

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

JUNIOR GIACOBBO

**ESTUDOS DE CASO COMPARATIVOS ENTRE
NORMAS DE ILUMINAÇÃO:
NBR 5413 e NBR ISO 8995-1**

**Porto Alegre
2014**

JUNIOR GIACOBBO

**ESTUDOS DE CASO COMPARATIVOS ENTRE
NORMAS DE ILUMINAÇÃO:
NBR 5413 E NBR ISO 8995-1**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica apresentado na Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos.

Porto Alegre

2014

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por me proporcionarem todas as condições e todo o suporte para a concretização desta tão importante conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos, pelo acompanhamento e ótimo aconselhamento ao longo de todo o trabalho, além de toda sua compreensão e conhecimento.

À minha namorada, que é indispensável à minha vida e me dá todo apoio e carinho necessários.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre as normas de iluminação brasileiras: a NBR 5413, que foi revogada em abril de 2013 e a NBR ISO 8995-1, que passou a vigorar desde então. Serão apresentados projetos para uma sala de aula, uma sala bancária e uma metalurgia para usinagem de peças para com cálculos manuais e através do DIALUX para comparação. O nível adequado de iluminação evita fadiga dos usuários e melhora o desempenho para realização das tarefas. O planejamento adequado da iluminação interna alia economia e conforto. Apesar da importância da iluminação de interiores, que nos afeta diretamente em locais de trabalho e lazer, a norma brasileira ficou mais de 20 anos sem atualizações até ser substituída em 2013. A ISO 8995-1 segue padrões internacionais de níveis de iluminação e aborda aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação. O estudo técnico mostrou que os custos envolvidos no projeto são semelhantes, o valor das luminárias com controle de ofuscamento é levemente superior ao valor das luminárias comuns, entretanto, o valor exigido para iluminância é determinante para o custo total do projeto.

Palavras-Chave: Iluminação; Norma NBR 5413, Norma ISO 8995-1.

ABSTRACT

This paper presents a comparative study between Brazilian lighting standards: NBR 5413, which was repealed in April 2013 and ISO 8995-1, which became effective since then. Designs for a classroom, a bank and a metallurgy was showed with manual calculations and through DIALUX for comparison. Appropriate level of lighting prevents fatigue and improves performance users to accomplish tasks. Proper planning of indoor lighting, combines economy and comfort. Despite the importance of indoor lighting that affects us directly at workplaces and leisure, the Brazilian standard was more than 20 years without updates until replaced in 2013. ISO 8995-1 follows international standards for lighting levels and addresses issues quantitative and qualitative lighting. The technical study showed that costs involved in the project are similar, the value of fixtures with glare control is slightly higher than the common lamps, however, the required value for illuminance is crucial to the overall project cost.

Keywords: Illuminance, NBR 5413, ISO 8995-1.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comparativo de eficiência entre diferentes tipos de lâmpadas.....	14
Figura 2: Iluminância	15
Figura 3: Luminância: Luz refletida é visível.....	15
Figura 4: Intensidade Luminosa	16
Figura 5: Luminária LAA 03-E e sua respectiva curva de iluminação	16
Figura 6: Temperatura de Cor	17
Figura 7: Índice de Reprodução da Cor	17
Figura 8: Ofuscamento	18
Figura 9: Ângulo de corte.....	19
Figura 10: Zona crítica de radiação	22
Figura 11: Ângulo de Blindagem	22
Figura 12: Área de Tarefa e Entorno Imediato	25
Figura 13: Luminária LAN do fabricante Lumicenter para a escola	35
Figura 14: Distribuição das luminárias – NBR 5413	38
Figura 15: Cálculo feito no DIALUX – NBR 5413.....	38
Figura 16: Luminária LAA-E da Lumicenter para a escola	39
Figura 17: Distribuição das luminárias na sala de aula – NBR ISO 8995-1	41
Figura 18: Cálculo feito no DIALUX para a escola – NBR ISO 8995-1	41
Figura 19: Luminária LAN da Lumicenter	43
Figura 20: Distribuição de luminárias para a sala bancária – NBR 5413.....	45
Figura 21: Cálculo feito no DIALUX para a sala bancária – NBR 5413	45
Figura 22: Luminária LAA-E da Lumicenter	47
Figura 23: Distribuição de luminárias para a sala bancária – NBR ISO 8995-1	48
Figura 24: Cálculo do DIALUX para o comércio – NBR ISO 8995-1	48
Figura 25: Luminária LHB-S.....	51
Figura 26: Cálculo do DIALUX para a indústria metalúrgica – NBR 5413	52
Figura 27: Distribuição de luminárias para a indústria de metalurgia – NBR 5413.....	53
Figura 28: Luminária LHB-S.....	54
Figura 29: Cálculo do DIALUX para a indústria metalúrgica – NBR ISO 8995-1.....	55
Figura 30: Distribuição de luminárias para a indústria de metalurgia – NBR ISO 8995-1	56
Figura 31: Iluminância em Pontos Distantes da Área de Trabalho– NBR ISO 8995-1	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre luminância e ângulo de corte	19
Tabela 2: Tabela número	23
Tabela 3: Quadro comparativo entre as Normas NBR 5413 e NBR ISO 8995-1	31
Tabela 4: Quantitativo de iluminância para escolas – NBR 5413.....	35
Tabela 5: Fator de utilização	35
Tabela 6: Fatores de Manutenção para Lâmpada Fluorescente	36
Tabela 7: Fator de Manutenção fornecido pela ETAP para luminárias de LED.....	36
Tabela 8: Valores calculados – NBR 5413	37
Tabela 9: Quantitativo de iluminância para escolas – NBR ISO 8995-1	39
Tabela 10: Fator de utilização	40
Tabela 11: Valores calculados – NBR ISO 8995-1.....	40
Tabela 12: Análise de custo para a escola	42
Tabela 13: Quantitativo de iluminância para bancos – NBR 5413	44
Tabela 14: Fator de utilização	44
Tabela 15: Valores calculados – NBR 5413	46
Tabela 16: Quantitativo de iluminância para comércio – NBR ISO 8995-1	46
Tabela 17: Fator de utilização	47
Tabela 18: Valores calculados para o comércio – NBR ISO 8995-1.....	49
Tabela 19: Análise de custo para o banco.....	50
Tabela 20: Quantitativo de iluminância para a indústria – NBR 5413.....	51
Tabela 21: Fator de utilização	51
Tabela 22: Valores calculados para a indústria – NBR 5413	53
Tabela 23: Quantitativo de iluminância para a indústria - NBR ISO 8995-1	54
Tabela 24: Fator de utilização	55
Tabela 25: Valores calculados para a indústria – NBR ISO 8995-1.....	57
Tabela 26: Análise de custo para a indústria	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX: Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ABNT: Associação Brasileira de normas Técnicas

ASBAI: Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação

CEEE: Companhia Estadual de Energia Elétrica do RS

CIE: Comissão Internacional de Eletrotécnica

ETAP: Fabricante belga de luminárias de LED

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LED: Diodo Emissor de Luz

PROCEL: Programa Nacional de conservação de Energia elétrica

UDESC: Universidade do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1.	CONTEXTO	10
1.2.	MOTIVAÇÃO	10
1.3.	OBJETIVOS	12
2	CONCEITOS E DEFINIÇÕES	13
2.1.	CONCEITOS DE LUMINOTÉCNICA	13
2.1.1.	Luz	13
2.1.2.	Cor	13
2.1.3.	Fluxo Luminoso	13
2.1.4.	Eficiência Luminosa	14
2.1.5.	Illuminância ou Iluminamento	14
2.1.6.	Luminância	15
2.1.7.	Intensidade Luminosa	16
2.1.8.	Temperatura da Cor	16
2.1.9.	Índice de Reprodução de Cores (IRC)	17
2.1.10.	Ofuscamento	18
2.1.10.1.	Proteção contra o Ofuscamento	19
2.1.10.2.	Ofuscamento Desconfortável	20
2.1.10.3.	Ofuscamento Inabilitador	20
2.1.10.4.	Reflexão Veladora e Ofuscamento Refletido	20
2.1.10.5.	Controle do Ofuscamento	21
2.1.10.6.	Blindagem	22
2.1.11.	Direcionalidade	22
2.1.11.1.	Modelagem	22
2.1.11.2.	Iluminação Direcional de Tarefas Visuais	23
2.1.12.	Aspectos da Cor	23
2.1.13.	Cintilação e Efeito Estroboscópico	24
2.1.14.	Área da Tarefa e Entorno Imediato	24
2.1.15.	Refletância	26
2.1.16.	Contraste	26
2.1.17.	Uniformidade	26
2.1.18.	Índice do Local (k)	26
2.1.19.	Coeficiente de utilização (μ)	27
2.1.20.	Fator de Depreciação ou Manutenção(D)	27

3	A NORMATIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DE INTERIORES NO BRASIL	28
3.1.	HISTÓRICO	28
3.2.	FORMATO ATUAL	28
3.3.	COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS NBR 5413 E NBR ISO 8995-1	29
3.3.1.	Apresentação	29
3.3.2.	Análise e Diferenças	29
4	ESTUDOS DE CASO	33
4.1.	AS DUAS NORMAS APLICADAS EM UMA ESCOLA	34
4.1.1.	NBR 5413	34
4.1.2.	ISO 8995-1	39
4.1.3.	Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação	42
4.2.	AS DUAS NORMAS APLICADAS NO COMÉRCIO	43
4.2.1.	NBR 5413	43
4.2.2.	ISO 8995-1	46
4.2.3.	Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação	49
4.3.	AS DUAS NORMAS APLICADAS NA INDÚSTRIA	50
4.3.1.	NBR 5413	50
4.3.2.	ISO 8995-1	53
4.3.3.	Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação	57
5	CONCLUSÕES	59
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

De acordo com o Informe da Abilux (Associação Brasileira da Indústria de Iluminação) de 15 de janeiro de 2014 (ABILUX, Informe, Ano 04, n. 32) o setor de iluminação no Brasil fechou 2013 com um faturamento da ordem de R\$ 4 bilhões, crescendo aproximadamente 4% em relação a 2012. A Abilux atribuiu o desempenho positivo à oferta de produtos mais eficientes (fontes de luz e luminárias) e à evolução do mercado com a chegada de novas tecnologias.

Os próximos anos são vistos pelos empresários do setor de iluminação com o otimismo. A preocupação com a qualidade de iluminação é crescente e algumas obras como Copa do Mundo e Olimpíadas favorecem a indústria de iluminação. Existe ainda a expectativa do estabelecimento de uma Política Nacional para o setor de iluminação que apoie o desenvolvimento e a fabricação no território nacional de produtos com tecnologia LED (Light Emitting Diode, ou em português Diodo Emissor de Luz). Entretanto, cabe ressaltar que algumas empresas já iniciaram no País atividades que envolvem a fabricação de produtos com LED, mesmo sem contar com o apoio de uma política nacional para este fim. Outra iniciativa é o trabalho em conjunto de entidades afins na busca de melhorias para o desenvolvimento de projetos de produtos que se destaquem pela tecnologia e design com vistas ao incremento das exportações do setor e a qualificação dos produtos por meio de regulamentações do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e normas ABNT (Associação Brasileira de normas Técnicas).

Nesse amplo cenário da luminotécnica, a iluminação de interiores ocupa papel de destaque, pois se preocupa em criar um ambiente seguro e confortável para a visão, tal que as tarefas sejam executadas da maneira mais concisa e menos cansativa possível.

1.2. MOTIVAÇÃO

Até o início do ano de 2013, as Normas Regulamentadoras NBR 5413 e NBR 5382, eram responsáveis pela instrução da iluminação de ambientes internos. Essas

normas, relativamente obsoletas, não sofriram modificações há bastante tempo. Essa, desde 1985 e aquela, desde 1992.

Em 21 de abril de 2013, passou a vigorar uma nova norma responsável por especificar os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho, a ISO 8995-1.

Segundo a ISO 8995-1 (2013), uma iluminação de qualidade propicia que as pessoas vejam o ambiente, movimentando-se de forma segura e desempenhando tarefas de forma mais rápida. ISO 8995-1 cita que se pode iluminar o ambiente de forma natural, artificial ou combinando ambas.

Uma boa iluminação requer igual atenção para a quantidade e qualidade da iluminação. Embora seja necessária a provisão de uma iluminância suficiente em uma tarefa, em muitos exemplos a visibilidade depende da maneira na qual a luz é fornecida, das características da cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema. Nesta Norma foi levado em consideração não apenas a iluminância, mas também o limite referente ao desconforto por ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo da fonte para especificar os vários locais de trabalho e tipos de tarefas. Os parâmetros para criar as condições visuais confortáveis estão propostos no corpo desta Norma. Os valores recomendados foram considerados a fim de representar um balanço razoável, respeitando os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente do trabalho. Os valores podem ser atingidos com a utilização de soluções energeticamente eficientes. (ISO 8995-1, 2013)

Ainda segundo a Norma, existem os parâmetros ergonômicos visuais: a capacidade de percepção do usuário e as características e atributos da atividade, que determinam a qualidade das habilidades visuais das pessoas que estão utilizando a iluminação. Esses parâmetros determinam também a qualidade do nível de desempenho das tarefas.

Em alguns casos a otimização destes fatores de influência pode melhorar o desempenho sem ser necessário aumentar os níveis de iluminância. Por exemplo, pela melhora do contraste na tarefa, ampliando a visualização de própria tarefa através do uso de equipamentos de auxílio à visão (óculos) e pela provisão de sistemas de iluminação especiais com capacidade de uma iluminação local direcional. (ISO 8995-1, 2013)

Nesse contexto, tendo em vista a importância do tema e também a sua relação com a realidade atual, este trabalho usará a norma ABNT 5413, revogada em abril de 2013 e a norma ISO 8995-1, em vigor a partir de abril de 2013, para a realização de projetos de uma Escola, uma Indústria metalúrgica e uma sala de

atendimento bancário. O trabalho fará um comparativo ressaltando as principais diferenças entre as duas normas, inclusive com uma análise de custos de implantação.

1.3. OBJETIVOS

De acordo com o exposto acima, os objetivos do trabalho estão estruturados da seguinte forma:

- a) Contextualizar o leitor a respeito das normas de luminotécnica, com uma breve descrição histórica;
- b) Definir os principais conceitos de luminotécnica, a fim de permitir um entendimento do trabalho e deixar a leitura autocontida;
- c) Comparar a norma ISO 8995-1/2013 com a NBR 5413/1992, explicitando as principais diferenças;
- d) Projetar, com o auxílio do DIALUX, a iluminação de acordo com as duas normas e usando lâmpadas de LED, para ilustrar o trabalho e permitir as comparações;
- e) Atuar como um instrumento de auxílio no entendimento da nova norma.

2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

De acordo com Hélio Creder (2007, p. 160), para que possamos fazer os cálculos luminotécnicos, devemos tomar conhecimento das grandezas fundamentais baseadas nas definições apresentadas pela ABNT. Sendo assim, os conceitos elencados abaixo darão auxílio para o entendimento dos elementos da luminotécnica.

2.1. CONCEITOS DE LUMINOTÉCNICA

2.1.1. Luz

Segundo Creder (2007, p. 160), a Luz “é o espectro da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinado pelo estímulo da retina ocular”.

A faixa das radiações eletromagnéticas capaz de ser percebida pelo olho humano se situa entre os comprimentos de onda de 3800 a 7600 angströms¹.

2.1.2. Cor

Consoante Creder (2007, p. 161), a cor da luz é determinada pelo comprimento de onda, sendo a luz violeta a de menor comprimento de onda visível do espectro, entre 3800 Å e 4500 Å, e a cor vermelha a de maior comprimento de onda visível, entre 6400 Å e 7600 Å.

2.1.3. Fluxo Luminoso

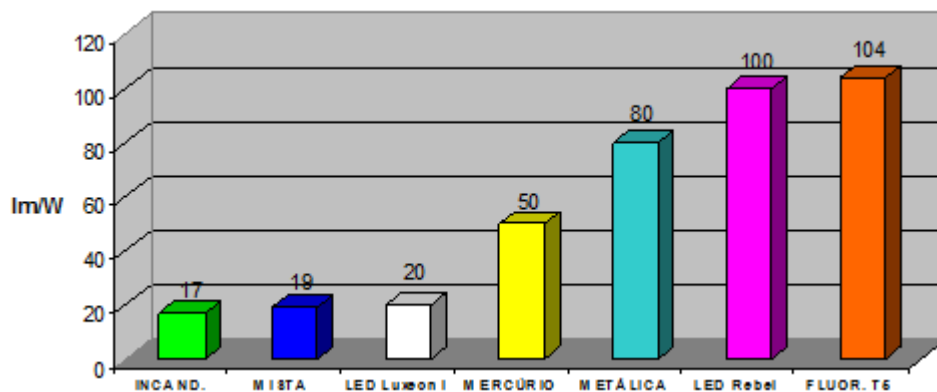
Segundo o Manual da Osram (2000), o Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa entre os limites de comprimento de onda (380 e 780nm). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte na tensão nominal de funcionamento. Sua unidade é o lúmen (lm).

¹ O Angström, cujo símbolo é Å, é o comprimento de onda unitário e igual a dez milionésimos do milímetro

2.1.4. Eficiência Luminosa

O Manual da Osram (2000) ainda diz que as lâmpadas se diferenciam entre si não só pela diferença de fluxo luminoso que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las é necessário que se saiba quantos lumens são gerados por watt absorvido. Sua unidade é o lúmen/watt (lm/W). Na figura 1 se pode observar um comparativo entre vários tipos de lâmpadas:

Figura 1: Comparativo de eficiência entre diferentes tipos de lâmpadas

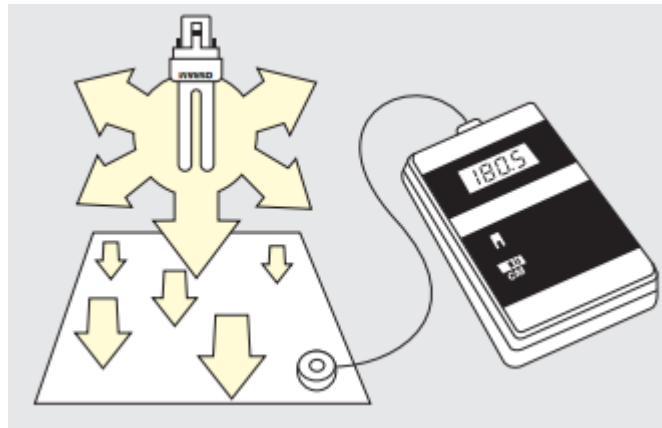


Fonte: Carrion, Daniel Brum (2012, p. 09)

2.1.5. Iluminância ou Iluminamento

A iluminância é a luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície sobre a qual ela incide. Indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a certa distância desta fonte. Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média (E_m). A norma NBR 5413 estabelecia os valores médios de iluminamento até 2013. A partir de abril de 2013 a ISO 8995-1 passou a estabelecer os valores médios para cada ambiente.

Figura 2: Iluminância

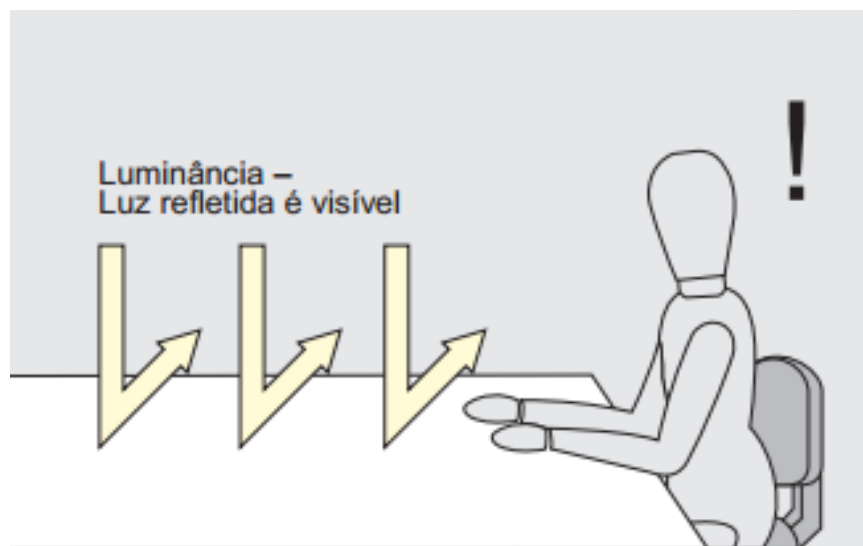


Fonte: Manual Luminotécnico da Osram

2.1.6. Luminância

Está ligada ao brilho, é a diferença entre zonas claras e escuras. Matematicamente, é a razão da intensidade luminosa (dI) incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área (dA) aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero. É expressa em cd/m^2 (candela por metro quadrado).

Figura 3: Luminância: Luz refletida é visível

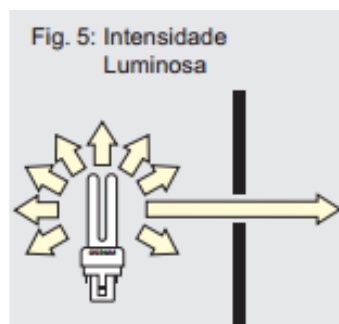


Fonte: Manual de Luminotécnica da Osram

2.1.7. Intensidade Luminosa

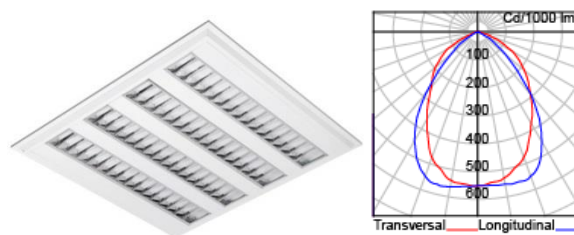
É o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa. É expressa em candela (cd). As lâmpadas comerciais exibem comumente, uma curva de distribuição luminosa. Essa curva é a representação vetorial da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. É obtida ligando-se as extremidades desses vetores, é representada em coordenadas polares e nos diz se a luz é concentrada, difusa, simétrica, etc.

Figura 4: Intensidade Luminosa



Fonte: Manual de Luminotécnica da Osram (p. 03)

Figura 5: Luminária LAA 03-E e sua respectiva curva de iluminação



Fonte: Lumicenter (Catálogo)

2.1.8. Temperatura da Cor

É a grandeza que expressa a aparência de cor da luz. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz. Sua unidade é o Kelvin (K). A “luz quente” é a que tem aparência amarelada e temperatura de cor baixa: 3.000K ou menos. A “luz fria”, ao contrário, tem aparência azul-violeta, com temperatura de cor

elevada: 6.000K ou mais. A “luz branca natural” é aquela emitida pelo sol em céu aberto ao meio-dia, cuja temperatura de cor é de 5.800K.

Figura 6: Temperatura de Cor



Fonte: Manual de Luminotécnica da Osram

2.1.9. Índice de Reprodução de Cores (IRC)

É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural. Lâmpadas com IRC de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. Os índices variam conforme a natureza da luz e são indicados de acordo com o uso de cada ambiente.

Figura 7: Índice de Reprodução da Cor



Fonte: Lumicenter, Informações Técnicas (p. 02)

2.1.10. Ofuscamento

Segundo a Norma ABNT ISO 8995-1 (2013):

Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão e pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido. É importante limitar o ofuscamento para evitar erros, fadiga e acidentes. O ofuscamento inabilitador é mais comum na iluminação exterior, mas também pode ser experimentado em iluminação pontual ou fontes brilhantes intensas tais como uma janela em um espaço relativamente pouco iluminado. (ABNT ISO 8995, 2013)

Para a Norma, no interior de locais de trabalho o ofuscamento desconfortável geralmente surge diretamente de luminárias brilhantes ou janelas. Se os limites referentes ao ofuscamento desconfortável são atendidos, o ofuscamento inabilitador não é geralmente um grande problema.

Figura 8: Ofuscamento



Fonte: Site do Laboratório Nacional de Astrofísica

É importante observar que a norma NBR 5461, de 1991, também tratava de alguns conceitos de ofuscamento, porém, somente definia brevemente o ofuscamento e os tipos de ofuscamento. Pode-se perceber maior preocupação na ISO 8995-1 com o assunto, que além de definir de uma maneira um pouco mais abrangente, também se preocupa em mostrar como evitar os ofuscamentos em locais de trabalho. O ofuscamento pode ocorrer de duas diferentes maneiras:

- a) Contraste: Quando a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual é maior do que 10:1;
- b) Saturação: A visão fica saturada quando existe luz em excesso, ocorrendo normalmente quando a luminância média no campo de visão excede 25000 cd/m² (candelas por metro quadrado).

2.1.10.1. Proteção contra o Ofuscamento

Para a Norma ABNT ISO 8995-1 (2013), a principal causa do ofuscamento são as luminâncias excessivas ou contrastes no campo de visão que podem prejudicar a visualização de objetos. Para a Norma, “convém que isto seja evitado, por exemplo, através da proteção contra visão direta das lâmpadas ou por um escurecimento nas janelas por anteparos”.

Para lâmpadas elétricas ou outras fontes naturais de luz o ângulo de corte, mínimo para proteção da visualização direta da lâmpada não pode ser menor do que os valores da tabela 1:

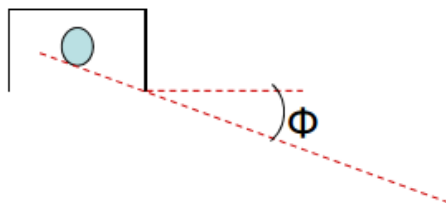
Tabela 1: Relação entre luminância e ângulo de corte

Luminância da lâmpada kcd/m ²	Ângulo de corte mínimo
1 a 20	10°
20 a 50	15°
50 a 500	20°
≥ 500	30°

Fonte: Norma ABNT ISO 8995-1 (2013)

Segundo a NBR ISO 8995-1, ângulo de corte é o ângulo medido a partir do plano horizontal, abaixo do qual a(s) lâmpada(s) são protegidas da visão direta do observador pela luminária conforme a figura 9.

Figura 9: Ângulo de corte



Fonte: UDESC (Iluminação de ambientes de trabalho)

2.1.10.2. Ofuscamento Desconfortável

É aquele que normalmente surge de luminárias brilhantes ou janelas, vem de brilho excessivo entre superfícies adjacentes, perturbando a visão sem necessariamente prejudicar a distinção de objetos.

Conforme a ISO 8995-1 (2013), “o valor referente ao ofuscamento desconfortável de uma instalação de iluminação deve ser determinado pelo método tabular do Índice de Ofuscamento Unificado da CIE (UGR²), baseado na equação:

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25 \cdot \sum L^2 \cdot \omega}{L_b \cdot \rho^2} \right) \quad (1)$$

Onde:

L_b é a luminância de fundo (cd/m²),

L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m²)

ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano)

- ρ é o índice de posição Guth de cada luminária individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão

2.1.10.3. Ofuscamento Inabilitador

É aquele que impede o desenvolvimento da tarefa visual momentaneamente, ocorre quando tem uma intensidade muito grande de luz, normalmente excede 25000 cd/m²

2.1.10.4. Reflexão Veladora e Ofuscamento Refletido

A ISO 8995-1 (2013) afirma que as reflexões especulares em uma tarefa visual, muitas vezes chamadas reflexão veladora ou ofuscamento refletido, podem alterar a visualização da atividade e podem ser prejudiciais.

² UGR (Unified Glare Rating), na sigla em Inglês

A reflexão veladora e o ofuscamento refletido podem ser evitados ou reduzidos se tomadas as seguintes medidas: distribuição de luminárias e locais de trabalho (evitando colocar luminárias na zona prejudicada); acabamento superficial (utilizar superfícies com materiais pouco reflexivos); luminância das luminárias (limite); aumento da área luminosa da luminária (ampliar a área luminosa); teto e as superfícies da parede (clarear, evitar pontos brilhantes). (ABNT ISO 8995-1, 2013)

2.1.10.5. Controle do Ofuscamento

A ISO 8995-1 (2013, anexo C) preocupa-se com o controle do ofuscamento desconfortável e sugere valores máximos e formas de controle.

De acordo com a norma, os limites máximos definidos pelo método UGR estão descritos abaixo:

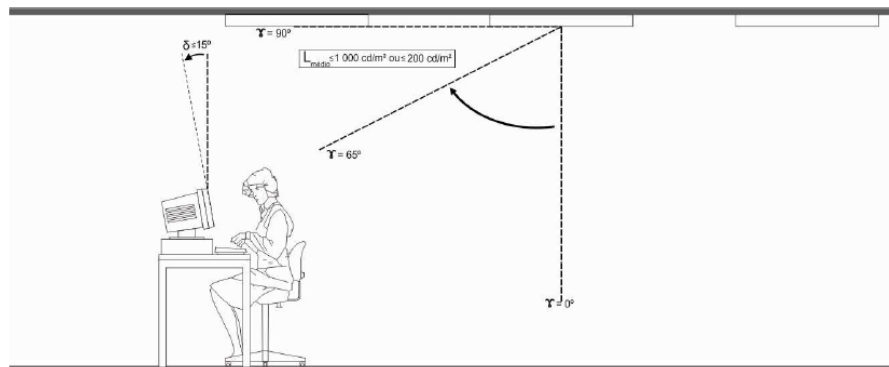
- a) Desenho técnico ≤ 16
- b) Leitura, escrita, salas de aula, computação, inspeções ≤ 19
- c) Trabalho em indústria, exposições, recepção ≤ 22
- d) Trabalho bruto, escadas ≤ 25
- e) Corredores ≤ 28

Na mesma linha de controle, existe a preocupação com o ofuscamento refletido, pois em uma estação de trabalho contendo monitores, a luz refletida na tela pode causar desconforto. A norma sugere ângulo máximo de posicionamento dos monitores e também ângulo máximo do plano de radiação, conforme texto abaixo:

Os limites da luminância são especificados para luminárias que podem refletir ao longo da linha normal de visão de uma tela inclinada até 15° . Como regra geral, 1 000 cd/m² precisa ser observado para a tela de LCD positiva e os monitores CRT com um bom acabamento anti-reflexivo ou anti-ofuscamento e 200 cd/m² para tela de monitores CRT negativos tais como aqueles utilizados para estações de trabalho CAD. (ABNT ISO 8995-1, 2013)

Recomenda-se que as luminâncias especificadas não sejam excedidas em ângulos de elevação 65° a partir de uma vertical descendente em qualquer plano de radiação.

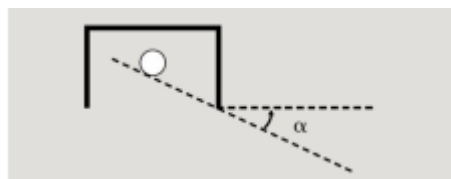
Na figura 10 mostra-se a Zona crítica de radiação (65°) para luminância de luminária que pode provocar brilho refletido em uma tela.

Figura 10: Zona crítica de radiação

Fonte: Norma ABNT ISO 8995-1 (2013)

2.1.10.6. Blindagem

De acordo com a norma NBR ISO 8995-1, é recomendado que as lâmpadas sejam devidamente blindadas, pois o excesso de brilho no campo de visão pode causar ofuscamento. O ângulo de blindagem para as luminárias que são abertas por baixo ou são equipadas com um tampa clara, é definido como o ângulo entre a horizontal e a linha da de visão abaixo da qual as partes luminosas da lâmpada na luminária são visíveis.

Figura 11: Ângulo de Blindagem

Fonte: Norma ABNT ISO 8995-1 (2013)

2.1.11. Direcionalidade

De acordo com a norma NBR ISO 8995-1(2013), a direcionalidade é usada para realçar cores e texturas, sendo que a iluminação direcional pode aumentar a visibilidade. É usada, por exemplo, em museus e exposições de arte.

2.1.11.1. Modelagem

Conforme a Norma ISO 8995-1:

A modelagem se refere ao equilíbrio entre a luz difusa e direcional. Isto é um critério válido da qualidade da iluminação em praticamente todos os tipos de ambientes internos. A aparência geral de um ambiente interno é realçada quando sua estrutura, as pessoas e objetos inseridos nele são iluminados de tal forma que as texturas são reveladas de forma clara e agradável. Isto ocorre quando a luz vem notadamente de uma direção; as sombras formadas são essenciais para uma boa modelagem e são formadas sem confusão. (ABNT, ISO 8995-1, 2013)

2.1.11.2. Iluminação Direcional de Tarefas Visuais

Ainda segundo a ISO 8995-1 (2013), iluminação em uma direção específica pode revelar os detalhes de uma tarefa visual, aumentando sua visibilidade e fazendo com que a tarefa seja realizada mais facilmente. É particularmente importante para tarefas de texturização finas e gravações/entalhes.

2.1.12. Aspectos da Cor

Conforme a ISO 8995-1 (2013), as qualidades da cor de uma lâmpada são caracterizadas por dois atributos: a aparência de cor e a sua capacidade de reprodução de cor, que afeta a cor de objetos e pessoas iluminadas pela lâmpada.

Considerando esses dois atributos separadamente:

- a) Aparência da cor – que se refere à cor aparente (cromaticidade da lâmpada) da luz que ela emite e pode ser descrita pela sua temperatura de cor correlata.

As lâmpadas normalmente são divididas em três grupos de acordo com suas temperaturas de cor correlata (T_{cp}).

Tabela 2: Tabela número

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata
quente	abaixo de 3 300 K
intermediária	3 300 K a 5 300 K
fria	acima de 5 300 K

Fonte: Norma ABNT ISO 8995-1 (2013)

A escolha da aparência da cor depende de fatores psicológicos, estéticos e do que é entendido como natural. Para a ISO 8995-1, a escolha depende da

iluminância, cores da sala e mobiliário, clima e a aplicação. Em climas quentes normalmente é preferencial a aparência da cor de uma luz mais fria, e em climas frios é preferencial a aparência da cor de uma luz mais quente.

- b) Reprodução de cor - É importante tanto para o desempenho visual quanto para a sensação de conforto e bem-estar que as cores sejam reproduzidas de forma correta e natural.

As cores para segurança, de acordo com a ISO 3864, devem sempre ser reconhecíveis e claramente discriminadas.

Para fornecer uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz foi introduzido o índice geral de reprodução de cor Ra. O valor máximo de Ra é 100. Este valor diminui com a redução da qualidade de reprodução de cor.

Não se recomenda a utilização de lâmpadas com Ra inferior a 80 em interiores onde as pessoas trabalham ou permanecem por longos períodos. Pode haver exceções para a iluminação de montagem alta ("high-bay" – iluminação utilizada em alturas de montagem superior a 6 m) e para iluminação externa. Mas 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 que ser reconhecidas. (ABNT, ISO 3864, 2013)

2.1.13. Cintilação e Efeito Estroboscópico

A cintilação causa distração e pode provocar efeitos fisiológicos como dores de cabeça. Convém que o sistema de iluminação seja projetado para evitar a cintilação e os efeitos estroboscópicos. Os efeitos estroboscópicos podem levar a situações de perigo pela mudança da percepção de movimento de rotação ou por máquinas alternativas (de movimento repetitivo).

2.1.14. Área da Tarefa e Entorno Imediato

Área da tarefa é definida como a área parcial no local de trabalho em que a tarefa visual é realizada. O desempenho visual necessário para a tarefa visual é

determinado pelos respectivos elementos visuais (tamanho dos objetos, contraste de fundo, luminância dos objetos e tempo de exposição) da atividade realizada.

Para os locais onde o tamanho e/ou a localização da área da tarefa é desconhecida, a área onde o trabalho pode ocorrer é considerada como a área da tarefa.

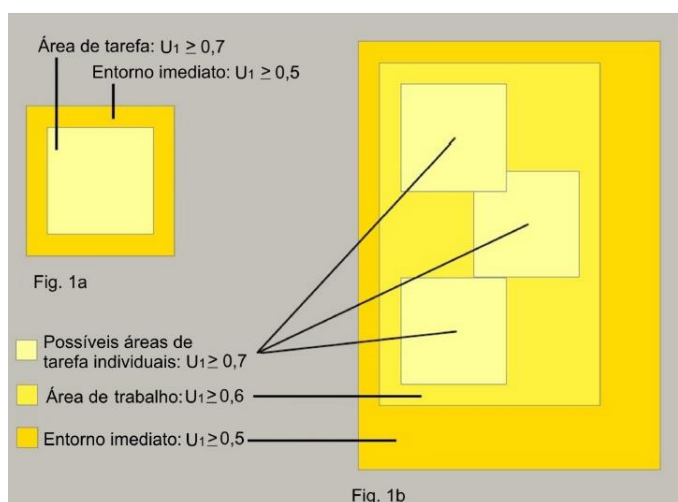
O entorno imediato é definido como a área ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão.

Recomenda-se que esta imediação seja de pelo menos de 0,5 m de largura e pode ser considerada como uma faixa ao redor da área da tarefa.

Quando em um sistema de iluminação, a localização precisa da tarefa visual não tiver condições de ser definida devido a localização ser desconhecida ou a atividade realizada envolver um número de tarefas visuais diferentes, é recomendado que as diversas áreas de tarefa sejam combinadas para formar uma área maior (referenciada a seguir como a área de trabalho). Onde a localização dos locais de trabalho for desconhecida, esta área de trabalho pode também ser a sala inteira.

Se a distribuição da iluminância nestas áreas maiores tem uma uniformidade de $U_1 > 0,6$, pode ser assumido que o $U_1 > 0,7$ necessário é sempre atendido nas áreas de tarefa individuais (ver Figura 12).

Figura 12: Área de Tarefa e Entorno Imediato



Fonte: Norma ABNT ISO 8995-1 (2013)

2.1.15. Refletância

A refletância é definida como a relação entre o fluxo luminoso incidente e o refletido. Ela é diretamente relacionada com a cor, pois quanto maior a refletância, melhor será a distribuição do fluxo e maior será a iluminância do recinto.

A NBR ISSO 8995-1 sugere as seguintes faixas de refletância úteis para as principais superfícies internas:

- teto: 0,6 - 0,9
- paredes: 0,3 - 0,8
- planos de trabalho: 0,2 - 0,6
- piso: 0,1 - 0,5

2.1.16. Contraste

O contraste é a diferença de brilho entre um objeto e seu entorno.

A norma NBR ISO 899-1 observa que: Contrastes de luminâncias muito altos causam fadiga visual devido à contínua readaptação dos olhos. e contrastes de luminância muito baixos resultam em um ambiente de trabalho sem estímulo e tedioso.

2.1.17. Uniformidade

É a relação entre o valor mínimo e o valor médio de iluminância em um ambiente. A ISO NBR 8995-1 recomenda que esse valor seja superior a 0,7 na área de tarefa e superior a 0,5 no entorno imediato.

2.1.18. Índice do Local (k)

É um índice que depende das dimensões do ambiente projetado, quanto mais estreito e alto for um local, mais luz as paredes absorvem; quanto mais largo for o local, menos luz as paredes absorvem. Varia conforme o fabricante, mas é uma relação entre comprimento largura e altura, nesse trabalho, será considerado o índice local (ou fator local) definido pela Philips como:

$$K = \frac{lx_b}{h(l+b)}, \text{ onde:} \quad (2)$$

$l = \text{comprimento do local}$

$b = \text{largura do local}$

$h = \text{altura entre a luminária e o plano de trabalho}$

2.1.19. Coeficiente de Utilização (μ)

Nem todo o fluxo emitido (φ_e) atinge o plano de trabalho (φ_u), surge então, um índice que relaciona o fluxo emitido e o fluxo incidente nesse plano. O quociente entre o segundo e o primeiro chama-se coeficiente de utilização:

$$\mu = \frac{\varphi_e}{\varphi_u} \quad (3)$$

O coeficiente de utilização depende do índice de local (K), do coeficiente de reflexão de teto e paredes e do sistema de iluminação e luminárias utilizadas. Para determinar este valor, recorre-se à tabela do Fator de Utilização disponibilizada pelo fabricante ou usamos programas de cálculo luminotécnico que determinam esse valor automaticamente.

2.1.20. Fator de Depreciação ou Manutenção(D)

Leva em conta o envelhecimento das lâmpadas e das luminárias e a sujeira que se acumula dentro delas diminuindo os fluxos luminosos. Para evitar que em pouco tempo a iluminância se torne demasiado baixa, deve-se sobredimensionar inicialmente o valor do fluxo a calcular, e levando em conta um fator corretivo que é o fator de depreciação. A ISO 8995-1 considera o fator de manutenção como um múltiplo de fatores determinado a seguir:

$MF = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS$, onde: FMFL considera a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada; FSL considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada; FML considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias e FMSS considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala. Os valores dos fatores de manutenção individuais podem ser obtidos através dos fabricantes ou ser encontrados em curvas de valores médios padrão em publicações de iluminação como a CIE 97. (ABNT, ISO 8995-1, 2013)

3 A NORMATIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DE INTERIORES NO BRASIL

3.1. HISTÓRICO

A normatização de interiores no Brasil, remonta ao ano de 1958, quando em 01 de janeiro daquele ano a NBR 5413 teve sua publicação oficial para estabelecer os níveis de iluminamento recomendados, obtidos com iluminação artificial, para interiores. Desde então, a norma foi atualizada algumas vezes: em 1969, 1982 e 1992; a norma teve atualizações que não trouxeram grandes novidades nem grandes diferenças. A última novidade, que passou a vigorar a partir de 2013, foi a publicação de uma nova norma que revogou as anteriores (NBR 5413 e NBR 5382).

3.2. FORMATO ATUAL

A nova norma, baseada em normas internacionais, começou a tomar forma em 2009. Entre 2009 e 2013 foram realizadas 13 reuniões com a participação de diversas instituições: ABILUX, CIE) Brasil (Comissão Internacional de Eletrotécnica), ASBAI (Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação), Eletrobrás, Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), Inmetro, Fundacentro, universidades, arquitetos, lighting designers, fabricantes de equipamentos, laboratórios e concessionárias de energia elétrica. A NBR ISO 8995-1 foi publicada em 21/03/2013 com nova nomenclatura, pois se baseou na norma internacional ISO 8995-1 Lighting of indoor workplaces, elaborada em conjunto com a CIE (CIE S 008/E) e consonante com a norma europeia 12464-1- Lighting of workplaces.

A nova norma aborda aspectos qualitativos e quantitativos da iluminação para que as pessoas desempenhem suas tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança. A nova norma tem uma preocupação com eficiência energética, buscando utilizar também a luz natural quando possível.

3.3. COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS NBR 5413 E NBR ISO 8995-1

3.3.1. Apresentação

A nova norma trouxe uma série de melhorias em relação à anterior. Ela é baseada em normas internacionais e possui muito mais itens do que anterior. Para se ter uma ideia, a NBR 5410 possui 13 páginas e a NBR ISO 8995-1, 46 páginas.

3.3.2. Análise e Diferenças

A NBR ISO 8995-1 baseia-se na Norma Internacional ISO 8995-1 (Lighting of indoor workplaces), elaborada em conjunto com a CIE (CIES 008/E) e encontra-se em consonância com a norma europeia EN 12464-1 (Lighting of workplaces).

Dentre as alterações ocorridas após a edição da nova norma, podemos verificar uma mudança significativa de nomenclatura. Antes a norma era exclusivamente brasileira e não possuía referência à CIE. Agora, a norma segue a ISO e tornou-se norma internacional.

Dentre as diferenças verificadas, pode-se citar que a NBR 5413 levava em conta a idade, a velocidade e precisão da tarefa e a refletância de fundo para o projeto de iluminação, já a ISO 8995-1 excluiu a idade como variável de projeto. Apesar de a capacidade visual ficar prejudicada com o passar dos anos, seria difícil planejar ambientes para uma faixa etária específica. É difícil imaginar, por exemplo, uma sala de aula ou uma indústria sendo ocupada por uma faixa etária específica.

A NBR ISO 8995-1 criou um novo ambiente recomendado quando a idade pode ser um valor relevante, por exemplo, para salas de aula, a norma separou-as em diurnas e noturnas e também o ensino adulto do infantil. Apesar de não levar em conta a idade, a nova norma preocupa-se muito com os problemas gerados pelo ofuscamento, pois com uso cada vez mais frequentes de monitores de LED, o ofuscamento desconfortável aparece com mais frequência em ambientes de trabalho. As telas de monitores de LED são altamente reflexivas provocando ofuscamento desconfortável

Na norma antiga, os projetos levavam em conta apenas a iluminação em geral, a nova norma define o que é tarefa e entorno imediato, diferenciando os níveis de iluminância para essas áreas.

É importante separar a área de tarefa do entorno pois essa separação pode gerar uma economia nos custos de instalação de projeto e de energia elétrica, uma vez que a uniformidade recomendada para entorno imediato é inferior à uniformidade recomendada para área de trabalho. Esta recomenda uniformidade de 0,7, aquela de 0,5. O conforto e a segurança estão presentes na nova norma. Em zonas de transição, por exemplo, corredores que ligam salas com iluminamento diferentes, a ISO 8995-1, determina que se tenha uma zona de transição para evitar mudanças bruscas de iluminação. Em locais onde existem cores para segurança, por exemplo, estacionamentos, postos de combustíveis, túneis e fornos, a ISO 8995-1 exige que as cores sejam facilmente reconhecíveis, independente do iluminamento exigido para a área da tarefa. Na norma nova também é possível verificar uma preocupação com a eficiência energética, que leva em conta, por exemplo, a luz natural e especifica manutenções (depreciação de lâmpadas, desgaste de luminárias e superfícies).

Embora a manutenção seja uma evolução importante na NBR ISO 8995-1, pois especifica um método de cálculo para o fator de manutenção considerando a depreciação do fluxo luminoso, o envelhecimento, a redução do fluxo luminoso com o passar do tempo e a redução da refletância devido à sujeira, ela não contempla uma tabela de fatores característicos para LED, contemplando apenas lâmpadas fluorescentes, lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas de vapor de sódio.

Ao contrário da norma atual, a NBR 5413 não abordava o Índice de reprodução da cor e a temperatura da cor, preocupava-se apenas com os níveis de iluminância. Para algumas classes de tarefa, a NBR ISO 8995-1 determina a temperatura da cor, por exemplo, para atividades de pintura e controle de qualidade, a temperatura da cor mínima exigida é de 4000k. O índice de reprodução da cor também é exigido, e quanto mais crítica for a atividade, maior é o índice de reprodução da cor exigido, para uma ideia inicial, o IRC exigido para uma sala cirúrgica é de no mínimo 90, enquanto o IRC exigido para tarefas industriais sem precisão é de 60. Outra novidade importante é a grade de cálculo que define distâncias entre pontos de iluminação. Nesse caso, uma sala pequena tem uma distância menor entre os pontos de iluminação do que uma sala grande.

Um quadro comparativo com as principais diferenças entre as normas está apresentado abaixo:

Tabela 3: Quadro comparativo entre as Normas NBR 5413 e NBR ISO 8995-1

Fatores	Norma NBR 5413	Norma NBR ISO 8995-1
Idade	A idade era um fator importante no projeto. Era apresentada uma grade dividida em três grandes grupos de idade: inferior a 40 anos, entre 40 e 55 anos e acima de 55 anos	Não contempla
Índice de ofuscamento	Não contempla	É uma das grandes inovações da nova norma. É abordado o ofuscamento direto, o ofuscamento refletido e são indicados valores de referência. A norma preocupa-se também com o controle de ofuscamento. São definidas salas-padrão para controle de ofuscamento
Refletância	Era dividida em três grandes grupos: até 30%, de 30% a 70% e acima de 70%	Definiu faixas padrão de refletância para teto, paredes, pisos e planos de trabalho
Dificuldade e Precisão da Tarefa	Dividida em três grandes grupos: Sem importância, Importante e Crítica	É contemplada juntamente com o ofuscamento, o índice de reprodução da cor e a Iluminância, com valores de referência para as principais tarefas e ambientes
Índice de Reprodução da Cor	Não contempla	Sugere que o fabricante de cada lâmpada forneça os valores

Área de Tarefa e Entorno imediato	Não contempla	A área de tarefa foi definida como a área onde a tarefa é executada e o entorno imediato como uma zona de 0,5 metros ao redor do plano da tarefa. Especifica valores que podem ser diferentes para área e entorno
Manutenção	Não contempla	O anexo D trata da manutenção do sistema de iluminação. A norma explica o que deverá ser considerado em uma manutenção, como depreciação de lâmpadas, manutenção de luminárias e de superfícies da sala, e dá exemplos de quais devem ser os fatores de manutenção em função do tipo de ambiente e da periodicidade de limpeza
Grade de Cálculos	Não contempla	O anexo B recomenda critérios para elaboração de projetos em softwares com as diferentes geometrias, recomenda espaçamento entre lâmpadas para diferentes tamanhos de salas
Uniformidade	Não contempla	Recomenda que seja superior a 0,7
Temperatura da Cor	Não contempla	Recomenda, em determinados ambientes, temperatura mínima da cor

Fonte: Elaborada pelo autor

4 ESTUDOS DE CASO

A adequação dos níveis de iluminância é parte fundamental de um bom projeto luminotécnico e o LED apresenta-se como uma tendência interessante devido à longa vida útil e ao baixo consumo de energia, portanto, para os estudos de caso a seguir serão usadas lâmpadas de LED do fabricante Lumicenter. O método de cálculo usado será o método dos lumens, com a adaptação para cada uma das normas.

O método consiste nos passos abaixo:

1) Verificação do Iluminamento de acordo com a norma: Escolha, vide tabela definida em norma, da quantidade de luz para o ambiente projetado;

2) Escolha da lâmpada e da luminária: Determinação do modelo e potência da lâmpada e do modelo da luminária;

3) Cálculo do fator local através da equação (2);

4) Determinação do fator de utilização: O coeficiente de utilização depende do índice de local (K), do coeficiente de reflexão de teto e paredes e do sistema de iluminação e luminárias utilizadas. Para determinar este valor, recorre-se à tabela do Fator de Utilização constante do folheto da luminária escolhida. Cruza-se o valor do Índice do local (K) com os coeficientes de reflexão do espaço a ser iluminado;

5) Determinação do fator de depreciação: Para evitar que em pouco tempo a iluminância se torne demasiadamente baixa, deve-se sobredimensionar inicialmente o valor do fluxo a calcular, levando em conta um fator corretivo chamado fator de depreciação;

6) Cálculo do fluxo total. Depois de conhecidas todas as grandezas anteriores, podemos finalmente calcular o fluxo que deve ser instalado através da equação: $\Phi = \frac{S \times E}{\eta \times \mu}$, onde: (4)

S = Área do ambiente

E = Valor do iluminamento exigido

η = Fator de Manutenção

μ = Fator de utilização

7) Determinação do número de luminárias: Divide-se o fluxo total pelo fluxo individual fornecido pelo fabricante da lâmpada;

$$N = \frac{\Phi_t}{\Phi}, \quad (5)$$

Φ_t = fluxo total

Φ = Fluxo de cada lâmpada

8) Distribuição das luminárias.

4.1. AS DUAS NORMAS APLICADAS EM UMA ESCOLA

As salas de aula objeto deste estudo possuem as seguintes dimensões: 12 metros de comprimento, 8 metros de largura e 3 metros de altura (pé direito). As paredes possuem refletâncias de 80% no teto (cor clara), 50% nas paredes (cor claro-média) e 20% no chão (cor escura).

4.1.1. NBR 5413

Abaixo será apresentado o projeto para uma sala de aula de uso noturno e adulto usando a NBR 5413 com iluminação com lâmpadas de LED.

O primeiro passo é verificar na norma a quantidade de luxes especificada. Nesse ponto, surge a primeira dúvida para um projetista que se baseia na norma NBR 5413, pois a norma especifica três faixas de iluminância para cada ambiente. Essas três faixas, variam de acordo com: idade dos ocupantes, precisão da tarefa e refletância de fundo. Isso acarreta em dificuldade para prever a faixa etária predominante de usuários do local, bem como o nível das tarefas desempenhadas. Como exemplo, imagina-se uma sala de aula que é usada para o ensino médio e para uma aula de desenho técnico para a terceira idade. É fácil perceber que o tipo de tarefa mudaria drasticamente entre os usos, bem como a idade dos usuários.

O item 5.3.13 da NBR 5413 fornece os três valores iluminância.

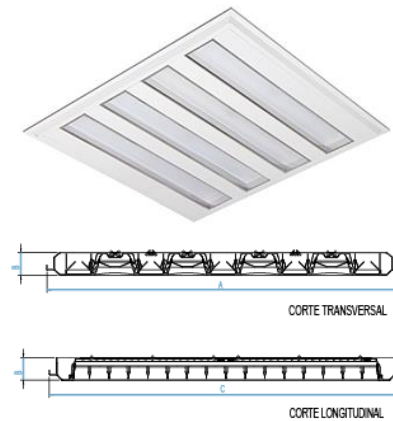
Tabela 4: Quantitativo de iluminância para escolas – NBR 5413

Escolas	Valores de <u>iluminância</u> em Lux
- salas de aulas	200 - 300 - 500

Fonte: NBR 5413 (1992)

Para o projeto, será usada a luminária LAN, da Lumicenter. Essa é uma luminária simples e, de acordo com descrição do fabricante, é indicada para ambientes que não exigem controle de ofuscamento. A temperatura da cor dessa lâmpada é 4.000K

Figura 13: Luminária LAN do fabricante Lumicenter para a escola



Fonte: Lumicenter (Catálogo)

Essa luminária é equipada com lâmpada de LED de 58W e o índice local é calculado pela fórmula (2): $K = 2,105$.

Já o fator de utilização é fornecido na tabela 5 do fabricante conforme abaixo:

Tabela 5: Fator de utilização

Teto (%)	70	50	30	0
Parede (%)	50 30 10	50 30 10	50 30 10	0
Chão (%)	20	20	20	0
RCR	Fator de Utilização (%)			
0	112	112	107	107
1	100	96	93	96
2	83	78	85	80
3	78	72	67	76
4	70	63	57	68
5	63	56	50	61
6	57	50	44	56
7	52	45	39	51
8	48	40	35	47
9	44	37	32	43
10	41	34	29	40

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

Chega-se ao fator de utilização de 0,88.

O fluxo total é dado pela expressão (3).

De acordo com Cotrim (2009, p. 442), os valores usuais para fatores de manutenção (η) são dados pela tabela 6:

Tabela 6: Fatores de Manutenção para Lâmpada Fluorescente

Tipo de Ambiente	Período de Manutenção (h)		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte: Cotrim (2009, p. 442)

Os valores mostrados na tabela são para lâmpadas fluorescentes. Ainda hoje, com o advento do uso de LEDS, muito projetistas utilizam essa tabela, pois a NBR ISO 8995-1 não contempla uma tabela padrão para LED.

No caso desse projeto, utilizarei uma tabela de referência fornecida pela ETAP (tabela 7), fabricante europeia de luminárias de LED, pois a Lumicenter não fornece valores típicos de fatores de manutenção para LED. É oportuno lembrar que a OSRAM e a Philips também não fornecem esses valores.

Tabela 7: Fator de Manutenção fornecido pela ETAP para luminárias de LED

Fator de Manutenção (η)				
Tipo de Luminária	Aplicação	25.000h	50.000h	60.000h
D1/D2/D3	Escritório	79	69	64
D42	Escritório	88	86	86
E10/E11/E12	Indústria	84	83	82
E14	Indústria	78	72	66
FLAIRE	Escritório	87	84	83
R7	Escritório	88	87	86
R8	Escritório	80	72	69
U7	Escritório	88	87	86
UM2	Escritório	84	80	78
V2M11	Escritório	88	87	86
V2M17	Escritório	83	77	74
V2M1F/J	Escritório	83	78	76

Fonte: Site da ETAP (Traduzida)

A luminária que mais se aproxima da luminária da Lumicenter é a da linha U, com vida útil de 50000h, portanto, de acordo com a tabela 7, $\eta = 0,87$. Encontram-se os valores para os três níveis de iluminância:

$$\varphi_{200} = \frac{96 \times 200}{0,87 \times 0,88} = 25.078 \text{ lumens}$$

$$\varphi_{300} = \frac{96 \times 300}{0,87 \times 0,88} = 37.617 \text{ lumens}$$

$$\varphi_{500} = \frac{96 \times 500}{0,87 \times 0,88} = 62.696 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias, calculada pela equação (4), será:

$$N_{200} = 7$$

$$N_{300} = 10$$

$$N_{500} = 17$$

A tabela 8 sintetiza os valores encontrados:

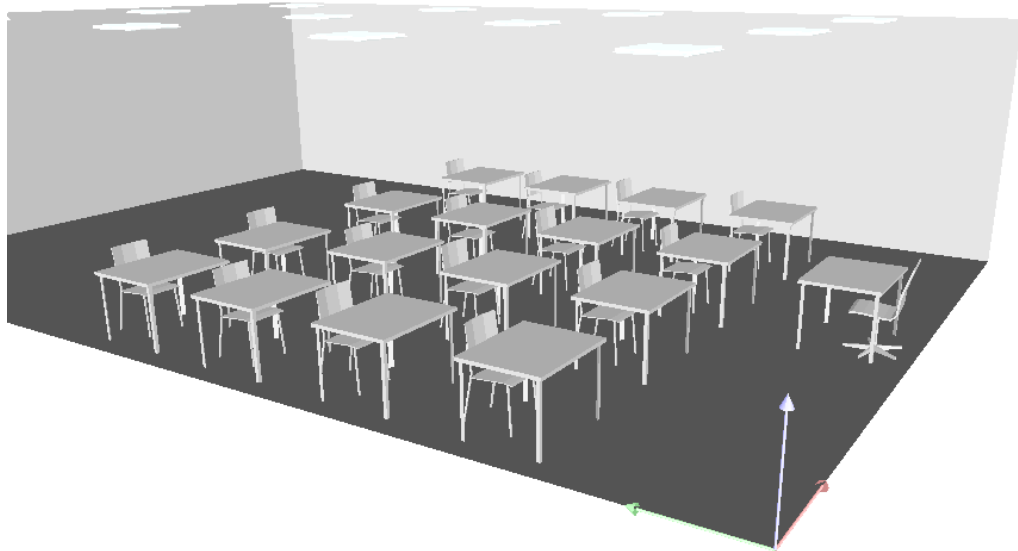
Tabela 8: Valores calculados – NBR 5413

Escola	E - Iluminância(lux)	200	300	500
	k - Índice Local	2,10526	2,105263	2,105263
	Refletância	531	531	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,88	0,88	0,88
	Fator de Depreciação(D)	0,87	0,87	0,87
	Área do recinto(S)	96	96	96
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	25078,4	37617,55	62695,92
	fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	3780	3780	3780
	número de lâmpadas(n)	6,63449	9,951734	16,58622
	Distribuição(lâmpadas/m ²)	0,06911	0,103664	0,172773

Fonte: Elaborada pelo autor

A distribuição das luminárias do caso médio ($E = 300 \text{ lux}$) é dada pela figura 14, extraída do DIALUX, que é o principal software livre disponível no mercado para projetos de iluminação:

Figura 14: Distribuição das luminárias – NBR 5413



Fonte: Elaborada pelo autor

Na figura 14, percebe-se que a quantidade de luminárias no projeto do DIALUX é 12, isso acontece para manter a uniformidade da sala, uma vez que seria difícil alinhar 10 luminárias para fornecer a iluminância mínima.

A figura 15 mostra a tela de cálculos do DIALUX:

Figura 15: Cálculo feito no DIALUX – NBR 5413

Assistente DIALux Light

Cálculo e resultados
Aqui é possível calcular diversas variantes e verificar os resultados.

Luminária: LUMICENTER LAN03-E3500740

Dimensões (C x L x H): 0.617 x 0.617 x 0.040 m

Parâmetros de cálculo

Em planeado: 300 lx

Em da distribuição: 387 lx

Distribuição horizontal

Quantidade x: m m

Distribuição vertical

Quantidade y: m m

Parâmetros de distribuição

Rotação de luminária: 90°

Linhas Isoluz

Automático
 Seleção livre

Novo: 0.00 lx

	0.05	0.16	0.27	0.38	0.49	0.60	0.71	0.82	0.93	1.04	1.15
10.91	285	305	330	345	359	366	373	371	365	356	348
10.74	295	317	343	360	376	383	390	388	381	371	361
10.57	308	332	360	378	395	403	410	408	400	389	378
10.40	317	342	372	391	409	418	426	422	414	402	390
10.23	325	352	383	404	420	429	436	433	425	411	399
10.05	332	360	392	413	430	440	448	444	435	421	408
9.88	339	368	401	423	440	450	458	454	445	431	418

	Eav [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Eav	Emin / Emax
	436	285	548	0.65	0.52

Fonte: Elaborada pelo autor no software DIALUX

4.1.2. ISO 8995-1

Abaixo será apresentado o projeto para uma sala de aula de uso noturno e adulto usando a NBR ISO 8995-1 e iluminação com lâmpadas de LED.

Com a nova norma as mudanças no cálculo aparecem de imediato. Ao verificar a quantidade de lux necessária para o projeto, percebe-se que a nova norma especifica somente um valor de iluminância, agora acompanhado do ofuscamento e do índice de reprodução da cor. A iluminância recomendada é 500 lux, com UGR < 19 e IRC superior a 80, conforme recorte do item 28 da ISO 8995-1.

Tabela 9: Quantitativo de iluminância para escolas – NBR ISO 8995-1

	E (Lux)	UGR _{máx}	IRC _{mín}
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80

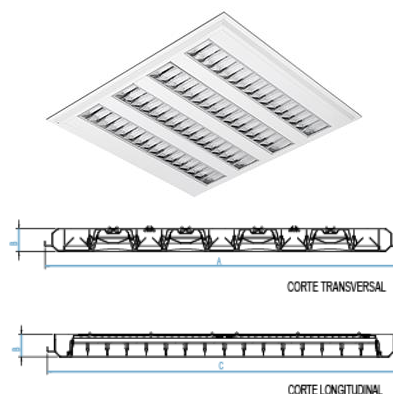
Fonte: NBR ISO 8995-1 (2013)

A indicação de iluminância é clara e objetiva, inclusive, dividindo em duas linhas diferentes a iluminância para uma sala de aula de uso diurno e uma sala de aula de uso noturno.

A escolha da luminária traz duas preocupações: UGR <19 e IRC >80.

Nesse sentido, foi escolhida a luminária LAA, também da fabricante Lumicenter. A escolha foi proposital, pois as luminárias LAA são semelhantes às luminárias LAN utilizadas no projeto com a NBR 5413, porém com aletas de alumínio que garantem UGR <19. A temperatura da cor é 4.000K.

Figura 16: Luminária LAA-E da Lumicenter para a escola



Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O índice local é o mesmo calculado no projeto da sala de aula com a NBR 5413, pela equação (2), $K = 2,105$.

O fator de utilização é fornecido na tabela 10 do fabricante:

Tabela 10: Fator de utilização

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	117	117	117	112	112	112	107	107	107	100
1	106	103	101	102	100	98	98	96	95	90
2	96	91	87	93	89	85	90	86	83	80
3	87	81	76	84	79	75	81	77	73	70
4	79	72	67	77	71	66	74	69	65	63
5	72	65	59	70	64	59	68	63	58	56
6	66	59	53	64	58	53	63	57	52	50
7	60	53	48	59	53	48	58	52	47	45
8	56	49	44	55	48	43	53	48	43	41
9	52	45	40	51	44	40	50	44	40	38
10	48	41	37	47	41	37	46	40	36	35

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O fluxo total é dado pela expressão (4) e de acordo com a tabela (7), $\eta = 0,87$.

$$\Phi = 62.696 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias será, pela expressão (5),

$$N = 19.$$

A tabela 11 sintetiza os valores encontrados:

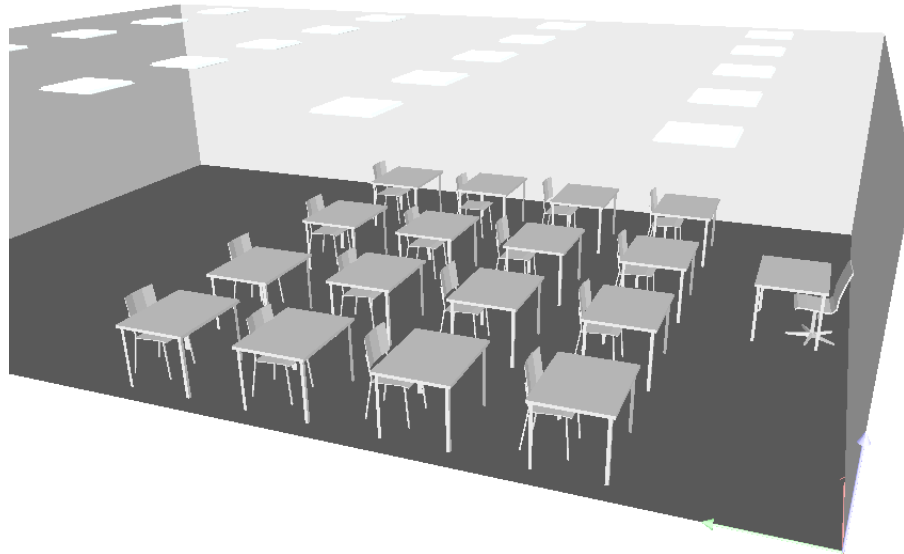
Tabela 11: Valores calculados – NBR ISO 8995-1

Escola	E - Iluminância(lux)	500
	k - Índice Local	2,105263158
	Refletância	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,88
	Fator de Depreciação(D)	0,87
	Área do recinto(S)	96
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	62695,92476
	fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	3400
	número de lâmpadas(n)	18,43997787
	Distribuição(lâmpadas/m ²)	0,192083103

Fonte: Elaborada pelo autor

A distribuição das luminárias é dada pela figura 17, extraída do DIALUX:

Figura 17: Distribuição das luminárias na sala de aula – NBR ISO 8995-1



Fonte: Elaborada pelo autor

A figura 18, extraída do DIALUX, confirma o cálculo feito, chegando a 20 luminárias. Essa pequena variação é uma decisão estética para um arranjo 4x5.

Figura 18: Cálculo feito no DIALUX para a escola – NBR ISO 8995-1

Assistente DIALux Light

Cálculo e resultados
Aqui é possível calcular diversas variantes e verificar os resultados.

Luminária: LUMICENTER_LAA03-E3500740

Dimensões (C x L x H): 0.617 x 0.617 x 0.040 m

Parâmetros de cálculo

Em planeado: 500 lx

Em da distribuição: 387 lx

Distribuição horizontal

Quantidade x: m m

Distribuição vertical

Quantidade y: m m

Parâmetros de distribuição

Rotação de luminária: 90°

Linhas Isolux

Automático
 Seleção livre

Novo: 0.00 lx

	0.05	0.16	0.27	0.38	0.49	0.60	0.71	0.82	0.93	1.04	1.15
10.91	402	446	493	524	556	564	572	557	540	515	489
10.74	414	459	507	540	573	581	591	575	558	532	505
10.57	429	476	526	560	595	604	614	599	580	554	526
10.40	440	490	541	576	612	622	632	617	599	572	542
10.23	454	505	559	595	628	638	649	633	616	588	557
10.05	465	518	574	612	645	655	666	650	633	605	573
9.88	480	535	593	633	668	679	689	672	653	624	591

Eav [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Eav	Emin / Emax
649	402	832	0.62	0.48

Fonte: Elaborada pelo autor no software DIALUX

Essa tela nos dá uma informação relevante para a norma 8995-1: a uniformidade do projeto, que ficou em 0,62. Esse valor, segundo a norma, garante que a uniformidade na estação de trabalho seja superior a 0,7. (Vide item 2.1.14)

4.1.3. Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação

Para análise de custo será considerada a vida útil das lâmpadas, que é de 50.000 horas. Também considerarei o projeto apresentado pelo DIALUX, que eventualmente pode ser um pouco diferente do calculado, por questões estéticas e de alinhamento das luminárias. Basta pensar em como alinharíamos 19 luminárias em uma sala quadrada. Num caso assim, para garantir uniformidade e melhor apresentação usa-se 20 luminárias. O uso diário das lâmpadas foi fixado em 6 horas, dessa maneira, a tabela 12 apresenta os valores em reais correspondentes ao custo total (instalação + operação) durante a vida útil total das lâmpadas que é de aproximadamente 23 anos. O valor do kWh é o valor praticado pela CEEE em junho de 2014. Para o estudo comparativo, será considerado o caso médio de iluminação da norma NBR 5413.

Tabela 12: Análise de custo para a escola

Escola	Valor com a NBR	Valor com a ISO
	5413	8995-1
Descrição		
Lâmpada + luminária + driver (em reais)	379,59	392,67
Mão de obra instalação por ponto(em reais)	50,00	50,00
Quantidade de pontos	12	20
Valor Total de instalação (em reais)	5.155,08	8.853,40
Uso anual em horas(considerando 6 horas diárias)	2190	2190
Preço do kWh em reais	0,33	0,33
Potência de cada lâmpada (W)	58	58
Valor total da Energia Elétrica Anual (em reais)	503,00	838,33
Valor da Limpeza Anual (em reais)	100,00	100,00
Despesa Operacional Anual (em reais)	603,00	938,33
Despesa ao longo da Vida Útil (em reais)	19.024,06	30.435,04

Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se que o valor de instalação com a nova norma é cerca de 71% superior e o valor da energia consumida, é cerca de 66% superior. Isso acontece, pois além do preço das luminárias com controle de ofuscamento ser superior, o valor médio de iluminância exigido pela ISO 8995-1, quando comparado ao valor médio da norma NBR 5413 é superior. Essa exige 300 Lux e aquela exige 500 Lux.

4.2. AS DUAS NORMAS APLICADAS NO COMÉRCIO

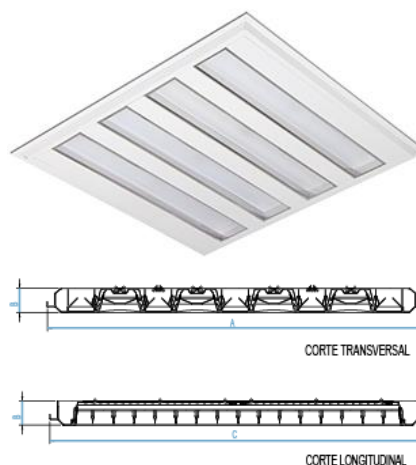
Nesse caso, será considerada uma sala de atendimento bancário, o projeto é muito semelhante ao projeto para uma sala de aula, uma vez que as atividades pouco diferem (uso para leitura e digitação). A sala de atendimento possui as seguintes medidas: 12m x 8m x 3m.

O método de cálculo utilizado está descrito nas páginas 34 e 35 deste trabalho.

4.2.1. NBR 5413

Para o projeto, será utilizada a luminária LAN, da fabricante Lumicenter. Essa é uma luminária simples e, de acordo com descrição do fabricante, é indicada para ambientes que não exigem controle de ofuscamento. A lâmpada possui 58W e a temperatura da cor é 4.000K.

Figura 19: Luminária LAN da Lumicenter



Fonte: Lumicenter (Catálogo)

Essa luminária é equipada lâmpada de LED de 58W.

De acordo com a NBR 5413, o valor do iluminamento está descrito abaixo:

Tabela 13: Quantitativo de iluminância para bancos – NBR 5413

5.3.3 Bancos

Valores de iluminância em Lux

- atendimento ao público 300 - 500 - 750

Fonte: NBR 5413 (1992)

O índice local é calculado pela equação (2):

$$K = 2,105$$

O fator de utilização é fornecido em tabela do fabricante (tabela 14):

Tabela 14: Fator de utilização

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	112	112	112	107	107	107	102	102	102	96
1	100	96	93	96	93	90	92	90	88	83
2	88	83	78	85	80	77	82	78	75	71
3	78	72	67	76	70	65	73	68	64	61
4	70	63	57	68	62	57	66	60	56	53
5	63	56	50	61	55	49	59	54	49	47
6	57	50	44	56	49	44	54	48	43	41
7	52	45	39	51	44	39	49	43	39	37
8	48	40	35	47	40	35	45	39	35	33
9	44	37	32	43	36	32	42	36	32	30
10	41	34	29	40	33	29	39	33	29	27

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

Chega-se ao fator de utilização de 0,88 através da tabela 7.

A luminária que mais se aproxima da luminária da Lumicenter é a da linha U, com vida útil de 50000h, portanto, usarei $\eta = 0,87$. A expressão (4), permite calcular o fluxo.

$$\Phi_{300} = 34.483 \text{ lumens}$$

$$\Phi = 57.471 \text{ lumens}$$

$$\Phi = 86.207 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias, conforme equação (5), será:

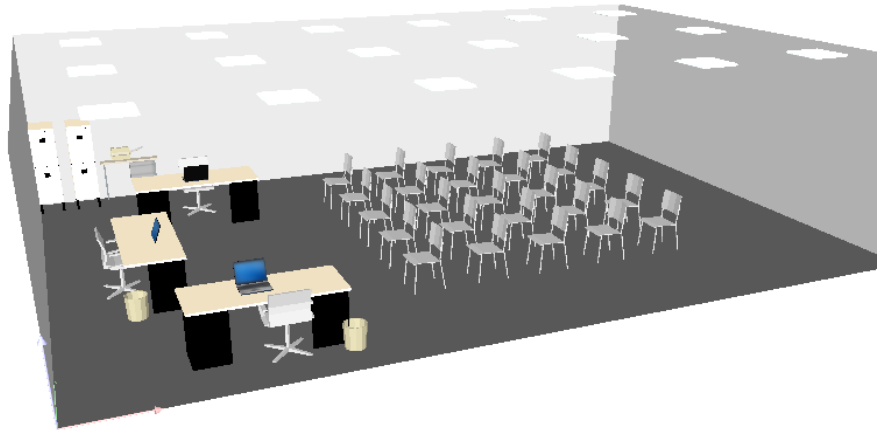
$$N_{300} = 11$$

$$N_{500} = 17$$

$$N_{750} = 26$$

A distribuição das luminárias, para o caso médio, é dada pela figura 20, extraída do DIALUX:

Figura 20: Distribuição de luminárias para a sala bancária – NBR 5413



Fonte: Elaborada pelo autor no software DIALUX

Observa-se que a quantidade de lâmpadas fornecida pelo DIALUX é 18, um pouco superior ao quantitativo calculado, para uma melhor distribuição estética.

A figura 21 mostra os cálculos realizados pelo DIALUX:

Figura 21: Cálculo feito no DIALUX para a sala bancária – NBR 5413

Assistente DIALUX Light

Cálculo e resultados
Aqui é possível calcular diversas variantes e verificar os resultados.

Luminária: LUMICENTER LAN03-E3500740

Dimensões (Cx Lx H): 0.617x 0.617x 0.040 m

Parâmetros de cálculo

Em planeado: 500 lx

Em da distribuição: 500 lx

Distribuição horizontal

Quantidade x: m m

Distribuição vertical

Quantidade y: m m

Parâmetros de distribuição

Rotação de luminária: 90

Linhas Isolug

Algorítmico
 Seleção livre

Novo: 0.00 lx

	0.05	0.16	0.27	0.38	0.49	0.60	0.71	0.82	0.93	1.04	1.15
10.91	406	423	442	452	457	461	471	472	479	479	491
10.74	420	438	458	469	474	478	488	488	496	496	508
10.57	438	458	480	491	497	501	511	511	520	520	533
10.40	449	470	492	504	510	514	524	524	532	533	546
10.23	466	487	511	523	529	533	543	542	552	552	566
10.06	472	494	518	531	537	541	552	552	559	560	575
9.88	485	508	533	546	553	556	566	566	576	577	591

	Eav [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Eav	Emin / Emax
	612	405	712	0.66	0.57

Fonte: Elaborada pelo autor

Os cálculos realizados estão sintetizados na tabela 15:

Tabela 15: Valores calculados – NBR 5413

Comércio	E - Iluminância(lux)	300	500	750
	k - Índice Local	2,10526	2,105263	2,105263
	Refletância	531	531	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,96	0,96	0,96
	Fator de Depreciação(D)	0,87	0,87	0,87
	Área do recinto(S)	96	96	96
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	34482,8	57471,26	86206,9
	fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	3400	3400	3400
	número de lâmpadas(n)	10,142	16,90331	25,35497
	Distribuição(lâmpadas/m ²)	0,10565	0,176076	0,264114

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.2. ISO 8995-1

Abaixo será apresentado o projeto para a mesma sala bancária usando a nova norma

Nesse caso, o quantitativo de iluminância requerido pela ISO 8995-1 é o mesmo do requerido pela norma antiga, conforme podemos visualizar abaixo no recorte da norma.

Tabela 16: Quantitativo de iluminância para comércio – NBR ISO 8995-1

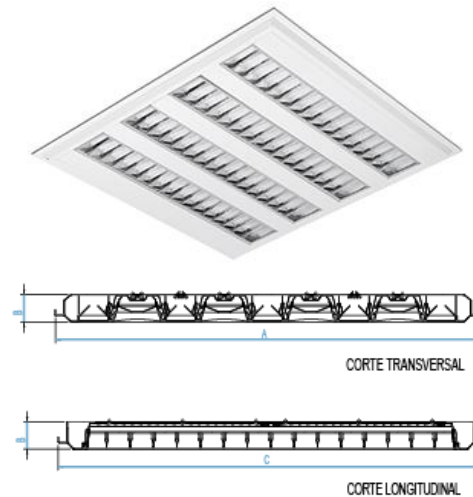
	E (Lux)	UGR _{máx}	IRC _{mín}
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80

Fonte: NBR ISO 8995-1 (2013)

A escolha da luminária traz duas preocupações: UGR <19 e IRC >80.

Nesse sentido, foi escolhida a luminária LAA, também da fabricante Lumicenter. A escolha foi proposital, pois as luminárias LAA são semelhantes às luminárias LAN utilizadas no projeto com a NBR 5413. A potência da lâmpada é 58W e a temperatura da cor, 4.000K.

Figura 22: Luminária LAA-E da Lumicenter



Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O índice local é o mesmo calculado no projeto da sala de aula com a NBR 5413, e pela equação (2), é: $K = 2,105$.

O fator de utilização é fornecido em tabela do fabricante (tabela 17):

Tabela 17: Fator de utilização

Teto (%)	70	50	30	0						
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20	20	20	0						
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	117	117	117	112	112	112	107	107	107	100
1	106	103	101	102	100	98	98	96	95	90
2	96	91	87	93	89	85	90	86	83	80
3	87	81	76	84	79	75	81	77	73	70
4	79	72	67	77	71	66	74	69	65	63
5	72	65	59	70	64	59	68	63	58	56
6	66	59	53	64	58	53	63	57	52	50
7	60	53	48	59	53	48	58	52	47	45
8	56	49	44	55	48	43	53	48	43	41
9	52	45	40	51	44	40	50	44	40	38
10	48	41	37	47	41	37	46	40	36	35

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O fluxo total é dado pela expressão (4), e de acordo com a mesma tabela 7, da ETAP, $\eta = 0,87$.

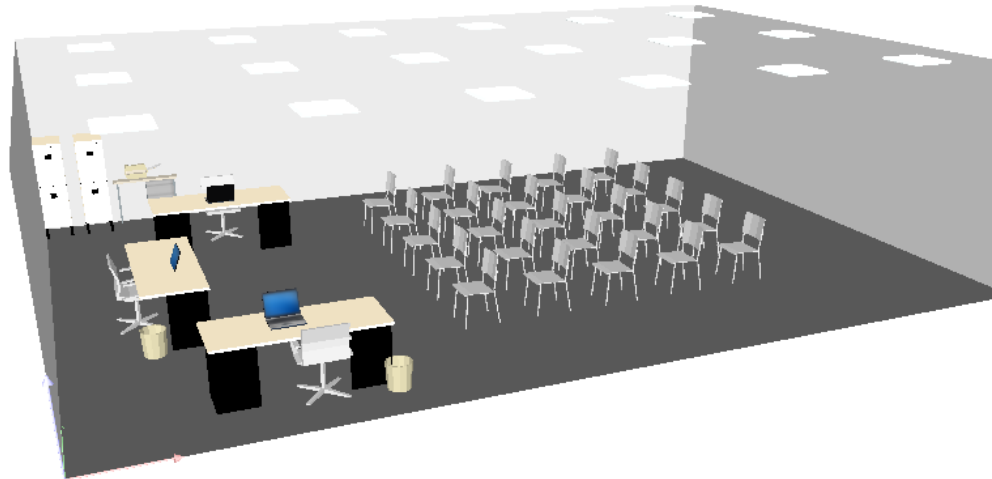
$$\Phi = 57.471 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias será, conforme equação (5):

$$N = 17.$$

A distribuição das luminárias é dada pela figura 23, extraída do DIALUX:

Figura 23: Distribuição de luminárias para a sala bancária – NBR ISO 8995-1



Fonte: Elaborada pelo autor

A figura 24 mostra os cálculos realizados pelo DIALUX:

Figura 24: Cálculo do DIALUX para o comércio – NBR ISO 8995-1

Assistente DIALux Light

Cálculo e resultados
Aqui é possível calcular diversas variantes e verificar os resultados.

Luminária: LUMICENTER_LAA03-E3500740

Dimensões (C x L x H): 0.617 x 0.617 x 0.040 m

Parâmetros de cálculo

Em planeado: 500 lx

Em de distribuição: 538 lx

Distribuição horizontal

Quantidade x: 6 2.00 m 1.00 m

Distribuição vertical

Quantidade y: 3 2.67 m 1.33 m

Parâmetros de distribuição

Rotação de luminária: 90°

Linhas Isolux

Automático
 Seleção livre

Novo: 0.00 lx

	0.05	0.16	0.27	0.38	0.49	0.60	0.71	0.82	0.93	1.04	1.15
10.91	403	423	440	448	452	453	459	460	466	471	482
10.74	420	441	459	467	470	471	477	477	484	489	501
10.57	437	459	477	486	490	490	496	495	503	508	522
10.40	446	469	489	497	501	501	507	506	514	519	533
10.23	459	482	502	512	514	515	520	520	527	531	547
10.05	463	487	508	518	521	521	527	526	534	538	553
9.88	469	494	515	525	529	530	536	534	542	546	562

Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 18 sintetiza os valores encontrados:

Tabela 18: Valores calculados para o comércio – NBR ISO 8995-1

Comércio	Classe de Tarefa Visual	
	E - Iluminância(lux)	500
	k - Índice Local	2,105263158
	Refletância	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,96
	Fator de Depreciação(D)	0,87
	Área do recinto(S)	96
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	57471,26437
	Fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	3400
	Número de lâmpadas(n)	16,90331305
	Distribuição (lâmpadas/m ²)	0,176076178

Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se que no caso da sala bancária, o número de luminárias é igual entre as normas, se considerarmos o caso médio da NBR 5413, pois a iluminância requerida é a mesma.

4.2.3. Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação

Para análise de custo será considerada a vida útil das lâmpadas, que é de 50.000 horas. Também considerarei o projeto apresentado pelo DIALUX, que eventualmente pode ser um pouco diferente do calculado por questões estéticas de alinhamento das luminárias. Basta pensar em como alinharíamos 19 luminárias em uma sala quadrada. Num caso assim, para garantir uniformidade e melhor apresentação usa-se 20 luminárias. O uso diário das lâmpadas foi fixado em 8 horas, dessa maneira, a tabela 19 apresenta os valores em reais correspondentes ao custo total (instalação + operação) durante a vida útil total das lâmpadas que é de aproximadamente 23 anos. O valor do kWh é o valor praticado pela CEEE em junho de 2014. Para a comparação de custos é considerado o caso de iluminação médio da norma NBR 5413.

Tabela 19: Análise de custo para o banco

Banco	Valor com a NBR	Valor com a ISO
	5413	8995-1
Descrição		
Lâmpada + luminária + driver em reais	379,59	392,67
Mão de obra instalação por ponto em reais	50,00	50,00
Quantidade de pontos	18	18
Valor Total de instalação em reais	7.732,62	7.968,06
Uso anual em horas(considerando 6 horas diárias)	2190	2190
Preço do kWh em reais	0,39	0,39
Potência de cada lâmpada (W)	58	58
Valor total da Energia Elétrica Anual em reais	891,68	891,68
Valor da Limpeza Anual em reais	100,00	100,00
Despesa Operacional Anual em reais	991,68	991,68
Despesa ao longo da Vida Útil em reais	30.541,27	30.776,71

Fonte: Elaborada pelo autor

Para o caso do projeto de iluminação do banco, pode-se perceber que os valores foram muito próximos usando as duas normas, a única diferença está no valor de instalação que possui preço um pouco mais elevado para as luminárias com controle de ofuscamento.

4.3. AS DUAS NORMAS APLICADAS NA INDÚSTRIA

A indústria considerada neste estudo de caso é uma metalúrgica com tarefas de usinagem. O ambiente possui 25 metros de comprimento, 15 metros de largura e 7 metros de altura (pé direito).

4.3.1. NBR 5413

A NBR 5413 estabelece como nível de iluminância, o quantitativo abaixo:

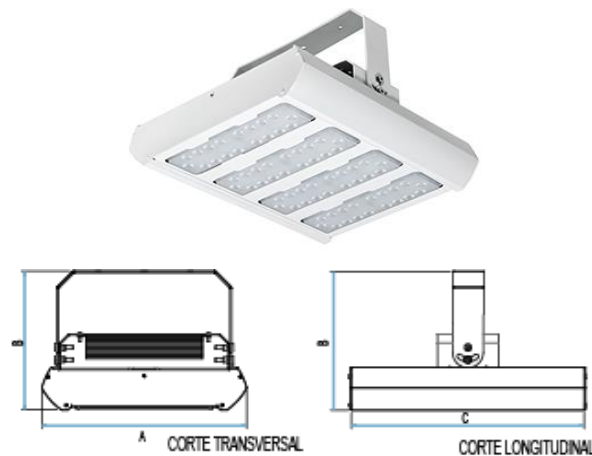
Tabela 20: Quantitativo de iluminância para a indústria – NBR 5413

- usinagem média e trabalhos de ajustador, trabalhos grosseiros de plainas, tornos e polimento 300 - 500 - 750

Valores de iluminância em Lux

Fonte: NBR 5413 (1992)

A luminária usada para este projeto é a LHB 01-S da Lumicenter mostrada abaixo com 160 watts e temperatura da cor de 5.300K.

Figura 25: Luminária LHB-S

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O índice local é, de acordo com equação (2), é: $K = 1,56$.

O fator de utilização é fornecido em tabela do fabricante (tabela 21):

Tabela 21: Fator de utilização

Teto (%)	70	50	30	0
Parede (%)	50	30	10	0
Chão (%)	20	20	20	0
RCR	Fator de Utilização (%)			
0	117	117	117	112
1	107	104	101	102
2	97	93	89	94
3	89	83	79	86
4	82	76	71	80
5	76	69	64	74
6	70	64	59	69
7	65	59	54	64
8	61	55	50	60
9	57	51	46	56
10	54	47	43	53

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O fluxo total é dado pela expressão (4).

A luminária que mais se aproxima da luminária da Lumicenter é a da linha E, com vida útil de 50000h, portanto, conforme tabela (7), usarei $\eta = 0,72$.

$$\Phi_{300} = 161.082 \text{ lumens}$$

$$\Phi_{500} = 268.471 \text{ lumens}$$

$$\Phi_{750} = 402.706 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias será, conforme equação (5)

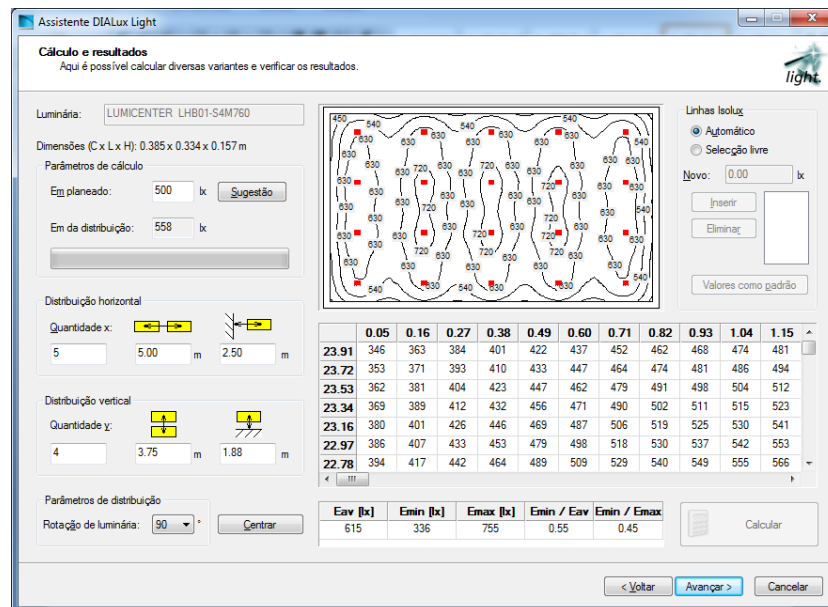
$$N_{300} = 12$$

$$N_{500} = 20$$

$$N_{750} = 30$$

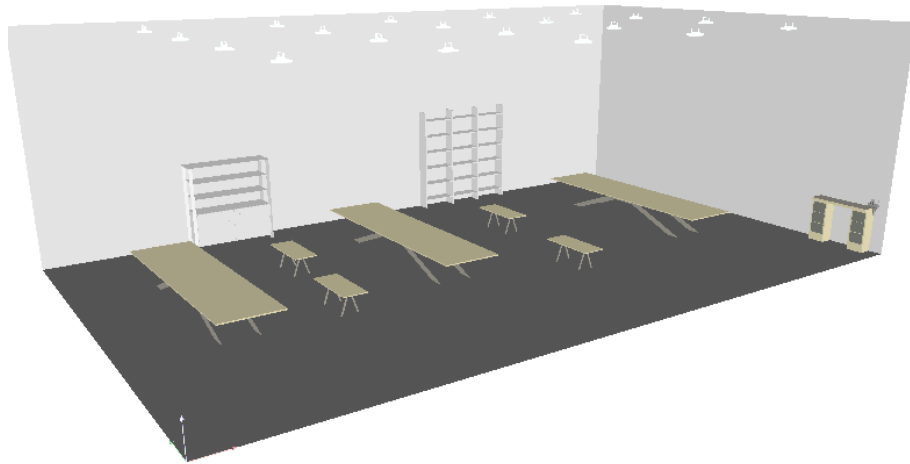
As figuras 26 e 27 mostram o projeto realizado com o DIALUX, que demonstram o iluminamento para o caso médio ($E = 500 \text{ lux}$) e o ambiente em três dimensões.

Figura 26: Cálculo do DIALUX para a indústria metalúrgica – NBR 5413



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 27: Distribuição de luminárias para a indústria de metalurgia – NBR 5413



Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se que a uniformidade nesse caso, ficou em 0.55, entretanto, a NBR 5413 não tem a preocupação com a uniformidade.

A tabela 22 sintetiza os valores encontrados:

Tabela 22: Valores calculados para a indústria – NBR 5413

Indústria	E - Iluminância(lux)	300	500	750
	k - Índice Local	1,5625	1,5625	1,5625
	Refletância	531	531	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,97	0,97	0,97
	Fator de Depreciação(D)	0,72	0,72	0,72
	Área do recinto(S)	375	375	375
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	161082	268471	402706
	fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	13600	13600	13600
	número de lâmpadas(n)	11,844	19,74	29,611
	Distribuição(lâmpadas/metro ²)	0,0316	0,0526	0,079

Fonte: Elaborada pelo autor

4.3.2. ISO 8995-1

A nova norma estabelece os valores abaixo para iluminância de uma indústria metalúrgica na tarefa de usinagem:

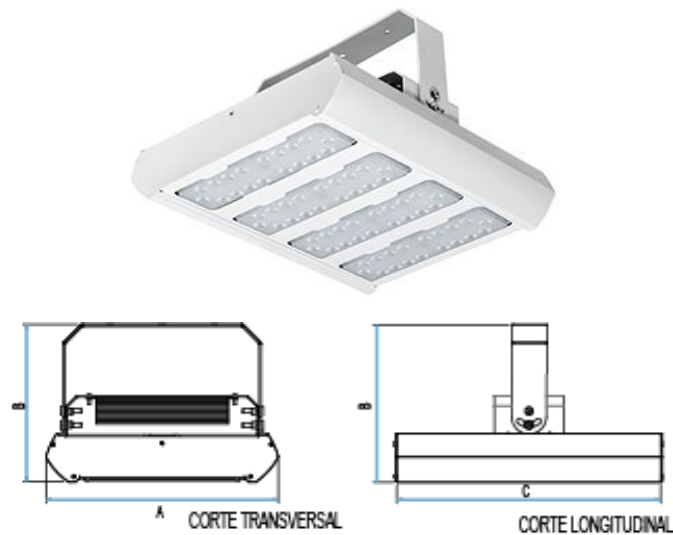
Tabela 23: Quantitativo de iluminância para a indústria - NBR ISO 8995-1

14. Trabalho e processamento em metal			
Forjamento de molde aberto	200	25	60
Forjamento por derramamento, soldagem, moldagem a frio	300	25	60
Usinagem bruta e media Tolerâncias > 0,1 mm	300	22	60

Fonte: Norma NBR ISO 8995-1 (2013)

Para uso industrial o mercado de LED ainda é restrito, usarei, portanto, a mesma luminária usada no caso da NBR 5413, pois o fabricante garante IRC Maior do que 70 e UGR máximo de 22. É importante perceber, que nesse caso, a nova norma baixou o valor da iluminância em comparação com a iluminância média da NBR 5413. O valor recomendado é 300 lux.

A luminária usada para este projeto é a LHB 01-S da Lumicenter mostrada abaixo, com 160 watts e 5.300K de temperatura de cor.

Figura 28: Luminária LHB-S

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O índice local, conforme equação (2) é: $K = 1,56$.

O fator de utilização é fornecido em tabela do fabricante (tabela 24):

Tabela 24: Fator de utilização

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	117	117	117	112	112	112	107	107	107	101
1	107	104	101	102	100	98	99	97	95	90
2	97	93	89	94	90	87	91	88	85	81
3	89	83	79	86	82	78	84	80	76	73
4	82	76	71	80	74	70	78	73	69	67
5	76	69	64	74	68	64	72	67	63	61
6	70	64	59	69	63	58	67	62	58	56
7	65	59	54	64	58	54	63	57	53	51
8	61	55	50	60	54	50	59	53	49	48
9	57	51	46	56	50	46	55	50	46	44
10	54	47	43	53	47	43	52	47	43	41

Fonte: Lumicenter (Catálogo)

O fluxo total é dado pela expressão (4) e de acordo com a tabela (7) da ETAP, $\eta = 0,72$.

O fluxo total, conforme equação (4), é:

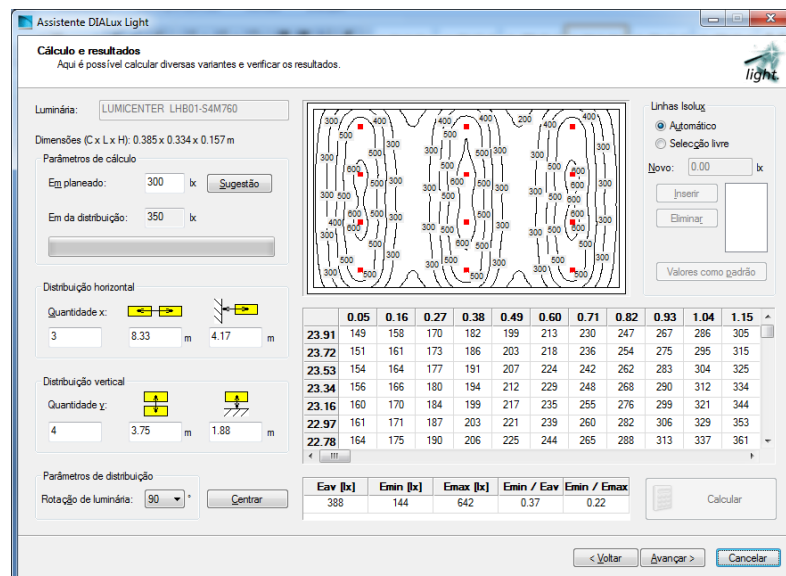
$$\Phi = 161.082 \text{ lumens}$$

A quantidade de luminárias necessárias será, de acordo com equação (5),

$$N = 12$$

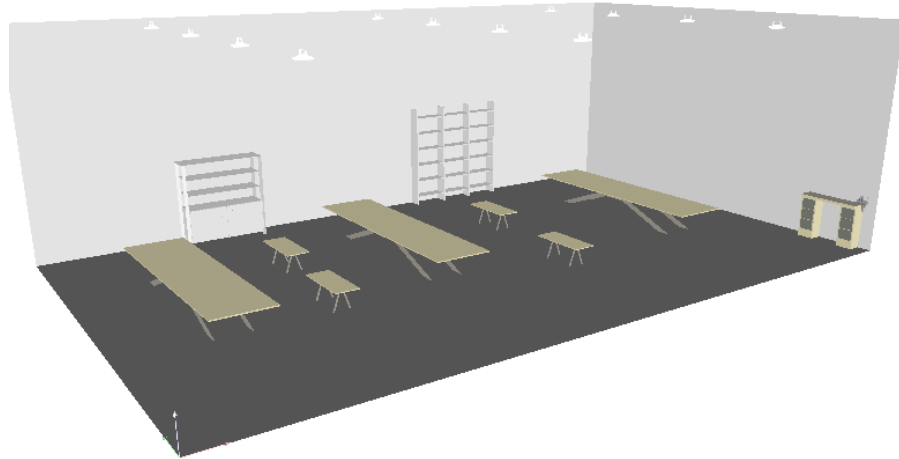
Na figura 29 é mostrado o projeto do DIALUX que confirma os resultados obtidos algebricamente.

Figura 29: Cálculo do DIALUX para a indústria metalúrgica – NBR ISO 8995-1



Fonte: Elaborada pelo autor

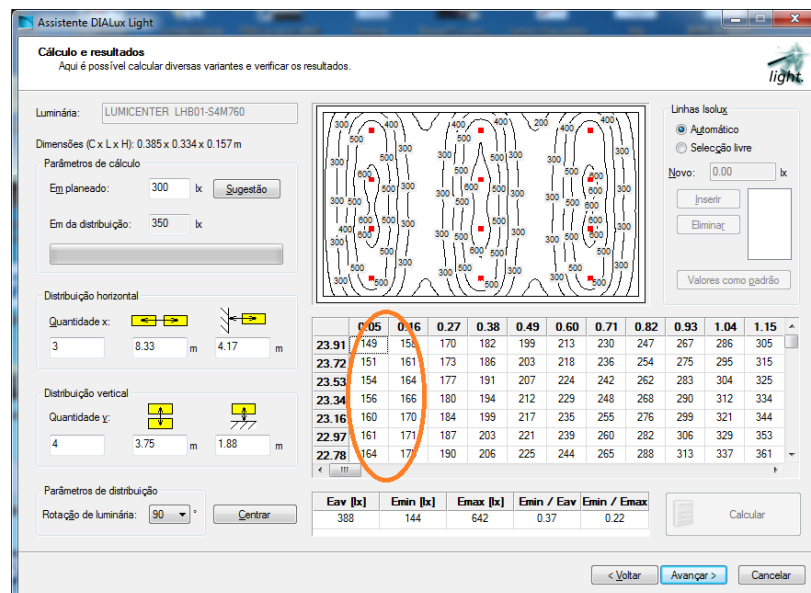
Figura 30: Distribuição de luminárias para a indústria de metalurgia – NBR ISO 8995-1



Fonte: Elaborada pelo autor

No caso da indústria, percebe-se que a luminária LHB não satisfaz a condição de Uniformidade mínima de 0,6 para garantir uniformidade de 0,7 no ambiente de trabalho. Isso demonstra que o software DIALUX ainda não está adaptado para garantir a uniformidade no projeto. A condição de uniformidade não foi cumprida nem quando aumentei significativamente o nível de iluminância. Devido ao fato de que os pontos com iluminância média abaixo do recomendado estão em pontos muito próximos à parede, ou seja, distantes da área de trabalho, o projeto será mantido. A figura 31 destaca esses pontos.

Figura 31: Iluminância em Pontos Distantes da Área de Trabalho– NBR ISO 8995-1



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 25 sintetiza os cálculos realizados:

Tabela 25: Valores calculados para a indústria – NBR ISO 8995-1

Indústria	E - Iluminância(lux)	300
	k - Índice Local	1,5625
	Refletância	531
	Coeficiente de utilização(μ)	0,97
	Fator de Depreciação(D)	0,72
	Área do recinto(S)	375
	Fluxo Luminoso em Lumens(Φ)	161082,4742
	fluxo luminoso cada lâmpada(lumens)	13600
	número de lâmpadas(n)	11,84429958
	Distribuição(lâmpadas/metro ²)	0,031584799

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3. Comparativo de Custos na Vida Útil da Operação

Para análise de custo será considerada a vida útil das lâmpadas, que é de 50.000 horas. Para essa indústria, será considerada uma operação de 12 horas diárias com limpeza anual. A comparação de custos levará em conta o iluminamento médio pela Norma NBR 5413.

Tabela 26: Análise de custo para a indústria

Metalúrgica	Valor com a NBR 5413	Valor com a ISO 8995-1
Descrição		
Lâmpada + luminária + driver (em reais)	1.452,68	1.452,68
Mão de obra instalação por ponto (em reais)	70,00	70,00
Quantidade de pontos	20	12
Valor Total de instalação em reais	30.453,60	18.272,16
Uso anual em horas(considerando 12 horas diárias)	4380	4380
Preço do kWh em reais	0,36	0,36
Potência de cada lâmpada (W)	160	160
Valor total da Energia Elétrica Anual (em reais)	5.045,76	3.027,46

Valor da Limpeza Anual (em reais)	100,00	100,00
Despesa Operacional Anual (em reais)	5.145,76	3.127,46
Despesa ao longo da Vida Útil (em reais)	148.806,08	90.203,65

Fonte: Elaborada pelo autor

No caso da indústria, percebe-se que o iluminamento baixou com a publicação da nova norma, se comparado com o caso médio da NBR 5413. Anteriormente eram exigidos 500 lux e atualmente, 300 lux. Se considerarmos a vida útil total da luminária, aproximadamente de 12 anos, os custos com a norma antiga seriam 65% superiores ao projeto com norma atual.

5 CONCLUSÕES

A atualização da norma de iluminação de interiores sofreu mudanças significativas com a publicação da ISO 8995-1. A norma regulamentou a qualidade da iluminação, exigindo mais testes por parte dos fabricantes.

Do ponto de vista do projetista, as mudanças mais significativas (controle de ofuscamento e garantia do IRC) dependem do fabricante da lâmpada. Percebeu-se que os fabricantes ainda não disponibilizam todas as informações em seus catálogos comerciais. O fator de manutenção, por exemplo, não foi encontrado com os principais comerciantes de lâmpadas do Brasil, nem mesmo com solicitações formais.

No trabalho, percebeu-se que apesar das grandes evoluções que a ISO 8995-1 trouxe para o projeto da iluminação de interiores, ela não contempla tabela com fator de manutenção para luminárias a LED.

Além disso, a própria iluminação industrial de LED ainda é bastante deficiente, pois não se encontram no mercado luminárias que garantam altos índices de reprodução da cor e baixos valores de ofuscamento.

A análise de custos de projetos com LEDs mostrou que não existe uma correlação entre a edição da nova norma e o aumento de custos. Em alguns casos eles podem até diminuir, pois o nível de iluminamento médio exigido em alguns ambientes, como a indústria metalúrgica, baixou.

O projeto com LED possui custos de manutenção baixíssimos, por conta da vida útil longa. Para esse tipo de lâmpada, a manutenção restringe-se à limpeza.

De maneira geral, a nova norma passou a considerar os valores médios de iluminância que constavam na NBR 5413 como o valor recomendado para o projeto.

Dentre os casos analisados, a escola apresentou a maior alta de custos utilizando a nova norma. Isso aconteceu porque a ISO 8995-1 aumentou o valor da iluminância recomendada em relação à iluminância média da NBR 5413. O valor desse aumento também é explicado porque a norma NBR 5413 considerava a sala de aula sem distinguir uso diurno e noturno e a NBR ISO 8995-1 foi mais abrangente separando esses dois tipos de uso. A ISO 8995-1 também se preocupou em dividir as salas de ensino entre diversas atividades (desenho, turno de estudo, salas maternas, etc), especificando índices de iluminância para as diferentes tarefas.

A sala de atendimento bancário praticamente não teve alteração de custos, pois o valor de iluminância foi mantido. A nova norma sintetizou diversas atividades correlatas ao trabalho bancário em um, único item chamado leitura digitação e processamento de dados, ou seja, a norma preocupou-se em abranger atividades próximas à atividade bancária nesse item.

O projeto luminotécnico da indústria enfrenta o fornecimento escasso do mercado, pois ainda são restritas luminárias com maior potência que satisfaçam alto índice de reprodução da cor e baixo valor de ofuscamento. Mas para o caso da indústria metalúrgica, esses critérios não são rigorosos.

A nova norma baixou o índice de iluminamento, reduzindo consideravelmente os custos de um projeto que obedece a NBR ISO 8995-1. O índice de iluminamento médio da tarefa de usinagem era alto (500 lux) para um tipo de tarefa que não exige muito esforço visual, para uma ideia desse quantitativo, esse é o valor de iluminância recomendado para uma sala de aula noturna, que envolve leitura e digitação. O custo de instalação com a NBR 5413 foi 66% maior e o custo total (operação + energia elétrica) ao longo da vida útil foi 65% superior.

6 SUGESTÕES PARATRABALHOS FUTUROS

- 1) Comparar os custos utilizando lâmpadas fluorescentes, pois elas ainda são amplamente utilizadas no mercado e possuem investimento inicial mais baixo;
- 2) Projetar um ambiente inteiro levando em conta área de entorno imediato da tarefa;
- 3) Usar fator de manutenção calculado;
- 4) Projetar salas que exigem controle ainda mais rigoroso de ofuscamento com altos índices de reprodução da cor, pois o mercado de lâmpadas de LED ainda é restrito para essas exigências.
- 5) Contemplar uma análise de custos trazendo todos os custos para valor presente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Informe de Janeiro de 2014**. Disponível em <http://www.abilux.com.br/informes/032_Informa.html>. Acesso em: 30 março 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101** – Iluminância de Interiores. 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101** – Verificação de Iluminância de Interiores. 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461** – Terminologia. 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8995-1** – Iluminação de Ambientes de Trabalho. 2013
- CARRION, Daniel Brum. **Estudo Luminotécnico usando o software DIALUX**. Monografia de Conclusão de Curso. UFSM, 2012
- CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. ed. [Rio de Janeiro] : LTC, c2007.
- COTRIM, Ademaro Alberto Machado Bittencourt. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- ETAP. **The Maintenance Factor for LED Lighting**. Disponível em: <http://www.etaplighing.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/Maintenance%20factor%20whitepaper%20_EN.pdf>. Acesso em: 30 maio 2014.
- FERGÜTZ, Marcos. **Iluminação de Ambientes de Trabalho NBR 8995-1/2013**. Joinville: Udesc, 2014. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fergutz/materiais/ILUMINACAO_DE_AMBIENTES_DE_TRABALHO_2_14.pdf>. Acesso em: 15 junho 2014.
- LNA. Laboratório Nacional de Astrofísica. **Identificação e Combate à Poluição Luminosa**. Itajubá, 2012. Disponível em: <<http://www.lna.br/lp/definicao.html>>. Acesso em: 26 junho 2014.
- LUMICENTER. **Informações Técnicas**. Disponível em: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/arquivos/info_tecnicas_lumicenter.pdf>. Acesso em: 24 maio 2014.
- LUMICENTER. **Catálogo**. Disponível em: <<http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/catalogo/.html>>. Acesso em 02 junho 2014.