelo LED e mais recentemente OLED (Organic Light Emitting Diode) que utiliza materiais semicondutores orgânicos, à base de carbono. (FERREIRA, 2014)

As lâmpadas LEDs são compostas por diodos semicondutores que convertem eletricidade em luz visível, por isso sua sigla LED tem como significado Diodo Emissor de Luz (GOEKING, 2009). Seu princípio de funcionamento se dá a partir da inserção de uma fonte de tensão nos terminais de uma junção p-n o que faz com que a banda proibida seja desfeita e os elétrons circulem. Sabe-se que os elétrons possuem maior energia do que as lacunas, assim, quando há a união elétron-lacuna há a liberação de energia na forma de radiação luminosa denominada fóton. (PIMENTA, 2006)

A radiação liberada quando ocorre o estímulo da junção p-n possui frequência bem definida e depende do nível de energia dos materiais utilizados, ou seja, da dopagem e do tipo de material. Na história de evolução dos LEDs foram buscados materiais que permitissem emissões com comprimentos de ondas cada vez menores até que se atingissem o espectro de luz visível. Atualmente já há diferentes cores de LEDs no mercado. (BRAGA, 2014)

## 3 CONCEITOS BÁSICOS

Fluxo Luminoso é a quantidade total de luz emitida por uma fonte em lúmen (lm), em sua tensão nominal de funcionamento. (OSRAM, 2015)

A intensidade luminosa é o valor do fluxo luminoso (em candelas) apontado para uma determinada direção. (OSRAM, 2015)

A Curva de Distribuição Luminosa é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos num plano. (OSRAM, 2015)

Iluminância ou iluminamento é o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada

a certa distância da fonte, ou seja, o fluxo recebido pela unidade de área da mesma. (FONSECA, 1976)

Temperatura de Cor Correlata é a temperatura em Kelvin na qual um corpo negro emite luz na cor idêntica à emitida pela lâmpada a ser comparada, indicando a aparência de cor de luz ou a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas. (FONSECA, 1976)

Índice de Reprodução de Cor (IRC) é o valor que representa a capacidade que as lâmpadas têm de apresentarem um espectro de luz que melhor determine a cor de certo corpo, ou seja, um espectro que melhor se aproxime do espectro da luz solar. (OSRAM, 2015)

## 4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a realização do estudo proposto foi necessário à execução de diversos ensaios, dentre eles o ensaio das salas 430 e 334 e o ensaio das luminárias utilizadas na simulação. Os instrumentos de medição são aqui relatados de maneira resumida.

### A) LUXÍMETRO/COLORÍMETRO

Os luxímetros, ou fotômetros portáteis, são aparelhos comparadores que medem iluminamento. Esses aparelhos em geral, recorrem ao efeito fotoelétrico característico de certos metais ou óxidos metálicos (FONSECA, 1976). Além da medição de iluminância, os colorímetros também estão aptos a fazer a medição de temperatura de cor em ambientes iluminados (KONICA MINOLTA, 2016). Para a medição realizada nas salas de aula foi utilizado o colorímetro CL-200 do fabricante KONICA MINOLTA.

### B) GONIOFOTÔMETRO

O goniôfotômetro é um sistema de medição do fluxo total luminoso e distribuição da intensidade luminosa. Ele faz o levantamento de vários tipos de luminárias e lâmpadas. O goniôfotômetro presente no Laboratório de Luminotécnica da UFF (LABLUX) possui um sistema constituído por um controlador, software, fotômetro e um potenciômetro, além do goniômetro que é o componente principal do sistema (EVERFINE CORPORATION, 2015). A Figura 1 apresenta uma ilustração genérica do equipamento.

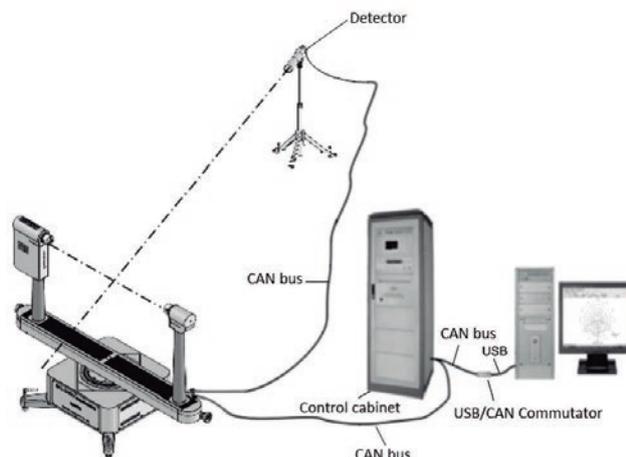


Figura 1 - Componentes do Sistema do Goniôfotômetro. (EVERFINE CORPORATION, 2015)

## 5 ESTUDO DE CASO

### A) MEDIÇÕES

As medições de temperatura de cor e iluminância foram feitas nas salas 430 e 334 do bloco E da Escola de Engenharia da UFF baseadas nas determinações da ABNT NBR ISO\CIE 8995: 2013. Devido ao fato das salas possuírem arranjos distintos, foi necessário coletar pontos de medições diferentes para cada uma delas.

A Sala 430 pode ser caracterizada por possuir arranjo bem definido com mesas e cadeiras fixas. Assim, a medição feita na sala considerou como áreas de tarefa as áreas sobre cada uma das mesas. De posse das dimensões das mesas, foi possível estabelecer por meio do gráfico da Figura 2 os pontos de medição apresentados na Figura 3.

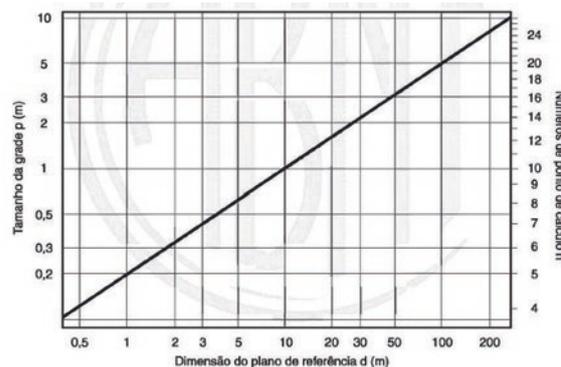


Figura 2 – Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência (ABNT, 2013)

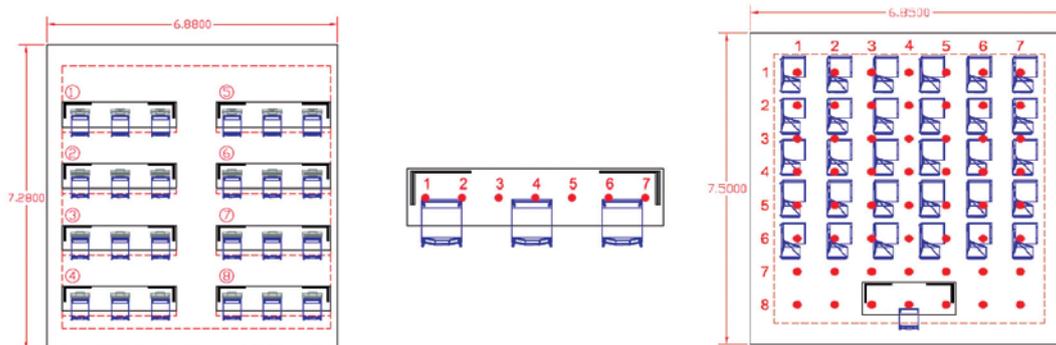


Figura 3 – Arranjo e malha para medição da Sala 430 (a) e Sala 334 (b)

Os dados obtidos a partir das medições para cada área de trabalho estão mostrados na Tabela 1 e 2 onde são apresentados os valores de iluminância e temperatura de cor, respectivamente. As células vermelhas representam os valores de iluminância abaixo do valor especificado por norma e as células verdes os valores de acordo com o recomendado.

Tabela 1 – Medições de Iluminância na Sala 430

MEDIÇÕES ILUMINÂNCIA (lux)									
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA	UNIFORMIDADE
MESA 1	386	427,4	478	486,8	494,1	440	395,7	444,0	0,87
MESA 2	437,3	486,4	546,5	549	546,6	497,7	472,7	505,2	0,87
MESA 3	463,5	491,6	608,7	559,8	611,1	568,6	475,8	539,9	0,86
MESA 4	481,6	541,5	585,8	597,5	577,1	541,3	501,9	546,7	0,88
MESA 5	280,5	245,3	242,5	236,6	213,4	203,4	168,3	227,1	0,74
MESA 6	397,1	379,2	374,3	344,1	333,8	274,3	275,6	339,8	0,81
MESA 7	536,9	551,8	536,3	542,3	491,1	424,4	364,9	492,5	0,74
MESA 8	513,6	537,4	545,2	527,1	487,1	431,6	378,1	488,6	0,77
MÉDIA								448,0	-

Tabela 2 – Medições de Temperatura de Cor na Sala 430

MEDIÇÕES TEMPERATURA DE COR (K)								
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA
MESA 1	4432	4449	4457	4462	4442	4446	4420	4444
MESA 2	4428	4454	4456	4465	4444	4451	4400	4443
MESA 3	4302	4319	4324	4332	4332	4329	4314	4322
MESA 4	4167	4174	4184	4186	4179	4174	4168	4176
MESA 5	4376	4366	4304	4333	4352	4340	4338	4344
MESA 6	4394	4399	4364	4396	4358	4321	4389	4374
MESA 7	4297	4302	4293	4301	4283	4274	4293	4292
MESA 8	4144	4137	4133	4136	4139	4145	4155	4141
MÉDIA								4317

No segundo caso, a Sala 334 possui arranjo desconhecido uma vez que há a possibilidade de movimentação de mesas e cadeiras por toda área útil da sala. Assim, nesse caso os pontos de medição foram dispostos de maneira que toda a sala fosse contemplada. A área foi demarcada a partir de 50 cm de cada parede. Assim, a partir do gráfico da Figura 2 foram obtidos oito pontos de medição para o lado de maior comprimento da sala e sete pontos para o lado de menor comprimento, como apresentado na Figura 3.

Os resultados provenientes das medições de iluminância e temperatura de cor da Sala 334 estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Vale ressaltar que as medições da Sala 334 foram feitas no horário no qual ainda havia alguma influência da luz solar na sala e por isso alguns pontos podem ter tido suas iluminâncias aumentadas bem como a temperatura de cor influenciada pela presença de luz externa na sala.

Tabela 3 – Medições de Iluminância da Sala 334

MEDIÇÕES DE ILUMINÂNCIA (lux)									
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA	UNIFORMIDADE
PONTO 1	118,1	135	139,2	177,5	197,2	258,8	361,8	245,3	0,48
PONTO 2	141,8	160,3	169	204,3	271,2	330,6	328,7		
PONTO 3	152,3	173,5	191,1	216	271	300,5	261,8		
PONTO 4	150,9	180,9	208,6	230,5	258,8	275,8	244,7		
PONTO 5	160,1	205,2	241	257,5	279,6	289,8	253,8		
PONTO 6	193,4	260,4	289,6	307,7	332,6	339,9	298,4		
PONTO 7	224,3	290,3	320,5	337,2	364,1	350,1	307,6		
PONTO 8	235,9	259,2	292,9	293,4	316,9	301	266,5		

Tabela 4 – Medições de Temperatura de Cor da Sala 334

MEDIÇÕES TEMPERATURA DE COR (K)								
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA
PONTO 1	5148	4973	4883	4816	4871	5049	5336	4719
PONTO 2	5058	4950	4897	4903	4961	5050	5127	
PONTO 3	4979	4915	4876	4879	4901	4894	4862	
PONTO 4	5004	4828	4809	4817	4844	4845	4803	
PONTO 5	4886	4677	4699	4740	4773	4801	4821	
PONTO 6	4739	4600	4635	4712	4749	4763	4742	
PONTO 7	4613	4487	4546	4620	4693	4698	4697	
PONTO 8	4528	4431	4515	4580	4680	4674	4624	

Tendo em vista os baixos valores de iluminância medidos nas salas e a não conformidade das salas com a norma de iluminação vigente, foi feita uma simulação no software DIALux a fim de propor um novo sistema de iluminação mais adequado para as salas.

## B) ENSAIO DAS LUMINÁRIAS

Para a realização das simulações fez-se necessário fazer o ensaio das luminárias no goniofotômetro para obtenção dos arquivos .IES. Tal arquivo serve como entrada dos dados fotométricos (fluxo luminoso, curva de intensidade luminosa) no software DIALux e possibilita a visualização das características das luminárias no software para simulação. Os resultados dos ensaios das luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares estão apresentados nas Figuras 4 e 5, bem como os resultados das luminárias com lâmpadas tubulares LED nas Figuras 6 e 7.

- Conjunto1: Luminária, 3 lâmpadas fluorescentes tubulares (36 W) e reator;

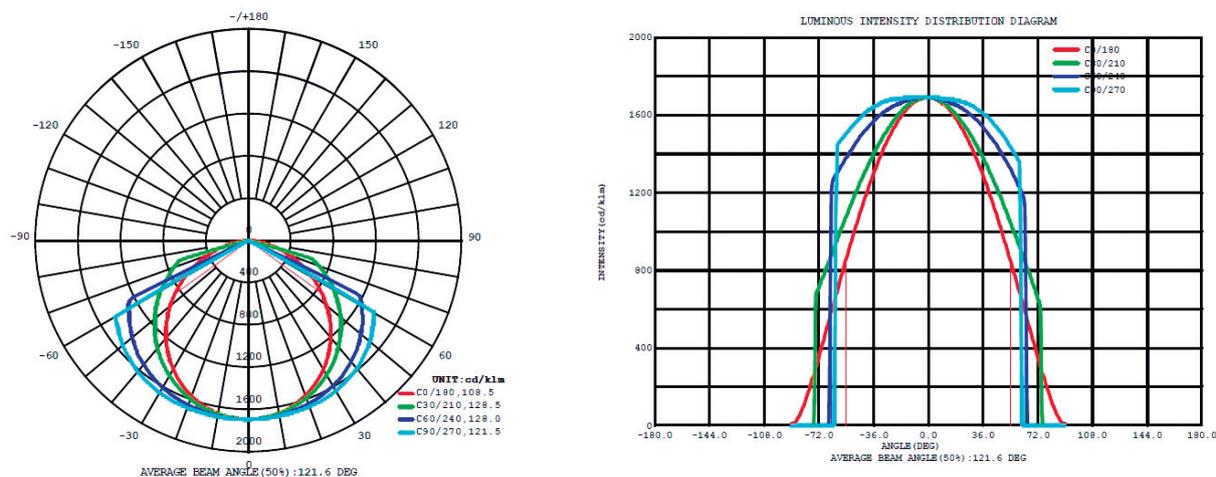


Figura 4 – Curva de distribuição luminosa no conjunto 1

- Conjunto 2: Luminária, 2 lâmpadas fluorescentes tubulares (36 W) e reator;

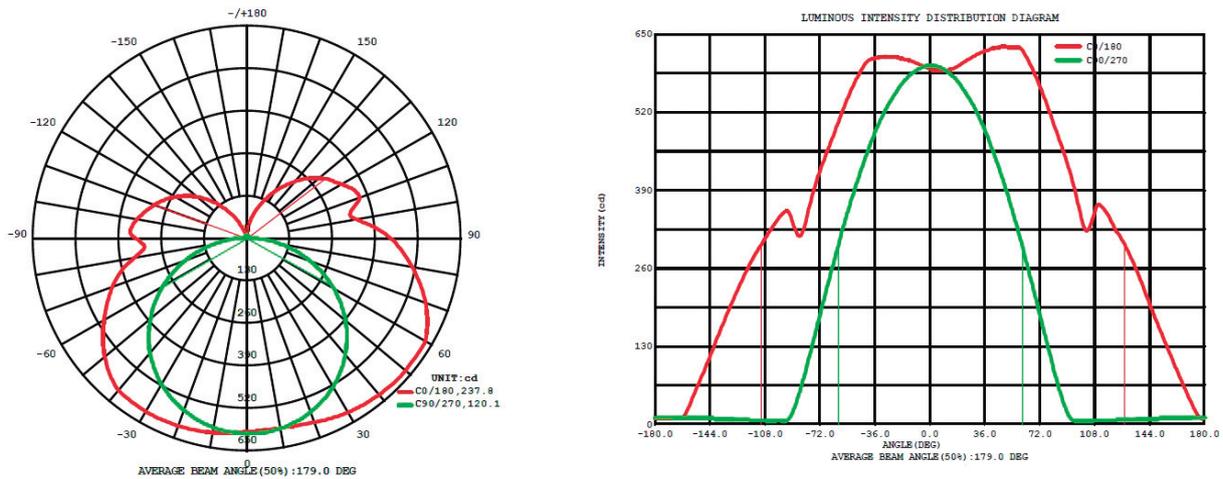


Figura 5 – Curva de distribuição luminosa no conjunto 2

- Conjunto 3: Luminária e 3 lâmpadas LED tubulares (18 W);

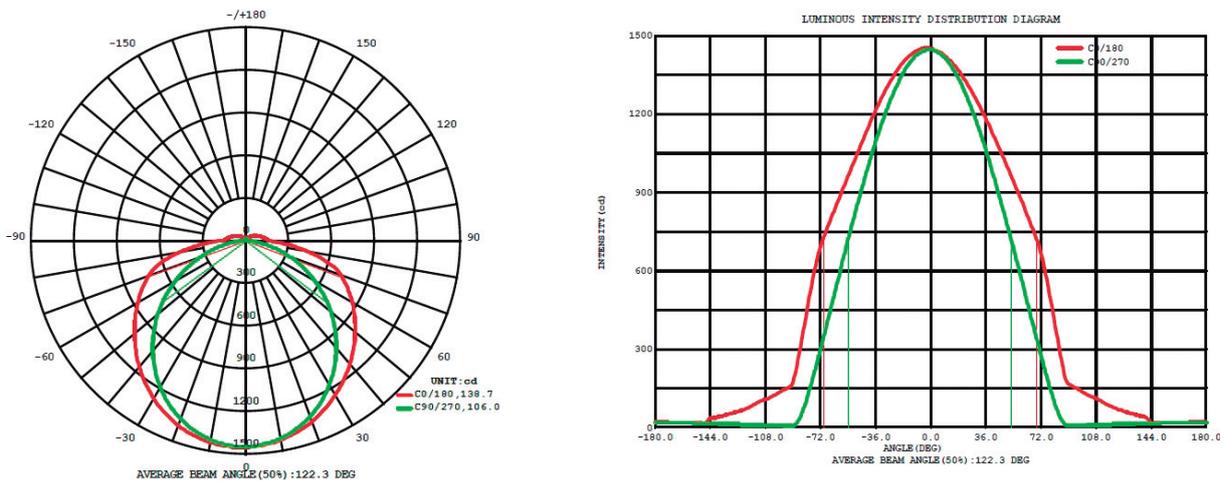


Figura 6 – Curva de distribuição luminosa no conjunto 3

- Conjunto 4: Luminária e 2 lâmpadas LED tubulares (18W);

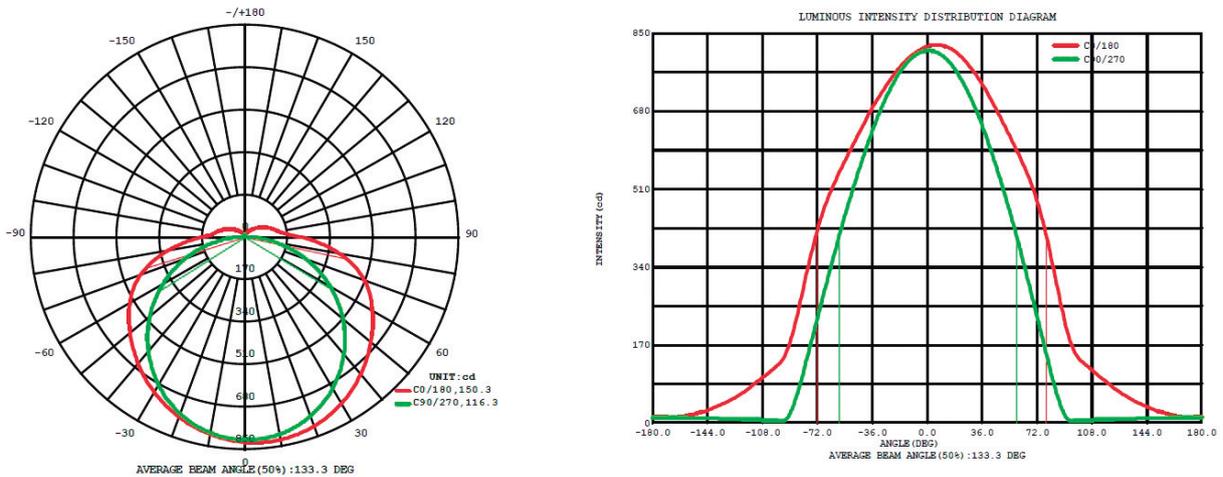


Figura 7 – Curva de distribuição luminosa no conjunto 4

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores dos parâmetros elétricos e ópticos das luminárias medidos durante o ensaio.

Tabela 5 – Parâmetros Elétricos das Luminárias Ensaçadas

PARÂMETROS ELÉTRICOS				
	2 x LFT	2 x LED	3 x LFT	3 x LED
TENSÃO (V)	127,3	127,5	127,3	127,3
CORRENTE (A)	1,064	0,3666	1,354	0,4989
POTÊNCIA (W)	80,24	37,05	107,4	54,96
FATOR DE POTÊNCIA	0,592	0,792	0,623	0,865
POT. APARENTE (VA)	135,5	46,8	172,4	63,5

Tabela 6 – Parâmetros Ópticos das Luminárias Ensaçadas

PARÂMETROS ÓPTICOS				
	2 x LFT	2 x LED	3 x LFT	3 x LED
FLUXO LUMINOSO (lm)	3616	3287	5121	6676
EFICIÊNCIA (lm/W)	45,06	88,72	47,7	121,47

Tabela 7 – Índice do Recinto das Salas

ÍNDICE DO RECINTO (K)		
	SALA 430	SALA 334
a	6,9	6,8
b	7,3	7,5
h	2,2	2,3
K	1,19	1,58

Os valores dos coeficientes de reflexão utilizados na Sala 430 e Sala 334 foram escolhidos a partir das opções de cores disponíveis no software. Esses valores estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficiente de Reflexão da Sala 430

COEFICIENTES DE REFLEXÃO		
	SALA 430	SALA 334
TETO (%)	90	90
PAREDE (%)	85	85
PISO (%)	52	48

### C) SIMULAÇÕES

Para realização do estudo dos sistemas de iluminação foi utilizado o software DIALux na versão 4.12.0.1. Em ambas as salas foram calculadas algumas constantes características usadas como valores de entrada no software bem como a determinação dos parâmetros obtidos na ABNT NBR ISO/CIE 8995: 2013. Os índices dos recintos foram calculados a partir das dimensões das salas para uma iluminação direta utilizando-se a Equação 1. Esses valores estão apresentados na Tabela 7.

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (1)$$

Onde: a = Comprimento do recinto (m); b = Largura do recinto (m) e h = Pé direito útil (m).

Os fatores de manutenção (FM) das salas foram estipulados a partir de tabelas obtidas na publicação CIE 97: 2005. São eles: FSL (fator de sobrevivência da lâmpada), FML (fator de manutenção da luminária), FMSS (fator de manutenção das superfícies de sala), FMFL (fator de manutenção do fluxo luminoso). Tendo em vista os valores da publicação e os valores standard disponíveis no DIALux, foi utilizado para os cálculos o valor de 0,8 para o FM das salas.

Para a Sala 430 a área de trabalho determinada foi escolhida tendo em vista o arranjo fixo das mesas e computadores da sala. Para essa sala foram determinadas oito áreas de trabalho, cada qual abrangendo um conjunto de uma mesa e três cadeiras. O entorno imediato foi delimitado pelo restante da sala, exceto 0,5 m de largura da faixa marginal. Vale ressaltar que a configuração da sala quanto à localização das luminárias e das mesas é fixa não permitindo mudanças no layout.

No caso da Sala 334, a delimitação foi feita de maneira diferente da Sala 430 uma vez que o

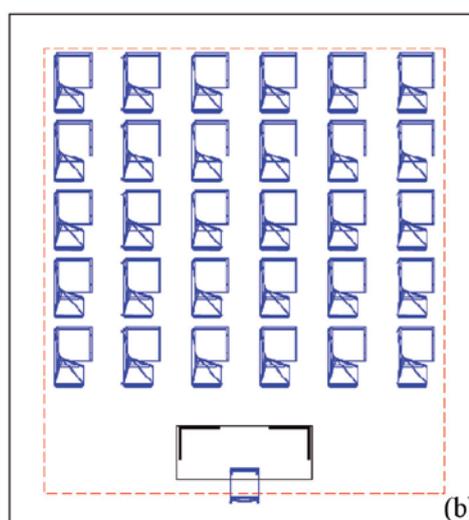


Figura 8 – Área de Trabalho e Entorno Imediato da sala 430 (a) e Área de Trabalho da sala 334 (b)

arranjo do local de trabalho é desconhecido. Assim, a área de trabalho considerada foi à área total da sala menos uma faixa marginal de 0,5m de largura. A Figura 8 apresenta a delimitação das áreas para a sala 430 e para a sala 334, respectivamente.

Para a determinação da iluminância mantida trabalhou-se com pior cenário, isso é, quando as aulas são ministradas no período noturno e, portanto não há a influência da iluminação solar na sala. Logo, para ambos os casos, segundo a ABNT NBR ISO/CIE 8995: 2013 faz-se necessário alcançar o mesmo nível de iluminância mantida nas áreas de trabalho e entorno imediato, ofuscamento unificado e reprodução de cor das lâmpadas. Esses parâmetros estão explicitados na Tabela 9.

Tabela 9 – Índices recomendados pela norma

$\overline{E_m}$	$\overline{E_m}$	UGR <sub>L</sub>	Ra
ÁREA DE TRABALHO	ENTORNO IMEDIATO		
500	300	19	80

A uniformidade das áreas segundo a norma deve ser de no mínimo 0,7 para as áreas de trabalho e 0,5 para o entorno imediato. Para o caso da Sala 334, devido ao fato da área de trabalho considerada ser a sala toda, a uniformidade planejada pode ser no mínimo 0,6, que segundo a norma proporciona uma uniformidade mínima de 0,7 nas mesas individuais. Os resultados das simulações estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Resultados da simulação na sala 430

SALA 430			
	E	u	UGR <sub>máx</sub>
ÁREA DE TRABALHO 1	578	0,907	19
ÁREA DE TRABALHO 2	545	0,929	
ÁREA DE TRABALHO 3	552	0,925	
ÁREA DE TRABALHO 4	585	0,903	
ÁREA DE TRABALHO 5	584	0,908	
ÁREA DE TRABALHO 6	549	0,935	
ÁREA DE TRABALHO 7	554	0,93	
ÁREA DE TRABALHO 8	588	0,901	
ENTORNO IMEDIATO	562	0,848	

Tabela 11 – Resultados da simulação na sala 334

SALA 334			
	E	u	UGR <sub>máx</sub>
ÁREA DE TRABALHO	513	0,874	19

Tabela 12 – Comparação de iluminância nos ambientes

COMPARAÇÃO DA ILUMINÂNCIA (lux)					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍN./MÁX.
SALA 430	SISTEMA ANTIGO	168	611	448	0,28
	SISTEM PROPOSTO	506	629	567	0,80
	VARIAÇÃO (%)	67	3	21	-
SALA 334	SISTEMA ANTIGO	118	364	245	0,32
	SISTEM PROPOSTO	449	573	513	0,78
	VARIAÇÃO (%)	74	36	52	-

Tabela 13 – Comparação Energética

	SISTEMA ANTIGO						SISTEMA PROPOSTO						VARIAÇÃO	
	LUMINÁRIAS		P (W)	S (VA)	FP	E (kWh)	LUMINÁRIAS		P (W)	S (VA)	FP	E (kWh)	P (%)	ΔE (kWh)
	2xT	3xT					2xT	3xT						
SALA 430	2	4	590	961	0,61	1121	2	4	294	348	0,85	558	50	-563
SALA 334	0	6	644	1034	0,62	1224	2	4	294	348	0,85	558	54	-666

O Índice de Reprodução de Cor da lâmpada foi determinado a partir do ensaio das lâmpadas tubulares LED à tensão de 127 V. Como resultado, foi encontrado um valor de 83,9 de IRC, valor acima do valor mínimo especificado pela norma.

Para análise do Retrofit foi feita uma comparação dos resultados obtidos no DIALux e os valores medidos nas salas. Uma vez que os dados para comparação foram obtidos de maneiras distintas a análise que se segue acaba por ser limitada. A Tabela 12 apresenta a primeira análise do sistema, uma análise em termos do iluminamento das salas. Nela estão expostas as médias, os valores mínimos e máximos da iluminância e as variações calculadas. A partir desses valores, é possível observar que a mudança no sistema de iluminação da Sala 430 e na Sala 334 da Escola de Engenharia pode proporcionar uma melhoria na qualidade do sistema uma vez que as variações nos níveis de iluminamento das salas foram reduzidas.

A segunda análise a ser discutida é a análise econômica, uma vez que a inserção de novas tecnologias implica numa necessidade de melhoria também segundo esse aspecto. Para que se obtenha uma vantagem econômica do projeto frente ao sistema atual, o sistema proposto deve ter a capacidade de no mínimo fornecer a mesma iluminância a um menor custo energético. Os dados energéticos obtidos para o período de 1 ano (1900 h) podem ser observados na Tabela 13, onde é feita uma comparação entre ambos os sistemas.

Além dos dois fatores analisados, espera-se que pelo fato de se utilizar nos sistemas um único modelo de lâmpada, no caso com temperatura de cor de 6000K, tal projeto proporcione também uma menor variação da temperatura de cor nas salas e uma tonalidade de iluminação propícia para estudo nas salas, proporcionando um espaço visualmente mais confortável e produtivo para os usuários.

A partir dos resultados obtidos no DIALux e das medições expostas, alguns pontos podem ser destacados, são eles:

- A Iluminância média aumentou 21% na Sala 430 e 51% na Sala 334;
- Houve uma redução do consumo anual de energia de 563 kWh para a sala 430 e 666 kWh para a Sala 334, equivalente a 50,2% e 54,4%, respectivamente;
- Houve a redução de perdas com o novo sistema de iluminação. Do antigo sistema (Lâmpada Fluorescente Tubular + Reator) para o novo (Lâmpada Tubular LED) o fator de potência aumentou de 0,61 para 0,85 na Sala 430 e de 0,62 para 0,85 na Sala 334;
- A eficiência do sistema foi acrescida significativamente, uma vez que a densidade de potência caiu de 11,8 W/m<sup>2</sup> para 5,9 W/m<sup>2</sup> na Sala 430 e de 12,5 W/m<sup>2</sup> para 5,7 W/m<sup>2</sup> na Sala 334, redução de mais do que 50% em ambos os casos.

- Considerando que a maioria da área da Escola de Engenharia da UFF, 10.810 m<sup>2</sup> (NOGUEIRA et al., 2011), é composta por salas onde há a necessidade de leitura, escrita e trabalhos no computador, pode-se estimar que para a maior parte da área fosse recomendado pela ABNT NBR ISO\CIE 8995: 2013 um iluminamento de 500 lux. Assim, assumindo como referência que a densidade de potência dessa área é o valor médio das salas estudadas, calcula-se a economia de 130.862 kWh/ano para a troca do sistema de iluminação de toda a área.

Tabela 14 – Estimativa de Redução de Consumo

ESTIMATIVA PARA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE		
	LFT	LED
ÁREA CONSTRUÍDA (m <sup>2</sup> )	10810,0	
DENSIDADE DE POTÊNCIA (W/m <sup>2</sup> )	12,2	5,8
HORAS DE USO DO PRÉDIO/ ANO (h)	1900,0	1900,0
ENERGIA CONSUMIDA (kWh)	249974,6	119112,5
REDUÇÃO DO CONSUMO (kWh)	130862	
REDUÇÃO DO CONSUMO (%)	52	

#### D) IMPLEMENTAÇÃO

Após a implantação do projeto ser executada para Sala 430 foram feitas medições de iluminância e temperatura de cor nos mesmos pontos medidos inicialmente a fim de comparar os valores antes e após as mudanças na sala. Os valores obtidos nessas medições estão apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Como esperado, a implementação do novo sistema de iluminação na sala 430 proporcionou a adequação do sistema conforme a ABNT NBR ISO\CIE 8995:2013. Vale ressaltar que devido a pequenas diferenças existentes no projeto simulado no DIALux e a sala real, houveram variações nos valores de projeto com relação aos medidos. Apesar dessa variação, foi possível confirmar a importância da simulação e eficácia do projeto por meio das medições.

Tabela 15 – Medição de Iluminância após sistema LED implantado na sala 430

MEDIÇÕES ILUMINÂNCIA (lux)									
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA	UNIFORMIDADE
MESA 1	453,7	506,3	572,1	593,3	599	550,4	531,2	544	0,83
MESA 2	472,7	553,5	610,7	635	632,4	589,9	566	580	0,81
MESA 3	526,3	569,6	647,8	641,9	638,9	593,3	563,9	597	0,88
MESA 4	495,3	552	609,8	630,5	609,3	569	529,4	583	0,91
MESA 5	569,4	608,2	642,6	604,4	562	492,1	440,4	560	0,79
MESA 6	566	582,9	598,3	581,3	548,3	472,9	436,2	541	0,81
MESA 7	618,4	652,2	656,4	636,6	566	507,6	428,9	581	0,74
MESA 8	579,1	611,7	619,2	587,3	527,5	460,3	401,2	541	0,74
MÉDIA								566	-

Tabela 16 – Medição da Temperatura de Cor após sistema LED implantado na sala 430

MEDIÇÕES TEMPERATURA DE COR (K)									
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	MÉDIA	
MESA 1	6038	6074	6089	6091	6085	6092	6063	6076	
MESA 2	6045	6076	6088	6095	6090	6095	6081	6081	
MESA 3	6033	6055	6073	6091	6091	6095	6075	6073	
MESA 4	6000	6019	6044	6049	6047	6042	6034	6034	
MESA 5	6049	6067	6064	6066	6056	6044	6009	6051	
MESA 6	6084	6084	6095	6098	6091	6081	6050	6083	
MESA 7	6095	6108	6113	6120	6120	6101	6090	6107	
MESA 8	6068	6071	6077	6072	6061	6050	6044	6063	
MÉDIA								6071	

## 6 CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que os sistemas iluminação projetados para as salas 430 e 334 da Escola de Engenharia da UFF e já implementado na Sala 430 estão em conformidade com a ABNT NBR ISO\CIE 8995: 2013 – Iluminação em ambientes de trabalho. Essa adequação visa garantir a locomoção e o desempenho de tarefas visuais de maneira precisa e segura, além de alcançar melhoria do desempenho e maior produtividade dos alunos e funcionários da Escola de Engenharia, quando avaliada em longo prazo.

Comprova-se que a tecnologia LED já disponível no mercado brasileiro possui equipamentos que efetivamente produzem redução de consumo e melhor adequação dos ambientes no aspecto luminotécnico. Assim, uma vez extrapolado os cálculos de tal projeto para todo o espaço da Escola de Engenharia da UFF foi possível estimar um aumento de eficiência do sistema com a redução de 52% do consumo anual de energia, o equivalente a 130.862 kWh/ano.

## REFERÊNCIAS

ANDRÉ, A.S. **Sistema eletrônico para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. **ABNT NBR ISO\CIE 8995-1**. Rio de Janeiro, 2013.

BRAGA, N. **Como funcionam os LEDs**. Instituto Newton C. Braga, 2014. Disponível em: < <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096> >. Acesso em: 10 fev. 2016.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems**. CIE 97. Vienna, 2005.

EVERFINE Corporation. **GO-2000 - GONIOPHOTOMETER USER'S MANUAL. Manual do Goniôfotômetro EVERFINE GO-2000.** Hangzhou, 2015.

FERREIRA, A.R. **Iluminação do estado sólido, economia potencial de energia elétrica para o país.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2014.

FONSECA, J. F. **A contribuição da ergonomia ambiental na composição cromática dos ambientes construídos de locais de trabalho de escritório.** Dissertação de Mestrado em Artes e Design. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

FONSECA, R. S. **Iluminação Elétrica.** São Paulo: McGraw-Hill, 1976.

FORTES, M.Z., PEREIRA, A.M.E., FRAGOSO, A.P., TAVARES, G.M. Avaliação de LFC's nos limites de tensão do PRODIST. **Engevista**, v.16, n.3, 2014, pp. 283-291.

GOEKING, W. Lâmpadas e LEDs. Revista Eletrônica: **O Setor Elétrico**, 2009. Disponível em: < <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/176-lampadas-e-leds.html> >. Acesso em: 12 fev. 2016.

KONICA MINOLTA. **Medidor de Croma CL-200A.** Konica Minolta Sensing Americas, 2016. Disponível em: < <http://sensing.konicaminolta.com.br/products/cl-200a-chroma-meter/> >. Acesso em: 22 maio 2016.

KRAUSE, C.B. et al. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica.** Rio de Janeiro: IBAM - ELETROBRÁS / PROCEL, 2002.

NOGUEIRA, D.T. et al. **Estudo de impacto de vizinhança dos campi da Universidade Federal Fluminense.** Rede

Íbero-Americana de Estudo em Polos Geradores de Viagens, 2011. Disponível em: < <http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/banco-de-estudos-de-impactos/Estudo%20de%20Impacto%20de%20Vizinhanca%20-%20Campi%20UFF%20-%20Niteroi%20-%202011.pdf> >. Acesso em: 24 mar. 2016.

OSRAM **Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos.** Curso OSRAM. Osasco, 2015.

<sup>1</sup>PEREIRA, A.M.E., TEIXEIRA, V.A., FORTES, M.Z., TAVARES, G.M., FERREIRA, V.H. **Power Quality Analysis of Domestic Lamps Available in the Brazilian Market.** *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, v.14, 2015, pp. 389-399.

<sup>2</sup>PEREIRA, A.M.E., FORTES, M.Z., FRAGOSO, A.P., TAVARES, G.M. Qualidade de Energia em Lâmpadas LED - Comparação em suas tensões usuais 127 e 220 V. **Proceedings of XI CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica**, Campina Grande, 2015.

PEREIRA, A.M.E.; PAULA, A.C.S., FORTES, M.Z., FRAGOSO, A.P., TAVARES, G.M. Laboratory Test Results for Intelligent Street Lighting Systems. **Proceedings of Workshop of 2<sup>nd</sup> International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)**, v.1, 2016.

PIMENTA, J.L. Aula rápida: LED - Uma fonte de Luz promissora. Revista Eletrônica: **Lume Arquitetura**, 2006. Disponível em: < [http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed23/ed\\_23\\_Aula.pdf](http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed23/ed_23_Aula.pdf) >. Acesso em: 14 fev. 2016.

PORTO, M. M., SILVÉRIO, C.S., SILVA, A.P.F. **O projeto de iluminação na análise ergonômica do trabalho.** 2015. Disponível em: < [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/Id/Arquitetural/interiores/ilumina%E7%E3o%20industrial/o\\_projeto\\_de\\_iluminacao\\_na\\_analise\\_ergonomica\\_do\\_trabalho.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/Id/Arquitetural/interiores/ilumina%E7%E3o%20industrial/o_projeto_de_iluminacao_na_analise_ergonomica_do_trabalho.pdf) >. Acesso em: 07 jul. 2016.