

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS EDUARDO MARÇAL MOMM

**PROPOSTA LUMINOTÉCNICA PARA O LABORATÓRIO DE
TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS DO IFSC - CAMPUS
FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS EDUARDO MARÇAL MOMM

**PROPOSTA LUMINOTÉCNICA PARA O LABORATÓRIO DE
TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS DO IFSC - CAMPUS
FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Fabricio Peter Vahl

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Momm, Carlos Eduardo Marçal
Proposta Luminotécnica para o Laboratório de Tecnologias Construtivas do IFSC - Campus Florianópolis / Carlos Eduardo Marçal Momm; orientação de Fabricio Peter Vahl. - Florianópolis, SC, 2022.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Iluminação. 2. DIALux evo. 3. Projeto luminotécnico.
4. Eficiência energética. 5. Laboratório de tecnologias construtivas. I. Vahl, Fabricio Peter. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Proposta Luminotécnica para o Laboratório de Tecnologias Construtivas do IFSC - Campus Florianópolis.

**PROPOSTA LUMINOTÉCNICA PARA O LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS
CONSTRUTIVAS DO IFSC - CAMPUS FLORIANÓPOLIS**

CARLOS EDUARDO MARÇAL MOMM

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 06 de Abril, 2022.

Banca Examinadora:

Fabricio Peter Vahl, Doutor
Orientador

Ana Ligia Papst de Abreu, Doutora
IFSC Florianópolis

Beatriz Francalacci da Silva, Doutora
IFSC Florianópolis

RESUMO

A luz é parte importante de qualquer tarefa, pois é ela que proporciona a noção de distância que percebemos através dos olhos. O desenvolvimento, seguido da grande dependência da iluminação gerada por eletricidade, move o crescimento da demanda de energia pelo mundo e aumenta a necessidade de eficiência e especialização nesta área. Para tal eficiência, projetos luminotécnicos são elaborados com o auxílio de diferentes programas capazes de simular as condições de iluminação de um ambiente, e analisá-las de acordo com parâmetros estabelecidos. Nos ambientes com atividades manuais, que exigem maior precisão e possuem utilização noturna, a luminosidade adequada às normas torna-se fundamental. Este trabalho tem como enfoque o uso do software DIALux evo para execução de uma nova proposta para o sistema de iluminação do laboratório de práticas construtivas do Departamento Acadêmico de Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, propondo uma forma de melhoria da qualidade de iluminação do local e apresentando o impacto lumínico e econômico desta implantação.

Palavras-chave: Iluminação. DIALux evo. Projeto luminotécnico. Eficiência energética. Laboratório de tecnologias construtivas.

ABSTRACT

Light is an important part of any task, as it provides the notion of distance that we perceive through our eyes. The development, followed by the heavy dependence on electricity generated lighting, drives the growth of energy demand around the world and increases the need for efficiency and specialization in this area. For such efficiency, lighting projects are designed with the help of different programs that are capable of simulating the lighting conditions of an environment, and analyzing them according to the established parameters. In environments of handwork that require greater precision and are used at night, a lighting proper to the standards becomes essential. This paper focuses on the use of the DIALux evo software to craft a new tender for the lighting system of the laboratory of constructive practices of the Academic Department of Civil Construction of the Federal Institute of Santa Catarina, proposing a sort of improvement to the lighting quality of the room and presenting the luminous and economic impact of this installation.

Palavras-chave: Lighting. DIALux evo. Lighting Project. Energy efficiency. Laboratory of constructive technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista aérea do campus do IFSC em Florianópolis.....	17
Figura 2: Luxímetro utilizado para as medições in loco.....	18
Figura 3: Planta baixa do laboratório de práticas construtivas.....	27
Figura 4: Foto Laboratório de Práticas Construtivas.....	27
Figura 5: Foto Laboratório de Práticas Construtivas.....	28
Figura 6: Foto de luminária instalada.....	30
Figura 7: Curva fotométrica da luminária CCN10-S432.....	30
Figura 8: Foto Sala de Aula.....	31
Figura 9: Foto Sala de Aula.....	31
Figura 10: Foto da área entre os blocos.....	32
Figura 11: Condições do céu no dia 21/12.....	33
Figura 12: Malha de pontos de medição - Iluminação natural.....	33
Figura 13: Sala de aula durante o dia.....	34
Figura 14: Malha de pontos de medição - Iluminação artificial do Canteiro.....	35
Figura 15: Malha de pontos de medição - Iluminação artificial da sala de aula.....	37
Figura 16: Projeto de base para modelagem.....	40
Figura 17: Faixas de refletâncias úteis.....	41
Figura 18: Estudo de massas da edificação.....	42
Figura 19: Modelo 3D DIALux.....	42
Figura 20: Modelo 3D DIALux - Canteiro.....	43
Figura 21: Modelo 3D DIALux - Sala de aula.....	43
Figura 22: Fotos dos materiais depositados.....	44
Figura 23: Foto dos materiais depositados.....	45
Figura 24: Luminária CAA01-S232.....	46
Figura 25: Características da luminária CAA01-S232.....	47
Figura 26: Curva fotométrica - luminária CAA01-S232.....	47
Figura 27: Distribuição de luminárias DIALux - Canteiro.....	48
Figura 28: Diagrama de linhas isográficas 1 - Canteiro.....	49

Figura 29: Resumo de resultados 1 - Canteiro.....	49
Figura 30: Diagrama de linhas isográficas 2 - Canteiro.....	50
Figura 31: Resumo de resultados 2 - Canteiro.....	50
Figura 32: Diagrama de linhas isográficas 3 - Canteiro.....	51
Figura 33: Resumo dos resultados 3 - Canteiro.....	52
Figura 34: Distribuição de luminárias DIALux - Sala de aula.....	53
Figura 35: Diagrama de linhas isográficas 1 - Sala de aula.....	54
Figura 36: Resumo de resultados 1 - Sala de aula.....	54
Figura 37: Diagrama de linhas isográficas 2 - Sala de aula.....	55
Figura 38: Resumo de resultados 2 - Sala de aula.....	56
Figura 39: Resultado final - Canteiro.....	56
Figura 40: Resultado final - Canteiro.....	57
Figura 41: Resultado final - Canteiro.....	57
Figura 42: Resultado final - Sala de aula.....	58
Figura 43: Resultado final - Sala de aula.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos para o planejamento da iluminação.....	25
Tabela 2: Relação entre iluminâncias de tarefa e do entorno imediato.....	25
Tabela 3: Valores de refletância calculados.....	41
Tabela 4: Consumo estimado dos sistemas.....	60
Tabela 5: Custo de implantação do sistema proposto.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	<i>International Commission on Illumination</i> (Comissão Internacional de Iluminação)
DACC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
DWG	<i>Drawing</i> (Desenho)
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Díodo Emissor de Luz)
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. PESQUISA	13
2.1 Justificativa	13
2.2 Definição do Problema	14
2.3 Objetivos	14
2.3.1 Objetivo geral	14
2.3.2 Objetivos específicos	15
2.4 Estrutura	15
2.4.1 Pressuposto	15
2.4.2 Recorte	15
3. METODOLOGIA	16
3.1 Objeto de Pesquisa	16
3.2 Medições	17
3.3 Elaboração de Projeto	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1 Fluxo Luminoso (Φ)	20
4.2 Intensidade Luminosa (I)	20
4.3 Iluminância (E)	20
4.4 Luminância	21
4.5 Eficiência Luminosa	21
4.6 Ofuscamento	21
4.7 Índice de Reprodução de Cor	22
4.8 Temperatura de Cor	22
4.9 Refletância (ρ)	22
4.10 Entorno Imediato	23
4.11 Luz Natural	23
4.12 Luz Artificial	23
5. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE	26
5.1. Características Físicas	26
5.2. Situação da Iluminação Atual	29
5.2.1 Medições	32
5.2.1.1 Iluminação Natural do Canteiro	32
5.2.1.2 Iluminação Natural da Sala de Aula	34

5.2.1.3 Iluminação Artificial do Laboratório de Tecnologias Construtivas	34
5.2.1.4 Iluminação Artificial da Sala de Aula	36
6. PROJETO LUMINOTÉCNICO	39
6.1 Modelagem	39
6.1.1 Levantamento das Refletâncias	40
6.1.2 Finalização do Modelo	42
6.2 Iluminação Requerida	45
6.3 Sistema Proposto	46
6.3.1 Iluminação do Laboratório de Tecnologias Construtivas	48
6.3.2 Iluminação da Sala de Aula	53
6.4 Condições Obtidas	56
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
7.1 Comparação dos Sistemas	59
7.2 Estimativa de Consumo	60
7.3 Custo de Implantação	60
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
8.1 Sugestões para trabalhos futuros	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

A luz é uma ferramenta simples e de extrema importância para a sociedade moderna. Por um longo período, as únicas fontes de iluminação utilizadas foram versões diferentes de uma chama controlada, como tocha, velas ou lampiões, que, além de não proporcionarem uma luz de qualidade, ofereciam riscos à segurança de todos ao redor.

A descoberta da iluminação artificial gerada por eletricidade revolucionou a forma como vivemos e nos relacionamos, possibilitando um aumento no tempo útil para diversas tarefas e necessidades sociais, além de representar um marco na produção de bens e serviços. Das tarefas simples às mais complexas, muito do que vivenciamos todos os dias só é possível graças ao desenvolvimento das tecnologias de iluminação.

As crescentes possibilidades do uso da iluminação no cotidiano pós-moderno trouxeram a conseqüente elevação e oneração do consumo. Assim, torna-se importante propor projeto luminotécnico aliando a adequação das normas e a otimização de recursos despendidos.

O uso da luz suplanta o simples clarear de ambientes pois agrupa a satisfação de diferentes necessidades fisiológicas, apurando os sentidos do corpo humano e trazendo precisão e otimização de tempo aos trabalhos realizados. A iluminação de um ambiente tem por escopo a garantia de segurança e precisão para as tarefas a serem executadas e, de modo concomitante, trazer conforto e ampliação aos sentidos. Ademais, a luminosidade também é responsável por embelezar e destacar ambientes além de gerar economia significativa quando empregada com a máxima eficiência e sustentabilidade. A escolha por equipamentos de tecnologia defasada e o mal dimensionamento dos ambientes, geram desperdícios e reduzem a qualidade dos sistemas de iluminação de edifícios, tornando-os ineficientes. De acordo com a NBR/ISO 8995-1 (ABNT 2013), “uma boa iluminação requer igual atenção para a quantidade e qualidade da iluminação”, torna-se significativo dimensionar não somente a quantidade de luminárias, mas

também a capacidade das mesmas de entregar a iluminância necessária aos locais adequados.

A necessidade de uma iluminação de qualidade torna-se ainda mais valiosa em ambientes de precisão. Ao dimensionar as atividades específicas realizadas nestes ambientes, pode-se idealizar um projeto que atenda de forma satisfatória às normativas juntamente com às necessidades específicas do local.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho propõe o estudo de um ambiente de precisão específico: o Laboratório de Tecnologias Construtivas do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC), localizado no IFSC Câmpus Florianópolis.

Os dados coletados serão analisados de acordo com a bibliografia proposta e agregados à simulação computacional realizada no software DIALux evo, resultando na proposição de um cenário luminotécnico alternativo.

2. PESQUISA

2.1 Justificativa

Modesto (2014, p. 18) destaca as dimensões continentais de nosso país, com tipologias e relevo diversificados, e as diferentes possibilidades de gerar energia. A matriz energética do Brasil é composta por fontes renováveis (energia hidráulica, biomassas, carvão vegetal entre outras) e não renováveis (petróleo, gás natural, carvão mineral entre outras) e a geração de energia elétrica é comandada por hidro e termoelétrica.

Consumir energia de forma eficaz e consciente é um grande desafio para o desenvolvimento humano. As necessidades cotidianas e o alto consumo industrial e agro, aliados a diminuição de oferta interna (devido aos baixos níveis das represas), ao alto custo dos derivados de petróleo e aos impactos ambientais causados pelas usinas, formam um cenário em que o consumo de energia deve ser eficiente, visando uma economia de recursos e financeira.

Assim, o consumo eficiente de energia evidencia o “fazer o máximo gastando o mínimo” , onde é possível reduzir desperdícios e otimizar o uso de energia no tempo necessário e de forma excelente. Faz-se imperioso estudar a luminosidade dos ambientes, apontar e propor modificações possíveis e necessárias para a adequação da iluminação artificial às normas vigentes e ainda dimensionar os investimentos imprescindíveis para as alterações propostas.

O Projeto Luminotécnico é peça fundamental para tornar a iluminação de um ambiente mais eficiente, visto que prioriza suprir todas as necessidades específicas de iluminação de um determinado local, de acordo com as atividades executadas. O resultado, então, é um ambiente personalizado, que traz conforto e precisão para suas especificidades.

Portanto, a otimização do sistema de iluminação de um laboratório de tecnologias construtivas e de uma sala de aulas faz-se indispensável, uma vez que seu uso frequente e em diferentes períodos do dia exige um ambiente luminoso

adequado e confiável, por ser imprescindível para suas atividades realizadas no local que requerem um nível de precisão elevado.

2.2 Definição do Problema

O Laboratório de Tecnologias Construtivas do IFSC - Campus Florianópolis, definido neste estudo pelo ambiente do laboratório por um ambiente com utilização de bancadas e outro ambiente de sala de aula, possui diversas janelas que fornecem ao ambiente acesso à iluminação natural. O local recebe a luminosidade de forma indireta e descontínua pois as paredes do prédio vizinho dificultam a penetração da luz natural no ambiente.

Assim, as aberturas existentes são insuficientes para distribuir a luz de maneira uniforme pelo laboratório. Algumas bancadas, onde grande parte dos trabalhos de precisão são realizados, não possuem iluminação natural adequada devido ao distanciamento das janelas, fazendo-se necessário o uso das lâmpadas durante todo o período de ocupação do espaço, aumentando o consumo de energia para suprir a deficiência da luminosidade adequada ao local.

Desta forma, surge a necessidade de questionamento e estudos sobre a luminosidade ofertada no local e possíveis adequações no ambiente que contribuam de forma significativa na contemplação das normas.

A partir dessa realidade contemplamos o questionamento: A iluminação do Laboratório de Tecnologias Construtivas é adequada ao ambiente e às atividades propostas no local? Em caso negativo, é possível propor adequações ao sistema de iluminação de forma prática e eficiente?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo geral

Propor um sistema de iluminação artificial técnica, energética e economicamente eficiente para o Laboratório de Tecnologias Construtivas do Departamento de Construção Civil do IFSC Câmpus Florianópolis.

2.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições atuais de iluminação natural e artificial do Laboratório de Tecnologias Construtivas, através de medições in loco;
- Elaborar um projeto luminotécnico, utilizando o software DIALux evo, segundo a norma vigente;
- Avaliar o sistema proposto pelo ponto de vista técnico, ambiental e econômico.

2.4 Estrutura

2.4.1 Pressuposto

Serão considerados válidos os dados apresentados pelo software DIALux evo e pelas normas regulamentadoras NBR ISO/CIE 8995/2013 - Iluminação de Ambientes de Trabalho e NBR 15215/2005 - Iluminação Natural, assim como os valores medidos e as imagens registradas no local.

2.4.2 Recorte

A delimitação do presente estudo é efetivamente o Laboratório de Tecnologias Construtivas e a sala de aula anexa, ambos situados nas instalações do campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

Os levantamentos preliminares, apontamento de dados e a elaboração deste trabalho ocorreram no período de Junho de 2021 e Fevereiro de 2022.

3. METODOLOGIA

A pesquisa em um trabalho científico representa sempre um esforço do pesquisador com o intuito de produzir ciência através dos métodos de pesquisa.

No que se refere a esse estudo, a pesquisa é constituída de duas etapas, uma pesquisa de campo baseada em referências bibliográficas e seguida da aplicação dos dados e fundamentos obtidos, com procedimentos de natureza empírica, pois procura apropriar-se de normativas e conceitos técnicos para verificação prática no local do recorte.

A natureza da pesquisa é aplicada pois seu objetivo geral contempla a propositura de modificação prática e necessária ao local de estudo. Pretende o estudo trazer apontamentos importantes e possíveis soluções para a adequação normativa.

A abordagem do problema de pesquisa se deu de forma quantitativa pois utiliza metodologia baseada em números, métricas e cálculos matemáticos para investigar condições atuais e propor modificações.

Para isso, inicialmente foram apurados dados das condições de iluminação existentes através de visitas ao ambiente de pesquisa e medições in loco. Posteriormente, os dados obtidos foram tratados e utilizados para caracterização do ambiente e simulação em software para propositura do novo projeto luminotécnico.

3.1 Objeto de Pesquisa

O objeto de pesquisa é o Laboratório de técnicas construtivas e a sala de aula anexa a ele, instalados no pavimento térreo do bloco H, pertencente ao Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC), do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) Campus Florianópolis, no bairro central do município de Santa Catarina (figura 1).

O campus se encontra em uma das ruas mais movimentadas do centro da cidade, a Avenida Mauro Ramos, com uma área de cerca de 48.000 m², latitude de 27°35'38"S e longitude de 48°32'e35"W.

Figura 1: Vista aérea do campus do IFSC em Florianópolis



Fonte: Google Maps (2022)

O laboratório é utilizado essencialmente durante as aulas práticas das disciplinas de técnicas construtivas comuns à indústria da construção civil. O ambiente é amplo e dispõe de bancadas de madeira que servem como estação para os trabalhos de maior precisão

A sala de aula anexa e parte do estudo é utilizada para aulas expositivas com o auxílio do quadro branco e de recursos audiovisuais. Os usuários desta sala utilizam carteiras com mesas para apoio dos materiais de anotação durante as aulas.

O local é adjacente a outros blocos da instituição, assim como à uma área aberta com pista de atletismo e uma área de práticas de construção civil ao ar livre.

3.2 Medições

Para as medições, foi utilizado um luxímetro modelo ISBB-1010B, da ISB Brasil, visto na figura 2 a seguir. O luxímetro mede a intensidade luminosa através de uma célula fotoelétrica e apresenta o valor da iluminância medida em lux.

Figura 2: Luxímetro utilizado para as medições in loco



Fonte: Autor (2022)

A norma NBR 15.215-4 destaca a Iluminação Natural como a verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. A coleta das medições no laboratório foi efetuada com a altura de 75 cm onde a altura do plano de trabalho é desconhecida. Na sala de aula, onde encontram-se mesas e carteiras, a altura elencada foi de 70 cm.

O processo de medição foi executado no laboratório para iluminação natural (durante o dia e com as lâmpadas desativadas), no laboratório para iluminação artificial (durante a noite e com as lâmpadas ativadas) e na sala de aula para iluminação artificial, respectivamente.

3.3 Elaboração de Projeto

O software DIALux evo versão 9.2 será utilizado para elaborar um modelo da estrutura existente no laboratório, para verificação dos critérios estabelecidos e elaboração de uma nova proposta luminotécnica para o ambiente.

O projeto arquitetônico utilizado como base foi fornecido pela instituição, em formato dwg (formato nativo de arquivo do software AutoCAD, da Autodesk) e adaptado para representar somente o objeto de estudo.

As dimensões do ambiente foram obtidas através deste projeto e corroboradas in loco. A verificação também contou com o levantamento do número de aberturas e suas dimensões, as características e posições do sistema de iluminação, os aspectos das paredes, tetos e pisos, e o levantamento de objetos existentes que possam gerar obstruções da iluminação.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Rodrigues (2002, p. 5), a luz pode ser definida como uma onda eletromagnética que, quando encontrada com comprimentos de onda entre 380 e 780 nm, é interpretada pela retina do olho humano como cores, que é o que compreendemos como iluminação. Este é um conceito debatido e experimentado inúmeras vezes, devido às características específicas da luz e o que hoje entendemos como dualidade onda-partícula, mas, ainda assim, há muito que não compreendemos de seus aspectos físicos.

A norma de iluminação ABNT (2013, p. 2) especifica que um bom ambiente luminoso deve assegurar conforto, desempenho e segurança visual para aqueles que o habitam. Alguns dos principais parâmetros para a boa luminosidade são:

4.1 Fluxo Luminoso (Φ)

Rodrigues (2002, p. 6) define como “uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz”. O fluxo de uma lâmpada, então, é a energia transformada em luz, medida em lúmens (lm).

4.2 Intensidade Luminosa (I)

De acordo com Fiorini (2006, p. 12), “É a quantidade de luz que uma fonte emite em uma determinada direção”. Representada em Candela, ou também em candela/1000 lúmens. O autor explana que o valor da intensidade luminosa é dependente do direcionamento dos feixes de luz, pois é comum que fontes luminosas não emitam luz uniformemente em todas as direções.

4.3 Iluminância (E)

Definida pela ABNT (1992, p. 1) como “limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da

superfície quando esta tende a zero”, a iluminância tem seu valor medido em lux, que é determinado pelo fluxo luminoso de 1 lúmen que incide em uma superfície de 1 m², de acordo com Rodrigues (2002, p. 6).

Segundo a ABNT (2013, p. 4), a iluminância e sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno imediato, são responsáveis pela forma como percebemos o ambiente e realizamos uma tarefa com rapidez, segurança e conforto. A norma ainda traz valores de iluminância mantida, que serve como limite mínimo para a iluminância média.

4.4 Luminância

De acordo com a ABNT (2004, p. 4), luminância é quando a luz que incide sobre uma superfície é refletida fazendo com que esta superfície seja percebida como uma fonte de luz. “O brilho observado é chamado de luminância, que depende da posição e da direção em que o usuário olha”.

4.5 Eficiência Luminosa

Rodrigues (2002, p. 6) trata a eficiência luminosa como a razão entre o fluxo luminoso de uma fonte e a potência consumida pela mesma fonte. Segundo Vianna e Gonçalves (apud Silva, 2019, p. 23), a eficiência luminosa é utilizada como parâmetro para comparação entre os tipos de lâmpada, auxiliando em análises energéticas e financeiras no uso de sistemas de iluminação artificial.

4.6 Ofuscamento

A ABNT (2013, p. 6) define o ofuscamento como “a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador”.

Em ambientes internos, o ofuscamento mais comum é um ofuscamento desconfortável, proveniente de luminárias brilhantes ou janelas. A norma ainda

esclarece que esse problema normalmente é evitado através de proteção nas luminárias contra uma visão direta da luz e por anteparos que reduzem a entrada de luz natural pelas janelas.

4.7 Índice de Reprodução de Cor

De acordo com Rodrigues (2002, p. 7) “é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma determinada fonte de luz.” A referência utilizada é a luz produzida pelo Sol, que possui um amplo espectro de todos os comprimentos de onda da luz visível, e, ao incidir sobre um objeto, reflete as suas cores reais. A ABNT (2013, p. 9) estabelece um índice geral de reprodução de cor, denominado R_a , cujo valor máximo é 100 e diminui de acordo com a qualidade da fonte de luz.

4.8 Temperatura de Cor

De acordo com ABNT (2013, p. 8), a temperatura de cor de uma lâmpada refere-se à cor aparente (cromaticidade da lâmpada) da luz que ela emite”, sendo expressa em Kelvin (K).

Segundo Rodrigues (2002, p. 8), “quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz”. Temperaturas abaixo de 3000 K tem uma cor amarelada e são chamadas de “luz quente” devido à sensação que trazem ao ambiente. Em paralelo, luzes de temperatura acima dos 6000 K apresentam um aspecto mais azulado, sendo denominadas de “luz fria”. Conforme o mesmo autor, “a ‘luz branca natural’ é aquela emitida pelo Sol em céu aberto ao meio-dia, cuja temperatura de cor é 5800 K.

4.9 Refletância (ρ)

Fiorini (2006, p. 17) fala que “parte do fluxo luminoso que incide sobre uma superfície é absorvido, parte sofre refração e uma terceira parcela é refletida”.

Dessa forma, a refletância define-se como a capacidade de uma superfície refletir o fluxo incidente sobre ela e é determinada pela razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente.

O autor relaciona a refletância com a cor e a composição da superfície, e também com a qualidade da iluminação do ambiente, afirmando que “quanto maior a refletância das superfícies de determinado ambiente, melhor será a distribuição do fluxo luminoso e conseqüentemente maior será a iluminância no recinto”.

4.10 Entorno Imediato

De acordo com ABNT (2013, p. 8), é “uma zona de no mínimo 0,5 m de largura ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão”.

4.11 Luz Natural

A luz natural é a luz solar, e por isso, depende de fatores como localização geográfica e existência de aberturas não obstruídas no ambiente.

De acordo com ABNT (2013, p. 9), “a luz natural varia em nível e composição espectral com o tempo e, por esta razão, a iluminação de um ambiente interno sofre variações”.

Conforme Rodrigues (2002, p. 9), “a utilização da luz natural é, sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação eficiente”. No presente estudo, a iluminação natural será considerada como complemento da iluminação artificial, visto que a iluminação de tarefa deve ser mais confiável e constante, enquanto as áreas circundantes podem ser estabelecidas a níveis mais baixos, de acordo com ABNT (2013) e Goulart (2012, p.13).

4.12 Luz Artificial

Atualmente, a iluminação artificial de ambientes internos possui a predominância do uso das lâmpadas LED, que são “dispositivos semicondutores que

convertem energia elétrica diretamente em energia luminosa, através de chips de minúscula dimensão.” (GIARETA, 2014, p. 21) Estes dispositivos podem ser encontrados em inúmeros modelos.

As luminárias do ambiente são responsáveis por moldar a forma como a luz das lâmpadas incide sobre o mesmo. Segundo Lamberts et al. (2014, p. 241) “ao avaliar uma luminária, sua eficiência e suas características de emissão são de considerável importância”.

Outro fator importante a ser abalizado é a distribuição das luminárias, baseada na curva fotométrica característica do modelo em questão. Tal distribuição é avaliada por gráfico fornecido pelo fabricante que retrata a emissão e o alcance da luz proveniente da lâmpada, de forma transversal e longitudinal, podendo ser utilizado em modelos tridimensionais e compartilhados através de arquivos do formato .ies.

A ABNT (2013, p. 11) explana os requisitos de iluminação recomendados para vários ambientes e atividades específicas, estabelecidos em tabelas com a iluminância mantida (E_m), que é um valor mínimo para a iluminância média da superfície. Destaca também o índice limite de ofuscamento (UGR_L), determinado pelo valor máximo permitido de desconforto por ofuscamento para uma instalação de iluminação e, ainda, o índice de reprodução de cor mínimo (R_a), comentado no item 2.5 deste estudo.

A classificação do ambiente objeto deste estudo ocorre a partir da análise de tarefa ou atividade, presente na norma com a nomenclatura de “Salas de aplicação e laboratórios” para o laboratório de tecnologias construtivas e “Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos” para a sala de aula do Canteiro, como descrita na figura 3.

Tabela 1: Requisitos para o planejamento da iluminação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	UGRL	Ra
28. Construções educacionais			
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80

Fonte: Adaptado de ABNT (2013, p. 21)

A norma também indica que “A iluminância mantida das áreas do entorno imediato pode ser mais baixa que a iluminância da área da tarefa” (ABNT, 2013, p. 5) e estabelece, como demonstra a figura 4, os valores mínimos permitidos em relação à iluminância de tarefa do ambiente e no entorno imediato que é tratado como “uma zona de no mínimo 0,5 m de largura ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão”. (ABNT, 2013, p. 2)

Tabela 2: Relação entre iluminâncias de tarefa e do entorno imediato

Iluminância da tarefa lux	Iluminância do entorno imediato lux
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: ABNT (2013, p. 5)

5. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

Por situar-se em um instituto federal, o objeto de estudo e todos os materiais existentes em seu interior são patrimônio do Estado. Desta forma, qualquer modificação idealizada para o local só poderá tornar-se realidade após devido processo regido pelas normas da administração pública.

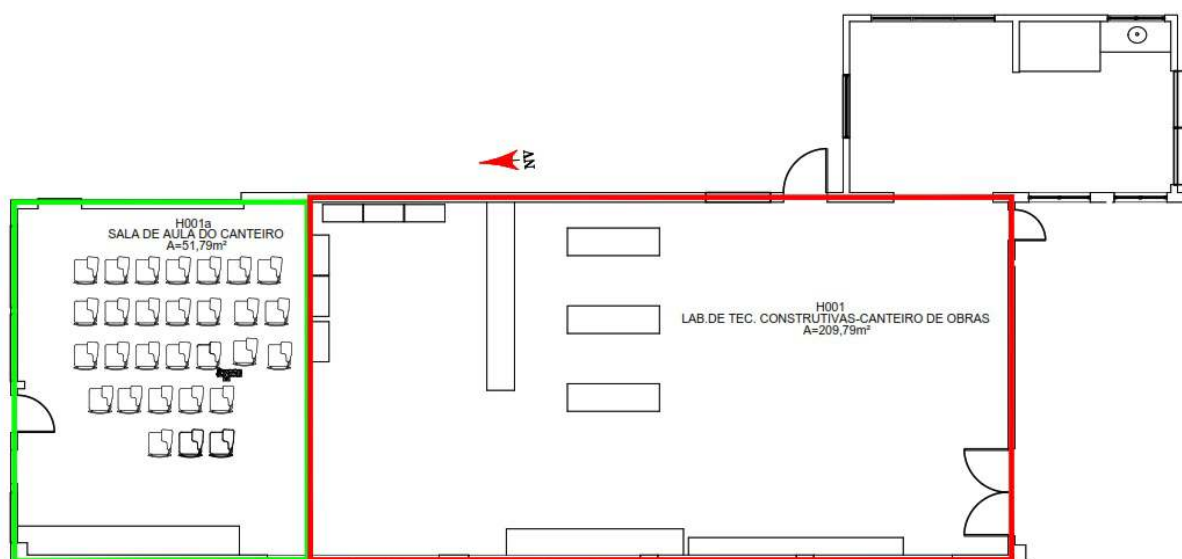
Concomitantemente, é importante ressaltar que tal administração pressupõe destinações orçamentárias com o planejado e previsões antecipadas. Essas características específicas tornam as proposições deste estudo possibilidades de médio prazo, que dependerão de análise financeira e disponibilidades de recursos.

Porém, ao tratar-se de objeto público, temos enaltecidas a eficiência que é a proporção entre o resultado alcançado e os recursos necessários para alcançá-lo e a eficácia que está diretamente ligada à capacidade de atingir resultados que precisam ser atingidos. Tais parâmetros fazem do presente estudo, importante contribuição para adequação às normas de iluminação e ponto inicial para futuros estudos.

5.1. Características Físicas

Modelar é representar um ambiente de forma tridimensional, transformando-o em uma versão do modelo real em que é possível analisarmos as condições deste mesmo ambiente com simulações de seus aspectos físicos e da interrelação entre os parâmetros existentes.

Na versão do projeto disponível para o estudo, mostrada na figura 5, é possível identificar que o objeto de estudo é composto por dois ambientes contíguos: o Laboratório de Práticas Construtivas, destacado em vermelho, e a Sala de aula, destacada em verde.

Figura 3: Planta baixa do laboratório de tecnologias construtivas

Fonte: IFSC (2021)

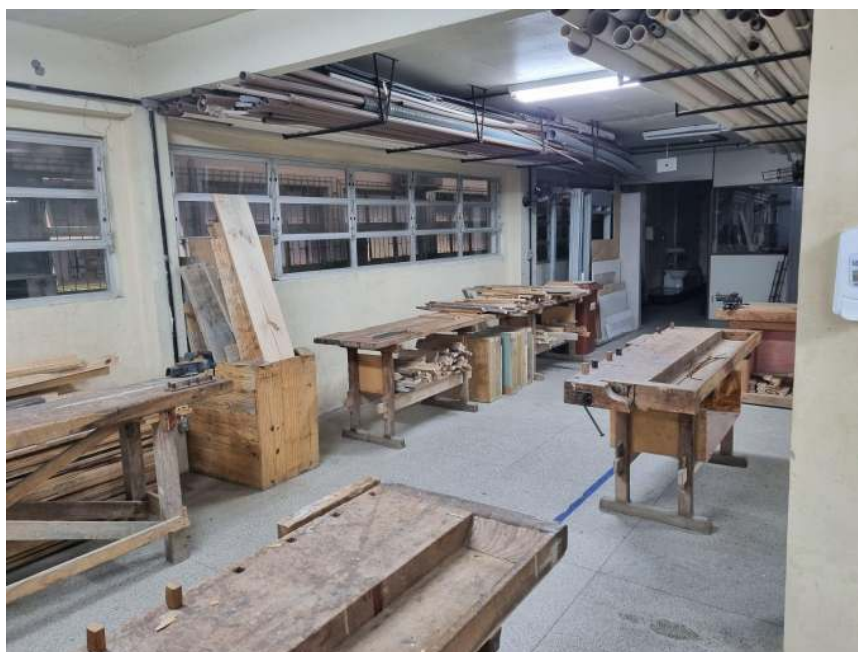
Alguns aspectos físicos relevantes do ambiente podem ser identificados na figura 6: o formato retangular com uma linha longitudinal de pilares ao centro da sala, com vigas do pavimento superior à mostra, paredes e teto em tom amarelado, piso com aparência de concreto polido, infraestrutura de rede elétrica aparente e objetos armazenados por todo o ambiente, inclusive no teto.

Figura 4: Foto Laboratório de Práticas Construtivas

Fonte: Autor (2022)

Quanto às esquadrias, a maior parte das janelas se concentra na parede oeste da sala, com suas aberturas para um corredor entre blocos. Uma pequena parte se encontra na parede leste, voltada para a área aberta da pista de atletismo. Todas as janelas são do modelo basculante e de alumínio. Já as portas são comuns, de madeira e pintadas na cor cinza, como demonstrado na figura 7 a seguir.

Figura 5: Foto Laboratório de Práticas Construtivas



Fonte: Autor (2022)

O projeto do Instituto Federal estava desatualizado pois alguns locais foram recentemente reformados. Em outros pontos, o projeto não alcançou o nível de detalhamento necessário, como a descrição das estruturas encontradas no meio do laboratório. Nesse caso, temos uma parede em drywall que serve de demonstração nas aulas e a diferente posição das bancadas e carteiras. O modelo então foi alterado nestes pontos, para representar as condições reais do local.

5.2. Situação da Iluminação Atual

A respeito da avaliação de iluminação de ambientes, segundo Fiorini (2006), “Ao se analisar a iluminação de determinado ambiente deve-se verificar se este apresenta qualidade adequada às exigências da luminotécnica: correta distribuição, conforto visual e boa eficiência energética”.

Estes pontos podem ser melhor analisados quando relacionados a características mensuráveis, como o fator de uniformidade, a iluminância média e o índice de ofuscamento.

A modelagem é feita com o intuito inicial de verificar a qualidade do sistema de iluminação do ambiente e a compatibilidade deste sistema com o tipo de trabalho nele executado e as normas relacionadas.

O sistema de iluminação existente é de modelo industrial, com luminárias do tipo calha, com quatro lâmpadas do tipo tubular LED de 18 W, 6500 K, 1850 Lm, da fabricante Master Led, como mostra a figura 8. Elas estão espaçadas de modo a ficarem centralizadas com a laje do pavimento superior, sendo oito no total.

As fontes de luz do laboratório estão fixadas sobrepostas nas lajes, em duas fileiras de quatro luminárias, na cota de 2,8 m, o que diminui a possibilidade de ofuscamento.

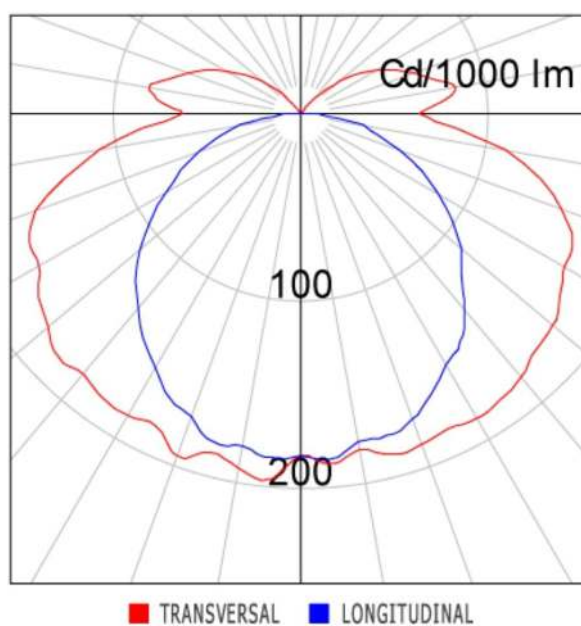
A figura 9 é referente à luminária CCN10-S432 da fabricante Lumicenter, semelhante à encontrada in loco mas que está atualmente fora de linha.

Figura 6: Foto de luminária instalada



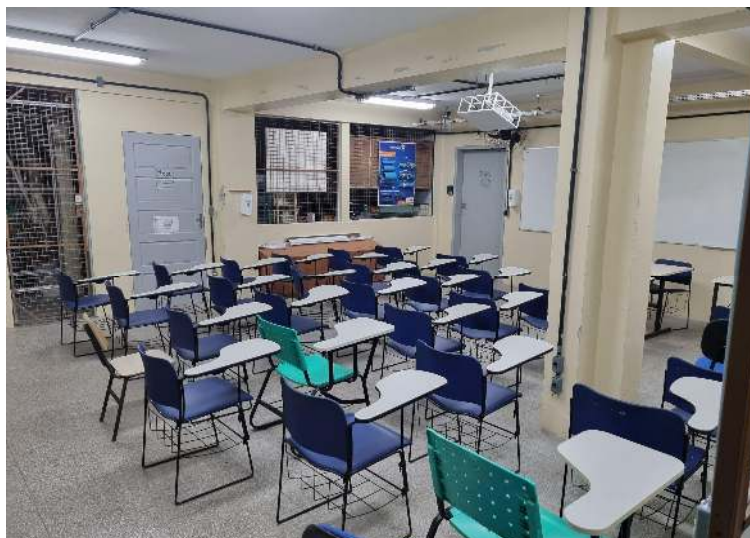
Fonte: Autor (2022)

Figura 7: Curva fotométrica da luminária CCN10-S432



Fonte: Adaptado de Catálogo Lumicenter (2022)

Na sala de aula do Canteiro são utilizadas as mesmas luminárias e lâmpadas, sendo seis ao todo, distribuídas de forma não simétrica em duas linhas com três luminárias em cada.

Figura 8: Foto Sala de Aula

Fonte: Autor (2022)

Figura 9: Foto Sala de Aula

Fonte: Autor (2022)

O objeto de estudo está rodeado por outras edificações, o que dificulta o acesso direto à iluminação natural, pois as janelas oferecem abertura para um vão entre os prédios, como destacado na figura 12 a seguir.

Figura 10: Foto da área entre os blocos



Fonte: Autor (2022)

5.2.1 Medições

Juntamente com as visitas de reconhecimento ao local para coleta de dados não encontrados na planta baixa (abertura das janelas, pé direito, modelo das luminárias e detalhes de acabamento) foram realizadas medições de iluminância do ambiente, que contribuíram para análise e elaboração de um projeto as built.

5.2.1.1 Iluminação Natural do Canteiro

As medições de iluminação natural foram obtidas no dia 21 de dezembro de 2021, por volta das 15h, com as condições de céu parcialmente nublado, como mostra a figura 13 a seguir.

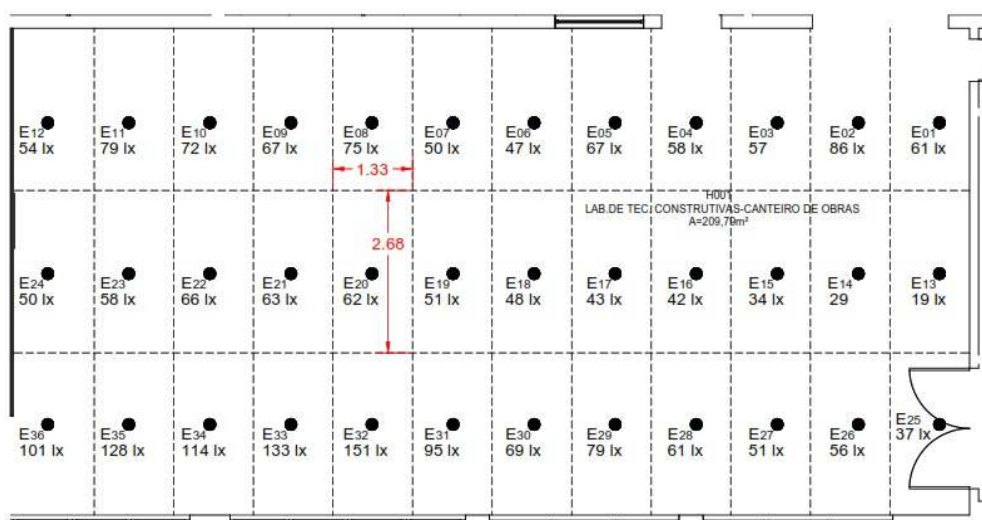
Figura 11: Condições do céu no dia 21/12



Fonte: Autor (2022)

Pelo cálculo do índice K do local, obtido pela equação 2 da NBR 15.215-4 onde $K=3,9$, é encontrado um número mínimo de 36 pontos a serem medidos. A malha escolhida para a medição é constituída de retângulos de $1,33 \times 2,68$ m, devido à geometria da edificação e à disposição de suas aberturas. Estes retângulos são arranjados em 3 linhas e 12 colunas, de forma a concentrar as medições nas regiões de maior significância, conforme mostra a figura 14 a seguir.

Figura 12: Malha de pontos de medição - Iluminação natural



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Com os valores encontrados, foi efetuado o cálculo da iluminância média no ambiente, através da média aritmética de todos os pontos. Sendo o valor médio $E_m = 67,02$ lux, a iluminação natural é considerada como iluminação de suporte, visto que seu valor máximo, próximo às janelas, foi de 151 lux e os raios provenientes do Sol não incidem diretamente sobre as aberturas, reduzindo o ofuscamento.

5.2.1.2 Iluminação Natural da Sala de Aula

Na sala de aula anexa ao Laboratório de Tecnologias Construtivas não existem aberturas externas e os únicos acessos à iluminação natural são as aberturas das salas adjacentes, limitando o acesso da sala a esse tipo de luz e tornando-a insignificante para as medições com o luxímetro. A figura 15 mostra um pouco da luminosidade proveniente de um dos laboratórios ao lado da sala de aula.

Figura 13: Sala de aula durante o dia



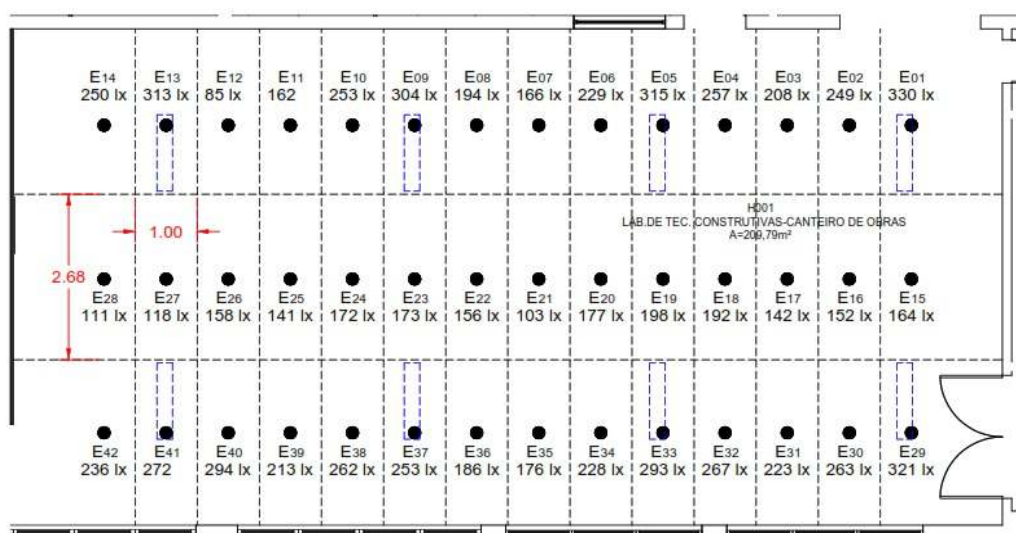
Fonte: Autor (2021)

5.2.1.3 Iluminação Artificial do Laboratório de Tecnologias Construtivas

As medições da iluminação artificial foram realizadas no dia 22 de fevereiro de 2022, às 20h, cerca de dois meses após a visita para medição da iluminação natural. O distanciamento das medições ocorreu devido ao longo tempo de inatividade do

local, pois os equipamentos de iluminação se encontravam em estado precário devido a falta de manutenção. Com a previsão de retomada das atividades presenciais e a iminente utilização da iluminação artificial, foram efetuados os reparos necessários, possibilitando assim a realização das medições necessárias ao estudo. Tais dados foram coletados com o mesmo padrão estabelecido para a iluminação natural, exceto pela malha que foi feita com 14 colunas, com um espaçamento de 1 m, como visto na figura 15 a seguir, a fim de detectar melhor as variações em relação à posição das luminárias.

Figura 14: Malha de pontos de medição - Iluminação artificial do Canteiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os pontos foram medidos pela ordem na figura 15 acima, garantindo sempre o alinhamento do sensor ao plano de trabalho e os resultados descritos em planta.

A média aritmética calculada dos valores obtidos resulta na iluminância média $E_m = 213,31$ lux, que é cerca de 43% do valor médio estabelecido pela norma para este ambiente, mencionado no item 3.9. Tais resultados não atendem ao nível da iluminância para o entorno imediato de 300 lux.

O fator de uniformidade do ambiente é encontrado pela razão entre a menor iluminância e a iluminância média que, neste caso, é a razão entre o valor medido

no ponto $E_{12} = 85$ lux e o E_m calculado anteriormente, resultando no valor de 0,4 ou 40% de uniformidade no ambiente.

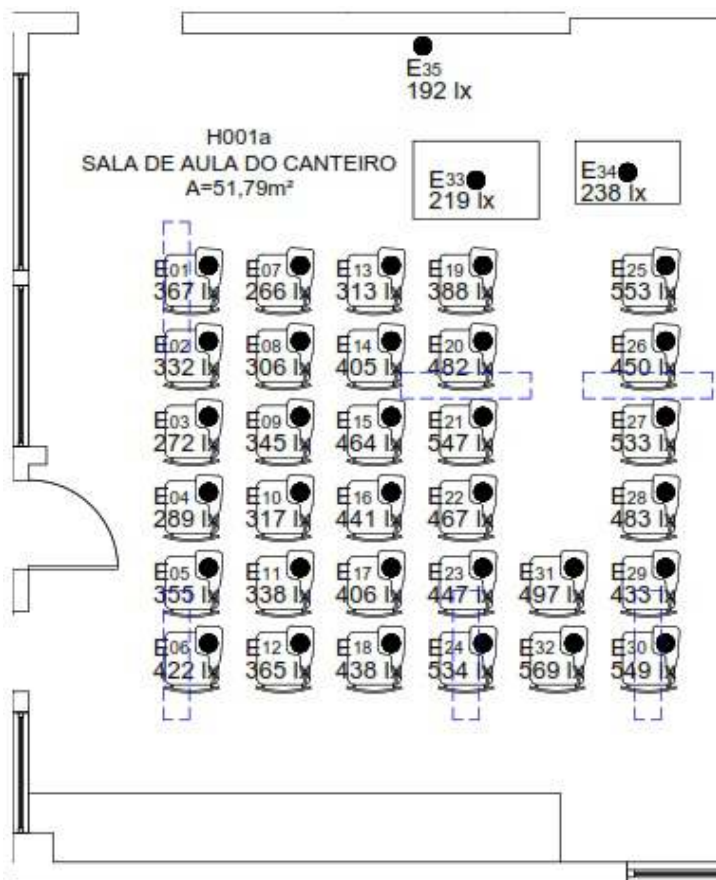
Embora o valor encontrado não deva ser relacionado a uma situação inteiramente ruim, ele representa cerca de 57% do valor de 0,7 estabelecido pela norma para a iluminação de tarefa e também não alcança o nível de 0,5 para a iluminação do entorno.

De forma ampla e material, o sistema de iluminação do laboratório está em boas condições de manutenção, principalmente devido à recente troca das lâmpadas em preparação para o retorno das atividades presenciais. Porém, ao enfatizar a análise qualitativa da iluminação existente, percebe-se a necessidade de adequação para suprir as necessidades específicas do local e a execução precisa das tarefas visuais.

5.2.1.4 Iluminação Artificial da Sala de Aula

Para a sala de aula ao lado do laboratório, os valores foram obtidos conforme a ordem mostrada na figura 16, coletados em cada uma das trinta e duas carteiras, nas duas mesas destinadas ao professor e também no centro do quadro, totalizando assim trinta e cinco pontos. Este procedimento foi adotado pois as atividades executadas neste ambiente são exclusivas à regiões destacadas.

Figura 15: Malha de pontos de medição - Iluminação artificial da sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os dados obtidos e a disposição das luminárias são apresentados em planta na figura acima. O valor da iluminância média para a sala está em $E_m = 400,63$ lux. Visto que a classificação do ambiente (salas de aula do período noturno, classes e educação de adultos) exige uma iluminação mantida de 500 lux e o medido representa cerca de 80% do exigido, podemos dizer que a sala se encontra dentro do limite de iluminância do entorno imediato. No entanto, a NBR ISO/CIE 8995-1 especifica em seu anexo A que, para este tipo de ambiente, “toda a sala é considerada uma área de trabalho” (ABNT, 2013, p. 28) e portanto deve atender ao solicitado pela norma. Assim, podemos concluir que ainda será necessário adequações de iluminação para o atendimento pleno da norma.

O valor do índice de uniformidade para este ambiente é calculado pela razão entre o medido no ponto $E_{35} = 192$ lux e o E_m calculado, resultando em um índice

igual a 0,48 ou 48%. Mesmo com a sua distribuição mais uniforme que a do Laboratório de Tecnologias Construtivas, não é suficiente para atender ao mínimo especificado pela norma de 0,7 em toda a área da sala.

Em todos os aspectos, o sistema de iluminação da sala de aula apresentou resultados superiores aos encontrados para o laboratório mas, da mesma forma, não possui a qualidade de iluminação necessária para o tipo de tarefa executada no ambiente.

6. PROJETO LUMINOTÉCNICO

De acordo com Silva (2019, p. 36), existem alguns softwares que simulam as características de um ambiente e suas condições luminosas, como Relux, Velux, Revit e o DIALux evo. Este último foi escolhido como ferramenta de análise deste projeto devido ao seu acesso fácil e gratuito, sua ampla biblioteca de modelos disponibilizados em parceria com os próprios fabricantes e a sua popularidade.

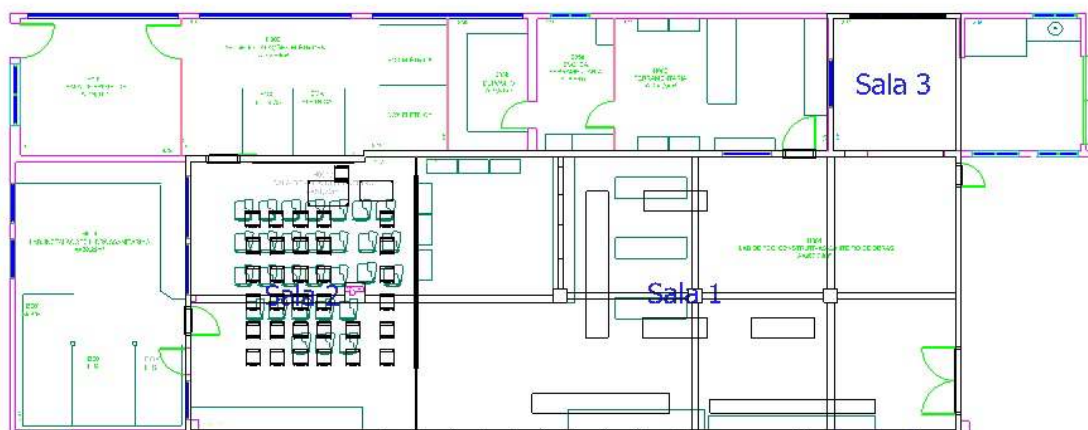
O programa DIALux evo, desenvolvido pela empresa alemã DIAL, possui 750 mil usuários atualmente e é o principal software para o planejamento e simulação luminotécnica, de acordo com dados fornecidos pela própria empresa. O software permite realizar a modelagem e o cálculo lumínico de forma intuitiva, recebe popularidade por ser uma ferramenta de qualidade e fornecida gratuitamente.

Lamberts et al. (2014, p. 167) afirmam que o programa é capaz de modelar o ambiente a ser analisado do zero, bem como pode importar e exportar os arquivos de referência para o projeto, fornecendo análise visual e de dados da simulação proposta. Estas e outras características fazem do DIALux evo um software versátil e útil para simulações de um sistema de iluminação.

6.1 Modelagem

Os dados mencionados no item anterior e o projeto em dwg são o ponto de partida para a modelagem no software DIALux evo, onde o arquivo base é importado e utilizado para a construção do ambiente virtual, como mostra a figura 18.

Figura 16: Projeto de base para modelagem



Fonte: Autor (2022)

A partir daí, é feito o levantamento das paredes, com a especificação do pé direito, aberturas e nomenclaturas dos ambientes. Em seguida, são acrescentados os detalhes das salas como móveis, estruturas aparentes e qualquer outra coisa que possa ser significativa para os resultados.

6.1.1 Levantamento das Refletâncias

Para obter a refletância das superfícies, segundo Fiorini (2006), deve ser utilizado o método da folha branca, feito com um luxímetro e uma folha de papel branco fosco. O método consiste em medir a iluminância de uma superfície a uma distância de 7,5 cm, com e sem uma folha branca sobre ela e aplicar os valores encontrados à equação.

$$\rho = \frac{E_{su}}{E_{pa}} \times 75$$

Onde:

ρ = refletância da superfície em %;

E_{su} = nível de iluminamento medido sobre a superfície (a 7,5 cm de altura e com a célula voltada para a superfície);

E_{pa} = nível de iluminamento medido sobre o pedaço de papel (a 7,5 cm de altura e com a célula voltada para a superfície).

Dessa forma, temos os valores da tabela 1 para cada uma das superfícies do laboratório. Não foi possível executar a medição para a superfície do teto devido a falta de equipamento para alcançar a altura. Assim, o valor a ser adotado será o mesmo das paredes, visto que são muito semelhantes.

Tabela 3: Valores de refletância calculados

Superfície	Esu	Epa	Refletância
Quadro	131 Lux	122 Lux	80,53%
Parede/Teto	180 Lux	216 Lux	62,50%
Chão	54 Lux	103 Lux	39,32%
Porta	64 Lux	104 Lux	46,15%
Bancada	34 Lux	103 Lux	24,76%

Fonte: Autor (2022)

Os valores medidos encontram-se no intervalo das faixas de refletâncias úteis, como demonstrado na figura 19 e serão utilizados durante a etapa de modelagem, sendo atribuídos às superfícies do ambiente do modelo.

Figura 17: Faixas de refletâncias úteis

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

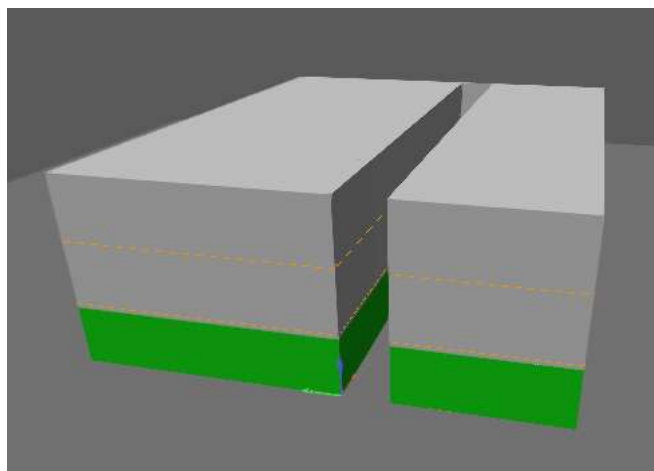
Fonte: ABNT (2013, p. 4)

6.1.2 Finalização do Modelo

Nesta etapa é realizada a especificação das cores e materiais das superfícies com a atribuição dos índices de refletância encontrados no item 5.2.1, obtendo assim um modelo 3D da edificação. A partir deste, experimentamos simulações, como mostram as figuras 20, 21, 22 e 23.

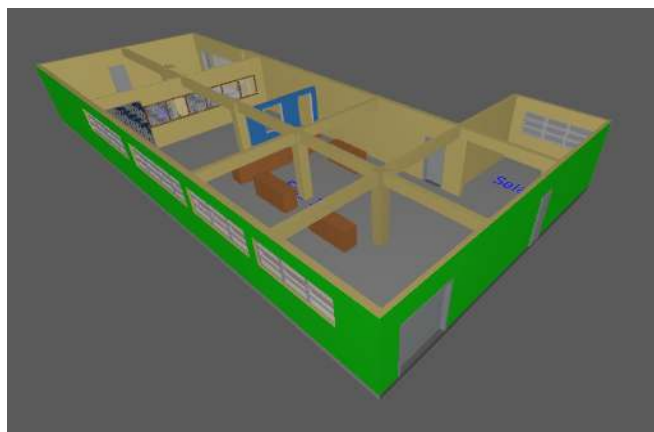
As bancadas e as carteiras do Laboratório de Tecnologias Construtivas possuem alturas de 86 e 70 cm, respectivamente. Estas serão as alturas dos planos de trabalho consideradas no projeto para os ambientes do laboratório e sala de aula.

Figura 18: Estudo de massas da edificação



Fonte: Autor (2022)

Figura 19: Modelo 3D DIALux



Fonte: Autor (2022)

Figura 20: Modelo 3D DIALux - Canteiro

Fonte: Autor (2022)

Figura 21: Modelo 3D DIALux - Sala de aula

Fonte: Autor (2022)

Alguns elementos como estantes, materiais armazenados, ventiladores e equipamentos fixos não foram considerados como parte do modelo. Tais materiais são móveis de localização variada, que podem ser acomodados de formas diferentes de acordo com a necessidade ou conveniência das pessoas que utilizam o local.

Contudo, mesmo não estando inclusos no modelo, é importante destacar que tais elementos afetam não só a distribuição da luz no ambiente, como também o uso da sala. O recomendável para a garantir a efetiva qualificação da iluminação seria a configuração fixa do local para cada objeto juntamente com a sinalização deste, comprometendo os usuários a manter a disposição estabelecida. Os materiais armazenados por todo o laboratório podem ser visualizados nas figuras 24 e 25 a seguir. A realocação destes itens se faz necessária para minimizar a quantidade de obstruções para a iluminação, tanto direta quanto indiretamente.

Figura 22: Fotos dos materiais depositados



Fonte: Autor (2022)

Figura 23: Foto dos materiais depositados



Fonte: Autor (2022)

6.2 Iluminação Requerida

A partir do entendimento das necessidades a serem atendidas pelo projeto e das limitações existentes em questões de eficiência e conforto é possível dimensionar a iluminação requerida.

Conforme já mencionado no item 3.8, a NBR ISO/CIE 8995-1 traz os níveis de iluminância necessários para a execução das tarefas específicas de diversos ambientes internos, discernindo entre as áreas de tarefa e as áreas do entorno imediato destes ambientes.

No estudo do laboratório de práticas construtivas, foi encontrada a demanda de 500 lux nas áreas de tarefas e 300 lux para o entorno imediato. Já a sala de aula é considerada como uma sala de utilização noturna, uma vez que não possui acesso a iluminação natural e prevê utilização no período noturno, destinada à educação de adultos. Para este tipo de ambiente, a NBR ISO/CIE 8995-1 afirma que toda a sala deve ser considerada uma área de trabalho, exceto por uma faixa marginal de largura 50 cm, e com iluminância mantida de 500 lux. A norma fala ainda da uniformidade, que é a razão entre o valor de iluminância mínimo e o valor médio. Tal

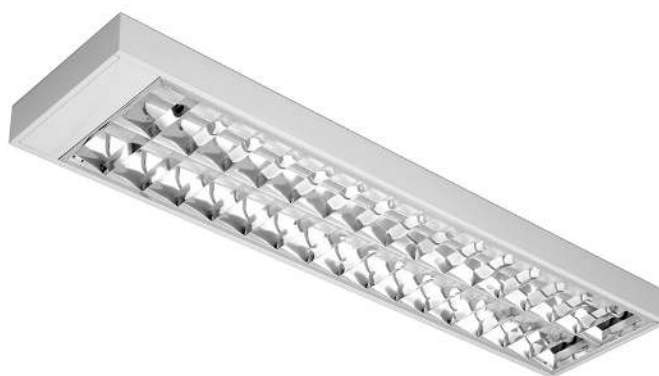
uniformidade não deve ser menor que 0,7 na área de tarefa, ou menor que 0,5 nas áreas do entorno imediato.

6.3 Sistema Proposto

Tendo concretizado o modelo do ambiente estudado e as necessidades a serem atendidas no mesmo, foi realizada simulação de diferentes sistemas de luminárias, a fim de encontrar um modelo que atenda à distribuição luminosa necessária e mantenha a modelagem de lâmpadas instaladas atualmente, com a finalidade de reduzir o impacto financeiro da substituição.

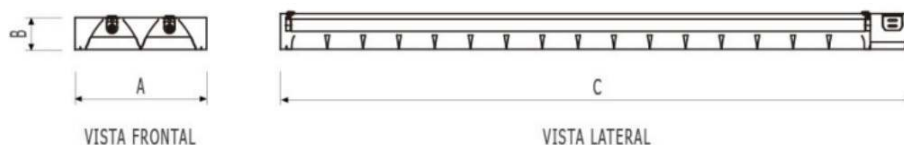
O modelo CAA01-S232 da fabricante Lumicenter, além de atender aos quesitos postos acima, é uma luminária indicada para ambientes com necessidade de controle de ofuscamento rigoroso, graças às suas aletas parabólicas e refletores em alumínio. As figuras a seguir apresentam os detalhes desta luminária.

Figura 24: Luminária CAA01-S232



Fonte: Catálogo Lumicenter (2022)

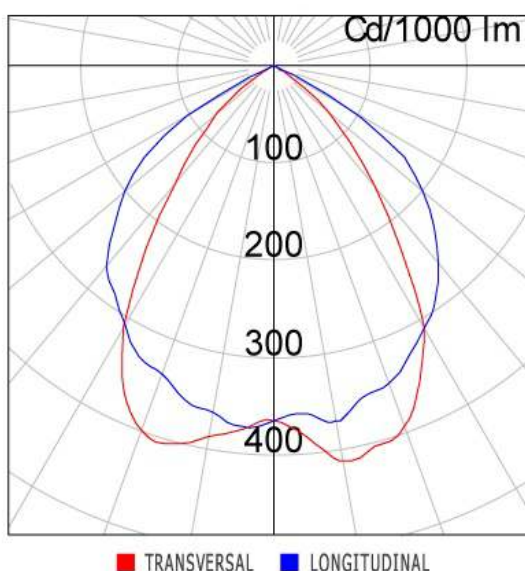
Figura 25: Características da luminária CAA01-S232



A (mm)	B (mm)	C (mm)
307	75	1317

Fonte: Adaptado de Catálogo Lumicenter (2022)

Figura 26: Curva fotométrica - luminária CAA01-S232



Fonte: Catálogo Lumicenter (2022)

Com o intuito de obter resultados detalhados durante o dimensionamento, as superfícies de cálculo do Laboratório de Tecnologias Construtivas foram alteradas e divididas, permitindo assim que os valores médios referentes aos planos de trabalho, constituídos de seis bancadas, sejam analisados separadamente dos resultados do entorno imediato.

Para a sala de aula, essa medida não foi necessária, já que quase toda a área do ambiente é considerada área de trabalho. Foi apontada a adição de forro em ambas as salas, rebaixando o pé direito para a altura de 2,5 m, para elevar o índice

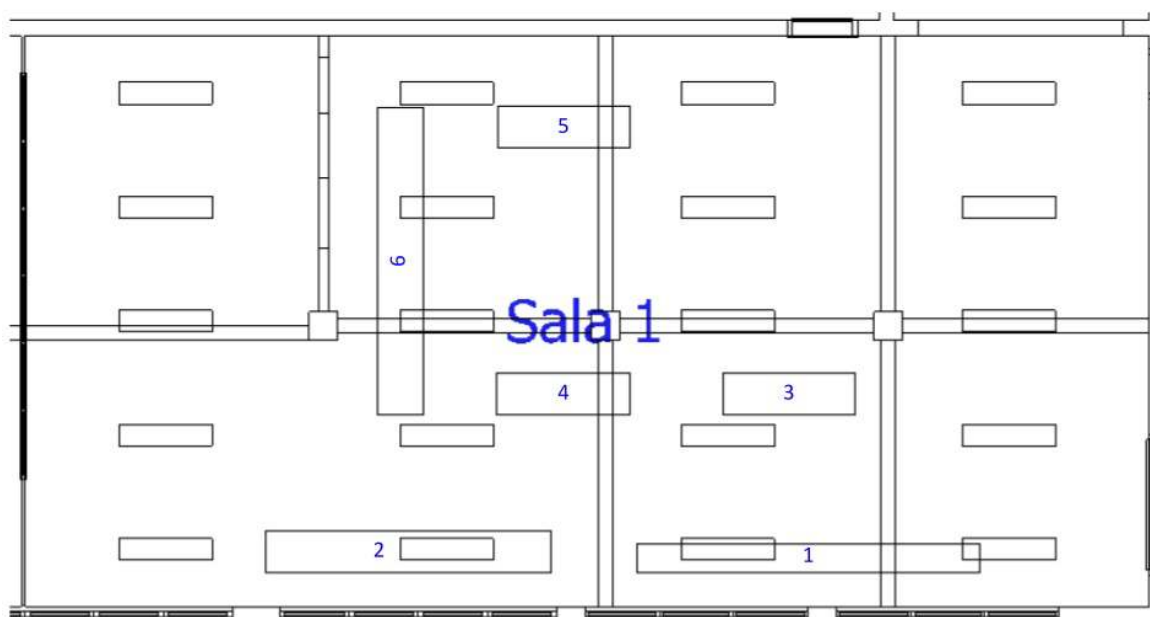
de refletância do teto de 62,5%, como calculado no item 6.1.1, para o valor estimado de 80% aprimorando a distribuição da iluminação do ambiente.

Em seguida, foi efetuada a distribuição das luminárias em planta, pelo software DIALux evo, que permite, a partir da definição do equipamento e área de aplicação, realização de cálculo prévio da quantidade de luminárias necessárias para atingir o nível estabelecido de 500 lux.

6.3.1 Iluminação do Laboratório de Tecnologias Construtivas

O sistema de iluminação do Laboratório de Tecnologias Construtivas para 500 lux de iluminância média, foi estimado com quatro colunas e cinco fileiras de luminárias com duas lâmpadas LED tubular de 18 W, 1850 lm e 6500 K cada, espalhados pela sala de maneira simétrica, como mostra a figura 29.

Figura 27: Distribuição de luminárias DIALux - Canteiro

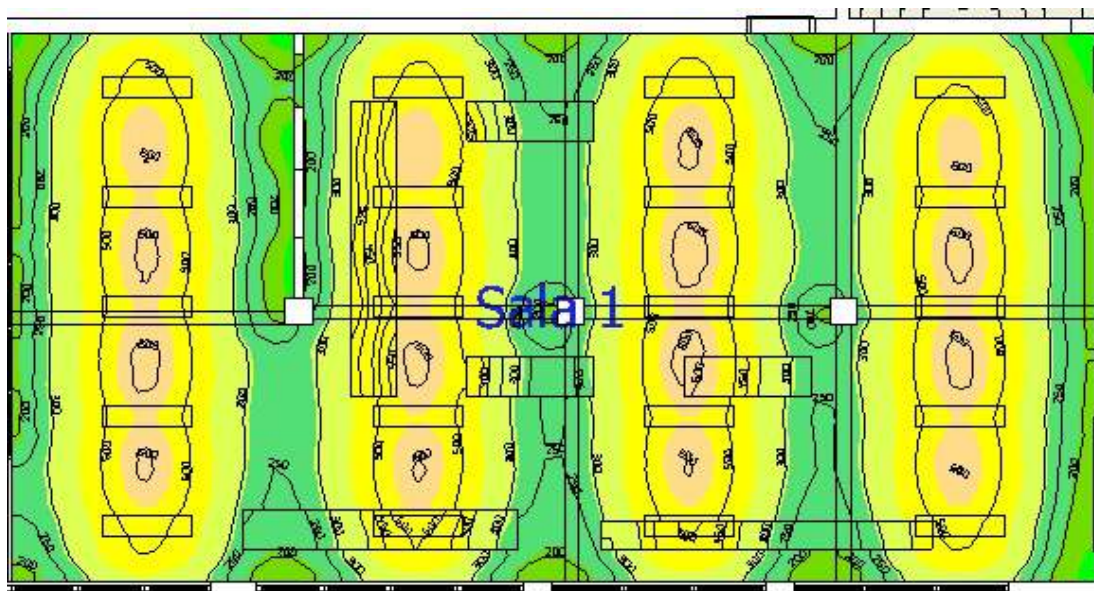


Fonte: Autor (2022)

Porém, após a execução dos cálculos do programa, os resultados mostraram que a iluminância média não pôde ser alcançada, Além disso, a iluminação do

ambiente não atende aos padrões de uniformidade comentados no item 6.2, como mostram as figuras 30 e 31.

Figura 28: Diagrama de linhas isográficas 1 - Canteiro



Fonte: Autor (2022)

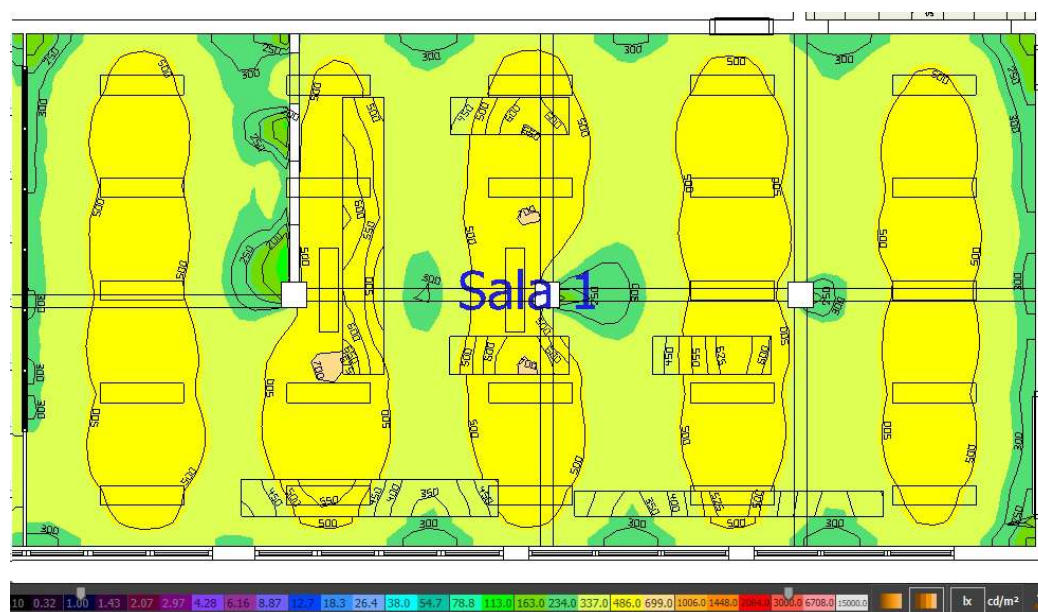
Figura 29: Resumo de resultados 1 - Canteiro

▼	Bancada 1		
▶	354 lx	0.60	📊
▼	Bancada 2		
▶	358 lx	0.61	📊
▼	Bancada 3		
▶	445 lx	0.62	📊
▼	Bancada 4		
▶	318 lx	0.81	📊
▼	Bancada 5		
▶	305 lx	0.80	📊
▼	Bancada 6		
▶	483 lx	0.84	📊
▼	Entorno Imediato		
▶	384 lx	0.29	📊

Fonte: Autor (2022)

Como solução inicial foi adicionada uma coluna de lâmpadas à malha objetivando aumentar a iluminância. No entanto, duas luminárias ocuparam o mesmo espaço que os pilares da estrutura nesse modelo e precisaram ser realocadas para não comprometer o dimensionamento.

Figura 30: Diagrama de linhas isográficas 2 - Canteiro



Fonte: Autor (2022)

Figura 31: Resumo de resultados 2 - Canteiro

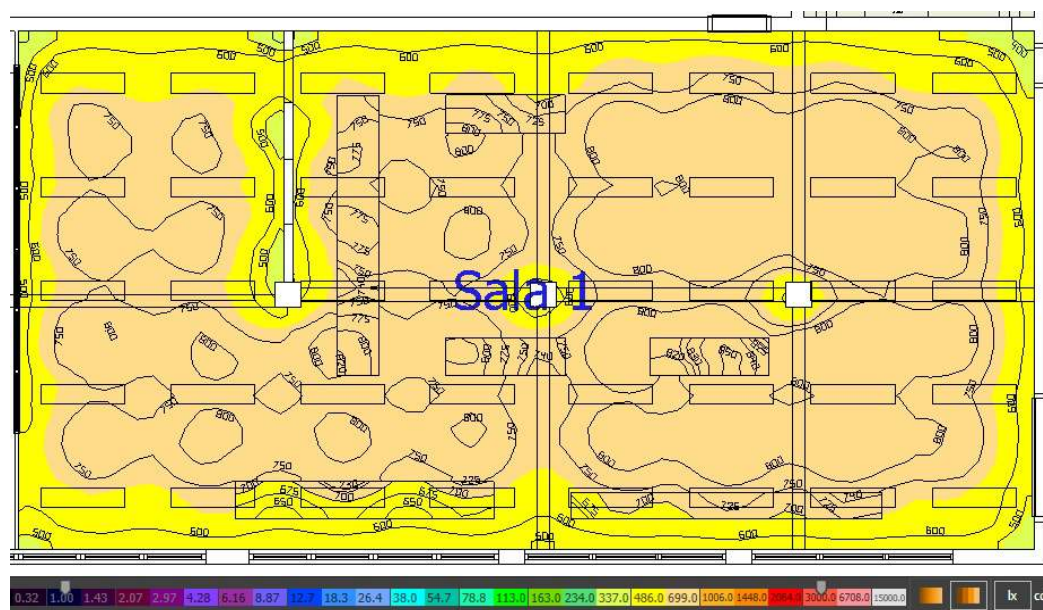
▼ Bancada 1	▶	416 lx	0.81
▼ Bancada 2	▶	454 lx	0.74
▼ Bancada 3	▶	570 lx	0.76
▼ Bancada 4	▶	614 lx	0.76
▼ Bancada 5	▶	565 lx	0.76
▼ Bancada 6	▶	572 lx	0.84
▼ Entorno Imediato	▶	468 lx	0.31

Fonte: Autor (2022)

Nota-se que as bancadas 1 e 2 ainda não alcançaram a iluminância mantida de 500 lux, por possuírem um comprimento maior que as demais e por estarem próximas à parede e à janela, onde há menor disponibilidade de luz, direta e indireta. nota-se também que algumas das luminárias acabam sobrepondo a parede de gesso acartonado demonstrativa, que mesmo não alcançando a altura do pé direito, prejudica a distribuição da luz na forma apresentada. Junto às discordâncias ressaltadas, há também o fato de que o índice de uniformidade não alcançou o mínimo normativo.

Para o atendimento dos itens acima mencionados, foi necessário efetuar a redistribuição das luminárias, buscando um aumento na iluminância e tornando-a mais homogênea. Desta forma, a distribuição foi feita em oito colunas com cinco luminárias cada, em um total de 40 luminárias, conforme mostra a figura 34.

Figura 32: Diagrama de linhas isográficas 3 - Canteiro



Fonte: Autor (2022)

Figura 33: Resumo dos resultados 3 - Canteiro

▼	Bancada 1		
▶	 712 lx	0.93	
▶	 < 10	< 10	
▼	Bancada 2		
▶	 683 lx	0.94	
▶	 < 10	< 10	
▼	Bancada 3		
▶	 834 lx	0.97	
▶	 12.7	< 10	
▼	Bancada 4		
▶	 776 lx	0.95	
▶	 < 10	< 10	
▼	Bancada 5		
▶	 752 lx	0.93	
▶	 < 10	< 10	
▼	Bancada 6		
▶	 770 lx	0.95	
▶	 12.9	< 10	
▼	Entorno Imediato		
▶	 732 lx	0.49	

Fonte: Autor (2022)

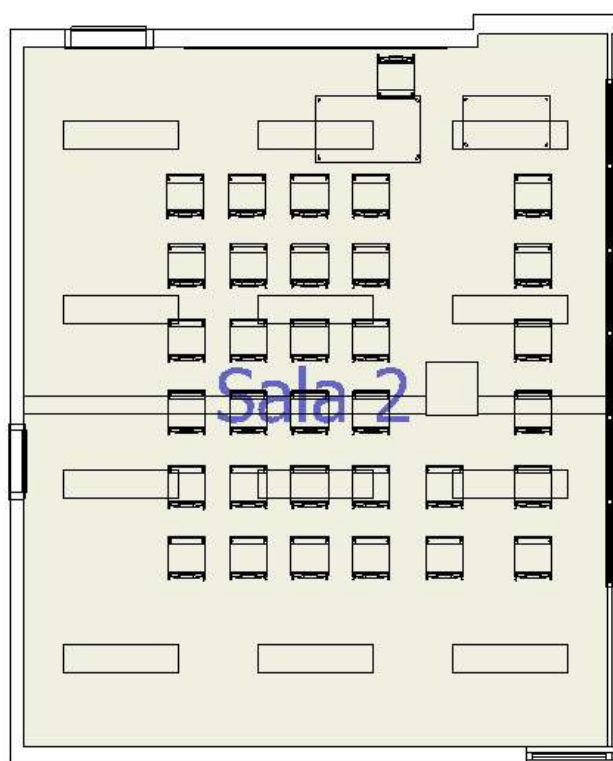
Nesse último cálculo, foi feita também a conferência do índice limite de ofuscamento (URG_L) para todas as bancadas, que apresentaram valores menores que 19, como exigido pela NBR 8995-1 e demonstrado na figura acima.

Como resultado final, todas as áreas de uso se encontram acima dos valores requeridos, e o entorno imediato, cujo índice de uniformidade mínimo é de 0,5, alcançou o valor de 0,49.

6.3.2 Iluminação da Sala de Aula

A distribuição inicial dos equipamentos de iluminação, para alcançar a iluminância média de 500 lux na sala de aula, foi organizada com três colunas de quatro luminárias, perfazendo doze no total. O modelo CAA01-S232, especificado no item 6.3, é composto de duas lâmpadas LED tubular de 18 W, 1850 lm e 6500 K cada, espalhadas de maneira simétrica, como mostra a figura 36.

Figura 34: Distribuição de luminárias DIALux - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

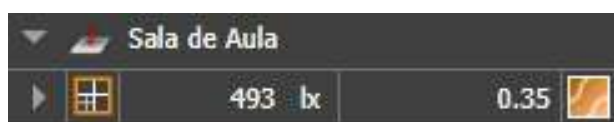
Com a execução dos cálculos, pôde-se constatar que a iluminância média do ambiente se encontra apenas um pouco mais de 1% abaixo do descrito pela norma, somente com a distribuição inicial, com $E_m = 493$ lux, como mostram as figuras 37 e 38.

Figura 35: Diagrama de linhas isográficas 1 - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

Figura 36: Resumo de resultados 1 - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

O índice de uniformidade desta sala, que deveria ser no mínimo 0,7, foi encontrado em 0,35, e deve ser adequado. A ABNT (2013, p. 28) afirma que é possível ignorar uma faixa marginal de 50 cm de largura, para fins de projeto,

quando em uma sala onde a localização das áreas de tarefa é desconhecida. Esse parâmetro será considerado no caso desta sala, visto que a localização das carteiras é alterada constantemente. O novo modelo calculado pode ser observado nas figuras 39 e 40.

Figura 37: Diagrama de linhas isográficas 2 - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

Figura 38: Resumo de resultados 2 - Sala de aula

Sala de Aula			
	522 lx	0.75	
	14.6	< 10	

Fonte: Autor (2022)

Dessa forma, é possível perceber que a iluminação inicial calculada pelo software atende às necessidades do ambiente, tornando dispensável o aumento no número de luminárias. Assim como no ambiente anterior, foi considerado o índice limite de ofuscamento ($URGL$). Neste último cálculo, o resultado obtido foi abaixo de 19, o que pode-se considerar satisfatório. Concluimos então que o sistema proposto para este ambiente atende às qualificações descritas pela norma.

6.4 Condições Obtidas

O resultado do sistema proposto pode ser observado através das imagens a seguir, renderizadas pelo próprio DIALux evo, que representam a iluminação pela perspectiva de um observador. As figuras a seguir demonstram a situação simulada do modelo.

Figura 39: Resultado final - Canteiro

Fonte: Autor (2022)

Figura 40: Resultado final - Canteiro



Fonte: Autor (2022)

Figura 41: Resultado final - Canteiro



Fonte: Autor (2022)

Figura 42: Resultado final - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

Figura 43: Resultado final - Sala de aula



Fonte: Autor (2022)

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados demonstrados no item anterior, este capítulo traz a análise do impacto do sistema apresentado, visando compreender a viabilidade deste sistema e de sua aplicação.

7.1 Comparação dos Sistemas

O sistema inicial, instalado atualmente no laboratório de práticas construtivas, conta com quatorze luminárias do tipo calha para quatro lâmpadas, cinquenta e seis lâmpadas do tipo LED tubular com fluxo luminoso de 1850 lúmens e potência de 18 W, totalizando uma potência instalada de 1.008 W de iluminação.

O sistema proposto, é mais robusto e propõe a manutenção do modelo de lâmpadas e a substituição das luminárias atuais por cinquenta e duas luminárias do modelo CAA01-S232 de duas lâmpadas da Lumicenter, totalizando assim cento e quatro lâmpadas para todo o ambiente, quarenta e oito a mais que o sistema anterior, com carga instalada de 1.872 W e acréscimo de 864 W de iluminação.

O sistema proposto possui melhor distribuição de iluminância, visto que seu E_m do entorno imediato de 732 lux representa 343% do valor de 213,31 encontrado nas medições para o Laboratório de Tecnologias Construtivas. Na sala de aula o valor simulado de 522 lux é 30% maior que o valor medido de 400,63 lux.

Em questão de uniformidade, a simulação dos ambientes foi projetada para alcançar os mínimos estabelecidos por norma, ficando em média de 0,94 nas bancadas e 0,49 no entorno imediato do Laboratório de Tecnologias Construtivas, e 0,75 na sala de aula, enquanto para o sistema existente, os valores encontrados foram de 0,4 e 0,48 respectivamente.

7.2 Estimativa de Consumo

A partir dos dados expostos no item anterior, a tabela 2 foi elaborada para apresentar uma comparação entre o consumo estimado dos dois sistemas em questão, considerando uma utilização diária de 10 horas e mensal de 22 dias.

Tabela 4: Consumo estimado dos sistemas

Descrição	Consumo Sistema Atual (kWh)	Consumo Sistema Proposto (kWh)
Luminária	0,072	0,036
Conjunto	1,008	1,872
Diário	10,08	18,72
Mensal	221,76	411,84
Anual	2661,12	4942,08

Fonte: Autor (2022)

O resultado obtido demonstra um aumento de 86% no consumo de energia anual do laboratório. Tal variação justifica-se pelo maior número de lâmpadas em utilização. Este acréscimo representa também um aumento de mesma proporção no custo de funcionamento da sala, estimado em R\$ 138,00 por mês, com o valor aproximado de R\$ 0,73 / kWh.

7.3 Custo de Implantação

Além do custo de operação, há também o custo de implantação do novo sistema a ser considerado, conforme a tabela 3.

Tabela 5: Custo de implantação do sistema proposto

Item	Qtde	Unidade	Valor unit	Total
Luminária	52	un	R\$ 200,00	R\$ 10.400,00
Lampada	48	un	R\$ 18,00	R\$ 864,00
Mão de obra	52	un	R\$ 30,00	R\$ 1.560,00
TOTAL				R\$ 12.824,00

Fonte: Autor (2022)

O custo de operação mais alto impossibilita que se tenha um tempo de retorno do investimento aplicado à esta implantação. De todo modo, este investimento não trata de uma melhoria estética mas sim de adequação ao exigido pela norma NBR ISO/CIE 8995-1 para o tipo de ambiente e atividade desenvolvida. Desta forma é imperioso destacar a necessidade de adequação e o esforço realizado para reduzir o impacto financeiro gerado pelo modelo proposto.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo que executado de forma simples, um projeto luminotécnico é essencial para a utilização de ambientes internos, principalmente em casos de ambientes especiais onde a qualidade de iluminação é específica.

É comum que sistemas de iluminação sejam elaborados de forma empírica, sem estudos prévios, buscando simplesmente um nível qualquer de luz para um ambiente escuro. Porém, descasos deste tipo, quando em ambientes de risco, podem prejudicar a percepção do usuário do ambiente, causando acidentes, fadiga ou até mesmo irritabilidade.

Além disso, atualmente existem diversos produtos que atendem necessidades específicas e oferecem alto desempenho e durabilidade em seus equipamentos, anulando a necessidade de uso de formas mais antigas de iluminação, como lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas, muito comuns antes da popularização do LED, mas muito inferiores em questão de eficiência, durabilidade e qualidade de luz.

Dessa forma, este estudo foi realizado com o intuito de vislumbrar formas de conferência de um sistema de iluminação em um ambiente de precisão como o laboratório de práticas construtivas, utilizando métodos normativos e o software DIALux evo versão 9.2.

Quanto ao sistema de iluminação artificial utilizado atualmente no laboratório, embora não seja ruim, é um típico caso de um ambiente antigo, que teve sua utilização alterada com o passar dos anos, mas que a iluminação é mantida no mesmo padrão, sofrendo alterações de tecnologia mas não de distribuição.

Este tipo de manutenção em princípio atende às necessidades em um quesito razoável, suficiente para que seja possível utilizar o ambiente. Para isto, as propostas de iluminação desenvolvidas neste trabalho mostram a promoção de um ambiente adequado para as tarefas executadas e para o bem estar do usuário, de acordo com o especificado pela norma NBR ISO/CIE 8995-1.

O sistema de iluminação natural do ambiente mostrou-se ineficiente no auxílio da iluminação mantida, uma vez que a estrutura não foi planejada de forma a utilizar

a disponibilidade de luz solar do local. A sala está localizada no primeiro andar de um bloco de quatro andares e está cercada por outros blocos ou salas.

Assim, a utilização desta modalidade de iluminação demanda a ampliação dos estudos das áreas externas ao laboratório e das diferentes técnicas de utilização e controle deste tipo de sistema.

8.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se, para estudos futuros, a análise da capacidade de iluminação natural do edifício, com propostas para a aplicação deste sistema de forma integrada à iluminação artificial, com o uso do controle individual das luminárias e outras forma de automação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: Abnt, 1992. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de Ambientes de Trabalho. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 46 p.

GIARETA, Vanessa Ribeiro. **Avaliação do Nível de Iluminância em Posto de Trabalho: Estudo de Caso de uma Indústria Têxtil**. 2014. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico da Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FIORINI, Thiago Morais Sírio. **Projeto de Iluminação de Ambientes Internos Especiais**. 2006. 125 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

GOULART, Solange. **Sustentabilidade no Edifício e no Espaço Urbano**. Florianópolis: Labeee, 2012. 31 p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014. 366 p.

MODESTO, André Luiz Navarro. **Avaliação do Consumo Energético de Sistemas de Iluminação Utilizando Lâmpadas Fluorescentes e LED**. 2014. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação Eficiente**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2002. 36 p.

SILVA, Thales Rosa da. **Sistema de Iluminação Sustentável Aplicado em Pavilhões Industriais**. 2019. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.