

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS KAZUHIKO HARA

**ANÁLISE QUALITATIVA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E NATURAL:
ESTUDO DE CASO DAS BIBLIOTECAS DA UTFPR**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2015

CARLOS KAZUHIKO HARA

**ANÁLISE QUALITATIVA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E NATURAL:
ESTUDO DE CASO DAS BIBLIOTECAS DA UTFPR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

H254a Hara, Carlos Kazuhiko
2015 Análise qualitativa da iluminação artificial e natural :
estudo de caso das Bibliotecas da UTFPR / Carlos Kazuhiko
Hara.-- 2015.
205 f.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2015.
Bibliografia: f. 142-148.

1. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Sistema
de Bibliotecas - Estudo de casos. 2. Iluminação elétrica.
3. Iluminação natural. 4. Energia - Consumo. 5. Radiação
solar - Medição. 6. Métodos de simulação. 7. Pesquisa
qualitativa. 8. Engenharia civil - Dissertações. I. Nagalli,
André, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III.
Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba



TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º

ANÁLISE QUALITATIVA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E NATURAL: ESTUDO DE CASO DAS BIBLIOTECAS DA UTFPR

POR

CARLOS KAZUHIKO HARA

Esta dissertação foi apresentada às 08h30min do dia 14 de julho de 2015, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio Ambiente, linha de pesquisa de Sustentabilidade, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

(aprovado / reprovado)

Prof. Dr. André Nagalli
(Orientador - UTFPR)

Prof. Dr. Aloisio Leoni Schmid
(UTFPR)

Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande
(UTFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades que me foram trilhadas e pelas dificuldades superadas.

Aos meus pais, pela base maior de todos os ensinamentos os quais sem eles não chegaria até aqui. E ao meu irmão pela motivação e incentivo demonstrados a cada momento.

À minha adorável esposa pela sua paciência e companheirismo. E à minha filha pelos momentos de alegria e esperança que indiretamente me fizeram continuar, apesar das dificuldades.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Nagalli, pelo apoio e constante incentivo às pesquisas, pela paciência durante todo o período da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Eduardo Krüger, pelos oportunos esclarecimentos. E ao Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai, pelo incentivo nos momentos decisivos do trabalho.

Aos Diretores Gerais dos câmpus e os chefes dos setores de biblioteca, pela oportunidade da visita nas bibliotecas, mesmo fora dos horários de funcionamento e em período de férias.

Aos colegas de trabalho, pelo apoio e paciência, em especial ao Eng. Marcelo Chella, Eng. Roberto Caldeira da Silva e Arquiteto Cleverson Sgoda, pelas dúvidas sanadas e pelas explicações que contribuíram no trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A eficiência energética das edificações é um assunto importante a ser discutido diante do cenário energético mundial. No Brasil, a utilização racional da energia está cada vez mais em evidência na construção civil, principalmente em prédios públicos. Há pouco menos de três décadas, o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica está buscando meios para combater o desperdício de energia, na área de iluminação. As ações são de homologar a eficiência das lâmpadas elétricas e sistemas de iluminação de edificações. Os sistemas de iluminação em edificações além da iluminação artificial, devem possuir características arquitetônicas que permitam utilizar a luz natural em ambientes internos. O estudo foi realizado em quatorze bibliotecas da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os ambientes estudados foram as áreas de acervo e de leitura. Nestes ambientes foram realizadas leituras de luminância proporcionados pela iluminação artificial. Maquetes eletrônicas das edificações foram criadas para simular a entrada da radiação solar no interior das bibliotecas. Os dados da iluminação artificial foram avaliados através do RQT-C – Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, e também pela norma brasileira de iluminação de interiores NBR ISO/CIE 8995-1. Os dados da radiação solar foram avaliados quanto a desconforto provocado pelo ofuscamento inabilitador a que os usuários estariam expostos. Os resultados obtidos comprovaram que os sistemas de iluminação possuem pequenos desvios a serem corrigidos e soluções de *retrofit* foram propostas. As análises comprovaram que nos sistemas iluminação das bibliotecas estudadas, a conciliação entre a luminância média mínima, a eficiência energética e o conforto luminoso são critérios relevantes que previsão ser analisados com muita atenção durante o projeto da biblioteca, caso contrário um dos fatores citados não será atendidos.

Palavras chave: RTQ-C, eficiência energética, iluminação, biblioteca.

ABSTRACT

The energy efficiency of buildings is an important issue to be discussed given the world energy scene. In Brazil, the rational use of energy is becoming increasingly evident in construction, especially in public buildings. A little less than three decades, PROCEL - National Program for Energy Conservation is looking for ways to combat the waste of energy in lighting area. The actions are to ratify the efficiency of light bulbs and building lighting systems. Lighting systems in buildings besides the artificial lighting, must have architectural features that allow use of natural light indoors. The study was conducted in fourteen libraries from UTFPR - Federal Technological University of Paraná. The environments studied were the collection and reading areas. In these environments, illuminance readings were held, provided by artificial lighting. Electronic models of buildings were created to simulate the entry of solar radiation inside the libraries. Data from the artificial lighting were evaluated by rqt-C - Technical Requirements for Energy Efficiency Level Quality for Commercial Buildings, and Public Services, and also by the Brazilian standard of interior lighting ISO / CIE 8995-1. The data of solar radiation were evaluated for the discomfort caused by glare inabiltator that users would be exposed. The results showed that the lighting systems have small deviations to be corrected and retrofit solutions have been proposed. The analyzes showed that the lighting systems of the studied libraries, the reconciliation between the average minimum luminance, energy efficiency and lighting comfort are relevant criteria forecast to be analyzed carefully during the library project, otherwise one of the factors mentioned will not be met.

Keywords: RTQ-C, energy efficiency, lighting, library

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da eficiência energética média de lâmpadas fluorescentes compactas de 127V	13
Figura 2 – Espectro eletromagnético.....	21
Figura 3 – Variáveis que interferem na Iluminação natural	22
Figura 4 – Céu claro.....	25
Figura 5 – Céu parcialmente encoberto	26
Figura 6 – Céu encoberto.....	26
Figura 7 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano horizontal – inverno – dia 21/06	27
Figura 8 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano horizontal – verão – dia 22/12	27
Figura 9 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano vertical – inverno – dia 22/06	28
Figura 10 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano vertical – verão – dia 22/12.	28
Figura 11 – Carta solar, latitude 0° - linha do equador, projeção estereográfica.....	29
Figura 12 – Azimute e altura solar.....	30
Figura 13 – Gráfico auxiliar – carta solar.....	30
Figura 14 – Fachada – Biblioteca Ponta Grossa.....	42
Figura 15 – Fotografia – Área de leitura da biblioteca de Dois Vizinhos	45
Figura 16 – Fotografia – Área de leitura da biblioteca de Cornélio Procópio	45
Figura 17 – Fotografia – Luxímetro	46
Figura 18 – Malha de medição de iluminância da biblioteca de Campo Mourão.....	49
Figura 19 – Malha de medição vertical.....	50
Figura 20 – Fotografia – marcação dos pontos de medição	51
Figura 21 – Fotografia – tripé para suporte do luxímetro	52
Figura 22 – Curva isolux da biblioteca de Francisco Beltrão.....	55
Figura 23 – Plano diretor do câmpus Guarapuava – imagem parcial.....	60
Figura 24 – Coordenadas geográficas da biblioteca do câmpus Guarapuava	61
Figura 25 – Planialtimetria do câmpus Guarapuava.....	62
Figura 26 – Layout da biblioteca de Guarapuava.....	63
Figura 27 – Janelas da biblioteca de Guarapuava	64
Figura 28 – Tela de configuração da localização da maquete	65
Figura 29 – Área interna da biblioteca de Guarapuava	65
Figura 30 – Área externa da biblioteca de Guarapuava	66
Figura 31 – Identificação das fachadas.....	69
Figura 32 – Hachura das fachadas	70
Figura 33 – Configuração do sketchup para simulação da iluminação natural	71
Figura 34 – Configuração do sketchup para simulação da iluminação natural	71
Figura 35 – Áreas de insolação no inverno – Biblioteca de Apucarana	72

Figura 36 – Fotografia – distribuição das luminárias – Biblioteca de Londrina.....	86
Figura 37 – Fotografia – distribuição das luminárias – Biblioteca de Campo Mourão	86
Figura 38 – Fotografia – distribuição das luminárias nas áreas de acervo.....	87
Figura 39 – <i>Layout</i> e distribuição das luminárias da biblioteca de Dois Vizinhos.....	88
Figura 40 – Alteração de <i>layout</i> da biblioteca de Dois Vizinhos.....	88
Figura 41 – Fotografia – poeira acumulada nos refletores.....	89
Figura 42 – Fotografia – Ofuscamento provocado por luminárias sem defletores – biblioteca de Cornélio Procópio.....	90
Figura 43 – Fotografia – Ofuscamento provocado por luminárias sem defletores – biblioteca de Curitiba - Centro.....	90
Figura 44 – Curva de distribuição do fluxo luminoso de luminárias.....	91
Figura 45 – Fotografia – Fileira de luminárias perto das janelas com comando separado.....	95
Figura 46 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Apucarana.....	103
Figura 47 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Londrina.....	104
Figura 48 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Campo Mourão.....	104
Figura 49 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Campo Mourão.....	105
Figura 50 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Santa Helena.....	105
Figura 51 – Fotografia – Fachada 3 e 4 da biblioteca de Medianeira.....	106
Figura 52 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Francisco Beltrão.....	106
Figura 53 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Ponta Grossa.....	107
Figura 54 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Dois Vizinhos.....	107
Figura 55 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Guarapuava.....	108
Figura 56 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Pato Branco.....	108
Figura 57 – Fotografia – Proteção solar externa da biblioteca de Dois Vizinhos.....	109
Figura 58 – Fotografia – Película de proteção solar nos vidros da biblioteca de Londrina.....	109
Figura 59 – Fotografia – Persiana horizontal da biblioteca de Medianeira.....	110
Figura 60 – Fotografia – Persiana vertical da biblioteca de Pato Branco.....	110
Figura 61 – Fotografia – Cortina tipo <i>blackout</i> da biblioteca de Ponta Grossa.....	111
Figura 62 – Fotografia – Maquete eletrônica da biblioteca de Campo Mourão.....	113
Figura 63 – <i>Layout</i> das luminárias do projeto de <i>retrofit</i>	130
Figura 64 – Simulação DIALUX – acervo e leitura da biblioteca de Dois Vizinhos.....	131
Figura 65 – Simulação DIALUX – Simulação DIALUX – Salas de estudo da biblioteca de Dois Vizinhos.....	131
Figura 66 – Ambiente interno com a solução de <i>retrofit</i> da iluminação artificial da biblioteca de Dois Vizinhos.....	132
Figura 67 – Luminária de mesa modelo pelicano.....	133
Figura 68 – <i>Brisas</i> e prateleiras de luz sugeridas para a biblioteca de Ponta Grossa	135
Figura 69 – Corte transversal da edificação com a instalação dos elementos de sombreamento.....	135

Figura 70 – Fachada da biblioteca de Ponta Grossa antes e depois da instalação dos elementos de sombreamento	136
Figura 71 – Entrada da luz direta no inverno sem proteção	136
Figura 72 –Entrada da luz direta no inverno com proteção	137
Figura 73 – Entrada da luz direta no verão sem proteção.....	137
Figura 74 – Entrada da luz direta no verão com proteção.....	138

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – O consumo de energia elétrica consciente comparado com o consumo onde há desperdícios	15
Gráfico 2 – Iluminâncias da área de leitura da biblioteca câmpus Francisco Beltrão	54
Gráfico 3 – Iluminâncias da área de acervo da biblioteca câmpus Francisco Beltrão	55
Gráfico 4 – Radiação solar direta no interior da biblioteca do câmpus Apucarana ...	74
Gráfico 5 – Comparativo da radiação solar direta no interior das bibliotecas.....	75
Gráfico 6 – Disponibilidade de luz no inverno para a biblioteca do câmpus Apucarana	76
Gráfico 7 – Radiação solar no inverno para a cidade de Apucarana	77
Gráfico 8 – Radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Medianeira.....	79
Gráfico 9 – Radiação solar incidente nas bibliotecas	80
Gráfico 10 – Iluminância da área de acervo da biblioteca de Santa Helena	82
Gráfico 11 – Iluminância da área de leitura da biblioteca de Santa Helena	82
Gráfico 12 – Iluminância da área de leitura da biblioteca de Ponta Grossa	83
Gráfico 13 – Classificação geral da eficiência energética das bibliotecas.....	94
Gráfico 14 – Comparativo da eficiência das bibliotecas com e sem a aplicação dos pré-requisitos.....	94
Gráfico 15 – Comparativo da iluminâncias das bibliotecas	97
Gráfico 16 – Comparativo da iluminâncias das bibliotecas e seus níveis de eficiência	97
Gráfico 17 – Comparativo da potência (W) de iluminação para o nível A de eficiência	98
Gráfico 18 – Gráfico de iluminância ao longo do dia	100
Gráfico 19 – Energia do Sol nas áreas envidraçadas das fachadas das bibliotecas	101
Gráfico 20 – Energia do Sol proporcional as áreas das bibliotecas	102
Gráfico 21 – Energia do Sol proporcional as áreas das bibliotecas	102
Gráfico 22 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Apucarana.....	115
Gráfico 23 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Campo Mourão	116
Gráfico 24 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Cornélio Procópio... ..	117
Gráfico 25 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro – inverno	118
Gráfico 26 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro – verão	118
Gráfico 27 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Ecoville ..	119
Gráfico 28 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Dois Vizinhos	120

Gráfico 29 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão – inverno	121
Gráfico 30 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão – verão	121
Gráfico 31 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Guarapuava	122
Gráfico 32 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Londrina	123
Gráfico 33 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Medianeira	124
Gráfico 34 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Pato Branco	125
Gráfico 35 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa – inverno	126
Gráfico 36 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa – verão	126
Gráfico 37 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Santa Helena	127
Gráfico 38 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Toledo	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de céu e sua radiação ultravioleta	32
Tabela 2 – Tipos de lâmpadas e sua radiação ultravioleta	32
Tabela 3 - Principais resultados energéticos das ações da Eletrobras Procel em 2012	13
Tabela 4 - Bibliotecas da UTFPR	43
Tabela 5 – Índices de iluminação	44
Tabela 6 – Tabela de medição de dados	53
Tabela 7 – Critérios de classificação dos níveis de eficiência energética	56
Tabela 8 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência.....	57
Tabela 9 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência.....	58
Tabela 10 – Critérios de classificação geral através da pontuação do EqNumDPI...	58
Tabela 11 – Tabela de dados de fachadas – Apucarana, Campo Mourão, Curitiba sede Centro e Curitiba sede Ecoville.....	67
Tabela 12 – Tabela de dados de fachadas – Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Guarapuava e Medianeira	68
Tabela 13 – Tabela de dados de fachadas – Pato Branco, Ponta Grossa, Santa Helena e Toledo	69
Tabela 14 – Dados medidos da luz direta no modelo de Apucarana	73
Tabela 15 – Dados medidos da luz direta no modelo de Apucarana – continuação .	74
Tabela 16 – Dados medidos da luz direta no modelo das bibliotecas.....	75
Tabela 17 – Dados de radiação solar que potencialmente podem entrar nos ambientes.....	78
Tabela 18 – Dados da iluminação artificial dos câmpus Apucarana, Campo Mourão, Cornélio Procópio Curitiba – Centro, Curitiba – Ecoville, Dois Vizinhos e Francisco Beltrão.....	84
Tabela 19 – Dados da iluminação artificial dos câmpus Guarapuava, Londrina, Medianeira, Pato Branco, Ponta Grossa, Santa Helena e Toledo.....	84
Tabela 20 – Dados de radiação solar que potencialmente podem entrar nos ambientes.....	85
Tabela 21 – Tabela de depreciação de luminárias e lâmpadas	89
Tabela 22 – Avaliação da eficiência energética na biblioteca de Dois Vizinhos.....	92
Tabela 23 – Avaliação da eficiência energética na biblioteca de Toledo	93
Tabela 24 – Classificação prévia das bibliotecas com maiores índices de área envidraçada.....	99
Tabela 25 – Energia recebida nas áreas envidraçadas das bibliotecas.....	101
Tabela 26 – Avaliação dos sistemas de bloqueio da radiação solar	112
Tabela 27 – Classificação das bibliotecas quanto a incidência de luz direta em seu interior	114

LISTA DE SIGLAS

ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional De Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional De Energia Elétrica
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CABE	<i>Commission for Architecture & the Built Environment</i>
CF	Cores Falsas
CIE	<i>Comission Internacionalle de L'Eclairage</i>
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DIRPRO	Diretoria de Projetos e Obras
Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras S. A.
EPP	Eficiência Energética nos Prédios Públicos
HDR	<i>High Dynamic Range</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RQT-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais
SBF	Sociedade Brasileira de Física
UGR	<i>Unified Glare Rating</i> - Índice de ofuscamento unificado
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO GERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3 JUSTIFICATIVA.....	10
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 BIBLIOTECAS	18
2.2 LUZ E ILUMINAÇÃO NATURAL.....	20
2.3 LUZ NATURAL E AS EDIFICAÇÕES	25
2.4 ILUMINAÇÃO E O ACERVO DA BIBLIOTECA	31
2.5 RETROFIT	33
2.6 SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 ESCOLHA DO OBJETO DE PESQUISA.....	41
3.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	43
3.2.1 Equipamentos de medição e apoio.....	46
3.2.2 Malha de cálculo para a iluminância mantida na área de leitura.....	47
3.2.3 Malha de cálculo para a iluminância mantida na área do acervo.....	49
3.2.4 Medição das iluminâncias	50
3.2.5 Tratamento de dados medidos	53
3.2.6 Parâmetros de avaliação da iluminação – RTQ-C.....	56
3.3 ILUMINAÇÃO NATURAL	59
3.3.1 Plano diretor.....	59
3.3.2 Planialtimetria	61
3.3.3 Projeto Arquitetônico.....	62
3.3.4 Maquete eletrônica	64
3.3.5 Dados das maquetes	66
3.3.6 Simulação da iluminação natural	70
3.3.7 Dados de disponibilidade da luz	76
4 ANÁLISE DOS MODELOS	81
4.1 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	81
4.1.1 Resultados da iluminação artificial com base na NBR ISO/CIE 8995-1.....	81
4.1.2 Resultados da iluminação artificial com base no RTQ-C	92
4.1.3 Comparativo entre os resultados das análises do sistema de iluminação	96
4.2 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	98
4.2.1 Análise da energia disponível em cada biblioteca	99
4.2.2 Características das fachadas das bibliotecas	103

4.2.3 Simulação da radiação solar no interior das bibliotecas	112
4.2.3.1 Radiação solar direta na biblioteca de Apucarana	115
4.2.3.2 Radiação solar direta na biblioteca de Campo Mourão.....	116
4.2.3.3 Radiação solar direta na biblioteca de Cornélio Procópio.....	116
4.2.3.4 Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro	117
4.2.3.5 Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Ecoville.....	119
4.2.3.6 Radiação solar direta na biblioteca de Dois Vizinhos.....	119
4.2.3.7 Radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão	120
4.2.3.8 Radiação solar direta na biblioteca de Guarapuava.....	122
4.2.3.9 Radiação solar direta na biblioteca de Londrina	122
4.2.3.10 Radiação solar direta na biblioteca de Medianeira.....	123
4.2.3.11 Radiação solar direta na biblioteca de Pato Branco	124
4.2.3.12 Radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa.....	125
4.2.3.13 Radiação solar direta na biblioteca de Santa Helena	126
4.2.3.14 Radiação solar direta na biblioteca de Toledo.....	127
4.3 SUGESTÕES DE <i>RETROFIT</i>	128
4.3.1 <i>Retrofit</i> na iluminação artificial	128
4.3.2 <i>Retrofit</i> da iluminação natural	133
5 CONCLUSÕES	139
5.1 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS.....	140
REFERÊNCIAS.....	142
APÊNDICE.....	149
APÊNDICE A – CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA MÉDIAS DAS BIBLIOTECAS	150
APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PELO RTQ-C.....	165
APÊNDICE C – RADIAÇÃO SOLAR DIPONÍVEL DAS BIBLIOTECAS	172
APÊNDICE D – SIMULAÇÃO DAS ÁREAS DE RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NOS MODELOS	186
APÊNDICE E – SIMULAÇÃO DO RETROFIT DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DA BIBLIOTECA DE DOIS VIZINHOS	200

1 INTRODUÇÃO

Mesmo com o surgimento de novas tecnologias que propõem a substituição completa de papel por outras mídias eletrônicas, as bibliotecas mais tradicionais exercem muita importância sobre o processo de aprendizado, bem como constituem uma importante forma de divulgação do conhecimento científico em instituições de ensino.

As bibliotecas tradicionais são edificações onde são armazenados e disponibilizados aos seus usuários livros, periódicos e publicações científicas. Nos ambientes das bibliotecas o usuário pode realizar consultas locais ou realizar empréstimos. No caso de consultas no local, o ambiente deve propiciar cuidados tanto para o bem-estar dos usuários quanto para a preservação do acervo, principalmente as características de iluminação, temperatura ambiente e níveis de ruído os quais influenciam diretamente o usuário. Já o acervo pode ser influenciado, além das características já citadas, também pela umidade do ambiente (SOUSA, 2012).

No campo da iluminação de interiores de edificações, os projetos, anteriores a 2013, de iluminação artificial e natural, onde se considera o uso das áreas envidraçadas de janelas para a entrada de luz solar, seguem as orientações da antiga NBR 5413/92. Desde 1992 até o ano de 2013 não foram publicadas atualizações desta norma. No decorrer deste período surgiram novas tecnologias de lâmpadas e as luminárias receberam melhorias consideráveis em sua eficiência, bem como uma maior especificidade de modelos para as mais variadas aplicações. Para melhor eficiência da iluminação foi publicada a norma NBR ISO/CIE 8995-1, em março de 2013, vigente desde 21 de abril de 2013, a qual substitui a NBR 5413/93 e traz novos conceitos para o cálculo luminotécnico em ambientes internos.

Já em projetos de arquitetura, a luz é manipulada como um instrumento que revela o espaço, muito utilizada quando se quer evidenciar uma determinada forma ou material, apresentando como resultado um ambiente mais agradável, fazendo com que as pessoas percebam exatamente o que o projetista quer mostrar. Da mesma forma que os olhos humanos não conseguem visualizar as diversas frequências de ondas da luz, pois é uma onda eletromagnética, todavia pode-se facilmente detectar os efeitos que a luz causa, através da incidência direta e em conjunto com sua reflexão sobre objetos dispostos em um determinado ambiente.

No caso de uma biblioteca, projetar a iluminação de seus ambientes requer a observação de algumas particularidades muito específicas que se tornam um desafio. A busca do equilíbrio é importante no que se refere à intensidade da iluminação artificial utilizada e a melhor utilização da iluminação natural, sobretudo deve-se observar os cuidados com os efeitos de ofuscamento causados pelas fontes de luz bem como reflexos que causam desconforto.

Para o ser humano, a luz possibilita a percepção sensorial mais utilizada em sua sobrevivência. Através da visão o homem foi capaz de observar fenômenos da natureza, registrando-os e por meio destes, adquirir conhecimento para desenvolver novas tecnologias. Este é um ciclo que vem ocorrendo desde a Pré-história até os dias atuais. Também foi através da visão que o ser humano desenvolveu alguns padrões sobre os quais possibilitaram avaliar um ambiente, uma situação de perigo, o ideal de beleza e a capacidade de aprender (SOUZA, 2010).

A principal fonte de luz do planeta é o Sol, também chamada de energia primária, o qual foi por muito tempo a única fonte de iluminação disponível para ser humano. A definição mais recente da luz solar é descrita como luz natural, pois é o tipo de luz mais completa que existe, em termos de radiação eletromagnética. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, surgiram fontes de luz alternativas proporcionando ao homem enxergar mesmo na ausência da luz natural, como por exemplo o uso da eletricidade para gerar luz. Estas fontes de luz são denominadas de iluminação artificial. A sua utilização possibilitou que as pessoas exercessem atividades que antes só poderiam ser executadas de dia, ampliando dessa forma as horas de atividades diurnas.

Nas edificações atuais é muito comum a iluminação artificial ser predominante e a iluminação natural ser pouco utilizada, mesmo com os benefícios oferecidos por este tipo de iluminação. Os métodos de cálculo luminotécnico não levam em consideração a influência da luz natural no ambiente interno. As normas brasileiras atuais não exigem o uso da iluminação natural no interior das edificações. Em contrapartida, estão mais criteriosas quanto à qualidade da iluminação artificial, ao contrário das normas antigas, mais precisamente de 1992, quando se exigia somente que os níveis de iluminamento dos ambientes fossem adequados por atividade executada ou função do ambiente. Desde 2010, são exigidos pelas normas vigentes requisitos de iluminação, conforto e segurança, assim como orientações quanto à eficiência energética das edificações. O grande desafio dos projetos

arquitetônicos hoje é a integração destas variáveis de forma harmônica (MORISHITA, 2011), cujo objetivo final aspirado é a utilização da edificação com o menor consumo de energia possível aliado aos melhores índices de iluminação, conforto aos usuários e segurança.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) possui hoje 13 câmpus operando em diversas cidades do Estado do Paraná. Em cada um destes câmpus há pelo menos um ambiente de biblioteca em funcionamento. Contudo, em muitos casos, os locais destinados ao funcionamento da biblioteca não são ambientes que foram projetados para este uso, outras já possuem algumas décadas de uso. É comum observar que as edificações são adaptadas para uso provisório, todavia, esse período provisório de até um ano costuma se estender por até 8 anos, para isto, os ambientes são submetidos a ampliações e pequenas adequações. As eventuais reformas executadas são de pequenos ajustes de *layout* para atender necessidades de área de acervo, consulta local, salas de estudos e atendimento ao público. Em outro extremo, existem edificações recém-inauguradas para sediar a biblioteca. Em ambos os casos verifica-se a necessidade de *retrofit* para atender os critérios mínimos da nova norma de iluminação e principalmente oferecer o conforto luminoso para os usuários e funcionários das bibliotecas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar quantitativamente a utilização da iluminação artificial e qualitativamente a incidência de radiação solar direta das áreas de acervo e de leitura de bibliotecas utilizando como parâmetros recomendações da NBR ISO/CIE 8995-1 juntamente com o RTQ-C e conceitos de conforto luminoso. Na pesquisa, são utilizadas como amostra as quatorze bibliotecas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho se resumem nos seguintes itens:

- a) Fazer a modelagem em 3D através do *software* Google Sketchup de 14 bibliotecas da UTFPR;

- b) Realizar medições dos índices de iluminância dos ambientes de acervo e consulta local das bibliotecas da UTFPR;
- c) Avaliar as condições de insolação em cada fachada dos modelos, considerando a existência de edificações no entorno das bibliotecas e a luz solar direta que penetra o ambiente interno;
- d) Elaborar propostas de *retrofit* necessárias para melhoria do conforto luminoso para cada caso estudado.

1.3 JUSTIFICATIVA

As bibliotecas estão implantadas em edificações que dependem de uma iluminância mínima de 500 lux para atender às necessidades dos seus usuários, bem como possuir características favoráveis para a preservação do seu acervo. Os usuários de uma biblioteca podem permanecer em seus ambientes por um longo período de tempo, exercendo atividades que dependem diretamente da visão. Dessa forma, espera-se que a iluminação dos ambientes internos das bibliotecas seja eficiente, além de proporcionar conforto visual a seus usuários.

Backer *et al.* (1993) citam três argumentos para que os projetistas passem a implementar e otimizar o uso da iluminação natural nos projetos:

- Evidenciar as possibilidades arquitetônicas através de estudos de casos que sirvam como exemplo;
- Oferecer aos projetistas, instrumentos que possam lhes auxiliar no projeto e na avaliação de edifícios com iluminação natural;
- Fornecer análises e informações, através da descrição dos aspectos relevantes e das lições aprendidas dos estudos de caso, de forma que estas possam melhorar a qualidade dos projetos atuais.

As bibliotecas da UTFPR possuem projetos luminotécnicos elaborados com base na norma de 1992. Por conseguinte, na maioria das bibliotecas existentes utilizam-se luminárias e lâmpadas de baixa eficiência, como por exemplo, lâmpadas fluorescentes tubulares 65 W T10 que possuem baixo índice de reprodução de cores, temperatura de cor (K) muito alta e um rendimento baixo. Hoje a tecnologia disponível nas lâmpadas de alto desempenho, como as lâmpadas LED, *Light Emitting Diode*, ou fluorescentes tubulares T5 aliadas às luminárias de alto

rendimento, bem como a inclusão no projeto de iluminação a possibilidade de se utilizar luz natural para melhorar a eficiência energética da edificação, são fatores que devem ser considerados nas edificações.

Em 2010, o INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, publicou uma Portaria aprovando os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C, com revisões em 2012 e 2013, onde no item 4 trata especificamente do sistema de iluminação. Já em 2013, a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicou a NBR ISO/CIE 8995-1, que trata especificamente sobre a iluminação de ambientes de trabalho, onde apresenta novos parâmetros para o projeto de iluminação de interiores. Além disso, o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão do governo brasileiro publicou uma instrução normativa, em 2014, sobre a obrigatoriedade de projetos de edificações públicas serem etiquetadas com o selo ENCE nível A, bem a adoção de *retrofits* nos sistemas de iluminação e ar condicionado.

Segundo dados da UTFPR, em 2014 o sistema de bibliotecas atende 2.549 professores, 1.176 técnicos-administrativos e mais de 32.000 estudantes regulares nos cursos técnicos, graduação e pós-graduação.

Em 30 de dezembro de 1985, foi criado o PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL, o qual trabalha diretamente com o conceito de eficiência energética e atua no combate ao desperdício da energia elétrica. Inicialmente o PROCEL era coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e sua operação ficava a cargo da ELETROBRÁS. Em 1991 o PROCEL foi transformado em um Programa de Governo ampliando sua abrangência e aumentando suas responsabilidades (PROCEL, 2013).

Uma das definições de eficiência energética é:

Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

Em 1997, o PROCEL em conjunto com a ELETROBRÁS criou o Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos – PROCEL EPP para promover a eficiência energética nos prédios públicos municipais, estaduais e federais (PROCEL, 2013).

Em 2003, o PROCEL em conjunto com a ELETROBRÁS criou o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA. Sua atuação em conjunto com Ministérios de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as Universidades, os centros de pesquisa, além da participação das entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento juntamente com o setor da construção civil promoveram e incentivaram a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações. A principal forma de atuação do PROCEL EDIFICA é o desenvolvimento e a difusão dos conceitos de eficiência energética objetivando a Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética e Planejamento (PROCEL, 2013).

Em 2009 foram lançados os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C cujo objetivo principal é especificar requisitos técnicos e os métodos para a classificação dos edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto a eficiência energética. Juntamente com o RTQ-C criou-se o RAC – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações, que estabelece os critérios para o Programa de Avaliação a Conformidade de Eficiência Energética de Edificações, através do mecanismo da Inspeção, objetivando a concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, de acordo com os Regulamentos Técnicos da Qualidade para este objeto, e visando estimular a concepção de edificações mais eficientes (PROCEL, 2013). A atualização mais recente do RTQ-C foi em 2013.

Desde 1999, quando o PROCEL iniciou a etiquetagem com o selo de eficiência energética em lâmpadas fluorescentes compactas com tensão de alimentação de 127V, houve um aumento de 29% na eficiência destas lâmpadas em um período de 13 anos. Os benefícios deste aumento impactam diretamente no consumo de energia elétrica nas residências onde elas são utilizadas com maior frequência. A Figura 1 demonstra a evolução da eficiência energética média de lâmpadas fluorescentes de 127V. O relatório não informa a base de comparação nem qual o tipo da lâmpada que foram utilizados para o cálculo dos percentuais de

eficiência energética, mas como o aumento percentual de 29% foi calculado com base no percentual de eficiência das lâmpadas em 2012 com relação ao percentual de eficiência das mesmas lâmpadas em 1999, as informações podem ser utilizadas como o crescimento da eficiência de forma geral.

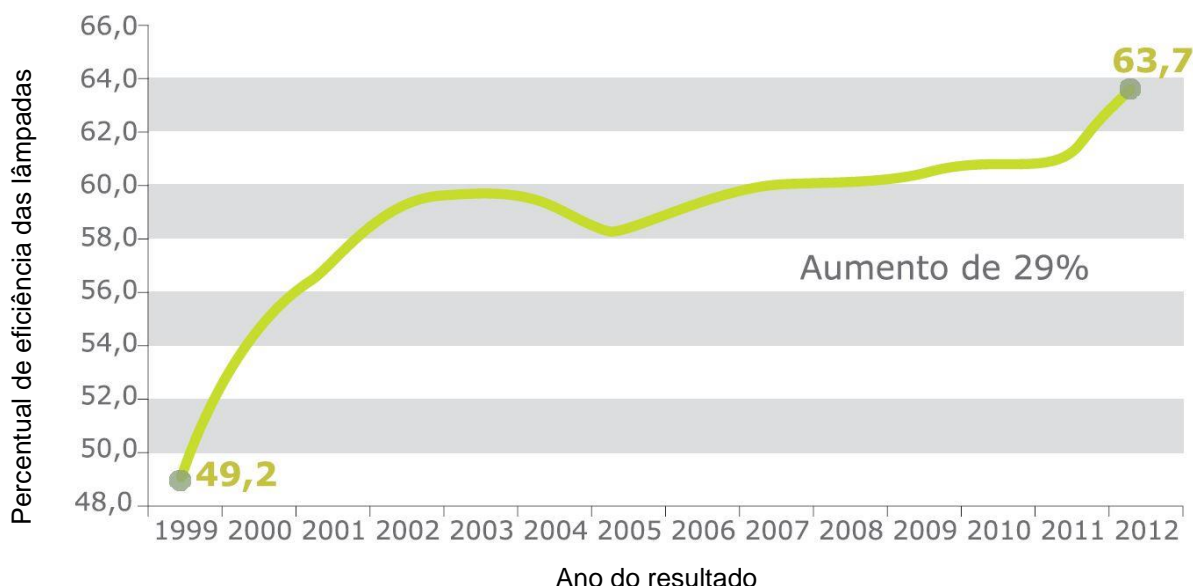


Figura 1 – Evolução da eficiência energética média de lâmpadas fluorescentes compactas de 127V
Fonte: Relatório Procel Resultados 2013 - ano base 2012 (2013)

Entre os resultados no ano de 2012, o PROCEL estima que as ações adotadas vêm melhorando a cada ano o cenário da eficiência energética no Brasil, contribuindo na economia de 9.097.000.000kWh de energia elétrica, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Principais resultados energéticos das ações da Eletrobras Procel em 2012

Resultado	Total
Energia economizada (Bilhões de kWh)	9,097
Redução de Demanda de Ponta (MW)	3.458
Usina Equivalente (MW)	3.182
Emissão de CO ₂ equivalente evitada (mil tCO ₂ e)	624

Fonte: Relatório Procel Resultados 2013 - ano base 2012 (2013)

Na Tabela 1, utilizou-se o fator de emissão médio de CO₂ de 0,0653 tCO₂/MWh do ano de 2012 (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013). Esse fator tem como objetivo estimar a emissão de CO₂ equivalente associada a uma geração de energia elétrica determinada.

A usina equivalente foi obtida a partir da energia economizada, considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas médias na Transmissão e distribuição da energia. Considerou-se esse nível de perdas, tendo em vista que a grande parcela de utilização da energia elétrica se dá no sistema de distribuição em baixa tensão.

No cenário internacional, um experimento realizado pela empresa 3M, em sua sede de Minnesota no ano de 2009. Lá todos os trabalhadores foram convidados a desligar os seus equipamentos juntamente com a iluminação no período do horário de ponta, quando as tarifas de energia são mais altas. O estudo mostrou uma redução da energia consumida pela edificação que era de 15MWh e passou a ser 13MWh no período de 15 minutos e ainda após um período de duas horas o consumo foi reduzido para 11MWh, este valor corresponde a 26% de economia em energia elétrica no intervalo de tempo estabelecido pela pesquisa. O resultado desta experiência acarretou no surgimento de pesquisas na área de edificações inteligentes quanto ao uso da energia elétrica. Essas edificações têm no conceito de projeto a atividade do usuário como elemento chave (NGUYEN; AIELLO, 2013).

No mesmo estudo, os autores relatam como um dos fatores de sucesso na eficiência energética em uma edificação depende diretamente do comportamento de cada usuário. O Gráfico 1 destaca a diferença no consumo de energia elétrica em três situações distintas: O consumo normal previsto em projeto, o uso da edificação com comportamento de conservação por parte dos usuários e por último o uso da edificação com comportamento de desperdício. Os valores de consumo foram classificados em várias categorias para facilitar uma análise qualitativa.

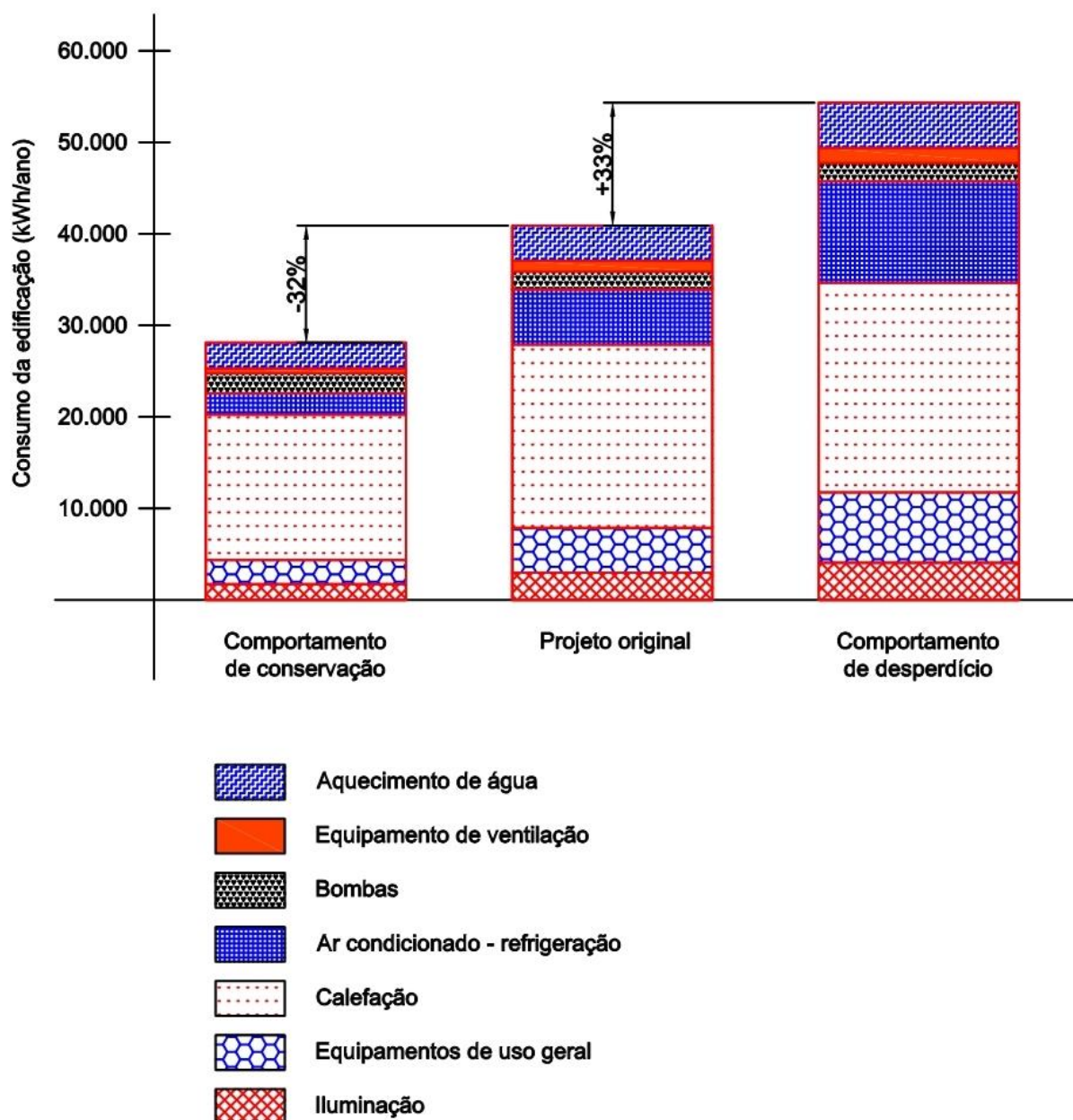


Gráfico 1 – O consumo de energia elétrica consciente comparado com o consumo onde há desperdícios

Fonte: Traduzido de Nguyen e Aiello (2013)

Neste cenário, pode-se utilizar o fator financeiro para o convencimento dos gestores de instituições na adoção de medidas para conservação de energia elétrica. Um exemplo de sucesso ocorreu na Califórnia, onde foi implantado experimentalmente um sistema que avisa o usuário sobre o preço da energia elétrica no horário de ponta de demanda, cujo valor é bem mais elevado. Após a implantação, constatou-se uma redução de 13% da demanda consumida de energia elétrica nos horários de ponta (ROBERTS, 2008).

Neste cenário, não há nenhum estudo específico sobre a qualidade da iluminação das bibliotecas, bem como uma avaliação dos sistemas de iluminação artificial, apesar da importância que uma biblioteca possui para a universidade.

A melhoria das bibliotecas deve ir além da ampliação da área construída ou da quantidade do acervo. Ela deve promover o bem estar dos usuários e trabalhadores, além de promover as boas práticas de conservação de energia visando melhorar a eficiência energética das edificações públicas. Ainda que essas proposições sejam um senso comum da sociedade e dos gestores públicos, as ações de melhoria das instalações existentes e os projetos de futuras bibliotecas não possuem parâmetros que avaliam as condições atuais das edificações.

Desta forma, este trabalho irá contribuir para a melhoria dos ambientes das bibliotecas e auxiliar na elaboração de projetos de novas bibliotecas, uma vez que os resultados das análises poderão ser utilizados para realização de *retrofits*, bem como servir de base para outras pesquisas.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

No primeiro capítulo da dissertação são apresentados dados gerais que enfocam a importância que a biblioteca possui em uma universidade e como a as questões de eficiência energética das edificações públicas estão se encaminhando, bem como os objetivos e as justificativas deste trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica onde descreve-se a respeito da luz e seus efeitos na arquitetura das edificações, a importância da integração da luz natural nas edificações juntamente com orientações sobre o panorama nacional de conservação de energia, a modelagem de edificações para fins de simulação de parâmetros de iluminação, além de uma breve referência a *retrofit* de edificações.

O terceiro capítulo é dividido em duas partes, um referente à iluminação artificial e outro à iluminação natural, em ambos são abordados a metodologia a ser seguida, os materiais utilizados, as técnicas de modelagem, os métodos de simulação aplicados e, dos itens a serem analisados nesta pesquisa.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados preliminares referentes ao atendimento dos ambientes a norma NBR ISO/CIE 8995-1, juntamente com a

avaliação do sistema de iluminação segundo o RTQ-C, os resultados das simulações de iluminação natural com relação a quantidade de luz solar entra nos ambientes da biblioteca.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para direcionar a busca por conhecimentos referentes à proposta deste trabalho, foram definidos alguns tópicos de assuntos relevantes. Inicialmente buscou-se conhecer sobre as bibliotecas, sua função e características. Posteriormente, foram estudados assuntos relacionados à luz e suas características, luz natural e artificial, os efeitos da iluminação, lâmpadas, luminárias e cartas solares. Também foram pesquisadas ferramentas para a modelagem 3D utilizadas na criação de modelos computacionais de edificações e *softwares* para tratamento de imagens empregados na análise de iluminação de ambientes internos.

2.1 BIBLIOTECAS

As bibliotecas são, por suas extensões intelectual e educacional, um reflexo da realidade em que estão inseridas (LEITÃO, 2005). São geralmente instituições sem fins lucrativos dependentes da organização que as mantém, responsáveis pelos investimentos para manutenção do espaço físico e restauração, conservação e aquisição de exemplares, não importando se sua administração é pública ou particular (AMARAL; FORTES, 2004). Quando se trata de bibliotecas universitárias, os mantenedores são as próprias instituições onde estão vinculadas, sendo que suas funções e necessidades seguem os mesmos parâmetros da evolução da universidade (CLIR, 2008).

O papel acadêmico de uma biblioteca vai além da função de disponibilizar livros, é um espaço dentro do ambiente escolar que tem uma função social. Em 1948, bibliotecários, arquitetos e engenheiros pesquisaram como deveria ser o conceito de uma edificação para bibliotecas universitárias quanto à sua arquitetura. Este conceito é utilizado nos dias de hoje e ainda é um desafio mesmo com o surgimento de novas tecnologias (LUCKER, 1994). Dias e Pires (2003) dizem que a biblioteca universitária é um órgão de apoio informacional às atividades de ensino, pesquisa e extensão.

A importância da função que uma biblioteca exerce dentro de uma universidade é reforçada através de um indicador específico na avaliação pelo Ministério da Educação, que no Instrumento de Avaliação para Credenciamento de

Instituição de Educação Superior, proposto pelo Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES), no item 3.6 trata de instalações para acervo e funcionamento das bibliotecas de instituições de ensino superior. Neste documento, para a obtenção do conceito 5, cuja pontuação vai de 1 a 5 sendo 5 a melhor pontuação, recomenda-se que a biblioteca deva possuir:

... instalações equipadas para o acervo da biblioteca, que incorporam concepções arquitetônicas, tecnológicas e de acessibilidade específicas para suas atividades, atendendo plenamente aos requisitos de: dimensão, limpeza, iluminação, acústica, ventilação, segurança, conservação, conforto, horários de atendimento e espaços para estudos individuais e em grupo (INEP, 2010).

O *layout* de uma biblioteca pode variar muito de acordo com a região geográfica em que ela se encontra, a cultura regional e até mesmo limitações de espaço físico, no entanto em seu interior deve-se ter pelo menos 3 subdivisões. Segundo Neufert (2010), toda biblioteca possui três zonas: a de consulta ao acervo e leitura, o acervo em si e a administração. Dessa forma, as questões relacionadas ao conforto ambiental devem ser estudadas de forma diferenciada para cada uma das zonas em virtude das suas especificidades.

Segundo um estudo britânico (CABE, 2003) sobre bibliotecas públicas, a arquitetura e a qualidade do espaço da biblioteca influenciam diretamente no seu uso. O conceito de biblioteca moderna mudou muito e hoje as bibliotecas devem ser cada vez mais específicas aos tipos de atividades, bem como seus ambientes devem prever múltiplos usos. Quanto aos ambientes de consulta, o estudo mostra a importância dos projetos arquitetônicos serem convidativos e modernos os quais remetam ao lazer e ao passeio, tornando assim atraentes ao público.

As bibliotecas universitárias têm como usuários os alunos de graduação, alunos de pós-graduação, professores, pesquisadores e funcionários, um público um pouco diferente das bibliotecas públicas em geral. Contudo, conforme Cabe (2003), pode-se considerar que os ambientes de consulta local e do acervo possuem características comuns para qualquer planta de biblioteca.

2.2 LUZ E ILUMINAÇÃO NATURAL

A luz é estudada na física como uma radiação eletromagnética, um tipo de onda de energia que é a composição de um campo elétrico e magnético. A onda eletromagnética se propaga a uma velocidade (v) constante, cujo seu valor no vácuo é de 300.000.000 m/s. A luz, por ser uma onda, transporta energia. A onda eletromagnética possui diversas frequências de oscilação da onda (f), onde quanto maior o valor da frequência de onda, maior será a energia por ela transmitida. A unidade da frequência no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Hertz, identificada simplesmente pela sigla Hz, cujo valor de 1Hz representa um ciclo completo por segundo. O comprimento de onda (λ), dado em metros, é inversamente proporcional a sua frequência. Desta forma, a equação de uma onda eletromagnética é definida como $v = f \cdot \lambda$ (BARTHEM, 2005).

As ondas eletromagnéticas são classificadas de acordo com o seu comprimento. Na Figura 2 é mostrado o espectro das ondas eletromagnéticas, onde somente uma pequena faixa é perceptível ao olho humano. Essa faixa abrange as ondas de comprimento de 400 nm a até 750 nm aproximadamente. Apesar das ondas eletromagnéticas adjacentes conhecidas como Ultravioleta (UV) e Infravermelho (IR) não serem visíveis ao olho humano, elas possuem características que devem ser observadas.

O infravermelho é a radiação responsável pelos processos de aquecimento dos materiais e ambientes. Em outro extremo da faixa visível ao olho humano está a radiação Ultravioleta composta de ondas menores que 380nm até 1nm. Este tipo de radiação possui características importantes, algumas positivas, como bactericida e germicida, outras negativas como deterioração de materiais e danos à saúde (BITTENCOURT, 2004). Uma vez que a luz natural possui todos os espectros de energia, como ilustrado na Figura 2, ela é composta de radiação que vão desde a ultravioleta até ao infravermelho, a exposição deste tipo de fonte de luz é ponderável nos ambientes internos de uma biblioteca, tornando-se um fator indesejável neste tipo de iluminação.

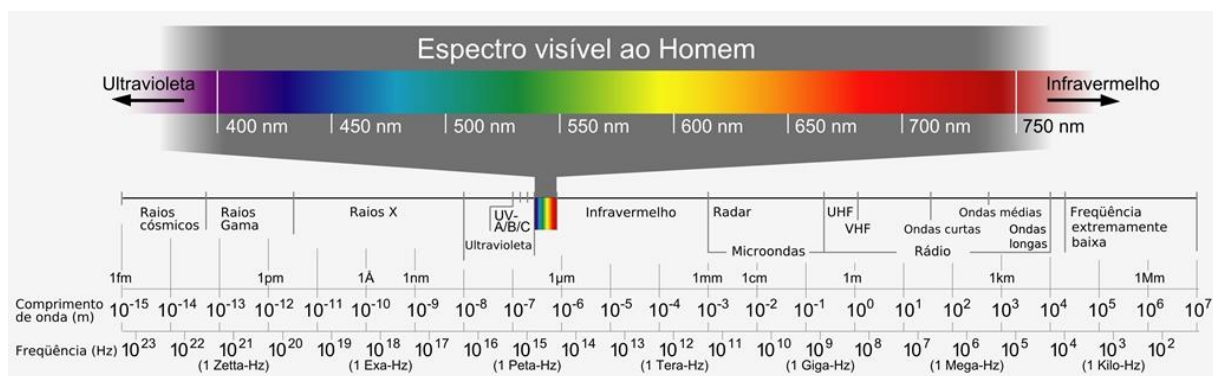


Figura 2 – Espectro eletromagnético

Fonte: SBF (2014)

A principal fonte de energia do planeta Terra é o Sol. Toda esta energia recebida através dos raios solares é vital para a manutenção da vida no planeta. A iluminação natural chega até nós por meio da incidência direta dos raios solares juntamente com a iluminação advinda da reflexão da luz solar na atmosfera, conhecida como luz difusa. O conceito de luz natural descrito abaixo reforça a afirmação de que a luz natural incide na superfície terrestre de formas diferentes:

“Chamamos de luz natural à luz proveniente do Sol em forma direta, através dos raios solares, ou indireta devida à reflexão da atmosfera com ou sem nuvens (luz difusa), da vegetação, dos edifícios ou outros objetos existentes na superfície da terra (luz refletida).” (MASCARÓ, 1989)

O uso da iluminação natural nas edificações contribui de forma considerável para a melhoria da eficiência energética, entretanto seu uso requer certo grau de atenção com relação à disponibilidade desta luz. Alguns fatores devem ser considerados no aproveitamento desse tipo de iluminação, tais como eventos atmosféricos esporádicos, qualidade do ar, latitude do local, hora do dia, época do ano, o clima como agente definidor de tipos de céu, características físicas e geográficas, orientação e a configuração morfológica do entorno construtivo (VIANNA; GONÇALVES, 2001). A Figura 3 mostra de forma esquemática como esses fatores são uma variável relevante na disponibilidade da luz natural em uma edificação.

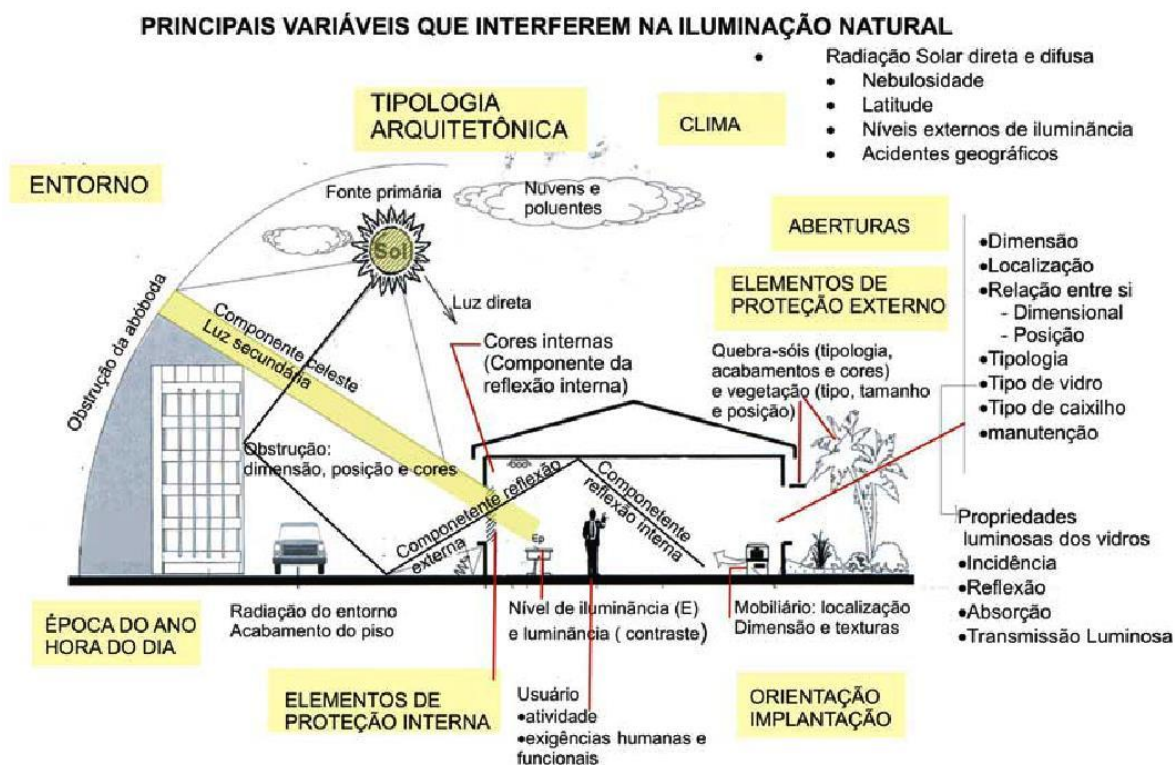


Figura 3 – Variáveis que interferem na Iluminação natural
Fonte: Viana e Gonçalves (2004)

A luz do Sol, que penetra na atmosfera terrestre e chega ao interior de uma edificação passa por vários obstáculos. Neste trajeto a luz sofre a ação de diversas interferências resultando uma iluminação que não possui uniformidade. A disponibilidade da luz em um ambiente varia de acordo com a posição solar e as condições de céu (claro, encoberto, poluído, etc.), fato relatado por Vianna e Gonçalves (2007), os quais destacam ainda que parte da luz que penetra a atmosfera em forma de feixe de luz direta é chamada de luz direta e a outra parte é difundida pela poeira, vapor de água e outros elementos em suspensão no ar, chamada de luz difusa.

A luz que oferece a claridade, tornando o mundo visível para o ser humano. Possui outros efeitos, conforme destaca um estudo realizado sobre a iluminação em ambientes educacionais (BELLIA; PEDACE; BARBATO, 2013), onde foram analisados os efeitos da luz natural e artificial nos ocupantes de uma sala de aula. Na pesquisa, os usuários permanecem no interior da sala por um tempo relativamente longo e foram submetidos a execução de tarefas visuais bem específicas. O estudo sugere que a luz direta e difusa que atinge os olhos não afeta somente a percepção visual, mas também influencia na saúde dos usuários alterando diretamente o humor, o desempenho e a sincronização do relógio

biológico. Uma das conclusões deste estudo de caso foi que a luz natural é extremamente importante em um ambiente educacional, uma vez que pode aumentar a atenção e performance dos usuários. Este estudo abre um pouco mais as variáveis de um projeto luminotécnico, que até então, trata de índices de iluminação na altura de trabalho, desconsiderando a luz que chega aos olhos do observador. Figueiró (2010) e Martau (2009) também ressaltam a importância da luz natural para a saúde dos usuários nas edificações, como por exemplo:

- Aumento da produtividade;
- Redução do absenteísmo;
- Diminuição de erros;
- Manutenção da auto-estima;
- Redução do cansaço;
- Redução da fadiga visual.

Apesar das vantagens apresentadas, o uso da luz natural tem suas limitações, pois o seu uso excessivo pode ocasionar alguns problemas como desconforto visual ocasionado por um contraste muito grande entre locais iluminados e não iluminados, causar ofuscamento e resultar no aquecimento não desejado no ambiente. Segundo Fernandes (2009), a maioria dos Códigos de Obra brasileiros indica áreas mínimas de abertura para iluminação natural e não há indicação de área máxima envidraçada. Tal situação pode ser interpretada de forma equivocada, induzindo o pensamento de que quanto mais aberturas e painéis de vidro de um edifício possui, mais iluminado ou ventilado ele será. Essa prática pode produzir construções com elevada carga térmica e excesso de luz, provocando desconforto e um consumo de energia desnecessário para resfriamento do ambiente.

Osterhaus (2005) resalta o desconforto causado pelo brilho da luz que ao entrar pela janela, juntamente com seus reflexos no interior de um escritório causam ofuscamento. Durante sua pesquisa, foi levantada uma questão sobre o problema do ofuscamento causado pela iluminação natural em usuários de computadores. Em sua conclusão, mostrou-se a importância de se realizar mais estudos relacionados ao problema, visando a integração da iluminação natural e a artificial para minimizar o desconforto visual. Considerando a importância da iluminação natural nas edificações, Osterhaus (2005) também descreve sobre a necessidade de se criar

modelos para que se consiga prever o comportamento da luz natural e também fazer o controle sobre esse tipo de iluminação.

As características do céu no Brasil, na maior parte de sua extensão, oferecem boas condições de aproveitamento da iluminação natural. A luz direta do Sol e a proveniente da abóboda celeste possuem uma alta eficiência luminosa que varia em torno de 90-115 lm/W e 100-130 lm/W respectivamente (PEREIRA, 1993). Para efeitos de comparação, as lâmpadas fluorescentes compactas possuem em média uma eficiência luminosa de 50 à 60,8lm/W (OSRAM, 2010). Desta forma, a possibilidade de substituir 1 lúmen de luz elétrica por 1 lúmen de luz natural resultaria numa redução da carga térmica do ambiente bem como no conforto luminoso (PEREIRA, 1993).

Para fins de referência, algumas grandezas relacionadas à luz são descritas no Quadro 1 abaixo:

Grandeza	Representação simbólica	Unidade de medida	Descrição
Fluxo luminoso	ϕ	Lumen (lm)	Quantidade total de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa
Intensidade Luminosa	I	Candela (cd)	Concentração de luz em uma direção específica radiada por segundo
Eficiência Luminosa	lm/W	Lumen por Watt (lm/W)	Relação entre o fluxo luminoso emitido em lúmens e a potência consumida por uma lâmpada em Watts
Iluminância	E	Lux	Quantidade de luz ou fluxo luminoso que atinge uma unidade de área de uma superfície por segundo. 1 Lux equivale a 1 Lúmen por metro quadrado (lm/m ²)
Luminância	L	Candela por metro quadrado (cd/m ²).	Intensidade luminosa (cd) produzida ou refletida por unidade de área (m ²) de uma superfície numa dada direção
Temperatura de cor correlata	Sem representação simbólica	Kelvin (K)	Aparência da cor da luz que é emitida por uma fonte

Quadro 1 – Principais grandezas relacionadas à luz

Fonte: PHILIPS (2014)

2.3 LUZ NATURAL E AS EDIFICAÇÕES

A luz proveniente do Sol, antes de chegar ao solo, passa pela atmosfera terrestre. Nesta fase a radiação solar passa por uma primeira barreira e é filtrada (BITTENCOURT, 2004). Esta primeira barreira que a luz ultrapassa depende diretamente de como o céu se comporta. Para os estudos da iluminação natural, é muito importante fazer a caracterização do tipo de céu, pois esse fator implica na disponibilidade e a distribuição da luz do dia em uma determinada região. Os métodos de cálculos e programas em geral utilizam como referência três tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto (ABNT, 2005).

A condição de céu claro é caracterizada pela porção mais brilhante da abóboda celeste concentrada ao redor do Sol, nesta situação não há a presença de nuvens, a atmosfera apresenta-se limpa e por consequência o Sol é sempre visível, conforme mostra a Figura 4.

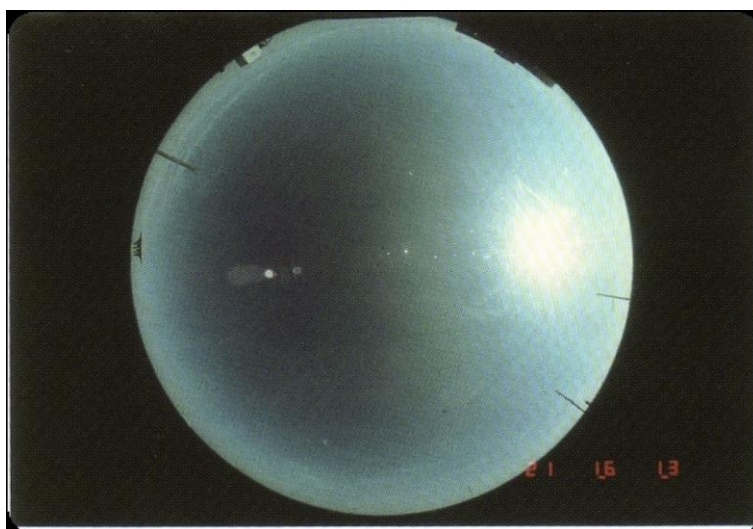


Figura 4 – Céu claro
Fonte: Baker e Steemers (2002)

A condição de céu parcialmente encoberto é caracterizada por sua situação mais adversa, onde a intensidade, a distribuição da luz e a quantidade de nuvens podem variar muito, assim como os níveis de iluminância disponíveis em cada situação. A situação de céu parcialmente encoberto é classificada para uma condição intermediária que vai desde céu claro até céu encoberto. Essa condição é demonstrada na Figura 5.

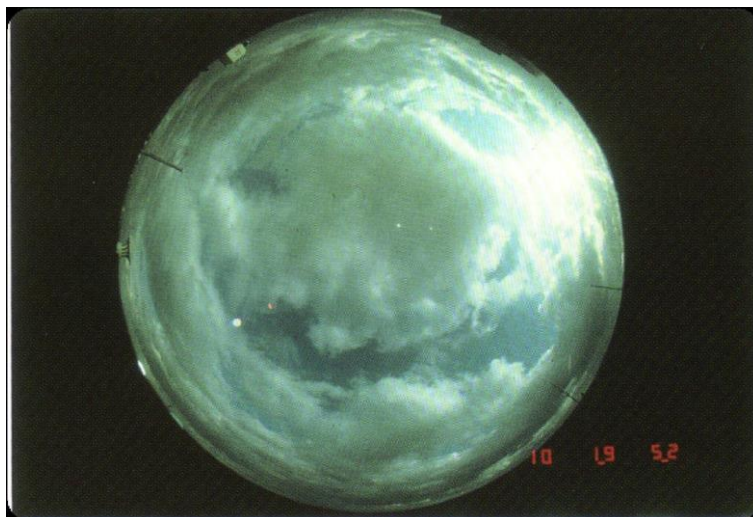


Figura 5 – Céu parcialmente encoberto
Fonte: Baker e Steemers (2002)

A condição de céu encoberto é caracterizada pelo zênite ser o ponto mais brilhante da abóboda e o horizonte ser mais escuro numa proporção de 3:1. A CIE orienta que esse tipo de céu possui uma iluminância média de 5.000 lux. Nesta situação, a iluminação zenital nas edificações é mais eficiente. Essa condição de céu é demonstrada na Figura 6.

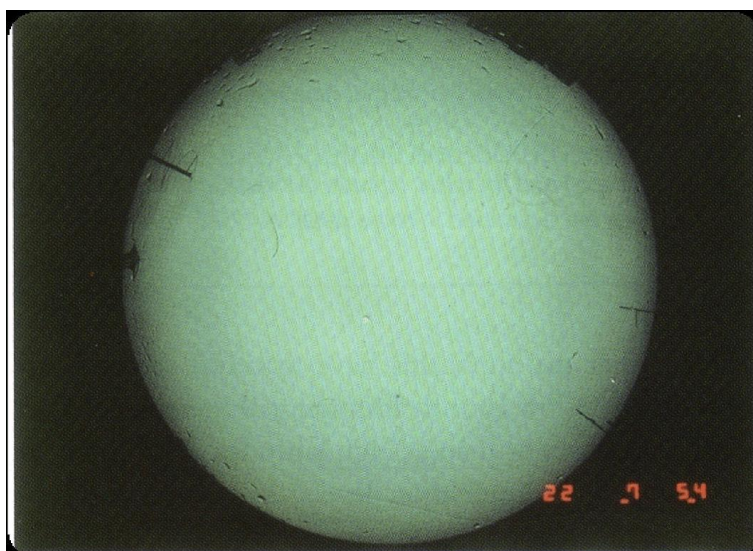


Figura 6 – Céu encoberto
Fonte: Baker e Steemers (2002)

Scarazzato (1995) desenvolveu um *software* chamado Disponibilidade de Luz Natural (DLN), o qual permite obter informações sobre a disponibilidade da luz natural em uma região a partir de algoritmos propostos pela *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA). O *software* processa os dados de disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais considerando as três condições de

céu. Para a cidade de Curitiba-PR, por exemplo, as iluminâncias no plano horizontal chegam a 70.000 lux no inverno e no verão passa de 120.000 lux conforme mostrado nas Figuras 7 e 8.

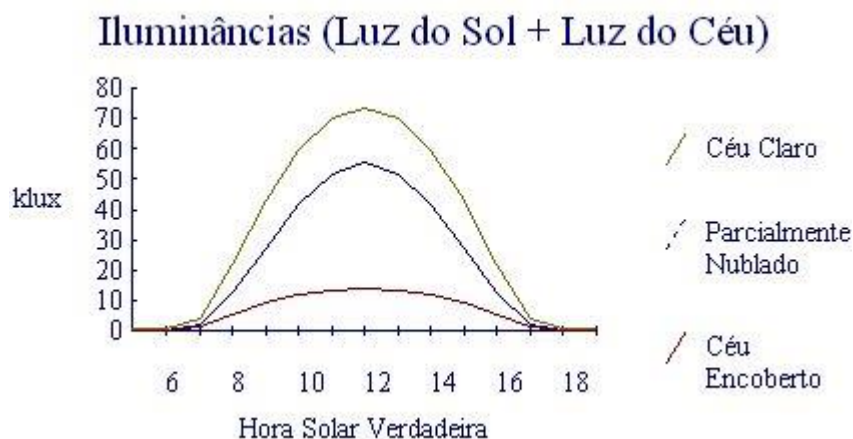


Figura 7 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano horizontal – inverno – dia 21/06
Fonte: Scarazzato (1995)



Figura 8 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano horizontal – verão – dia 22/12
Fonte: Scarazzato (1995)

Além do plano horizontal, os dados sobre a disponibilidade de luz natural nas fachadas de uma edificação também podem ser consultados pelo *software*, desde que as informações sobre a orientação das fachadas sejam previamente fornecidas. As Figuras 9 e 10 apresentam a disponibilidade da luz natural na cidade de Curitiba, respectivamente considerando a situação de inverno e verão em planos verticais orientados a: a) face norte, b) face leste, c) face sul e d) face oeste:

Illuminâncias (Luz do Sol + Luz do Céu)

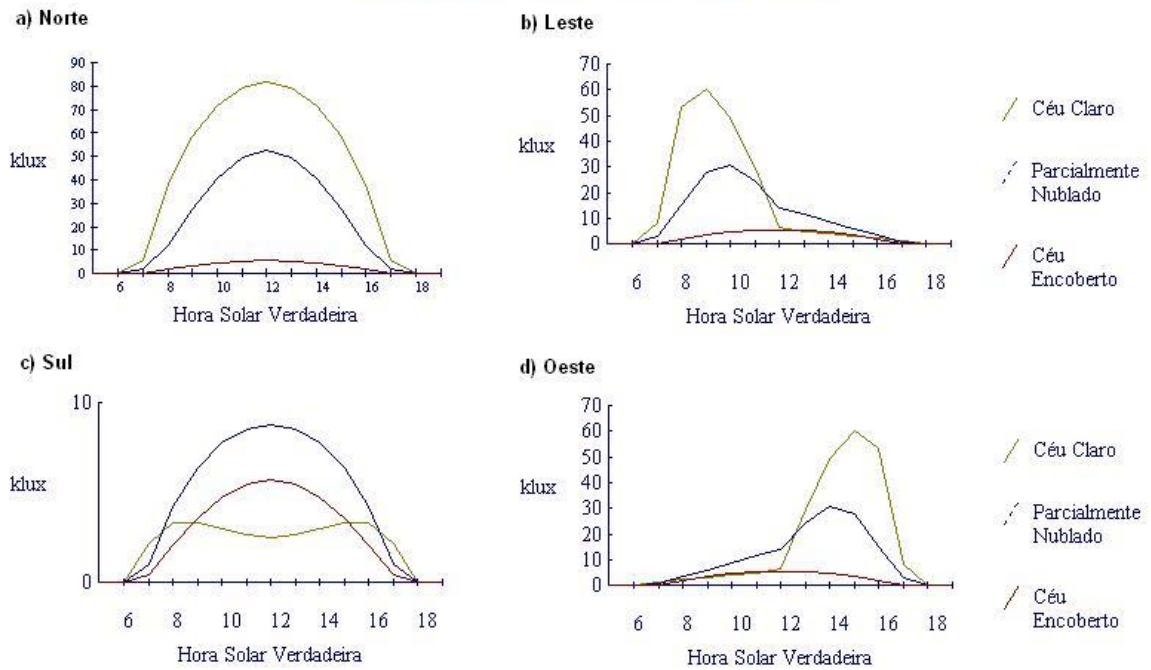


Figura 9 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano vertical – inverno – dia 22/06
 Fonte: Scarazzato (1995)

Illuminâncias (Luz do Sol + Luz do Céu)

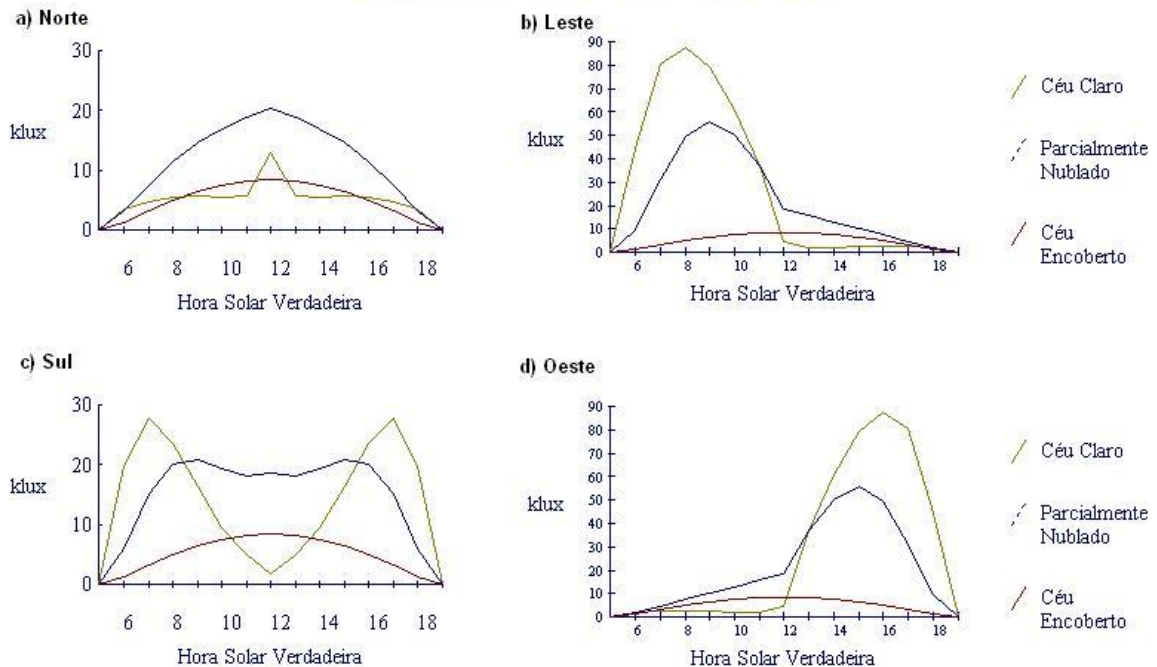


Figura 10 – Disponibilidade de luz em Curitiba – plano vertical – verão – dia 22/12
 Fonte: Scarazzato (1995)

Os dados apresentados pelo *software* mostram um grande potencial de aproveitamento da luz natural, no entanto pode-se observar também que a orientação das fachadas deve ser definida com cautela, uma vez que os valores de iluminância variam muito entres as fachadas analisadas.

A exposição de interiores dos edifícios pela radiação solar direta através das suas aberturas não é desejável devido à quantidade excessiva de luz e principalmente ao calor que elas transmitem para o ambiente. Tanto o entendimento quanto o controle da incidência da radiação solar nas edificações são melhor avaliados utilizando-se gráficos planares conhecidos como cartas solares. Estes gráficos representam o movimento aparente do Sol na abóboda celeste, planificando os movimentos de translação da terra em torno do Sol e o movimento de rotação da terra em torno do seu próprio eixo, representado na Figura 11.

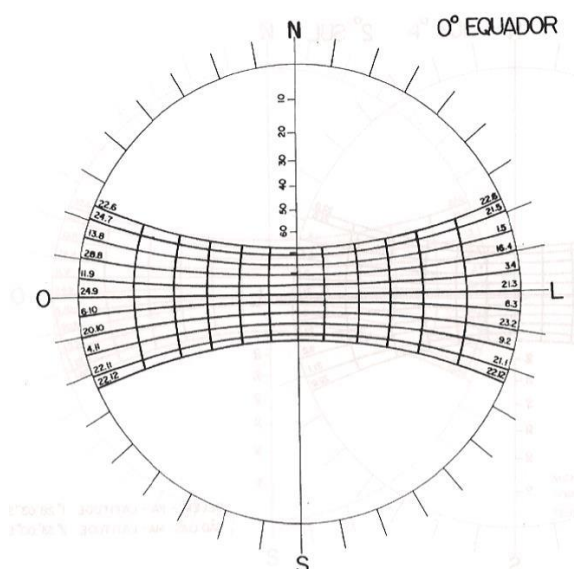


Figura 11 – Carta solar, latitude 0° - linha do equador, projeção estereográfica
Fonte: Bittencourt (2004)

A carta solar possui duas variáveis principais: a altura angular ou solar, que representa o ângulo formado entre o Sol e o plano horizontal em um ponto de análise; e o azimute, que representa o ângulo formado pela projeção do raio solar e uma direção definida, geralmente o norte geográfico (BITTENCOURT, 2004), representado na Figura 12.

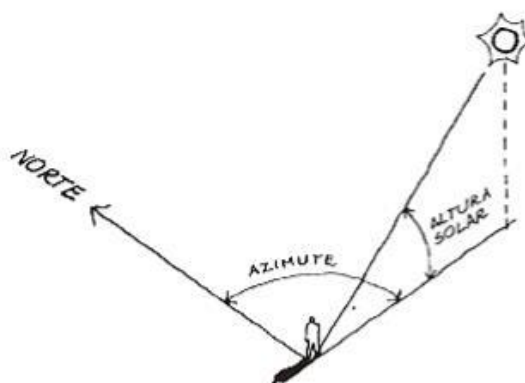


Figura 12 – Azimute e altura solar
Fonte: Bittencourt (2004)

As cartas solares podem apresentar mais informações sobre a trajetória do Sol, também podem informar a obstrução da porção visível do céu para situações onde há obstáculos no entorno da edificação ou por elementos de sombreamentos para as janelas, conforme mostrado na Figura 13, utilizando um gráfico auxiliar.

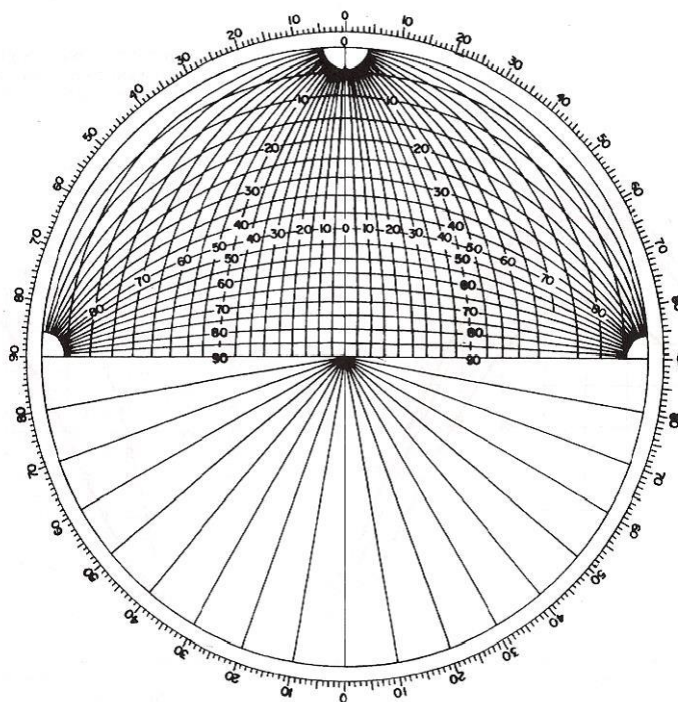


Figura 13 – Gráfico auxiliar – carta solar
Fonte: Bittencourt (2004)

Um dos fundamentos para que o sistema de iluminação natural funcione de forma eficiente, é a análise da informação do uso de cada ambiente na edificação, atentando os aspectos quantitativos e qualitativos da luz. Além disso, outros componentes podem ser utilizados para que o sistema tenha o melhor

aproveitamento da luz natural tais como proteções solares, prateleiras de luz ou tecnologias mais sofisticadas (AMORIM, 2002).

Frota (2004) destaca que a maneira mais eficaz de proteger uma edificação da radiação solar direta é o sombreamento de suas aberturas através dos elementos de controle solar externos. Os elementos de proteção externos mais comuns são os *brises-soleil* vertical e horizontal, varandas, sacadas, telas especiais, toldos e os elementos vazados. As principais funções destes elementos de controle são impedir a entrada da radiação direta do Sol e evitar o aquecimento indesejado do ambiente.

2.4 ILUMINAÇÃO E O ACERVO DA BIBLIOTECA

As áreas de acervo das bibliotecas são locais que necessitam preocupação tanto para o usuário que está procurando um título, quanto para limitar a exposição do acervo à luz excessiva. A escolha tipo de iluminação é de grande importância, por exemplo, para que não contribua para a aceleração da degradação do papel. Como mostrado anteriormente, a radiação ultravioleta, presente na maioria das fontes de luz, causa a deterioração do papel. Ogden (2001) destaca que a luz causa um processo de deterioração fotoquímica, também chamada de fotodegradação, a qual é responsável por uma série de reações químicas ocasionadas pela absorção de energia por parte dos materiais. Nos acervos das bibliotecas, os danos estão relacionados geralmente com a oxidação no papel e em seus pigmentos. No papel, ocorrem processos de descoloração, amarelecimento ou escurecimento ocasionado pelo enfraquecimento e enrijecimento das fibras de celulose. Nos pigmentos, ocorrem alterações de tons e cores prejudicando sua aparência.

Para Ogden (2001), qualquer exposição à luz, mesmo por um breve período de tempo, causa danos, e esses danos são cumulativos e irreversíveis. Segundo o mesmo autor, o limite para a incidência de radiação ultravioleta em acervos é de 75 μ W/l (setenta e cinco micro watt por lúmen), e valores acima disso devem ser evitados. A radiação infravermelha presente na luz natural, apesar de ser portadora de menor quantidade de energia se comparado às demais, também é danosa ao acervo por ser responsável pelo aquecimento dos materiais.

No estudo conduzido por Ogden (2001), algumas considerações sobre os níveis de iluminação também foram feitas, como por exemplo, a proporcionalidade

existente entre o dano provocado ao acervo e a quantidade de luz com relação ao tempo de exposição. Dessa forma, recomendou-se um limite padrão para materiais sensíveis ou exemplares raros de 50.000 hlux/ano (horas lux por ano).

Os índices de transmissão de energia da radiação ultravioleta que compõem a luz natural são muito elevados, conforme mostrado na Tabela 2, os quais indicam a necessidade de cuidados especiais quanto a exposição desta radiação na área de acervo das bibliotecas.

Tabela 2 – Tipos de céu e sua radiação ultravioleta

Característica da luz natural	Valor da Radiação ultravioleta (miliwatt por lúmen)
Céu claro	1.600 UV (mW/lúmen)
Céu encoberto	800 UV (mW/lúmen)

Fonte: Anselmo e Chiarelo (2005) *apud* Pinto (2008)

Em comparação com as fontes de iluminação artificiais, a iluminação natural sobressai muito, tornando a exposição para esse tipo de radiação desaconselhável mesmo em curtíssimos espaços de tempo. Porém, conforme mostra a Tabela 3, a iluminação artificial também possui a componente de ultravioleta, dessa forma os cuidados com o tempo de exposição do acervo deste tipo de fonte de luz também se tornam importante ser observados para não acelerar o processo de degradação.

Tabela 3 – Tipos de lâmpadas e sua radiação ultravioleta

Tipo de lâmpada	Valor da Radiação ultravioleta (miliwatt por lúmen)
Incandescente	60/80 UV (mW/lúmen)
Lâmpadas de descarga	400 UV (mW/lúmen)
Fluorescente	650 UV (mW/lúmen)

Fonte: Anselmo e Chiarelo (2005) *apud* Pinto (2008)

De acordo com a Tabela 2, os índices de radiação ultravioleta das lâmpadas incandescentes são os melhores para a conservação do papel, todavia hoje a comercialização das lâmpadas incandescentes está sendo restringida gradualmente no Brasil. O processo de restrição começou em 30/06/2012 e vai até 30/06/2016 (BRASIL, 2014). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2014), as lâmpadas incandescentes possuem baixa eficiência energética, elas produzem 5% luz e 95% calor. Já as lâmpadas fluorescentes mesmo com índices de radiação ultravioleta maiores, são as mais utilizadas comercialmente para a iluminação de ambientes de uso geral devido a sua melhor eficiência energética. No caso de lâmpadas LED, há poucos estudos publicados com relação as características de radiação que essa fonte produz, no entanto a fabricante de

lâmpadas Philips (2014) informa em seu portal da Internet que as lâmpadas LED não emitem radiação infravermelho bem como a ultravioleta.

2.5 RETROFIT

O termo *retrofit* na construção civil significa adaptar e melhorar ambientes construídos com o objetivo de deixá-los mais eficientes em termos de consumo de energia e atender os critérios de conforto ambiental (GHISI, 1997).

Para o planejamento de um *retrofit* é importante ser elaborado de forma a atender requisitos de custos e benefícios, pois em alguns casos pode-se chegar à conclusão de que a demolição da edificação e a reconstrução de uma nova edificação seja mais vantajosa. Como por exemplo, no Reino Unido, o perfil de edificações existentes tanto comerciais quanto públicos tem uma taxa muito baixa de eficiência térmica e a estatística é que apenas 1% dessas edificações são substituídas por ano. Adequar essas edificações existentes para consumir menos energia elétrica é essencial. Além de adequação física, estão sendo adotadas políticas de certificados de energia e programas de demolição de edificações com baixo desempenho (ROBERTS, 2008).

O sucesso de um programa de *retrofit* depende de seis fatores a serem considerados: política e regulamentação; recursos e expectativas dos clientes; tecnologias de *retrofit*; especificações sobre a edificação; fatores humanos; Outros fatores de incerteza. As políticas e regulamentações são referentes às normas de eficiência energética que estabelecem requisitos mínimos para adequações dos edifícios. Os recursos e expectativas do cliente são referentes aos objetivos e metas do projeto que servem para definir o tipo de tecnologia de *retrofit* a ser utilizada. Estas tecnologias se referem aos equipamentos a serem utilizados, sistemas de controle avançados, uso de energias renováveis, melhores tecnologias de aquecimento e resfriamento. As especificações sobre as edificações estão diretamente ligadas à sua eficiência, devem ser levantadas as informações sobre localização geográfica, tipo de construção, tamanho, horário de ocupação, fontes de energia, entre outros. Os fatores humanos afetam diretamente o sucesso do *retrofit* os quais devem ser considerados o conforto ambiental, o regime de ocupação e o comportamento dos usuários (MA *et al.*, 2012).

Antes de definir uma estratégia de *retrofit* em uma edificação, as autoridades públicas necessitam estar cientes de três questões fundamentais: o desempenho energético das edificações escolares novas se comparado com as existentes; qual será a melhor técnica de *retrofit*, e por fim o custo financeiro para tornar a edificação eficiente energeticamente. No caso da energia utilizada para aquecimento na região da Lombardia na Itália, foram analisadas 49 edificações escolares onde simularam-se três cenários de *retrofit* (padrão, eficiente e de alto desempenho), os resultados mostraram que as adequações necessárias para um alto desempenho no consumo de energia têm um custo financeiro maior que a construção de um novo prédio. O estudo leva em consideração a construção de uma edificação com uma população de alunos e professores menor devido à redução da população local (DALL'O; SARTO, 2013)

Além das considerações sobre *retrofit*, é de grande importância saber o que um projeto de uma nova edificação requer. O bom planejamento durante a fase de projeto de uma edificação é exemplificado na biblioteca da Universidade Coventry no Reino Unido. O prédio possui quatro pavimentos e sua arquitetura é composta por elementos que utilizam a iluminação natural, ventilação natural e refrigeração passiva. Todos esses artifícios fazem com que os níveis de CO₂ em todos os pontos monitorados fiquem abaixo de 700ppm e a temperatura interna nos meses de verão fique em torno de 26°C, que, para região, são níveis aceitáveis de conforto térmico. O resultado deste bom desempenho é confirmado nos resultados de consumo de energia. O prédio da biblioteca consome 51% menos energia elétrica que um escritório com ar condicionado e 35% menos energia elétrica que um escritório que usa ventilação natural (KRAUSSE; COOK; LOMAS, 2007).

No cenário da UTFPR, não há um estudo específico sobre o conforto lumínico ou a eficiência energética de suas bibliotecas. Contudo, numa visão geral, uma pesquisa realizada em 2006 (SOUZA *et al.*, 2012) indicou que 59% da energia consumida pela UTFPR era utilizada para iluminação, em sua sede Centro do câmpus Curitiba. Apesar da estrutura geral de iluminação dos ambientes ser considerada boa, os quais contam com a utilização de 49% de sistemas de iluminação eficientes, ainda existe um grande potencial para melhorar a eficiência da iluminação no câmpus. Há uma grande oportunidade para melhorar esses índices realizando um processo de *retrofit* nas edificações das bibliotecas existentes.

Shane (2012) diz que é possível realizar estratégias de baixo custo em ambientes de bibliotecas que melhoram significativamente a eficiência energética e o conforto ambiental. Muitas vezes a adequação sugerida pelos projetistas para que uma edificação obtenha um desempenho energético mais eficiente torna os custos de execução proibitiva por serem muito elevados, principalmente quando o objetivo é melhorar uma edificação pública. No caso de uma biblioteca há uma preocupação com dois fatores extras que são opostos, o primeiro é proteger o acervo da luz solar, umidade e altas temperaturas, o segundo é oferecer a iluminação natural aos usuários da biblioteca.

A utilização da iluminação natural em bibliotecas pode seguir algumas recomendações simples de serem adotadas, como por exemplo (SHANE, 2012):

- Grandes janelas na fachada com orientação norte para aproveitar a luz no inverno;
- Pequenas janelas na fachada com orientação sul instaladas acima das áreas de trabalho para minimizar o calor do verão, diminuir a perda de calor no inverno e permitir a entrada da luz difusa;
- As áreas de acervo devem estar localizadas no lado sul da edificação, longe da incidência da luz direta do Sol;
- Nas áreas próximas das grandes aberturas ao norte, sugere-se colocar as áreas de convivência da biblioteca como, por exemplo, espaços de leitura, atendimento dos funcionários, um café e área de periódicos;
- Nas áreas perto da fachada sul, sugere-se colocar salas de computadores e fotocopiadoras, ficando longe das áreas de ofuscamento e por ser uma área mais fria uma vez que esses equipamentos produzirem calor;

Embora o estudo tenha sido realizado no hemisfério norte, as soluções podem ser adaptadas à realidade da região Sul do Brasil.

2.6 SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Com a difusão da informática e a disponibilidade de microcomputadores cada vez mais potentes, existem vários *software* de simulação de modelos para

auxiliar no projeto e no *retrofit* de edificações. Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução (MENDES *et al.*, 2005)

Por outro lado, no Brasil, estudos relacionados ao uso da simulação computacional verificou pouca aceitação destas ferramentas. Um dos motivos para este fato é a falta de legislação específica na época para a aplicação dos conceitos de eficiência energética em novos projetos. Outro motivo é a falta de confiança no uso destes *softwares* de simulação para a realidade brasileira, considerando as características de clima e topografia local (LAMBERTS *et al.*, 2001). Hoje, esse mesmo fenômeno ainda se verifica em muitas situações na administração pública.

Um dos *softwares* mais utilizado na área de engenharia para a modelagem e representação dos projetos é o *software* Autocad, fabricado pela Autodesk Inc., embora nota-se um aumento significativo na utilização do *software* Sketchup, inicialmente criado pela At Last, e posteriormente comprado pela Google Inc. O Google Sketchup está sendo utilizado cada vez mais na construção de modelos 3D para auxiliar na elaboração de projetos arquitetônicos. A sua grande vantagem é a facilidade para criar maquetes eletrônicas devido à sua interface ser muito intuitiva e os comandos para criar objetos tridimensionais muito parecidos com o sistema de desenho à mão (SEVERO; SCALCON; SALBEGO, 2012).

O *software* Sketchup, além de ser utilizado para modelar maquetes eletrônica, também está sendo muito utilizado para estudos de orientação solar. Com as coordenadas de latitude e longitude do local onde o projeto será implantado, pode-se obter informações sobre a insolação das fachadas durante qualquer horário do dia, considerando também a posição relativa do Sol nas diversas estações do ano (SILVA *et al.*, 2013).

Outro *software* que está sendo utilizado na área de iluminação é o Daysim, que trata de uma ferramenta própria para a simulação de luz natural em ambientes. Ele pode ser utilizado para calcular o perfil anual de luminâncias e iluminâncias internas com base em um arquivo climático, utilizado também pelo *software* EnergyPlus. O modelo 3D que se deseja analisar pode ser facilmente desenvolvido

no *software* Autocad ou Sketchup e posteriormente exportado para o Daysim (REINHART, 2006).

O Daysim foi objeto de estudo de Reinhart e Walkenhorst (2001), os quais validaram os resultados obtidos pelo *software*. Segundo estes autores o programa se baseia em algoritmos de outro *software*, denominado Radiance, o qual utiliza o método chamado de raio traçado (*raytrace*), além disso emprega os conceitos de coeficientes de luz natural (*daylight coefficients*) apresentados por Tregenza e Waters (1983) e o modelo de céu de Perez (PEREZ *et al.*, 1990; PEREZ; SEALS; MICHALSKY, 1993) para simular iluminâncias internas sobre diferentes condições de céu.

Em 1975 surgiu o conceito de BIM, Building Information Modeling. Nas últimas três décadas o sistema ganhou destaque no cenário de modelagem 3D. O BIM é um sistema de modelagem 3D onde há um gerenciamento de informações útil para integrar os detalhes construtivos com os projetos complementares da edificação, facilitando assim a elaboração dos projetos desde a fase de estudo preliminar até o fim do ciclo de vida da edificação (RUSCHEL *et al.*, 2011).

A construção de um modelo 3d com o sistema BIM permite a inclusão de componentes 3D com informações técnicas que formam um banco de dados, facilitando assim a comunicação entre as fases de projeto, planejamento, construção e uso da edificação (SUCCAR, 2008). Além dessa facilidade, o trabalho colaborativo entre as áreas de engenharia se torna dinâmico, em alguns casos até automatizados, diminuindo assim os problemas de compatibilização de projetos de engenharia complementares e o projeto arquitetônico (PIMENTEL; FUKS; LUCENA, 2008).

Outra ferramenta comumente utilizada para reproduzir e analisar cartas solares é o *software* Sol-Ar, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência energética em Edificações – LABEEE da Universidade Federal de Santa Catarina. Além da carta solar, o *software* fornece também intervalos de temperaturas anuais de acordo com as trajetórias solares ao longo do ano e do dia. Outra funcionalidade do Sol-Ar é gerar a rosa dos ventos conforme intensidades ou frequências. A utilização desta ferramenta auxilia o projeto de proteções solares de acordo com a orientação das fachadas e a posição do Sol em qualquer época do ano (DORIGO, 2007).

Na mesma linha de ferramentas para a análise da luz natural, está disponível o *software* Luz do Sol, desenvolvido por Mauricio Roriz, da Universidade Federal de São Carlos, em 1994. Esta ferramenta prática disponibiliza a quantidade

de luz proveniente do Sol e o calor que ele pode gerar. O programa pode estimar a disponibilidade de luz e calor provenientes da luz natural além de outras funcionalidades através dos dados de entrada como latitude, orientação da fachada, data do ano e o tipo de céu que se quer analisar. Para a análise da iluminação natural no interior dos ambientes, deve-se inserir os dados físicos do ambiente a ser estudado (largura, profundidade, pé direito, aberturas, etc). Os resultados gerados podem ser apresentados em forma de gráfico ou tabelas de dados (DORIGO, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os recursos utilizados para realização do estudo de caso proposto são os projetos arquitetônicos, de instalações elétricas e a averiguação *in loco* das edificações onde estão instaladas as bibliotecas da UTFPR. Os resultados são utilizados para propor alterações nas edificações visando melhorar o sistema de iluminação e servir de subsídio para futuros projetos.

Em relação as bibliotecas, é importante destacar algumas informações preliminares sobre cada biblioteca:

A biblioteca do câmpus Apucarana está provisoriamente instalada no 1º pavimento de uma edificação de dois pavimentos e possui uma área de 344 m². A edificação foi inaugurada em 2012 e seu uso, além da biblioteca, é de salas de aula teórica e laboratórios. A cidade de Apucarana – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Campo Mourão está provisoriamente instalada no térreo de uma edificação de dois pavimentos e possui uma área de 442 m². A edificação foi inaugurada em 2011 e seu uso, além da biblioteca, é de salas de aula teórica, um mini auditório e um setor de Ensino a Distância. A cidade de Campo Mourão – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Cornélio Procópio está provisoriamente instalada no 2º pavimento de uma edificação de três pavimentos e possui uma área de 725 m². A edificação está sendo usada desde 1993, ano de implantação do câmpus, quando foi realizada uma obra de reforma. Em 2013, foi realizada uma reestruturação da biblioteca, onde foi aumentada a área de acervo. A edificação tem seu uso, além da biblioteca, de salas de aula teórica. A cidade de Cornélio Procópio – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Curitiba, na sede Centro está instalada no 1º pavimento de uma edificação de quatro pavimentos e possui uma área de 1341 m². A edificação foi inaugurada em 1976 e seu uso é exclusivo para biblioteca, durante os anos ela passou por ampliações e reformas, sendo a mais recente em 2012 quando o seu layout interno e instalações elétricas foram adequadas. A cidade de Curitiba – PR está classificada como zona bioclimática 1.

A biblioteca do câmpus Curitiba, na sede Ecoville está provisoriamente instalada no 1º pavimento de uma edificação de quatro pavimentos e possui uma

área de 422 m². A edificação foi inaugurada em 2011 e seu uso, além da biblioteca, é de salas de aula teórica, mini auditórios e restaurante universitário.

A biblioteca do câmpus Dois Vizinhos está instalada no térreo de uma edificação de 1 pavimento e possui uma área de 500 m². A edificação foi inaugurada em 2010 e seu uso é exclusivo para biblioteca, sendo projetada para este fim. A cidade de Dois Vizinhos – PR está classificada como zona bioclimática 2.

A biblioteca do câmpus Francisco Beltrão está provisoriamente instalada no térreo de uma edificação de um pavimento e possui uma área de 151 m². A edificação está sendo usada desde 2006, ano de implantação do câmpus, quando foi realizada uma obra de reforma. Em 2014, foi realizada uma reestruturação da biblioteca, ampliando a área de acervo. A edificação tem seu uso, além da biblioteca, também é compartilhada com a coordenadoria de gestão da tecnologia da informação. A cidade de Francisco Beltrão – PR está classificada como zona bioclimática 2.

A biblioteca do câmpus Guarapuava está provisoriamente instalada no térreo de uma edificação de um pavimento e possui uma área de 557 m². A edificação foi inaugurada em 2014 e seu uso, além da biblioteca, é compartilhada com setores administrativos. A cidade de Guarapuava – PR está classificada como zona bioclimática 1.

A biblioteca do câmpus Londrina está instalada no térreo de uma edificação de um pavimento e possui uma área de 415 m². A edificação foi inaugurada em 2011 e seu uso é exclusivo para a biblioteca. A cidade de Londrina – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Medianeira está provisoriamente instalada no 2º pavimento de uma edificação de três pavimentos e possui uma área de 467 m². A edificação foi inaugurada em 2011 e seu uso, além da biblioteca, é compartilhada o centro de informações, auditório e setores administrativos. A cidade de Medianeira – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Pato Branco está instalada no térreo e 1º pavimento de uma edificação de dois pavimentos e possui uma área de 1.996 m². A edificação foi inaugurada em 2012 e seu uso é exclusivo para a biblioteca. A cidade de Pato Branco – PR está classificada como zona bioclimática 2.

A biblioteca do câmpus Santa Helena está instalada no térreo de uma edificação de um pavimento e possui uma área de 152 m². A edificação está sendo

usada desde 2014, ano de implantação do câmpus, quando foi realizada uma obra de reforma. A cidade de Santa Helena – PR está classificada como zona bioclimática 3.

A biblioteca do câmpus Ponta Grossa está instalada no térreo e 1º pavimento de uma edificação de dois pavimentos e possui uma área de 1.351 m². A edificação foi inaugurada em 2015 e seu uso é exclusivo para a biblioteca. A cidade de Ponta Grossa – PR está classificada como zona bioclimática 2.

A biblioteca do câmpus Toledo está instalada no térreo e 1º pavimento de uma edificação de dois pavimentos e possui uma área de 369 m². A edificação foi inaugurada em 2014 e seu uso, além da biblioteca, é compartilhada com o ginásio de esportes e laboratórios. A cidade de Toledo – PR está classificada como zona bioclimática 3.

3.1 ESCOLHA DO OBJETO DE PESQUISA

A escolha do objeto de pesquisa se deu pela importância que uma biblioteca tem nas instituições de ensino, principalmente dentro de uma universidade. O sistema de bibliotecas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná está estruturado em vários câmpus distribuídos no Estado do Paraná, possuindo um total de quatorze edificações que abrigam áreas de bibliotecas. Algumas destas bibliotecas ocupam a totalidade da edificação e outras apenas parte das áreas.

Através da análise dos planos diretores dos câmpus da UTFPR, verificou-se que em várias bibliotecas implantadas, quanto os critérios de ocupação da edificação quanto dos projetos arquitetônicos, aparentemente foram considerados apenas: a localização no câmpus; o espaço destinado ao acervo e áreas de consulta; a proximidade com as infraestruturas de energia, rede de telecomunicações, água e esgoto. Porém, as variáveis como orientação das fachadas, áreas envidraçadas, iluminação artificial diferenciada ou influência de edificações vizinhas possivelmente não tenham sido consideradas nos projetos das edificações, bem como na sua locação no do plano diretor de cada câmpus.

Os projetos arquitetônicos consultados junto à Diretoria de Projetos e Obras (DIRPRO) da UTFPR indicam que algumas das bibliotecas podem ter problemas

relacionados à insolação das fachadas ou aproveitamento inadequado da luz natural no interior do prédio. No exemplo do câmpus Ponta Grossa, mostrado na Figura 14, verifica-se que a fachada tem uma grande área envidraçada, contudo não há proteção contra a radiação solar direta. A fachada possui azimute de $28,40^\circ$ e o registro fotográfico realizado às 13:28h do dia 30/06/2014.



Figura 14 – Fachada – Biblioteca Ponta Grossa
Fonte: UTFPR (2014)

Edificações como esta precisam de estudo quanto à proteção solar nas grandes áreas envidraçadas, principalmente devido à orientação das fachadas e à grande quantidade de luz solar direta que entra no ambiente do acervo e demais áreas da biblioteca.

Na presente pesquisa optou-se por investigar a situação lumínica em 14 bibliotecas da UTFPR, utilizando-as como amostra, onde foram levantados dados construtivos para o desenvolvimento de um modelo 3D de cada biblioteca. Os modelos foram baseados nos seus projetos arquitetônicos executivos e plantas de implantação. Com os resultados das análises propostas são apresentadas sugestões de *retrofit*.

A Tabela 4 destaca o cenário atual das bibliotecas em funcionamento e o número de alunos a que potencialmente essas instalações devem atender.

Tabela 4 - Bibliotecas da UTFPR

Câmpus	Número de alunos matriculados	Área de Biblioteca (m²)	Edificação de uso exclusivo	Projetada para ser uma biblioteca
Apucarana	657	344	Não	Sim
Campo Mourão	1.788	442	Não	Sim
Cornélio Procópio	1.964	725	Não	Não
Curitiba – Sede Centro	8.644	1341	Não	Sim
Curitiba – Sede Ecoville		422	Não	Sim
Dois Vizinhos	929	500	Sim	Sim
Francisco Beltrão	480	151	Não	Não
Guarapuava	324	557	Não	Sim
Londrina	970	415	Sim	Sim
Medianeira	1.958	467	Não	Sim
Pato Branco	3.125	1996	Sim	Sim
Santa Helena	118	152	Não	Não
Ponta Grossa	2.416	1351	Sim	Sim
Toledo	802	368	Não	Não

Fonte: UTFPR (2014)

As áreas de acervo e de leitura foram escolhidas para a verificação quantitativa da iluminação artificial. A escolha ocorreu pelo fato destas áreas serem as mais utilizadas pelos usuários das bibliotecas. Para a análise da iluminação natural, foi utilizada a área total das bibliotecas.

3.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O projeto de iluminação artificial possui limites mínimos para iluminância de acordo com a atividade exercida no local, além de manter uma uniformidade da iluminação e minimizar o desconforto por ofuscamento (ABNT, 2013).

Para as áreas de acervo e leitura, a norma recomenda os seguintes parâmetros mínimos:

Tabela 5 – Índices de iluminação

Ambiente, tarefa ou atividade	\overline{E}_m (lux)	UGR_L	R_a (%)
26. Bibliotecas			
Estantes	200	19	80
Área de leitura	500	19	80

Fonte: ABNT (2013)

A iluminação mantida, representada por \overline{E}_m , é o valor de referência para que a iluminância média da área de trabalho não seja inferior. Para atender os critérios de uniformidade da iluminância dentro da área de trabalho o valor mínimo encontrado não pode ser inferior a 70% da iluminância mantida, já no entorno imediato a iluminância pode variar até 50%. Considera-se entorno imediato uma zona de no mínimo 0,5m de largura ao redor da área da tarefa.

Entretanto, nos locais de leitura das bibliotecas, as áreas de trabalho são as mesas de estudos, as quais não possuem um local fixo, podendo ser alteradas com grande facilidade pelos próprios usuários. Neste caso, considera-se que a área de trabalho são os limites da sala, sem deduzir qualquer zona marginal e a uniformidade poderá ter o limite de 60% da iluminância mantida.

O índice limite de ofuscamento unificado, representado por UGR_L , é o valor adimensional máximo permitido do nível de ofuscamento para o sistema de iluminação. O cálculo do índice depende do projeto da luminária, da distribuição das luminárias e da altura de montagem da iluminação em relação aos olhos do observador. Quanto menor o valor do índice mais confortável é o sistema iluminação. A impossibilidade de consultar todos os fabricantes de luminárias utilizadas no estudo fez com que este índice fosse avaliado com critérios de: sem ofuscamento ou propício ao ofuscamento. A avaliação baseou-se no fato das lâmpadas estarem expostas à visão direta do usuário ou não. A Figura 15 mostra o ambiente de leitura da biblioteca do câmpus Dois Vizinhos, onde o sistema de iluminação não possui ofuscamento por parte da iluminação artificial. A Figura 16 mostra o ambiente da biblioteca do câmpus de Cornélio Procópio, onde se percebe um alto grau de exposição das lâmpadas, sendo considerado um sistema de iluminação propício ao ofuscamento.



Figura 15 – Fotografia – Área de leitura da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria



Figura 16 – Fotografia – Área de leitura da biblioteca de Cornélio Procópio
Fonte: Autoria própria

O índice de reprodução de cores, representado por R_a , é o parâmetro utilizado pelos fabricantes de lâmpadas para determinar o quanto a lâmpada é capaz de manter as cores dos objetos e da pele humana de forma natural e corretamente. Este índice é importante tanto para o desempenho visual quanto para a sensação de conforto e bem-estar (ABNT, 2013). Os fabricantes de lâmpadas fornecem esses dados em catálogos técnicos e referem-se à sigla IRC, Índice de Reprodução de Cores.

3.2.1 Equipamentos de medição e apoio

A medição da iluminância foi realizada por um luxímetro da marca Icel, modelo LD-550, número de série 000098, certificado de calibração 187315, com data de calibração de 09/10/2014, como mostra a Figura 17.



Figura 17 – Fotografia – Luxímetro
Fonte: Autoria própria

Para a marcação dos pontos de medição foram utilizados os seguintes materiais de apoio:

- 2 fitas métricas flexíveis de 50 metros;
- 1 trena metálica de 5 metros;
- 4 rolos de fita crepe branca;
- 1 tripé para uso fotográfico com altura regulável.

O luxímetro utilizado possui escalas de medições 200 lux com resolução de 0,1 lux; 2.000 lux com resolução de 1 lux; 20.000 lux com resolução de 10 lux; 200.000 lux com resolução de 100 lux. Para medições de ambientes externos as escalas mais utilizadas são de 200 lux e 2000 lux. As medições realizadas na escala de 200 lux apresentam o formato de numérico com a precisão de um décimo, por exemplo, 189,3 lux, na escala 2.000 lux a precisão é de uma unidade, por exemplo, 189 lux, desta forma para iluminância abaixo de 200 lux deve-se utilizar a escala de 200 lux.

3.2.2 Malha de cálculo para a iluminância mantida na área de leitura

Para esta etapa, os projetos de instalações elétricas e os arquitetônicos fornecidos pela DIRPRO/UTFPR foram utilizados para coletar as informações iniciais a fim de planejar as medições que seriam realizadas. Os projetos foram fornecidos em mídia digital, arquivos do *software* AutoCAD, fato que facilitou as anotações de pesquisa e a compatibilização dos desenhos.

A norma define que os pontos de medição da iluminância devem ser os mesmos utilizados no projeto e que as medições realizadas não poderão ser inferiores aos valores calculados para o mesmo ponto. Porém, os projetos de instalações elétricas das bibliotecas não possuem os memoriais de cálculo luminotécnico. Desta forma, a malha de pontos de medição adotada foi calculada novamente.

O anexo B da NBR ISO/CIE 8995-1/2013 informa como deve ser criada a malha de cálculo. Recomenda-se que a malha não exceda o tamanho da obtido pela equação:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

p é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m);

Para o cálculo das malhas de medição de iluminância das bibliotecas foi utilizada a fórmula proposta pela norma para a maior distância da área de análise se esta possuir uma proporção de comprimento *versus* largura entre 0,5 e 2. Para

proporções diferentes destas, o tamanho da malha deve ser calculado pela menor distância da área.

Após da definição do tamanho da malha, deve-se calcular o número de pontos em cada direção da malha de tal forma que o tamanho da malha apresente uma relação bem próxima de um quadrado. Nos casos em que a área de leitura tenha um formato irregular, diferente de um retângulo, o tamanho da malha foi determinado de forma análoga através de um retângulo adequado circunscrito e os pontos incrementados de forma a contemplar toda a superfície a ser medida.

Em vários casos, o número de pontos de medição da iluminância não é regular em toda área de leitura da biblioteca devido à característica do *layout* de cada biblioteca. Por exemplo, a biblioteca do câmpus Campo Mourão possui 17,00m de largura e 24,70m de comprimento. O tamanho da malha calculado pelo comprimento é de 1,88m, se calculado pela largura seria de 1,45m. Neste caso optou-se por uma malha de 1,42m por 1,42m o que resultou em 12 pontos de medição na direção de sua largura e 18 pontos de medição na direção de seu comprimento. A Figura 18 representa a malha calculada na situação do *layout* atual da biblioteca, os pontos vermelhos são onde os valores da iluminância foram aferidas, na parte superior e esquerda estão descritas as cotas em centímetro dos pontos de medição e juntamente com a malha de pontos a identificação do ponto. Como esta metodologia, os pontos podem ser rastreados e refeita leitura caso se detecta alguma dúvida. As áreas de estudo individual, salas de estudo coletivo e a área de leitura foram todas classificadas como área de leitura da biblioteca. Dessa forma, para a análise da iluminância, considera-se como uma única área de trabalho.

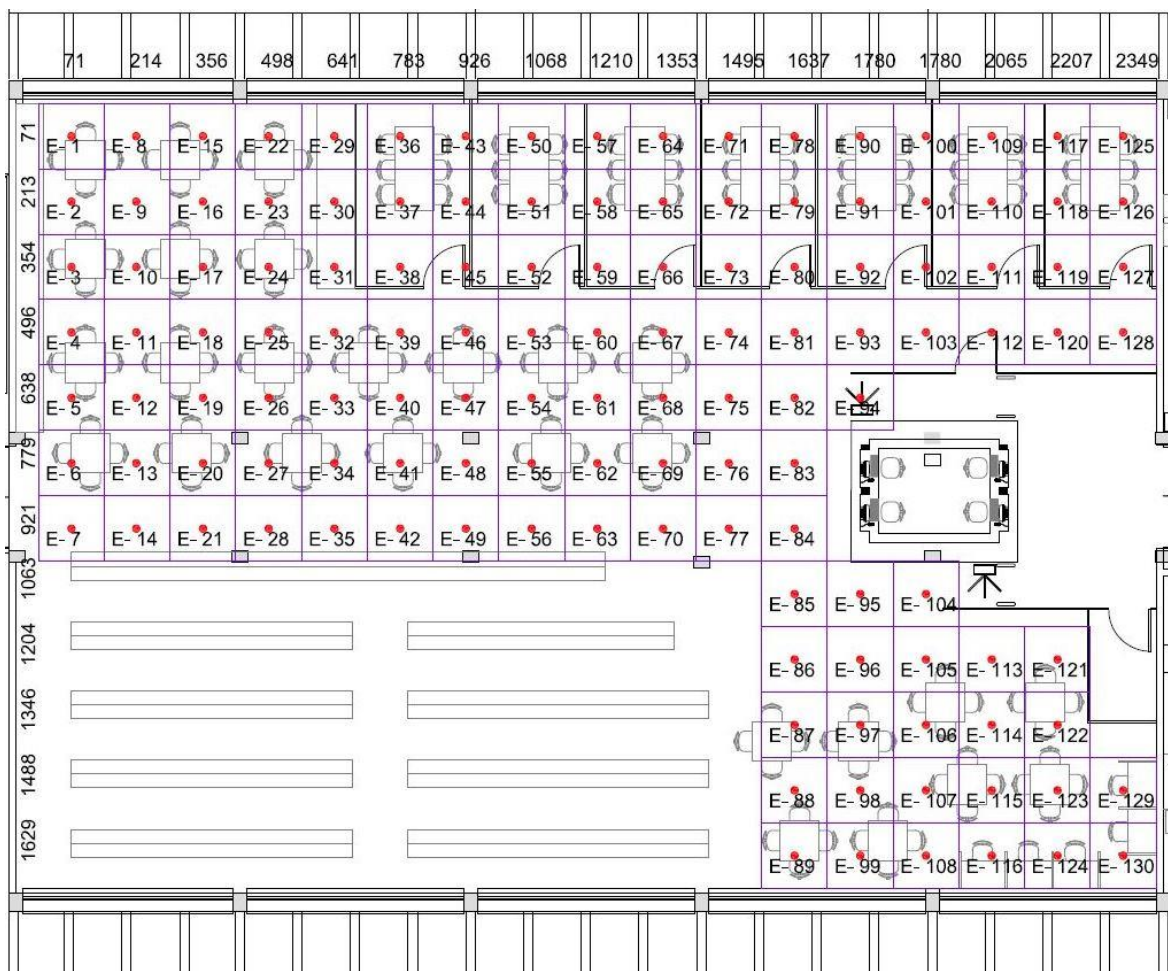


Figura 18 – Malha de medição de iluminância da biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria

3.2.3 Malha de cálculo para a iluminância mantida na área do acervo

A norma define que as superfícies verticais tem a área de trabalho iniciando a 0,5m do piso até a altura de 2,0m do piso. Nesta faixa da área de trabalho definiu-se que a medição da iluminância seria feita em dois níveis dentro da área de trabalho, o primeiro a 0,875m e o segundo a 1,625m de altura com relação ao nível do piso. A distância horizontal entre cada ponto de medição foi estabelecida entre 1,5m a 2,0m conforme o arranjo das estantes e o número de módulos, quanto maior for a fileira da estante, mas afastados podem ser os pontos de medição.

O exemplo da Figura 19 mostra a marcação dos pontos em uma fileira de 5 estantes perfiladas.

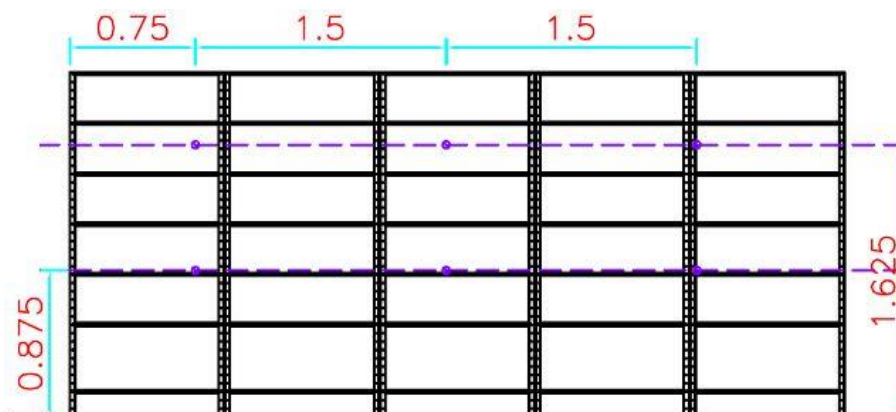


Figura 19 – Malha de medição vertical
Fonte: Autoria própria

3.2.4 Medição das iluminâncias

Os locais de cada medição de iluminâncias devem estar de acordo com os pontos definidos nas malhas de cálculo. Alguns cuidados foram observados para que as medições fossem fielmente transcritas para uma planilha de medições, como por exemplo:

- Durante a medição, foram utilizadas roupas escuras para não ocorrer reflexão que interferisse no medidor;
- Todas as medições foram realizadas após o pôr do Sol, quando a iluminação natural não possa interferir;
- O processo de leitura do luxímetro foi realizado de forma não causar sombreamento no seu sensor;
- Todas as luminárias foram ligadas pelo menos 10 minutos antes da primeira medição, garantindo assim um fluxo luminoso pleno das lâmpadas fluorescentes.

Todos os pontos da malha de cálculo foram marcados com uma fita crepe colados no piso e nas áreas das estantes. A marcação foi realizada nas prateleiras. Conforme mostrado na Figura 18 anteriormente, cada ponto recebe uma numeração tanto no desenho do ambiente quanto na planilha de cálculo. A Figura 20 mostra a marcação realizada na biblioteca do câmpus Cornélio Procópio, cuja arquitetura apresenta a maior complexidade de todas as bibliotecas estudadas. Suas paredes externas são curvas mescladas com paredes internas retas. Os pontos que coincidem com elementos estruturais, paredes de alvenaria ou divisórias não foram

marcados, embora na planilha de cálculo permanece a sua locação e no espaço reservado para a anotação do valor medido ficou em branco.



Figura 20 – Fotografia – marcação dos pontos de medição
Fonte: Autoria própria

A altura do plano de trabalho padronizado em todas as bibliotecas é de 80cm em relação ao piso. Para garantir essa linearidade no plano de trabalho, optou-se pelo uso de um tripé utilizado em equipamentos fotográficos para servir de suporte do luxímetro. O tripé tem regulagem de altura, rotação e ajuste de nível, como mostra a Figura 21. O sensor do luxímetro foi fixado com fita adesiva na parte superior, a altura aferida com uma trena metálica e o corpo fixado em uma das pernas.



Figura 21 – Fotografia – tripé para suporte do luxímetro
Fonte: Autoria própria

Com o intuito de averiguar as condições de ofuscamento e o índice de reprodução de cores do sistema de iluminação, foram anotados na ficha de medições o tipo de lâmpada utilizada no ambiente, a altura de montagem das luminárias e se as luminárias são propícias a apresentar desconforto por ofuscamento. Com essas informações é possível localizar os catálogos técnicos para consultar os índices de reprodução de cores das lâmpadas, da mesma forma que em luminárias, pode-se consultar a curva fotométrica para avaliação do índice de ofuscamento.

A ficha de medição preenchida durante a visita ao local é mostrada na Tabela 5 de forma resumida.

Tabela 6 – Tabela de medição de dados

Levantamentos de dados							
Biblioteca - Câmpus Cornelio Procópio				Área 1		Leitura	
Largura (m)		7,86		Comprimento (m)		12,64	
Núm. de pontos na largura		7		Núm. de pontos no comp.		11	
Largura da malha (m)		1,122857		Compr. da malha (m)		1,149091	
Tamanho da malha (m)		1,177926		Número total de pontos		77	
Iluminação média (lux)		373,20		Pé direito (m)		3,2	
Luminária propicia ofusmaneto		Sim		Altura da luminária (m)		3,1	
Ponto	E (lux)	Ponto	E (lux)	Ponto	E (lux)	Ponto	E (lux)
E-1	327	E-46	446	E-91	376		
E-2	367	E-47	411	E-92	354		
E-3	342	E-48	393	E-93	352		
E-4	360	E-49	378	E-94	338		
E-5	336	E-50	377	E-95	331		
E-6	337	E-51	368	E-96	351		
E-7	340	E-52	425	E-97	383		
E-8	343	E-53	395	E-98	372		

Fonte: Autoria própria

3.2.5 Tratamento de dados medidos

Após a coleta de dados ser realizada, as informações foram passadas para uma planilha eletrônica. A planilha eletrônica calcula a média da iluminâncias (\bar{E}) através da média aritmética de todos os pontos medidos. Duas médias são calculadas neste procedimento, uma representa a iluminância média da área de acervo e a outra da área de leitura.

Na planilha eletrônica foram inseridos os parâmetros de iluminância mantida de 500 lux para a área de leitura e 200 lux para a área de acervo em conformidade com o descrito em norma. Da mesma forma que o critério de análise da uniformidade das iluminâncias medidas, cujo valor admissível é de até 60% da iluminância média do ambiente.

Os dados da planilha foram convertidos em gráficos, sobre os quais se pode facilmente constatar as condições de iluminância encontradas nas bibliotecas. Os Gráficos 2 e 3 mostram respectivamente as leituras realizadas nas áreas de leitura e acervo da biblioteca do câmpus Francisco Beltrão. No eixo x dos gráficos são

ordenados cada ponto de leitura, o eixo y é graduado com valores de iluminâncias, em lux. Os dados representados nos gráficos são:

- $\blacklozenge E$ (lux) – Valor medido da iluminância em cada ponto da malha;
- $-\bar{E}$ (lux) – Valor médio da iluminância da área;
- $-\bar{E}$ 60% (lux) – Valor limite de 60% da iluminância média recomendado para manter a uniformidade da iluminação;
- $-\bar{E}$ n. (lux) – Valor da iluminância prescrito pela norma para área.

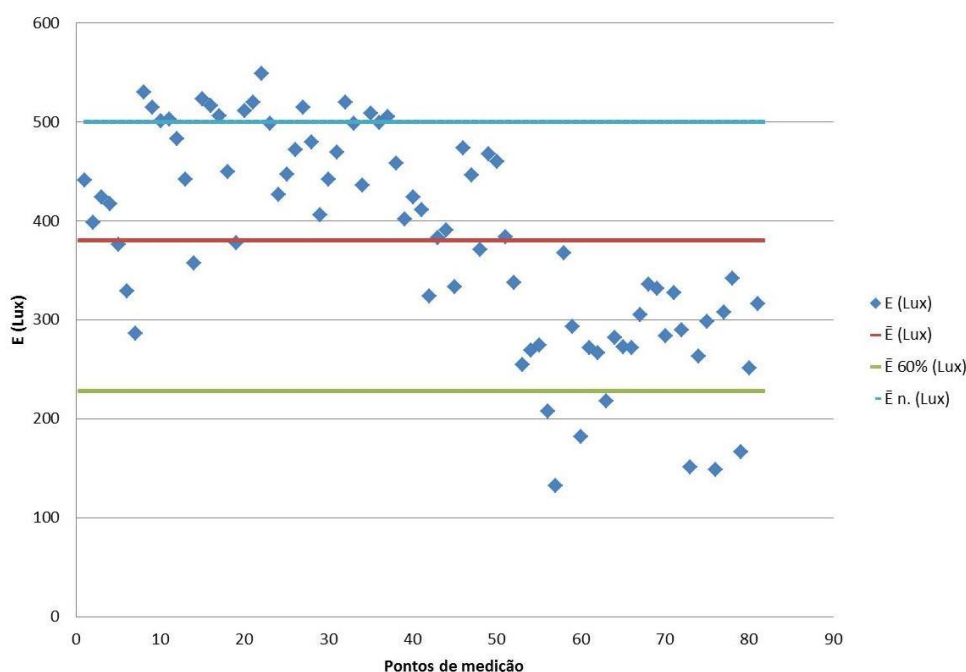


Gráfico 2 – Iluminâncias da área de leitura da biblioteca câmpus Francisco Beltrão
Fonte: Aatoria própria

No Gráfico 2, constata-se que apesar de existirem pontos medidos acima da iluminância mantida definida pela norma, a média calculada não chega ao nível solicitado. Da mesma forma com relação à uniformidade da iluminação, alguns pontos estão abaixo do valor limite recomendado.

Já no Gráfico 3, a iluminância média calculada chegou a um nível satisfatório para a área de acervo, entretanto diversos pontos obtiveram valores de iluminância inferiores ao recomendado para garantir a uniformidade. A distribuição da iluminância nos ambientes é representado na Figura 22, através de curvas isolux. Nesta figura pode-se observar visualmente as áreas de maior iluminação e áreas de sombreamento existente no acervo.

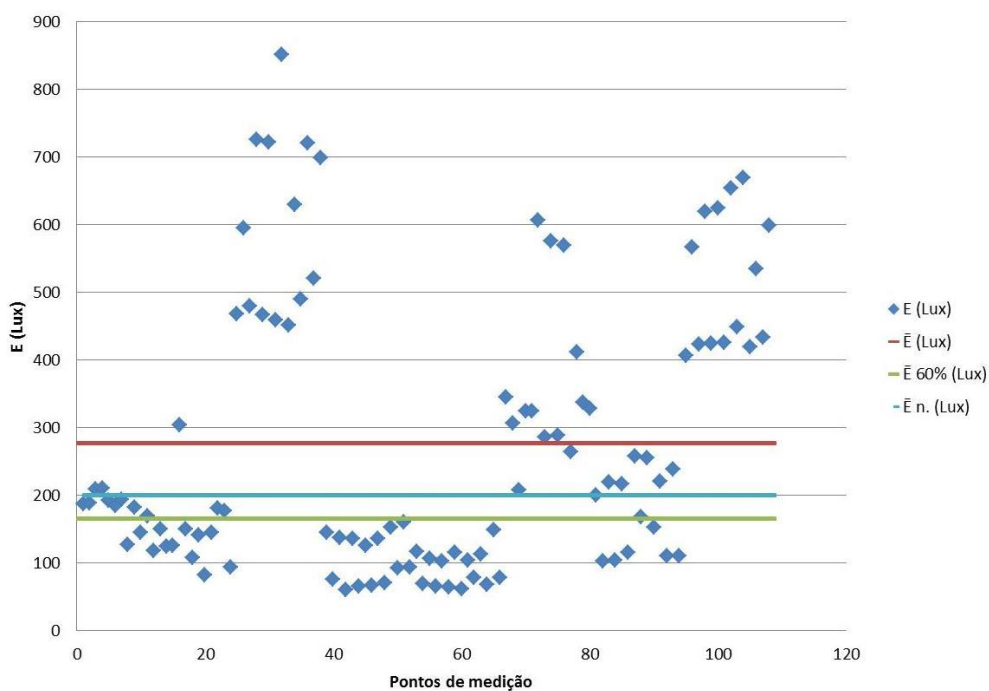


Gráfico 3 – Iluminâncias da área de acervo da biblioteca câmpus Francisco Beltrão
 Fonte: Autoria própria

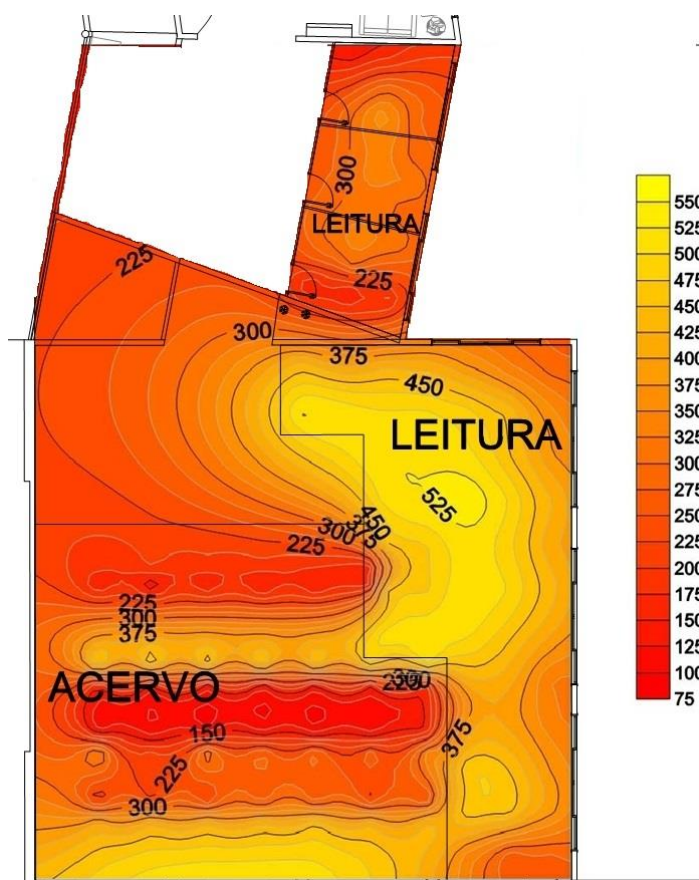


Figura 22 – Curva isolux da biblioteca de Francisco Beltrão
 Fonte: Autoria própria

3.2.6 Parâmetros de avaliação da iluminação – RTQ-C

A avaliação do sistema de iluminação pelo RTQ-C representa 30% na avaliação global da edificação. A envoltória representa 30% e complementando o cálculo da avaliação, o sistema de condicionamento de ar representa 40%. Os resultados das avaliações são utilizados para classificação da edificação em níveis de eficiência energética que vão desde nível A (mais eficiente) a nível E (menos eficiente) previstos na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

A avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação, pelo RTQ-C, pode ser realizada por dois métodos, o método das áreas ou o método das atividades. Para este estudo, o método escolhido foi o método das áreas, que avalia de forma conjunta os ambientes da edificação.

Os parâmetros para a avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação estão descritos na Tabela 7. Conforme orientação da Instrução Normativa 2/2014 (MPOG/SLTI, 2014), os projetos de edificações com área construída acima de 500 m² devem possuir nível A de eficiência pelo ENCE. Nos casos de *retrofit*, a orientação é de níveis parciais A para os sistemas de iluminação e de acondicionamento de ar, salvo inviabilidade técnica ou econômica devidamente justificados.

Tabela 7 – Critérios de classificação dos níveis de eficiência energética

Níveis de eficiência energética				
Itens da portaria do INMETRO	Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Pré-requisitos para classificação				
Divisão dos circuitos	sim	sim	sim	-
Contribuição da luz natural	sim	sim	-	-
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	-	-	-

Fonte: Adaptado de INMETRO (2010)

A determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação é calculada através de um número representativo do sistema de iluminação, chamado de

EqNumDPI. Para cada nível de eficiência há uma relação numérica equivalente, conforme tabela 8:

Tabela 8 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: INMETRO (2010)

A avaliação do sistema pelo método das áreas consiste na comparação entre a soma das potências de iluminação da edificação e a multiplicação da área da edificação pelas densidades de potência de iluminação para cada nível. Porém, no caso da edificação possuir ambientes com funções diferentes, o limite de potência de iluminação para cada nível deve ser calculado através da soma dos limites de potência de cada ambiente, por seguinte comparar com a soma das potências de iluminação da edificação.

A classificação final da eficiência energética do sistema de iluminação dependerá dos pré-requisitos serem atendidos para cada ambiente. O cálculo do EqNumDPI é a média ponderada das potências de iluminação considerando o EqNum de cada ambiente. A Tabela 9 descreve a forma de cálculo para o caso da biblioteca de Campo Mourão.

Tabela 9 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Campo Mourão	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	112	279	390
Potência de iluminação por ambientes (W)	1152	3520	4672
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1417	3538	4955
Nível B por ambiente	1629	4067	5696
Nível C por ambiente	1841	4596	6437
Nível D por ambiente	2053	5126	7178
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	não	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
EqNum calculado considerando pré-			3,0
Nível de eficiência energética do sistema de			Nível C

Fonte: Autoria própria

O cálculo do EqNumDPI por ambiente ficou em 5, classificando a edificação como nível A, entretanto quando se aplica os pré-requisitos, os ambientes de acervo e leitura obtiveram o equivalente 3. Calculando-se a média ponderada entre as potências de iluminação que possuem EqNumDPI igual a 3 e as que possuem EqNumDPI igual a 5, resultou no EqNumDPI final de 3, que representa eficiência energética do sistema de iluminação nível C.

Para os casos em que o valor de EqNumDPI calculado for fracionado, deve-se adotar os critérios de classificação conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Critérios de classificação geral através da pontuação do EqNumDPI

CLASSIFICAÇÃO FINAL	PT
A	≥4,5 a 5
B	≥3,5 a <4,5
C	≥2,5 a <3,5
D	≥1,5 a <2,5
E	<1,5

Fonte: INMETRO (2010)

3.3 ILUMINAÇÃO NATURAL

Para esta etapa da pesquisa, os dados de projeto das 14 bibliotecas foram reunidos para que se pudesse criar a maquete eletrônica. Os arquivos de projeto fornecidos pela DIRPRO/UTFPR em formato do *software* AutoCAD foram separados por câmpus e passaram por uma seleção quanto a sua finalidade.

3.3.1 Plano diretor

Todos os câmpus da UTFPR possuem plano diretor onde constam as edificações existentes e a previsão de futuras construções. Durante a análise da iluminação natural nas edificações de bibliotecas, precisa-se saber com precisão as edificações e estruturas que estão alocadas nas proximidades da edificação de estudo. No plano diretor do câmpus Guarapuava, por exemplo, a área em vermelho é a edificação da biblioteca e pode ser observado na Figura 23, que existem 5 edificações no entorno da biblioteca. As distâncias são anotadas para que possam ser aferidas na maquete. Na mesma planta é verificada também a posição do norte geográfico e o ângulo deve ser anotado para orientação correta da maquete, no caso da biblioteca de Guarapuava, o norte fica a 45°.



Figura 23 – Plano diretor do câmpus Guarapuava – imagem parcial
Fonte: UTFPR (2014)

Para complementar as informações da localização da edificação, as coordenadas geográficas de todas as bibliotecas foram consultadas através do sistema Google Maps. A Figura 24 mostra a consulta feita para a biblioteca do câmpus Guarapuava. As coordenadas mostradas pelo Google Maps por padrão no sistema de graus decimais (DD - *Decimal Degrees*), mas pode ser visualizado no sistema graus, minutos e segundos (DMS - *Degrees Minutes Seconds*). Ambos os sistemas são utilizados, pois o *software* Google Sketchup utiliza o sistema DD e o *software* DLN utiliza o sistema DMS.

As coordenadas geográficas da biblioteca de Guarapuava são:

Latitude $-25,350748^{\circ}$ e Longitude $-51,479326^{\circ}$ ou

Latitude $25^{\circ} 21' 2,79''$ S e Longitude $51^{\circ} 28' 45,59''$ W



Figura 24 – Coordenadas geográficas da biblioteca do câmpus Guarapuava
Fonte: Google Maps (2014)

3.3.2 Planialtimetria

Em virtude da distância que afasta uma edificação de outra e das alturas que estas alcançam, o projeto de planialtimetria foi consultado para que os níveis de cada construção fossem averiguados, pois podem ocasionar interferências na iluminação natural da biblioteca. Parte da planta de levantamento planialtimétrico do câmpus Guarapuava é descrita na Figura 25. Nota-se que há um grande desnível entre o início do terreno até a sua parte mais baixa, essa situação pode prejudicar a utilização da luz natural em algumas regiões do câmpus.

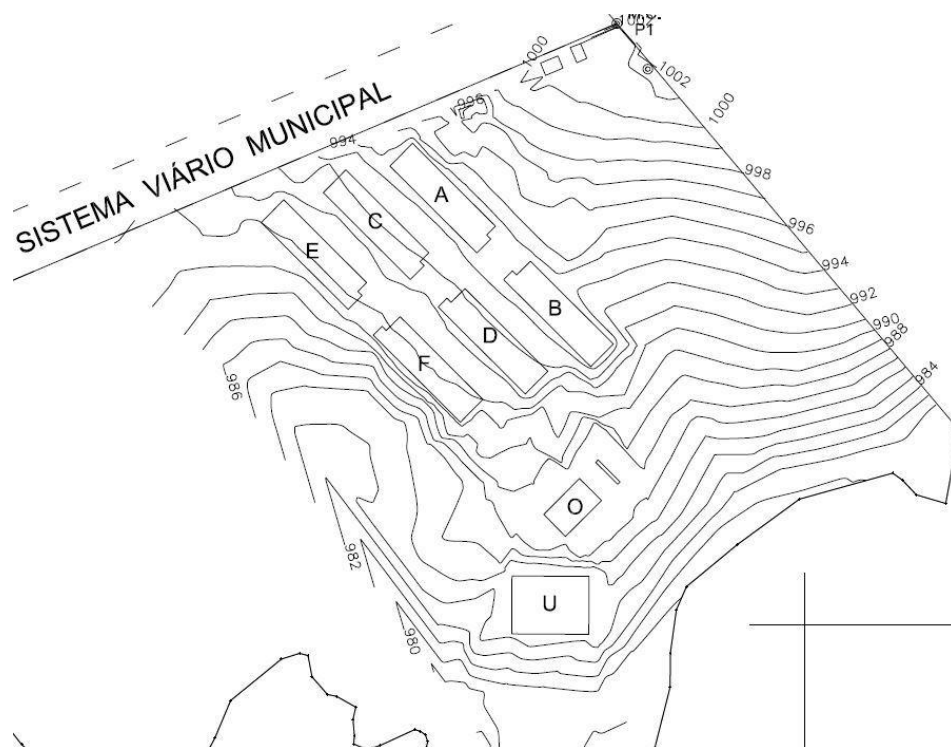


Figura 25 – Planialtimetria do câmpus Guarapuava
Fonte: UTFPR (2013)

3.3.3 Projeto Arquitetônico

O início do processo de modelagem da maquete eletrônica começa nesta fase. Os projetos arquitetônicos possuem muitas informações que para a execução de uma maquete não são relevantes, assim os projetos foram selecionados e mesclados em um único arquivo no formato DWG. As pranchas utilizadas para fornecer dados para a maquete são:

- Projeto executivo
- *Layout*
- Cortes
- Elevações

Os dados do projeto executivo são verificados para a definição dos elementos estruturais na maquete, onde todas as dimensões necessárias para a delimitação das paredes e elementos estruturais estão disponíveis.

A prancha de *layout* apresenta informações complementares sobre o uso dos ambientes, a Figura 26 mostra como será utilizada a área reservada para a biblioteca na edificação. Muito embora, essa previsão pode ser alterada durante a

construção ou a implantação da biblioteca. No caso da biblioteca de Guarapuava foi constatado, quando da visita ao local, que a ocupação interna alterou. Essas alterações foram executadas após a construção da edificação, o que pode ter comprometido tanto o desempenho da iluminação artificial quanto a iluminação natural.

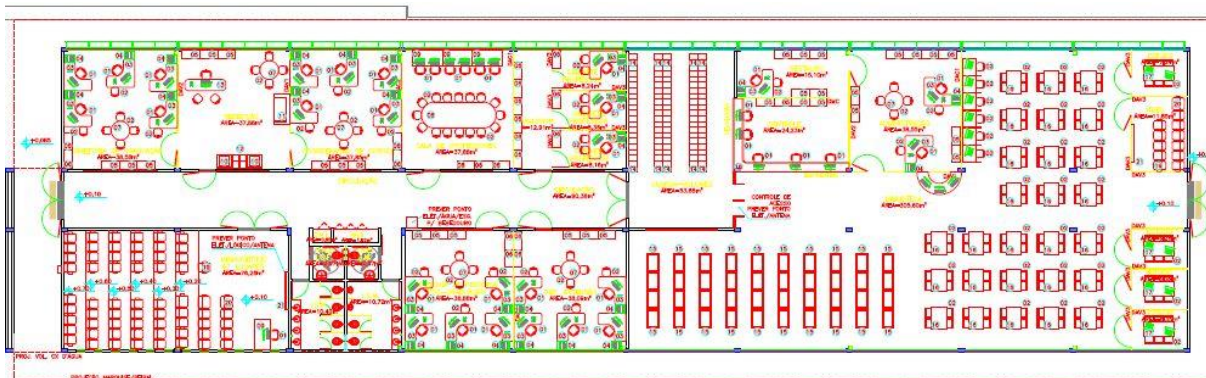


Figura 26 – Layout da biblioteca de Guarapuava
Fonte: UTFPR (2013)

As pranchas de corte e fachadas são importantes, pois possuem as dimensões dos níveis, alturas e pé direito fundamentais para a volumetria da maquete eletrônica. As pranchas de corte, fachadas e o projeto executivo das edificações adjacentes foram consultados para criar o volume dessas edificações.

As pranchas das fachadas da edificação foram consultadas para verificar a posição das janelas bem como os elementos externos que podem influenciar na iluminação natural como *brises*, *marqueses*, *varandas* e outros anteparos.

As janelas das edificações da UTFPR são feitas sob medida, as espessuras das esquadrias e as áreas de vidro são atributos importantes para a análise da luz natural, Assim sendo, juntamente com o projeto executivo, algumas pranchas de detalhamento de janelas foram consultadas, conforme demonstrado na Figura 27.

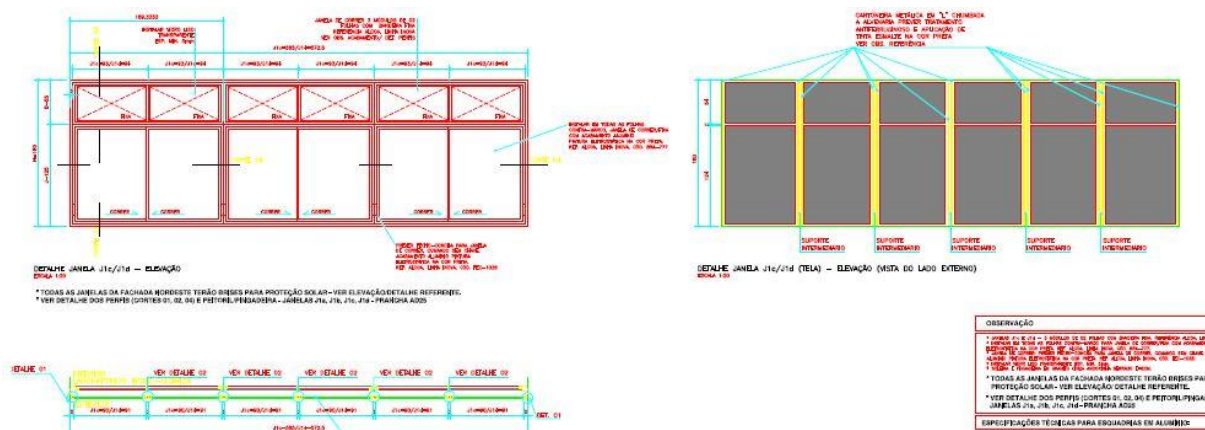


Figura 27 – Janelas da biblioteca de Guarapuava
Fonte: UTFPR (2013)

3.3.4 Maquete eletrônica

Com todas as informações em mãos, passou-se para a etapa da construção das maquetes eletrônicas. O *software* escolhido para criar os modelos foi o Google Sketchup, versão 8.0, em inglês.

A modelagem 3D dos ambientes das bibliotecas feita através do *software* Google Sketchup foi baseada nas medidas das plantas baixas, cortes e elevações que compõem o projeto arquitetônico executivo.

Além do projeto da edificação, o modelo 3D deve prever a implantação dos edifícios do entorno ao objeto de estudo para que sejam considerados na análise suas influências de sombreamento. A maior parte das informações sobre a orientação das fachadas e edificações vizinhas são consultadas nos planos diretores de cada câmpus.

A dificuldade maior sobre a aquisição dos dados para a modelagem são os níveis das edificações vizinhas, pois além da altura da edificação, deve-se considerar qual a diferença de altitude (cota do terreno) entre a biblioteca e as edificações vizinhas. Nem todos os câmpus possuem um projeto planialtimétrico do terreno. Nestes casos, para se determinar a diferença de nível entre as edificações foi adotado o método do nível de mangueira, onde se utiliza dois prumos de centro, duas fitas métricas de bambu, mangueira transparente e água. Este método é utilizado para distâncias até 10 metros e desníveis de até 2 metros.

Um dos primeiros procedimentos a serem executados é configurar a localização geográfica que a edificação possui, como mostrado no exemplo da Figura 28. As informações regionais e as coordenadas geográficas foram inseridas manualmente, mas podem ser importadas do *software* Google Earth.

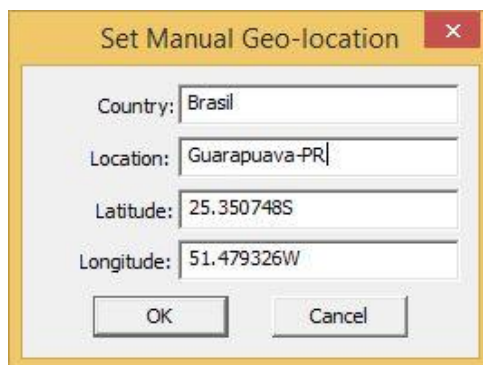


Figura 28 – Tela de configuração da localização da maquete
Fonte: Google Sketchup 8.0

O processo de modelagem gerou uma demanda de tempo relativamente alta, cerca de 4 meses, pois foram criados 14 modelos de bibliotecas, após a conclusão. Mesmo com a finalização desta etapa, os modelos passaram por uma revisão em virtude de compatibilizações e alterações construtivas que foram constatadas nas visitas realizadas em cada edificação. A Figura 29 mostra a situação final do modelo da biblioteca de Guarapuava após as revisões. Para melhor visualização, a cobertura e a laje superior foram omitidas.



Figura 29 – Área interna da biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria

As principais alterações encontradas nas edificações foram de *layout* interno, mas em Cornélio Procópio, por exemplo, o câmpus realizou uma ampliação de aproximadamente 160,00 m² que não constavam nos arquivos disponibilizados pela DIRPRO. Para a adequação destas situações, o Departamento de Projetos e Obras – DEPRO do câmpus forneceu um arquivo de *as built* da reforma para que fosse atualizado no modelo.

A fase final desta etapa foi a inclusão das informações topográficas e construções adjacentes. As informações dos levantamentos de planialtimetria, o plano diretor do câmpus, juntamente com os projetos das edificações adjacentes, resultam em uma maquete similar à Figura 30, do câmpus de Guarapuava.

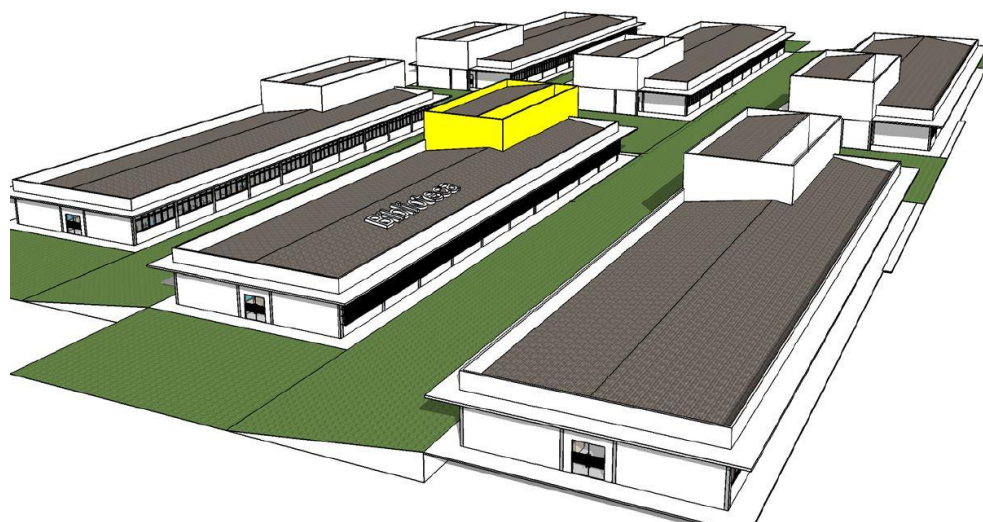


Figura 30 – Área externa da biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria

No câmpus de Guarapuava as edificações no entorno da biblioteca possuem a geometria similares, dessa forma pode-se aproveitar a mesma edificação para representar as demais, entretanto, essa condição não ocorre em outros câmpus da UTFPR. Para estes casos, foram criados somente os volumes das edificações, que é o suficiente para que seja verificada a questão da obstrução da luz solar direta no interior das bibliotecas.

3.3.5 Dados das maquetes

Devido à grande quantidade de informações geradas até a fase de confecção das maquetes eletrônicas, foi necessário compilar as informações das bibliotecas para uso na fase das análises de resultados. As informações das

orientações de cada fachada, as áreas de vidro, áreas de fachada, áreas de piso foram concentradas numa planilha de Excel, conforme mostrado nas Tabelas 11, 12 e 13. As coordenadas geográficas dos locais das bibliotecas foram registradas nesta tabela para que no momento da consulta, todas as informações necessárias estejam concentradas numa única planilha.

Tabela 11 – Tabela de dados de fachadas – Apucarana, Campo Mourão, Curitiba sede Centro e Curitiba sede Ecoville

Fachada das Bibliotecas						
Descrição		Bibliotecas				
		Apucarana	Campo Mourão	Cornelio Procópio	Curitiba - Centro	Curitiba - Ecoville
Latitude		23° 33' 2" S	24° 3' 40" S	23° 11' 10" S	25° 26' 22" S	25° 26' 35" S
Longitude		51° 25' 38" W	52° 23' 8" W	50° 39' 21" W	49° 16' 8" W	49° 21' 13" W
Área de piso (m ²)		344,4	424,8	565,9	1161,0	426,3
Fachada 1	Azimute (°)	165,8	298,5	18,7	81,0	125,0
	Área (m ²)	75,2	78,6	95,6	138,3	102,3
	Área envid. (m ²)	18,2	40,7	10,5	81,0	26,0
Fachada 2	Azimute (°)	255,8	28,5	84,5	171,0	215,0
	Área (m ²)	56,4	55,0	44,2	84,1	56,9
	Área envid. (m ²)	0,0	0,0	0,0	54,6	0,0
Fachada 3	Azimute (°)	345,8	118,5	174,6	261,0	305,0
	Área (m ²)	75,2	78,6	131,2	137,9	64,2
	Área envid. (m ²)	18,2	40,7	50,6	92,1	16,8
Fachada 4	Azimute (°)	75,8	208,5	264,5	351,0	35,0
	Área (m ²)	56,4	55,0	101,2	84,5	56,9
	Área envid. (m ²)	0,0	0,0	15,4	55,9	0,0

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Tabela de dados de fachadas – Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Guarapuava e Medianeira

Fachada das Bibliotecas						
Descrição		Bibliotecas				
		Doiz Vizinhos	Francisco Beltrão	Guarapuava	Londrina	Medianeira
Latitude		25° 42' 12" S	26° 5" 0' S	25° 21' 2" S	23° 18' 26" S	25° 18' 4" S
Longitude		53° 5" 52' W	53° 5" 29' W	51° 28" 45' W	51° 6" 46' W	54° 6" 52' W
Área de piso (m ²)		299,3	267,1	467,8	391,1	382,2
Fachada 1	Azimute (°)	170,8	179,5	45,0	162,1	162,7
	Área (m ²)	105,7	50,7	105,2	86,8	113,3
	Área envid. (m ²)	54,5	13,0	37,7	21,6	72,2
Fachada 2	Azimute (°)	260,8	269,5	135,0	252,1	252,7
	Área (m ²)	56,1	50,7	57,2	56,7	49,0
	Área envid. (m ²)	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0
Fachada 3	Azimute (°)	350,8	359,5	225,0	342,1	342,7
	Área (m ²)	105,7	50,7	105,2	86,8	53,1
	Área envid. (m ²)	54,5	3,0	37,7	21,6	16,2
Fachada 4	Azimute (°)	80,8	89,4	315,0	72,1	72,7
	Área (m ²)	56,1	50,7	57,2	56,7	56,4
	Área envid. (m ²)	0,0	11,3	0,0	6,0	16,3
Fachada 5	Azimute (°)		100,0			
	Área (m ²)		28,2			
	Área envid. (m ²)		5,8			

Fonte: Autoria própria

Tabela 13 – Tabela de dados de fachadas – Pato Branco, Ponta Grossa, Santa Helena e Toledo

Fachada das Bibliotecas				
Descrição	Bibliotecas			
	Pato Branco	Ponta Grossa	Santa Helena	Toledo
Latitude	26º 11' 49' S	25º 3' 7' S	24º 50' 48' S	24º 43' 57' S
Longitude	52º 41' 20' W	50º 7' 48' W	54º 20' 32' W	53º 45' 54' W
Área de piso (m ²)	1416,9	1004,5	143,6	368,6
Fachada 1	Azimute (°)	55,5	208,4	290,9
	Área (m ²)	263,8	317,3	31,1
	Área envid. (m ²)	84,3	174,4	0,0
Fachada 2	Azimute (°)	145,5	298,4	20,9
	Área (m ²)	117,0	68,2	48,9
	Área envid. (m ²)	0,0	7,1	1,0
Fachada 3	Azimute (°)	235,5	28,4	110,9
	Área (m ²)	303,6	211,4	31,1
	Área envid. (m ²)	94,3	124,9	4,0
Fachada 4	Azimute (°)	325,5	118,4	200,9
	Área (m ²)	117,0	134,4	49,0
	Área envid. (m ²)	0,0	0,0	6,6

Fonte: Autoria própria

Todas as fachadas foram identificadas nos desenhos para que não ocorressem equívocos numa futura consulta como mostra a Figura 31.

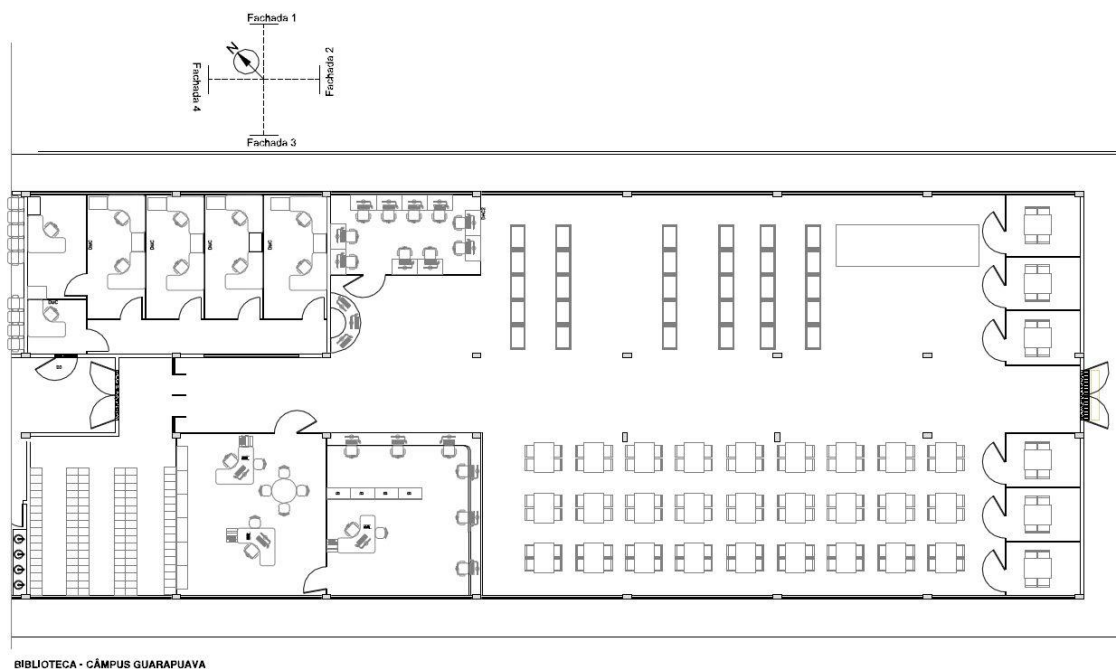


Figura 31 – Identificação das fachadas
Fonte: Autoria própria

As informações de áreas de vidro e áreas de fachada foram medidas de acordo com as dimensões internas da edificação, descontando-se as paredes externas e platibandas, pelo fato da análise considerar o potencial de entrada de luz no ambiente.

A somatória das áreas das fachadas e áreas envidraçadas foi obtida com auxílio do *software* AutoCAD. As fachadas das maquetes foram exportadas para um arquivo DWG, as áreas de vidro foram marcadas com uma hachura, bem como as áreas de fachada que fazem parte da biblioteca, conforme mostra a Figura 32. A área total da hachura pode ser consultada na função propriedades do objeto.

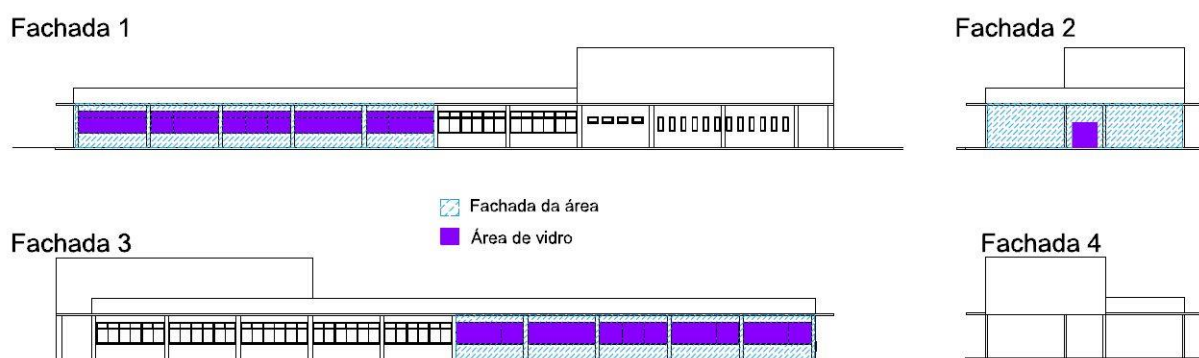


Figura 32 – Hachura das fachadas
Fonte: Autoria própria

3.3.6 Simulação da iluminação natural

No procedimento de simulação da iluminação natural das maquetes foi verificada a entrada de radiação solar direta dentro do ambiente durante o horário de atendimento das bibliotecas. Para isso definiu-se que as medições seriam executadas a cada 30 minutos, uma vez que a maioria dos *softwares* de análise da luz natural apresenta dados em períodos de 30 minutos a 1 hora de intervalo. As leituras foram feitas simulando o inverno, dia 21 de junho, e o verão, no dia 22 de dezembro. Essas configurações podem ser realizadas na função *shadow* do *software* Google Sketchup, conforme mostrado na Figura 33.

Na configuração mostrada na figura, além das informações citadas, podem ser alterados também o fuso horário e a tonalidade das áreas que recebem a iluminação do Sol bem como as superfícies que permanecem sob a sombra.

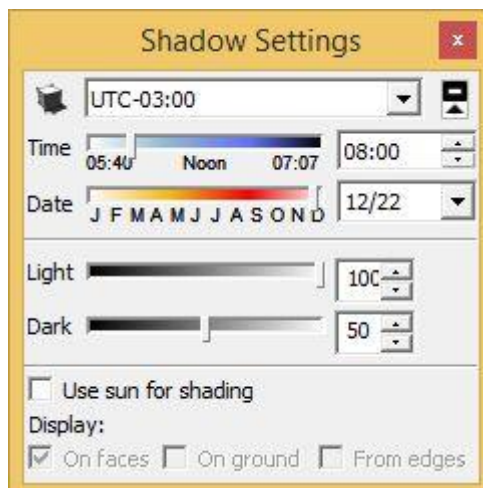


Figura 33 – Configuração do sketchup para simulação da iluminação natural
Fonte: Adaptado de Google Sketchup (2015)

As leituras foram executadas registrando a imagem do interior da biblioteca sob a incidência do sol nos horários pré-definidos com o Google Sketchup. O exemplo da Figura 34 mostra a incidência da radiação solar direta no interior da biblioteca de Apucarana às 16:00h do dia 21 de junho. As divisórias internas e outras delimitações do interior das bibliotecas foram ocultadas para que fosse possível calcular exatamente a quantidade de radiação solar direta que entra no ambiente.

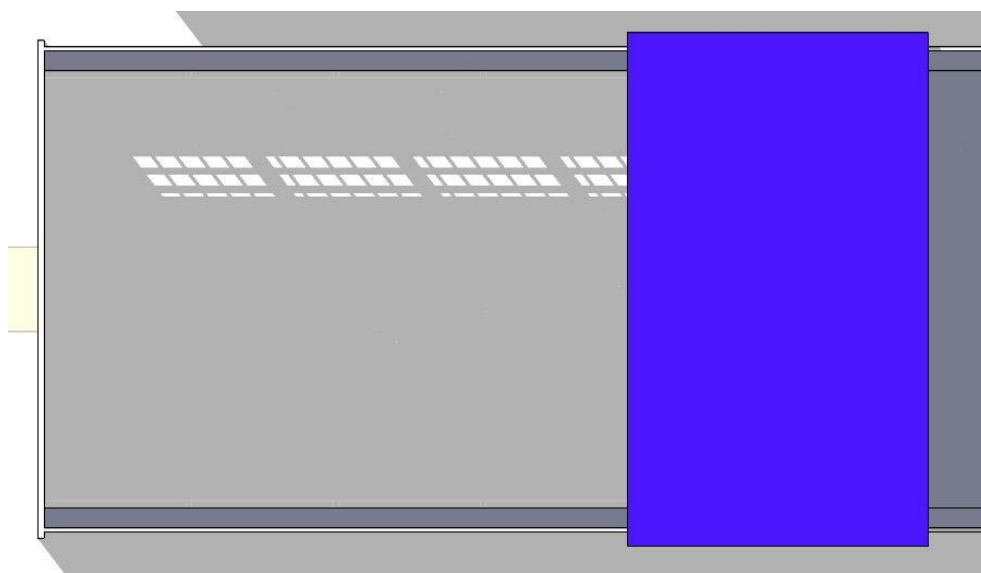


Figura 34 – Configuração do sketchup para simulação da iluminação natural
Fonte: Adaptado de Google Sketchup (2015)

O parâmetro utilizado para a verificação da radiação solar direta que entra no ambiente foi a medida da área de incidência projetada no piso dos modelos. Os

modelos foram submetidos à exposição da luz natural para o dia 21 de junho e 22 de dezembro. Todas as imagens geradas pelo *software* Google Sketchup foram importadas para o AutoCAD e tratadas para se chegar ao resultado mostrado na Figura 35.

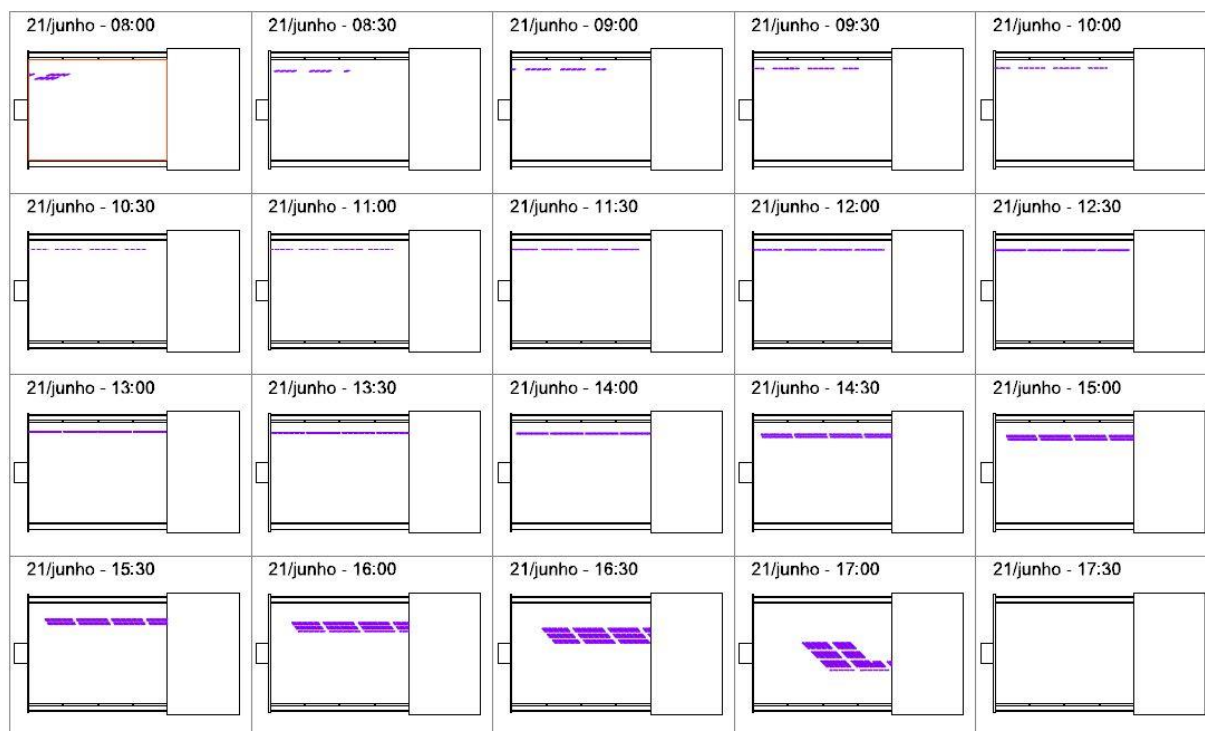


Figura 35 – Áreas de insolação no inverno – Biblioteca de Apucarana
Fonte: Autoria própria

Durante o processo de tratamento, é importante fixar o ponto de onde a imagem será gerada pelo Google Sketchup para que todas as imagens tenham a mesma escala de tamanho. Dessa forma, quando a imagem é importada para o AutoCAD a conversão de escala será a mesma para todos os horários medidos. Para que as dimensões fossem fielmente transcritos da imagem para o arquivo do AutoCAD, deve-se de antemão desenhar a edificação em escala e sobrepor as imagens importadas. Finalmente, com a imagem sobreposta ao desenho da edificação, desenharam-se todos os contornos das áreas iluminadas pela luz natural.

Após a transcrição das áreas iluminadas, a imagem importada foi excluída, permanecendo no arquivo do AutoCAD somente a representação em 2D das áreas. Diante das áreas mapeadas, calculou-se a área de sol em cada medição e foi montada a planilha de verificação representada nas Tabelas 14 e 15, na maquete de Apucarana. Os totais calculados são a soma das áreas sob a incidência de luz direta

e o total de área de piso. Já os percentuais foram calculados com relação a quanto de luz entrou na edificação, considerando a área que poderia ser iluminada durante o período de atendimento da biblioteca. As bibliotecas iniciam suas atividades às 8:00h e encerram às 22:00h, já o pôr do Sol no solstício de inverno na cidade de Apucarana é às 17:47h, portanto a porcentagem de radiação solar direta que entra no ambiente foi calculada com os dados do período das 8:00h às 17:30h, já no verão o cálculo levou em consideração o período das 8:00h às 20:00h

Tabela 14 – Dados medidos da radiação solar direta no modelo de Apucarana

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Apucarana			
Área total de piso (m ²)		344,44	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:06	17:47
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:36	20:11
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso (m ²)
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	1,12	0,00	344,44
08:30	0,87	0,00	344,44
09:00	1,04	0,00	344,44
09:30	0,85	0,00	344,44
10:00	0,49	0,00	344,44
10:30	0,31	0,00	344,44
11:00	0,32	0,00	344,44
11:30	0,71	0,00	344,44
12:00	1,46	0,00	344,44
12:30	2,51	0,00	344,44
13:00	3,14	0,00	344,44
13:30	3,24	0,00	344,44
14:00	3,32	0,00	344,44
14:30	5,05	0,00	344,44
15:00	7,92	0,00	344,44
15:30	9,11	0,00	344,44
16:00	11,94	0,00	344,44
16:30	18,22	0,00	344,44

Fonte: Autoria própria

Tabela 15 – Dados medidos da radiação solar direta no modelo de Apucarana – continuação

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Apucarana			
Área total de piso (m ²)		344,44	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:06	17:47
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:36	20:11
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso (m ²)
	21 de junho	22 de dezembro	
17:00	16,99	0,00	344,44
17:30	0,00	0,00	344,44
18:00	0,00	0,00	344,44
18:30	0,00	0,00	344,44
19:00	0,00	0,00	344,44
19:30	0,00	0,00	344,44
20:00	0,00	0,00	344,44
Totais	88,60	0	8611,00
Percentuais	1,29%	0,00%	

Fonte: Autoria própria

Os resultados das simulações indicam que no câmpus Apucarana, a biblioteca recebe em seu interior 1,29% da iluminação possível para a sua área. O Gráfico 4 mostra a evolução das áreas sob a incidência de radiação solar direta em função dos horários.

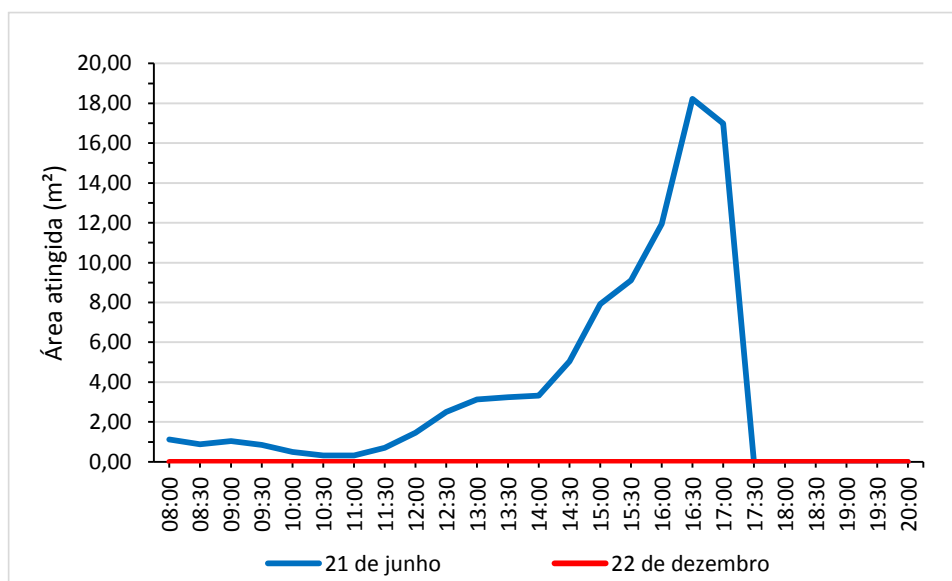


Gráfico 4 – Radiação solar direta no interior da biblioteca do câmpus Apucarana

Fonte: Autoria própria

Com base nos tratamentos dos dados nas demais bibliotecas, a Tabela 16 foi criada para concentrar as informações de porcentagem de área de piso que estão sujeitas a incidência de luz solar direta nas bibliotecas.

Tabela 16 – Dados medidos da radiação solar direta no modelo das bibliotecas

Luz direta no interior das bibliotecas		
Bibliotecas	Áreas de piso (%)	
	Inverno	Verão
Apucarana	1,29%	0,00%
Campo Mourão	0,67%	0,16%
Cornélio Procópio	0,22%	0,72%
Curitiba - Centro	6,22%	4,69%
Curitiba - Ecoville	1,76%	1,45%
Dois Vizinhos	2,50%	0,01%
Francisco Beltrão	3,03%	1,21%
Guarapuava	2,10%	2,03%
Londrina	1,09%	0,20%
Medianeira	6,58%	2,33%
Pato Branco	4,38%	1,55%
Ponta Grossa	11,20%	4,52%
Santa Helena	0,34%	0,61%
Toledo	3,62%	3,60%

Fonte: Autoria própria

Comparando todas as bibliotecas, o Gráfico 5 mostra o perfil de radiação solar direta nas bibliotecas, informações que são úteis para analisar qual a porcentagem de radiação que entra nos ambientes através das áreas envidraçadas.

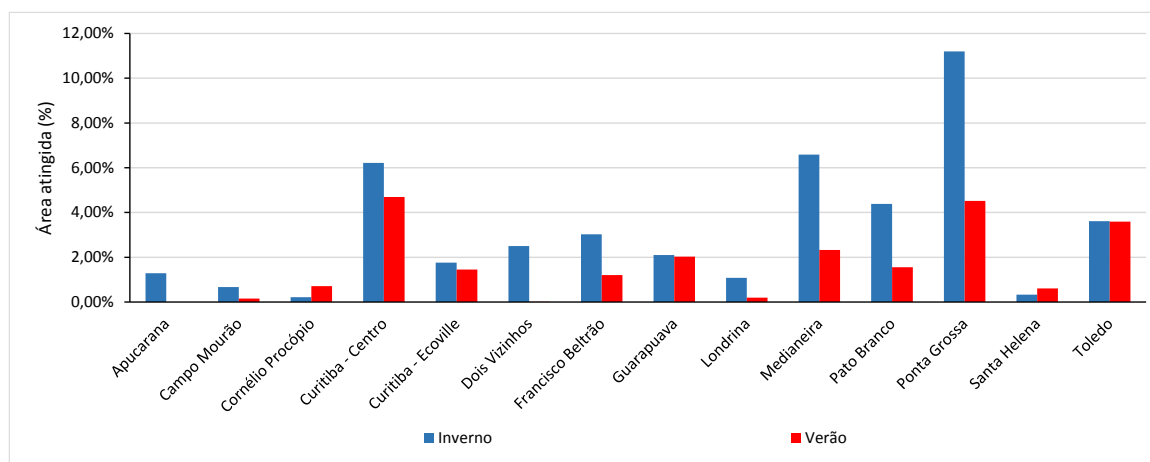


Gráfico 5 – Comparativo da radiação solar direta no interior das bibliotecas

Fonte: Autoria própria

3.3.7 Dados de disponibilidade da luz

Em paralelo com a etapa de simulação da incidência de radiação solar direta nas maquetes eletrônicas, dados sobre a disponibilidade da luz foram registrados para as mesmas situações. Os índices de iluminação natural, considerando o céu claro, nas situações de inverno e verão foram obtidas através do *software* DLN – Disponibilidade da Luz Natural versão 2.06, considerando o plano horizontal. O Gráfico 6 representa dos dados coletados para o dia 21 de junho do modelo de Apucarana. Os dados de todas as amostras foram concentrados em uma planilha para análise dos resultados. Esta informação foi utilizada para determinar os horários que a intensidade da radiação solar direta é mais intensa para que se possa evitar a exposição dos ambientes internos nestes horários.

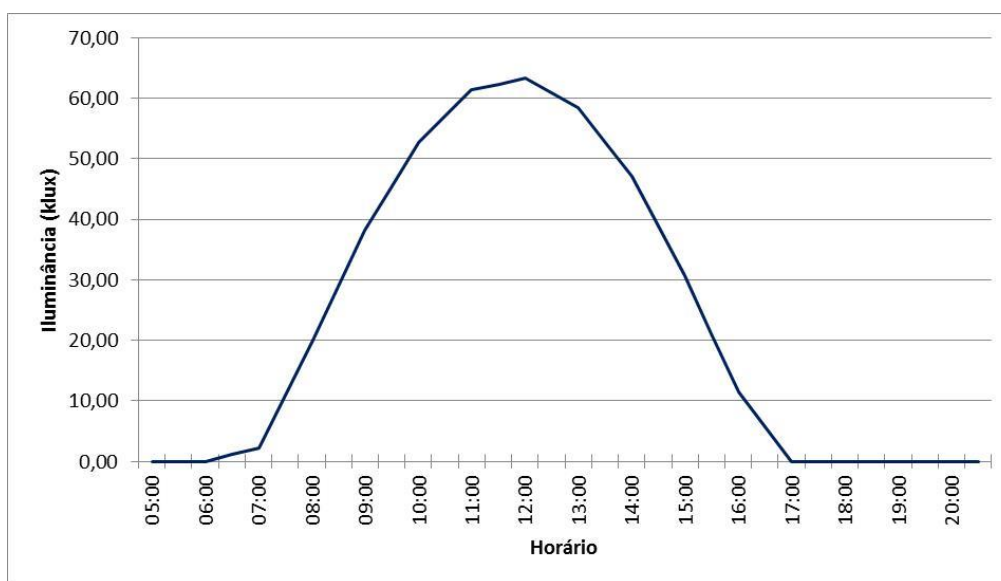


Gráfico 6 – Disponibilidade de luz no inverno para a biblioteca do câmpus Apucarana
 Fonte: Adaptado de Scarazzato (1995)

As informações sobre a radiação solar foram registradas através da consulta ao *software* Luz do Sol versão 1.1. O *software* possui vários módulos de funcionamento. Para realização desta pesquisa escolheu-se o módulo de radiação solar uma vez que as informações de energia oriunda da radiação solar direta é um fator importante para a análise do estudo. Os dados necessários para preenchimento de informações no Luz do Dia são os azimutes das fachadas, as coordenadas geográficas e a data que se quer obter as informações. O Gráfico 7

mostra as intensidades da radiação solar disponíveis para cada uma das fachadas da edificação e também na cobertura, simulando o dia 21 de junho.

Foram registrados os dados de todas as maquetes simulando as situações de inverno e verão. Nesta etapa o principal cuidado observado foi a correta inserção dos azimutes das fachadas. Qualquer desvio na orientação das fachadas acarreta em grande influência nos resultados do *software*.

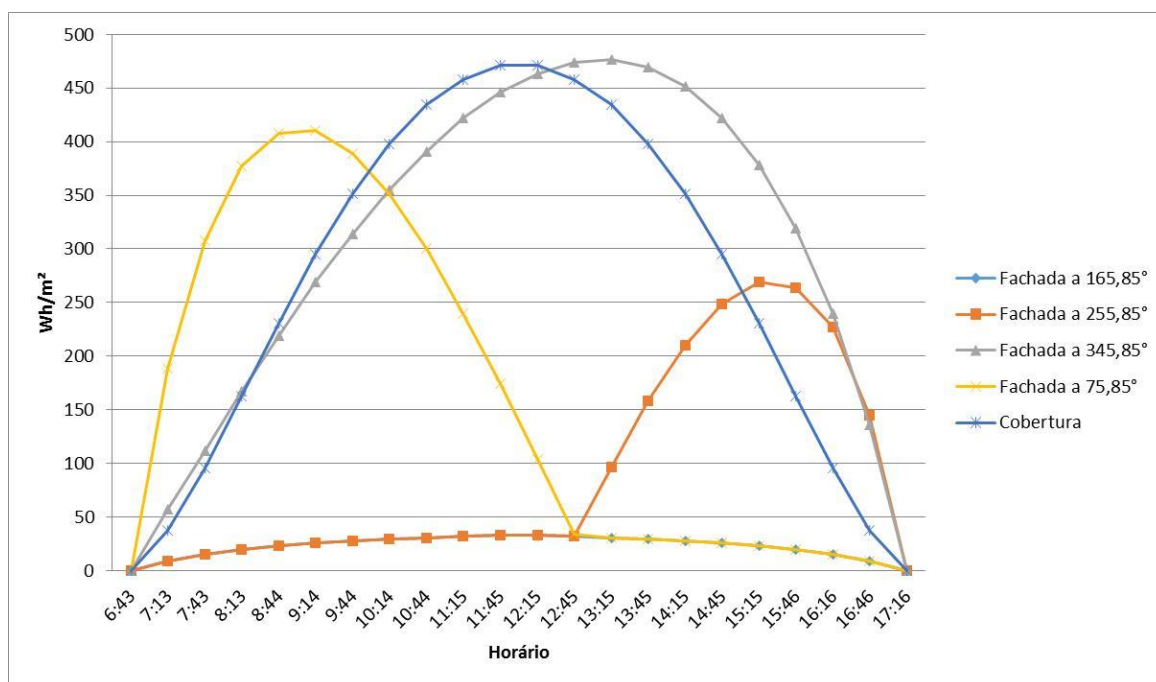


Gráfico 7 – Radiação solar no inverno para a cidade de Apucarana
Fonte: adaptado de Roriz (1995)

Os dados de disponibilidade de luz natural citados representam de forma genérica o comportamento da radiação solar durante o dia. Contudo, as informações dos modelos das bibliotecas devem ser inseridas neste contexto. Através do levantamento das áreas envidraçadas das edificações das bibliotecas e comparando com as disponibilidades de luz encontradas pelo *software*, foi elaborada uma planilha de cálculos onde os dados são compostos. A Tabela 17 representa as condições de radiação solar que potencialmente podem adentrar o ambiente da biblioteca de Londrina no inverno e no verão.

Tabela 17 – Dados de radiação solar que potencialmente podem entrar nos ambientes

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Medianeira											
Área de piso (m ²)	21 de junho					22 de dezembro					
382,24	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	
Azimute (°)	162,74	252,74	342,74	72,74		162,74	252,74	342,74	72,74		
Área envidraçada	72,23	0,00	16,21	16,34		72,23	0,00	16,21	16,34		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno					Radiação solar (Wh/m ²) - Verão					
05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06:30	-	-	-	-	-	76	5	5	89	3.511	
07:00	4	4	20	80	957	175	13	13	218	8.197	
07:30	12	12	69	239	2.938	231	19	19	312	11.045	
08:00	17	17	121	337	4.336	257	23	23	377	12.545	
08:30	21	21	173	391	5.352	261	27	27	414	13.019	
09:00	24	24	225	412	6.075	250	30	30	428	12.760	
09:30	27	27	275	407	6.524	229	33	33	422	11.963	
10:00	29	29	321	382	6.764	201	35	35	399	10.794	
10:30	30	30	363	341	6.829	170	37	37	362	9.401	
11:00	31	31	399	290	6.735	138	39	39	315	7.882	
11:30	32	32	430	229	6.510	106	40	40	258	6.271	
12:00	32	32	455	164	6.175	76	41	41	194	4.650	
12:30	32	32	472	95	5.752	52	42	46	124	3.242	
13:00	31	50	481	45	5.403	42	58	62	65	2.546	
13:30	30	98	480	30	5.243	42	113	84	42	2.514	
14:00	29	155	470	29	5.087	41	187	99	41	2.595	
14:30	27	200	446	27	4.809	40	258	108	40	2.628	
15:00	24	230	410	24	4.401	39	323	112	39	2.617	
15:30	21	239	356	21	3.809	37	380	111	37	2.542	
16:00	17	222	284	17	3.041	35	429	104	35	2.396	
16:30	12	167	188	12	2.040	33	464	91	33	2.183	
17:00	4	57	60	4	661	30	483	74	30	1.910	
17:30	-	-	-	-	-	27	479	53	27	1.610	
18:00	-	-	-	-	-	24	447	32	23	1.322	
18:30	-	-	-	-	-	27	381	19	19	1.280	
19:00	-	-	-	-	-	30	273	13	13	1.305	
19:30	-	-	-	-	-	16	114	5	5	671	
20:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					99.440	Total de radiação solar incidente (Wh)				143.397
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					260	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				375

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 17, os valores de radiação solar (Wh/m²) para cada fachada da edificação são multiplicadas pelas áreas envidraçadas expostas. Somando-se os valores de cada fachada horário definidos foi encontrada a energia que a radiação solar disponibiliza na edificação. A soma das energias calculadas a cada 30 minutos é mostrada no total de radiação solar incidente. No exemplo, a radiação total no inverno foi de 99.440 Wh e no verão 143.396Wh. Esta energia representa a

potencial radiação que pode entrar no ambiente, caso não seja instalado nenhum elemento de proteção solar externo à edificação.

A evolução da radiação solar durante o dia, representado no Gráfico 8, é importante para a averiguação dos horários mais críticos de exposição. Nos horários onde há a maior incidência de radiação solar devem ser previstos meios de controle para diminuição da radiação.



Gráfico 8 – Radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Medianeira
Fonte: Autoria própria

Para fins de comparação do nível de radiação solar que cada biblioteca está exposta, os valores totais de radiação solar foram divididos pela área (m^2) de cada biblioteca. Assim, a energia incidente na edificação, provocada pela radiação solar, pode ser comparada com as demais bibliotecas, pois se mantém a proporcionalidade com a área de cada biblioteca. O Gráfico 9 apresenta o comparativo entre as bibliotecas quanto à energia incidente por área de piso de cada biblioteca.

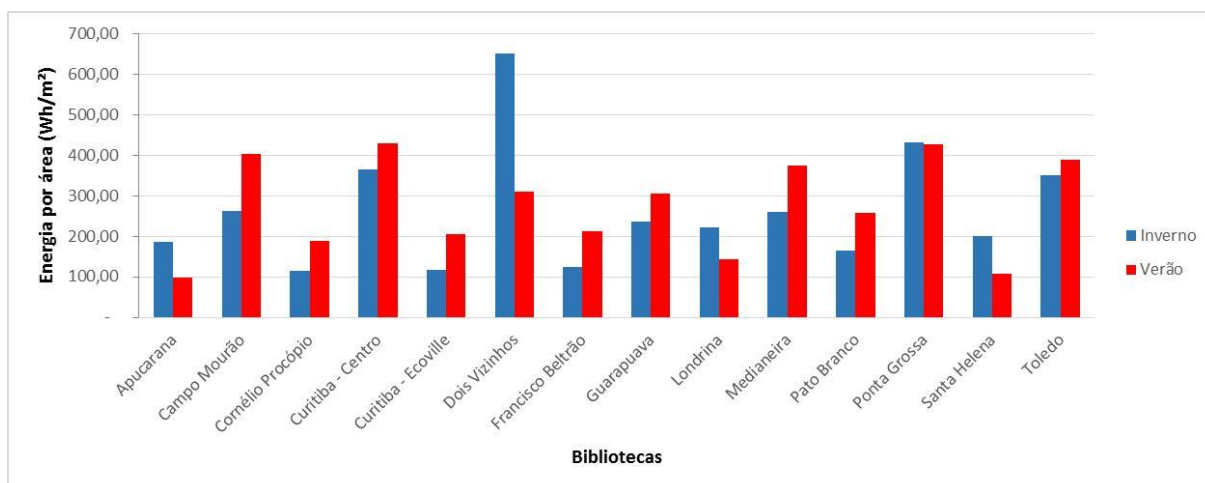


Gráfico 9 – Radiação solar incidente nas bibliotecas

Fonte: Autoria própria

Os níveis de iluminância e de energia da radiação solar apresentados aqui não levam em consideração as áreas entorno das edificações, a componente da iluminação difusa e as várias situações de céu encoberto e parcialmente encoberto. Estes fatores são importantes quando é necessário realizar uma avaliação mais precisa sobre as características da luz natural no local de uma edificação. Entretanto neste estudo, mesmo desconsiderando tais fatores, a energia da radiação solar pode ser utilizada para elencar uma classificação das edificações mais expostas, afim de determinar qual é a edificação mais suscetível aos efeitos da luz natural. Da mesma forma, a análise é feita para o azimute do Sol durante o decorrer do dia. O uso destas informações é complementar a simulação de entrada da radiação solar direta.

4 ANÁLISE DOS MODELOS

Os estudos de caso das bibliotecas foram analisados em duas áreas, uma relacionada à iluminação artificial e outra relacionada à iluminação natural.

4.1 ANALISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Os resultados das análises da iluminação artificial apresentados neste trabalho foram separados em duas partes, os resultados comparados com a NBR ISO/CIE 8995-1 e com relação ao RTQ-C.

4.1.1 Resultados da iluminação artificial com base na NBR ISO/CIE 8995-1

As leituras de iluminância registradas nos ambientes de acervo e leitura das bibliotecas analisadas demonstram resultados muito discrepantes. Os ambientes que obtiveram as piores médias de iluminância foram as áreas de acervo e leitura da biblioteca de Santa Helena, conforme ilustrado no Gráfico 10 e 11. Nos gráficos, o limite da iluminância mantida definida pela norma é representado pela linha azul. A linha vermelha representa a iluminância média calculada e a linha verde representa a o valor limite de 60% que a norma estipula para o nível de uniformidade da iluminação. Os pontos medidos estão representados pelos losangos azuis.

No Gráfico 10 é possível verificar que a iluminância média calculada foi de 121 lux, em contrapartida a norma define uma iluminância mínima de 200 lux. Analisando os pontos isolados, a maior iluminância medida foi de 303 lux e a menor de 25 lux.

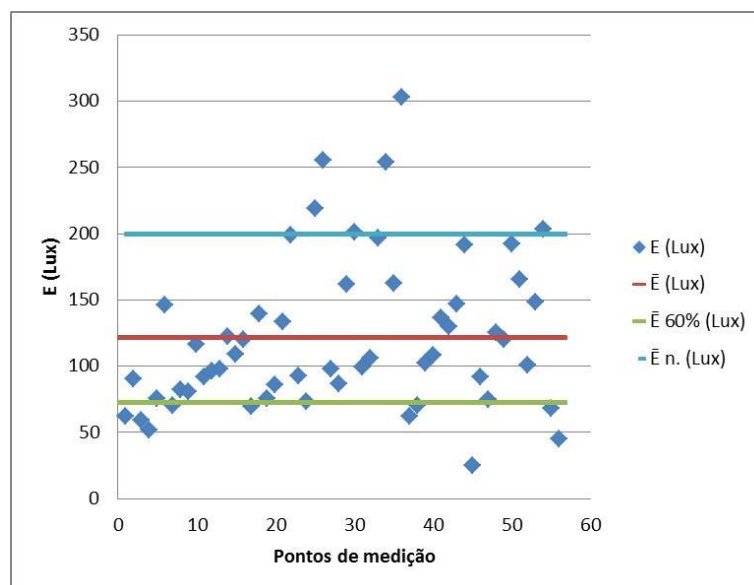


Gráfico 10 – Iluminância da área de acervo da biblioteca de Santa Helena
 Fonte: Autoria própria

No Gráfico 11 os valores medidos não variam tanto quanto os encontrados na área de acervo, todavia a média calculada foi de 163 lux, valor muito abaixo da recomendada pela norma que é de 500 lux.

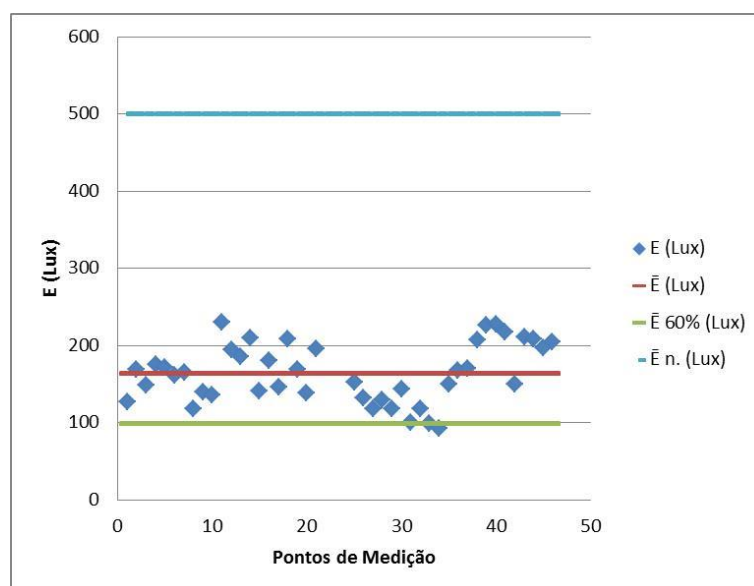


Gráfico 11 – Iluminância da área de leitura da biblioteca de Santa Helena
 Fonte: Autoria própria

A área onde a melhor média foi calculada está na biblioteca de Ponta Grossa, cuja média da iluminância calculada foi de 638 lux. Em todos os pontos medidos, os valores estão acima do limite de 60% da média, mantendo-se assim a

uniformidade dos pontos, conforme ilustrado Gráfico 12. A biblioteca do câmpus de Ponta Grossa foi a única biblioteca que apresentou valores acima dos recomendados pela norma. As demais bibliotecas analisadas apresentaram resultados muito abaixo do esperado, principalmente no quesito iluminação mantida.

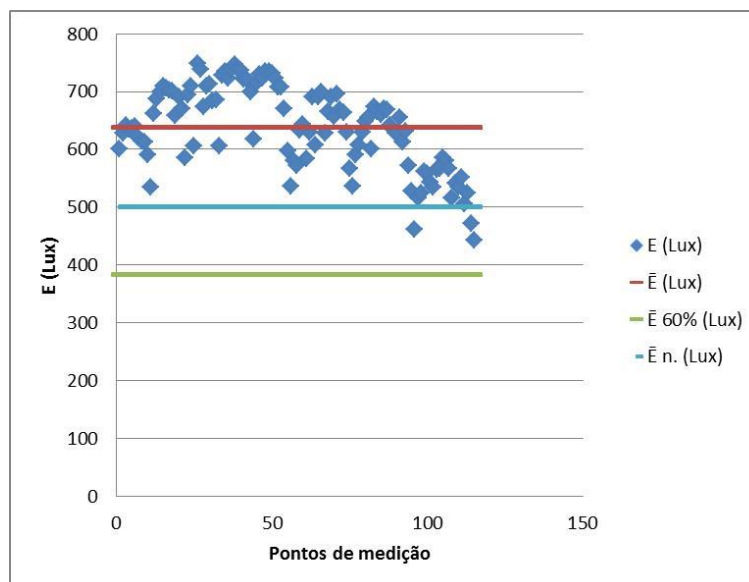


Gráfico 12 – Iluminância da área de leitura da biblioteca de Ponta Grossa
Fonte: Autoria própria

As Tabela 18 e 19 descrevem dos dados coletados e as avaliações realizadas nas quatorze bibliotecas da UTFPR.

Tabela 18 – Dados da iluminação artificial dos câmpus Apucarana, Campo Mourão, Cornélio Procópio Curitiba – Centro, Curitiba – Ecoville, Dois Vizinhos e Francisco Beltrão

Iluminação artificial da biblioteca	Apucarana		Campo Mourão		Cornélio Procópio		Curitiba - Centro		Curitiba - Ecoville		Dois Vizinhos		Francisco Beltrão	
	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura
Lâmpadas de 32W	30	44	36	110	40	0	150	162	30	86	50	84	46	50
Lâmpadas de 65W	0	0	0	0	10	62	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencia de Iluminação (W)	960	1408	1152	3520	1930	4030	4800	5184	960	2752	1600	2688	1472	1600
Lâmpadas queimadas	0	0	0	0	0	3	6	8	2	1	5	13	0	0
Pé-direito (m)	3,45	3,45	3,2	3,2	2,9	3,2	3,15	3,15	3,25	3,25	4,45	4,45	3,05	3,05
Altura de montagem da luminária (m)	2,9	2,9	2,85	2,85	2,9	3,1	2,7	2,7	2,9	2,9	2,6	2,6	2,6	2,6
Número de pontos medidos	108	75	136	128	194	122	320	128	144	108	100	111	108	81
Iluminância média (lux)	281,6	392,8	209,6	262,5	174,5	373,2	160,2	319,6	184,7	362,1	211,5	373,3	276,6	380,6
Atende a iluminância média mantida	não	não	sim	não	não	não	não	não	não	não	sim	não	sim	não
Possui uniformidade	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não	não	não	não	não
Evita ofuscamento	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim
Atende a reprodução de cores	não	não	sim	sim	não	não	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim

Fonte: Autoria própria

Tabela 19 – Dados da iluminação artificial dos câmpus Guarapuava, Londrina, Medianeira, Pato Branco, Ponta Grossa, Santa Helena e Toledo

Iluminação artificial da biblioteca	Guarapuava		Londrina		Medianeira		Pato Branco		Ponta Grossa		Santa Helena		Toledo	
	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura	Acervo	Leitura
Lâmpadas de 32W	60	70	16	86	64	70	110	184	88	168	11	12	28	66
Lâmpadas de 65W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencia de Iluminação (W)	1920	2240	512	2752	2048	2240	3520	5888	2816	5376	352	384	896	2112
Lâmpadas queimadas	6	2	0	0	0	1	0	3	0	0	0	1	1	4
Pé-direito (m)	3,6	3,6	3,5	3,5	3,1	3,1	3,1	3,1	4,45	4,45	3	3	3,7	3,25
Altura de montagem da luminária (m)	3,05	3,05	2,9	2,9	3,1	3,1	3,1	3,1	3,7	3,75	2,9	2,9	3,7	3,25
Número de pontos medidos	72	130	60	110	156	95	192	48	82	115	56	46	80	90
Iluminância média (lux)	298,5	399,5	272,1	340,3	331,0	389,9	187,9	481,5	637,8	698,1	121,3	164,0	276,1	333,4
Atende a iluminância média mantida	sim	não	sim	não	sim	não	não	não	sim	sim	não	não	sim	não
Possui uniformidade	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim	não	não	não	não
Evita ofuscamento	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	sim
Atende a reprodução de cores	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

Fonte: Autoria própria

Nas verificações *in loco* das condições de iluminação, constatou-se que lâmpadas utilizadas nas bibliotecas não possuem um padrão de marca e modelo. Na biblioteca de Apucarana, por exemplo, foram adotados 4 modelos diferentes de lâmpadas. Esse fator dificulta a classificação do índice de reprodução de cores (IRC), pois cada modelo possui um determinado nível. Para padronizar a avaliação deste critério, foi utilizado o IRC do modelo com menor valor.

Outro fator observado que pode ser constatado nas Tabelas 17 e 18 são que a quantidade de lâmpadas queimadas é relativamente baixa. A exceção ocorreu nos dois ambientes de Dois Vizinhos juntamente com a área de acervo de Guarapuava, os quais apresentaram índices de lâmpadas queimadas maiores ou iguais a 10%. Esta porcentagem de lâmpadas queimadas influencia na iluminância média calculada, porém não altera o resultado da classificação deste quesito devido os valores calculados estarem muito aquém das limitações da norma.

O resumo da avaliação de iluminação com base nos parâmetros da norma está descrito na Tabela 20. Verificou-se que no contexto geral da iluminação artificial, somente 32,14% dos ambientes analisados atende a condição da iluminância mínima e 10,71% atende a condição de uniformidade da iluminação.

Tabela 20 – Dados de radiação solar que potencialmente podem entrar nos ambientes

Itens verificados	Porcentagem de ambientes atendidos pela NBR		
	Acervos	Leituras	Geral
Atende a iluminância média mantida	57,14%	7,14%	32,14%
Possui uniformidade	7,14%	14,29%	10,71%
Evita ofuscamento	57,14%	57,14%	57,14%
Atende a reprodução de cores	71,43%	71,43%	71,43%

Fonte: Autoria própria

Algumas situações que contribuem para estes resultados são facilmente identificáveis observando os ambientes estudados.

Uma situação muito comum encontrada nos ambientes é a má distribuição das luminárias. Esta situação se repetiu em várias bibliotecas, conforme mostra a Figura 36, onde há um espaçamento muito grande entre a divisória e primeira luminária à direita.



Figura 36 – Fotografia – distribuição das luminárias – Biblioteca de Londrina
Fonte: Autoria própria

A Figura 37 mostra uma situação onde as luminárias direcionam seu fluxo luminoso para locais onde não são necessárias, iluminando as divisórias.



Figura 37 – Fotografia – distribuição das luminárias – Biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria



Figura 38 – Fotografia – distribuição das luminárias nas áreas de acervo
Fonte: Autoria própria

A Figura 38 mostra áreas de acervo com luminárias em posições que propiciam sombreamento nas áreas de trabalho. Os casos ilustrados indicam que não houve uma compatibilização adequada do projeto de instalações elétricas com o *layout* das estantes.

Na biblioteca de Dois Vizinhos, assim como em outras bibliotecas, o layout do mobiliário e das estantes foi alterado, mas a iluminação artificial manteve-se na configuração original. A Figura 39 ilustra o layout original do projeto arquitetônico e a Figura 40 representa a situação em que os ambientes de acervo e leitura se encontravam em janeiro de 2015, data pela qual a visita ao local foi realizada. O projeto original previa a distribuição da iluminação de acordo com as áreas de trabalhos existentes, entretanto a alteração das áreas de trabalho sem a devida alteração do sistema de iluminação piorou o seu desempenho.

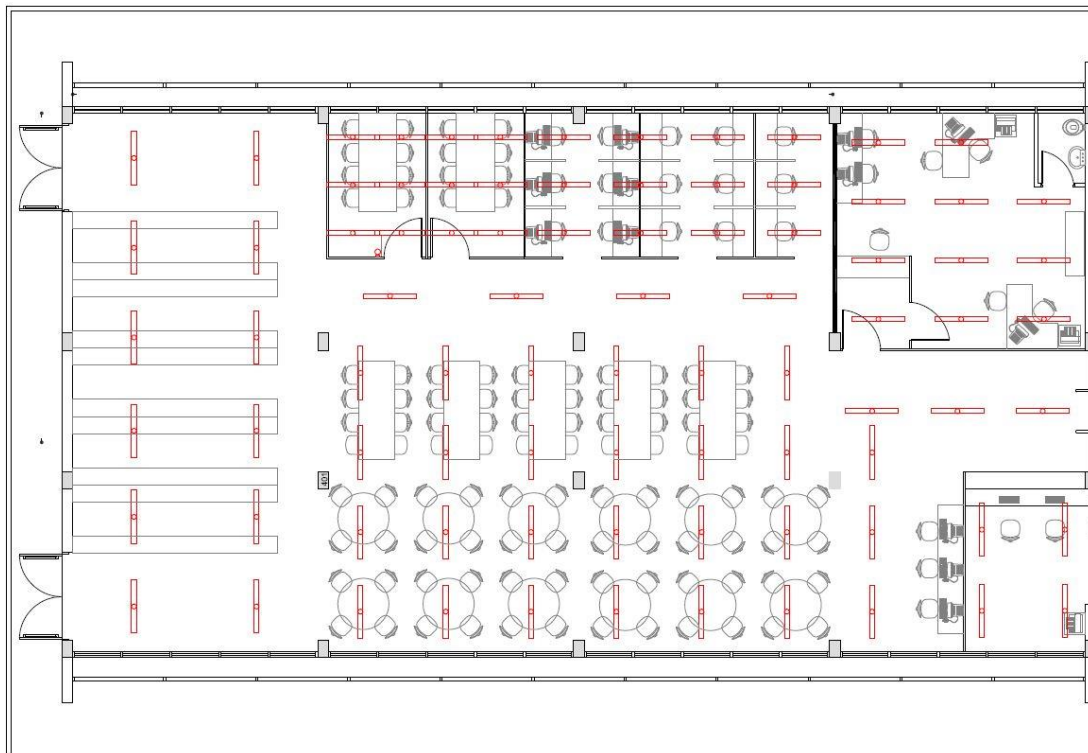


Figura 39 – Layout e distribuição das luminárias da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Adaptado de UTFPR (2014)

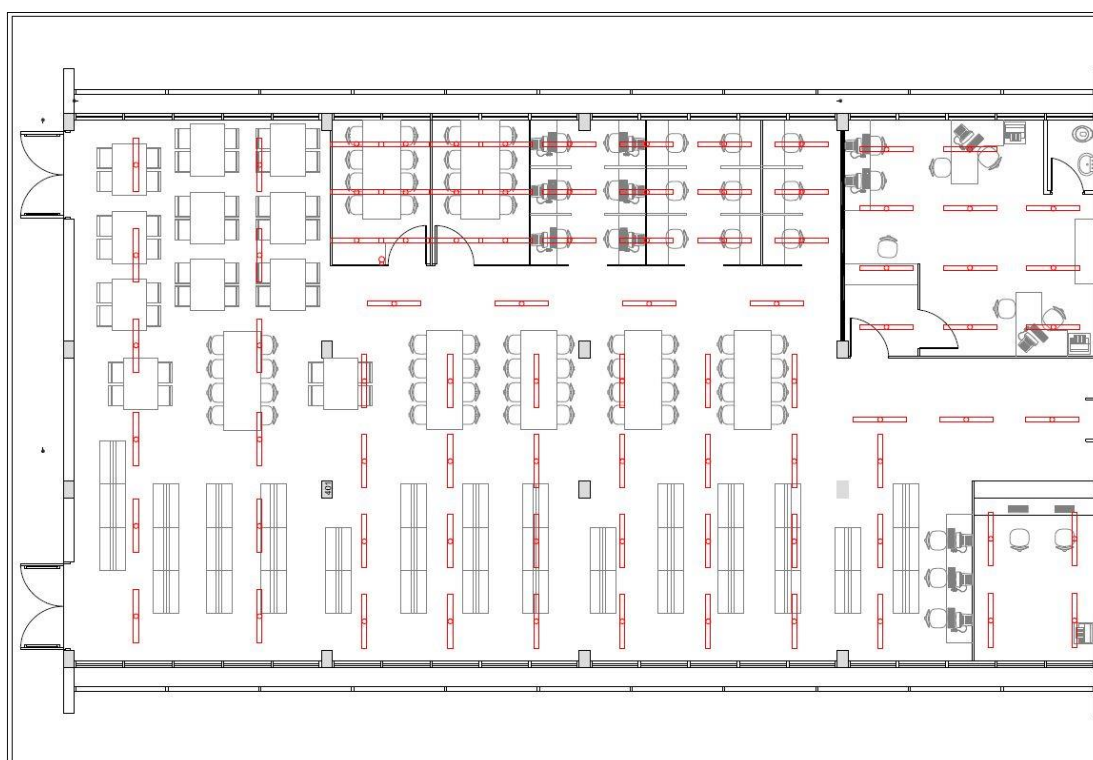


Figura 40 – Alteração de layout da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Adaptado de UTFPR (2015)

Outra situação encontrada refere-se à manutenção do sistema de iluminação, o qual não há registro da periodicidade em que são realizadas nas bibliotecas. Segundo os responsáveis de cada biblioteca, a manutenção se restringe à substituição das lâmpadas quando há a queima. A Figura 41 mostra a poeira nos refletores da luminária podendo comprometer o fluxo luminoso.

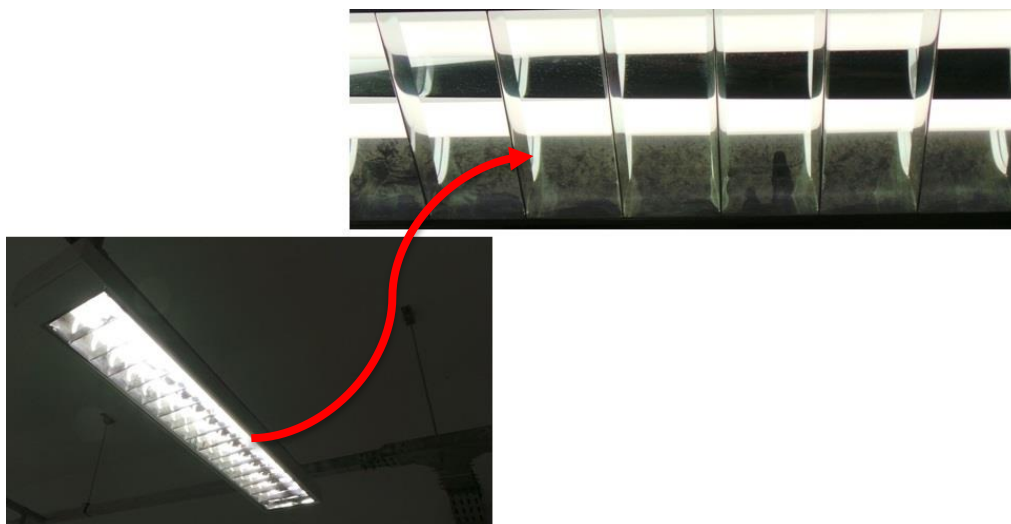


Figura 41 – Fotografia – poeira acumulada nos refletores
Fonte: Autoria própria

Durante a vida útil das lâmpadas o fluxo luminoso pode chegar de 75% a 70% do fluxo de uma lâmpada nova (OSRAM, 2014). Já a Tabela 21 mostra a depreciação do fluxo luminoso de acordo com a característica do ambiente e a periodicidade de limpeza em meses. Em ambientes limpos a depreciação pode chegar a 84% caso o período de limpeza seja de 24 meses.

Tabela 21 – Tabela de depreciação de luminárias e lâmpadas

Período de Limpeza (em meses)	Ambiente		
	Sujo	Médio	Limpo
0	1	1	1
2	0,85	0,92	0,97
4	0,76	0,88	0,94
6	0,7	0,85	0,93
8	0,67	0,82	0,92
10	0,64	0,8	0,91
12	0,62	0,79	0,9
14	0,6	0,78	0,89
16	0,58	0,76	0,88
18	0,56	0,75	0,87
20	0,54	0,74	0,86
22	0,52	0,73	0,85
24	0,5	0,71	0,84

Fonte: Ghisi (1997)

As situações descritas nas Figuras 39 a 44 prejudicam a iluminância média calculada, bem como influenciam na uniformidade do sistema de iluminação. Tais situações são facilmente corrigíveis.

As situações de ambientes com alto índice de ofuscamento possuem maiores dificuldades para serem corrigidos, pois a correção implica em substituição das luminárias. As Figuras 42 e 43 ilustram a quantidade de pontos de ofuscamento provocados por luminárias que não possuem um sistema de difusores do fluxo luminoso.



Figura 42 – Fotografia – Ofuscamento provocado por luminárias sem defletores – biblioteca de Cornélio Procópio
Fonte: Autoria própria



Figura 43 – Fotografia – Ofuscamento provocado por luminárias sem defletores – biblioteca de Curitiba - Centro
Fonte: Autoria própria

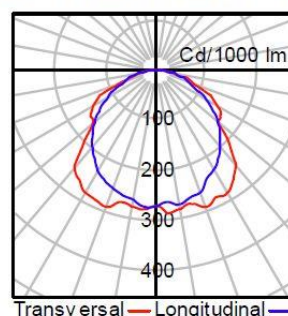
Os sistemas de difusores instalados em luminárias modernas concentram o fluxo luminoso em ângulos mais favoráveis, a Figura 44 apresenta dois tipos de luminárias utilizadas nas bibliotecas analisadas. A luminária tipo CAN07-S232 é uma luminária para duas lâmpadas fluorescente tubular de 32W sem difusores, utilizada na biblioteca do câmpus Curitiba – Sede Centro. A luminária tipo CAA01-S232 também para duas lâmpadas fluorescente tubular de 32W com difusores é utilizada na biblioteca de Campo Mourão.

As duas luminárias estão acompanhadas ao seu lado por gráficos, estes gráficos são chamados de curva de distribuição do fluxo luminoso. As curvas representam o que visualmente foi constatado no sistema de iluminação, as luminárias sem difusores distribuem mais o fluxo luminoso transversal, chegando a ângulos de até 60°, já as luminárias com difusores, o fluxo luminoso transversal não ultrapassa a marca de 40°.

Luminária CAN07-S232



Curva de distribuição do fluxo luminoso



Luminária CAA01-S232



Curva de distribuição do fluxo luminoso

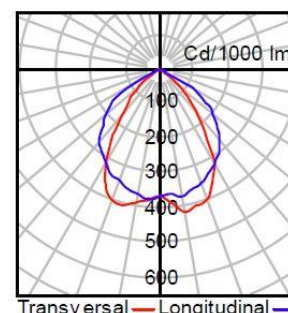


Figura 44 – Curva de distribuição do fluxo luminoso de luminárias
Fonte: Lumicenter (2015)

4.1.2 Resultados da iluminação artificial com base no RTQ-C

A aplicação dos critérios de avaliação do RTQ-C foi realizada nas áreas de acervo e leitura das bibliotecas, todavia para uma avaliação da edificação, todos os ambientes da edificação devem ser avaliados utilizando-se da mesma metodologia apresentada neste trabalho. Os dados das áreas avaliadas foram inseridos na planilha de Classificação de eficiência energética de cada biblioteca.

A biblioteca de Dois Vizinhos obteve nível D na eficiência energética do sistema de iluminação. Esse resultado foi o menor índice dentre as bibliotecas analisadas, como mostra a Tabela 22. Embora os pré-requisitos indiquem a classificação das áreas de acervo como nível 5 e na área de leitura como nível 3, a potência de iluminação total é de 4288 W. Esse valor ultrapassa em 1.283 W o limite estipulado para que os ambientes sejam classificados como nível A.

Tabela 22 – Avaliação da eficiência energética na biblioteca de Dois Vizinhos

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Dois Vizinhos	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	99	137	237
Potência de iluminação por ambientes (W)	1600	2688	4288
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1260	1745	3005
Nível B por ambiente	1448	2006	3454
Nível C por ambiente	1637	2267	3904
Nível D por ambiente	1825	2528	4353
EqNumDPI por ambiente			2
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	sim	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	5	3	
Classificação da área	2,0		
Nível de eficiência energética do sistema de	Nível D		

Fonte: Autoria própria

A biblioteca de Toledo apresentou resultados diferentes se comparados com a biblioteca de Dois Vizinhos. A classificação calculada pela densidade da potência de iluminação das áreas foi mais favorável que a classificação dos pré-requisitos. Na Tabela 23 pode-se constatar que a potência de iluminação dos ambientes é de

3.008 W e o limite para o nível A é de 3.628 W. As áreas analisadas recebem a nível A, possibilitando ainda um aumento da potência de iluminação em 620 W sem alterar sua classificação. Contudo, quando se analisa os pré-requisitos, a área de leitura não atende a o critério de contribuição da luz natural. Este item é pré-requisito para obtenção do nível B, portanto sua classificação foi nível C. Nos cálculos da média ponderada, o resultado final da eficiência energética do sistema de iluminação foi 3,6, o que representa o nível B de eficiência energética.

Tabela 23 – Avaliação da eficiência energética na biblioteca de Toledo

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Toledo	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	104	182	286
Potência de iluminação por ambientes (W)	896	2112	3008
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1320	2308	3628
Nível B por ambiente	1518	2653	4170
Nível C por ambiente	1715	2998	4713
Nível D por ambiente	1912	3343	5256
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	sim	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	5	3	
Classificação da área	3,6		
Nível de eficiência energética do sistema de	Nível B		

Fonte: Autoria própria

Todos os resultados foram resumidos e a classificação final das avaliações inseridas no Gráfico 13, onde o desempenho de cada biblioteca é representado por uma barra cuja altura indica em qual nível de eficiência energética o sistema de iluminação possui.

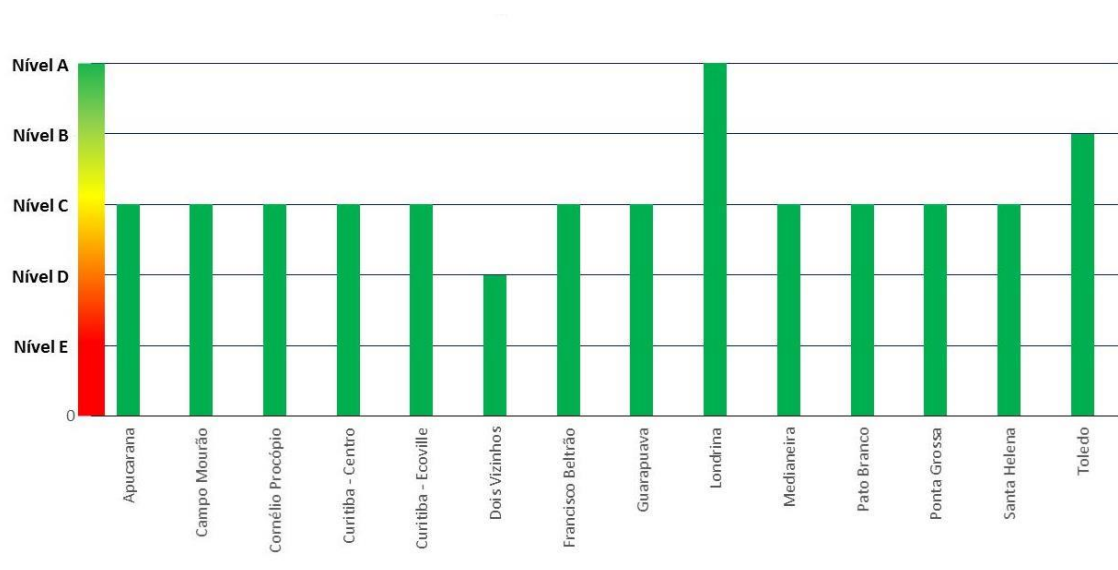


Gráfico 13 – Classificação geral da eficiência energética das bibliotecas
 Fonte: Autoria própria

Das 14 bibliotecas analisadas, 11 foram avaliadas com nível de eficiência C, porém é importante frisar que a exemplo da situação da biblioteca de Toledo, outras bibliotecas apresentaram um resultado final menos favorável quando considerado os pré-requisitos para o enquadramento nos níveis de eficiência.

O Gráfico 14 rerepresenta a classificação das bibliotecas e acrescenta uma barra ao seu lado que demonstra o nível de eficiência do sistema de iluminação caso os pré-requisitos forem atendidos.

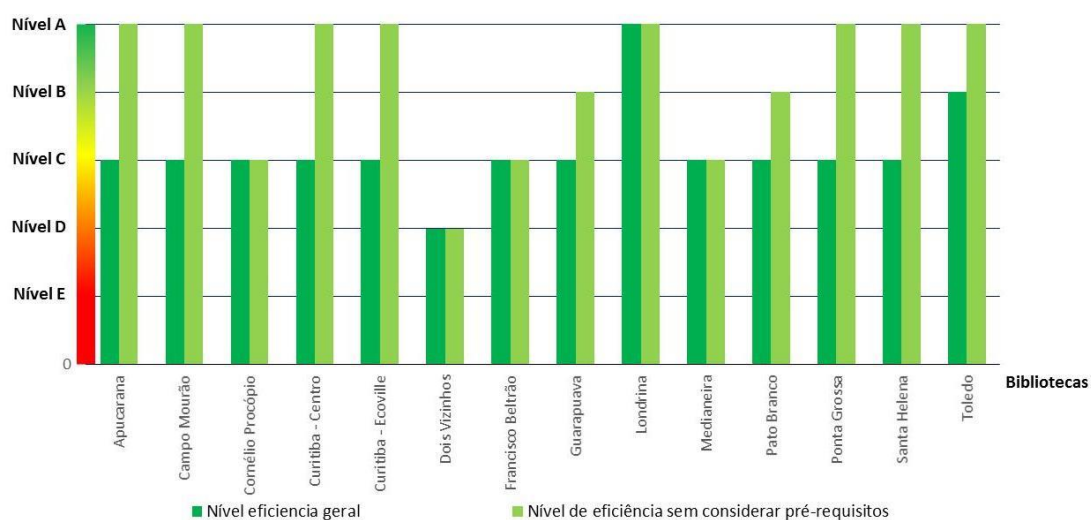


Gráfico 14 – Comparativo da eficiência das bibliotecas com e sem a aplicação dos pré-requisitos
 Fonte: Autoria própria

Neste comparativo, constata-se que nove bibliotecas teriam seu desempenho aumentado e dentre elas, sete se enquadrariam no nível de eficiência energética de maior grau, caso os pré-requisitos do RTQ-C para o sistema de iluminação fossem atendidos.

O pré-requisito que a maioria dos ambientes analisados não alcançou foi a contribuição da luz natural. A fileira de luminárias adjacente às janelas deve possuir comando separado das demais luminárias para que sejam desligadas enquanto a luz natural estiver disponível. O fato deste pré-requisito não ser atendido pelo sistema de iluminação já classifica o ambiente ao nível C de eficiência. A solução para atender o item é simples de ser implementada, bastando reorganizar os comandos dos interruptores dos ambientes. A Figura 45 é um exemplo da área de acervo da biblioteca de Toledo que possui um comando próprio para a fileira de luminárias próximo das janelas.



Figura 45 – Fotografia – Fileira de luminárias perto das janelas com comando separado
Fonte: Autoria própria

Outro pré-requisito que os ambientes não atenderam é o desligamento automático do sistema de iluminação. O RQT-C orienta que ambientes com áreas acima de 250 m², o sistema deve possuir desligamento automático por horário pré-determinado ou por sensor de presença que detecte a ausência de usuários a mais de 30 minutos. Já os ambientes com área menor que 250 m², este pré-requisito é atendido sem a necessidade de intervenções. A implantação deste sistema de desligamento automático deve ser prevista nas áreas de acervo das bibliotecas de

Curitiba – Sede Centro e Pato Branco, bem como nas áreas de leitura das bibliotecas de Campo Mourão, Curitiba – Sede Centro, Pato Branco e Ponta Grossa. A julgar pelo fato do sistema de iluminação estar dividido em circuitos próprios, a instalação do dispositivo automático, como um interruptor horário, por exemplo, pode ser executada de forma simples, sem a necessidade de alterar os comandos dos interruptores existentes. O sistema de controle pode ser instalado nos quadros de distribuição de energia existentes.

4.1.3 Comparativo entre os resultados das análises do sistema de iluminação

Os sistemas de iluminação das bibliotecas da UTFPR possuem desempenho baixo quanto ao atendimento da NBR ISO/CIE 8995-1 bem como aos critérios de desempenho energético definidos pelo RTQ-C. Os fatores para a busca da eficiência energética e as condições mínimas de conforto visual, definidos por norma, divergem entre si quanto a quantidade de lâmpadas necessárias para uma boa iluminação de cada ambiente, por exemplo, a potência de iluminação do ambiente deve ser o suficiente para manter a iluminância média necessária para o ambiente, no entanto não podem ultrapassar o limite da densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência almejado.

Analisando o gráfico comparativo entre as iluminâncias das bibliotecas, mostrado no Gráfico 15, pôde-se constatar que os valores calculados da maioria dos ambientes devem ser aumentados. Entretanto, os critérios do RTQ-C não dão margem para grandes aumentos, em alguns casos deve-se diminuir o número de luminárias. Cinco bibliotecas devem aumentar a iluminância média nas áreas de acervo e treze bibliotecas nas áreas de leitura.

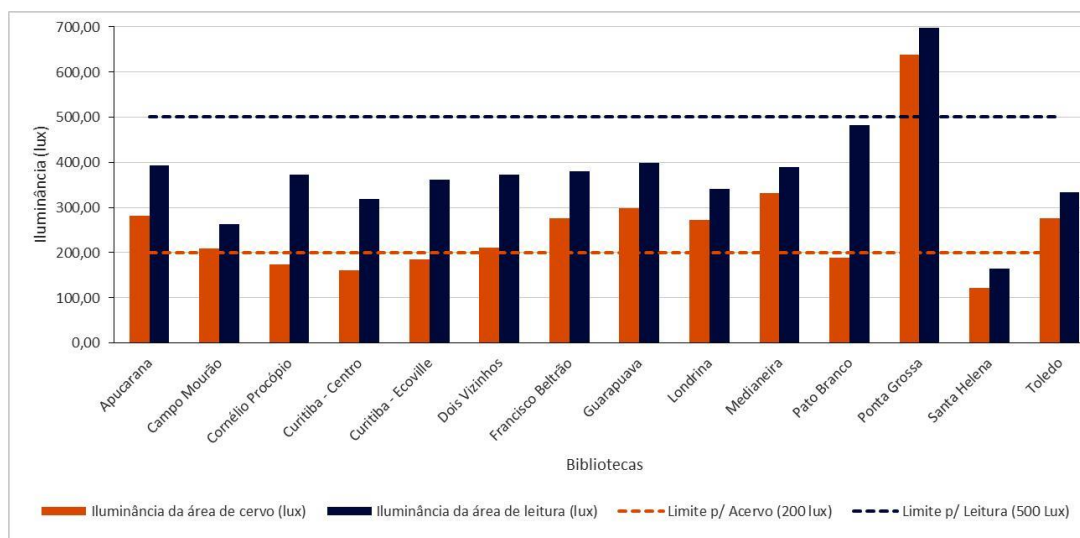


Gráfico 15 – Comparativo da iluminâncias das bibliotecas
Fonte: Autoria própria

As informações dos Gráficos 15 e 13 foram incluídas no Gráfico 16 para que seja possível analisar tanto os níveis de iluminância das bibliotecas quanto a classificação de eficiência em que cada uma se enquadra. Na biblioteca de Toledo, por exemplo, o nível de eficiência energética do sistema de iluminação foi avaliado como B, contudo caso o pré-requisito de contribuição da luz natural seja atendido, o nível de eficiência pode ser classificado como A. A iluminância média na área de leitura é de 333 lux, deve-se chegar a 500 lux e na área de acervo está com 276 lux, pouco acima dos 200 lux recomendados. A biblioteca de Toledo pode aumentar a potência de iluminação em 620 W sem precisar alterar sua classificação de nível de eficiência. Este valor representa cerca de 9 luminárias a mais para que possa reforçar a iluminação artificial.

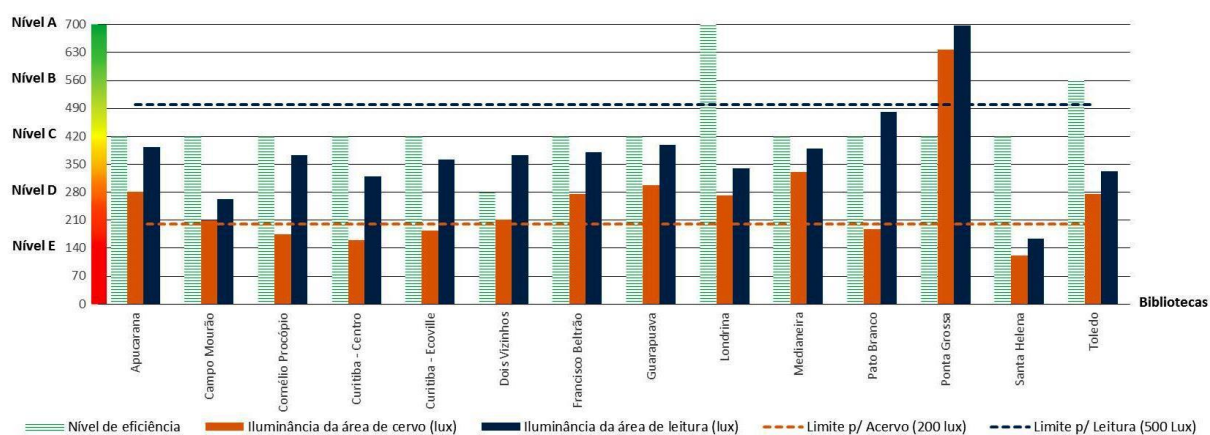


Gráfico 16 – Comparativo da iluminâncias das bibliotecas e seus níveis de eficiência
Fonte: Autoria própria

No Gráfico 17 são especificadas as quantidades de potência de iluminação que cada biblioteca pode aumentar ou deve ser diminuída para que o nível de eficiência energética do sistema de iluminação seja classificado como A.

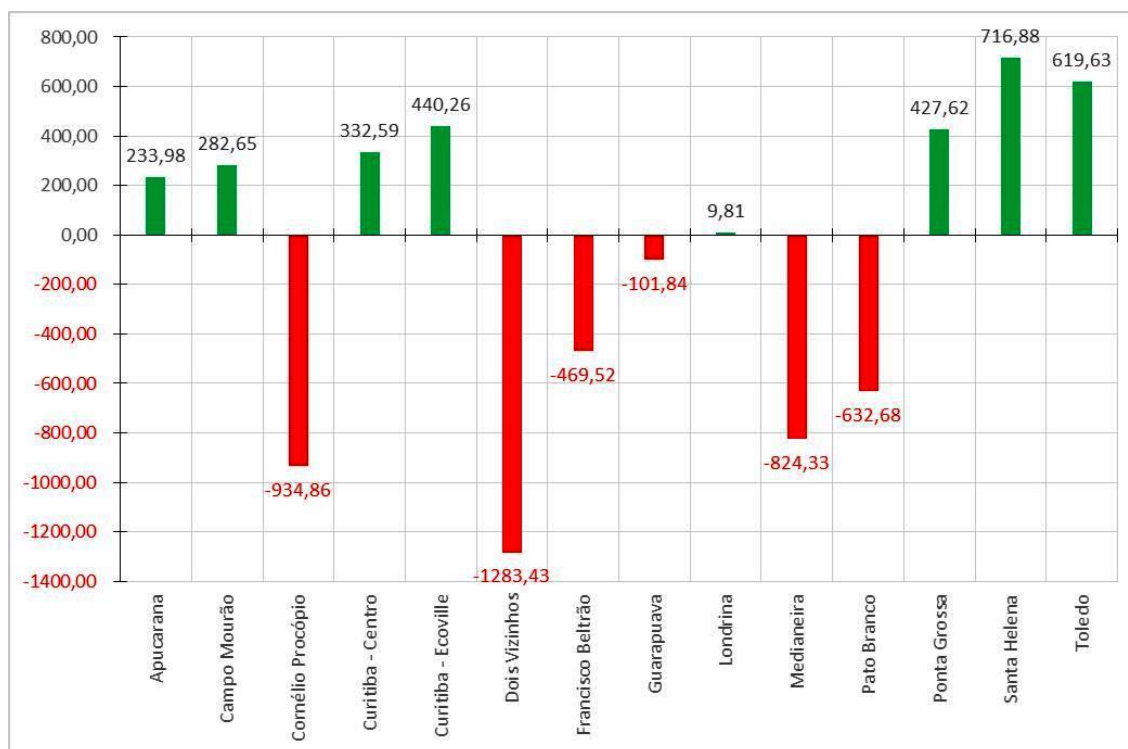


Gráfico 17 – Comparativo da potência (W) de iluminação para o nível A de eficiência
Fonte: Autoria própria

A representação em vermelho das barras indica que a biblioteca deve diminuir a potência de iluminação para atender o nível A de eficiência energética. A biblioteca de Dois Vizinhos possui o cenário mais desfavorável de todas, deve-se diminuir 1.283 W de potência, cerca de 20 luminárias. Nestes casos, o sistema de iluminação deve ser substituído e o novo projeto luminotécnico deve prever a utilização de luminárias mais eficientes, lâmpadas mais modernas, uma distribuição da iluminação de acordo com o layout das áreas e rever a altura de montagem das luminárias.

4.2 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A diferença de arquitetura entre as bibliotecas analisadas é grande e para comparar indicadores entre as bibliotecas, com o intuito de classificá-las, foi adotado o critério de referenciar o valor que se quer comparar com a área da biblioteca. O exemplo mais prático é quanto a área envidraçada. Para se determinar qual é a

biblioteca que possui a melhor relação de área envidraçada, o seu valor em metros quadrados foi dividido pela área da biblioteca, obtendo-se dessa forma a porcentagem de área de vidro cada biblioteca. Considerou-se um bom desempenho para a iluminação natural a biblioteca que possui a maior quantidade de vidro nas fachadas. A Tabela 24 mostra a classificação feita para verificar as bibliotecas que possuem os maiores índices de área envidraçada.

Tabela 24 – Classificação prévia das bibliotecas com maiores índices de área envidraçada

Classificação das bibliotecas com maiores índices de área envidraçada				
Classificação	Bibliotecas	Área de vidro (m ²)	Área de Piso (m ²)	Área de vidro por área de piso (%)
1º	Dois Vizinhos	108,90	299,25	36,39%
2º	Ponta Grossa	306,41	1004,53	30,50%
3º	Medianeira	104,78	382,24	27,41%
4º	Curitiba - Centro	283,57	1161,04	24,42%
5º	Campo Mourão	81,43	424,84	19,17%
6º	Toledo	69,44	368,56	18,84%
7º	Guarapuava	79,51	467,78	17,00%
8º	Cornélio Procópio	76,54	565,85	13,53%
9º	Pato Branco	178,58	1416,88	12,60%
10º	Londrina	49,25	391,14	12,59%
11º	Francisco Beltrão	33,07	267,06	12,38%
12º	Apucarana	36,40	344,44	10,57%
13º	Curitiba - Ecoville	42,80	426,34	10,04%
14º	Santa Helena	11,62	143,56	8,09%

Fonte: Autoria própria

Essas informações são complementadas nos próximos tópicos.

4.2.1 Análise da energia disponível em cada biblioteca

Saber a quantidade de luz disponível nos locais onde as bibliotecas estão implantadas é muito importante para descobrir o potencial de aproveitamento desta energia. Há dois parâmetros que foram levantados: um é a iluminância que a luz solar propicia em dias de céu claro e outro é a quantidade de energia que a radiação solar disponibiliza em sua luz. Estes dois quesitos são importantes, pois ao mesmo tempo em que se precisa delas para iluminar e aquecer os ambientes, entretanto

não é aconselhável a incidência direta no interior das edificações devido ao ofuscamento e aquecimento excessivo da edificação.

A iluminância da luz do Sol em uma superfície horizontal pode passar dos 100klux em um dia de céu claro. Nestes níveis a radiação causa o efeito de ofuscamento inabilitador quando atinge um objeto ou superfície reflexiva. O Gráfico 18 mostra a evolução da iluminância em uma superfície horizontal exposta a luz direta do sol.

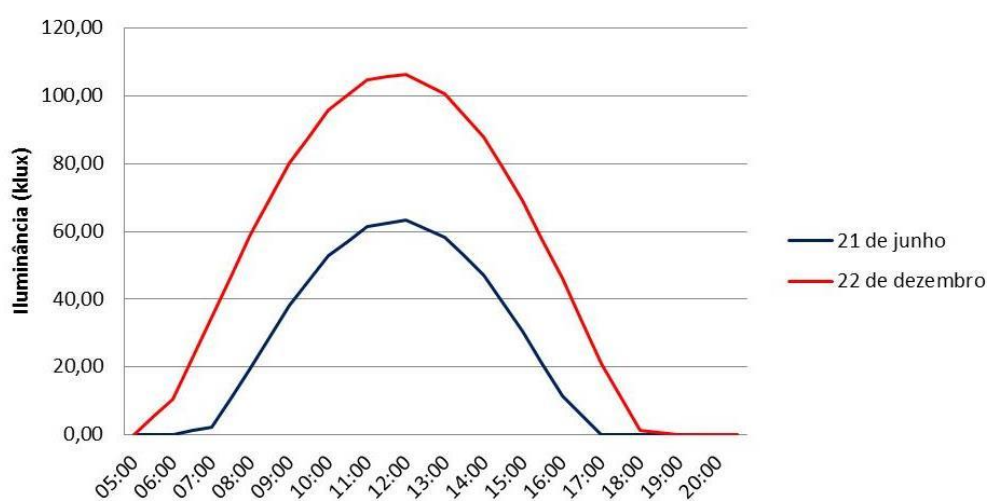


Gráfico 18 – Gráfico de iluminância ao longo do dia
Fonte: Adaptado de Scarazzato (1995)

No inverno, a iluminância apresenta valores menores, mas é aconselhável adotar a mesma preocupação. Este gráfico mostra a situação do verão e do inverno para a cidade de Apucarana. Todavia em virtude de as latitudes das cidades em que a UTFPR possui bibliotecas serem relativamente próximas, pode-se adotar tal atributo como referência para as demais.

A energia disponível na radiação solar, sobre as quais as bibliotecas são expostas, foi analisada a partir dos dados do *software* Luz do Sol versão 1.1. Através da simulação das orientações das fachadas e as áreas de envidraçadas que elas possuem, foi possível saber exatamente qual é a energia que cada biblioteca está sujeita a receber em seu interior. Os valores totais foram inseridos na Tabela 25 e revelam uma grande quantidade de energia potencialmente pode entrar nos ambientes das bibliotecas. Na biblioteca da sede Centro de Curitiba, por exemplo, a energia nas áreas envidraçadas chega a 424 kWh no inverno e 500 kWh no verão. Esses valores não maiores que o consumo de energia elétrica de uma pequena residência durante o período de 30 dias.

Tabela 25 – Energia recebida nas áreas envidraçadas das bibliotecas

Radiação solar incidente (kWh)			
Classificação	Bibliotecas	Inverno	Verão
1º	Curitiba - Centro	423,66	500,22
2º	Ponta Grossa	433,62	429,27
3º	Pato Branco	233,96	365,51
4º	Campo Mourão	112,06	172,04
5º	Toledo	129,14	143,79
6º	Guarapuava	110,28	143,69
7º	Medianeira	99,44	143,40
8º	Cornélio Procópio	65,41	106,56
9º	Dois Vizinhos	195,23	92,83
10º	Curitiba - Ecoville	50,52	88,13
11º	Londrina	86,72	56,39
12º	Francisco Beltrão	33,55	56,64
13º	Apucarana	64,66	33,66
14º	Santa Helena	28,84	15,47

Fonte: Autoria própria

Os cálculos demonstram que as maiores bibliotecas recebem uma energia maior devido à grande quantidade de janelas, como demonstra o Gráfico 19. Analisando os dados do gráfico, os valores absolutos de energia calculados não podem ser comparados entre as bibliotecas para medir o melhor desempenho, uma vez que a área construída das bibliotecas é diferente.

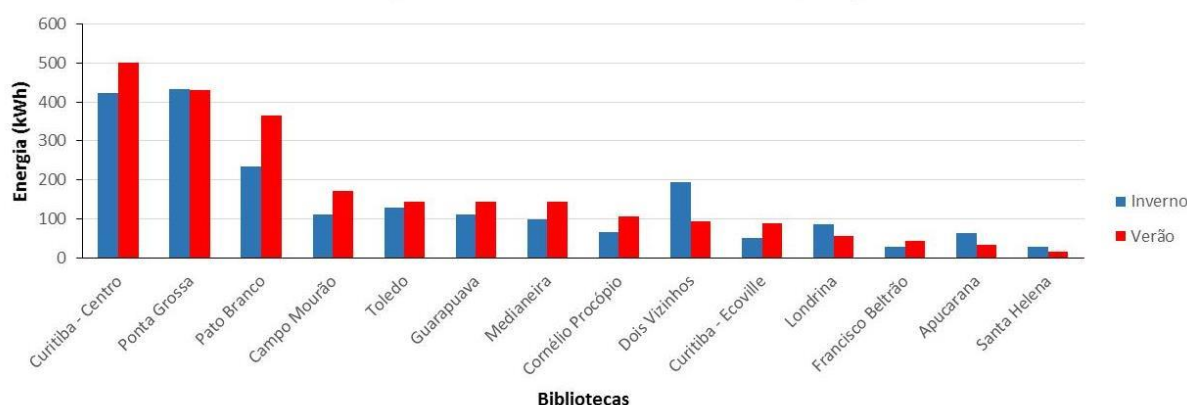


Gráfico 19 – Energia do Sol nas áreas envidraçadas das fachadas das bibliotecas
Fonte: Autoria própria

Já os dados do Gráfico 20 representam a quantidade de energia (Wh) proporcional a sua área, assim a comparação entre as bibliotecas pode ser realizada. No verão, as bibliotecas de Curitiba e Ponta Grossa possuem o maior potencial de entrada de energia oriunda da radiação solar. Já a Biblioteca de Dois

Vizinhos possui o maior potencial de energia no inverno, o qual não é ruim quanto ao desempenho térmico da biblioteca, porém a entrada direta da radiação solar pode provocar o efeito de ofuscamento inabilitador aos usuários.

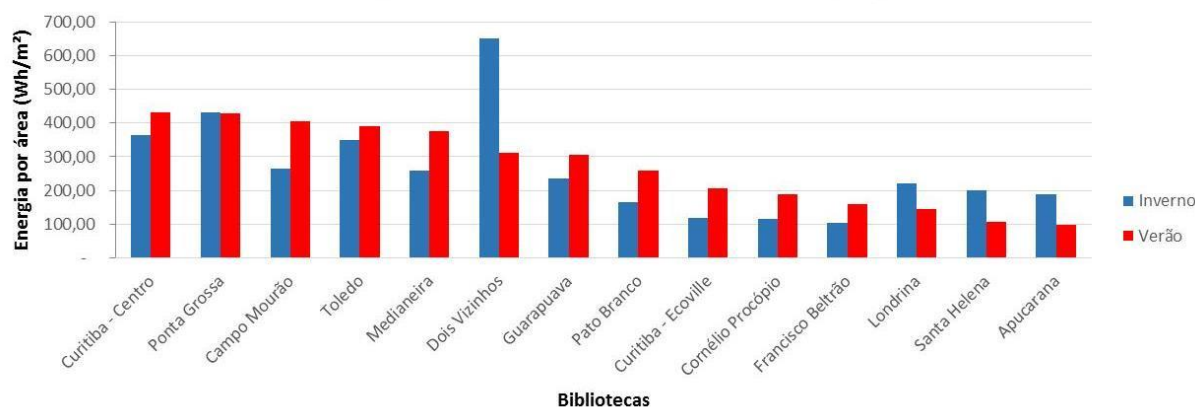


Gráfico 20 – Energia do Sol proporcional às áreas das bibliotecas
Fonte: Autoria própria

A classificação das bibliotecas quanto ao potencial de energia provocada pela radiação solar no interior de suas áreas é mostrada no Gráfico 21, onde foram somados os valores de energia no inverno e no verão. Nesta verificação, a biblioteca de Dois Vizinhos ficou com o pior desempenho, uma vez que as áreas de fachada juntamente com a sua orientação proporcionam a entrada excessiva de radiação solar.

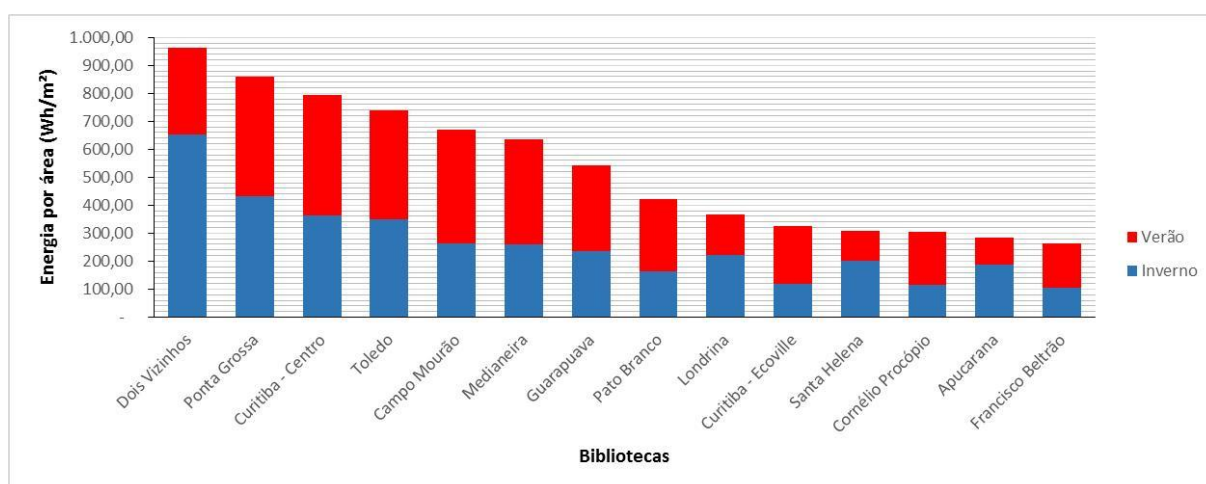


Gráfico 21 – Energia do Sol proporcional às áreas das bibliotecas
Fonte: Autoria própria

As bibliotecas de Francisco Beltrão e Apucarana obtiveram os menores índices de radiação solar em seus ambientes.

4.2.2 Características das fachadas das bibliotecas

Um fator que pode ser questionado é se a quantidade total da radiação solar realmente entra no ambiente. Durante as verificações *in loco*, constatou-se que a geometria das edificações faz com que este questionamento ganhe fundamento. As áreas envidraçadas previstas nos cálculos anteriores foram consideradas no mesmo alinhamento das paredes, entretanto na edificação a situação é diferente.

Na biblioteca de Apucarana, as fachadas 1 (norte) e 3 (sul) possuem janelas com recuo para o interior da fachada, possibilitando a platibanda e pilares diminuir a insolação nas áreas envidraçadas, conforme mostra a Figura 46



Figura 46 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Apucarana
Fonte: Autoria própria

A biblioteca de Londrina recebeu uma área coberta ao lado da fachada 3 (norte) para a proteção contra chuva no acesso aos usuários, esta proteção faz também o papel de um elemento de sombreamento horizontal para que as áreas envidraçadas não recebam a luz direta do Sol, como mostra a Figura 47.



Figura 47 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Londrina
Fonte: Autoria própria

A Figura 48 mostra a fachada 3 (leste) da biblioteca de Campo Mourão, onde toda a fachada está coberta, apesar da existência de um elemento de proteção solar. Neste caso a área envidraçada desta fachada perde um pouco da eficiência quanto a iluminação natural dos ambientes internos.

Na outra extremidade, a fachada 1 (oeste) recebe uma grande parcela de radiação solar direta em sua área envidraçada, Figura 49, mesmo com a proteção solar instalada.



Figura 48 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria



Figura 49 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria

Na biblioteca de Santa Helena, as fachadas possuem recuo nas paredes onde existem janelas, a Figura 50 mostra a fachada 1 (oeste) onde a platibanda e pilares fazem sombreamento nas janelas em determinados horários do dia.

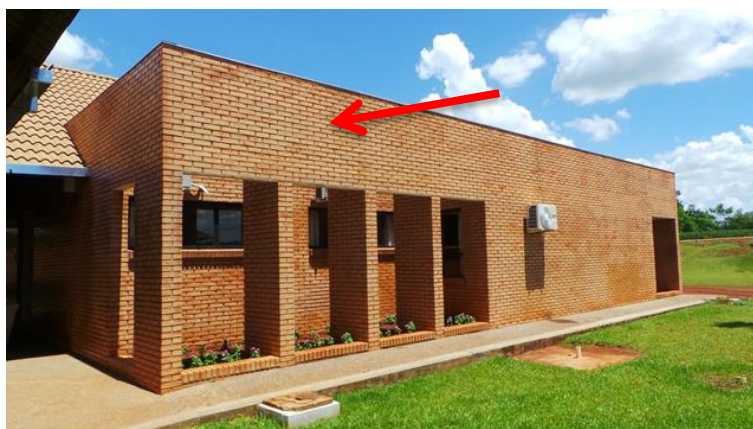


Figura 50 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Santa Helena
Fonte: Autoria própria

Na biblioteca de Medianeira, as janelas possuem anteparos por todo seu perímetro propiciando uma proteção solar parcial quando a altura solar está mais próxima de 90°. A Figura 51 mostra as fachadas 3 (norte) e 4 (leste).



Figura 51 – Fotografia – Fachada 3 e 4 da biblioteca de Medianeira
Fonte: Autoria própria

Na Figura 52 a fachada 1 (sul) da biblioteca de Francisco Beltrão possui uma pequena marquise que protege as janelas da radiação solar em horários que a altura solar é próxima de 90° . A mesma situação foi encontrada na biblioteca de Ponta Grossa, que possui uma grande área envidraçada nas fachadas e não há elementos de proteção solar para evitar a entrada da radiação solar. A Figura 53 mostra a fachada 1 (sul) da biblioteca de Ponta Grossa.

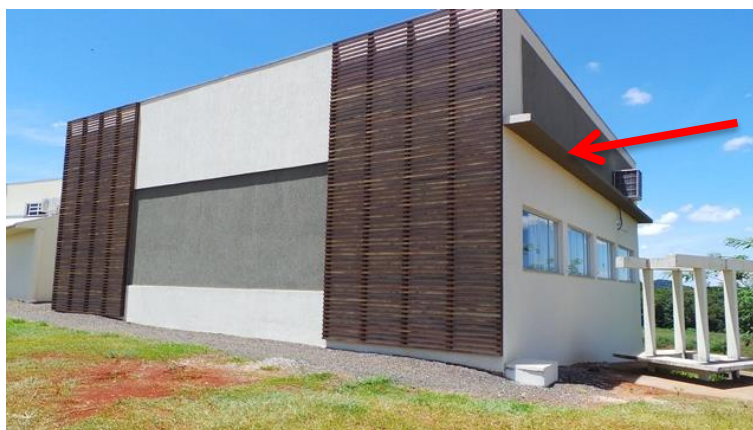


Figura 52 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Francisco Beltrão
Fonte: Autoria própria



Figura 53 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Ponta Grossa
Fonte: Autoria própria

As bibliotecas de Dois Vizinhos, Guarapuava e Pato Branco possuem elementos de proteção solar nas janelas. A primeira e a segunda possuem a proteção metálica e cobre toda a área das janelas, a de Pato Branco é uma proteção em concreto que está instalada na parte superior das janelas. Nas figuras 54 e 55 estão destacadas as fachadas das bibliotecas de Dois Vizinhos, fachada 3 (norte) e de Guarapuava, fachada 1 (leste) respectivamente. Ambas as fachadas exercem uma proteção mais efetiva da radiação solar pelo fato de cobrir uma área maior das janelas.

A biblioteca de Pato Branco, mostrada na Figura 56, possui proteções nas fachadas 1 (leste) e 3 (oeste). Na fotografia a fachada que está sendo mostrada é a 3.



Figura 54 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria



Figura 55 – Fotografia – Fachada 1 da biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria



Figura 56 – Fotografia – Fachada 3 da biblioteca de Pato Branco
Fonte: Autoria própria

Os elementos de proteção externos funcionam como uma proteção das áreas envidraçadas nas edificações, possibilitando que incidência da luz direta do Sol no interior da edificação seja diminuída e a luz difusa continue iluminando os ambientes sem grandes interferências. Um exemplo desta situação é a biblioteca de Dois Vizinhos que possui elementos de proteção solar instalados na horizontal, conforme mostra a Figura 57.



Figura 57 – Fotografia – Proteção solar externa da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria

Outros fatores observados durante as visitas aos ambientes das bibliotecas são os elementos de proteção solar instalados no seu interior. Verificou-se que o uso desta estratégia prejudica a contribuição da iluminação natural nos ambientes.

A película de controle solar, adotada em algumas bibliotecas, reduz a incidência de radiação solar no interior da edificação quando há a incidência direta da luz, mas em outros horários que não há a incidência direta o sistema não permite a entrada de luz difusa, conforme mostra a Figura 58, tornando a iluminação artificial indispensável mesmo em dias claros.



Figura 58 – Fotografia – Película de proteção solar nos vidros da biblioteca de Londrina
Fonte: Autoria própria

Persianas reguláveis horizontais e verticais são utilizadas nas bibliotecas de Medianeira e Pato Branco respectivamente, ilustradas nas Figuras 59 e 60.



Figura 59 – Fotografia – Persiana horizontal da biblioteca de Medianeira
Fonte: Autoria própria

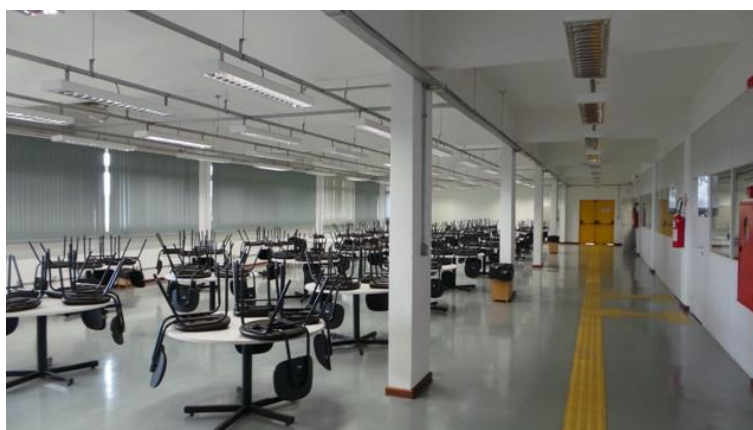


Figura 60 – Fotografia – Persiana vertical da biblioteca de Pato Branco
Fonte: Autoria própria

Na biblioteca de Ponta Grossa, o sistema utilizado para bloquear a radiação solar foi o uso de cortinas do tipo *blackout*. Este sistema tem seu funcionamento similar às persianas, porém não há regulagem de abertura consequentemente o sistema não permite o controle da quantidade de luz que entra no ambiente. A Figura 61 mostra o sistema da biblioteca de Ponta Grossa.



**Figura 61 – Fotografia – Cortina tipo *blackout* da biblioteca de Ponta Grossa.
Fonte: Autoria própria**

Laar (2001) classificou os elementos de proteção solar quanto ao sombreamento, luz natural, proteção do brilho, desempenho térmico, entre outros, e seus resultados indicam que as proteções instaladas internamente não são boas soluções para o desempenho térmico e não propicia o aproveitamento adequado da luz natural. A Tabela 26 mostra os resultados da pesquisa onde se pode verificar que as soluções combinadas entre prateleiras de luz e *brises* são as soluções mais recomendadas tanto para o sombreamento quanto para o aproveitamento da luz natural no interior das edificações.

Os vidros com películas e persianas internas não são uma boa solução para o aproveitamento da iluminação artificial, bem como para o desempenho térmico da edificação.

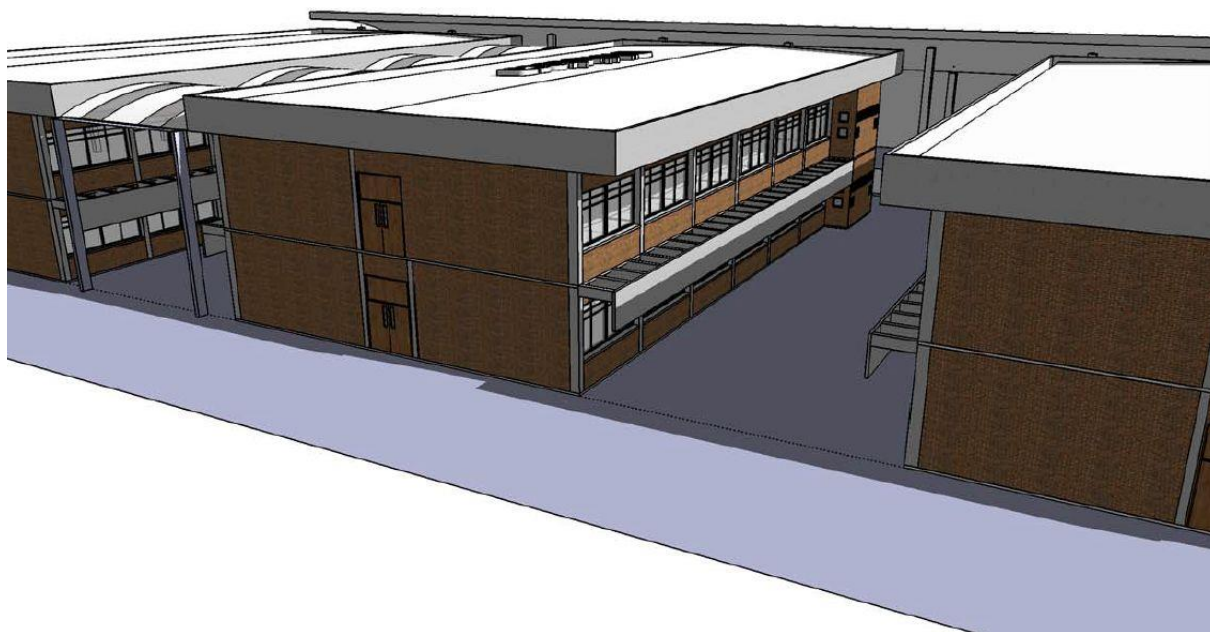
Tabela 26 – Avaliação dos sistemas de bloqueio da radiação solar

Avaliação do controle solar e uso da luz natural para sistemas de sombreamento				
Tipos de sistemas	Avaliações			
Sistemas fixos	Sombreamento	Luz Natural	Proteção do brilho	Desempenho térmico
1A Vidro refletivo/absortivo	médio	não	não	mau
1B Vidro refletivo/absortivo	médio	não	não	médio
1C Vidro eletrocromico	médio	não	médio	bom
2 Painéis Cortados à Laser Plexiglas Luz Natural	não	sim	não	bom
3 Prateleiras de luz ext+int	parcial	sim	não	muito bom
4 Quebra-sol horizontal	sim	não	sim	muito bom
5 Quebra-sol vertical	sim	não	não	muito bom
Sistemas móveis				
A1 Persianas internas	sim	não	sim	mau
A2 Persianas externas	sim	não	sim	muito bom
A3 Persianas dentro de vidros duplos	sim	não	sim	médio
B Veneziana LCP	não	sim	não	bom
C1 Veneziana externa de iluminação natural	sim	médio	sim	excelente
C2 Veneziana interna de iluminação natural	sim	médio	sim	médio
C3 Veneziana de iluminação natural dentro de vidro duplo	sim	sim	sim	médio
Sistemas combinados				
fixos	muito bom	muito bom	sim	muito bom
ou LCP + Prateleira de luz + Brise vertical	muito bom	excelente	sim	muito bom

Fonte: Adaptado de Laar (2001)

4.2.3 Simulação da radiação solar no interior das bibliotecas

As maquetes eletrônicas das bibliotecas foram criadas para simular a entrada da radiação solar direta no interior dos ambientes, para isso os elementos externos a edificação e as proteções solares também foram reproduzidos para que se simule a situação mais próxima possível da realidade, a figura 62 simula a biblioteca do campus Campo Mourão recebendo a radiação direta do Sol às 14h30min, no dia 21 de junho. Entretanto, os elementos de proteção internos como cortinas, persianas e *blackouts* não foram consideradas nas simulações.



**Figura 62 – Fotografia – Maquete eletrônica da biblioteca de Campo Mourão.
Fonte: Autoria própria**

As simulações da insolação nas maquetes, conforme descrito na metodologia, geraram os dados da Tabela 27, onde estão classificadas por ordem decrescente as piores situações verificadas. As porcentagens de área de piso representam a quantidade de área de piso que recebe a luz direta do Sol desde o horário de abertura da biblioteca (8:00h) até o pôr do Sol. O valor de 100% seria o equivalente a condição de incidência da luz do Sol em toda área da biblioteca durante todo o período de funcionamento da biblioteca, o qual o Sol se faz presente.

Tabela 27 – Classificação das bibliotecas quanto a incidência de radiação solar direta em seu interior

Luz direta no interior das bibliotecas			
Classificação	Bibliotecas	Áreas de piso (%)	
		Inverno	Verão
1	Ponta Grossa	11,20%	4,52%
2	Curitiba - Centro	6,22%	4,69%
3	Medianeira	6,58%	2,33%
4	Toledo	3,62%	3,60%
5	Pato Branco	4,38%	1,55%
6	Francisco Beltrão	3,03%	1,21%
7	Guarapuava	2,10%	2,03%
8	Curitiba - Ecoville	1,76%	1,45%
9	Dois Vizinhos	2,50%	0,01%
10	Apucarana	1,29%	0,00%
11	Londrina	1,09%	0,20%
12	Santa Helena	0,34%	0,61%
13	Cornélio Procópio	0,22%	0,72%
14	Campo Mourão	0,67%	0,16%

Fonte: Autoria própria

Os valores de área atingida pela luz direta do Sol obtidas através das simulações não trazem a informação da intensidade que a radiação solar possui. As janelas recebem a radiação de acordo com a orientação das fachadas da edificação e os horários do dia, neste sentido, criou-se um gráfico onde é mostrado o valor da área atingida pela luz do Sol e o valor da intensidade da radiação solar. Essas duas informações em conjunto auxiliam a análise dos ambientes com a finalidade de evitar a entrada da radiação solar direta na edificação. As análises foram realizadas através dos horários quando as intensidades da radiação solar provocada pela luz direta são mais elevadas, bem como a fachada em que a luz entra.

Contudo, os valores que foram inseridos nos gráficos possuem intensidades e unidades de medida diferentes. Para que fossem comparados no mesmo gráfico, as unidades foram convertidas para valores unitários adimensionais. As medidas de área definidas por metro quadrado (m^2) foram divididas por um padrão de área, chamado de base, resultando em um valor por unidade (p.u.). O mesmo procedimento foi adotado para a radiação solar definido por watt hora por metro quadrado (Wh/m^2).

4.2.3.1 Radiação solar direta na biblioteca de Apucarana

Para a biblioteca de Apucarana, a base de cálculo da área foi 20 m² e da radiação solar 500 Wh/m². Esses padrões representam que cada unidade adimensional equivale a 20 m² no caso na área e 500 Wh/m² no caso de energia. O Gráfico 22 indica que as maiores áreas atingidas pela luz direta, no inverno, estão entre os horários das 16:00h as 17:30h. Esta área está sendo iluminada pela fachada 3. Já no verão, não há entrada de luz direta do Sol. Da mesma forma que se pode verificar o período crítico, quando se deve proteger as janelas da radiação solar, é das 14:00h às 17:00h, devido aos valores elevados da radiação solar e a quantidade de área que está sendo iluminada. Contudo, a proteção solar ideal, para as bibliotecas, deve bloquear a luz direta em todos os horários e permitir a entrada da luz difusa, assim mantendo o aproveitamento da luz natural no interior da edificação. Neste sentido a sugestão para a proteção solar é de atuar no:

Inverno: 08:00h às 17:30h – fachada 1 (sul).

Verão: nenhum.



Gráfico 22 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Apucarana

Fonte: Autoria própria

4.2.3.2 Radiação solar direta na biblioteca de Campo Mourão

Para a biblioteca de Campo Mourão, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 10 m² e da radiação solar 500 Wh/m². Conforme constatado no Gráfico 23, apesar da biblioteca possuir elementos de proteção solar, verifica-se que são insuficientes para evitar o ofuscamento inabilitador no interior dos ambientes. Pode ser verificado que no inverno, nos horários das 10:00h às 14:00h, a área de incidência da luz solar direta passa dos 4 m², apesar de no início da manhã a radiação solar na fachada 1 não ser muito elevada. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 15:00h – fachada 1 (oeste).

Verão: 08:00h às 11:30h – fachada 3 (leste);
13:30h às 17:30h – fachada 1 (oeste).

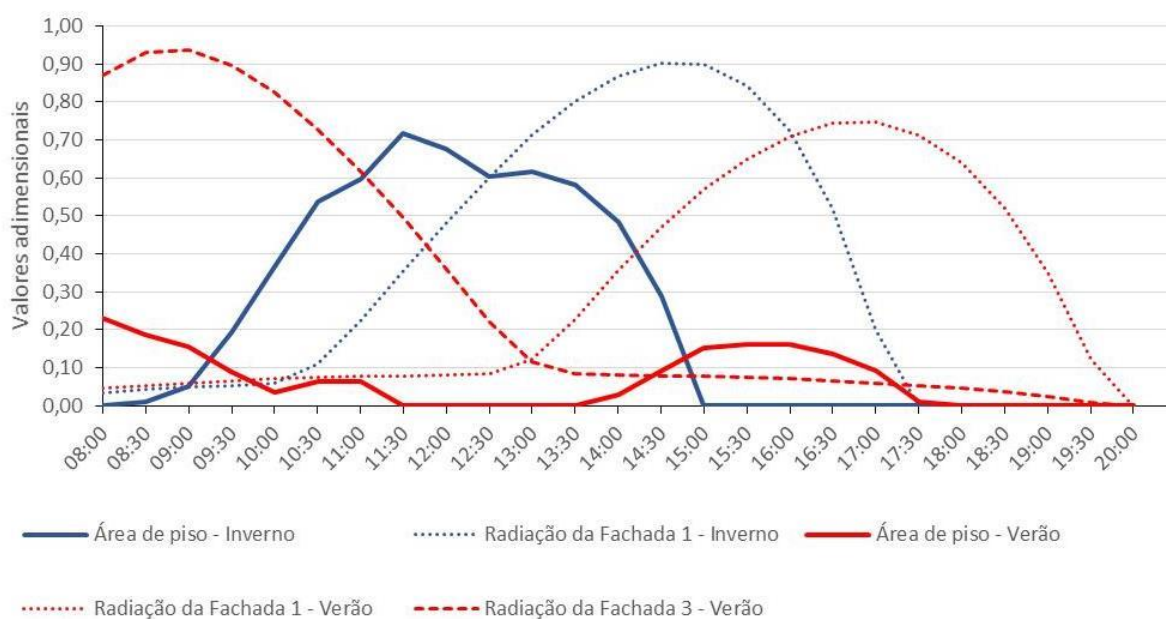


Gráfico 23 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria

4.2.3.3 Radiação solar direta na biblioteca de Cornélio Procópio

Para a biblioteca de Cornélio Procópio, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 25 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 24,

demonstra que no período da tarde tanto no verão quanto no inverno se concentram as áreas de maior incidência de radiação no interior da biblioteca. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 14:30h às 17:00h – fachada 4 (oeste).

Verão: 08:00h às 10:30h – fachada 3 (sul);
15:30h às 19:00h – fachada 4 (oeste).

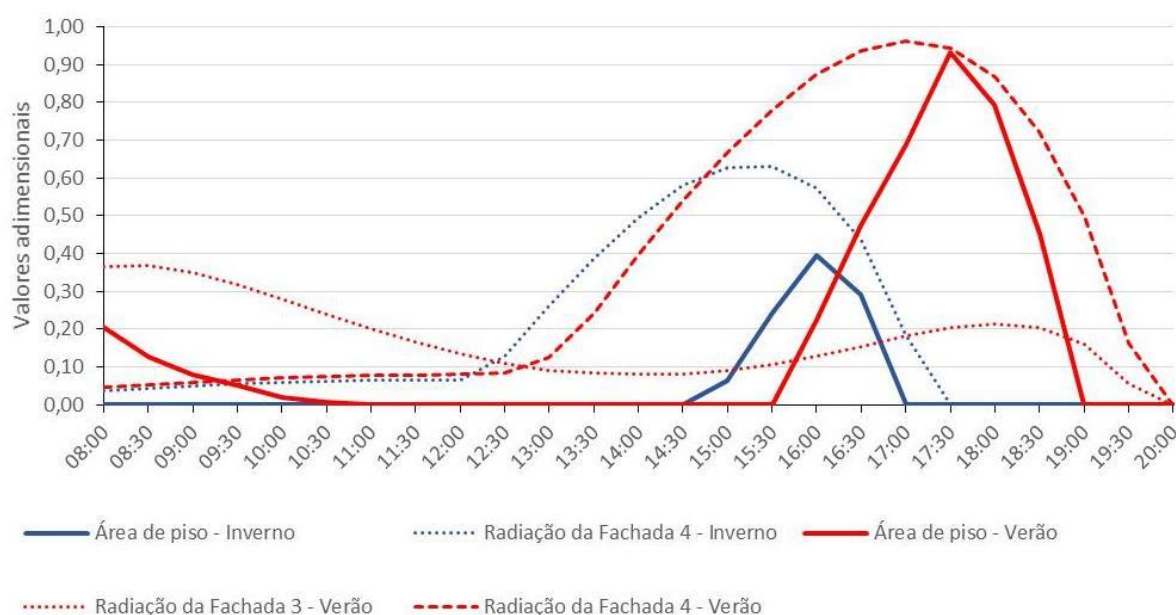


Gráfico 24 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Cornélio Procópio
Fonte: Autoria própria

4.2.3.4 Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro

Para a biblioteca de Curitiba – Centro, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 250 m² e da radiação solar 500 Wh/m². Os Gráficos 25 e 26, demonstram que, assim como Cornélio Procópio, no período da tarde tanto no verão quanto no inverno se concentram as áreas de maior incidência de radiação no interior da biblioteca. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 10:00h às 12:00h – fachada 1 (leste);
13:00h às 17:30h – fachada 3 (oeste).

08:00h às 17:00h – fachada 4 (norte).

Verão: 08:30h às 11:00h – fachada 1 (leste);

15:30h às 19:00h – Fachada 3 (oeste).

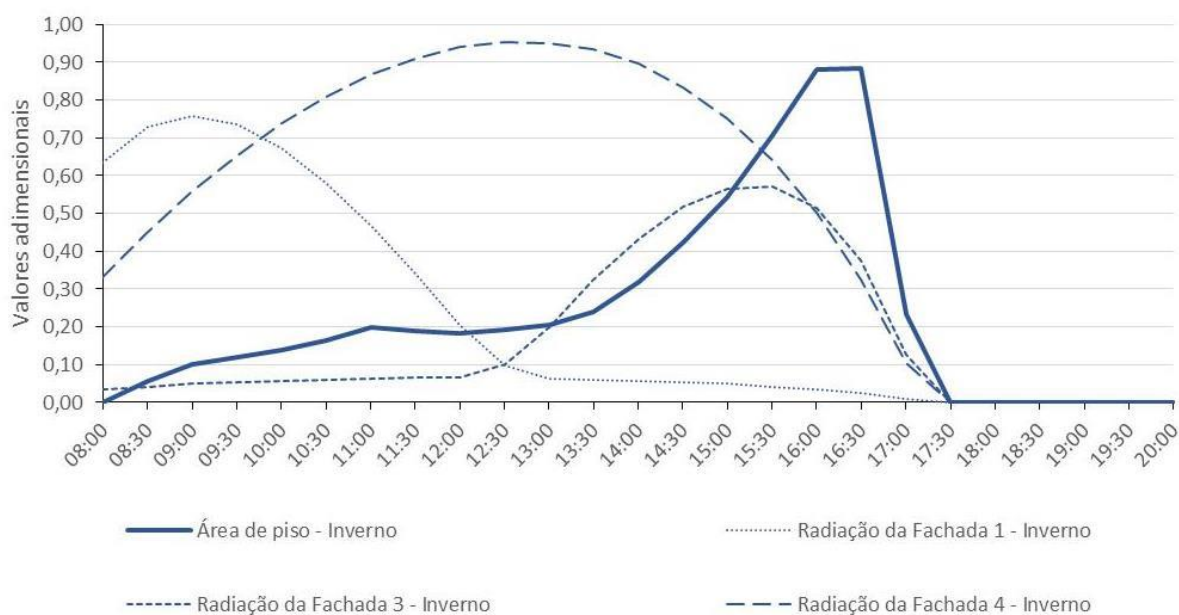


Gráfico 25 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro – inverno
 Fonte: Autoria própria

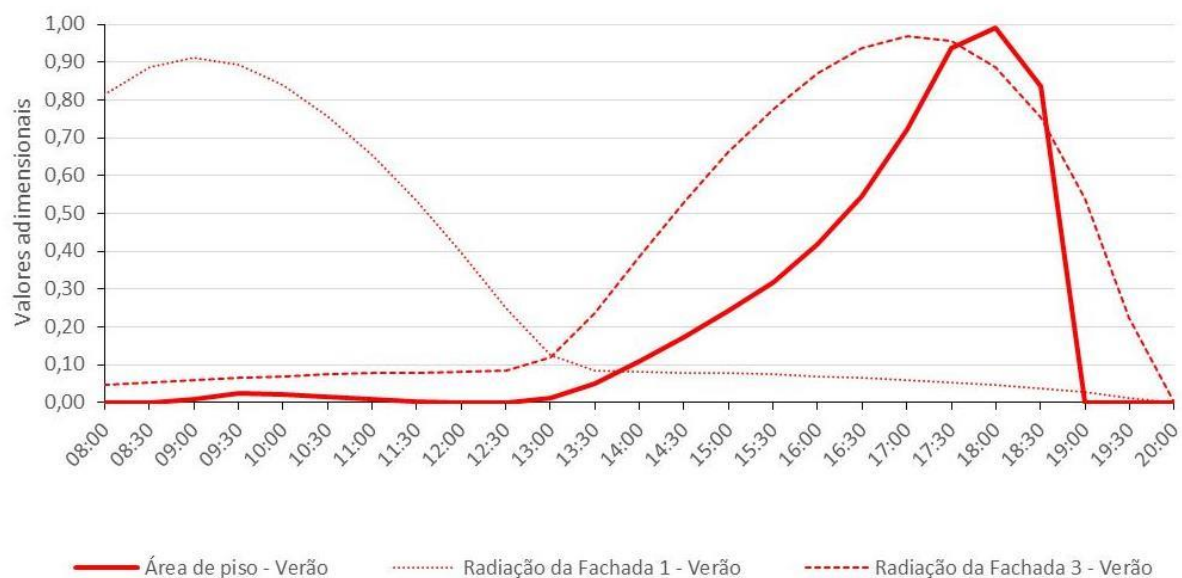


Gráfico 26 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro – verão
 Fonte: Autoria própria

4.2.3.5 Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Ecoville

Para a biblioteca de Curitiba – Ecoville, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 40 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 27, demonstra que no verão, a maior parte do dia recebe a luz direta em seu interior através das fachadas 1 e 3. A proteção solar sugerida deve atuar no:

- Inverno: 08:00h às 09:30h – fachada 1 (leste);
11:30h às 16:30h – fachada 3 (oeste).
- Verão: 08:00h às 11:30h – fachada 1 (leste);
13:00h às 18:00h – fachada 3 (oeste).

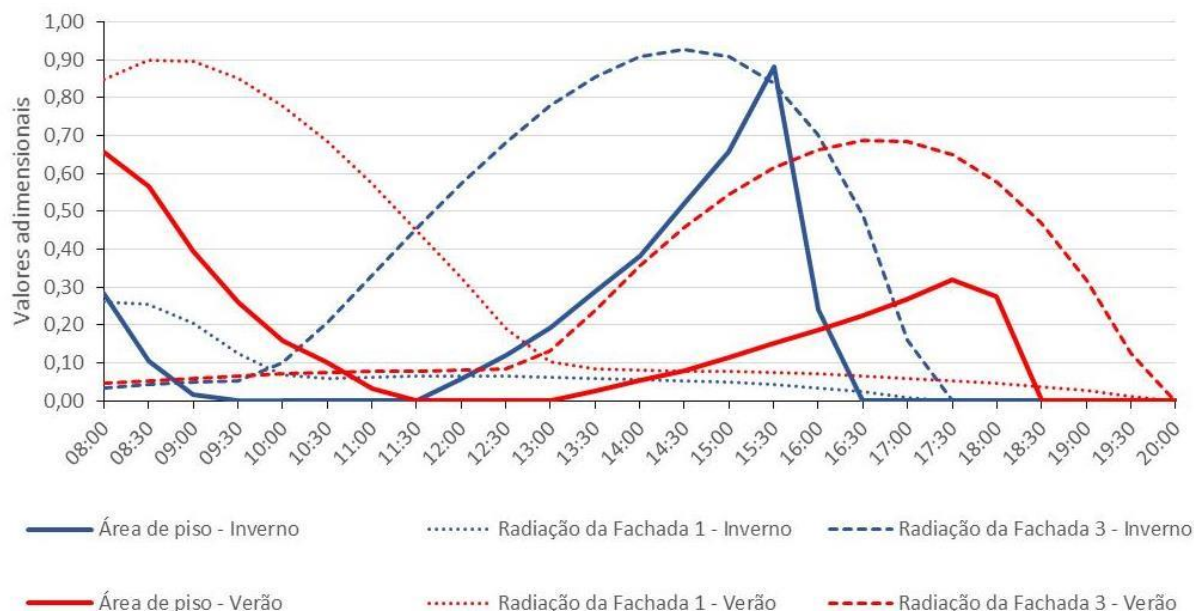


Gráfico 27 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Ecoville

Fonte: Autoria própria

4.2.3.6 Radiação solar direta na biblioteca de Dois Vizinhos

Para a biblioteca de Dois Vizinhos, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 40 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 28, demonstra que no período da tarde no inverno se concentram as áreas de maior incidência de radiação no interior da biblioteca. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 09:30h – fachada 3 (norte);
 14:00h às 18:00h – fachada 3 (norte).
 Verão: 18:00h às 19:00h – fachada 1 (sul).

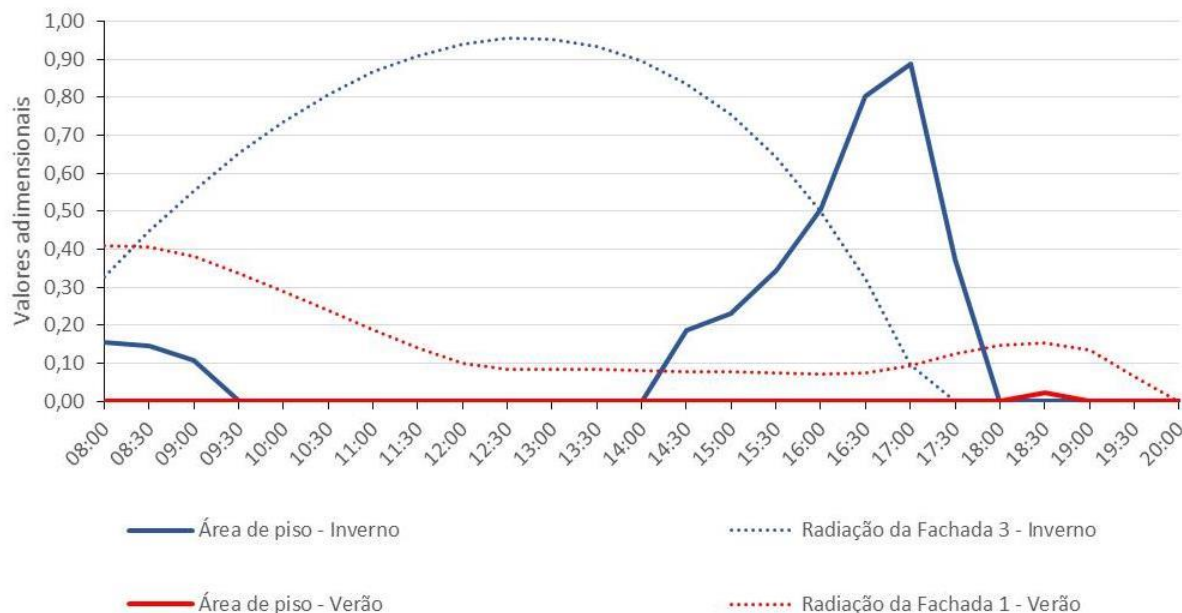


Gráfico 28 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Dois Vizinhos

Fonte: Autoria própria

4.2.3.7 Radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão

Para a biblioteca de Francisco Beltrão, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 40 m² e da radiação solar 500 Wh/m². Os Gráficos 29 e 30, demonstram que no período da manhã tanto no verão quanto no inverno se concentram as áreas de maior incidência de radiação no interior da biblioteca. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 14:30h – fachada 3 (norte), fachada 4 e 5 (leste).
 Verão: 08:00h às 11:00h – fachada 4 e 5 (leste);
 17:30h às 19:00h – fachada 1 (sul)

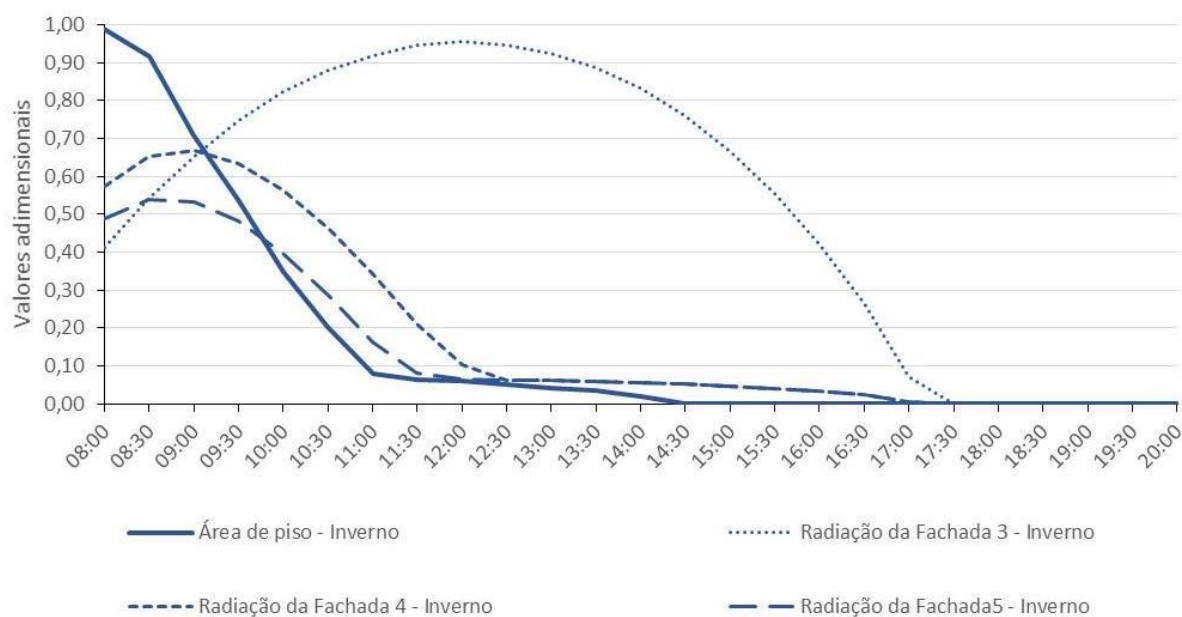


Gráfico 29 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão – inverno
 Fonte: Autoria própria

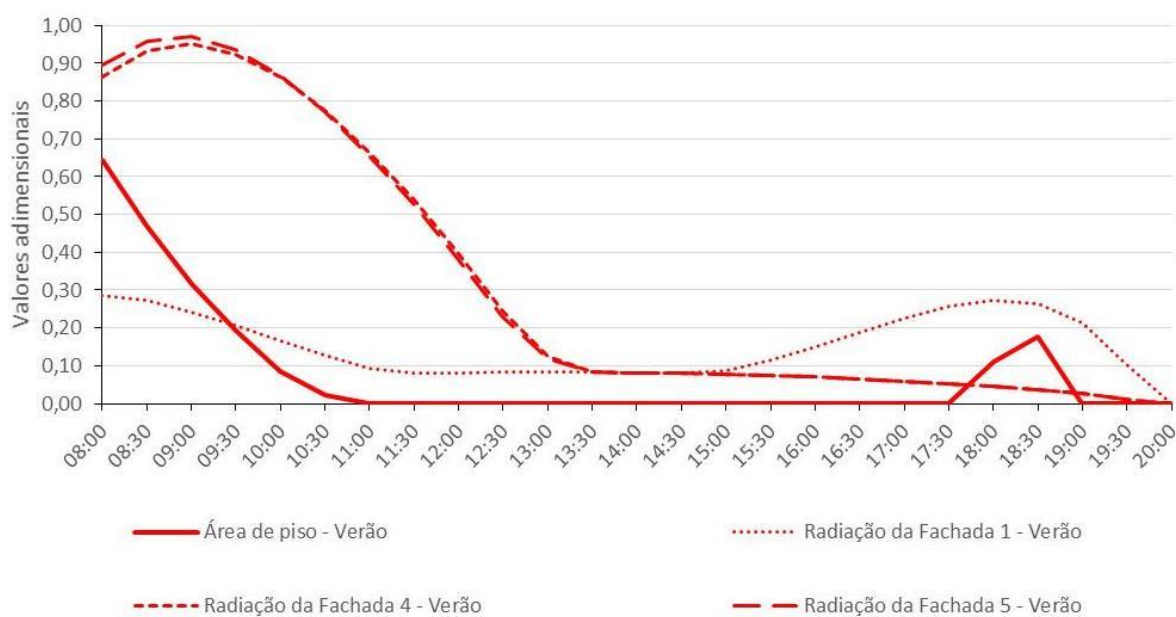


Gráfico 30 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão – verão
 Fonte: Autoria própria

4.2.3.8 Radiação solar direta na biblioteca de Guarapuava

Para a biblioteca de Guarapuava, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 90 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 31, mostra que no inverno o período da manhã e no verão o período da tarde se concentram áreas de maior incidência de radiação no interior da biblioteca. A fachada 1 já possui um sistema de bloqueio da radiação solar, mesmo assim a luz direta entra no ambiente. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 12:30h – fachada 1 (leste);
16:30h às 18:30h – fachada 3 (oeste).

Verão: 08:00h às 10:00h – fachada 1 (leste);
15:30h às 18:30h – fachada 3 (oeste).

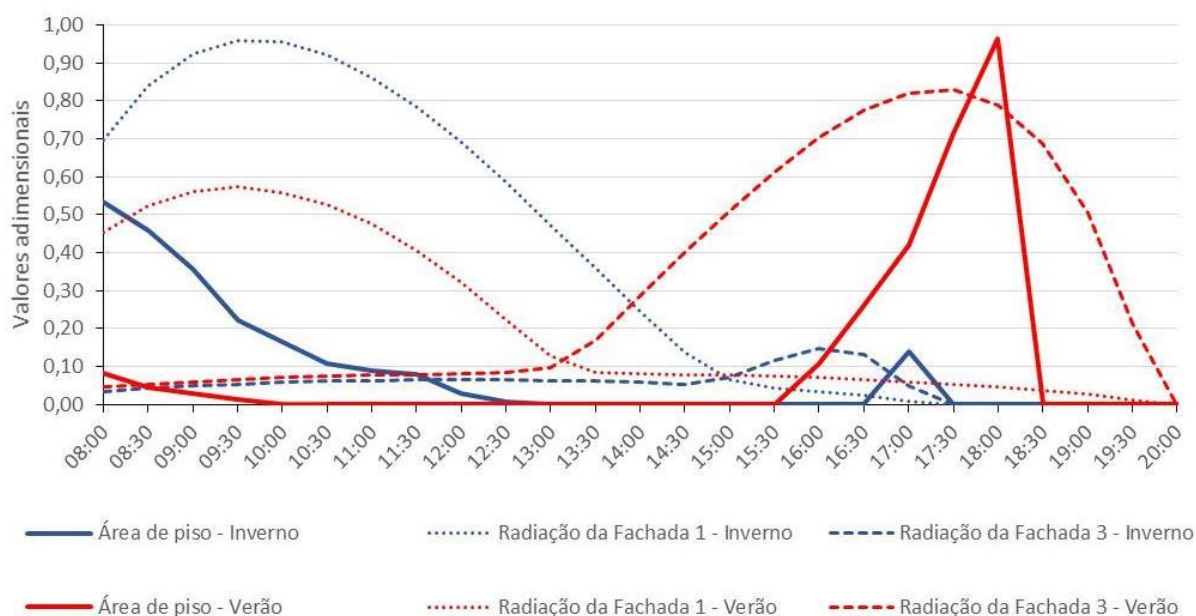


Gráfico 31 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria

4.2.3.9 Radiação solar direta na biblioteca de Londrina

Para a biblioteca de Londrina, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 20 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 32, demonstra que no período da tarde no inverno se concentram as áreas de maior

incidência de radiação no interior da biblioteca. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 09:00h – fachada 4 (leste);

11:00h às 17:00h – fachada 3 (norte).

Verão: 08:00h às 10:30h – fachada 1 (sul).

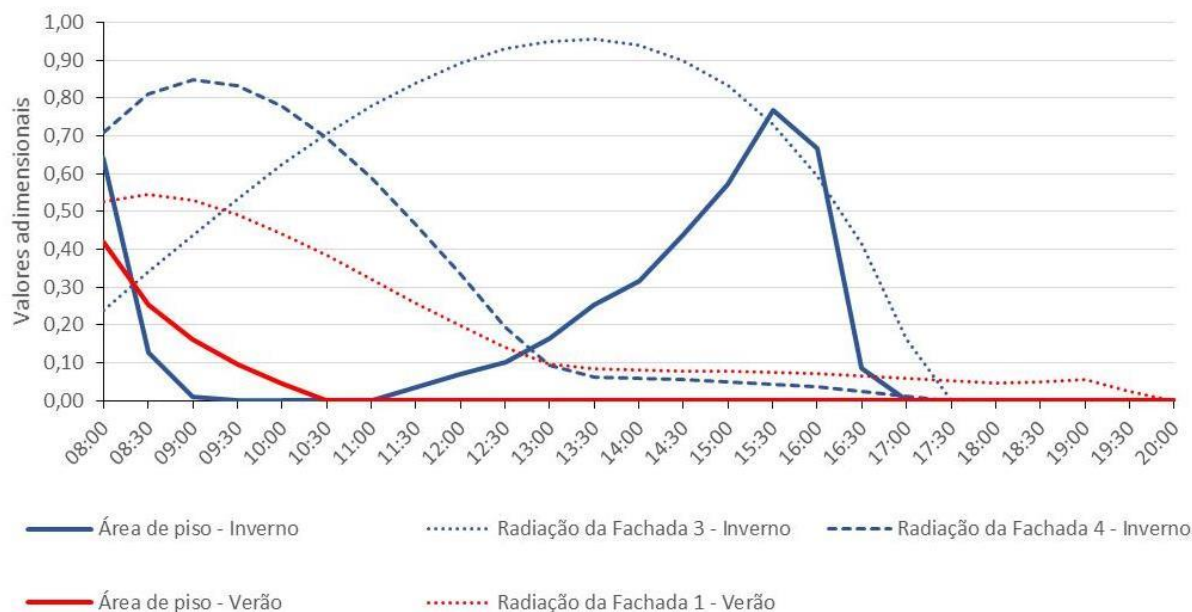


Gráfico 32 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Londrina

Fonte: Autoria própria

4.2.3.10 Radiação solar direta na biblioteca de Medianeira

Para a biblioteca de Medianeira, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 90 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 33 indica que no inverno a entrada da luz direta do Sol acontece o dia todo, principalmente no início da manhã e no final da tarde. No verão o comportamento é similar, mas das 11:00h às 14:00h não há entrada da luz direta devido ao elemento de proteção existente entorno das janelas. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 18:00h – fachada 3 (norte);

08:00h às 12:30h – fachada 4 (leste).

Verão: 08:00h às 11:30h e 14:30h às 19:30h – fachada 1 (sul);

08:00h às 11:00h – fachada 4 (leste).

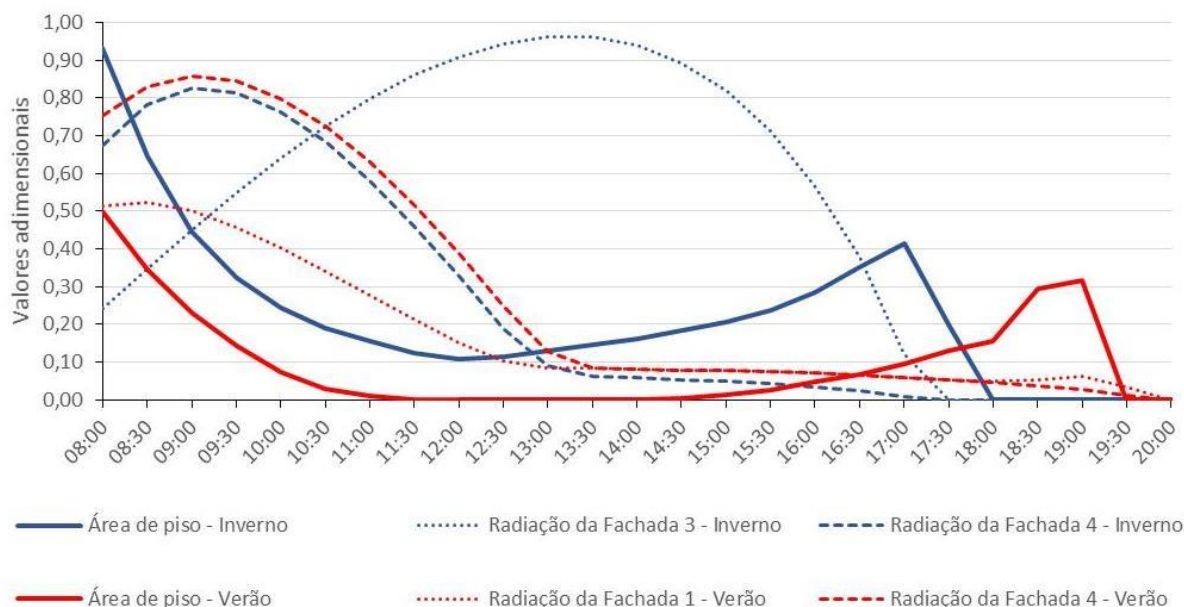


Gráfico 33 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Medianeira
Fonte: Autoria própria

4.2.3.11 Radiação solar direta na biblioteca de Pato Branco

Para a biblioteca de Pato Branco, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 500 m^2 e da radiação solar 500 Wh/m^2 . O Gráfico 34 indica que no inverno a entrada da luz direta do Sol no início da manhã e no final da tarde. No verão o comportamento é similar, mas se restringe ao final da tarde. Verifica-se também que a proteção externa feita em concreto para evitar a entrada de luz direta funciona parcialmente, somente nos horários das 11:00 às 14:00h. A proteção solar sugerida deve atuar no:

- Inverno: 08:00h às 10:30h – fachada 1 (leste);
16:00h às 18:00h – fachada 3 (oeste).
- Verão: 09:00h às 11:00h – fachada 1 (leste);
14:00h às 19:00h – fachada 3 (oeste).

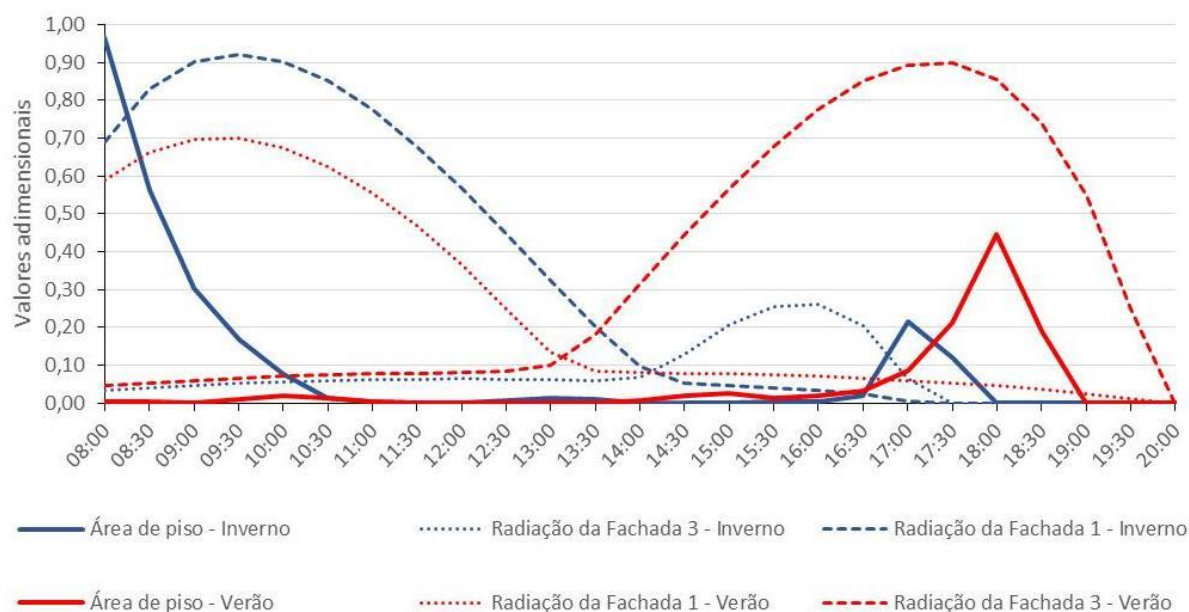


Gráfico 34 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Pato Branco
Fonte: Autoria própria

4.2.3.12 Radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa

Para a biblioteca de Ponta Grossa, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 90 m² e da radiação solar 500 Wh/m². Os Gráficos 35 e 36 indicam que no inverno a entrada da luz direta do Sol acontece o dia todo, principalmente no início da manhã. No verão o comportamento é inverso, mas a entrada de luz direta ocorre no período da tarde. A proteção solar sugerida deve atuar no:

- Inverno: 12:00h às 17:30h – fachada 2 (oeste);
08:00h às 16:30h – fachada 3 (norte).
- Verão: 08:00h às 09:30h – fachada 3 (norte);
12:30h às 19:00h – fachada 2 (oeste);
14:30h às 19:00h – fachada 1 (sul).

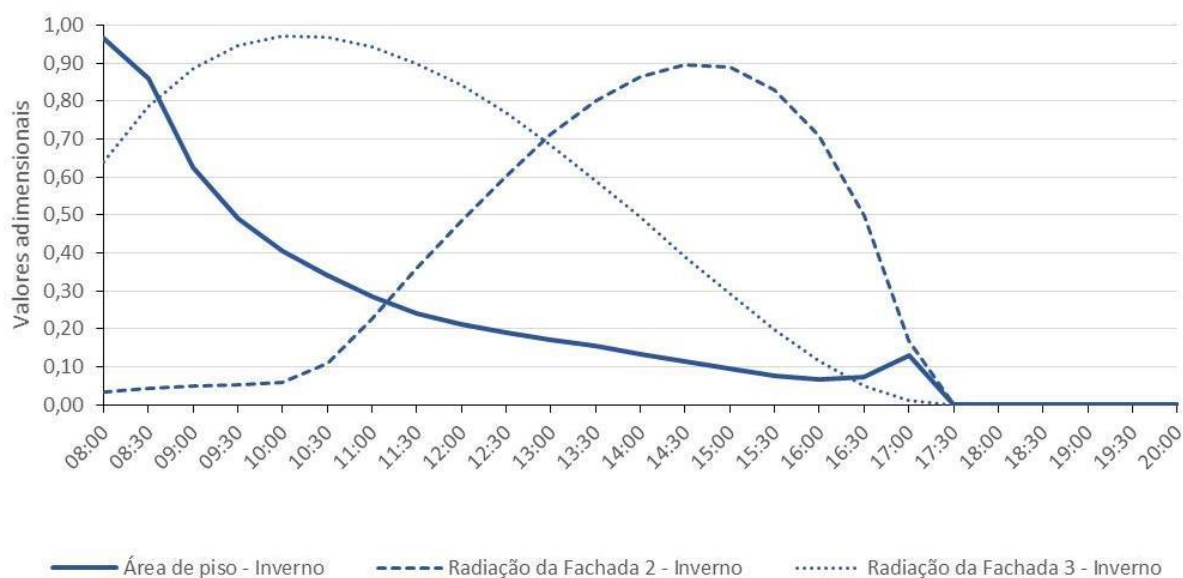


Gráfico 35 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa – inverno
 Fonte: Autoria própria

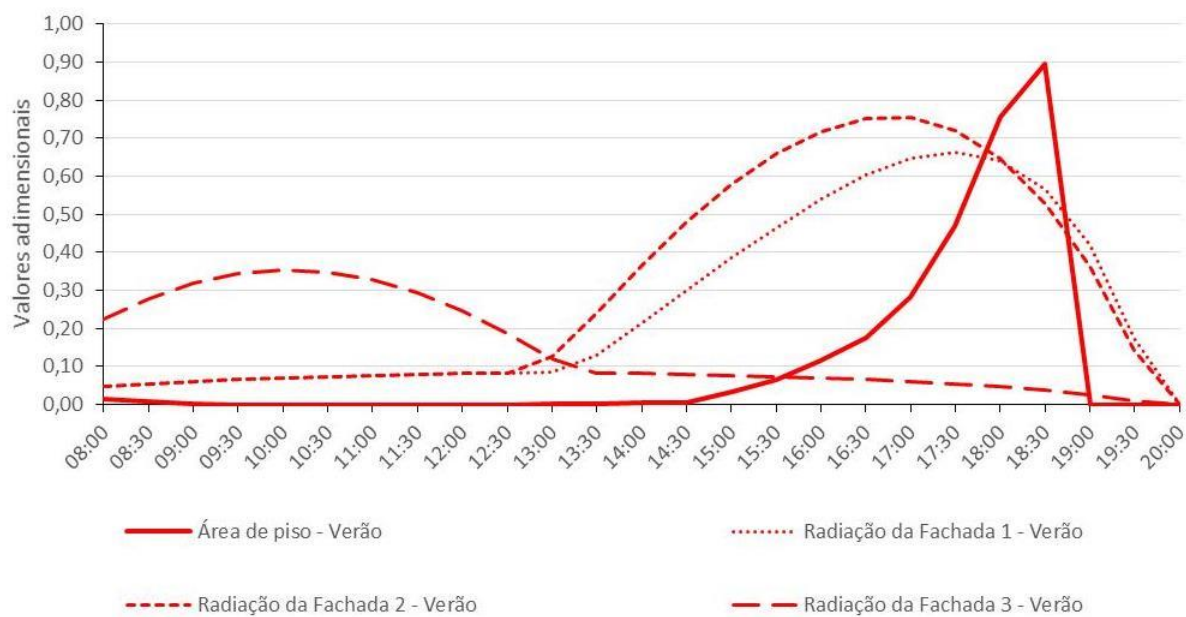


Gráfico 36 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa – verão
 Fonte: Autoria própria

4.2.3.13 Radiação solar direta na biblioteca de Santa Helena

Para a biblioteca de Santa Helena, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 5 m^2 e da radiação solar 200 Wh/m^2 . O Gráfico 37 indica no

inverno a entrada da luz direta do Sol ocorre das 10:30h às 17:00h. No verão, se restringe a entrada de luz direta no período da manhã e ao final da tarde. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 10:30h às 17:00h – fachada 2 (norte).

Verão: 08:00h às 12:00h e 14:00h às 19:00 – fachada 4 (sul).

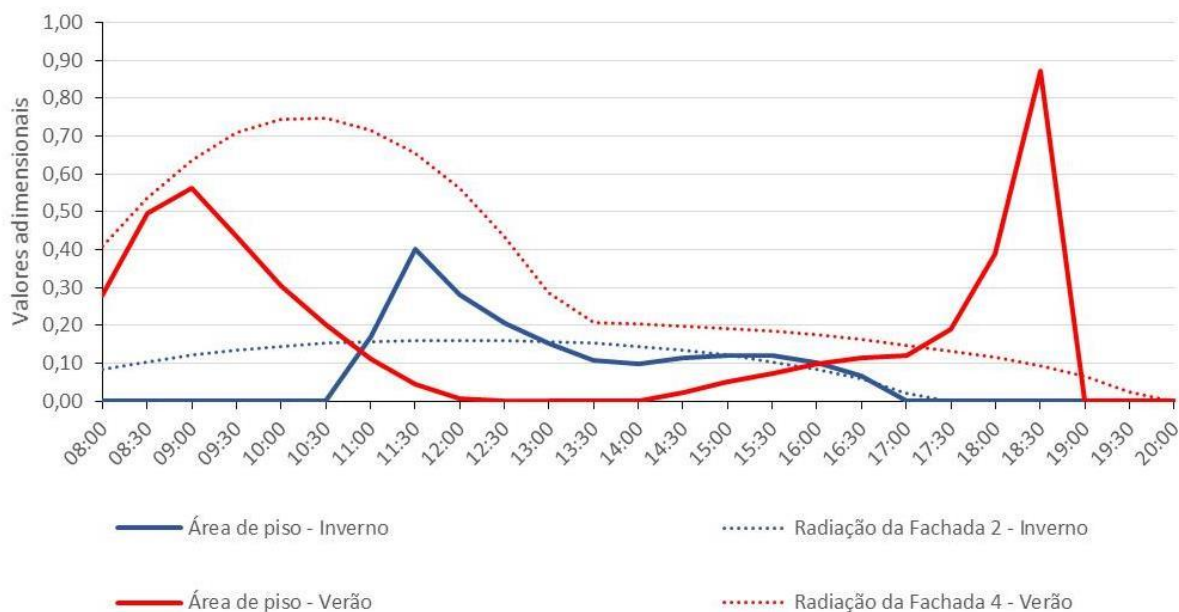


Gráfico 37 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Santa Helena

Fonte: Autoria própria

4.2.3.14 Radiação solar direta na biblioteca de Toledo

Para a biblioteca de Toledo, a base de cálculo para a unidade adimensional da área foi 100 m² e da radiação solar 500 Wh/m². O Gráfico 38 indica que as maiores incidências da luz direta do Sol ocorrem no período da manhã tanto no inverno quanto no verão. A proteção solar sugerida deve atuar no:

Inverno: 08:00h às 12:30h – fachada 1 (leste).

Verão: 08:00h às 12:00h – fachada 1 (leste);

16:00a às 19:30h – fachada 2 (sul).

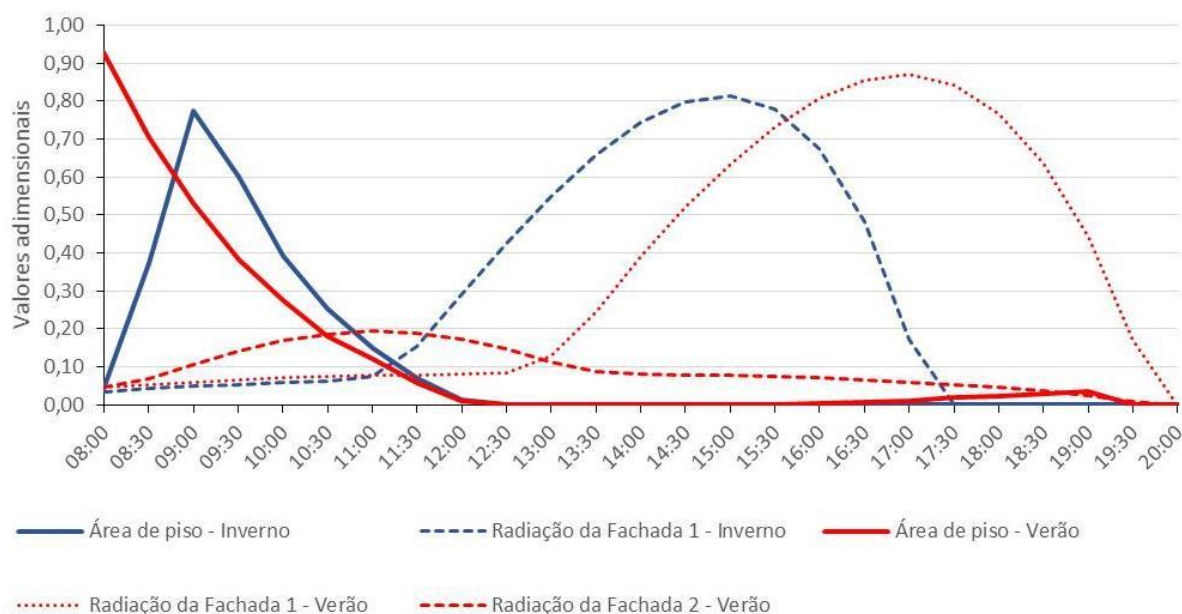


Gráfico 38 – Gráfico de radiação solar direta na biblioteca de Toledo
Fonte: Autoria própria

4.3 SUGESTÕES DE *RETROFIT*

Os dados coletados da iluminação artificial e da radiação solar dos ambientes das bibliotecas foram analisados de forma separada por se tratarem de situações independentes, neste sentido, a sugestão para a adoção de melhorias também está separada por área. A primeira a ser apresentada é a solução para um caso da iluminação artificial, a segunda é a solução para outro caso da radiação solar direta nos ambientes.

4.3.1 *Retrofit* na iluminação artificial

Durante os cálculos da iluminância média e a classificação da eficiência energética das áreas de acervo e leitura das bibliotecas constatou-se a grande dificuldade em conciliar a potência da iluminação limite com a iluminância média necessária.

A solução de *retrofit* no sistema de iluminação artificial apresentada aplica-se a biblioteca de Dois Vizinhos, a qual apresentou os valores de densidade de potência de iluminação mais desfavoráveis em relação as demais bibliotecas.

Um dos fatores do desempenho ruim desta biblioteca, já relatado nas análises anteriores, foi a alteração do layout da biblioteca sem a alteração do sistema de iluminação. Outro fator a ser considerado são as estantes de livros que devido as suas dimensões causam sombreamento e conseqüentemente devem ser previstos cuidados maiores na sua iluminação. Situação similar a esta, ocorre nas baias de estudo individual, onde há divisórias da 1,3m de altura para separar cada baia.

Durante o processo projeto de um novo sistema de iluminação artificial, verificou-se que as particularidades do ambiente impediram a manutenção das luminárias existentes, bem como as lâmpadas atualmente utilizadas.

As alterações realizadas nos cálculos do novo sistema de iluminação foram:

- a) Altura de montagem das luminárias passou de 2,60m para 3,00m, essa alteração diminui as áreas de sombreamento e aumenta a uniformidade na iluminação;
- b) Nas áreas de estantes e circulações, substituição das luminárias de lâmpadas fluorescentes tubulares de 2x32 W com aletas para luminárias de lâmpadas fluorescente compactas de 26 W, diminuindo assim a potência da iluminação na área de acervo.
- c) Nas áreas de leitura, substituição das luminárias de lâmpadas fluorescentes tubulares de 2x32 W com aletas para luminárias de lâmpadas fluorescente tubulares de 2x28 W, pois este tipo de lâmpada possui um fluxo luminoso maior;
- d) O conceito do projeto foi alterado de um arranjo flexível das mesas de trabalho para um sistema de áreas de trabalho delimitadas, considerando-se assim a iluminância mantida de 500 lux para a área de trabalho e 300 lux no entorno imediato;
- e) Nas baias de estudo individuais, a iluminação da tarefa foi prevista com luminária de mesa com comando individual e integrado ao mobiliário. Este tipo de iluminação não é considerado nos cálculos da densidade de potência de iluminação do RTQ-C.
- f) Todas as luminárias próximas às janelas possuem comando independente, separadas por setores, para aproveitamento da luz natural.

As alterações do novo projeto de iluminação artificial foram simuladas em um modelo 3D da biblioteca com auxílio do *software* Dialux evo 5.0 e os resultados encontrados foram satisfatórios.

O modelo da nova iluminação prevê o posicionamento do mobiliário conforme orientações da NBR 9050, que descreve sobre acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamento urbanos. A principal mudança proposta no *layout* foi prever nas áreas de circulação, entre estantes e entre as mesas um espaçamento de no mínimo 90 cm para circulação de cadeira de rodas.

A Figura 63 mostra a disposição das luminárias compatibilizadas com o *layout* do mobiliário da biblioteca.



Figura 63 – Layout das luminárias do projeto de retrofit
Fonte: Autoria própria

Desta forma, a área de acervo foi simulada com luminárias da Lumicenter modelo EF06-S126, utilizando uma lâmpada fluorescente compacta de 26 W. A área de leitura foi simulada com luminárias modelo FAC07-S228 também da Lumicenter, utilizando duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28 W. O resultado final é descrito nas Figuras 64 e 65. As curvas *isolux* mostram 500 lux de iluminância sobre as áreas das mesas de estudo e 300 lux no entorno imediato. Nas áreas de acervo a iluminância está acima dos 200 lux, as áreas indicadas na figura com índices de 5 a

10 lux são os topos das estantes. A condição de uniformidade também foi assegurada conforme orientações de norma.

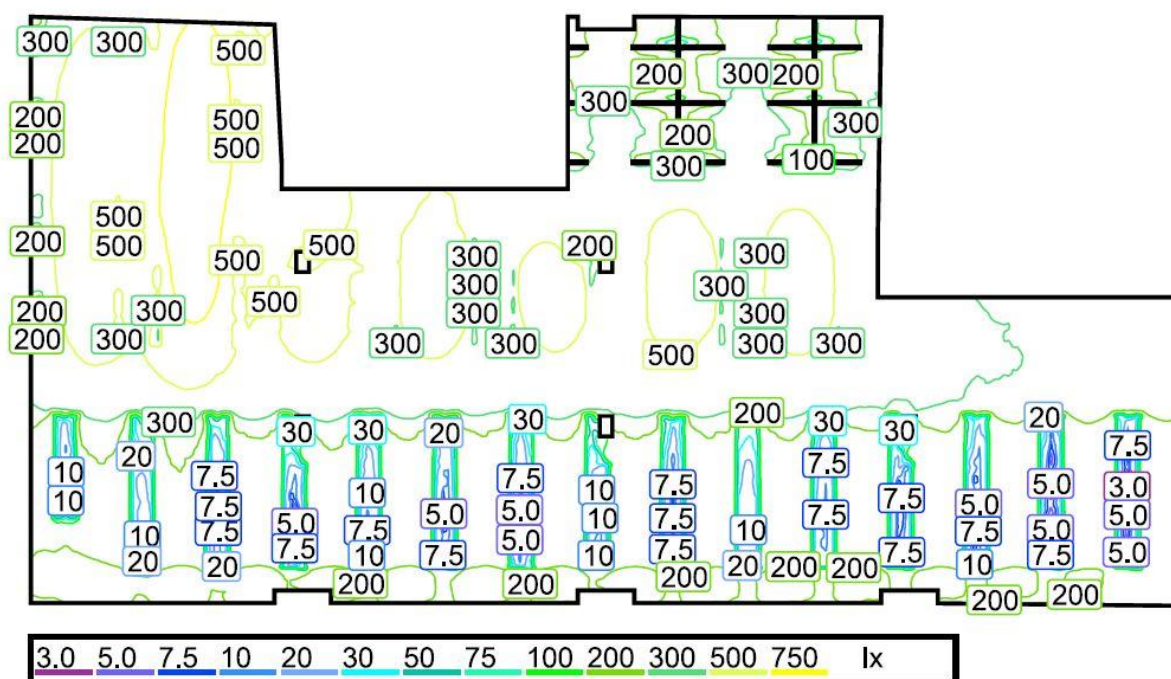


Figura 64 – Simulação DIALUX – acervo e leitura da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria

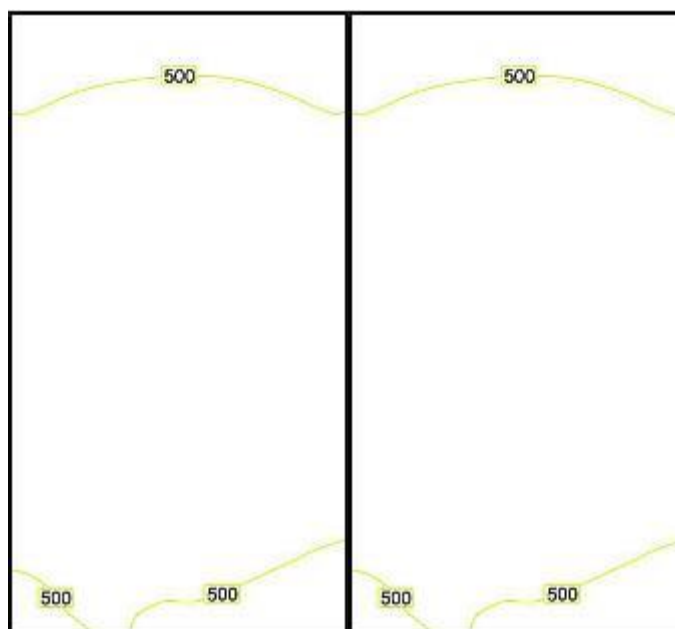


Figura 65 – Simulação DIALUX – Salas de estudo da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria

A potência de iluminação total das áreas de leitura e acervo calculada foi de 2.820 W, sendo a potência prevista para o nível de eficiência A é de até 3.005 W. Desta forma, considerando que os pré-requisitos de divisão de circuitos, aproveitamento da luz natural e o sistema de desligamento automático após as 23:00h sejam atendidos, a biblioteca de Dois Vizinhos estaria classificada com nível A de eficiência energética no sistema de iluminação pelo RTQ-C.

A Figura 66 mostra a visão tridimensional da distribuição das luminárias e a representação simbólica da distribuição da luz nos ambientes de leitura e do acervo.

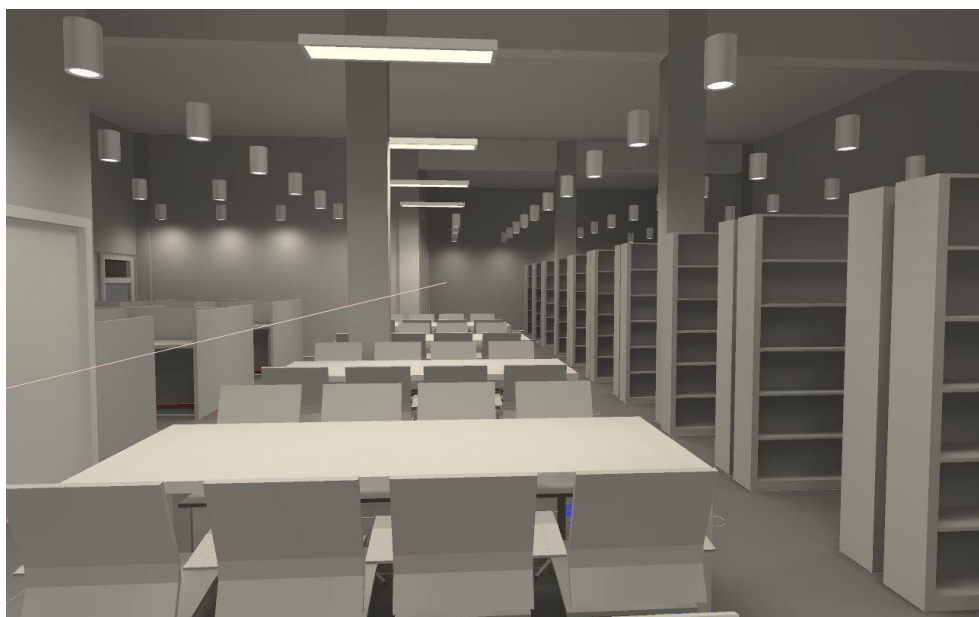


Figura 66 – Ambiente interno com a solução de *retrofit* da iluminação artificial da biblioteca de Dois Vizinhos
Fonte: Autoria própria

Para a definição do modelo simulado, foram especificadas as refletâncias de teto em 70%, paredes em 50% e piso em 20%.

Nas várias simulações realizadas para se chegar ao resultado apresentado, verificou-se que o uso de um modelo de luminária para ser utilizada em todas as áreas da biblioteca não seria possível atender os critérios da iluminância média de 500 lux e o limite de potência de iluminação exigido para a o nível A de eficiência energética simultaneamente. A mesma situação foi verificada quanto ao posicionamento das luminárias, onde a distribuição uniforme ignorando o *layout* do mobiliário, na tentativa de deixar o sistema de iluminação flexível para atender qualquer alteração de layout, também não houve sucesso. Nessas condições, o sistema de iluminação de bibliotecas deve ser projetado exatamente para o layout a

ser utilizado nos ambientes, dessa forma o sistema de iluminação pode ser otimizado para que atinja nível máximo de eficiência energética.

Cabe salientar que as condições das baias de leitura individual, onde o há muito sombreamento devido às divisórias que as separa, a iluminação da área de trabalho foi prevista através de luminárias individuais com comando em cada baia, possibilitando a iluminância de 500 lux sem alterar a densidade de potência do sistema. Essa iluminação das baias não está simulada no modelo de *retrofit*.

A sugestão para a luminária de mesa para instalação nas baias de leitura individual é o modelo pelicano com uma lâmpada fluorescente compacta de 9 W, como mostra a Figura 67.



Figura 67 – Luminária de mesa modelo pelicano
Fonte: Startec (2015)

A sugestão de *retrofit* apresentada para o caso da iluminação artificial pode ser implementada em qualquer biblioteca estudada, desde que adotado os critérios os mesmos critérios adotados no caso da biblioteca de Dois Vizinhos.

4.3.2 *Retrofit* da iluminação natural

Das análises realizadas com os modelos das bibliotecas, constatou-se que o fator da entrada da luz direta no interior dos ambientes é um dos principais problemas a serem resolvidos, uma vez que a maioria das bibliotecas possuem de 10% a 40% de área envidraçada em relação a sua área de piso.

A biblioteca de Ponta Grossa foi escolhida para a adoção de uma sugestão de *retrofit* devido a sua área envidraçada ter a segunda maior proporção, a maior proporção é da biblioteca de Dois Vizinhos, e também por ela possuir a maior taxa de incidência da luz direta nos dias de inverno e verão. Durante as verificações *in*

loco da biblioteca, observou-se que o controle da luz está sendo por cortinas do tipo blackout, como dito anteriormente.

A solução escolhida para melhorar o conforto visual durante o dia e também possibilitar o uso da iluminação natural para contribuir com o sistema de iluminação foi o uso de prateleiras de luz em conjunto com *brises* fixos, pois este tipo de solução tem um bom sombreamento aliado à utilização da luz natural e proteção ao ofuscamento (LAAR; 2001). Além destas características, esta solução melhora o desempenho térmico da edificação.

A Figura 68 mostra de forma simplificada como poderá ser a solução para a biblioteca de Ponta Grossa. A situação ideal seria um estudo com auxílio da carta solar aplicada a cada fachada para que as orientações das fachadas fossem escolhidas durante o projeto da edificação, bem antes da sua implantação. Entretanto, esta situação nem sempre é possível ser implementada por limitações de espaço nos terrenos, viabilidade econômica ou questões de topografia do local. A solução considera a instalação de *brises* protegendo toda extensão das janelas alinhadas com um pequeno beiral existente. As placas são de 15cm de profundidade, altura de 2 cm com inclinação de 15° e 10 cm de afastamento uma da outra.

A prateleira de luz na parte superior possui uma largura de 1,90 m avançando no lado externo da edificação e internamente 1,66m. Como a altura de montagem das luminárias está a 3,7 m e a prateleira está prevista para ficar a uma altura de 2,92 m, as luminárias desta área devem ser realocadas abaixo da prateleira. A prateleira foi definida nesta altura para harmonizar com a janela existente, deixando uma folha de vidro acima dela para a entrada da luz na parte superior.

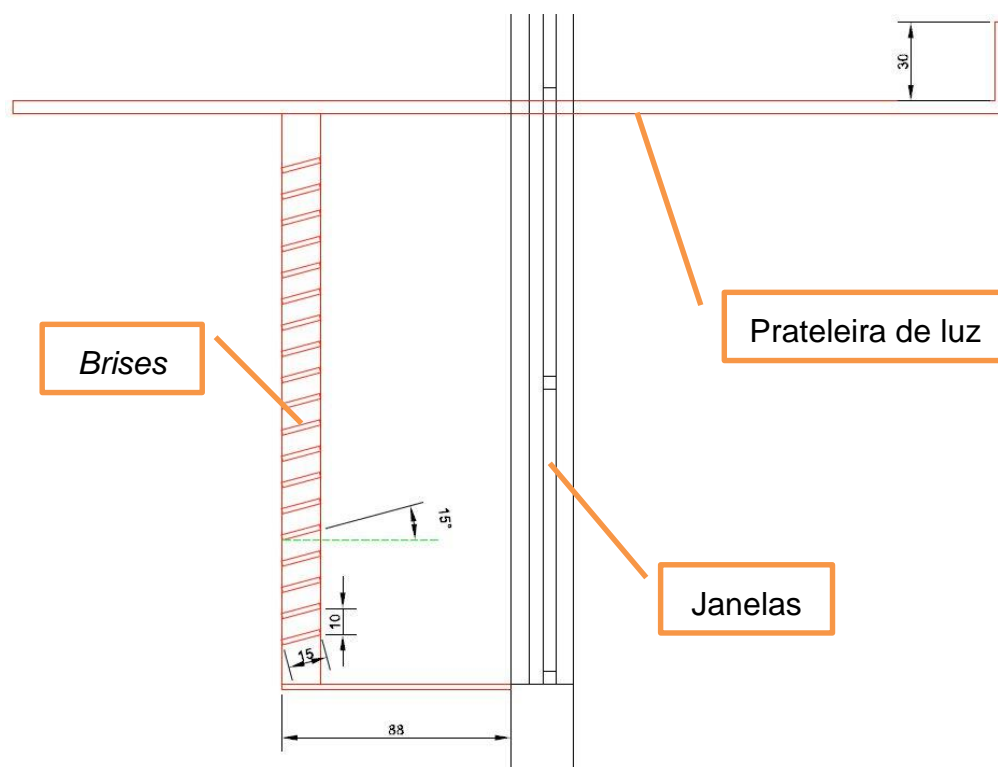


Figura 68 – *Brises* e prateleiras de luz sugeridas para a biblioteca de Ponta Grossa
Fonte: Autoria própria

Na Figura 69 pode-se verificar como ficaria o corte da edificação juntamente com a instalação dos elementos de sombreamento desenhados em vermelho.

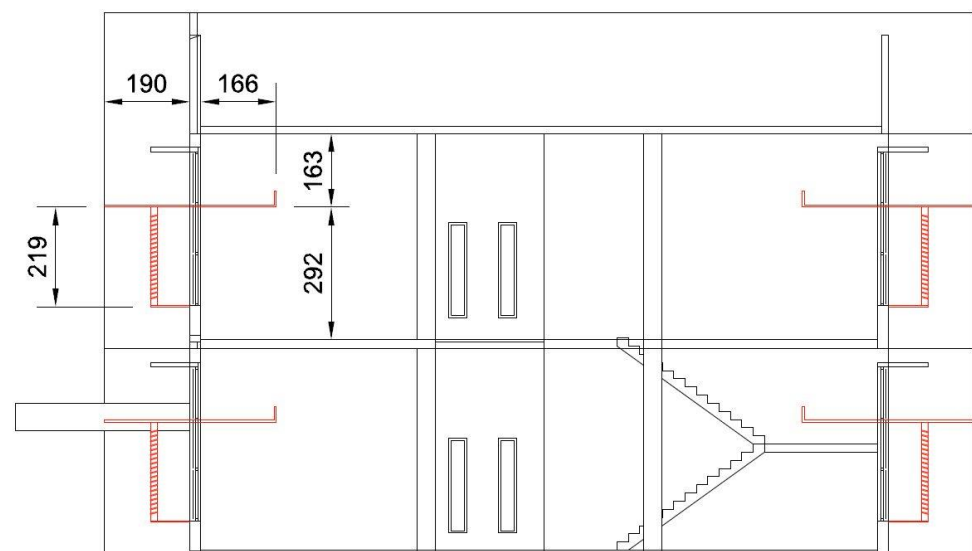


Figura 69 – Corte transversal da edificação com a instalação dos elementos de sombreamento
Fonte: Autoria própria

Na Figura 70 são mostradas as situações de antes e depois da instalação das proteções na maquete da biblioteca. Os elementos de proteção foram previstos para que se tenha a menor interferência possível nas fachadas.

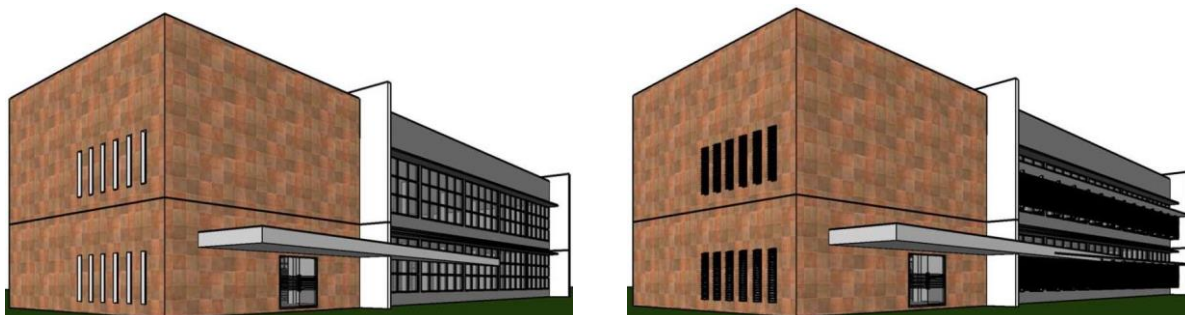


Figura 70 – Fachada da biblioteca de Ponta Grossa antes e depois da instalação dos elementos de sombreamento
Fonte: Autoria própria

Os efeitos da instalação das proteções foram muito positivos, a maquete passou por uma nova simulação de incidência de luz direta no inverno e no verão e a entrada da luz direta do Sol para esta solução foi menor que 0,5% da área da biblioteca.

As Figuras 71 e 72 mostram os resultados conseguidos no inverno, considerando o horário das 9:00h, como ficaram a incidência da luz direta antes e depois da instalação das proteções na fachada 3 (norte).



Figura 71 – Entrada da luz direta no inverno sem proteção
Fonte: Autoria própria

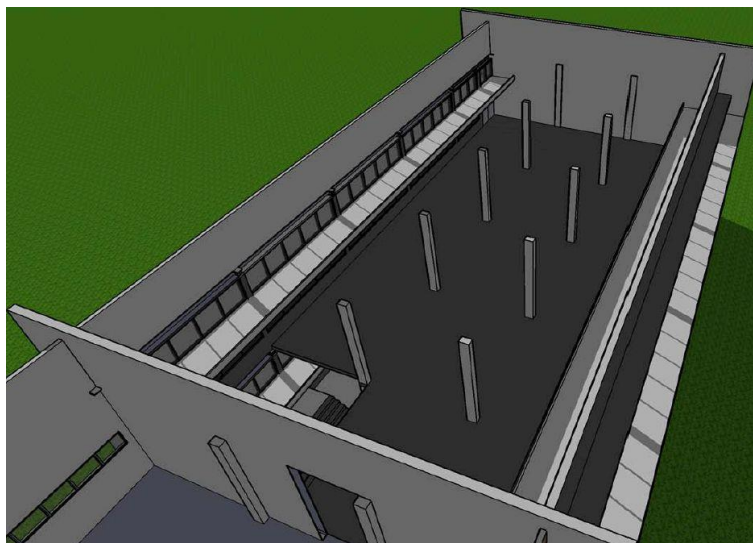


Figura 72 –Entrada da luz direta no inverno com proteção
Fonte: Autoria própria

As Figuras 73 e 74 mostram os resultados conseguidos no verão, no horário das 17:30h, como ficaram a incidência da luz direta antes e depois da instalação das proteções na fachada 1 (sul). As imagens foram simuladas através do ponto de vista de um observador em pé no interior do 1º pavimento da biblioteca.

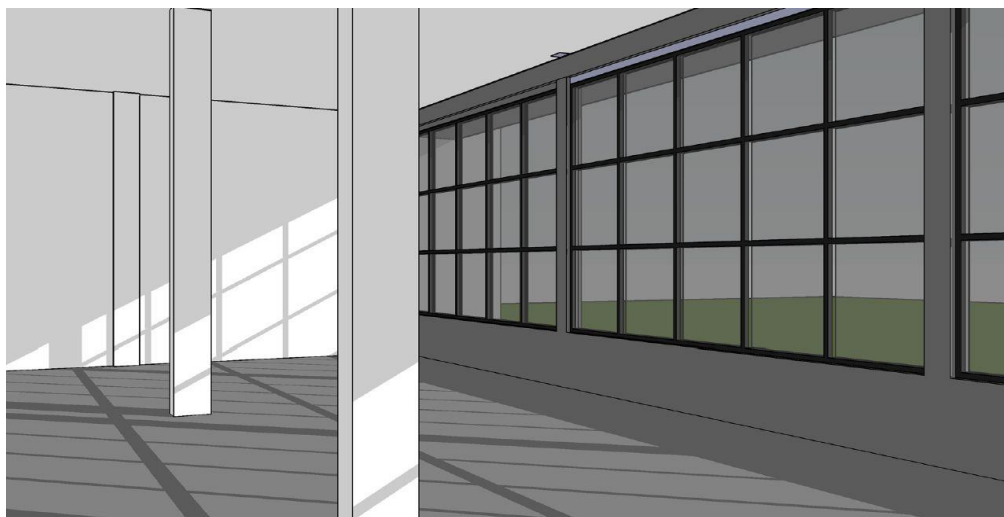


Figura 73 – Entrada da luz direta no verão sem proteção
Fonte: Autoria própria



Figura 74 – Entrada da luz direta no verão com proteção
Fonte: Autoria própria

Constata-se que além da proteção da radiação direta do Sol no interior da edificação, os *brises* instalados não bloqueiam totalmente a paisagem externa, ao contrário das cortinas tipo blackout.

A adoção desta solução para as demais bibliotecas da UTFPR pode ser estudada conforme as características de fachada, radiação solar e área envidraçada que este estudo apresenta. A simulação realizada na biblioteca de Ponta Grossa, a qual foi avaliada como a situação mais desfavorável em relação à radiação solar, comprova que a radiação solar direta pode ser controlada a níveis aceitáveis, sem a necessidade de uso da película de proteção solar nos vidros, bem como cortinas que prejudicam a contribuição da luz natural no sistema de iluminação.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas de iluminação das bibliotecas da UTFPR analisadas obtiveram variações nos resultados se comparadas entre uma biblioteca e outra, mas no contexto geral constatou-se que a maioria necessita de adequações tanto na iluminação artificial quanto na iluminação natural.

Na iluminação artificial, a iluminância média de todas as áreas de acervo ficou em torno de 259 lux e nas áreas de leitura a média geral foi de 376 lux. Apesar dos índices de uniformidade na área de acervo estar aquém do recomendado, a iluminância média possui um bom desempenho, ao contrário das áreas de leitura. A biblioteca de Ponta Grossa possui a iluminância média da área de leitura acima dos 500 lux recomendados pela norma, as demais bibliotecas não atingiram esta média.

Ainda sobre a iluminação artificial, o nível de eficiência energética das bibliotecas analisadas foi nível C em média. O atendimento aos pré-requisitos para melhores níveis de eficiência foi a principal causa da baixa classificação, entretanto quando a meta da eficiência é o nível A, a densidade de potência de iluminação das bibliotecas deve ser melhorada em 43% das bibliotecas analisadas.

As análises comprovaram que exceto a biblioteca de Ponta Grossa, as demais bibliotecas necessitam aumentar a média da iluminância nos ambientes ao passo em que a densidade de potência de iluminação deve ser diminuída ou mantida. Esta equação revelou-se de difícil balanceamento quando o sistema de iluminação artificial proposto como *retrofit* da biblioteca de Dois Vizinhos estava sendo calculado. Verificou-se que as bibliotecas da UTFPR, onde o horário de funcionamento inclui o período da noite, o projeto do sistema de iluminação deve estar compatibilizado com o layout do mobiliário. Sem esta vinculação, o projeto do sistema de iluminação não consegue atender as condições da NBR ISO/CIE 8995-1 e estar classificada como nível A de eficiência pelo RTQ-C.

A exceção do sistema de iluminação artificial da biblioteca de Ponta Grossa se deve por alguns fatores: o sistema de iluminação é novo, ainda não sofreu nenhuma depreciação quanto ao uso; assim como o sistema de iluminação é novo, a edificação é nova, possui paredes claras e piso claro; o mobiliário ainda não estava instalado; as divisórias internas ainda não estavam instaladas. Apesar destas condições, optou-se por incluir esta edificação, mesmo em processo de implantação, pelo fato da biblioteca antiga estar sendo desativada. Outro fator importante é que

após a ocupação da biblioteca poderá ser verificada a variação existente na iluminância média antes e depois da ocupação, no caso de continuidade desta pesquisa.

O uso das maquetes eletrônicas se mostrou uma boa ferramenta para a verificação e o planejamento das edificações, principalmente pela facilidade de se inserir elementos externos entorno da edificação que possam interferir na disponibilidade da luz natural. O estudo do comportamento da luz direta do Sol em fachadas, bem como no interior das edificações pode ser realizado na etapa de projeto. Durante o processo de análise dos modelos das bibliotecas constatou-se que a maioria das bibliotecas possui uma boa área envidraçada, possibilitando a entrada da luz natural em seus ambientes. Já a incidência da luz direta no interior das bibliotecas deve ser controlada de forma mais eficiente, evitando o uso de cortinas e *blackouts* e adotando a utilização de prateleiras de luz juntamente com *brises*.

5.1 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

Este trabalho gerou 14 maquetes eletrônicas atualizadas das bibliotecas da UTFPR que juntamente com os dados de leitura da iluminância média do sistema de iluminação podem ser utilizadas para futuras pesquisas, como:

- Avaliação da envoltória e do sistema de condicionamento de ar das bibliotecas proposto pelo RQT-C e propostas de *retrofit* para obtenção do nível A de eficiência energética.
- Aprofundar os estudos das bibliotecas e apresentar pré-requisitos para elaboração de projetos de bibliotecas visando a obtenção do selo ENCE nível A de eficiência energética.
- Realizar a avaliação das bibliotecas com base em outras certificações como o AQUA - Alta Qualidade Ambiental e LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*.
- Avaliação do conforto térmico das bibliotecas da UTFPR, sugerindo soluções para a melhoria da ventilação e temperatura interna.
- Avaliação quantitativa da iluminação natural das bibliotecas da UTFPR, visando quantificar os índices de ofuscamento provocado

pela incidência direta da luz considerando a película de controle solar instaladas nos vidros.

- Aprofundar os estudos da iluminação artificial e natural para verificação da economicidade de sistemas com níveis de eficiência energética elevados e baixos.

REFERÊNCIAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/destaquesInt.aspx?id=39>>. Acesso em: 11 jul. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. São Paulo, 2010.

AMARAL, S. A.; FORTES, Lígia Sardinha. **Cuidados com o Ambiente Físico das Bibliotecas Universitárias: Preocupação Supérflua ou Necessária?** In: XIII SEMINÁRIO NACIONAL DE BIBLIOTECAS UNIVERSITÁRIAS, 2004, Natal. Apresentação de Trabalhos Livres: Comunicação Oral. Natal: UFRN, 2004.

AMORIM, C. N. D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética - Parte I. Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15215-3: **Iluminação natural - Parte 3 - Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15215-4: **Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR9050: **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **"Daylighting in Architecture": A European Reference Book**. Londres: James & James Editors, 1993.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings**. Londres: James & James, 2002.

BARTHEM, R. B. **A Luz**. São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2005.

BELLIA, L.; PEDACE, A.; BARBATO, G. **Lighting in educational environments: An example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants**. *Building and Environment* v. 68 p. 50-65, 2013.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: Diretrizes para Arquitetos**. , 4ª ed. Maceió: EDUFAL, 2004.

BRASIL. **Decreto nº. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm>. Acesso em: 19 nov. 2013.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/L10295.htm>. Acesso em: 14 nov. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Interministerial nº. 1.007, de 31 de dezembro de 2010**. Regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MME-MCT-MDIC_n_1.007-2010.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CABE. **Better public libraries**. Disponível em <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110118095356/http://www.cabe.org.uk/files/better-public-libraries.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2014.

Council on Library and Information Resources - CLIR. **No Brief Candle: Reconceiving Research Libraries for the 21st Century**. Washington DC, 2008. Disponível em <<http://www.clir.org/pubs/reports/pub142/pub142.pdf>> Acesso em: 20 out. 2014.

DALL'O, G.; SARTO, L. **Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy**. *Energy and Buildings* v. 67 p. 298–308, 2013.

DIAS, M. M. K.; PIRES, D. **Formação e desenvolvimento de coleções de serviços de informação**. São Carlos: EdUFSCar, 2003.

DORIGO, A. L. **Condições de luz natural em ambientes escolares – estudo do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do paraná**. 2007. 125 f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, São Paulo.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. 2009. 249f. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

FIGUEIRÓ, M. **A Luz e a sua relação com a saúde**. LUME, São Paulo, Ano VIII, Nº 44, Junho de 2010.

FROTA, A.B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 289 p, 2004.

GHISI, E., **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997. 246 f. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria nº. 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

KONINKLIJKE PHILIPS N.V. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_conceitos_de_iluminacao.wpd>. Acesso em: 11 abr. 2014.

KRAUSSE, B; COOK, M., LOMAS, K. **Environmental performance of a naturally ventilated city centre library**. Energy and Buildings v. 39 p. 792–801, 2007.

KWONG, Q. J.; ADAM, N. M.; SAHARI, B.B. **Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review**. Energy and Buildings v. 68 p. 547–557, 2013.

LAAR, M. **Light and shadow – an analysis of daylighting and shadowing systems for the tropics**. In: PLEA 2001. The 18 TH International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis SC, 2001.

LEITÃO, B. J. M. **Avaliação Qualitativa e Quantitativa Numa Biblioteca Universitária**. Rio de Janeiro: Interciência v. 1, 148 p, 2005.

LUCKER, J. K. **The evolution of research library buildings**. Computer Methods and Programs in Biomedicine v. 44 p. 155-160, 1994.

LUMICENTER – **Catálogo técnico Lumicenter Lighting**. Disponível em: < <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

MA, Z.; COOPER, P.; DALY, D.; LEDO, L. **Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art**. Energy and Buildings v. 55 p. 889–902, 2012.

MARTAU, B. T. **A Luz além da visão**. LUME, São Paulo, Ano VII, Nº 38, Junho de 2009.

MASCARÓ, L. R. L., **Clima e Arquitetura**. São Paulo, Ed. Nobel, 1989.

MENDES N.; WESTPHAL F. S.; LAMBERTS R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Fatores de emissão de CO₂**, 2013 disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>. Acesso em: 22 nov. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011. P. 159-160. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, SC, 2011.

NGUYEN, T. A.; AIELLO, M. **Energy intelligent buildings based on user activity: A survey**. Energy and Buildings v. 56, p. 244–257, 2013.

OSTERHAUS, W. K. E. **Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments**. Solar Energy v.79 p. 140–158, 2005.

PEREIRA, F. O. R. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação**. 1993. 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente onstruído, ANAIS. Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC.

PEREZ, R.; INEICHEN, P.; SEALS, R.; MICHALSKY, J.; STEWART, R. **Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance**. Solar Energy, v.44, n.5, p. 271-289, 1990.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. **All-weather model for sky luminance distribution-Preliminary configuration and validation**. Solar Energy, v.50, n.3, p. 235-245, 1993.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. **A review on buildings energy consumption information**. Energy and Buildings v. 40, p. 394–398, 2008.

PERIN, A. L.. **Desenvolvimento de um equipamento para medição de emissividade**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PIMENTEL, M., FUKS, H., LUCENA, C.J.P. **Um Processo de Desenvolvimento de Sistemas Colaborativos baseado no Modelo 3C: RUP- 3C-Groupware**. 2008. IV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação – SBSI, ANAIS. Rio de Janeiro

PINTO, S. R. **Análise das condições de iluminação das bibliotecas públicas municipais na cidade de São Paulo: diretrizes para um melhor aproveitamento da luz natural e redução do uso da iluminação artificial**. 2008. 659 f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia da Arquitetura - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório Procel Resultados 2013 - ano base 2012**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B8C4A271C-8CC7-48B8-BDCE-16947CB6DEC4%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>> Acesso em: 15 nov. 2013.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. 2006. Disponível em: <<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/daysim-tutorial>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. **Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds**. Energy and Buildings, v.33, n.7, p. 683-697, 2001.

ROBERTS, S. **Altering existing buildings in the UK**. Energy Policy v. 36 p. 4482–4486, 2008.

RORIZ, M. Luz do Sol - **Um Software para Estimar o Calor e a Luz Provenientes do Sol**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Gramado. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1995.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. In: **5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 1999. Artigo n. 288. p. 8

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X.; SALES, A. A.; MORAIS, M. **O ensino de BIM: exemplos de implantação em cursos de Engenharia e Arquitetura**. 2011 . In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. ANAIS. Salvador: LCAD/PPGAU-UFBA.

SBF – SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/index.php/publicacoes/imagens/130-espectro-eletromagnetico>>. Acesso em: 11 abr. 2014.

Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MPOG/SLTI. **Instrução Normativa nº. 2, de 04 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/38/MPOG/2014/2.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

SEVERO, H. M. A.; SCALCON, Thiago H. W.; SALBEGO, Adriana G. **Modelagem em 3d: uso do sketchup no desenvolvimento de projetos de engenharia**. 2012. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Universidade Federal

do Pampa. BAGE-RS
<<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/2014>>.

SHANE, J. **Positioning Your Library for Solar (and Financial) Gain. Improving Energy Efficiency, Lighting, and Ventilation with Primarily Passive Technique.** The Journal of Academic Librarianship v.38 p. 115–122, 2012.

SILVA, A. M. S.; SALBEGO, A. G.; SILVA, T. M. V.; BORDOLI, V. S. **Uso do software Sketchup para estudos de orientação solar em projetos de engenharia.** 2013. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Universidade Federal do Pampa. BAGE-RS
<<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/6047>>.

SOUSA, M. N. P. O. **Padrões em projetos arquitetônicos de bibliotecas públicas.** 2012. 237 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

SOUZA, A.; SILVA, C. L.; KRUGER, E. L.; GUERRA, J. C. C. **Gestão da eficiência energética em edificações das instituições públicas de ensino: um estudo aplicado ao sistema de iluminação da UTFPR sob a ótica técnica e econômica.** RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 6, p. 190-209, 2012.

SOUZA, D. F. **Iluminação natural e artificial em bibliotecas da UNICAMP: diagnóstico e recomendações.** 2010. 462 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

STEEMAN, M.; PAEPE, M. De; JANSSENS, A. **Impact of whole-building hygrothermal modelling on the assessment of indoor climate in a library building.** Building and Environment v. 45 p. 1641–1652, 2010.

SUCCAR, B. **Building information modeling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders.** Automation in Construction, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2008.

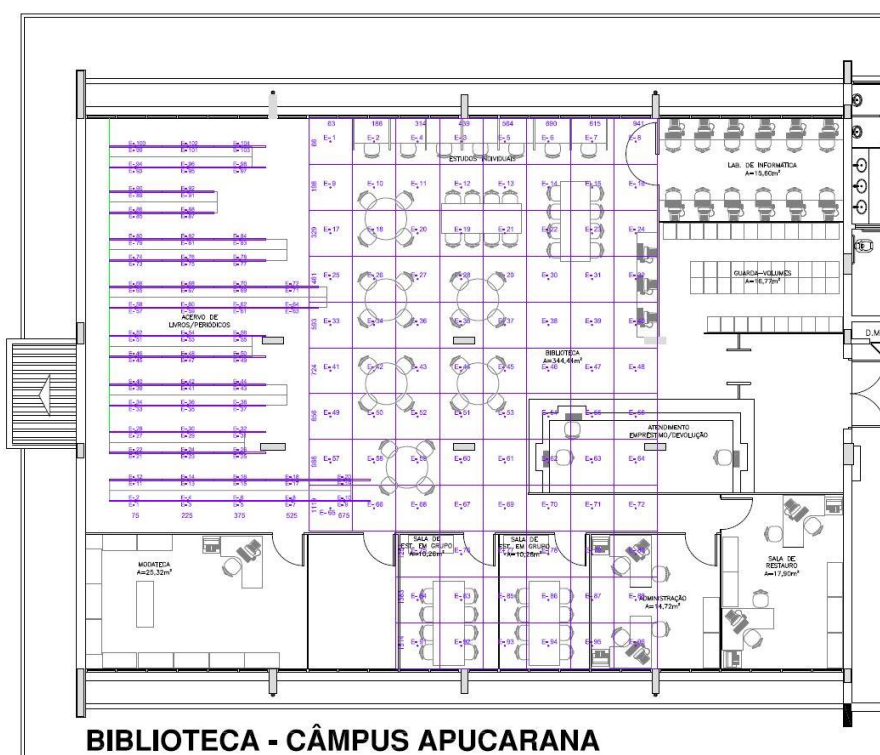
TREGENZA, P.R.; WATERS, I.M. **Daylight coefficients. Lighting Research and Technology**, v.15, n.2, p. 65-71, 1983.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C.S. **Iluminação e arquitetura.** São Paulo: Ed. Geros Ltda, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA MÉDIAS DAS BIBLIOTECAS

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Apucarana.



BIBLIOTECA - CÂMPUS APUCARANA

Malha de pontos da biblioteca de Apucarana
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Apucarana, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

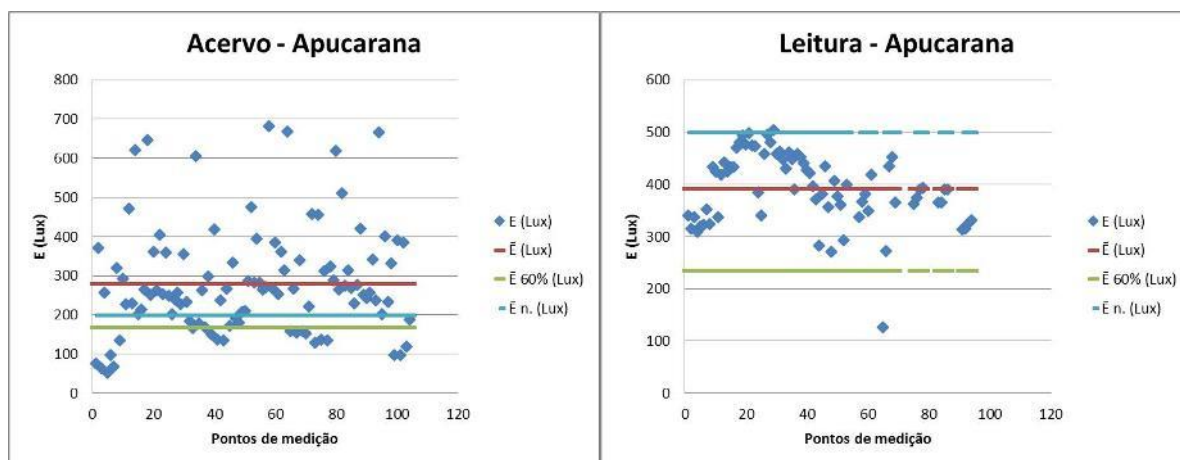
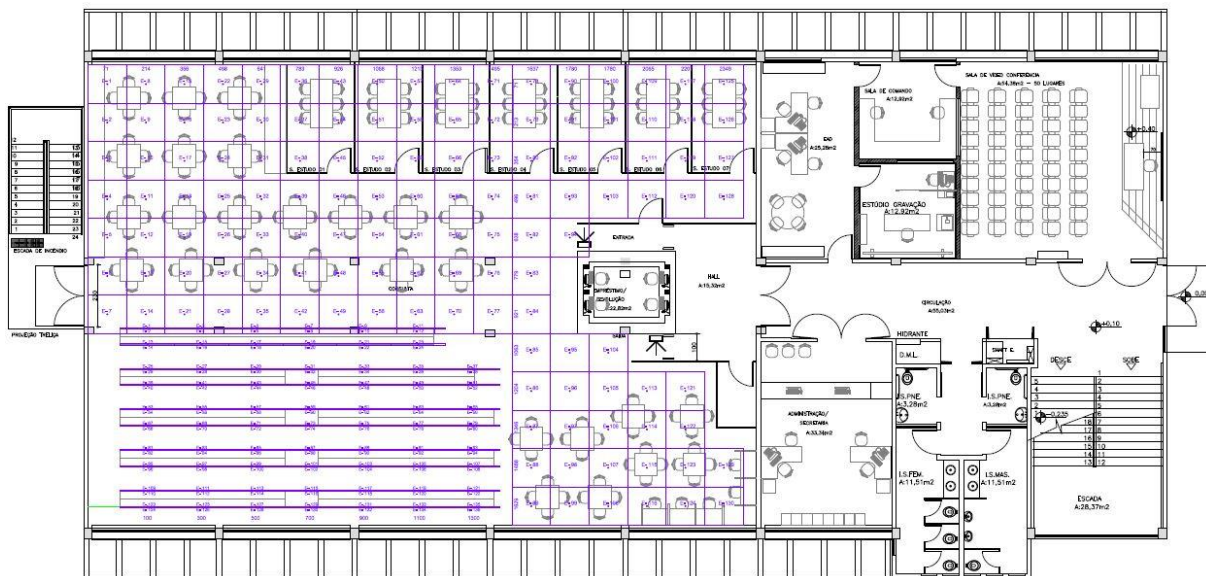


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Apucarana
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Campo Mourão.



BIBLIOTECA - CÂMPUS CAMPO MOURÃO

Malha de pontos da biblioteca de Campo Mourão Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Campo Mourão, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

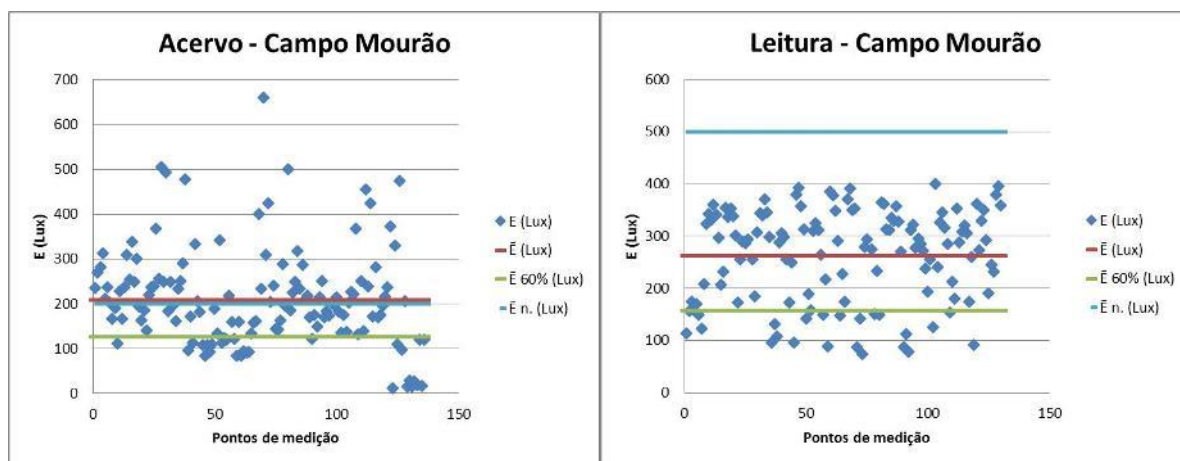
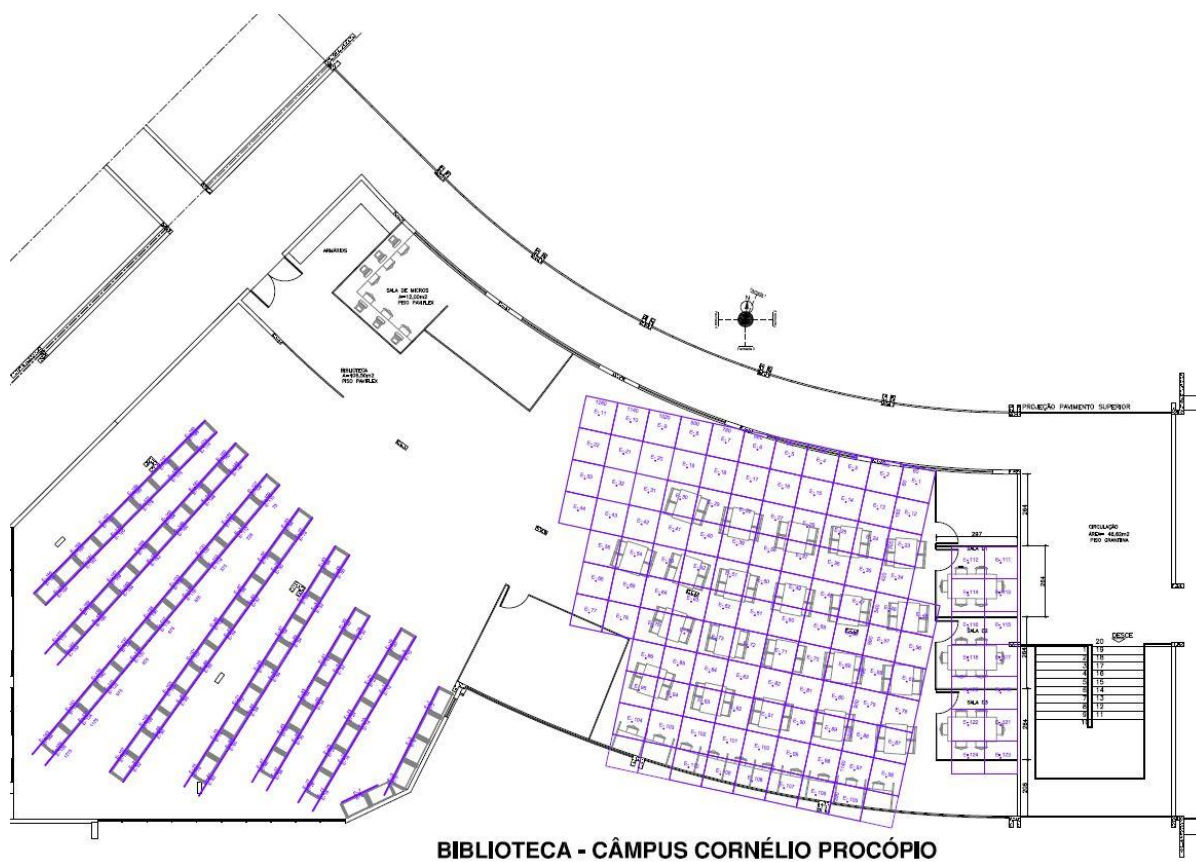


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Campo Mourão
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Cornélio Procópio.



BIBLIOTECA - CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO

Malha de pontos da biblioteca de Cornélio Procópio
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Cornélio Procópio, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

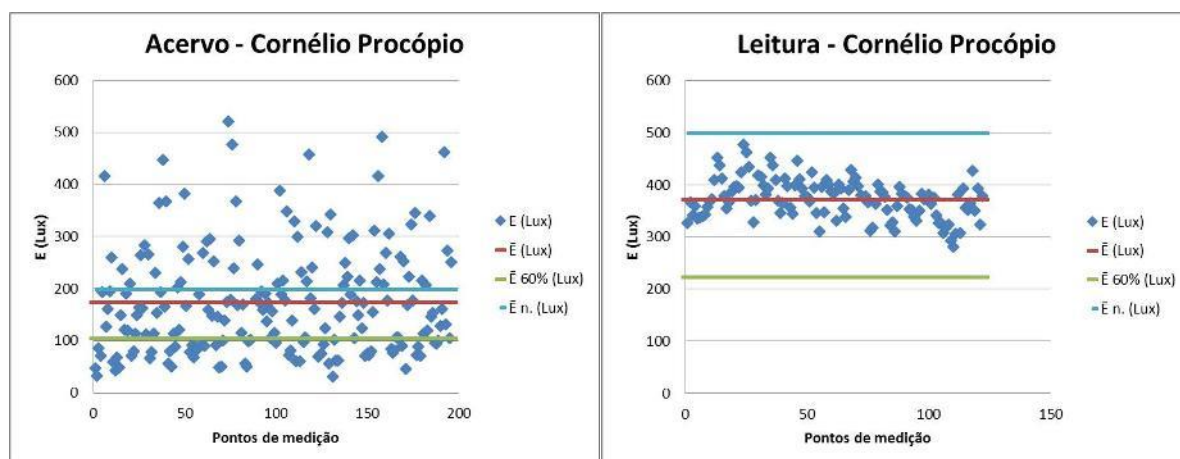
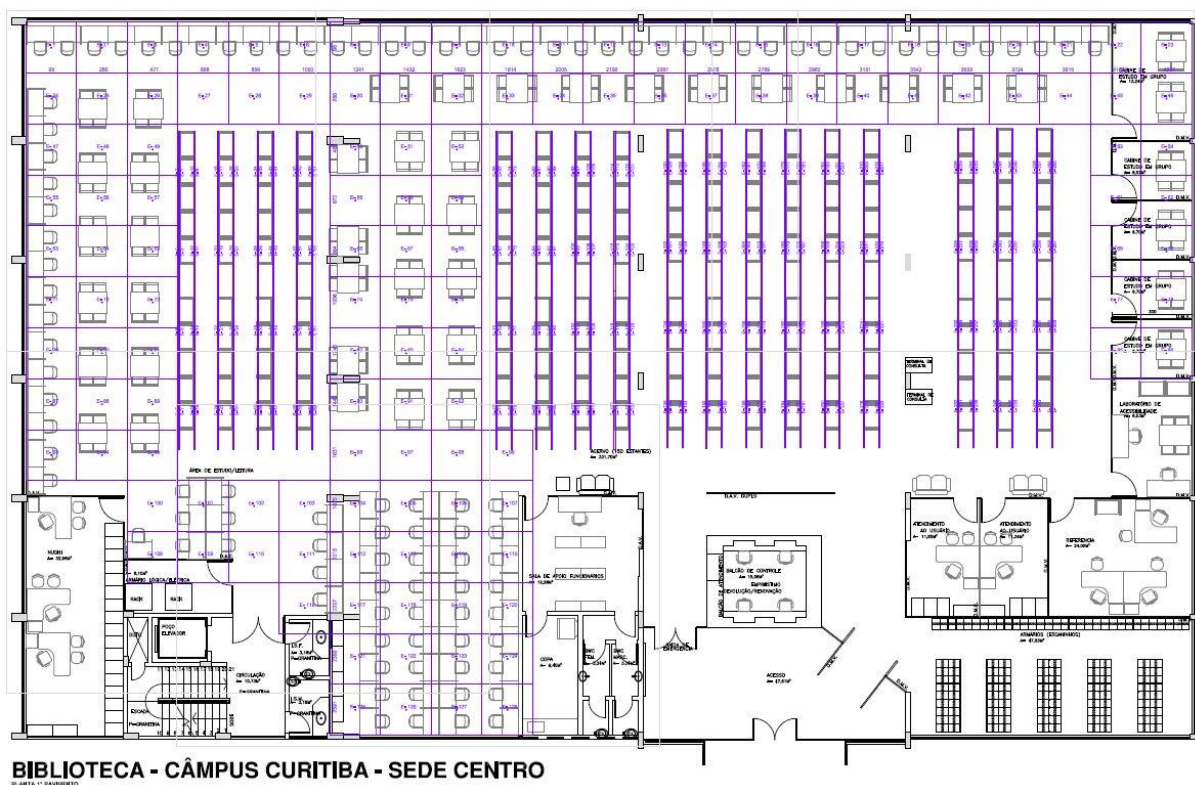


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Cornélio Procópio
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Curitiba - Centro.



Malha de pontos da biblioteca de Curitiba - Centro
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Curitiba - Centro, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

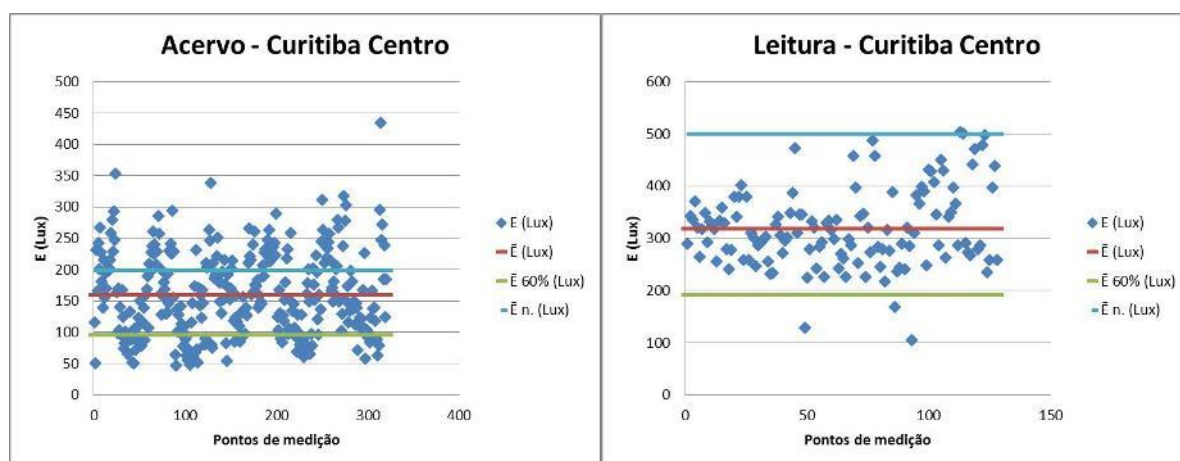
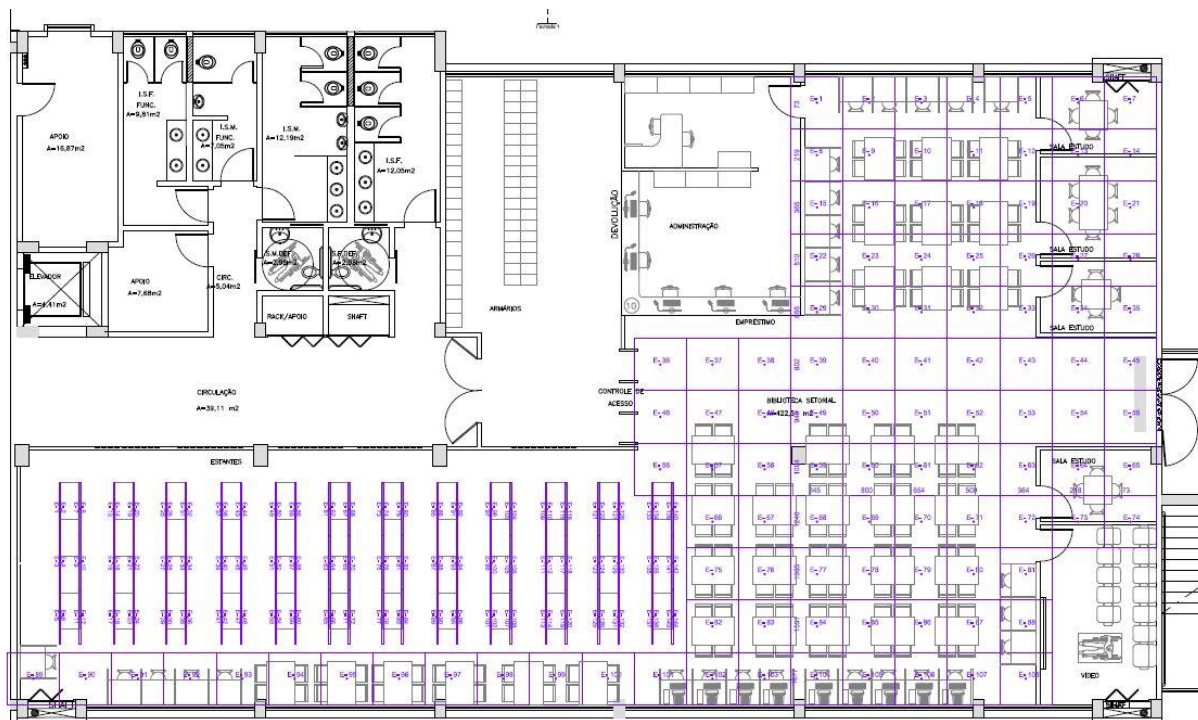


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Curitiba - Centro
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Curitiba - Ecoville.



BIBLIOTECA - CÂMPUS CURITIBA - SEDE ECOVILLE

Malha de pontos da biblioteca de Curitiba - Ecoville

Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Curitiba - Ecoville, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

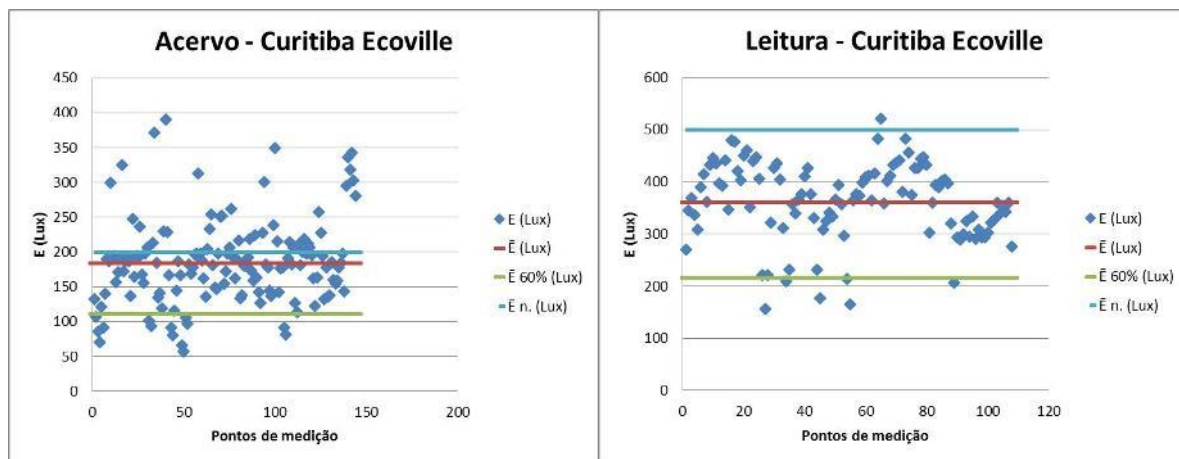
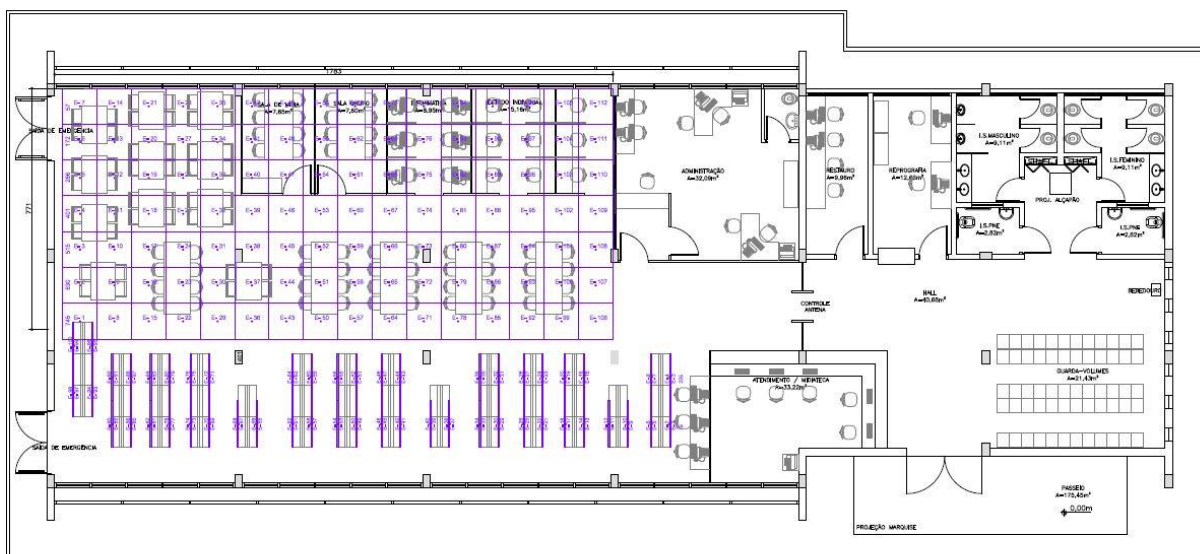


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Curitiba - Ecoville

Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Dois Vizinhos.



BIBLIOTECA - CÂMPUS DOIS VIZINHOS

Malha de pontos da biblioteca de Dois Vizinhos

Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Dois Vizinhos, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

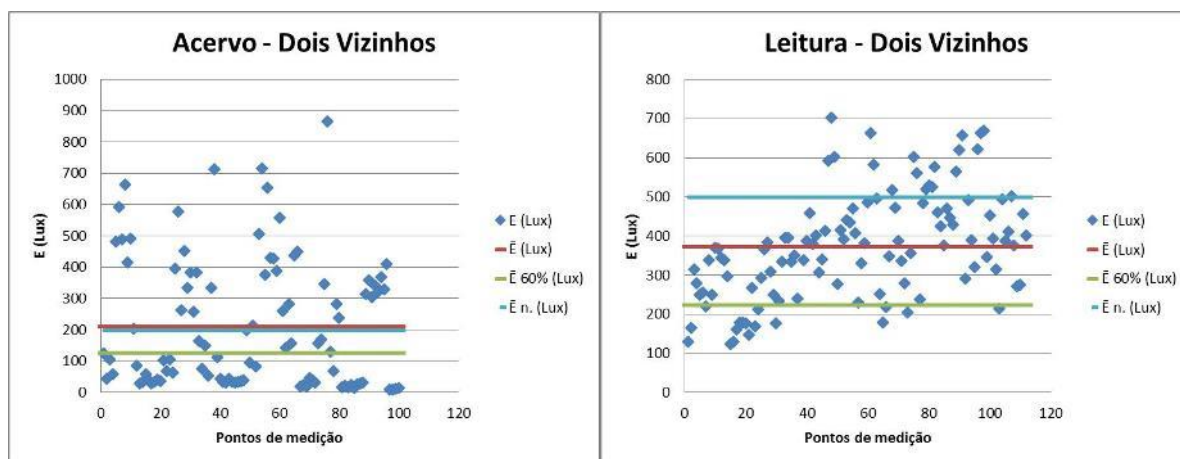
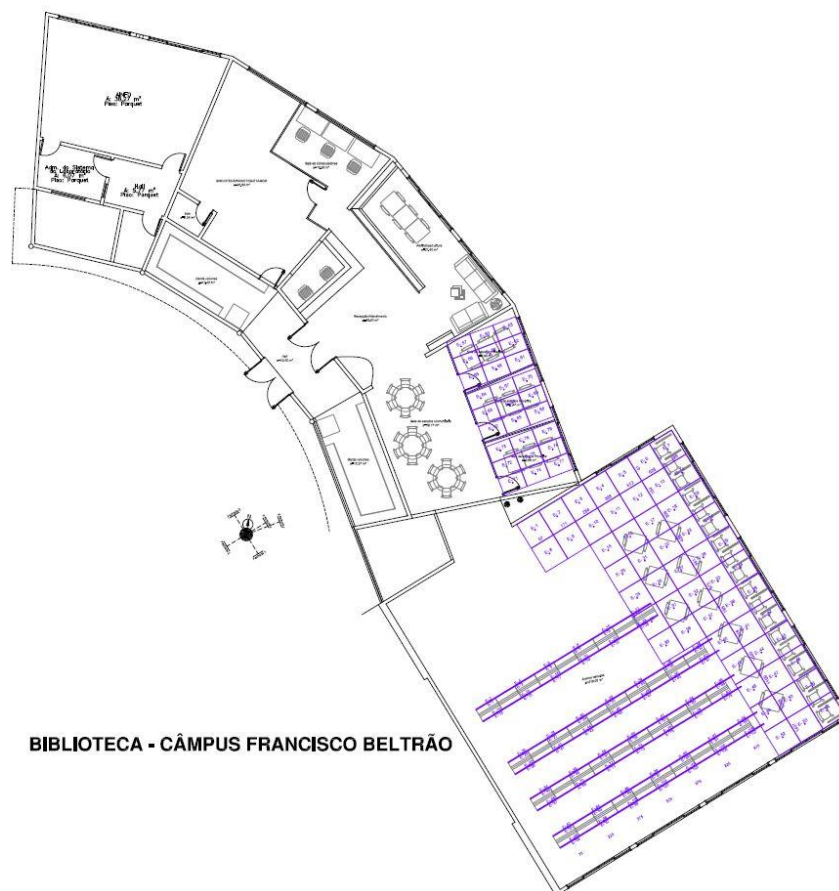


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Dois Vizinhos

Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Francisco Beltrão.



BIBLIOTECA - CÂMPUS FRANCISCO BELTRÃO

Malha de pontos da biblioteca de Francisco Beltrão
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Francisco Beltrão, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

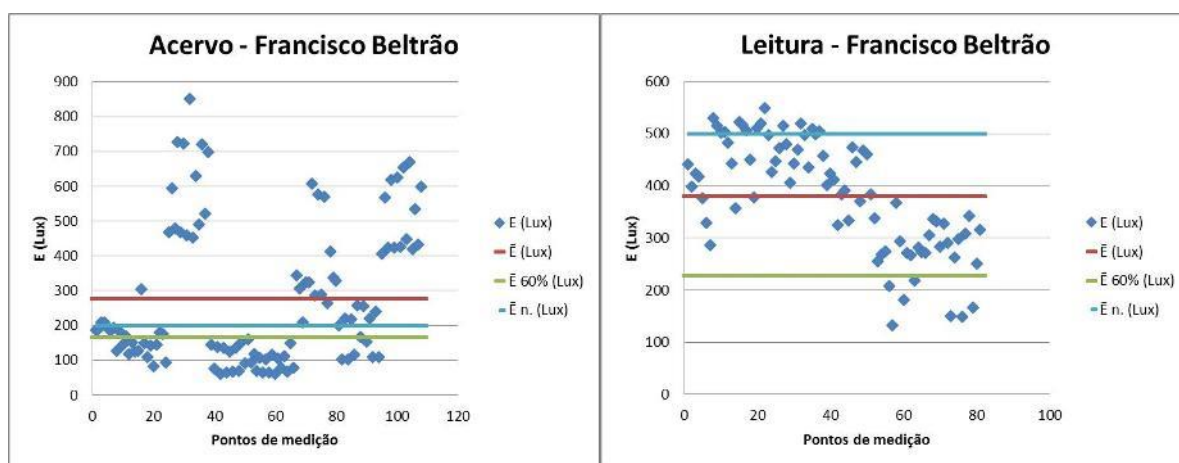
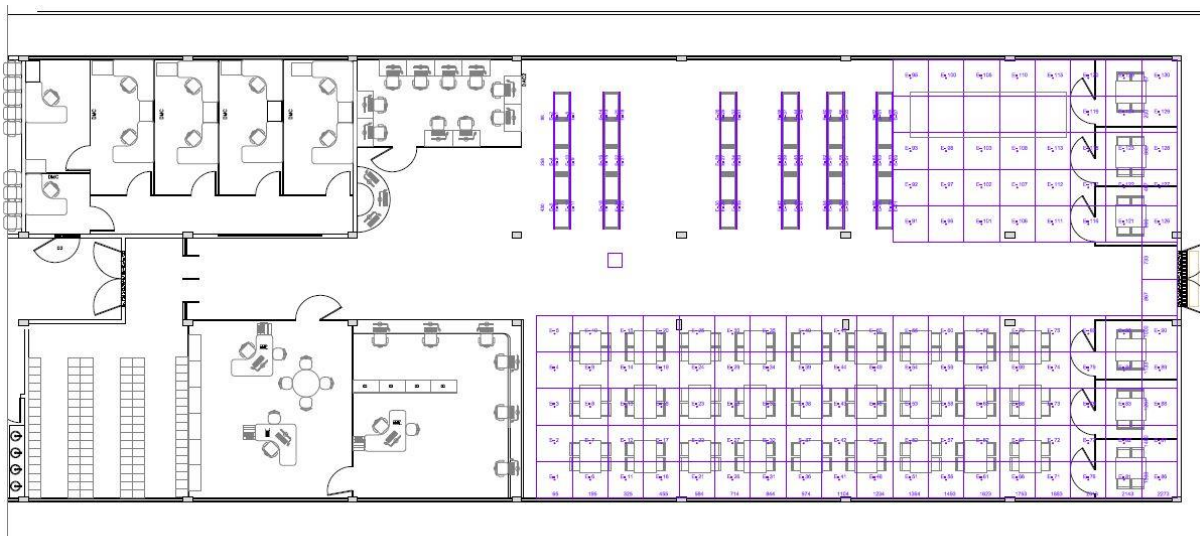


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Francisco Beltrão
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Guarapuava.



BIBLIOTECA - CÂMPUS GUARAPUAVA

Malha de pontos da biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Guarapuava, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

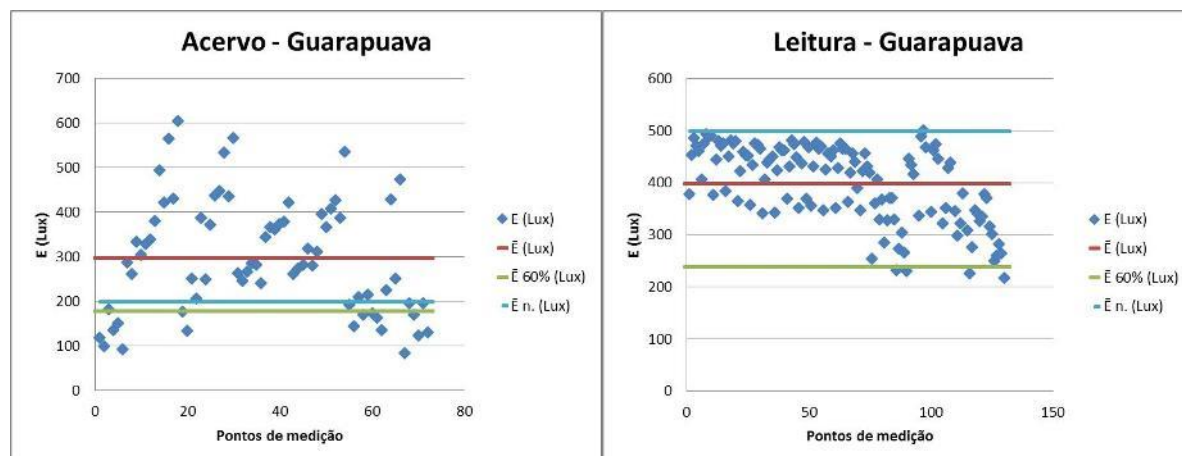


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Guarapuava
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Londrina.



BIBLIOTECA - CÂMPUS LONDRINA

Malha de pontos da biblioteca de Londrina
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Londrina, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

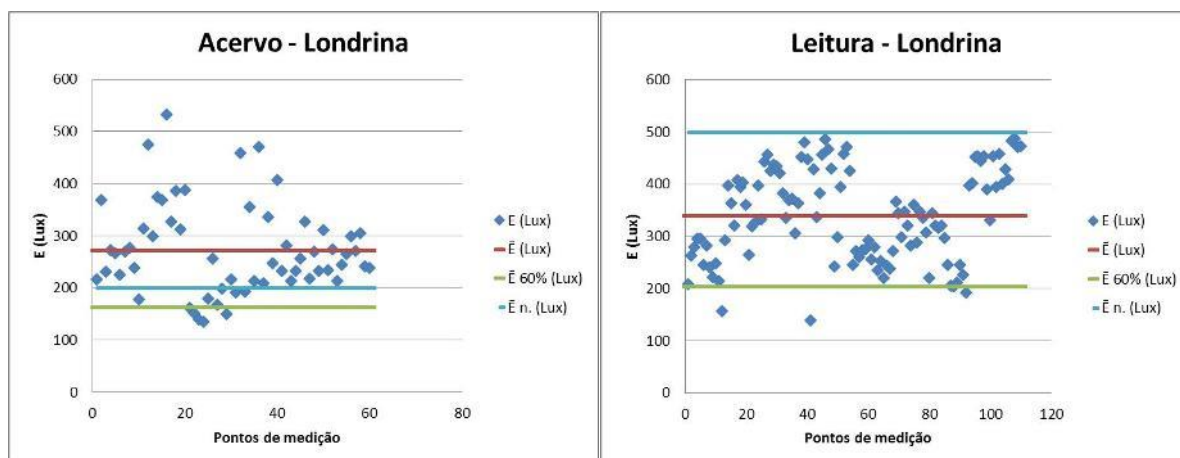
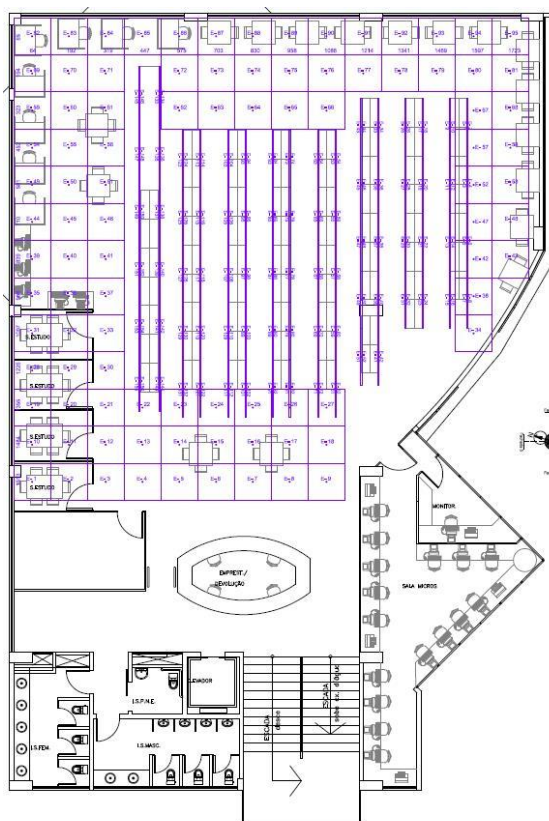


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Londrina
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Medianeira.



BIBLIOTECA - CÂMPUS MEDIANEIRA

Malha de pontos da biblioteca de Medianeira

Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Medianeira, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

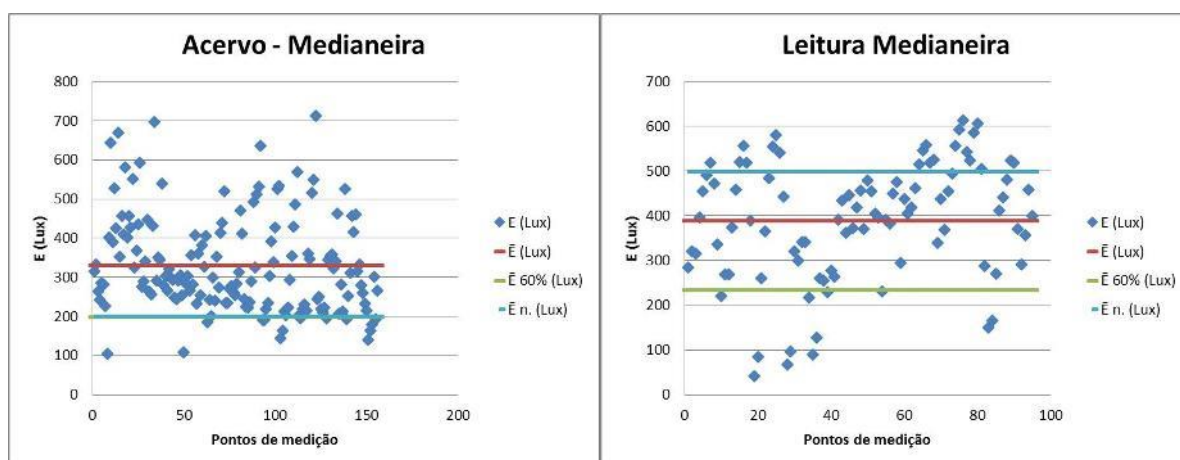
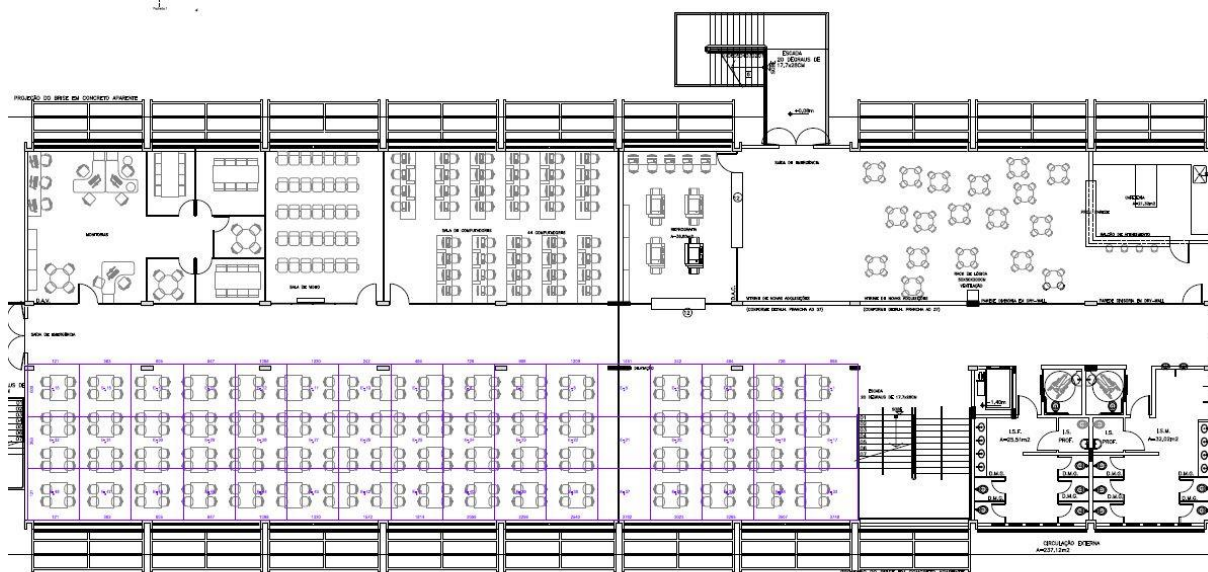


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Medianeira

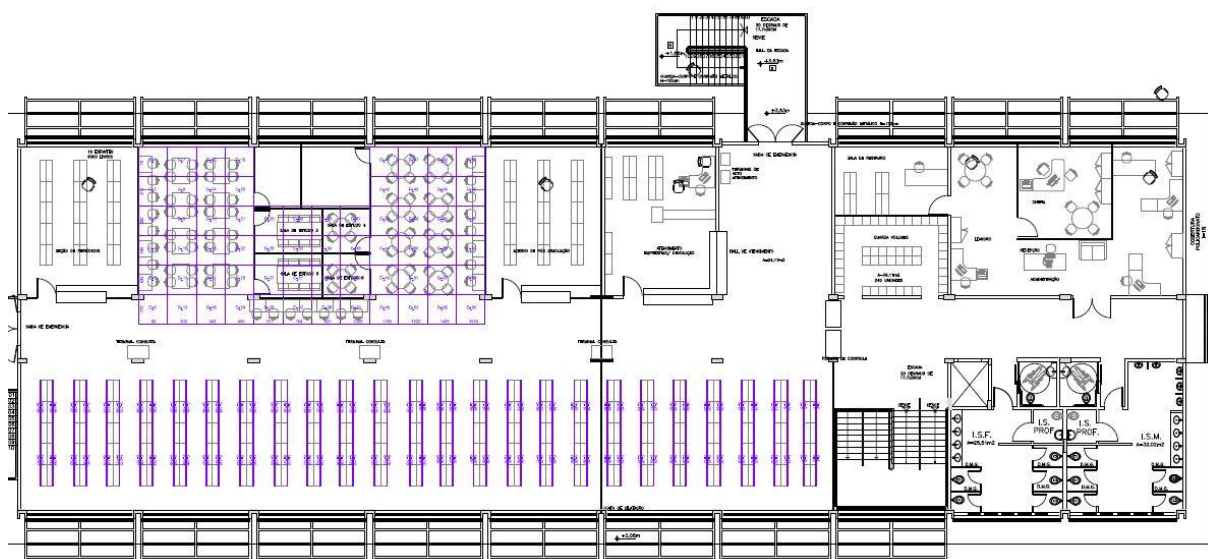
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Pato Branco.



BIBLIOTECA - CÂMPUS PATO BRANCO

Malha de pontos da biblioteca de Pato Branco - Térreo
Fonte: Autoria própria



BIBLIOTECA - CÂMPUS PATO BRANCO

Malha de pontos da biblioteca de Pato Branco – 1º Pavimento
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Pato Branco, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

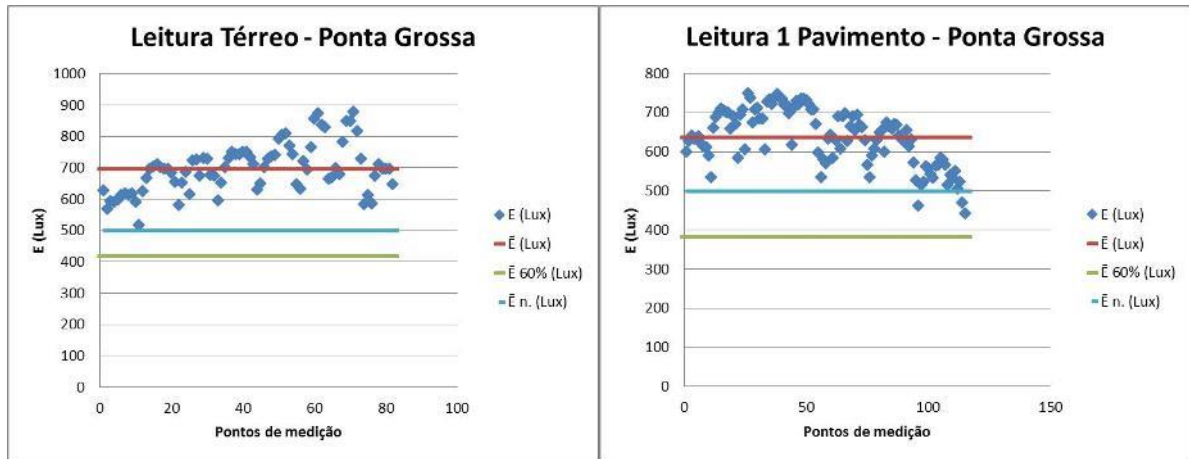
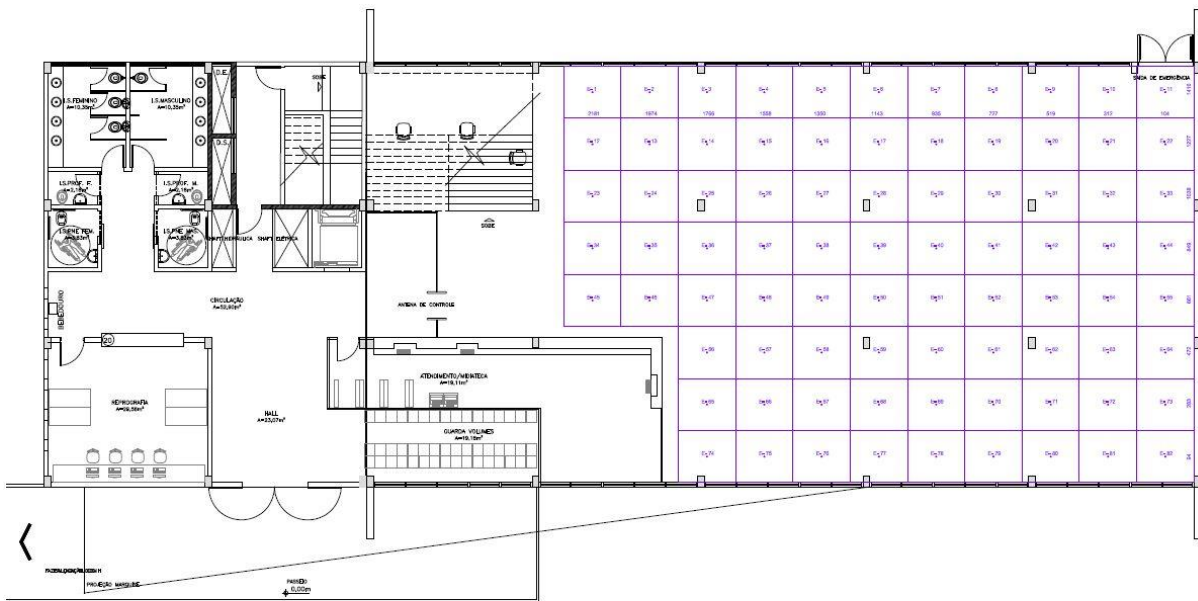


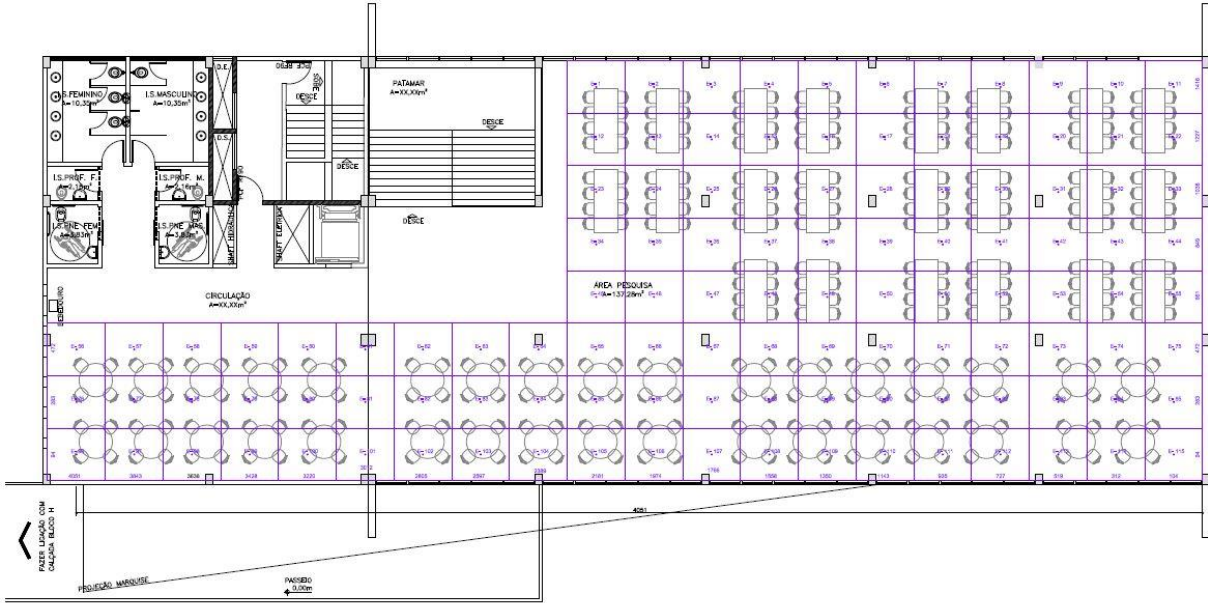
Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Pato Branco
 Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Ponta Grossa.



BIBLIOTECA - CÂMPUS PONTA GROSSA
 PLANTA TÉRREO

Malha de pontos da biblioteca de Ponta Grossa - Térreo
 Fonte: Autoria própria



BIBLIOTECA - CÂMPUS PONTA GROSSA

Malha de pontos da biblioteca de Ponta Grossa – 1º Pavimento
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Ponta Grossa, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

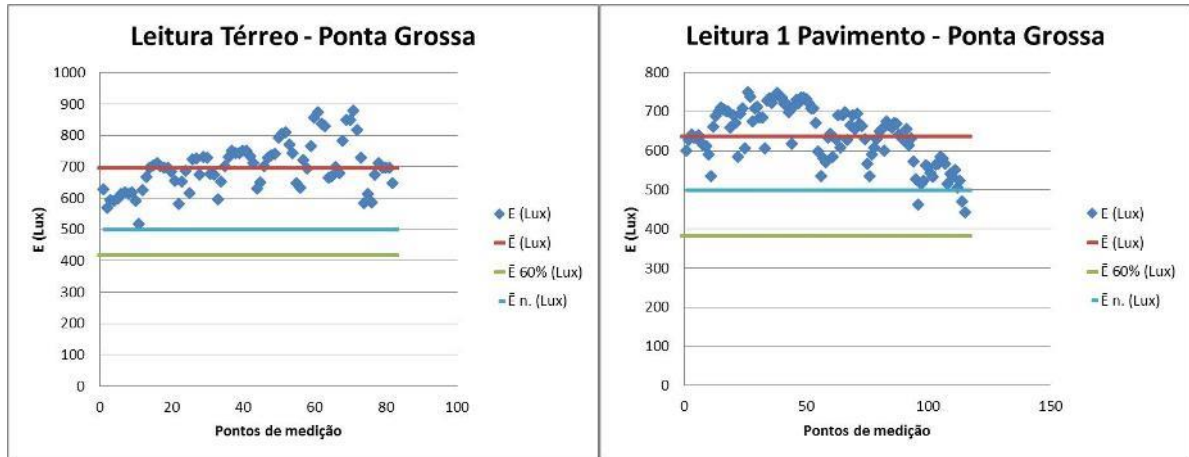
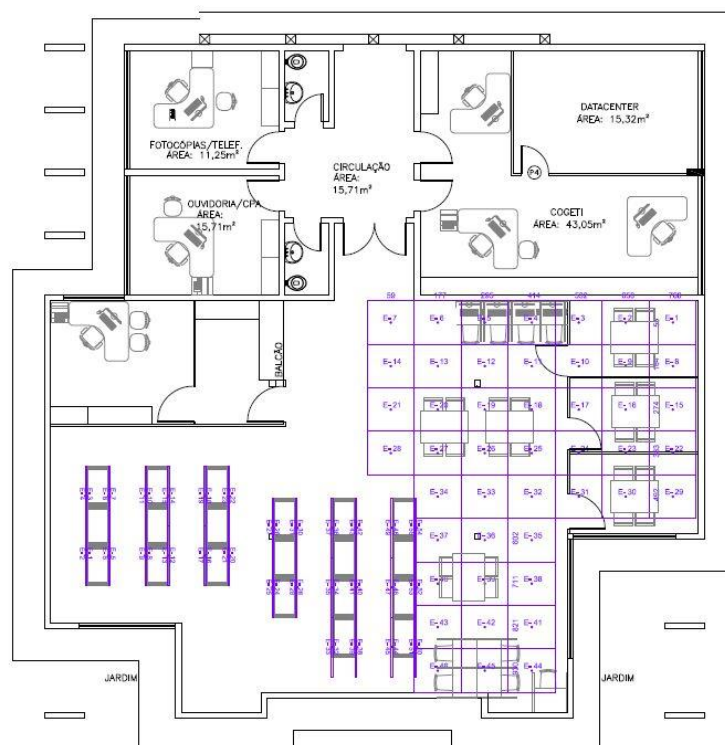


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Ponta Grossa
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Santa Helena.



BIBLIOTECA - CÂMPUS SANTA HELENA

Malha de pontos da biblioteca de Santa Helena
Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Santa Helena, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

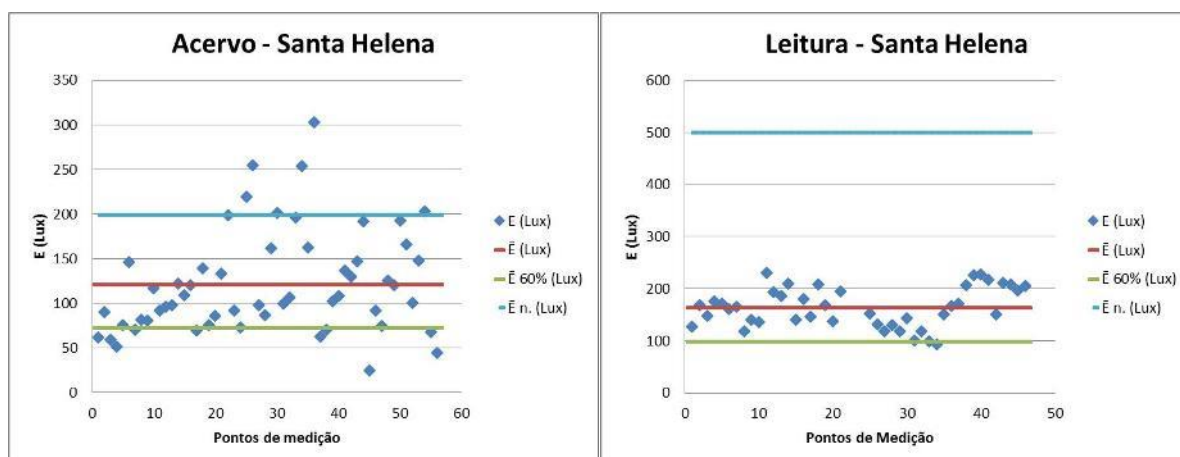
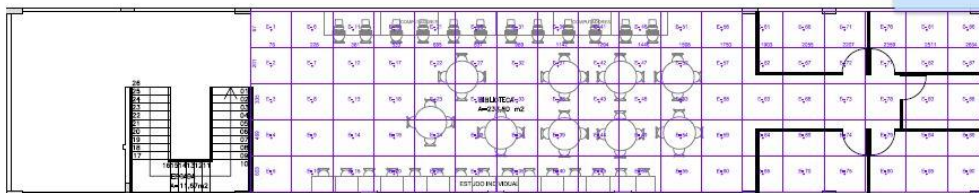
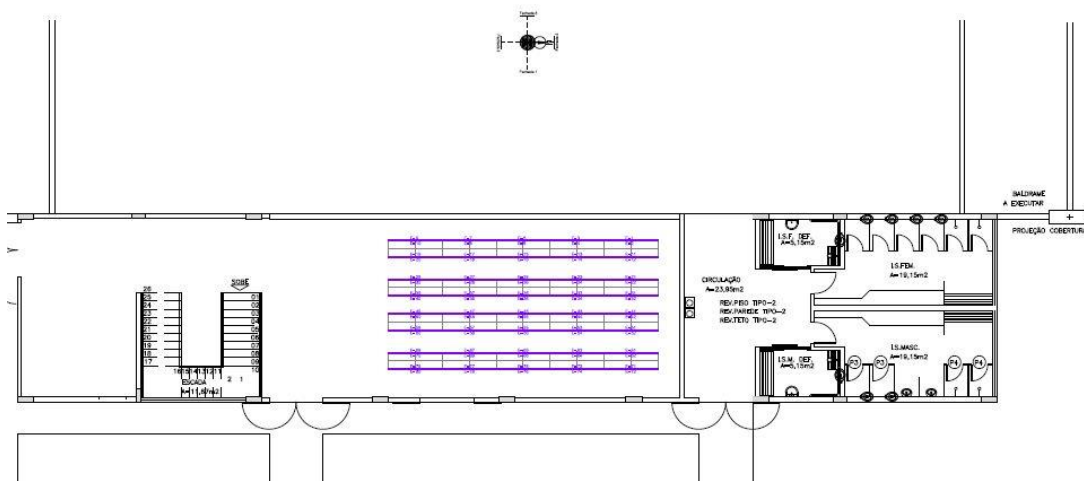


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Santa Helena
Fonte: Autoria própria

Planta com as malhas de medição da biblioteca de Toledo.



BIBLIOTECA - CÂMPUS TOLEDO



BIBLIOTECA - CÂMPUS TOLEDO

Malha de pontos da biblioteca de Toledo
 Fonte: Autoria própria

Gráfico contendo todos os pontos medidos na biblioteca de Toledo, com os valores calculados de Iluminância média, limite de 60% da iluminância média para a manutenção da uniformidade.

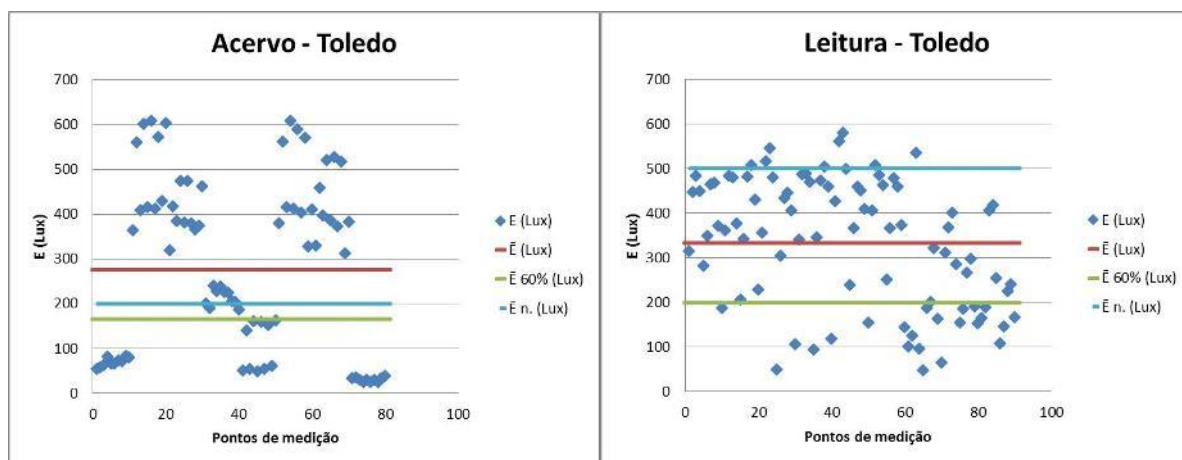


Gráfico de iluminâncias das áreas da biblioteca de Toledo
 Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PELO RTQ-C

Tabelas de cálculo utilizadas para a avaliação da eficiência energética dos sistemas de iluminação das bibliotecas, com base nos parâmetros do RTQ-C.

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Apucarana

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Apucarana	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	78,31	126,57	204,88
Potência de iluminação por ambientes (W)	960,00	1408,00	2368,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	994,54	1607,44	2601,98
Nível B por ambiente	1143,33	1847,92	2991,25
Nível C por ambiente	1292,12	2088,41	3380,52
Nível D por ambiente	1440,90	2328,89	3769,79
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Campo Mourão

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Campo Mourão	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	111,56	278,57	390,13
Potência de iluminação por ambientes (W)	1152,00	3520,00	4672,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1416,81	3537,84	4954,65
Nível B por ambiente	1628,78	4067,12	5695,90
Nível C por ambiente	1840,74	4596,41	6437,15
Nível D por ambiente	2052,70	5125,69	7178,39
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	não	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
EqNum calculado considerando pré-requisitos	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Cornélio Procópio

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Cornélio Procópio	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	197,10	198,58	395,68
Potência de iluminação por ambientes (W)	1930,00	4030,00	5960,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	2503,17	2521,97	5025,14
Nível B por ambiente	2877,66	2899,27	5776,93
Nível C por ambiente	3252,15	3276,57	6528,72
Nível D por ambiente	3626,64	3653,87	7280,51
EqNumDPI por ambiente			3
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Curitiba – Centro

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Curitiba - Centro	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	373,21	439,12	812,33
Potência de iluminação por ambientes (W)	4800,00	5184,00	9984,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	4739,77	5576,82	10316,59
Nível B por ambiente	5448,87	6411,15	11860,02
Nível C por ambiente	6157,97	7245,48	13403,45
Nível D por ambiente	6867,06	8079,81	14946,87
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	não	não	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Curitiba – Ecoville

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Curitiba - Ecoville	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	98,28	228,67	326,95
Potência de iluminação por ambientes (W)	960,00	2752,00	3712,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1248,16	2904,11	4152,27
Nível B por ambiente	1434,89	3338,58	4773,47
Nível C por ambiente	1621,62	3773,06	5394,68
Nível D por ambiente	1808,35	4207,53	6015,88
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Dois Vizinhos

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Dois Vizinhos	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	99,19	137,39	236,58
Potência de iluminação por ambientes (W)	1600,00	2688,00	4288,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1259,71	1744,85	3004,57
Nível B por ambiente	1448,17	2005,89	3454,07
Nível C por ambiente	1636,64	2266,94	3903,57
Nível D por ambiente	1825,10	2527,98	4353,07
EqNumDPI por ambiente			2
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	sim	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	5	3	
Classificação da área	2,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível D		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Francisco Beltrão

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Francisco Beltrão	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	97,67	107,25	204,92
Potência de iluminação por ambientes (W)	1472,00	1600,00	3072,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1240,41	1362,08	2602,48
Nível B por ambiente	1425,98	1565,85	2991,83
Nível C por ambiente	1611,56	1769,63	3381,18
Nível D por ambiente	1797,13	1973,40	3770,53
EqNumDPI por ambiente			3
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Guarapuava

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Guarapuava	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	136,01	183,53	319,54
Potência de iluminação por ambientes (W)	1920,00	2240,00	4160,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1727,33	2330,83	4058,16
Nível B por ambiente	1985,75	2679,54	4665,28
Nível C por ambiente	2244,17	3028,25	5272,41
Nível D por ambiente	2502,58	3376,95	5879,54
EqNumDPI por ambiente			4
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Londrina

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Londrina	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	59,23	198,55	257,78
Potência de iluminação por ambientes (W)	512,00	2752,00	3264,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	752,22	2521,59	3273,81
Nível B por ambiente	864,76	2898,83	3763,59
Nível C por ambiente	977,30	3276,08	4253,37
Nível D por ambiente	1089,83	3653,32	4743,15
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	sim	sim	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	5	5	
Classificação da área	5,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível A		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Medianeira

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Medianeira	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	120,43	152,30	272,73
Potência de iluminação por ambientes (W)	2048,00	2240,00	4288,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1529,46	1934,21	3463,67
Nível B por ambiente	1758,28	2223,58	3981,86
Nível C por ambiente	1987,10	2512,95	4500,05
Nível D por ambiente	2215,91	2802,32	5018,23
EqNumDPI por ambiente			3
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Pato Branco

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Pato Branco	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	270,81	420,16	690,97
Potência de iluminação por ambientes (W)	3520,00	5888,00	9408,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	3439,29	5336,03	8775,32
Nível B por ambiente	3953,83	6134,34	10088,16
Nível C por ambiente	4468,37	6932,64	11401,01
Nível D por ambiente	4982,90	7730,94	12713,85
EqNumDPI por ambiente			4
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	não	não	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Ponta Grossa

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Ponta Grossa	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	233,22	445,49	678,71
Potência de iluminação por ambientes (W)	2816,00	5376,00	8192,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	2961,89	5657,72	8619,62
Nível B por ambiente	3405,01	6504,15	9909,17
Nível C por ambiente	3848,13	7350,59	11198,72
Nível D por ambiente	4291,25	8197,02	12488,26
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	não	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Santa Helena

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Santa Helena	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	56,74	57,66	114,40
Potência de iluminação por ambientes (W)	352,00	384,00	736,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	720,60	732,28	1452,88
Nível B por ambiente	828,40	841,84	1670,24
Nível C por ambiente	936,21	951,39	1887,60
Nível D por ambiente	1044,02	1060,94	2104,96
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	não	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	3	3	
Classificação da área	3,00		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível C		

Fonte: Autoria própria

Avaliação sistema de iluminação da biblioteca de Toledo

Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação			
Biblioteca Toledo	Acervo	Leitura	Geral
Área por ambiente (m ²)	103,94	181,70	285,64
Potência de iluminação por ambientes (W)	896,00	2112,00	3008,00
Limites de potência de iluminação por nível de classificação (W)			
Nível A por ambiente	1320,04	2307,59	3627,63
Nível B por ambiente	1517,52	2652,82	4170,34
Nível C por ambiente	1715,01	2998,05	4713,06
Nível D por ambiente	1912,50	3343,28	5255,78
EqNumDPI por ambiente			5
Pré-requisitos			
Divisão dos circuitos	sim	sim	
Contribuição da luz natural	sim	não	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim	sim	
EqNumDPI por pré-requisitos	5	3	
Classificação da área	3,60		
Nível de eficiência energética do sistema de iluminação	Nível B		

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE C – RADIAÇÃO SOLAR DISPONÍVEL DAS BIBLIOTECAS

Tabelas com os dados de fachada e a energia da radiação solar em cada horário. Os valores da radiação solar (Wh) foram calculados pela soma da disponibilidade da radiação solar (Wh/m²) multiplicado pela área envidraçada para cada fachada.

Radiação solar para a biblioteca de Apucarana

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Apucarana												
Área de piso (m ²)	21 de junho					22 de dezembro						
344,44	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)		
Azimute (°)	165,84	255,84	345,84	75,84		165,84	255,84	345,84	75,84			
Área envidraçada (m ²)	18,2016	0	18,2016	0		18,2016	0	18,2016	0			
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno					Radiação solar (Wh/m ²) - Verão						
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	56,58	4,14	4,14	73,60	552,60		
07:00	4,86	4,86	30,78	102,06	324,35	156,58	12,22	12,22	214,28	1.536,22		
07:30	12,24	12,24	86,70	253,26	900,43	213,02	18,30	18,30	315,26	2.105,20		
08:00	17,70	17,70	141,70	345,26	1.450,67	239,44	22,84	22,84	382,46	2.386,96		
08:30	21,59	21,59	194,53	393,41	1.966,84	245,59	26,41	26,41	421,73	2.475,42		
09:00	24,56	24,56	245,00	409,04	2.453,21	236,80	29,44	29,44	435,48	2.423,00		
09:30	27,04	27,04	292,40	399,08	2.907,16	218,44	32,44	32,44	427,84	2.283,21		
10:00	29,04	29,04	335,32	369,24	3.315,97	194,52	34,96	34,96	403,16	2.088,45		
10:30	30,52	30,52	373,72	324,48	3.678,91	168,04	36,96	36,96	364,88	1.865,66		
11:00	31,51	31,51	406,80	269,41	3.989,01	140,56	38,48	38,48	316,08	1.629,41		
11:30	32,50	32,50	434,00	207,00	4.245,52	112,78	39,49	39,49	257,14	1.385,74		
12:00	33,00	33,00	454,50	139,00	4.436,64	86,50	40,50	40,50	190,50	1.155,80		
12:30	32,50	32,50	468,50	69,00	4.559,50	62,50	41,50	41,50	118,50	946,48		
13:00	31,51	63,86	474,98	32,53	4.609,47	46,50	61,50	47,00	61,50	850,92		
13:30	30,52	126,28	472,64	30,52	4.579,16	41,50	119,50	59,50	41,50	919,18		
14:00	29,04	182,96	460,36	29,04	4.453,93	40,50	194,50	71,50	40,50	1.019,29		
14:30	27,04	228,72	437,08	27,04	4.223,86	39,49	265,69	78,55	39,49	1.074,27		
15:00	24,56	258,60	400,88	24,56	3.871,84	38,48	331,24	80,48	38,48	1.082,63		
15:30	21,59	266,65	350,24	21,59	3.383,89	36,96	388,04	76,88	36,96	1.036,04		
16:00	17,70	246,98	282,66	17,70	2.733,52	34,96	434,84	68,80	34,96	944,30		
16:30	12,24	189,28	192,16	12,24	1.860,20	32,44	469,04	56,20	32,44	806,69		
17:00	4,86	78,30	73,44	4,86	712,59	29,44	485,12	39,64	29,44	628,68		
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	33,31	477,92	27,82	26,41	556,26		
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	42,86	442,00	22,84	22,84	597,92		
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	48,62	372,02	18,30	18,30	609,03		
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	43,52	258,56	12,22	12,22	507,28		
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	17,48	90,16	4,14	4,14	196,76		
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
	Total de radiação solar incidente (Wh)					64.656,68	Total de radiação solar incidente (Wh)					33.663,39
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					187,72	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					97,73

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Campo Mourão

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Campo Mourão											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
424,84											
Azimute (°)	298,5	28,5	118,5	208,5		298,5	28,5	118,5	208,5		
Área envidraçada (m ²)	40,7158	0	40,7158	0		40,7158	0	40,7158	0		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	4,32	13,44	94,56	4,32	2.012,99	
07:00	4,68	85,80	56,16	4,68	1.238,57	12,43	44,16	262,14	12,43	5.589,70	
07:30	12,12	226,88	136,60	12,12	3.027,63	18,50	77,50	371,50	18,50	7.939,58	
08:00	17,55	327,33	171,67	17,55	3.852,03	23,00	109,00	435,50	23,00	9.334,10	
08:30	21,50	398,00	175,50	21,50	4.010,51	26,50	135,50	465,50	26,50	10.016,09	
09:00	24,50	445,50	156,00	24,50	3.674,60	29,50	155,00	468,00	29,50	10.128,06	
09:30	27,00	473,50	119,00	27,00	2.972,25	32,50	166,50	448,50	32,50	9.792,15	
10:00	29,00	485,00	70,00	29,00	2.015,43	35,00	170,00	412,50	35,00	9.110,16	
10:30	54,50	483,00	37,00	30,50	1.862,75	37,00	166,50	364,50	37,00	8.173,70	
11:00	112,00	470,00	31,50	31,50	2.921,36	38,50	156,00	308,50	38,50	7.064,19	
11:30	177,50	447,50	32,00	32,00	4.264,98	39,50	138,50	246,50	39,50	5.822,36	
12:00	241,00	417,00	32,00	32,00	5.557,71	40,50	114,00	179,50	40,50	4.478,74	
12:30	301,00	380,00	32,00	32,00	6.779,18	41,50	83,50	109,50	41,50	3.074,04	
13:00	355,50	337,50	31,50	31,50	7.878,51	61,00	54,50	58,00	48,50	2.422,59	
13:30	401,00	291,50	30,50	30,50	8.784,43	113,50	41,50	41,50	75,50	3.155,47	
14:00	434,00	243,00	29,00	29,00	9.425,71	177,50	40,50	40,50	117,50	4.438,02	
14:30	451,50	193,00	27,00	27,00	9.741,26	235,00	39,50	39,50	160,00	5.588,24	
15:00	449,00	143,50	24,50	24,50	9.639,47	284,50	38,50	38,50	201,50	6.575,60	
15:30	421,00	97,00	21,50	21,50	9.008,37	324,50	37,00	37,00	241,00	7.359,38	
16:00	361,27	56,37	17,55	17,55	7.712,05	354,00	35,00	35,00	277,50	7.919,22	
16:30	260,04	24,52	12,12	12,12	5.540,61	371,50	32,50	32,50	308,00	8.224,59	
17:00	100,88	5,72	4,68	4,68	2.148,98	373,50	29,50	29,50	328,50	8.204,23	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	357,00	26,50	26,50	335,00	7.807,25	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	320,00	23,00	23,00	322,00	6.982,76	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	260,50	18,50	18,50	282,00	5.679,85	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	175,00	12,43	12,43	204,51	3.815,65	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	60,96	4,32	4,32	75,36	1.328,96	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					112.056,38	Total de radiação solar incidente (Wh)				172.037,69
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					263,76	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				404,95

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Cornélio Procópio

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Cornélio Procópio												
Área de piso (m ²)	21 de junho					22 de dezembro						
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)		
565,8541												
Azimute (°)	18,69	84,53	174,55	264,53		18,69	84,53	174,55	264,53			
Área envidraçada (m ²)	10,54	0	50,6339	15,3667		10,54	0	50,6339	15,3667			
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno					Radiação solar (Wh/m ²) - Verão						
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	3,78	75,43	42,43	3,86	1.123,72		
07:00	83,59	102,92	5,12	5,12	609,39	11,94	231,44	123,20	12,08	3.274,79		
07:30	208,04	243,16	12,36	12,36	1.504,25	19,78	339,40	165,44	18,20	4.432,51		
08:00	301,92	325,60	17,80	17,80	2.178,52	33,82	410,35	183,14	22,80	4.990,00		
08:30	370,39	364,63	21,65	21,65	2.666,33	54,40	449,58	184,24	26,38	5.153,77		
09:00	419,14	372,30	24,62	24,62	3.021,34	73,14	461,54	174,56	29,38	5.030,51		
09:30	452,04	355,42	27,62	27,62	3.293,72	87,62	451,34	158,72	32,38	4.728,85		
10:00	470,88	319,71	29,53	29,53	3.456,03	96,94	423,10	139,61	34,94	4.313,88		
10:30	478,04	269,88	31,04	31,04	3.543,60	101,42	380,48	119,40	36,96	3.841,30		
11:00	474,84	209,72	32,00	32,00	3.558,42	100,32	327,16	100,36	38,48	3.365,15		
11:30	462,84	143,82	32,51	32,51	3.512,02	93,80	265,80	82,84	39,48	2.894,92		
12:00	443,50	74,00	33,00	33,00	3.426,25	81,28	196,24	67,14	40,49	2.439,30		
12:30	417,29	35,06	32,51	64,86	3.520,55	63,18	120,00	54,50	41,50	2.031,59		
13:00	385,20	32,00	32,00	130,16	3.840,21	47,22	61,50	45,50	62,00	1.877,14		
13:30	348,28	31,04	31,04	193,80	4.110,31	41,58	41,50	41,50	121,00	2.199,47		
14:00	307,29	29,53	29,53	248,06	4.272,96	40,58	40,49	40,49	197,76	2.758,36		
14:30	262,38	27,62	27,62	289,64	4.307,40	39,58	39,48	40,52	269,36	3.304,02		
15:00	214,00	24,62	24,62	313,98	4.163,50	38,58	38,48	44,64	333,72	3.897,55		
15:30	164,45	21,65	21,65	315,59	3.839,47	37,16	36,96	53,20	390,04	4.539,51		
16:00	115,44	17,80	17,80	287,44	3.267,51	35,16	34,94	64,37	436,22	5.166,54		
16:30	67,76	12,36	12,36	217,76	2.343,14	32,74	32,38	77,56	467,96	5.731,62		
17:00	23,88	5,12	5,12	93,25	971,93	29,74	29,38	90,48	481,16	6.144,33		
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,74	26,38	101,40	471,66	6.331,99		
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	23,32	22,80	107,10	433,90	6.168,18		
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	18,90	18,20	101,84	361,72	5.457,10		
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	13,06	12,08	79,64	248,52	3.994,53		
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	5,22	3,86	28,29	81,43	1.369,26		
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
	Total de radiação solar incidente (Wh)					65.406,86	Total de radiação solar incidente (Wh)					106.559,89
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					115,59	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					188,32

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Curitiba – Centro

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Curitiba Sede Centro												
Área de piso (m ²)	21 de junho					22 de dezembro						
1161,0438	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)		
Azimute (°)	81	171	261	351		81	171	261	351			
Área envidraçada (m ²)	81,0089	54,5613	92,086	55,9145		81,0089	54,5613	92,086	55,9145			
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno					Radiação solar (Wh/m ²) - Verão						
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	98,02	63,22	5,22	5,22	6.081,21		
07:00	75,18	3,78	3,78	30,24	4.167,72	240,34	144,38	13,06	13,06	14.640,06		
07:30	225,62	11,52	11,52	100,14	12.782,94	340,33	186,49	18,84	18,84	20.266,99		
08:00	317,00	16,71	16,71	165,14	18.682,40	406,68	202,92	23,24	23,24	23.727,91		
08:30	364,44	20,76	20,76	224,64	22.563,96	444,00	202,08	26,68	26,68	25.471,18		
09:00	378,55	24,35	24,35	278,45	24.902,88	456,10	189,67	29,65	29,65	25.842,12		
09:30	367,42	26,92	26,92	326,70	25.989,65	446,74	170,12	32,62	32,62	25.149,83		
10:00	336,22	28,47	28,47	368,84	26.017,73	419,10	145,96	35,08	35,08	23.553,23		
10:30	290,04	29,96	29,96	404,36	25.249,48	378,12	120,76	37,06	37,06	21.352,35		
11:00	233,72	31,48	31,48	433,00	23.880,42	326,88	96,52	38,52	38,52	18.723,71		
11:30	169,67	32,00	32,00	454,82	21.934,30	266,20	73,04	39,52	39,52	15.699,35		
12:00	101,50	32,00	32,00	469,50	19.583,49	198,29	51,80	40,51	40,51	12.442,77		
12:30	49,14	32,00	49,35	476,53	18.458,05	124,00	42,00	41,50	49,50	9.463,01		
13:00	31,48	31,48	99,80	475,40	20.019,84	63,50	42,00	60,00	64,50	8.283,64		
13:30	29,96	29,96	161,68	466,24	22.509,86	41,50	41,50	117,50	74,50	10.305,95		
14:00	28,47	28,47	216,00	447,27	24.379,40	40,51	40,51	193,76	78,98	13.875,54		
14:30	26,92	26,92	257,90	417,10	25.360,23	39,52	39,52	265,12	78,08	17.068,69		
15:00	24,35	24,35	282,82	375,65	25.174,30	38,52	38,52	330,76	72,16	19.857,66		
15:30	20,76	20,76	284,96	320,84	23.497,44	37,06	37,06	387,94	61,88	22.104,07		
16:00	16,71	16,71	256,43	250,57	19.945,01	35,08	35,08	434,86	47,64	23.732,04		
16:30	11,52	11,52	187,54	162,32	13.953,81	32,62	38,14	468,50	35,32	24.920,33		
17:00	3,78	3,78	63,42	51,24	4.608,80	29,65	50,22	484,25	29,65	25.696,15		
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,68	64,72	477,76	26,68	25.589,67		
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	23,24	75,52	443,56	23,24	24.074,12		
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	18,84	78,71	376,61	18,84	20.777,34		
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	13,06	67,76	269,72	13,06	15.161,36		
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	5,22	31,90	111,36	5,22	6.354,97		
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
	Total de radiação solar incidente (Wh)					423.661,70	Total de radiação solar incidente (Wh)					500.215,26
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					364,90	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					430,83

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Curitiba – Ecoville

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Curitiba Sede Ecoville											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
426,34											
Azimute (°)	125	215	305	35			125	215	305	35	
Área envidraçada (m ²)	26,0379	0	16,7613	0			26,0379	0	16,7613	0	
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		111,94	5,22	5,22	27,84	1.501,09
07:00	36,54	3,78	3,78	72,66	507,39		267,82	13,06	13,06	75,84	3.596,19
07:30	103,80	11,52	11,52	224,24	1.447,91		366,92	18,84	18,84	121,02	4.934,85
08:00	130,00	16,71	16,71	331,86	1.832,54		424,52	23,24	23,24	160,16	5.721,57
08:30	126,52	20,76	20,76	406,08	1.821,14		449,16	26,68	26,68	190,56	6.071,19
09:00	102,18	24,35	24,35	453,27	1.534,37		447,41	29,65	29,65	210,78	6.073,29
09:30	62,84	26,92	26,92	478,90	1.043,72		425,80	32,62	32,62	221,24	5.816,85
10:00	33,78	28,47	49,59	486,53	855,33		388,78	35,08	35,08	221,84	5.355,50
10:30	29,96	29,96	103,28	479,76	1.255,60		341,47	37,06	37,06	213,65	4.756,17
11:00	31,48	31,48	164,76	461,00	1.790,63		286,32	38,52	38,52	197,60	4.050,41
11:30	32,00	32,00	226,39	431,84	2.313,88		225,24	39,52	39,52	173,44	3.263,59
12:00	32,00	32,00	286,00	395,00	2.813,47		161,35	40,51	40,51	142,16	2.440,14
12:30	32,00	32,00	341,02	351,53	3.274,58		95,50	41,50	41,50	104,50	1.591,11
13:00	31,48	31,48	388,88	303,00	3.668,90		52,00	44,00	65,00	63,00	1.221,73
13:30	29,96	29,96	427,68	252,48	3.974,28		41,50	70,50	119,00	41,50	1.537,58
14:00	28,47	28,47	454,08	199,88	4.176,14		40,51	119,51	177,45	40,51	2.014,55
14:30	26,92	26,92	464,08	147,46	4.239,76		39,52	168,52	229,04	39,52	2.434,01
15:00	24,35	24,35	453,98	97,55	4.121,62		38,52	217,04	272,72	38,52	2.787,06
15:30	20,76	20,76	418,68	53,04	3.779,08		37,06	262,71	307,12	37,06	3.056,31
16:00	16,71	21,86	351,71	23,57	3.165,20		35,08	303,48	331,74	35,08	3.236,90
16:30	11,52	25,16	243,34	11,52	2.189,33		32,62	337,34	344,30	32,62	3.310,14
17:00	3,78	10,92	79,80	3,78	717,99		29,65	360,22	342,49	29,65	3.256,26
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		26,68	367,68	324,68	26,68	3.068,38
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		23,24	353,24	288,76	23,24	2.722,56
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		18,84	310,69	234,10	18,84	2.207,21
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		13,06	231,06	159,46	13,06	1.506,41
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		5,22	98,02	63,22	5,22	597,78
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
	Total de radiação solar incidente (Wh)					50.522,87	Total de radiação solar incidente (Wh)				88.128,82
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					118,50	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				206,71

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Dois Vizinhos

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Dois Vizinhos											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
299,25											
Azimute (°)	170,8	260,8	350,8	80,8			170,8	260,8	350,8	80,8	
Área envidraçada (m ²)	54,45	0	54,45	0			54,45	0	54,45	0	
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		66,00	5,40	5,40	100,80	1.943,87
07:00	3,60	3,60	28,80	71,20	882,09		146,60	13,20	13,20	241,80	4.350,56
07:30	11,45	11,45	98,94	223,71	3.005,31		188,06	18,94	18,94	341,00	5.635,58
08:00	16,68	16,68	163,62	316,04	4.908,67		204,06	23,32	23,32	407,32	6.190,42
08:30	20,71	20,71	223,00	363,57	6.635,12		203,02	26,71	26,71	444,22	6.254,28
09:00	23,88	23,88	277,44	378,56	8.203,44		189,92	29,68	29,68	456,12	5.978,61
09:30	26,35	26,35	325,76	367,67	9.585,98		169,12	32,68	32,68	446,36	5.494,01
10:00	28,46	28,46	367,94	336,60	10.791,99		145,27	35,10	35,10	419,33	4.910,64
10:30	29,94	29,94	404,02	291,06	11.814,54		119,96	37,08	37,08	378,62	4.275,41
11:00	31,00	31,00	433,00	234,72	12.632,40		94,76	38,53	38,53	326,82	3.628,93
11:30	31,49	31,49	454,82	170,67	13.239,68		71,04	39,52	39,52	266,72	3.010,00
12:00	32,00	32,00	470,00	102,50	13.666,95		50,12	40,52	41,56	198,04	2.495,99
12:30	31,49	48,33	477,53	49,12	13.858,08		41,51	41,51	52,18	123,75	2.550,61
13:00	31,00	97,80	476,40	31,00	13.813,97		42,00	60,00	67,50	64,00	2.981,14
13:30	29,94	159,78	467,10	29,94	13.531,94		41,51	116,73	77,43	41,51	3.238,17
14:00	28,46	213,46	448,04	28,46	12.972,71		40,52	193,00	81,96	40,52	3.334,52
14:30	26,35	255,29	417,71	26,35	12.089,57		39,52	265,12	81,56	39,52	3.296,40
15:00	23,88	279,96	376,24	23,88	10.893,27		38,53	330,18	76,24	38,53	3.124,47
15:30	20,71	282,43	321,14	20,71	9.307,06		37,08	387,38	66,02	37,08	2.806,90
16:00	16,68	254,64	250,34	16,68	7.269,62		35,10	434,49	51,33	35,10	2.353,09
16:30	11,45	185,51	161,18	11,45	4.699,92		36,64	468,00	37,16	32,68	2.009,21
17:00	3,60	60,00	48,80	3,60	1.426,59		47,04	484,20	29,68	29,68	2.088,70
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		62,04	477,94	26,71	26,71	2.416,09
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		73,36	444,58	23,32	23,32	2.632,11
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		77,18	378,35	18,94	18,94	2.616,80
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		67,20	272,40	13,20	13,20	2.188,89
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-		32,40	115,20	5,40	5,40	1.029,11
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	0,00	0,00	-
	Total de radiação solar incidente (Wh)					195.228,89	Total de radiação solar incidente (Wh)				92.834,48
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					652,39	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				310,22

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Francisco Beltrão

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Francisco Beltrão													
Área de piso (m²)	21 de junho						Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro					Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 5	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 5		
267,06	179,47	269,47	359,47	89,41	100,1		179,47	269,47	359,47	89,41	100,1		
Azimute (°)	179,47	269,47	359,47	89,41	100,1		179,47	269,47	359,47	89,41	100,1		
Área envidraçada (m²)	13,0032	0	3,0007	11,2528	5,8107		13,0032	0	3,0007	11,2528	5,8107		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m²) - Inverno							Radiação solar (Wh/m²) - Verão					
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	53,33	5,65	5,65	113,57	121,10	1.346,04	
07:00	3,31	3,31	35,27	60,98	53,27	572,26	111,04	12,72	12,72	261,60	276,08	3.015,00	
07:30	11,33	11,33	127,80	204,78	177,18	1.932,31	137,33	18,65	18,65	364,49	381,10	4.078,85	
08:00	16,60	16,60	205,60	287,20	243,60	2.740,04	143,40	23,40	23,40	431,40	447,20	4.693,94	
08:30	20,63	20,63	271,08	326,76	269,45	3.162,16	136,53	26,76	26,76	466,53	479,76	4.946,58	
09:00	23,84	23,84	327,00	334,22	265,86	3.298,48	121,56	29,74	29,74	475,42	485,10	4.919,24	
09:30	26,29	26,29	373,57	317,00	240,57	3.213,90	102,63	32,71	32,71	462,49	468,22	4.678,80	
10:00	28,45	28,45	411,37	281,24	198,00	2.959,81	82,80	35,12	35,12	431,72	433,48	4.279,47	
10:30	29,46	29,46	439,58	231,24	143,86	2.570,07	63,57	37,10	37,10	387,55	385,35	3.769,05	
11:00	30,47	30,47	459,51	171,43	81,96	2.090,17	46,36	38,54	38,54	332,60	327,52	3.182,14	
11:30	31,49	31,49	472,41	105,18	40,16	1.622,01	39,53	39,53	46,94	269,00	262,47	2.603,50	
12:00	32,00	47,00	477,00	51,50	32,00	1.306,45	40,52	40,52	60,24	198,00	191,00	2.022,77	
12:30	31,49	96,69	473,43	31,49	31,49	1.183,71	41,51	41,51	69,06	121,73	114,73	1.391,69	
13:00	30,47	163,43	462,57	30,47	30,47	1.152,08	42,00	62,00	72,00	62,50	59,00	904,16	
13:30	29,46	223,24	443,58	29,46	29,46	1.108,41	41,51	121,22	70,04	41,51	41,51	729,11	
14:00	28,45	273,80	415,92	28,45	28,45	1.051,71	40,52	197,52	63,20	40,52	40,52	703,97	
14:30	26,29	310,57	379,14	26,29	26,29	964,01	39,53	268,47	51,41	39,53	39,53	671,40	
15:00	23,84	328,22	333,00	23,84	23,84	858,01	43,60	332,60	41,24	38,54	38,54	674,16	
15:30	20,63	321,94	277,08	20,63	20,63	725,90	57,12	387,55	37,10	37,10	37,10	743,53	
16:00	16,60	283,80	211,00	16,60	16,60	566,13	75,36	432,16	35,12	35,12	35,12	842,29	
16:30	11,33	202,39	131,57	11,33	11,33	367,68	94,63	463,49	32,71	32,71	32,71	943,34	
17:00	3,31	60,24	36,37	3,31	3,31	104,27	113,14	476,84	29,74	29,74	29,74	1.033,95	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	127,94	468,53	26,76	26,76	26,76	1.100,33	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	135,80	433,80	23,40	23,40	23,40	1.117,67	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	131,12	367,10	18,65	18,65	18,65	1.039,54	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	106,42	263,22	12,72	12,72	12,72	819,51	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	50,82	114,20	5,65	5,65	5,65	387,09	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)						33.549,55	Total de radiação solar incidente (Wh)					56.637,10
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m²)						125,63	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m²)					212,08

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Guarapuava

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Guarapuava												
Área de piso (m ²)	21 de junho					22 de dezembro						
467,78	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Radiação solar na área envidraçada (Wh)		
Azimute (°)	45	135	225	315		45	135	225	315			
Área envidraçada (m ²)	37,654	4,2	37,654	0		37,654	4,2	37,654	0			
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno					Radiação solar (Wh/m ²) - Verão						
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	45,82	106,72	5,22	5,22	1.185,04		
07:00	77,28	24,36	3,78	3,78	1.577,27	118,24	251,67	12,98	12,98	2.998,90		
07:30	238,43	66,14	11,57	11,57	4.845,65	179,36	343,32	18,80	18,80	4.451,73		
08:00	348,40	73,92	16,76	16,76	7.030,10	227,52	394,60	23,24	23,24	5.549,72		
08:30	419,80	58,33	20,80	20,80	8.417,51	261,12	414,48	26,68	26,68	6.288,82		
09:00	461,42	35,72	24,38	33,12	9.221,17	280,14	410,31	29,65	29,65	6.693,97		
09:30	478,76	26,92	26,92	68,92	9.576,97	286,00	387,26	32,62	32,62	6.811,90		
10:00	477,31	28,94	28,94	122,82	9.591,84	279,52	350,86	35,08	35,08	6.659,78		
10:30	460,48	30,48	30,48	179,36	9.307,31	262,88	306,06	37,06	37,06	6.289,72		
11:00	431,20	31,48	31,48	236,36	8.776,98	237,40	255,44	38,52	38,52	5.731,17		
11:30	391,94	32,00	32,00	292,45	8.048,70	202,72	200,36	39,52	39,52	4.981,41		
12:00	345,00	32,00	32,00	345,00	7.164,98	160,55	142,92	40,51	40,51	4.085,47		
12:30	292,45	32,00	32,00	391,94	6.175,60	112,00	84,50	41,50	41,50	3.067,39		
13:00	236,36	31,48	31,48	431,20	5.108,73	64,00	48,50	48,50	64,00	2.219,89		
13:30	179,36	30,48	30,48	460,48	4.014,67	41,50	41,50	84,50	112,00	2.459,35		
14:00	122,82	28,94	28,94	477,31	2.917,86	40,51	40,51	142,92	160,55	3.538,53		
14:30	68,92	26,92	26,92	478,76	1.860,91	39,52	39,52	200,36	202,72	4.599,21		
15:00	33,12	24,38	35,72	461,42	1.347,25	38,52	38,52	255,44	237,40	5.615,28		
15:30	20,80	20,80	58,33	419,80	1.533,31	37,06	37,06	306,06	262,88	6.537,70		
16:00	16,76	16,76	73,92	348,40	1.742,43	35,08	35,08	350,86	279,52	7.339,76		
16:30	11,57	11,57	66,14	238,43	1.487,43	32,62	32,62	387,26	286,00	7.973,58		
17:00	3,78	3,78	24,36	77,28	537,73	29,65	29,65	410,31	280,14	8.345,40		
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,68	26,68	414,48	261,12	8.361,75		
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	23,24	23,24	394,60	227,52	7.915,48		
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	18,80	18,80	343,32	179,36	6.857,11		
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	12,98	12,98	251,67	118,24	5.009,77		
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	5,22	5,22	106,72	45,82	2.118,46		
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
	Total de radiação solar incidente (Wh)					110.284,40	Total de radiação solar incidente (Wh)					143.686,29
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					235,76	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					307,17

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Londrina

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Londrina											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
391,14											
Azimute (°)	162,05	252,05	342,05	72,05		162,05	252,05	342,05	72,05		
Área envidraçada (m ²)	21,624	0	21,624	6		21,624	0	21,624	6		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	58,52	3,96	3,96	66,88	876,17	
07:00	5,04	5,04	24,64	108,08	645,14	168,20	12,08	12,08	201,72	2.554,35	
07:30	12,36	12,36	70,88	261,32	1.683,95	232,31	18,24	18,24	300,47	3.610,37	
08:00	17,75	17,75	119,45	354,53	2.546,95	263,82	22,84	22,84	367,00	4.200,37	
08:30	21,62	21,62	169,54	405,36	3.282,90	272,08	26,38	26,38	405,50	4.443,45	
09:00	24,62	24,62	219,46	423,70	3.910,09	264,56	29,38	29,38	420,38	4.439,22	
09:30	27,06	27,06	266,88	416,47	4.427,50	246,42	32,38	32,38	414,64	4.258,31	
10:00	29,04	29,04	311,36	389,28	4.848,24	220,86	34,94	34,94	391,45	3.940,01	
10:30	30,52	30,52	352,80	347,04	5.185,58	191,60	36,96	36,96	354,84	3.535,71	
11:00	31,51	31,51	389,33	293,92	5.431,92	160,64	38,48	38,48	307,56	3.075,57	
11:30	32,50	32,50	420,00	233,00	5.591,43	129,60	39,48	39,48	251,20	2.581,69	
12:00	33,00	33,00	445,50	166,50	5.673,04	99,31	40,49	40,49	186,69	2.071,56	
12:30	32,50	32,50	464,50	97,50	5.666,06	70,00	41,50	41,50	115,50	1.552,04	
13:00	31,51	50,14	474,94	47,31	5.617,69	49,00	61,50	47,00	60,50	1.219,45	
13:30	30,52	98,28	477,04	30,52	5.579,30	41,50	118,50	62,00	41,50	1.243,54	
14:00	29,04	155,44	469,28	29,04	5.474,96	40,49	193,24	79,14	40,49	1.414,94	
14:30	27,06	201,82	449,29	27,06	5.231,50	39,48	263,84	90,68	39,48	1.525,73	
15:00	24,62	233,58	416,14	24,62	4.839,36	38,48	327,72	97,08	38,48	1.581,11	
15:30	21,62	245,54	366,40	21,62	4.260,13	36,96	384,56	97,96	36,96	1.569,64	
16:00	17,75	230,57	297,92	17,75	3.466,22	34,94	432,82	93,29	34,94	1.491,18	
16:30	12,36	179,56	206,48	12,36	2.403,18	32,38	467,58	82,98	32,38	1.344,41	
17:00	5,04	76,72	81,76	5,04	953,60	29,38	483,78	68,36	29,38	1.144,90	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,38	477,28	50,20	26,38	907,12	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	22,84	442,54	30,20	22,84	641,99	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	25,41	372,06	18,24	18,24	526,71	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	27,32	257,40	12,08	12,08	462,23	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	11,44	87,12	3,96	3,96	178,38	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					86.718,76	Total de radiação solar incidente (Wh)				56.390,15
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					221,71	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				144,17

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Medianeira

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Medianeira											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
382,24											
Azimute (°)	162,74	252,74	342,74	72,74		162,74	252,74	342,74	72,74		
Área envidraçada (m ²)	72,2306	0	16,2085	16,3362		72,2306	0	16,2085	16,3362		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	75,98	5,22	5,22	88,74	3.511,18	
07:00	3,86	3,86	20,14	80,14	957,16	174,78	12,98	12,98	217,82	8.196,79	
07:30	11,64	11,64	69,44	239,36	2.938,26	230,96	18,80	18,80	312,36	11.044,94	
08:00	16,76	16,76	120,88	336,80	4.335,95	256,84	23,24	23,24	377,12	12.544,55	
08:30	20,80	20,80	173,35	391,27	5.351,79	260,80	26,65	26,65	414,27	13.018,80	
09:00	24,38	24,38	225,46	412,30	6.075,38	249,82	29,62	29,62	428,16	12.759,63	
09:30	26,92	26,92	274,62	407,18	6.523,70	228,50	32,62	32,62	421,90	11.962,83	
10:00	28,94	28,94	320,65	382,04	6.764,33	200,80	35,08	35,08	398,80	10.793,69	
10:30	30,48	30,48	362,72	341,44	6.829,28	170,06	37,06	37,06	362,24	9.400,83	
11:00	31,48	31,48	398,84	289,64	6.735,02	138,36	38,52	38,52	314,96	7.881,71	
11:30	32,00	32,00	429,71	229,14	6.509,86	106,36	39,52	39,52	258,28	6.271,16	
12:00	32,00	32,00	454,50	163,50	6.174,56	75,71	40,51	40,51	194,33	4.649,78	
12:30	32,00	32,00	471,63	94,80	5.752,22	51,50	41,50	45,50	124,00	3.241,53	
13:00	31,48	50,20	480,60	45,40	5.402,64	42,00	58,00	62,00	64,50	2.546,15	
13:30	30,48	98,20	480,40	30,48	5.243,04	41,50	112,50	83,50	41,50	2.514,47	
14:00	28,94	154,59	469,51	28,94	5.086,54	40,51	187,27	98,88	40,51	2.595,28	
14:30	26,92	200,06	446,34	26,92	4.809,36	39,52	257,64	108,36	39,52	2.628,26	
15:00	24,38	229,88	409,78	24,38	4.400,59	38,52	322,76	112,48	38,52	2.617,36	
15:30	20,80	239,45	356,39	20,80	3.809,17	37,06	380,41	111,12	37,06	2.541,62	
16:00	16,76	221,64	283,64	16,76	3.040,88	35,08	428,78	103,94	35,08	2.395,82	
16:30	11,64	166,56	188,08	11,64	2.039,71	32,62	464,42	91,10	32,62	2.182,82	
17:00	3,86	57,43	60,43	3,86	660,54	29,62	482,68	73,80	29,62	1.909,77	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,65	478,88	53,08	26,65	1.610,18	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	24,12	447,00	32,20	23,24	1.321,88	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,96	380,72	18,80	18,80	1.279,59	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	30,27	273,33	12,98	12,98	1.304,59	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	16,24	113,68	5,22	5,22	671,45	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					99.439,97	Total de radiação solar incidente (Wh)				143.396,65
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					260,15	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				375,15

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Pato Branco

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Pato Branco											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
1416,88											
Azimute (°)	55,5	145,5	235,5	325,5		55,5	145,5	235,5	325,5		
Área envidraçada (m ²)	84,3044	0	94,2738	0		84,3044	0	94,2738	0		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	70,40	107,52	5,76	5,76	3.239,02	
07:00	69,06	8,82	3,31	3,31	3.066,92	165,22	233,88	12,76	12,76	7.565,89	
07:30	235,88	22,48	11,28	11,28	10.474,57	240,16	310,82	18,72	18,72	11.005,68	
08:00	345,41	19,61	16,55	25,08	15.339,88	295,18	351,02	23,43	23,43	13.546,82	
08:30	414,18	20,63	20,63	57,73	18.431,31	330,80	363,20	26,80	26,80	15.207,22	
09:00	450,40	23,84	23,84	102,16	20.109,09	348,47	354,59	29,76	29,76	16.091,82	
09:30	461,14	26,29	26,29	151,86	20.677,21	350,16	330,94	32,71	32,71	16.301,54	
10:00	451,47	28,45	28,45	204,80	20.371,42	337,36	296,16	35,12	35,12	15.875,91	
10:30	425,82	29,46	29,46	257,46	19.337,90	312,53	254,29	37,10	37,10	14.922,49	
11:00	387,35	30,47	30,47	308,00	17.763,76	277,94	208,62	38,54	38,54	13.532,44	
11:30	339,02	31,49	31,49	356,04	15.774,79	234,59	160,53	39,53	39,53	11.751,70	
12:00	284,00	32,00	32,00	399,00	13.479,61	182,88	111,52	40,52	40,52	9.618,78	
12:30	224,39	31,49	31,49	435,33	10.942,77	123,88	64,55	41,51	43,04	7.178,56	
13:00	162,10	30,47	30,47	463,20	8.269,19	67,50	42,00	49,50	68,00	5.178,55	
13:30	100,60	29,46	29,46	481,02	5.629,16	41,51	41,51	90,82	111,10	6.030,87	
14:00	48,20	28,45	34,51	486,45	3.658,61	40,52	40,52	157,68	148,32	9.140,55	
14:30	26,29	26,29	64,71	476,86	4.158,43	39,53	39,53	222,12	178,24	12.136,19	
15:00	23,84	23,84	103,14	450,28	5.866,61	38,54	38,54	283,14	200,74	14.970,89	
15:30	20,63	20,63	127,06	401,67	6.858,98	37,10	37,10	338,90	216,41	17.538,55	
16:00	16,55	16,55	129,71	325,35	6.811,99	35,12	35,12	387,36	223,88	19.739,33	
16:30	11,28	11,28	102,20	216,36	5.292,87	32,71	32,71	424,94	221,98	21.409,03	
17:00	3,31	3,31	31,96	62,45	1.645,82	29,76	29,76	446,94	211,00	22.322,07	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,80	26,80	449,60	190,20	22.322,43	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	23,43	23,43	426,53	159,49	21.092,96	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	18,72	18,72	370,98	120,66	18.275,94	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	12,76	12,76	273,94	76,12	13.450,80	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	5,76	5,76	123,52	29,44	6.065,15	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					233.960,90	Total de radiação solar incidente (Wh)				365.511,18
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					165,12	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				257,97

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Ponta Grossa

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Ponta Grossa											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
1004,53											
Azimute (°)	208,4	298,4	28,4	118,4		208,4	298,4	28,4	118,4		
Área envidraçada (m ²)	174,4	7,1374	124,873	0		174,4	7,1374	124,873	0		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	5,04	5,04	15,12	110,32	1.401,51	
07:00	3,96	3,96	71,72	46,64	4.837,38	12,92	12,92	45,48	270,92	4.012,34	
07:30	11,69	11,69	216,43	130,24	14.574,46	18,75	18,75	79,22	375,12	6.647,41	
08:00	16,84	16,84	320,64	167,36	21.548,15	23,16	23,16	111,74	436,76	9.078,85	
08:30	20,84	20,84	393,14	171,40	26.437,87	26,62	26,62	138,96	465,10	11.092,42	
09:00	24,38	24,38	442,48	152,66	29.839,80	29,62	29,62	159,18	466,06	12.627,20	
09:30	26,94	26,94	472,39	116,35	31.939,39	32,59	32,59	171,76	445,65	13.682,36	
10:00	28,96	28,96	485,40	67,56	32.935,29	35,04	35,04	176,52	409,64	14.201,81	
10:30	30,48	54,96	484,64	35,68	33.113,17	37,04	37,04	173,88	361,44	14.218,51	
11:00	31,49	113,84	472,18	31,49	32.633,61	38,52	38,52	164,24	304,28	13.750,96	
11:30	32,00	179,00	450,00	32,00	31.525,58	39,52	39,52	147,08	241,20	12.770,32	
12:00	32,00	242,00	420,50	32,00	29.908,53	40,51	40,51	123,24	174,31	11.371,39	
12:30	32,00	301,50	384,00	32,00	27.841,94	41,50	41,50	93,50	104,50	9.604,70	
13:00	31,49	355,51	341,55	31,49	25.339,84	43,50	64,00	59,50	55,50	7.736,56	
13:30	30,48	400,28	295,04	30,48	22.507,57	65,50	119,50	41,50	41,50	8.729,17	
14:00	28,96	432,00	246,52	28,96	19.458,81	107,08	182,90	40,51	40,51	12.519,25	
14:30	26,94	448,24	195,94	26,94	16.182,42	149,64	239,92	39,52	39,52	16.372,30	
15:00	24,38	444,44	145,54	24,38	12.799,00	192,16	289,12	38,52	38,52	20.193,18	
15:30	20,84	415,32	98,70	20,84	9.461,87	232,72	329,28	37,04	37,04	23.780,93	
16:00	16,84	353,88	57,48	16,84	6.320,18	270,28	359,04	35,04	35,04	27.037,49	
16:30	11,69	248,57	24,57	11,69	3.440,93	302,18	375,71	32,59	32,59	29.725,26	
17:00	3,96	84,48	5,28	3,96	976,46	323,90	377,32	29,62	29,62	31.439,99	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	332,00	360,58	26,62	26,62	31.899,26	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	320,96	323,46	23,16	23,16	30.588,07	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	283,20	264,53	18,75	18,75	26.809,10	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	210,32	181,88	12,92	12,92	19.795,66	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	87,36	71,12	5,04	5,04	8.186,28	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					433.622,26	Total de radiação solar incidente (Wh)				429.272,30
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					431,67	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				427,34

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Santa Helena

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Santa Helena											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
143,56											
Azimute (°)	290,87	20,87	110,87	200,87		290,87	20,87	110,87	200,87		
Área envidraçada (m ²)	0	1	3,9757	6,6394		0	1	3,9757	6,6394		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	106,92	4,86	4,86	7,56	37,19	
07:00	53,82	4,14	4,14	72,22	250,05	270,36	12,78	12,78	26,96	121,29	
07:30	145,52	11,76	11,76	209,44	724,54	377,90	18,70	18,70	53,66	224,66	
08:00	189,12	16,84	16,84	309,64	1.069,81	442,38	23,16	23,16	82,12	330,23	
08:30	198,18	20,88	20,88	383,16	1.323,93	471,94	26,59	26,59	107,18	421,94	
09:00	182,04	24,44	24,44	433,72	1.500,62	474,32	29,56	29,56	127,36	496,34	
09:30	147,84	26,96	26,96	465,04	1.610,87	454,92	32,56	32,56	141,72	551,47	
10:00	100,08	28,96	28,96	481,32	1.669,89	418,64	35,04	35,04	149,08	582,08	
10:30	52,32	30,48	39,60	484,56	1.702,55	370,44	37,04	37,04	149,44	588,25	
11:00	31,49	31,49	82,33	476,63	1.761,68	313,28	38,52	38,52	143,32	571,61	
11:30	32,00	32,00	149,00	459,00	1.835,93	249,84	39,51	39,51	130,84	532,65	
12:00	32,00	32,00	214,00	433,50	1.880,49	181,50	40,50	40,50	112,00	472,56	
12:30	32,00	32,00	276,00	401,00	1.895,85	109,00	41,50	41,50	87,00	392,06	
13:00	31,49	31,49	333,04	362,59	1.881,48	57,00	43,00	63,50	57,50	338,61	
13:30	30,48	30,48	380,84	319,60	1.833,27	41,50	62,50	120,00	41,50	407,56	
14:00	28,96	28,96	416,08	273,04	1.748,00	40,50	100,00	187,00	40,50	556,18	
14:30	26,96	26,96	436,24	224,52	1.626,00	39,51	137,63	246,45	39,51	689,88	
15:00	24,44	24,44	436,28	175,00	1.460,43	38,52	175,72	298,04	38,52	808,19	
15:30	20,88	20,88	410,31	126,06	1.244,55	37,04	213,76	341,24	37,04	908,18	
16:00	16,84	16,84	350,96	80,24	972,45	35,04	248,84	373,48	35,04	983,16	
16:30	11,76	11,76	248,50	41,10	636,30	32,56	278,48	392,76	32,56	1.028,08	
17:00	4,14	4,14	87,86	11,50	214,90	29,56	299,68	396,12	29,56	1.035,40	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	26,59	308,47	380,29	26,59	998,47	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	23,16	299,34	343,46	23,16	909,30	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	18,70	265,00	282,04	18,70	755,23	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	12,78	196,60	193,16	12,78	524,70	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	4,86	79,92	73,98	4,86	203,15	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					28.843,55	Total de radiação solar incidente (Wh)				15.468,43
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					200,92	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				107,75

Fonte: Autoria própria

Radiação solar para a biblioteca de Toledo

Levantamento da radiação solar incidente nas áreas envidraçadas da biblioteca de Toledo											
Área de piso (m ²)	21 de junho					Radiação solar na área envidraçada (Wh)	22 de dezembro				Radiação solar na área envidraçada (Wh)
	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	Fachada 1		Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4		
368,56	90	180	270	0		90	180	270	0		
Área envidraçada (m ²)	63,8957	5,54	0	0		63,8957	5,54	0	0		
Hora do dia	Radiação solar (Wh/m ²) - Inverno						Radiação solar (Wh/m ²) - Verão				
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	4,86	4,86	105,84	18,90	168,73	
07:00	4,14	63,02	64,40	4,14	306,83	12,78	12,78	268,90	39,86	443,69	
07:30	11,76	184,84	176,34	11,76	887,71	18,70	18,70	378,52	41,30	649,22	
08:00	16,88	278,55	235,43	16,88	1.310,79	23,12	23,12	445,47	32,65	802,60	
08:30	20,92	349,80	255,44	20,92	1.637,30	26,56	34,36	478,88	27,52	943,71	
09:00	24,44	402,12	246,92	24,44	1.894,68	29,56	53,40	484,36	29,56	1.092,30	
09:30	26,96	439,40	217,76	26,96	2.078,45	32,56	70,80	466,96	32,56	1.236,34	
10:00	28,96	463,64	173,04	28,96	2.209,49	35,04	84,24	432,16	35,04	1.352,80	
10:30	30,49	476,43	116,61	30,49	2.293,79	37,04	93,12	384,44	37,04	1.441,29	
11:00	37,00	478,50	59,00	31,50	2.507,52	38,52	96,52	326,76	38,52	1.497,99	
11:30	77,50	471,50	32,00	32,00	3.782,01	39,51	94,45	261,82	39,51	1.523,88	
12:00	146,50	457,00	32,00	32,00	5.946,25	40,50	87,00	191,00	40,50	1.534,88	
12:30	213,00	435,50	32,00	32,00	8.011,23	41,50	74,00	115,50	41,50	1.530,82	
13:00	274,50	407,50	31,50	31,50	9.898,46	63,50	55,50	59,50	42,00	2.182,42	
13:30	329,00	373,12	30,49	30,49	11.544,39	122,50	43,00	41,50	52,50	4.032,72	
14:00	371,72	333,16	28,96	28,96	12.798,51	194,50	40,50	40,50	76,50	6.326,04	
14:30	398,88	288,56	26,96	26,96	13.542,67	259,39	39,51	39,51	103,73	8.396,46	
15:00	406,44	240,00	24,44	24,44	13.649,68	316,92	38,52	38,52	132,40	10.231,61	
15:30	388,88	188,44	20,92	20,92	12.945,86	365,64	37,04	37,04	162,40	11.784,01	
16:00	337,39	134,35	16,88	16,88	11.150,95	403,36	35,04	35,04	191,44	12.983,55	
16:30	241,28	79,30	11,76	11,76	7.928,04	427,68	32,56	32,56	217,52	13.753,65	
17:00	86,02	24,84	4,14	4,14	2.816,96	435,04	29,56	29,56	237,68	13.980,47	
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	421,52	26,56	26,56	247,92	13.540,23	
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	383,53	23,12	23,12	243,88	12.316,98	
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	318,28	18,70	18,70	219,52	10.220,16	
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	220,64	12,78	12,78	164,96	7.084,37	
19:30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	85,32	4,86	4,86	67,50	2.739,25	
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	Total de radiação solar incidente (Wh)					129.141,57	Total de radiação solar incidente (Wh)				143.790,18
	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)					350,39	Total de radiação solar incidente por área da biblioteca (Wh/m ²)				390,14

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D – SIMULAÇÃO DAS ÁREAS DE RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NOS MODELOS

As tabelas apresentam os dados coletados das simulações da entrada da radiação solar direta nos modelos 3D, considerando os elementos externos e proteção solar existentes nas bibliotecas. A simulação foi realizada nos dias 21 de junho e 22 de dezembro em períodos de 30 em 30 minutos.

Radiação solar direta na biblioteca de Apucarana

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Apucarana			
Área total de piso (m ²)		344,44	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:06	17:47
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:36	20:11
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso (m ²)
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	1,12	0,00	344,44
08:30	0,87	0,00	344,44
09:00	1,04	0,00	344,44
09:30	0,85	0,00	344,44
10:00	0,49	0,00	344,44
10:30	0,31	0,00	344,44
11:00	0,32	0,00	344,44
11:30	0,71	0,00	344,44
12:00	1,46	0,00	344,44
12:30	2,51	0,00	344,44
13:00	3,14	0,00	344,44
13:30	3,24	0,00	344,44
14:00	3,32	0,00	344,44
14:30	5,05	0,00	344,44
15:00	7,92	0,00	344,44
15:30	9,11	0,00	344,44
16:00	11,94	0,00	344,44
16:30	18,22	0,00	344,44
17:00	16,99	0,00	344,44
17:30	0,00	0,00	344,44
18:00	0,00	0,00	344,44
18:30	0,00	0,00	344,44
19:00	0,00	0,00	344,44
19:30	0,00	0,00	344,44
20:00	0,00	0,00	344,44
Totais	88,60	0	8611,00
Percentuais	1,29%	0,00%	

Fonte: Aatoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Campo Mourão

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Campo Mourão			
Área total de piso (m ²)		424,84	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:11	17:50
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:38	20:16
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso (m ²)
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	0,00	2,29	424,84
08:30	0,09	1,86	424,84
09:00	0,49	1,54	424,84
09:30	1,93	0,90	424,84
10:00	3,67	0,35	424,84
10:30	5,38	0,64	424,84
11:00	5,98	0,63	424,84
11:30	7,18	0,00	424,84
12:00	6,77	0,00	424,84
12:30	6,03	0,00	424,84
13:00	6,16	0,00	424,84
13:30	5,80	0,00	424,84
14:00	4,83	0,28	424,84
14:30	2,87	0,90	424,84
15:00	0,00	1,52	424,84
15:30	0,00	1,62	424,84
16:00	0,00	1,62	424,84
16:30	0,00	1,37	424,84
17:00	0,00	0,93	424,84
17:30	0,00	0,10	424,84
18:00	0,00	0,00	424,84
18:30	0,00	0,00	424,84
19:00	0,00	0,00	424,84
19:30	0,00	0,00	424,84
20:00	0,00	0,00	424,84
Totais	57,19	16,55	10621,00
Percentuais	0,67%	0,16%	

Fonte: Aatoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Cornélio Procópio

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Cornélio Procópio			
Área total de piso (m ²)		565,8541	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:02	17:45
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:33	20:07
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso (m ²)
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	0,00	5,17	565,85
08:30	0,00	3,14	565,85
09:00	0,00	2,02	565,85
09:30	0,00	1,29	565,85
10:00	0,00	0,50	565,85
10:30	0,00	0,15	565,85
11:00	0,00	0,00	565,85
11:30	0,00	0,00	565,85
12:00	0,00	0,00	565,85
12:30	0,00	0,00	565,85
13:00	0,00	0,00	565,85
13:30	0,00	0,00	565,85
14:00	0,00	0,00	565,85
14:30	0,00	0,00	565,85
15:00	1,56	0,00	565,85
15:30	6,05	0,00	565,85
16:00	9,91	5,64	565,85
16:30	7,31	11,86	565,85
17:00	0,00	17,26	565,85
17:30	0,00	23,27	565,85
18:00	0,00	19,82	565,85
18:30	0,00	11,30	565,85
19:00	0,00	0,00	565,85
19:30	0,00	0,00	565,85
20:00	0,00	0,00	565,85
Totais	24,84	101,42	14146,35
Percentuais	0,22%	0,72%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Centro

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Curitiba -Sede Centro			
Área total de piso (m ²)		1161,04	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:02	17:35
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:23	20:07
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	0,00	0,00	1161,04
08:30	14,13	0,00	1161,04
09:00	25,21	2,52	1161,04
09:30	29,98	6,08	1161,04
10:00	34,36	5,72	1161,04
10:30	41,01	3,81	1161,04
11:00	49,21	1,94	1161,04
11:30	47,43	0,58	1161,04
12:00	45,48	0,00	1161,04
12:30	48,13	0,00	1161,04
13:00	50,95	2,93	1161,04
13:30	59,93	12,62	1161,04
14:00	79,59	27,19	1161,04
14:30	105,47	43,38	1161,04
15:00	135,89	60,29	1161,04
15:30	176,88	79,80	1161,04
16:00	220,18	105,14	1161,04
16:30	221,07	136,45	1161,04
17:00	58,60	180,73	1161,04
17:30	0,00	234,51	1161,04
18:00	0,00	248,05	1161,04
18:30	0,00	209,31	1161,04
19:00	0,00	0,00	1161,04
19:30	0,00	0,00	1161,04
20:00	0,00	0,00	1161,04
Totais	1443,50	1361,05	29026,10
Percentuais	6,22%	4,69%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Curitiba – Ecoville

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Curitiba -Sede Ecoville			
Área total de piso (m ²)		426,34	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:02	17:35
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:23	20:07
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	11,39	26,25	426,34
08:30	4,22	22,66	426,34
09:00	0,64	15,82	426,34
09:30	0,00	10,31	426,34
10:00	0,00	6,30	426,34
10:30	0,00	4,00	426,34
11:00	0,00	1,27	426,34
11:30	0,00	0,00	426,34
12:00	2,25	0,00	426,34
12:30	4,76	0,00	426,34
13:00	7,77	0,00	426,34
13:30	11,49	1,00	426,34
14:00	15,28	2,21	426,34
14:30	20,86	3,13	426,34
15:00	26,30	4,60	426,34
15:30	35,26	6,06	426,34
16:00	9,62	7,53	426,34
16:30	0,00	8,97	426,34
17:00	0,00	10,81	426,34
17:30	0,00	12,82	426,34
18:00	0,00	10,98	426,34
18:30	0,00	0,00	426,34
19:00	0,00	0,00	426,34
19:30	0,00	0,00	426,34
20:00	0,00	0,00	426,34
Totais	149,86	154,73	10658,44
Percentuais	1,76%	1,45%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Dois Vizinhos

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Dois Vizinhos			
Área total de piso (m ²)		299,25	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:18	17:50
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:38	20:22
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	6,19	0,00	299,25
08:30	5,77	0,00	299,25
09:00	4,37	0,00	299,25
09:30	0,00	0,00	299,25
10:00	0,00	0,00	299,25
10:30	0,00	0,00	299,25
11:00	0,00	0,00	299,25
11:30	0,00	0,00	299,25
12:00	0,00	0,00	299,25
12:30	0,00	0,00	299,25
13:00	0,00	0,00	299,25
13:30	0,00	0,00	299,25
14:00	0,00	0,00	299,25
14:30	7,50	0,00	299,25
15:00	9,28	0,00	299,25
15:30	13,73	0,00	299,25
16:00	20,20	0,00	299,25
16:30	32,10	0,00	299,25
17:00	35,55	0,00	299,25
17:30	14,87	0,00	299,25
18:00	0,00	0,00	299,25
18:30	0,00	0,90	299,25
19:00	0,00	0,00	299,25
19:30	0,00	0,00	299,25
20:00	0,00	0,00	299,25
Totais	149,56	0,90	7481,25
Percentuais	2,50%	0,01%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Francisco Beltrão

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Francisco Beltrão			
Área total de piso (m ²)		267,06	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:18	17:49
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:37	20:23
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	39,49	25,75	267,06
08:30	36,60	18,84	267,06
09:00	28,33	12,64	267,06
09:30	21,35	7,64	267,06
10:00	13,95	3,39	267,06
10:30	8,13	0,90	267,06
11:00	3,17	0,00	267,06
11:30	2,56	0,00	267,06
12:00	2,41	0,00	267,06
12:30	2,00	0,00	267,06
13:00	1,69	0,00	267,06
13:30	1,35	0,00	267,06
14:00	0,84	0,00	267,06
14:30	0,00	0,00	267,06
15:00	0,00	0,00	267,06
15:30	0,00	0,00	267,06
16:00	0,00	0,00	267,06
16:30	0,00	0,00	267,06
17:00	0,00	0,00	267,06
17:30	0,00	0,00	267,06
18:00	0,00	4,46	267,06
18:30	0,00	7,08	267,06
19:00	0,00	0,00	267,06
19:30	0,00	0,00	267,06
20:00	0,00	0,00	267,06
Totais	161,87	80,70	6676,62
Percentuais	3,03%	1,21%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Guarapuava

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Guarapuava			
Área total de piso (m ²)		467,78	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:10	17:44
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:32	20:15
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	48,00	7,49	467,78
08:30	41,35	4,08	467,78
09:00	32,12	2,50	467,78
09:30	19,96	1,22	467,78
10:00	14,89	0,00	467,78
10:30	9,62	0,00	467,78
11:00	7,90	0,00	467,78
11:30	7,01	0,00	467,78
12:00	2,69	0,00	467,78
12:30	0,47	0,00	467,78
13:00	0,00	0,00	467,78
13:30	0,00	0,00	467,78
14:00	0,00	0,00	467,78
14:30	0,00	0,00	467,78
15:00	0,00	0,00	467,78
15:30	0,00	0,00	467,78
16:00	0,00	9,70	467,78
16:30	0,00	23,32	467,78
17:00	12,59	37,78	467,78
17:30	0,00	64,39	467,78
18:00	0,00	86,82	467,78
18:30	0,00	0,00	467,78
19:00	0,00	0,00	467,78
19:30	0,00	0,00	467,78
20:00	0,00	0,00	467,78
Totais	196,59	237,30	11694,56
Percentuais	2,10%	2,03%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Londrina

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Londrina			
Área total de piso (m ²)		391,14	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:05	17:47
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:35	20:09
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	12,86	8,40	391,14
08:30	2,54	5,06	391,14
09:00	0,18	3,21	391,14
09:30	0,00	1,91	391,14
10:00	0,00	0,87	391,14
10:30	0,00	0,00	391,14
11:00	0,00	0,00	391,14
11:30	0,70	0,00	391,14
12:00	1,38	0,00	391,14
12:30	2,05	0,00	391,14
13:00	3,27	0,00	391,14
13:30	5,07	0,00	391,14
14:00	6,30	0,00	391,14
14:30	8,79	0,00	391,14
15:00	11,46	0,00	391,14
15:30	15,38	0,00	391,14
16:00	13,32	0,00	391,14
16:30	1,70	0,00	391,14
17:00	0,00	0,00	391,14
17:30	0,00	0,00	391,14
18:00	0,00	0,00	391,14
18:30	0,00	0,00	391,14
19:00	0,00	0,00	391,14
19:30	0,00	0,00	391,14
20:00	0,00	0,00	391,14
Totais	85,00	19,44	9778,48
Percentuais	1,09%	0,20%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Medianeira

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Medianeira			
Área total de piso (m ²)		382,24	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:21	17:54
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:43	20:26
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	83,92	44,97	382,24
08:30	58,12	30,89	382,24
09:00	40,06	20,85	382,24
09:30	29,11	12,69	382,24
10:00	22,05	6,47	382,24
10:30	17,03	2,66	382,24
11:00	13,83	0,95	382,24
11:30	11,25	0,00	382,24
12:00	9,79	0,00	382,24
12:30	10,14	0,00	382,24
13:00	11,57	0,00	382,24
13:30	13,12	0,00	382,24
14:00	14,61	0,00	382,24
14:30	16,46	0,33	382,24
15:00	18,49	1,05	382,24
15:30	21,38	2,25	382,24
16:00	25,61	4,18	382,24
16:30	31,48	6,05	382,24
17:00	37,37	8,58	382,24
17:30	18,01	11,68	382,24
18:00	0,00	13,87	382,24
18:30	0,00	26,40	382,24
19:00	0,00	28,48	382,24
19:30	0,00	0,00	382,24
20:00	0,00	0,00	382,24
Totais	503,41	222,36	9556,02
Percentuais	6,58%	2,33%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Pato Branco

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Pato Branco			
Área total de piso (m ²)		1416,88	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:17	17:47
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:35	20:22
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	483,21	2,07	1416,88
08:30	281,08	1,12	1416,88
09:00	152,36	0,79	1416,88
09:30	83,09	4,55	1416,88
10:00	37,42	9,01	1416,88
10:30	6,80	6,08	1416,88
11:00	1,01	2,13	1416,88
11:30	0,72	0,00	1416,88
12:00	0,45	0,00	1416,88
12:30	3,12	0,00	1416,88
13:00	6,47	0,00	1416,88
13:30	4,20	0,00	1416,88
14:00	0,00	3,67	1416,88
14:30	0,00	9,19	1416,88
15:00	0,00	12,08	1416,88
15:30	1,38	6,70	1416,88
16:00	1,48	10,33	1416,88
16:30	9,86	15,90	1416,88
17:00	108,27	42,41	1416,88
17:30	60,64	106,21	1416,88
18:00	0,00	223,11	1416,88
18:30	0,00	94,43	1416,88
19:00	0,00	0,00	1416,88
19:30	0,00	0,00	1416,88
20:00	0,00	0,00	1416,88
Totais	1241,56	549,78	35422,00
Percentuais	4,38%	1,55%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Ponta Grossa

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Ponta Grossa			
Área total de piso (m ²)		1004,53	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:04	17:39
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:27	20:09
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	386,53	6,24	1004,53
08:30	343,19	3,70	1004,53
09:00	250,14	0,95	1004,53
09:30	195,36	0,00	1004,53
10:00	161,44	0,00	1004,53
10:30	136,12	0,00	1004,53
11:00	114,39	0,00	1004,53
11:30	96,59	0,00	1004,53
12:00	84,65	0,00	1004,53
12:30	75,38	0,00	1004,53
13:00	68,29	0,41	1004,53
13:30	61,93	1,14	1004,53
14:00	53,55	1,72	1004,53
14:30	46,16	2,29	1004,53
15:00	37,61	12,89	1004,53
15:30	30,00	25,79	1004,53
16:00	27,00	46,60	1004,53
16:30	29,73	70,78	1004,53
17:00	51,67	113,57	1004,53
17:30	0,00	187,61	1004,53
18:00	0,00	303,16	1004,53
18:30	0,00	358,56	1004,53
19:00	0,00	0,00	1004,53
19:30	0,00	0,00	1004,53
20:00	0,00	0,00	1004,53
Totais	2249,73	1135,42	25113,22
Percentuais	11,20%	4,52%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Santa Helena

Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Santa Helena			
Área total de piso (m ²)		143,56	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:21	17:56
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:45	20:26
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	0,00	1,39	143,56
08:30	0,00	2,49	143,56
09:00	0,00	2,81	143,56
09:30	0,00	2,17	143,56
10:00	0,00	1,52	143,56
10:30	0,00	1,00	143,56
11:00	0,85	0,56	143,56
11:30	2,01	0,23	143,56
12:00	1,41	0,03	143,56
12:30	1,04	0,00	143,56
13:00	0,75	0,00	143,56
13:30	0,53	0,00	143,56
14:00	0,49	0,00	143,56
14:30	0,58	0,12	143,56
15:00	0,61	0,25	143,56
15:30	0,60	0,36	143,56
16:00	0,51	0,49	143,56
16:30	0,34	0,56	143,56
17:00	0,00	0,60	143,56
17:30	0,00	0,94	143,56
18:00	0,00	1,94	143,56
18:30	0,00	4,35	143,56
19:00	0,00	0,00	143,56
19:30	0,00	0,00	143,56
20:00	0,00	0,00	143,56
Totais	9,70	21,82	3589,05
Percentuais	0,34%	0,61%	

Fonte: Autoria própria

Radiação solar direta na biblioteca de Toledo

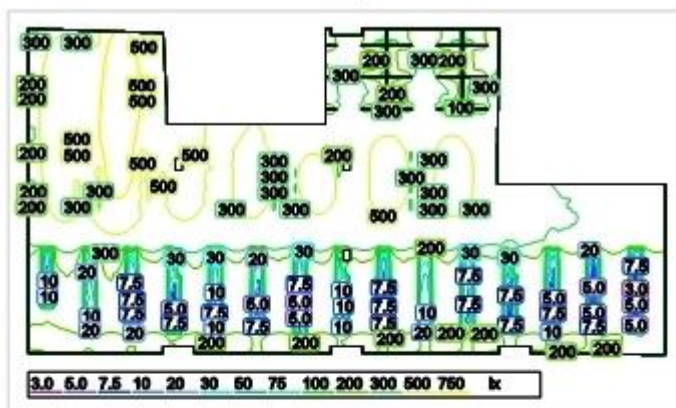
Levantamento da área com incidência de radiação solar direta durante um dia de funcionamento da biblioteca de Toledo			
Área total de piso (m ²)		368,56	
Disponibilidade da luz do Sol em 21 de jun. nascer do e por do sol (h)		07:18	17:54
Disponibilidade da luz do Sol em 22 de dez. nascer do e por do sol (h)		06:43	20:23
Horário	Área de piso sujeito a luz direta		Área de piso
	21 de junho	22 de dezembro	
08:00	4,08	92,92	368,56
08:30	37,39	70,42	368,56
09:00	77,36	53,04	368,56
09:30	60,15	38,17	368,56
10:00	39,14	27,51	368,56
10:30	25,45	18,04	368,56
11:00	14,93	12,13	368,56
11:30	6,99	5,76	368,56
12:00	1,24	0,94	368,56
12:30	0,00	0,00	368,56
13:00	0,00	0,00	368,56
13:30	0,00	0,00	368,56
14:00	0,00	0,00	368,56
14:30	0,00	0,00	368,56
15:00	0,00	0,00	368,56
15:30	0,00	0,00	368,56
16:00	0,00	0,20	368,56
16:30	0,00	0,55	368,56
17:00	0,00	1,14	368,56
17:30	0,00	1,82	368,56
18:00	0,00	2,41	368,56
18:30	0,00	2,98	368,56
19:00	0,00	3,46	368,56
19:30	0,00	0,00	368,56
20:00	0,00	0,00	368,56
Totais	266,72	331,51	9213,95
Percentuais	3,62%	3,60%	

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE E – SIMULAÇÃO DO RETROFIT DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DA BIBLIOTECA DE DOIS VIZINHOS

O relatório de simulação do *Software* DIALUX EVO 5 para os ambientes da biblioteca de Dois Vizinhos foi convertido para imagens menores e estão apresentadas nas figuras deste apêndice:

Acervo / Leitura / Room summary



Scale: 1 : 200

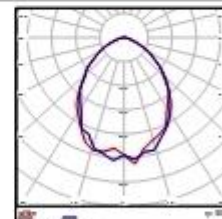
Perpendicular illuminance (adaptive)

Name	Average (lx)	Min (lx)	Max (lx)	Min/Average	Min/Max	Points (Relevant)
Workplane 1	322	2.91	935	0.009	0.003	2045 x 1024 (1651953)

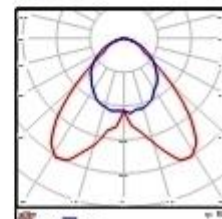
Height of room : 4.450 m, Height of working plane : 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%, Maintenance factor: 0,80

No. Quantity

1 74 Lumicenter Lighting EF06-S126
Light output ratio: 50.44%
Luminous flux: 905 lm, Power: 31.0 W



2 12 Lumicenter Lighting FAC07-S226
Light output ratio: 79.77%
Luminous flux: 4627 lm, Power: 65.0 W



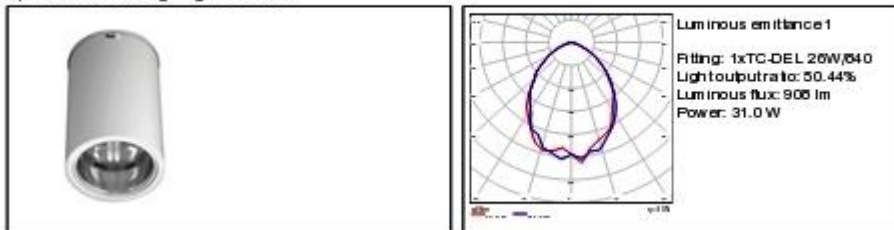
Total luminous flux: 122705 lm, Total Load: 3056 W

Specific connection value: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/100 lx (Ground area 0.00 m²)

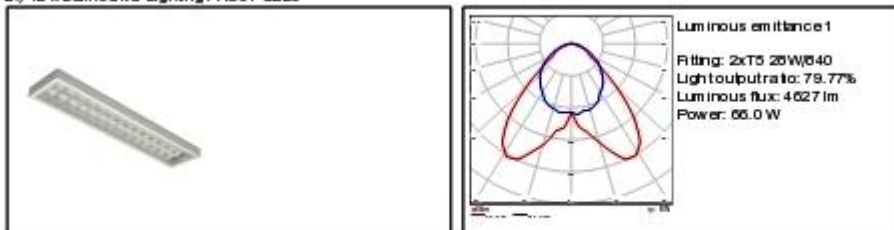
Relatório de simulação do *software* Dialux – áreas de leitura e acervo página 1
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Acervo / Leitura / Luminaire parts list

1.) 74 x Lumicenter Lighting EF06-S126



2.) 12 x Lumicenter Lighting FAC07-S226



Total luminous flux: 122706 lm, Total Load: 3066 W

Relatório de simulação do software Dialux – áreas de leitura e acervo página 2
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Acervo / Leitura / Results summary of surfaces

Perpendicular illuminance (adaptive)

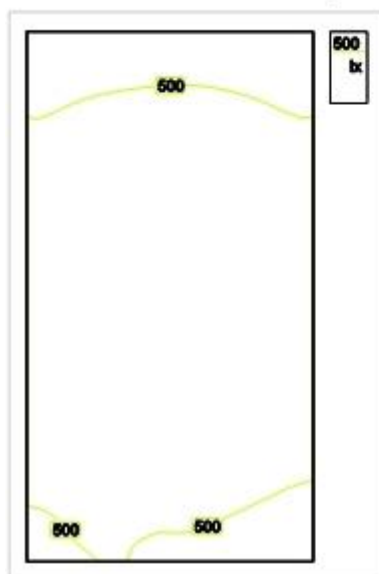
Name	Average [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min/average	Min/max	Points (Relevant)
Workplane 1	322	2.91	936	0.009	0.003	2046 x 1024 (1651963)

Height of room : 4.450 m, Height of working plane: 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%,
 Maintenance factor: 0,80

Relevant points are points in a surface that are not covered by room elements. The summarised results are based exclusively on these relevant points, as the remaining points would falsify the results.

Relatório de simulação do software Dialux – áreas de leitura e acervo página 3
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala Estudio 1 / Room summary



Scale: 1 : 25

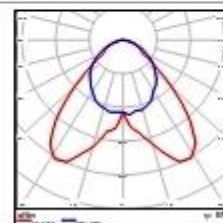
Perpendicular illuminance (adaptive)

Name	Average lux	Min lux	Max lux	Min/average	Min/max	Points (Relevant)
Workplane 2	567	415	666	0.732	0.621	16 x 32 (all)

Height of room: 4.450 m, Height of working plane: 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%, Maintenance factor: 0,80

No. Quantity

1	2	Lumicenter Lighting FAC07-S220 Light output ratio: 79.77% Luminous flux: 4627 lm, Power: 66.0 W
---	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------



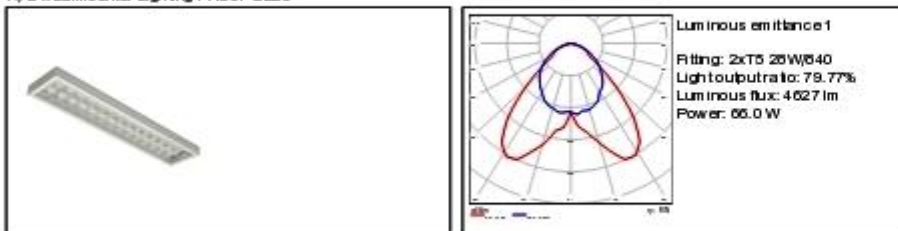
Total luminous flux: 9254 lm, Total Load: 132 W

Specific connection value: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/100 lx (Ground area 0.00 m²)

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 1 e acervo página 1
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala Estudo 1 / Luminaire parts list

1,2 x Lumicenter Lighting FAC07-S225



Total luminous flux: 9254 lm, Total Load: 132 W

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 1 e acervo página 2 Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala Estudo 1 / Results summary of surfaces

Perpendicular illuminance (adaptive)

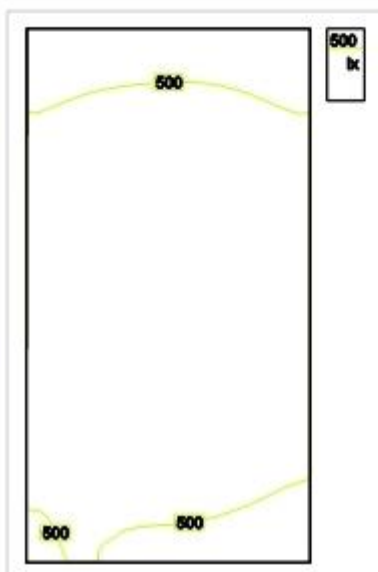
Name	Average [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min/average	Min/max	Points (Relevant)
Workplane 2	567	415	665	0.732	0.621	16 x 32 (all)

Height of room: 4.450 m, Height of working plane: 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%, Maintenance factor: 0,80

Relevant points are points in a surface that are not covered by room elements. The summarised results are based exclusively on these relevant points, as the remaining points would falsify the results.

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 1 e acervo página 3 Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala estudo 2 / Room summary



Scale: 1 : 25

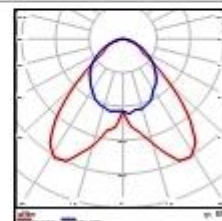
Perpendicular illuminance (adaptive)

Name	Average [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min/average	Min/max	Points (Relevant)
Workplane 3	565	416	671	0.732	0.620	16 x 32 (all)

Height of room: 4.450 m, Height of working plane: 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%, Maintenance factor: 0,60

No. Quantity

1	2	Lumicenter Lighting FAC07-S226 Light output ratio: 79.77% Luminous flux: 4627 lm, Power: 66.0 W
---	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------



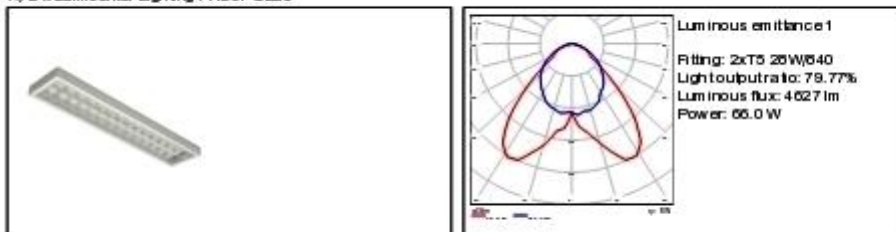
Total luminous flux: 9254 lm, Total Load: 132 W

Specific connection value: $17.46 \text{ W/m}^2 = 3.07 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$ (Ground area: 7.56 m^2)

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 2 e acervo página 1
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala estudo 2 / Luminaire parts list

1.) 2 x Lumicenter Lighting FAC07-S220



Total luminous flux: 9254 lm, Total Load: 132 W

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 2 e acervo página 2
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)

Sala estudo 2 / Results summary of surfaces

Perpendicular illuminance (adaptive)

Name	Average [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min/average	Min/max	Points (Relevant)
Workplane 3	568	416	671	0.732	0.620	15 x 32 (all)

Height of room: 4.450 m, Height of working plane: 0.800 m, Wall zone: 0.500 m, Reflection factors: Ceiling 70,0%, Walls 50,0%, Floor 20,0%,
 Maintenance factor: 0,80

Relevant points are points in a surface that are not covered by room elements. The summarised results are based exclusively on these relevant points, as the remaining points would falsify the results.

Relatório de simulação do software Dialux – Sala de estudo 2 e acervo página 3
Fonte: Adaptado de DIALUX (2015)