UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

AMANDA VANESSA MONACO PEIXOTO

**A iluminação natural na arquitetura religiosa:
qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas
com referência à cidade de São Paulo**

São Paulo

2017

AMANDA VANESSA MONACO PEIXOTO

A iluminação natural na arquitetura religiosa:
qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas
com referência à cidade de São Paulo

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientadora: Professora Dr^a. Joana Carla Soares Gonçalves

São Paulo

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL DA AUTORA: avmonaco@yahoo.com.br

P377i Peixoto, Amanda Vanessa Monaco
A iluminação natural na arquitetura religiosa: qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas com referência à cidade de São Paulo / Amanda Vanessa Monaco Peixoto. -- São Paulo, 2017.
202 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.

Orientadora: Joana Carla Soares Gonçalves

1.Iluminação natural 2.Iluminação natural (Sistemas) 3.Igrejas católicas 4.Igrejas (Arquitetura) 5.Edifícios religiosos 6.Arquitetura moderna 7.Conforto ambiental 8.Templos cristãos I.Título

CDU 628.92

PEIXOTO, Amanda Vanessa Monaco. A iluminação natural na arquitetura religiosa: qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas com referência à cidade de São Paulo. 2017. 188f. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr: Joana Carla S. Gonçalves

Instituição: FAU – USP

Julgamento: APROVADA

Prof. Dr: Dominique Fretin

Instituição: FAU – Un. P. Mackenzie

Julgamento: APROVADA

Prof. Dr: Evandro Ziggiatti Monteiro

Instituição: UNICAMP

Julgamento: APROVADA

Para Renato, meu amor,

que sempre me apoiou

em todos os dias

de minha vida.

Agradecimentos

Agradeço sobretudo à Deus, que me deu a vida e a Ciência, dom de Seu Santo Espírito, que me possibilitaram realizar este trabalho e todos os outros até então.

Agradeço à minha família, que me formou como pessoa e cidadã e me incentivou a estudar a tão nobre arte da arquitetura.

Agradeço ao meu amado, Renato, por ter me ajudado a escolher a arquitetura como profissão e paixão; por ter sempre me incentivado a continuar; por me fazer acreditar que eu conseguiria chegar até aqui e ir muito além; por acreditar que tudo o que eu fiz é digno de aprovação e respeito.

Agradeço àqueles professores que ainda acreditam em sua nobre função de ensinar, e que muito me ensinaram sobre arquitetura e sobre o mundo.

Resumo

PEIXOTO, Amanda Vanessa Monaco. **A iluminação natural na arquitetura religiosa: qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas com referência à cidade de São Paulo.** 2017. 188f. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

O trabalho tem como objetivo analisar as formas de utilização da iluminação natural em edificações religiosas da segunda metade do século XX, com enfoque especial àquelas localizadas na região metropolitana de São Paulo. Com base numa seleção de sete obras que se destacam por sua preocupação com a iluminação natural desde o esboço inicial, o que resultou em espaços com conforto e ambiência, são reconhecidas estratégias de iluminação natural aplicadas a esta tipologia de projeto. Esta análise de referências é feita através de visitas de campo e estudos com base na bibliografia de referência. Três das estratégias identificadas são selecionadas para estudos analíticos mais aprofundados, onde possa-se ter maior compreensão sobre seu funcionamento. Tais estudos são feitos sobre modelagem e simulação computacional, inserindo sempre os estudos no clima da cidade de São Paulo. Após a análise com base em estudos analíticos, é feita a caracterização de funcionamento de cada um dos três sistemas estudados, possibilitando sua aplicação consciente em futuros projetos, considerando tanto o efeito plástico quanto o conforto visual. O Monitor de Cobertura concentra o foco de brilho nas paredes da nave. O Clerestório, por sua vez, o concentra em um eixo da nave. Enquanto isso, as janelas altas produzem uma mancha de brilho que se desloca mais claramente pela

nave. O dimensionamento das aberturas deve ser feito de forma a possibilitar o conforto visual pelo maior número de horas possível ao longo do ano. O resultado será uma igreja onde a luz toma o papel principal destacando a arquitetura e, ao mesmo tempo, permite que as atividades litúrgicas transcorram sem dificuldades visuais.

Palavras-chave: 1.Illuminação Natural. 2.Illuminação Natural (Sistemas). 3.Igrejas católicas 4.Igrejas (Arquitetura) 5.Edifícios religiosos 6.Arquitetura moderna 7.Conforto ambiental 8.Templos cristãos I.Título

Abstract

PEIXOTO, Amanda Vanessa Monaco. **A iluminação natural na arquitetura religiosa: qualidade e desempenho luminoso em sistemas de iluminação natural geral da nave em igrejas católicas com referência à cidade de São Paulo.** 2017. 188f. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

This research intends to analyse the use of daylighting in religious buildings built in the second half of the XX century, with special concern to those at the metropolitan region of São Paulo. Based on a selection of seven buildings that stand out for their concern with natural lighting since the initial sketch, which resulted in spaces with scenic quality and comfort, are recognized natural lighting strategies that were applied to this design typology. This analysis of references is made through field visits and studies based on the reference bibliography. Three of the identified strategies are selected for further analytical studies, where one can gain a better understanding of their functioning. Such studies are done on modeling and computational simulation, always inserting studies in the of the city of São Paulo's climate. After analysis based on analytical studies, each of the three systems studied has is functioning characterized, allowing its conscious application in future projects, considering both the plastic effect and the visual comfort. The Roof Monitor focuses the brightness on the in walls of the church. The Clerestory, in turn, concentrates it in one of the axis of the church. Meanwhile, the high windows produce a bright zone that shifts more clearly through the nave. The openings dimensioning should be done in a way that allows visual comfort for as many hours as possible during the

year. The result will be a church where light plays the leading role in highlighting architecture and, at the same time, allows liturgical activities to develop without visual difficulties.

Keywords: 1.Daylighting. 2.Daylighting (Sistems). 3.Catholic Churches 4.Curches (Architecture)
5.Religious buildings. 6.Modern architecture. 7.Environmental comfort. 8.Christian temples I.Title

Índice de Ilustrações

Figura 1.1: Exemplos do uso da iluminação natural na história da arquitetura: Biblioteca em Éfeso (114-117) à esquerda, Catedral de São Pedro em Roma (1607-1614) à direita	29
Figura 1.2: Exemplos de uso da iluminação natural na arquitetura religiosa moderna e contemporânea: Capela em Romchamp (Le Corbusier, 1955); Igreja em Bagsvaerd (Jorn Utzon, 1976) à direita	30
Figura 2.1: tabela de brilho aparente x luminância e nível de adaptação	41
Figura 2.2: Carta Solar utilizada para a cidade de São Paulo (24° Sul)	46
Figura 3.1: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical média (corte)....	49
Figura 3.2: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical com bandeja refletora (corte)	51
Figura 3.3: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical com beiral externo (corte).....	52
Figura 3.4: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Brise-soleil interno (persiana) à esq; e por um Brise-soleil externo fixo horizontal à direita (ambos em corte)	53
Figura 3.5: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema prismático (corte)	54
Figura 3.6: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema coletor anidólico (corte)	55
Figura 3.7: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um átrio (corte)	57
Figura 3.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um clerestório (corte).....	58
Figura 3.9: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema Luz do Céu (corte)	59

Figura 3.10: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Monitor de cobertura (corte) ..	60
Figura 3.11: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema dente-de-serra (corte)	61
Figura 3.12: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Duto de Luz (corte)	62
Figura 3.13 - Esquema de distribuição de luz num sistema combinado de janela lateral e clerestório (corte).....	64
Figura 4.1 - Modelo de configuração de presbitério	69
Figura 4.2: exemplo de uso de iluminação Geral e de Destaque	76
Figura 5.1 - Implantação Paróquia São Domingos, São Paulo, Brasil	79
Figura 5.2: Entorno da Paróquia de São Domingos	80
Figura 5.3 - Vista externa da paróquia de São Domingos.....	81
Figura 5.4 - Entrada da paróquia de São Domingos	82
Figura 5.5 - Entrada da paróquia de São Domingos	83
Figura 5.6 - Interior da paróquia de São Domingos.....	84
Figura 5.7 - Interior da paróquia de São Domingos: detalhe da iluminação natural	85
Figura 5.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelas janelas verticais da igreja de São Domingos (planta).....	86
Figura 5.9: Igreja das três cruzeiras: implantação	87
Figura 5.10: Igreja das três cruzeiras: exterior - entrada principal oeste	88
Figura 5.11:Igreja das três cruzeiras:exterior – fachadas oeste e sul	89
Figura 5.12 - Igreja das três cruzeiras: planta	90
Figura 5.13 - Igreja das três cruzeiras: corte longitudinal.....	91
Figura 5.14 - Igreja das três cruzeiras: interior	92
Figura 5.15 - Igreja das três cruzeiras: interior - iluminação em duto sobre o altar	93

Figura 5.16 - Igreja das três cruzeiras: interior - janelas altas leste.....	94
Figura 5.17 - Igreja das três cruzeiras: exterior - janelas altas leste	95
Figura 5.18 - Igreja das três cruzeiras: interior - detalhe das janelas leste	96
Figura 5.19: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelas janelas altas leste (corte)	97
Figura 5.20: Implantação da Paróquia de São Bonifácio	98
Figura 5.21: Entorno da Paróquia de São Bonifácio	99
Figura 5.22 - Exterior da paróquia de São Bonifácio	101
Figura 5.23 - Interior da paróquia de São Bonifácio visto do coro	102
Figura 5.24 - Vista interna da rampa de acesso à nave	103
Figura 5.25: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura (corte).....	104
Figura 5.26: detalhe do monitor de cobertura instalado na igreja de São Bonifácio.....	105
Figura 5.27: implantação da Paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador	106
Figura 5.28: Entorno da Paróquia Nossa senhora Mãe do Salvador	107
Figura 5.29 - Entrada da Paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador	108
Figura 5.30: Sistema de iluminação e ventilação lateral	109
Figura 5.31 - Interior da paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador.....	110
Figura 5.32: duto de luz ao fundo do presbitério	111
Figura 5.33 - Igreja luterana de Bagsvaerd: implantação	112
Figura 5.34: Entorno da igreja de Bagsvaerd	113
Figura 5.35 - Igreja luterana de Bagsvaerd: vista externa	114
Figura 5.36: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo sistema luz do céu (corte)	115
Figura 5.37 - Igreja luterana de Bagsvaerd: interior – entrada da luz do céu	116
Figura 5.38 - Igreja luterana de Bagsvaerd: interior – entrada da luz do sol	117

Figura 5.39: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura (corte).....	118
Figura 5.40 - Implantação Catedral da Sagrada Família, São Paulo, Brasil.....	119
Figura 5.41 - Catedral da Sagrada Família: entrada principal.....	120
Figura 5.42 - Catedral da Sagrada Família: planta do térreo sem escala.....	121
Figura 5.43 - Catedral da Sagrada Família: vista interna da nave.....	122
Figura 5.44: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo clerestório (corte)	123
Figura 5.45 - Catedral da Sagrada Família: Capela da Sacrário	124
Figura 5.46 - Implantação da igreja de Deus Pai Misericordioso, Roma, Itália	126
Figura 5.47: Entorno da Paróqui Deus Pai Misericordioso	127
Figura 5.48 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: vista frontal.....	128
Figura 5.49: esquema do trajeto dos raios de luz entrado pelos monitores de cobertura (corte)..	129
Figura 5.50 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: entrada.....	130
Figura 5.51 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: vista posterior	131
Figura 5.52 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: vista do altar	133
Figura 5.53 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: entrada.....	134
Figura 5.54 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: aberturas baixas laterais.....	135
Figura 6.1: Fluxograma metodológico	139
Figura 6.2: perspectiva interna do modelo de monitor de cobertura de 1,00m	145
Figura 6.3: corte transversal do modelo de monitor de cobertura de 1,00m.....	145
Figura 6.4: vista interna do modelo de clerestório de 1,00m	146
Figura 6.5: corte transversal do modelo de clerestório de 1,00m	146
Figura 6.6: vista interna do modelo de janelas altas de 1,00m.....	147
Figura 6.7: corte transversal do modelo de janelas altas de 0,50m.....	147

Figura 7.1: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura às 8h, no equinócio	148
Figura 7.2: Iluminância (perspectiva) do modelo de monitor de cobertura às 8h, no equinócio, com céu claro	149
Figura 7.3: Iluminância (perspectiva) no modelo de monitor de cobertura às 12h do equinócio, com céu claro	150
Figura 7.4: Iluminância (plano de trabalho) no modelo de monitor de cobertura às 12h do equinócio, com céu claro	151
Figura 7.5: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura às 8h nos solstícios	152
Figura 7.6: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, equinócio, orientação norte-sul	153
Figura 7.7: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, orientação norte-sul	154
Figura 7.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo modelo de clerestório às 8h, no equinócio	155
Figura 7.9: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, equinócio, com céu claro	156
Figura 7.10: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, equinócio, com céu claro	157
Figura 7.11: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pela janela alta, às 8h, equinócio	158
Figura 7.12: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, equinócio, com céu claro	159
Figura 7.13: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, equinócio, com céu claro	160
Figura 7.14: Quadro resumo das características dos três sistemas	162
Figura 10.1: DA monitor de cobertura, abertura 0,50m, orientação norte-sul	173
Figura 10.2: DA monitor de cobertura, abertura 1,0m, orientação norte-sul	174

Figura 10.3: DA monitor de cobertura, abertura 1,50m, orientação norte-sul	175
Figura 10.4: DA monitor de cobertura, abertura 0,50m, orientação leste-oeste	176
Figura 10.5: DA monitor de cobertura, abertura 1,00m, orientação leste-oeste	177
Figura 10.6: DA monitor de cobertura, abertura 1,50m, orientação leste-oeste	178
Figura 10.7: DA clerestório, abertura 0,50m, orientação norte-sul	179
Figura 10.8: DA clerestório, abertura 1,00m, orientação norte-sul	180
Figura 10.9: DA clerestório, abertura 1,50m, orientação norte-sul	181
Figura 10.10: DA clerestório, abertura 0,50m, orientação leste-oeste	182
Figura 10.11: DA clerestório, abertura 1,00m, orientação leste-oeste	183
Figura 10.12: DA clerestório, abertura 1,50m, orientação leste-oeste	184
Figura 10.13: DA janelas altas, abertura 0,50m, orientação norte-sul.....	185
Figura 10.14: DA janelas altas, abertura 1,00m, orientação norte-sul.....	186
Figura 10.15: DA janelas altas, abertura 1,50, orientação norte-sul.....	187
Figura 10.16: DA janelas altas, abertura 0,50m, orientação leste-oeste	188
Figura 10.17: DA janelas altas, abertura 1,00m, orientação leste-oeste	189
Figura 10.18: DA janelas altas, abertura 1,50, orientação leste-oeste	190
Figura 10.19: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 8h, CIE Clear Sky	191
Figura 10.20: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, CIE Clear Sky	191
Figura 10.21: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 8h, CIE Overcast Sky	192
Figura 10.22: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, CIE Overcast Sky	192
Figura 10.23: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 12h, CIE Clear Sky	193
Figura 10.24: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, CIE Clear Sky	193
Figura 10.25: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 12h, CIE Overcast Sky	194

Figura 10.26: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, CIE Overcast Sky	194
Figura 10.27: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, CIE Clear Sky.....	195
Figura 10.28: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 8h, CIE Clear Sky	195
Figura 10.29: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, CIE Overcast Sky	196
Figura 10.30: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 8h, CIE Overcast Sky	196
Figura 10.31: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, CIE Clear Sky.....	197
Figura 10.32: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 12h, CIE Clear Sky	197
Figura 10.33: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, CIE Overcast Sky	198
Figura 10.34: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 12h, CIE Overcast Sky	198
Figura 10.35: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, CIE Clear Sky	199
Figura 10.36: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 8h, CIE Clear Sky	199
Figura 10.37: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, CIE Overcast Sky	200
Figura 10.38: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 8h, CIE Overcast Sky	200
Figura 10.39: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, CIE Clear Sky	201
Figura 10.40: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 12h, CIE Clear Sky	201
Figura 10.41: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, CIE Overcast Sky	202
Figura 10.42: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 12h, CIE Overcast Sky	202

Sumário

1	Introdução	28
2	Luz: Grandezas, Conceitos e Fundamentos	34
2.1	Grandezas fotométricas	35
2.2	Índices de iluminação natural.....	36
2.2.1	FLD: Fator de luz diurna.....	37
2.2.2	DA, sDA e ASE	37
2.2.3	IDU: Iluminância Diurna Útil (UDI: useful daylight illuminance)	38
2.3	Sensações humanas de luminosidade	39
2.3.1	Adaptação visual.....	39
2.3.2	Contraste	40
2.3.3	Brilho Aparente	40
2.3.4	Ofuscamento	42
2.4	Tipos de céu	42
2.4.1	Céu claro.....	43
2.4.2	Céu parcialmente encoberto	43
2.4.3	Céu encoberto	43
2.5	Fontes de luz natural	44
2.5.1	Luz do sol	44
2.5.2	Luz do céu	45
2.5.3	Fontes indiretas	45

2.6	A posição do sol	45
3	Estratégias de iluminação natural no projeto arquitetônico	48
3.1	Iluminação vertical	48
3.1.1	Janela vertical sem proteção	48
3.1.2	Sistemas de proteção e distribuição de luz vertical.....	49
3.2	Iluminação zenital.....	55
3.2.1	Átrio.....	56
3.2.2	Clerestório	58
3.2.3	Sistema Luz do Céu	59
3.2.4	Monitor de cobertura	60
3.2.5	Sistema dente-de-serra	61
3.2.6	Duto de luz	62
3.3	Sistemas combinados	63
4	O projeto de igrejas.....	66
4.1	O espaço da igreja	66
4.2	Componentes de uma igreja	67
4.2.1	Santuário ou presbitério.....	68
4.2.2	Nave.....	69
4.2.3	Adro	70
4.2.4	Campanário	71
4.2.5	Jardim	71
4.2.6	Sacristias	72
4.2.7	Batistério	72
4.2.8	Capela do Santíssimo.....	73
4.2.9	Capela da Reconciliação	73

4.2.10	Capela da Mãe de Deus	74
4.2.11	Coro	74
4.2.12	Secretaria.....	74
4.3	A luz na Igreja	75
4.3.1	As quatro qualidades da luz na igreja	75
4.3.2	Iluminação Geral da Nave e Iluminação de Destaque	76

5 Referências arquitetônicas: sistemas de iluminação natural aplicados à projetos de arquitetura religiosa 78

5.1	Igreja de São Domingos, São Paulo, Brasil – Franz Hepp, 1953 (janelas verticais)	79
5.2	Igreja das três cruzeiras, Imatra, Finlândia – Alvar Aalto, 1956-58 (duto de luz e janelas altas) 87	
5.3	Igreja de São Bonifácio, São Paulo, Brasil – Hans Bross, 1966 (monitor de cobertura).....	98
5.4	Igreja Nossa Senhora Mãe do Salvador, São Paulo, Brasil – Francisco Segnini Jr e Joaquim Cláudio de Oliveira Barretto, 1973 (janelas verticais e duto de luz).....	106
5.5	Igreja luterana, Bagsvaerd, Dinamarca – Jorn Utzon, 1976 (sistemas luz do céu e monitor de cobertura)	112
5.6	Catedral da Sagrada Família, São Paulo, Brasil – Fábio Mariz Gonçalves, 1991-1999 (clerestório e janelas laterais)	119
5.7	Igreja de Deus Pai Misericordioso, Roma, Itália – Richard Meier, 2000 (janelas verticais, sistema luz do céu, monitor de cobertura, duto de luz)	126
5.8	Quadro Resumo	136

6	Método	138
6.1	Referências	140
6.2	Estudos analíticos aprofundados.....	140
6.3	Método de simulação	142
6.3.1	A escolha do software	143
6.3.2	Parâmetros utilizados na simulação	143
6.3.3	O Modelo.....	144
7	Análise dos resultados.....	148
7.1	Monitor de Cobertura	148
7.2	Clerestório	155
7.3	Janelas altas	158
7.4	Comparativo entre os três sistemas analisados	161
8	Conclusão.....	164
9	Referências ¹.....	166
10	Anexo: resultados das simulações.....	172
10.1	D.A.	172
10.1.1	Monitor de Cobertura	172
10.1.2	Clerestório	179
10.1.3	Janelas altas.....	185
10.2	Iluminância	191

10.2.1	Monitor de Cobertura	191
10.2.2	Clerestório	195
10.2.3	Janelas Altas	199

1 Introdução

"A luz natural é um dom da Natureza. À medida que o homem civilizado aprende a utilizar as fontes de luz artificiais que libertam ele da total dependência da luz natural, ele também aprende a apreciar o valor da luz natural e a atentar para suas vantagens especiais." (HOPKINSON *et al*, 1975)

Historicamente, a luz sempre foi um ponto que mereceu especial atenção na arquitetura. Disse Le Corbusier que "*a arquitetura é um maestral, correto e magnífico jogo de volumes trazidos à tona pela luz*" (Le Corbusier, 1989) e que "*a história da arquitetura é a história da busca pela luz*" (Le Corbusier, 1923).

A arquitetura grega já se utilizava da luz como componente de uma edificação. Foram os diferentes efeitos da luz e de sua sombra nos elementos arquitetônicos, que definiram a posição e o tamanho dos componentes de suas fachadas e do ritmo de suas colunatas. Tal preocupação se manteve ao longo da história da arquitetura, principalmente na arquitetura romana, na arquitetura medieval gótica e na arquitetura neoclássica. Em cada um destes períodos, dentre os edifícios mais notórios que os representam estão sempre aqueles de arquitetura religiosa, onde a preocupação com a iluminação natural se intensificava no sentido de provocar um efeito cênico arrebatador que transmitisse o significado daquela edificação na vida de seus usuários, bem como o poder e a magnificência daquilo que ele representava.

Figura 1.1: Exemplos do uso da iluminação natural na história da arquitetura: Biblioteca em Éfeso (114-117) à esquerda, Catedral de São Pedro em Roma (1607-1614) à direita

Fonte (esq): FAZIO, Michael; MOFFETT, Marian; WODEHOUSE, Lawrence. A História da Arquitetura Mundial. Porto Alegre, AMGH Editora, 2011

Fonte (dir): BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. Daylight Design of Buildings. Ed. James x James, 2002

Com o advento da arquitetura moderna, oficializou-se a preocupação com o conforto do usuário das edificações no ensino e na prática da arquitetura. Em uma realidade onde a iluminação artificial podia já ser substituída por aquela artificial, percebeu-se também o quanto de recursos naturais era gasto para manter este "conforto". Após um certo tempo, foi cada vez mais incentivada a construção de edificações que gastassem menos energia para se manter funcionando, utilizando-se tanto quanto possível a luz natural nos ambientes interiores.

Figura 1.2: Exemplos de uso da iluminação natural na arquitetura religiosa moderna e contemporânea: Capela em Romchamp (Le Corbusier, 1955); Igreja em Bagsvaerd (Jorn Utzon, 1976) à direita

fonte: MONACO, Amanda Vanessa. A iluminação natural aplicada à arquitetura religiosa: projeto da paróquia de São Francisco de Assis. São Paulo, Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAU/USP, 2011.

Ainda hoje, a utilização da luz natural na arquitetura é um tema recorrente, onde os recursos naturais disponíveis, necessários à produção da eletricidade e da luz artificial, estão cada vez mais escassos, caros e de difícil acesso. Assim, utilizar os recursos naturais de forma a aproveitá-los ao máximo passa a ser mais uma das atribuições do arquiteto deste começo de século.

A arquitetura religiosa torna-se adequada para promover o estudo da iluminação natural por dois motivos. O primeiro deles é que, por ser um espaço de meditação e contemplação, a igreja favorece o estudo do aspecto qualitativo da iluminação natural e a sua capacidade cênica, além daquele quantitativo,

justamente por ser um espaço onde se realizam diversas atividades, com diversos níveis de esforço visual do usuário. O segundo motivo é o fato de que as igrejas são entidades sem fins lucrativos e que muitas vezes apresentam recursos limitados, por isso torna-se interessante a utilização da luz natural como forma de minimizar os gastos com energia elétrica e os impactos ambientais causados por sua construção e operação.

O mesmo estudo não teria a mesma profundidade, portanto, se fosse realizado, por exemplo, em uma escola ou numa biblioteca. Além de tais temas já terem sido exaustivamente estudados no campo do conforto lumínico, seus espaços possuem atividades visuais não muito diversificadas, pois a principal delas é sempre a leitura, de forma que não se explora o uso da luz natural para a criação de uma ambiência diferenciada, como ocorre na arquitetura religiosa. O programa das edificações religiosas é bastante diferenciado dos edifícios citados anteriormente. O programa das igrejas católicas, em especial, se diferencia daquele das igrejas de outras religiões, devido à sequência de atividades diversas que devem ser realizadas em seu interior, definidas à partir de 1965 pelo Concílio Vaticano II, dentre as quais figuram com destaque: meditação e oração (baixa necessidade lumínica), leitura (alta necessidade lumínica) e pontos de destaque em imagens e símbolos (muito alta necessidade lumínica).

O Brasil apresenta um céu extremamente abundante em quantidade de luz natural. Isso faz com que se torne ainda mais fundamental que estudos sobre a boa utilização da luz natural sejam desenvolvidos. O clima da cidade de São Paulo possibilita uma vasta gama de experimentações neste campo, pois por sua latitude possui uma quantidade mediana de luz em seu céu, em relação aos valores encontrados por todo o país, bem como por sua altitude e localização geográfica resultarem em pequena variabilidade térmica ao longo do ano (comparada a outras cidades brasileiras), o que possibilita melhores estudos sobre aberturas de iluminação natural, bem como sobre mecanismos de proteção à insolação excessiva. O tipo de céu encontrado

em São Paulo também favorece este ponto, pois por ser, em grande parte do ano, parcialmente nublado, fornece uma quantidade significativa de radiação difusa sobre a radiação global, favorecendo uma melhor distribuição da luz internamente sem grandes sobrecargas térmicas.

Segundo Menezes (2006), frequentemente a iluminação e a ventilação são deixadas de lado no projeto de igrejas no Brasil, resultando em intenso desconforto térmico e lumínico dos fiéis, o que os desconcentra da atividade que pretendiam ali realizar. Muitas vezes, o desconforto térmico tenta ser amenizado pela instalação de ventiladores, o que muitas vezes não resolve o problema e gera um terceiro problema de desconforto acústico, causado pelo ruído dos aparelhos. O desconforto lumínico, causado principalmente por aberturas na face norte, é totalmente negligenciado.

Com base numa seleção de sete obras que se destacam por sua preocupação com a iluminação natural desde o esboço inicial, o que resultou em espaços com qualidade cênica de luz e expressivo conforto visual, são reconhecidas estratégias de iluminação natural aplicadas a esta tipologia de projeto. Esta análise de referências é feita através de visitas de campo e estudos com base na bibliografia de referência.

Três das estratégias identificadas são selecionadas para estudos analíticos mais aprofundados, onde possa-se ter maior compreensão sobre seu funcionamento. Tais estudos são feitos sobre modelagem e simulação computacional, inserindo sempre os estudos no clima da cidade de São Paulo.

Após a análise com base em estudos analíticos, é feita a caracterização de funcionamento de cada um dos três sistemas estudados, possibilitando sua aplicação consciente em futuros projetos, considerando tanto o efeito plástico quanto o conforto visual..

2 Luz: Grandezas, Conceitos e Fundamentos

A luz é a energia radiante que pode ser sentida pelo olho humano. Por isso, ela se relaciona diretamente com nossa percepção desta energia. A sensação que certa luz nos causa é, portanto, parte integrante do que é a luz para o ser humano. Em termos físicos, a luz é tida como “a banda da energia radiante situada entre determinados comprimentos de onda” que “pode ser medida sem a ajuda dos órgãos visuais humanos.” (HOPKINSON *et al*, 1975)

Apesar de a luz ser então apenas a gama de ondas visíveis do espectro da radiação solar, os estudos de iluminação natural devem se preocupar com os demais espectros também. Isso porque as ondas de comprimento menor, chamadas ultravioletas, danificam os materiais que por ela são tocados, e comprimentos de onda mais longos, chamados infravermelhos, produzem calor.

A luz é, ao mesmo tempo, uma onda eletromagnética, e como tal, é gerada pela vibração de moléculas de uma dada substância e transmitida pela vibração de moléculas de um dado meio, em geral o ar. Em um mesmo meio, admite-se que a velocidade de propagação da luz seja constante. No entanto o comprimento da onda gerada pela vibração de tais moléculas pode variar, resultando nas diferentes cores do espectro visível da radiação eletromagnética.

“Quando a luz atinge uma determinada substância, ela pode ser refletida, absorvida ou, no caso de materiais transparentes, transmitida. Conforme a energia radiante é absorvida, as moléculas superficiais desta substância aumentam sua vibração, convertendo, portanto, a energia radiante em energia térmica.”

(MOORE, 1991) O nível de agitação destas moléculas vai determinar a frequência e, portanto, a cor, da radiação emitida por esta substância.

2.1 Grandezas fotométricas

Para que se possa estudar os fenômenos que regem o comportamento da luz na natureza é necessário conhecer todas as grandezas da luz que podem ser medidas ou calculadas. A estas chamam-se **Grandezas Fotométricas**.

Ao ritmo com que a luz, ou seja, a parcela visível da energia radiante, se transfere, dá-se o nome de **Fluxo Luminoso**. (HOPKINSON *et al*, 1975) Em outras palavras, Fluxo Luminoso é a “taxa de tempo do escoamento da luz” (MOORE, 1991). Ele é normalmente medido em lumens.

A razão entre o fluxo luminoso cedido e a potência energética recebida pela fonte de luz se chama **Eficiência Luminosa** e é medida em lumens por watt. (TREGENZA, 1998)

A **Iluminância** é uma grandeza que pode ser definida como "a distribuição da luz sobre uma superfície, exprime-se em termos de lúmens por unidade de área." (HOPKINSON *et al*, 1975). Moore (1991), Ander (1995) e Tregenza (1998) também apresentam definições similares, de que iluminância é a densidade do fluxo luminoso sobre uma superfície, que é comumente medida em lux, onde um lux é igual a um lúmen por metro quadrado. A sua representação gráfica se dá através das curvas isolux, que são o lugar geométrico dos pontos de igual valor de iluminância.

Já a **Luminância**, também chamada de “brilho fotométrico”, é “a intensidade luminosa de qualquer superfície em uma dada direção por unidade ou área projetada da superfície vista daquela direção.” (ANDER,

1995) Hopkinson, Petherbridge, Longmore (1975) também a diz como sendo a palavra empregada para designar “ a quantidade física de brilho, isto é, o brilho que pode ser medido por um fotômetro físico.” A luminância é “o produto entre a iluminância e a refletância” de uma superfície opaca. (MOORE, 1991)

A **Intensidade Luminosa**, Tanto para Hopkinson, Petherbridge, Longmore (1975) quanto para Moore (1991), pode ser definida como sendo o fluxo luminoso de uma fonte por ângulo sólido. É normalmente medida em candelas (Tregenza, 1998).

Refletância é “o poder de reflexão de uma superfície” (HOPKINSON *et al*, 1975), que pode ser exprimido, segundo Moore (1991) e ANDER (1995) como a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente. Pode também ser expressa em porcentagem. (LAM, 1986)

Transmitância, segundo Moore (1991), é a razão entre o fluxo luminoso transmitido e o fluxo luminoso recebido. Da mesma forma que a refletância, pode ser expressa em porcentagem.

“**Absortância** é a razão entre fluxo luminoso absorvido e fluxo luminoso recebido.” (MOORE; 1991) No caso de superfícies opacas, a soma da absorbância com a refletância deve ser igual a 100%, ou seja, o fluxo absorvido mais o fluxo refletido devem igualar-se ao fluxo recebido. No caso de superfícies transparentes ou translúcidas, o fluxo luminoso recebido será igual à soma dos fluxos refletidos, absorvidos e transmitidos.

2.2 Índices de iluminação natural

A seguir serão apresentadas as definições para Fator de Luz Diurna (FLD), Autonomia Diurna (DA) e Iluminância Diurna Útil (IDU).

2.2.1 FLD: Fator de luz diurna

Fator de luz diurna é a “relação entre a iluminação natural num ponto do plano devida à luz recebida direta ou indiretamente do céu com distribuição de luminâncias suposta ou conhecida, e a iluminação num plano horizontal devida a um hemisfério não obstruído do mesmo céu. A luz solar direta exclui-se de ambos os valores de iluminação.” (HOPKINSON *et al*, 1975). Moore (1991) concorda e complementa dizendo que ele pode ser expresso em porcentagem e que “permanece constante e inalterado com a variação absoluta da luminância solar.” (MOORE, 1991)

2.2.2 DA, sDA e ASE

A Autonomia Diurna, segundo Nabil e Mardaljevic, informa a porcentagem de dias do ano em que um determinado ponto no plano de trabalho de um determinado interior de edifício terá ao menos 500 lux fornecidos apenas pela luz do dia. Ela é representada pela sigla **AD** em português ou **DA**, do inglês Daylight Autonomy.

As duas principais desvantagens de se utilizar esta ferramenta para cálculos de iluminação são que se desprezam os valores inferiores a 500 lux, mas que são muito valorizados pelo usuário para uma diversidade de usos, e que se ignora qual porcentagem de tempo o usuário estará submetido ao ofuscamento e iluminação excessiva.

Em alguns softwares estrangeiros, como o utilizado neste trabalho, uma grandeza semelhante é apresentada: o **sDA**, ou seja, Spacial Daylight Autonomy. Este termo vem da norma LEED v4 e se refere à

porcentagem da área do plano de trabalho que receberá ao menos 300lux em pelo menos 50% das horas com luz diurna ao longo do ano.

Para vencer a segunda desvantagem citada por Nabil e Mardaljevic, o sDA deve ser sempre acompanhado do **ASE** (Annual Sun Exposure), que é porcentagem do plano de trabalho que recebe 1000 lux ou mais em mais de 250 horas com luz diurna ao longo do ano.

2.2.3 IDU: Iluminância Diurna Útil (UDI: useful daylight illuminance)

A Iluminância Diurna Útil é, segundo Nabil e Mardaljevic, um tipo de análise da luz do dia no interior de edificações baseado em análises climáticas. Ao contrário do FLD que resulta num número único para cada ponto do interior da edificação analisado, o IDU resulta na quantidade de luz em um dado ponto do espaço para todos os horários e dias do ano. Foi criado para simplificar e dar velocidade aos cálculos de iluminação que anteriormente eram feitos através do FLD.

Outra vantagem com relação ao método anterior, é que além de fornecer a informação da porcentagem de tempo que haverá luz suficiente para o usuário, em um determinado ponto no espaço ao longo do ano, ele também informa a porcentagem de tempo que haverá desconforto visual por excesso de luz neste mesmo ponto.

A IDU informa a porcentagem de tempo em que um determinado ponto estará entre cada um dos três intervalos de quantidade de luz: de 0 a 100 lux, considerado insuficiente para qualquer atividade e necessário a complementação com iluminação artificial; de 100 a 2000 lux, considerado suficiente para vários tipos de atividades desempenhadas pela usuário, podendo ou não ser complementado por luz artificial,

dependendo do uso que se deseja do espaço estudado; acima de 2000 lux, considerado excessivamente iluminado e desconfortável para o usuário, exigindo algum tipo de controle da entrada da luz natural.

2.3 Sensações humanas de luminosidade

A percepção da luz depende do olho humano. Devido ao seu funcionamento fisiológico, alguns destes fenômenos podem ser sentidos quando o olho se depara com algumas condições peculiares de distribuição de luz no ambiente.

2.3.1 Adaptação visual

Devido ao fato de que os nervos ópticos só conseguem transmitir uma gama limitada dos sinais captados pelo olho, o olho precisa adaptar sua sensibilidade ao campo visual. (BAKER *et al*, 2002)

A primeira adaptação ocorre na íris do olho, que altera seu diâmetro para controlar a quantidade de luz que entra no olho. A segunda adaptação ocorre na retina, onde as suas células adaptam sua sensibilidade em razão da quantidade média de luz recebida. (BAKER *et al*, 2002)

Devido a este fenômeno, dois objetos com níveis de luminância diferentes podem parecer iguais dependendo da luminância do ambiente onde eles se encontram. De maneira análoga, um objetos com uma dada luminância pode parecer diferente quando observado em ambientes de diferentes iluminâncias.

2.3.2 Contraste

Qualitativamente, Moore (1991) nos explica como se dá o contraste: “O olho geralmente se adapta à média dos vários brilhos do campo de visão, sendo mais afetado por brilhos mais próximos ao centro da visão. Se uma área de alto brilho é posta próxima a uma área de brilho muito baixo, o olho tende a se adaptar à média, dificultando o discernimento de detalhes em ambas as áreas, especialmente na área de baixo brilho. Enquanto o olho poderia se adaptar a qualquer uma destes níveis de brilho separadamente, a adjacência dos dois níveis no campo de visão é fonte de desconforto e reduz a acuidade visual.” (MOORE, 1991)

Quantitativamente, pode ter seu valor determinado pelas expressões: $(L_2 - L_1) / L_1$ ou $2(L_2 - L_1) / (L_2 + L_1)$ (HOPKINSON *et al*, 1975)

2.3.3 Brilho Aparente

O brilho fotométrico, ou seja, aquele que pode ser medido por aparelhos, nós chamamos de Luminância, e já foi tratado em 1.1. O brilho aparente, que doravante será chamado apenas de brilho, é a sensação de brilho sentido pelo olho humano.

O conceito de brilho aparente começou a ser discutido na década de 30, e desde então, várias tentativas foram feitas para estabelecer-se uma relação entre os dois tipos de brilho citados no parágrafo anterior.

A mais acurada das tentativas de relacionar o brilho aparente com o fotométrico foi proposta por Hopkinson e diz que:

$$\text{Brilho aparente} = k(A) \cdot L^{b(A)}$$

Onde $k(A)$ e $b(A)$ dependem do nível A de adaptação e L é o valor absoluto de luminância.

A tabela a seguir mostra a relação entre brilho aparente e luminância, considerando quatro diferentes níveis de adaptação.

Figura 2.1: tabela de brilho aparente x luminância e nível de adaptação

Fonte: BAKER *et al*, 2002

Pode-se perceber que, por exemplo, para um nível de adaptação de 100cd/m^2 , que seria o considerado para um cômodo iluminado naturalmente de dia, para se dobrar o brilho aparente deve-se aumentar a luminância numa escala de 2,5. (BAKER *et al*, 2002)

2.3.4 Ofuscamento

A presença de alto contraste luminoso no campo de visão pode levar ao fenômeno conhecido como ofuscamento. Ele é causado por uma instabilidade no mecanismo de controle do sistema visual: enquanto as partes mais estimuladas da retina pedem à pupila que se feche, as partes menos estimuladas pedem a ela que se abra. (BAKER *et al*, 2002)

Estudos comprovam que a sensação de ofuscamento está relacionada com a luminância da fonte de ofuscamento e com a luminância do ambiente que a cerca. Um limite para evitar o ofuscamento aparece na tabela da Figura 1.1, já que este fenômeno está relacionado com o brilho aparente e o nível de adaptação do usuário.

2.4 Tipos de céu

A condição do céu faz variar a proporção de luz que nos é oferecida. Segundo Moore (1991), quando o céu está claro, as edificações recebem luz direta e refletida das superfícies que a cercam. Quando o céu está encoberto, a luz do sol é difundida pelas nuvens, e o céu é a aparente fonte de luz.

2.4.1 Céu claro

A norma ABNT 15215 define céu claro como sendo aquele que apresenta até 35% de sua área coberta de nuvens. Segundo Moore (1991), em um dia de céu claro a maior parte da iluminação provém diretamente do sol. A intensidade desta iluminação é totalmente dependente da altura do sol no céu, sendo menos intensa ao nascer e ao pôr-do-sol em qualquer latitude, e ao meio dia é menos intensa à altas latitudes, porque o sol é mais baixo nestas. Devido à massa de ar que os raios solares precisam atravessar, a intensidade da luz varia até 50% conforme o sol se move em alturas de 90º a 15º. Seu modelo matemático é conhecido como CIE Clear Sky.

2.4.2 Céu parcialmente encoberto

Diferentemente de dias de céu claro ou de céu encoberto, em dias de céu parcialmente encoberto a luminosidade varia constantemente, com momentos de luz solar direta e momentos em que esta é interceptada pelas nuvens (Moore, 1991). Segundo a ABNT 15215 um céu parcialmente encoberto é aquele que apresente entre 35% e 75% de sua área coberta por nuvens.

2.4.3 Céu encoberto

Segundo Moore (1991), dias de céu encoberto tem uma luminância até 90% menor, sendo que esta intensidade não varia significativamente ao longo do dia. Seu modelo matemático é conhecido por CIE Overcast Sky. Em média, a luminância do céu é cerca de um terço no horizonte com relação ao seu valor no zênite. A ABNT 15215 define como céu encoberto aquele com mais de 75% de sua área coberta por nuvens.

2.5 Fontes de luz natural

Embora toda luz natural venha do sol, consideramos a existência de três fontes de luz natural, para facilitar os estudos, por possuírem diferentes comportamentos e efeitos.

2.5.1 Luz do sol

A **Luz do Sol**, ou luz direta do sol, é a “radiação visível vinda diretamente do sol” (ANDER, 1995). Segundo Moore (1991), pode-se dizer que, como a incidência direta de raios solares é muito intensa (da ordem de 65000 a 100000 lux), é recomendado que se evite sua incidência no interior dos edifícios, devido ao desconforto que pode ser causado, entre outros fatores, pelo aumento de ganho de calor no ambiente. Seu uso, no entanto, pode ser bem vindo no caso de se desejar este aquecimento ou devido a algum fator psicológico ou estético que este venha a acrescentar.

Segundo Moore (1991), para efeitos de projeto, consideramos que a luz do sol é uma fonte pontual, que está presente em situações de céu claro e parcialmente nublado, sendo a responsável pela projeção das sombras. Podemos determinar o desenho das sombras causadas por sua projeção nos objetos através de *Cartas Solares*, que informam a posição relativa do sol para cada latitude do globo através de sua *Altitude* e de seu *Azimuth* (ver 2.6).

2.5.2 Luz do céu

A **Luz do céu**, luz celeste ou luz direta do céu, é “a radiação visível do sol redirecionada pela atmosfera” (ANDER, 1995), ou ainda, segundo Moore (1991) é considerada como aquela luz refratada e refletida pela abóbada celeste.

Enquanto a luz direta do sol é considerada uma fonte pontual, a luz do céu é uma fonte que produz uma distribuição homogênea de luz e praticamente não produz sombra. No entanto, é uma fonte relativamente mais fraca que a incidência direta de raios solares, fornecendo cerca de 5000 a 20000 lux.

2.5.3 Fontes indiretas

Segundo Moore, (1991), são consideradas **fontes indiretas** aquelas vindas de difusores refletivos ou translúcidos que foram originalmente iluminados por uma fonte primária ou secundária. Este tipo de fonte, assim como a luz direta do céu, também apresenta uma distribuição homogênea da luz.

2.6 A posição do sol

Considerando a luz direta do sol como uma fonte pontual podemos prever sua posição e, assim, prever a sombra que será criada por ela ao se projetar sobre os objetos. A posição do sol para qualquer data e horário pode ser facilmente consultada em Cartas Solares, que informam para cada momento sua Altitude e seu Azimute.

A **Altitude** é “o ângulo vertical a partir do horizonte” (BAKER *et al*, 2002). **Azimute** é a “direção com relação ao norte” (BAKER *et al*, 2002) que se encontra o sol. A representação gráfica destes dados são os chamados Diagramas Solares. No Brasil os mais utilizados são as **Cartas Solares**, que são a projeção estereográfica da trajetória do sol vista da Terra. Em outros países, como na Inglaterra, utiliza-se mais as projeções cilíndricas, lá conhecidas simplesmente por *Sunpath Diagrams*. (BAKER *et al*, 2002)

Na Carta Solar é representado toda a abóbada de um hemisfério no formato de um disco circular, onde o centro corresponde ao zênite e a circunferência representa o horizonte. O resultado é análogo ao obtido numa fotografia com lente olho-de-peixe de 180° tirada com a câmera deitada no chão olhando para cima. (BAKER *et al*, 2002)

Figura 2.2: Carta Solar utilizada para a cidade de São Paulo (24° Sul)

Para uma dada latitude, no caso da figura 2.1, 24° Sul, as trajetórias do sol a cada dia são representadas pelas linhas curvas. As linhas perpendiculares a estas são os horários do dia. O ponto onde estas linha encontram o círculo do horizonte, são os horários do nascer e pôr do sol.

Deve-se levar em conta que na carta solar está representado o horário solar, que difere levemente do horário civil, especialmente nas regiões onde se usa o horário de verão. O horário solar é aquele para o qual ao meio dia de cada dia o sol está em sua elevação máxima e onde o azimute é igual a zero.

3 Estratégias de iluminação natural no projeto arquitetônico

Para efeitos de estudo, dividem-se as estratégias de iluminação natural em laterais e zenitais. Tais estratégias podem ser adotadas exclusivamente num projeto, ou em conjunto, formando um sistema de iluminação natural combinado. (BOUBEKRI, 2008)

3.1 Iluminação vertical

A iluminação vertical é aquela que capta a luz vinda de uma das empenas do edifício, obtida através de elementos verticais instalados numa das fachadas verticais do edifício.

3.1.1 Janela vertical sem proteção

O sistema mais utilizado de iluminação vertical é a janela. A janela pode ser baixa, média ou alta, com ou sem dispositivos de proteção solar. A janela vertical é um dos dispositivos de iluminação natural que possibilitam uma maior visão do exterior do edifício. A profundidade de penetração da luz por este tipo de dispositivo, bem como sua distribuição, são alterados conforme se variam a altura e a largura da janela.

A distribuição de luz vinda de uma janela tende a ser mais concentrada próximo a ela, e menos concentrada nas áreas do ambiente mais distantes dela. (BOUBEKRI, 2008) Por este motivo, e pelo risco de ofuscamento e altos contrastes, este não é considerado um sistema com bom desempenho luminoso. No entanto, no Brasil, ele ainda é o mais utilizado por apresentar baixo custo e poder ser instalado em todos os andares com facilidade.

Figura 3.1: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical média (corte)

3.1.2 Sistemas de proteção e distribuição de luz vertical

Para melhorar a distribuição da luz no interior de ambientes iluminados por sistemas verticais, e diminuir o desconforto gerado pelo excesso de iluminação direta, são encontrados vários sistemas que basicamente são uma janela vertical dotada de mecanismos de proteção de distribuição de luz.

3.1.2.1 Bandejas refletoras

Bandejas refletoras são dispositivos instalados em janelas, ou próximo a elas, que refletem e dispersam a luz natural para teto e paredes do ambiente interno, principalmente a luz solar. (BOUBEKRI, 2008) Desta forma, este mecanismo não somente diminui a quantidade de luz direta que entra no ambiente, mas também aumenta a quantidade de luz refletida difusa neste (ANDER, 1995) e por consequência leva a uma distribuição mais igualitária da luz (BOUBEKRI, 2008).

A bandeja refletora divide a janela em duas partes: uma inferior, que continua funcionando como uma janela vertical, e uma superior, que redireciona a luz recebida para distribuir para as áreas mais afastadas da janela. A parte superior da bandeja refletora deve ser feita de um material altamente refletivo, porém não muito especular, para evitar ofuscamentos por pontos de brilho muito alto. (BOUBEKRI, 2008) Existem bandejas refletoras de área variável, que são providas de um filme plástico refletivo que pode mudar de angulação para garantir a melhor proporção entre sombra e reflexão de acordo com o horário do dia.

Figura 3.2: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical com bandeja refletora (corte)

3.1.2.2 *Balanços e beirais*

Balanços e beirais sobre uma abertura vertical podem ser usados para o controle da quantidade de luz direta incidente no ambiente por tal abertura. Além disso, o balanço reflete os raios recebidos do chão por reflexão para dentro do ambiente. Portanto, este mecanismo diminui a quantidade de luz direta e aumenta a quantidade de luz difusa refletida que entra no ambiente (ANDER, 1995).

Figura 3.3: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por uma janela vertical com beiral externo (corte)

3.1.2.3 *Brise solei*

Brises são mecanismos de controle da luz natural direta, que são instalados no exterior ou interior da janela ou conjunto de janelas. Eles podem ser verticais ou horizontais, dependendo da orientação da fachada onde estão instalados (ANDER, 1995). Se a superfície superior destes brises for altamente refletiva, ele também pode auxiliar a direcionar parte da luz para as regiões mais distantes da janela, funcionando melhor em dias com maior proporção de luz solar sobre a luz do céu (BOUBEKRI, 2008).

Figura 3.4: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Brise-soleil interno (persiana) à esq; e por um Brise-soleil externo fixo horizontal à direita (ambos em corte)

3.1.2.4 Sistemas prismáticos

Este sistema consiste em um material transparente especialmente desenhado para redirecionar a luz, por refração, para as áreas mais distantes da janela (BOUBEKRI, 2008).

Figura 3.5: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema prismático (corte)

3.1.2.5 Sistema coletor anidólico

Este sistema é na verdade um meio termo entre iluminação vertical e zenital, pois apesar de poder ser instalado na empena de um ambiente, também pode ser acoplado no distribuidor de um duto de luz (BOUBEKRI, 2008). Ele é composto de dois espelhos de formato parabólico projetados para melhor distribuir a luz no ambiente qualquer que seja sua angulação e distribuição inicial.

Figura 3.6: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema coletor anidólico (corte)

3.2 Iluminação zenital

A iluminação zenital é feita através de aberturas que se localizam acima do forro do ambiente e que, normalmente, fazem parte da cobertura do edifício (ANDER, 1995). Apesar de ser mais eficiente que a iluminação vertical, a iluminação zenital, frequentemente, se restringe aos andares superiores do edifício.

Ao se utilizar este tipo de sistema, deve-se tomar o cuidado de não se causar o desconforto do usuário, pois estes sistemas captam uma maior quantidade de radiação quando comparados aos sistemas verticais e não permitem muito controle por parte do usuário, podendo causar não só desconforto visual como também térmico.

Os sistemas de iluminação zenital tendem a ter uma distribuição mais uniforme da luz. Eles também costumam resultar em uma maior quantidade de luz, quando comparado aos sistemas verticais. Isso se deve ao fato de que este tipo de sistema capta a luz da parte zenital da abobada celeste, que é mais luminosa.

3.2.1 Átrio

Este tipo de iluminação zenital remonta aos antigos gregos e romanos. Consiste num espaço não edificado no centro do edifício, que permita a entrada da luz. É um sistema de iluminação zenital de custos iniciais e de manutenção relativamente baixos. (ANDER, 1995)

Esta estratégia de iluminação pode ser particularmente muito útil ao se projetar edifícios de vários andares de planta muito profunda, pois proporciona a possibilidade de instalação de janelas verticais voltadas para estes átrios onde a iluminação advinda da fenestração externa do edifício já não for suficiente. A eficiência deste tipo de estratégia, assim como no duto de luz, diminui com o aumento do número de andares. (BAKER *et al*, 2002).

Figura 3.7: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um átrio (corte)

3.2.2 Clerestório

Clerestórios são janelas verticais que iniciam acima da altura do olhar do usuário e abaixo da altura do forro. (ANDER, 1995) Suas principais vantagens são não causar brilho excessivo no campo de visão do usuário, permitir a entrada de mais luz por área, já que visam a parte mais brilhante do céu, (ANDER, 1995) bem como a penetração mais profunda da luz no ambiente. (BOUBEKRI, 2008)

Figura 3.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um clerestório (corte)

3.2.3 Sistema Luz do Céu

Este é um dos sistemas mais simples de iluminação zenital, pois consiste de aberturas na cobertura, cobertas ou não por elementos translúcidos. Este sistema permite a captação da luz do sol nas horas centrais do dia e da luz do céu durante todo o dia. Sua aplicação é limitada ao nível mais alto do edifício. Um refletor pode ser acoplado sob este sistema para melhorar a sua distribuição de luz. (BOUBEKRI, 2008)

Figura 3.9: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema Luz do Céu (corte)

3.2.4 Monitor de cobertura

Este sistema, apesar de ser posicionado na cobertura, captura a luz lateralmente. Seu desenho varia de acordo com as intenções de projeto sobre horários do dia ou períodos do ano no qual se quer deixar a luz do sol entrar. Quando possui aberturas voltadas para dois lados, ele funciona mais com a luz do céu (BOUBEKRI, 2008).

Figura 3.10: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Monitor de cobertura (corte)

3.2.5 Sistema dente-de-serra

Este sistema, assim como o sistema anterior, é posicionado na cobertura e captura a luz lateralmente. Seu desenho varia de acordo com as intenções de projeto sobre horários do dia ou períodos do ano no qual se quer deixar a luz do sol entrar (BOUBEKRI, 2008).

Figura 3.11: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Sistema dente-de-serra (corte)

3.2.6 Duto de luz

O Duto de Luz é um sistema ótico que consegue transportar a luz para ambientes em níveis mais inferiores. Ele é composto de ter partes: o sistema de captação, o de transporte e o de distribuição (ANDER, 1995).

Figura 3.12: esquema do trajeto dos raios de luz entrando por um Duto de Luz (corte)

Neste sistema de iluminação, quanto maior seu comprimento, menor a participação da luz direta na iluminação do ambiente, o que reduz ganhos térmicos e ofuscamento. Porém, quanto maior seu comprimento, também maior será a perda de energia ao longo do duto, e, portanto, menor será seu rendimento.

Dutos mais largos e curtos possibilitam a entrada de luz direta no ambiente, pois apresentam menos reflexões ao longo do transporte do que dutos mais estreitos e compridos.

3.3 Sistemas combinados

É possível combinar diversas estratégias de iluminação num único projeto, para atender às diversas demandas das diversas áreas do projeto ou diversos efeitos desejados.

Um sistema de iluminação natural que combine uma janela lateral com um clerestório, por exemplo, tende a ter uma distribuição mais balanceada da luz no interior do ambiente do que cada um dos dois sistemas sozinhos (BOUBEKRI, 2008).

Figura 3.13 - Esquema de distribuição de luz num sistema combinado de janela lateral e clerestório (corte)

Fonte: BOUBEKRI, 2008

4 O projeto de igrejas

A seguir serão apresentados conceitos essenciais de como devem ser: o espaço da igreja, seus componentes e sua relação com a luz.

4.1 O espaço da igreja

Ao contrário de tantas outras construções contemporâneas, o espaço da igreja não deve ser construído como um espaço flexível e que possibilite múltiplos usos. Muito pelo contrário, o espaço da igreja é todo definido pelos seus usos já definidos: as liturgias (eucarística e da palavra) e os sacramentos que ali se realizam (PASTRO, 1999). Segundo Milani (2006), a Constituição Conciliar sobre a Sagrada Liturgia, em seu artigo 124º, diz que "na construção de edifícios sagrados, tenha-se grande preocupação de que sejam aptos para lá se realizarem as ações litúrgicas e permitam a participação ativa dos fiéis".

A igreja construída deve ser a casa da Igreja, da comunidade, local onde acontece a liturgia, o encontro da Igreja com Deus. Por isso não precisa se assemelhar em relação a soluções construtivas com aquelas encontradas em outros tipos de construção. A igreja construída deve apresentar, acima de tudo, a beleza. Esta beleza não está, como nas construções profanas (do latim *profanum* = não sagrado), relacionada com o seu valor econômico, com o luxo ou com a ostentação. A beleza na igreja deve vir da harmonia; da harmonia entre Deus e a Igreja; da harmonia entre o padre e a assembleia, que participam juntos da celebração da liturgia (PASTRO, 1999).

Segundo MENEZES (2006), no projeto de uma igreja é tão importante a função quanto a beleza. A beleza, também referida pelo autor como *Arte*, é responsável por ser um “espírito que transforma o corpo inerte da matéria em alma viva da arquitetura”.

Se a igreja for dedicada a algum santo da Igreja, este pode ser um indicador para a forma, materiais empregados e apropriação do espaço. A falta de recursos não deve ser um empecilho. A igreja pode ser construída em etapas, mas sempre partindo de um projeto completo original a ser seguido ao longo de sua construção (PASTRO, 1999). Segundo MENEZES (2006), o projeto de uma igreja não possui nenhum partido ou estilo próprio desta tipologia, mas deve refletir a comunidade que usufruirá dela.

A função, também referida por MENEZES (2006) como *Técnica*, parte do programa de necessidades do edifício. Para isso, segundo o autor, é necessário conhecer as “partes” que compõe o “todo” do edifício.

Existem algumas predefinições dos elementos que devem compor este espaço. Tais predefinições são o resultado da tradição litúrgica da Igreja, e estão hoje assim definidas para buscar o melhor desenvolvimento das atividades litúrgicas. (PASTRO, 1999) Tais elementos serão detalhados nos itens seguintes.

4.2 Componentes de uma igreja

Os diferentes espaços que compõem uma igreja são na verdade o reflexo de seu programa, que é atualizado a cada um dos Concílios da Igreja. Atualmente, segue-se principalmente as indicações do Concílio Vaticano II.

A construção da igreja é composta por alguns espaços principais obrigatórios. Segundo Milani (2006), os elementos fundamentais para uma igreja católica são quatro: o altar, o ambão, a sédia e o espaço da assembleia.

Além destes, elas podem conter também outros espaços auxiliares para a realização de outras atividades da Comunidade, como cursos, encontros, etc. A igreja pode ser um refúgio do dia-a-dia, um retorno ao paraíso, onde o fiel pode “meditar e fazer suas devoções pessoais longe da violência e do caos externo” (PASTRO, 1999).

4.2.1 Santuário ou presbitério

“As três peças mais importantes do santuário são o altar, a sédia e o ambão. Duas outras peças fazem também parte desse espaço: a cruz processional e a credência.” (PASTRO, 1999). O **altar** é a mesa sobre a qual ocorre o sacrifício da liturgia eucarística. A **sédia** é onde se senta o presidente da celebração. O **ambão** é o local sobre o qual se encontra a Bíblia e onde são feitas as leituras. É aconselhável que estas três peças principais sejam feitas do mesmo material (PASTRO, 1999). Há ainda um elemento que não é obrigatório, mas frequentemente, se encontra no presbitério: a estante do comentarista. A estante e o ambão não precisam estar no presbitério, mas não há nenhuma proibição de que essas se insiram neste. (MILANI, 2006)

Sobre o altar devem estar gravadas as cinco cruzes da consagração: uma no meio e quatro em cada uma das pontas. O altar deve ser quadrado ou retângulo-quadrado, não devendo ser muito estreito e longo, e apenas grande o suficiente para sediar a eucaristia. (PASTRO, 2006)

O presbitério, ao contrário do que se fazia nas igrejas anteriores ao Concílio Vaticano II, não deve ser separado da nave. Ele pode, no entanto, ser levemente destacado e diferenciado deste, mas ainda mantendo

a comunicação com a assembleia (MILANI, 2006), por exemplo se elevando da nave por um ou poucos degraus, mas não excessivamente. (PASTRO, 1999). Ele deve estar inserido na assembleia, pois entende-se que as celebrações que nele figuram são uma ação conjunta do presidente e do povo. (MILANI, 2006)

Figura 4.1 - Modelo de configuração de presbitério

4.2.2 Nave

A nave é o local onde fica a assembleia. Ela deve proporcionar boa comodidade, bom fluxo de pessoas durante as celebrações, além de inspirar respeito e silêncio. Deve estar totalmente voltada para o

santuário ou envolvê-lo. Os bancos devem ser fixos e para no máximo cinco pessoas, para melhor garantir o fluxo durante a celebração (PASTRO, 1999).

Deve-se evitar fracionamentos dos assentos e lugares privilegiados, para incentivar o sentimento de comunhão dentre seus membros. (MILANI, 2006) Também segundo BETENCOURT (1962), deve-se evitar repartir a nave em parte, priorizando-se projetar uma nave única, para aumentar o sentimento de unidade entre os fiéis.

Não deve ser esquecido ao se projetar a nave da circulação dos fiéis, muito crítica quando das procissões de ofertório e comunhão. Deve-se prever que haja uma boa circulação para a quantidade de fiéis de tal forma a evitar congestionamentos e apertos nestes momentos. (MENEZES, 2006)

Com relação à proporção entre comprimento e largura da nave, de acordo com as referências projetuais apresentadas no próximo capítulo, sugere-se que a razão entre comprimento/largura deve ser ao menos 1 e não deve passar muito de 2, para que ninguém da assembleia fique muito distante do presbitério.

4.2.3 Adro

O adro ou atrium é o espaço de separação entre o dentro e o fora da igreja. É um espaço para que o fiel se prepare para entrar na igreja de fato. Neste local os fiéis param, se ajoelham e fazem o sinal da cruz. Ele pode conter uma pia de água benta (PASTRO, 1999). Desde a igreja barroca, o adro muitas vezes vem sido contido em um tapa-vento na entrada principal da nave (MENEZES, 2006).

A porta do adro é a mais importante de toda a igreja, pois simboliza o próprio Cristo que é a porta para o céu. Portanto, ela deve ser diferenciada das demais; deve ser maior e mais adornada. Ela pode conter desde algum pequeno símbolo até toda uma catequese através de gravuras (PASTRO, 1999).

4.2.4 Campanário

“É o sinal mais alto de identificação de um edifício-igreja cristã”. (PASTRO, 1999) Sempre que possível, devido a seus altos custos, deve-se buscar fazer a torre do sino para que ela marque a paisagem e os ouvidos com sua presença. Os sinos devem ser preferencialmente em bronze e em número ímpar, para resultar num som mais agradável. A cruz sobre a torre pode ser tanto “de morte”, com a haste inferior mais longe, quanto a cruz grega “de vitória”, com as quatro hastes iguais (PASTRO, 1999).

4.2.5 Jardim

“É a imagem do jardim do paraíso” (PASTRO, 1999) e como tal deve ser um local reservado e oculto do mundo. Local próprio para orações, meditações, reflexões, etc., ele não precisa ser muito grande, podendo ser até mesmo um pequeno espaço de 3 m x 3 m.

“Seria bom que por meio de paredes de vidro esse jardim pudesse pertencer à igreja ou à Capela do Santíssimo.” (PASTRO, 1999). Este lugar deve ser como uma continuação do adro e do campanário. Ele pode dar acesso a outros ambientes como sanitários, secretaria, salas de apoio, etc.

4.2.6 Sacristias

A Sacristia é o espaço da igreja onde ficam guardados todos os utensílios e paramentos necessários às celebrações. Em igrejas de maior porte, elas podem ser duas sacristias (FRADE, 2007). Na Sacristia maior se deve ter espaço para guardar todos os utensílios da igreja de forma que não se estraguem, desde pequenos sinos e velas, até tapetes, o presépio de Natal, estolas, túnicas, etc. Para o seu dimensionamento deve-se considerar quais e quantos são os objetos que se pretende guardar nesta sala. A Sacristia menor contém apenas o necessário para a missa diária. Entre estas duas, quando houverem, pode-se colocar um banheiro ou uma pequena pia (PASTRO, 1999).

4.2.7 Batistério

Após o Concílio Vaticano II, com a ênfase dada na participação da assembleia, preferiu-se que o Batistério fique em uma posição que permita a participação dos fiéis na acolhida aos novos membros da Igreja e nos ritos que ali figurarem. (MILANI, 2006). Também segundo MENEZES (2006), após o Concílio Vaticano II, entende-se que o Sacramento do Batismo a ser realizado neste espaço não se trata de um ato isolado, mas sim da apresentação do novo membro para a comunidade e, portanto, deve permitir a participação desta. A pia batismal pode ser posta, portanto, na entrada da igreja, perto do adro ou próximo ao presbitério, desde que seja visível para a comunidade.

Para seu projeto deve-se considerar que não somente crianças, mas também adultos, aí devem ser batizados e, portanto, deve ser ergonomicamente pensado para estas duas situações. No batistério deve estar o altar dos santos óleos, sobre o qual esteja ao menos uma lamparina que se acenda durante as cerimônias. Também na pia batismal fica o Círio Pascal, vela que é o próprio Cristo, luz do mundo, de aproximadamente

1m de altura e 10 cm de diâmetro. O Círio pode estar imerso na água ou sobre a fonte de água (PASTRO, 1999).

4.2.8 Capela do Santíssimo

A Capela do Santíssimo é o local onde fica o tabernáculo ou sacrário, local onde são guardadas as reservas eucarísticas. Ao seu lado fica sempre a lâmpada do Santíssimo, significando que Cristo está presente ali. (MILANI, 2006) Esta deve ser preferencialmente de vela, óleo, cera, parafina, etc., mas é também permitido o uso de lâmpada elétrica para prevenir incêndios, visto que esta lâmpada não deve ser apagada nunca exceto por dois dias no ano (PASTRO, 1999).

Segundo a Instrução geral sobre o Missal Romano, em seu artigo 315º, o Sacrário não precisa estar numa capela própria, mas pode também ser instalado no presbitério, desde seja fora do altar. Caso o Sacrário esteja em sua Capela, esta deve se ligar à nave e permitir a visão do Sacrário ao povo. (MILANI, 2006)

Esta capela é um local de adoração e oração pessoal e pode estar guarnecida de genuflexórios. Eventualmente pode servir para missas com menor número de fiéis, mas é desaconselhada a presença de um altar nesta capela. (PASTRO, 1999)

4.2.9 Capela da Reconciliação

A Capela da Reconciliação é o local onde ocorre o Sacramento da Confissão. Ela não deve ser muito grande e não deve permitir que se entenda do lado de fora o que se diz do lado de dentro. Deve abrigar um crucifixo, a Bíblia, uma vela acesa e é aconselhável que tenha também ao menos uma mesa pequena e duas

cadeiras. Este local não deve ser constrangedor, mas sim sereno, claro, arejado e inspirar paz e tranquilidade. (PASTRO, 1999)

4.2.10 Capela da Mãe de Deus

A Capela da Mãe de Deus não precisa estar num ambiente separado. Pode ser um canto do ambiente, próximo ao presbitério ou à Pia Batismal, que contenha a imagem e permita a reverência à Nossa Senhora. (PASTRO, 1999)

4.2.11 Coro

Deve ser reservado um ambiente onde fiquem os músicos e instrumentistas que auxiliaram à liturgia. Este pode ser em qualquer local da igreja exceto no santuário (PASTRO, 1999). Comumente o coro fica ou sobre o adro ou próximo ao santuário, de forma que possa melhor participar da liturgia. O Concílio Vaticano II determinou uma volta da participação da assembleia nos cantos litúrgicos e o fim da distinção entre o coro e a comunidade. Desta forma é altamente recomendável que a posição do coro permita não só uma boa participação deste na liturgia, mas também uma maior interação deste com toda a assembléia. (MENEZES, 2006) MACHADO, 2001, sugere que o coro esteja inserido na assembleia, numa lateral e num nível mais baixo que o presbitério, mas nunca neste.

4.2.12 Secretaria

A secretaria é um local mais prático da igreja, onde fica a secretária que agenda missas, batizados, etc. e onde podem ser vendidos alguns objetos como terços, imagens de santos, bíblias, livros de catequese,

etc. Não deve ser dentro da igreja para evitar que gere ruídos de conversas na igreja propriamente dita. (PASTRO, 1999)

4.3 A luz na Igreja

4.3.1 As quatro qualidades da luz na igreja

A luz na igreja deve servir para criar a **ambiência** desejada. Le Corbusier disse em 1957, sobre a Capela de Ronchamp, que a luz é a chave para revelar o poder emocional das formas através de sua iluminação. Em outras palavras, a emoção virá da forma, criada segundo a intenção da igreja em questão, mas ela só será revelada se a iluminação desempenhar corretamente sua função.

Desta forma, a iluminação da igreja não deve se ater a simplesmente atender a uma **função**, requisitos de tarefas desempenhadas, numa forma de iluminação geral, mas também, segundo Milani (2006), deve servir de **destaque** dos elementos da arquitetura, obras de arte e elementos que compõe o espaço.

Ainda mais do que isso, segundo Franco (2000), a luz além de nos permitir ver, deve definir o que vemos e como vemos, influenciando o que sentimos ao vermos. Daí nasce a necessidade da análise qualitativa da luz, no caso de sua aplicação em projetos de igrejas.

No caso das igrejas, nos lembra Milani (2006), a luz adquire ainda um significado a mais, pois na **simbologia** da tradição cristã ela representa o próprio Deus. Desta forma, toda vez que se utilizar da luz em abundância em um determinado espaço ou elemento, a mensagem a ser transmitida e interpretada pode ser que Deus está presente ali e por aquele ponto escolhido Ele toca a terra.

Milani (2006) elenca algumas utilizações bastante utilizadas da iluminação de destaque com esta simbologia: a iluminação do altar ou do presbitério, guiando o olhar dos fiéis para o que é central na celebração; a grande diferença no nível de iluminação entre o exterior e o interior pode ser utilizada para fazer uma clara separação entre os ambientes e lembrar aos que entram que algo naquele espaço é diferente.

4.3.2 Iluminação Geral da Nave e Iluminação de Destaque

Ao analisar os projetos de referência do próximo capítulo veremos que a iluminação em igrejas se divide em Iluminação Geral da Nave e Iluminação de Destaque. Os sistemas apresentados no capítulo anterior podem ser utilizados tanto para uma quanto para a outra finalidade (Geral ou Destaque), variando-se seu dimensionamento, posicionamento e orientação.

Figura 4.2: exemplo de uso de iluminação Geral e de Destaque

Fonte: www.bagsvaerdkirke.dk

Iluminação **Geral** da Nave é aquela iluminação que se distribui de maneira mais ou menos uniforme por toda a nave, sem focar em um elemento específico. A quantidade de luz fornecida por este tipo de iluminação deve ser suficiente para iluminar o caminho dos fiéis dentro da nave. Dependendo dos costumes da comunidade para a qual a igreja está sendo projetada, pode-se prever que esta iluminação seja suficiente também para leves trabalhos de leitura. Como referência, sugere-se que esteja ao menos dentro de 100 a 300 lux. Deve-se sempre tomar o cuidado de não causar ofuscamentos com este tipo de iluminação, por exemplo utilizando-se sistemas que privilegiem o uso da luz refletida.

Iluminação de **Destaque** é aquela que volta os olhares dos fiéis para um elemento específico, como a cruz, o Sacrário, o Altar, a imagem de um santo, etc. A intensidade deste tipo de iluminação deve ser maior que a Geral, de forma que seja notável a diferença ao olhar do observador, a ponto de chamar a atenção para o elemento a ser destacado. Não há limitação superior para a quantidade de luz fornecida com esta finalidade, mas o sistema de iluminação deve ser testado previamente por modelos, físicos ou computacionais, a fim de se verificar a ausência de ofuscamentos.

5 Referências arquitetônicas: sistemas de iluminação natural aplicados à projetos de arquitetura religiosa

As referências arquitetônicas escolhidas marcam a segunda metade do século XX, compreendendo o final do Modernismo e todo o Pós-Modernismo. São ícones da arquitetura religiosa deste período por terem sido projetadas por arquitetos importantes para o período e local onde foram feitas e por seguirem o programa pós-Concílio Vaticano II, além de apresentarem visivelmente uma preocupação com os efeitos e o uso da luz neste tipo de edificação, tanto quantitativa quanto qualitativamente. Elas são a seguir apresentadas em ordem cronológica, pois como muitos dos projetos apresentavam uma combinação de sistemas, não se justificava organizá-los por tipo de sistema.

As sete igrejas selecionadas se destacam ainda pela utilização de sistemas voltados para a iluminação geral da nave, permitindo não somente um ambiente contemplativo como também funcional.

5.1 Igreja de São Domingos, São Paulo, Brasil – Franz Hepp, 1953 (janelas verticais)

Figura 5.1 - Implantação Paróquia São Domingos, São Paulo, Brasil

Fonte: Google Earth

Figura 5.2: Entorno da Paróquia de São Domingos

Fonte: Google Earth

Esta igreja possui uma nave com estrutura bastante clara e aparente, composta de pilares com furos retangulares arredondados que sustentam uma cobertura abobadada.

Figura 5.3 - Vista externa da paróquia de São Domingos

Figura 5.4 - Entrada da paróquia de São Domingos

Figura 5.5 - Entrada da paróquia de São Domingos

O mesmo padrão de furos retangulares arredondados se repete na fachada principal em um painel que contém a porta de entrada principal. Sua iluminação natural interna é bastante farta e vem principalmente da direção da fachada principal, tanto pelo painel anteriormente citado quanto pelas janelas instaladas nos furos dos pilares.

Figura 5.6 - Interior da paróquia de São Domingos

Figura 5.7 - Interior da paróquia de São Domingos: detalhe da iluminação natural

Seu revestimento interno é predominantemente feito em pedras claras. Nas paredes laterais, a partir de aproximadamente 3m foram instaladas placas absorventes acústicas. A nave é descendente e o presbitério bastante elevado em relação à nave: 5 degraus até um primeiro patamar onde está o sacrário, o coro e uma imagem de São Domingos e mais 3 degraus para o altar.

A iluminação nesta igreja é predominantemente do tipo iluminação geral, dando apenas um pouco de destaque para o desenho que a luz projeta na cobertura abobadada dando-lhe leveza e sensação de flutuação. A luz é um pouco mais intensa atrás do presbitério, guiando o olhar dos fiéis para esta direção.

O nível de iluminação geral permite ao usuário participar da Liturgia da Palavra, lendo seu folheto ou Bíblia de seu próprio banco além de ouvi-la.

A iluminação geral é feita por uma sequência de janelas verticais que vão de alto a baixo. Como as janelas não estão alinhadas com a assembleia, não há a incidência de luz direta, reduzindo o ofuscamento. A luz chega que chega à assembleia é sempre refletida.

Figura 5.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelas janelas verticais da igreja de São Domingos (planta)

5.2 Igreja das três cruzes, Imatra, Finlândia – Alvar Aalto, 1956-58 (duto de luz e janelas altas)

Figura 5.9: Igreja das três cruzes: implantação

Fonte: Google Earth

Esta igreja finlandesa possui três principais elementos de iluminação: janelas altas laterais, para iluminar os bancos, duto de luz, para o altar e janela alta lateral, em lado oposto às primeiras, também para o altar. A entrada da igreja é feita lateralmente, por um adro entre o altar e a assembleia.

Figura 5.10: Igreja das três cruzes: exterior - entrada principal oeste

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

Figura 5.11:Igreja das três cruzes:exterior – fachadas oeste e sul

Fonte: LAHTI, 2005

Figura 5.12 - Igreja das três cruzes: planta

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

Figura 5.13 - Igreja das três cruzes: corte longitudinal

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

Seu interior é amplamente iluminado. Ao invés de se utilizar do forte contraste entre claro e escuro para ressaltar elementos importantes da arquitetura, esta igreja é uniformemente iluminada com luz difusa, mas sobre os elementos de destaque (altar e órgão), são utilizados elementos que permitem feixes de luz natural mais direcionados (janela que permite o ingresso de luz direta e duto de luz).

As janelas que iluminam a assembleia são orientadas a leste. As janelas que iluminam o altar e o órgão são de orientação oeste e sem proteção solar, permitindo a passagem de luz direta que ofusca, marca e direciona o olhar para os pontos de interesse.

Figura 5.14 - Igreja das três cruzes: interior

Fonte: LAHTI, 2005

Figura 5.15 - Igreja das três cruzes: interior - iluminação em duto sobre o altar

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

Figura 5.16 - Igreja das três cruzes: interior - janelas altas leste

Fonte: LAHTI, 2005

Figura 5.17 - Igreja das três cruzes: exterior - janelas altas leste

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

Figura 5.18 - Igreja das três cruzes: interior - detalhe das janelas leste

Fonte: "Alvar Aalto, 1898-1976"

As janelas laterais são altas, o que quer dizer que se iniciam acima da altura do olhar do observador. Além de não permitir distrações durante os serviços litúrgicos, esta escolha é a responsável pela participação maior de luz direta e menor de luz refletida, como será explicado mais à frente.

Figura 5.19: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelas janelas altas leste (corte)

5.3 Igreja de São Bonifácio, São Paulo, Brasil – Hans Bross, 1966 (monitor de cobertura)

Figura 5.20: Implantação da Paróquia de São Bonifácio

Fonte: Google Maps

Figura 5.21: Entorno da Paróquia de São Bonifácio

Fonte: Google Earth

Esta igreja é composta por uma caixa de concreto suspensa em relação ao térreo, acessada por uma rampa ladeada por vitrais, onde se encontram a nave, o presbitério, o coro, as sacristias e a capela da reconciliação. O térreo foi deixado visualmente permeável e nele podem ocorrer festas e encontros da

comunidade. Em três níveis abaixo do térreo desenvolvem-se a secretaria e salas pastorais, casa e salão paroquial.

A iluminação da nave é feita por monitores de cobertura em cada uma de suas laterais mais longas, “derramando” luz pelas laterais internas de concreto aparente da nave. As vigas da cobertura ajudam a marcar seu ritmo com sombras nas paredes internas da nave.

A ventilação é garantida por respiros baixos. Os monitores de cobertura possuem bandeiras móveis que permitem a ventilação por efeito chaminé quando desejado.

Em uma destas paredes foi instalada a Via Crucis em concreto envernizado. O piso de toda a igreja é de mosaico português. Algumas partes do piso do presbitério são de granito. Os elementos do presbitério são feitos de concreto armado e ferro batido.

Figura 5.22 - Exterior da paróquia de São Bonifácio

Figura 5.23 - Interior da paróquia de São Bonifácio visto do coro

Figura 5.24 - Vista interna da rampa de acesso à nave

O sistema adotado para a iluminação geral, os monitores de cobertura, permitem uma iluminação sem ofuscamento, pois somente a luz refletida chega à assembleia.

Figura 5.25: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura (corte)

Figura 5.26: detalhe do monitor de cobertura instalado na igreja de São Bonifácio

5.4 Igreja Nossa Senhora Mãe do Salvador, São Paulo, Brasil – Francisco Segnini Jr e Joaquim Cláudio de Oliveira Barretto, 1973 (janelas verticais e duto de luz)

Figura 5.27: implantação da Paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador

Fonte: Google Maps

Figura 5.28: Entorno da Paróquia Nossa senhora Mãe do Salvador

Fonte: Google Earth

Esta igreja possui uma estrutura bastante clara: uma cobertura de longuíssimas telhas de concreto sustentada por pórticos de concreto armado em suas laterais. Isso lhe permite um grande destaque das outras duas paredes.

Figura 5.29 - Entrada da Paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador

Figura 5.30: Sistema de iluminação e ventilação lateral

Figura 5.31 - Interior da paróquia Nossa Senhora Mãe do Salvador

Uma destas “paredes destacadas” é visualmente bastante permeável, composta basicamente de caixilhos envidraçados, exceto em um recuo de concreto; é através dela que se entra na nave. A outra parede

é a do fundo do presbitério. Ela é completamente de concreto armado com a aplicação de um painel artístico também de concreto armado.

Figura 5.32: duto de luz ao fundo do presbitério

Na parte interna dos pórticos de sustentação foram intercalados painéis de aletas de madeira, responsáveis pela ventilação, e de vidro, responsáveis pela iluminação. A iluminação do sacrário, ao fundo do presbitério, é feita por um duto de luz estilizado.

5.5 Igreja luterana, Bagsvaerd, Dinamarca – Jorn Utzon, 1976 (sistemas luz do céu e monitor de cobertura)

Figura 5.33 - Igreja luterana de Bagsvaerd: implantação

Fonte: Google Earth

Figura 5.34: Entorno da igreja de Bagsvaerd

Fonte: Google Earth

Esta igreja apresenta uma boa dosagem de quantidade de luz para seus usuários, que provêm de aberturas zenitais laterais e de uma abertura zenital principal sobre o altar.

Figura 5.35 - Igreja luterana de Bagsvaerd: vista externa

Fonte: www.bagsvaerdkirke.dk

Figura 5.36: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo sistema luz do céu (corte)

Desta forma os usuários tem uma boa quantidade de luz na região dos bancos mas a atenção principal fica sempre voltada para o altar, onde a luz é mais intensa. A abertura principal é construída de forma a priorizar a entrada da luz do céu sobre a luz direta. Quando há a entrada de luz do sol no ambiente ela é refletida e difundida sobre um anteparo que faz com que os raios de sol nunca atinjam os usuários diretamente. O funcionamento é semelhante a um extenso monitor de cobertura.

Figura 5.37 - Igreja luterana de Bagsvaerd: interior – entrada da luz do céu

Fonte: www.bagsvaerdkirke.dk

Figura 5.38 - Igreja luterana de Bagsvaerd: interior – entrada da luz do sol

Fonte: www.bagsvaerdkirke.dk

Figura 5.39: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura (corte)

5.6 Catedral da Sagrada Família, São Paulo, Brasil – Fábio Mariz Gonçalves, 1991-1999 (clerestório e janelas laterais)

Figura 5.40 - Implantação Catedral da Sagrada Família, São Paulo, Brasil

Fonte: Google Earth

Esta igreja é basicamente composta de dois blocos bastante alongados que formam a nave dentro deles e entre eles, com o auxílio de grandes fechamentos (frontal e posterior) que compõem um terceiro bloco mais alto entre os dois primeiros

Figura 5.41 - Catedral da Sagrada Família: entrada principal

A iluminação natural na nave vem de placas de mármore verticais de orientação leste-oeste nas paredes do bloco central. Este sistema adotado, forma um clerestório de luz difusa, pois toda a luz que chega é difundida pelo mármore.

A ventilação é feita de forma independente por frestas em concreto incrustadas nas paredes laterais leste e oeste para a tomada de ar e vãos entre a cobertura e os recuos das mesmas paredes para a saída de ar, promovendo ventilação por efeito chaminé.

Figura 5.42 - Catedral da Sagrada Família: planta do térreo sem escala

Fonte: Fornecido pelo autor do projeto

Figura 5.43 - Catedral da Sagrada Família: vista interna da nave

Figura 5.44: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo clerestório (corte)

Figura 5.45 - Catedral da Sagrada Família: Capela da Sacrário

Nas pontas dos blocos laterais se encontram a Capela do Sacrário, a secretaria, a sacristia e áreas de apoio. A iluminação desta capela acontece lateralmente, também sob o filtro de placas de mármore para difundir a luz.

Ao fundo do terreno existe mais um bloco igualmente alongado onde estão o salão paroquial e instalações para abrigar padres ou estudantes seminaristas. A iluminação nestas áreas é feita de maneira tradicional, ou seja, por janelas laterais.

5.7 Igreja de Deus Pai Misericordioso, Roma, Itália – Richard Meier, 2000 (janelas verticais, sistema luz do céu, monitor de cobertura, duto de luz)

Figura 5.46 - Implantação da igreja de Deus Pai Misericordioso, Roma, Itália

Fonte: Google Earth

Figura 5.47: Entorno da Paróqui Deus Pai Misericordioso

Fonte: Google Earth

Esta igreja projetada por Richard Meier é toda feita de placas de concreto branco especialmente feito com um aditivo para que a sujeira não impregne nele e a igreja permaneça sempre branca. Ela possui amplas aberturas a leste e a oeste (entrada da igreja e altar, respectivamente) e grandes panos de vidro em sua cobertura. Devido à sua implantação, formato e materiais, o interior desta igreja é sempre muito claro, mesmo no inverno.

Figura 5.48 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: vista frontal

Fonte: <http://www.diopadremisericordioso.it/>

A sua estrutura é composta por lâminas laterais de forma inspirada em velas de barco, que conduzem a luz ao seu interior, funcionando como grandes monitores de cobertura unidirecionais voltados para o norte.

Figura 5.49: esquema do trajeto dos raios de luz entrado pelos monitores de cobertura (corte)

Figura 5.50 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: entrada

Figura 5.51 - Igreja de Deus Pai Misericordioso: vista posterior

Atrás da cruz do altar há uma abertura de concreto em meio ao pano de vidro, em formato de troncos de pirâmide, que dão efeitos especiais de iluminação cênica à cruz, especialmente ao pôr-do-sol de dias de céu claro. Ela funciona como um duto de luz na horizontal.

Os grandes panos de vidro da cobertura e a leste e oeste permitem uma forte iluminação natural na igreja, porém, como não permitem a ventilação natural, causam desconforto térmico no verão. A iluminação zenital foi direcionada para a orientação correta, que no caso do hemisfério norte é a norte.

As janelas altas na fachada e atrás do altar, no entanto, dificilmente não causaria problemas tendo sido feita nas orientações leste-oeste e sem nenhum sistema de proteção solar. Além do desconforto térmico, em dias de céu claro este tipo de sistema causa ofuscamento e iluminação excessiva, resultando em desconforto visual por excesso de iluminação.

Ao longo da fachada sul ela apresenta janelas baixas que tocam o solo e iluminam o piso da igreja. À noite, a parte interna desta mesma fachada é iluminada artificialmente por spots embutidos no piso.

Figura 5.52 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: vista do altar

Figura 5.53 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: entrada

Figura 5.54 - Interior da igreja de Deus Pai Misericordioso: aberturas baixas laterais

5.8 Quadro Resumo

ano	igreja		local	latitude	azimute do eixo	comp larg	iluminação geral	iluminação destaque
1953	São Domingos (Franz Hepp)		São Paulo, Brasil	23°32' S	40° L	2,2	janelas altura plena perpendiculares ao eixo	-
1958	Três Cruzes (Alvar Aalto)		Imatra, Finlândia	61°14' N	20° O	1,9	janelas altas paralelas ao eixo	duto de luz
1966	São Bonifácio (Hans Bross)		São Paulo, Brasil	23°34' S	100° O	2,6	monitor de cobertura	monitor de cobertura voltado para Leste
1973	Mãe do Salvador (Segnini / Barreto)		São Paulo, Brasil	23°33' S	70° O	1,1	janelas verticais	duto de luz
1976	Jorn Utzon		Bagvaerd, Dinamarca	55°45' N	75° L	1,3	sistema luz do céu nas laterais	monitor de cobertura voltado para Oeste
1999	Sagrada Família (Fábio Mariz)		São Paulo, Brasil	23°37' S	7° O	1	clerestório	-
2000	Deus Pai Misericordioso (Richard Meier)		Roma, Itália	41°52' N	90°	1,7	janelas verticais, monitor de cobertura, sistema luz do céu	duto de luz horizontal voltado para Oeste; janelas baixas

6 Método

Esta pesquisa teve por objetivo a compreensão do funcionamento dos diversos sistemas de iluminação natural utilizadas na arquitetura religiosa, seus efeitos na distribuição de luz no ambiente, bem como no conforto visual do usuário do edifício ocupado. A ideia motriz do trabalho foi que, ao ser concluído, permitisse aos projetistas das próximas igrejas a serem construídas na cidade de São Paulo e localidades de mesmo clima que suprissem seus usuários de maior conforto, sem deixar de atender às necessidades programáticas nem descuidar do efeito cênico inerente a tal tipologia projetual.

Para que este objetivo pudesse ser alcançados, planejou-se a seguinte sequência de atividades de pesquisa e análise crítica, de acordo com o seguinte fluxograma:

Figura 6.1: Fluxograma metodológico

6.1 Referências

Selecionou-se sete edifícios religiosos onde se percebe que a iluminação natural não só foi bem utilizada como foi o ponto de partida de seus projetos. Tais edifícios foram apresentados no capítulo anterior como os de maior significância por terem sido feitos por arquitetos que influenciaram a arquitetura de todo o mundo e por conterem em si um grande número de lições de iluminação natural.

Dentre os edifícios selecionados, estão tanto projetos na cidade de São Paulo quanto em outras cidades do globo. Alguns edifícios puderam ser visitados presencialmente, outros foram analisados utilizando-se de dados de visitas de terceiros, retirados das referências bibliográficas.

Nos sete edifícios analisados foram identificados os sistemas de iluminação utilizados, e como se relacionam com a arquitetura religiosa, focando nos efeitos cênicos causados pelos mesmos.

6.2 Estudos analíticos aprofundados

Dentre as estratégias de iluminação identificadas na etapa anterior, foram selecionadas 3 delas para se estudar mais à fundo: monitor de cobertura, clerestório e janelas altas. Estas três estratégias foram selecionadas por serem notavelmente as mais utilizadas dentre os sete projetos analisados e por, à primeira vista, causarem menor desconforto visual ao seus usuários do que o sistema de iluminação natural mais utilizado no Brasil: a janela lateral na altura do olhar do observador. Além disso, dentre as estratégias mais utilizadas nos projetos analisados, estas foram todas utilizadas para iluminação geral da nave, possibilitando uma comparação entre a eficiência e distribuição de luz entre elas.

Para cada uma das três estratégias selecionadas, foram construídos modelos computadorizados no software Revit, da Autodesk. Foram feitos modelos dos sistemas em três tamanhos de abertura: 0,50m, 1,00m e 1,50m, pela largura do edifício.

Foram testados os três tamanhos de aberturas em um edifício genérico de planta quadrada de medidas laterais 15m. Tal escala de edifício foi escolhida numa média, para representar o tamanho de igreja mais frequente no Brasil: a comunidade. Considerando-se, no entanto, que a luz é adimensional, os resultados obtidos numa igreja de 15m x 15m podem ser extrapolados para qualquer outra escala, mantendo-se a proporção com relação às aberturas. Foram ainda consideradas duas orientações diferentes para as aberturas: norte-sul e leste-oeste.

Para não se perder nenhum momento de desconforto visual causado por excesso ou falta de luminosidade em algum ponto ao longo do dia, optou-se por simular primeiramente a Autonomia Diurna (Daylight Autonomy). No cálculo do DA foram consideradas 3650 horas de funcionamento do edifício, das 8h às 18h, todos os dias do ano. Os resultados aferidos informam a porcentagem de área do plano de trabalho que atingiu ao menos 300lux por 50% das horas consideradas e a porcentagem de área do plano de trabalho que atingiu mais de 1000 lux em mais de 250 horas no ano.

Analisando-se os resultados obtidos nesta etapa, foram selecionadas as medidas de aberturas x orientação mais eficientes para cada sistema analisado, para uma análise mais aprofundada da distribuição de iluminação dentro do ambiente projetado. Foram consideradas como eficientes luminicamente aquelas de maior DA e menor ASE.

Na etapa seguinte foram feitos tanto estudos em grid quanto em perspectiva, para transmitir a maior quantidade de informações possíveis acerca do funcionamento da estratégia analisada.

Simulou-se a iluminância no plano de trabalho para dois horários : 8h e 12h. Tais horários foram escolhidos por serem os mais comumente utilizados como início e fim das Missas matutinas.

Considerando-se a simetria solar, visto que os edifícios modelos foram simulados em implantações perpendiculares ao eixo norte-sul, caso se deseje saber a distribuição de luz ou a eficiência de um dado sistema às 16h, pode-se considerar o resultado espelhado do obtido às 8h.

O comprimento e a largura da igreja modelo foram considerados iguais para efeito de simulação, mas, conforme dito anteriormente, como considera-se que a luz seja adimensional, para saber como seria o efeito em uma igreja mais comprida basta extrapolar o resultado no comprimento do eixo da nave, visto que os sistemas foram testados para o comprimento total da nave.

O dia escolhido para as simulações foi o equinócio de primavera, para que se pudesse ter noção de um dia médio do ano no que tange a luminosidade. Foram simuladas tanto as situações de céu claro e nublado (CIE Clear Sky e CIE Overcast Sky).

6.3 Método de simulação

A seguir serão explicadas as questões relativas ao método de simulação utilizado.

6.3.1 A escolha do software

Devido à descontinuação dos softwares mais tradicionais de simulação para iluminação natural, Radiance e Ecotect, buscou-se um software que fosse financeiramente acessível, de interface conhecida para a usuária e cujos resultados estivessem sido validados pelo consagrado Radiance.

Dentro destes parâmetros, encontrou-se o lançamento da Autodesk: Insight 360. Este software roda como um Add-in dentro do Revit, onde os modelos foram construídos, e foi adicionado sem custo adicional à licença profissional do Revit em dezembro de 2016. Por sua ferramenta de cálculo ter sido validada pelo antigo e confiável Radiance, este software foi escolhido por atender aos três parâmetros previamente elencados.

6.3.2 Parâmetros utilizados na simulação

Os modelos construídos receberam todos forro a 4,5m do piso acabado. Tal forro é branco e de refletância 0,9. As paredes internas foram consideradas brancas e de refletância 0,5. O piso utilizado é cinza de refletância 0,3. Tais medidas e parâmetros foram considerados como médios dentro dos edifícios de referência considerados.

Os dados de clima utilizados no cálculo do DA foram os pré-programados do Insight 360, no modelo chamado All-Weather Perez Sky, que se utiliza de uma base de dados de clima de 2010 à 2016, tanto para quantidades de radiação quanto para tipo de céu.

Para os cálculos de iluminância foram utilizados os modelos de CIE Clear Sky e CIE Overcast Sky pré-programados no software. Foram considerados os seguintes valores de radiação, fornecidos pelo software: GHI 265, DNI 453 e DHI 77 W/m² para as 8h e GHI 793, DNI 788 E DHI 94 W/m² para as 12h.

O plano de trabalho considerado está a 32 polegadas do chão, sendo esta medida pré-estabelecida pelo software quando se seleciona a opção “plano de trabalho”. Os grids utilizados para cálculo foram de espaçamento 12 polegadas, o menor espaçamento possível oferecido pelo software.

Os resultados gráficos foram disponibilizados com a legenda padrão do Radiance, para que a comunidade acadêmica da iluminação natural pudesse absorver seu conteúdo mais facilmente, que se utiliza das seguintes faixas de luminância: 0, 20, 40, 60, 80 e 100 fc; ou 0, 161, 430, 700, 861 e 1076 lux.

6.3.3 O Modelo

Seguem algumas imagens para exemplificar os modelos produzidos.

6.3.3.1 Monitor de Cobertura

Seguem a perspectiva interna e o corte transversal do modelo de Monitor de Cobertura desenvolvido:

Figura 6.2: perspectiva interna do modelo de monitor de cobertura de 1,00m

Figura 6.3: corte transversal do modelo de monitor de cobertura de 1,00m

6.3.3.2 Clerestório

Seguem a perspectiva interna e o corte transversal do modelo de Clerestório desenvolvido:

Figura 6.4: vista interna do modelo de clerestório de 1,00m

Figura 6.5: corte transversal do modelo de clerestório de 1,00m

6.3.3.3 Janelas Altas

Seguem a perspectiva interna e o corte transversal do modelo de Janelas Altas desenvolvido:

Figura 6.6: vista interna do modelo de janelas altas de 1,00m

Figura 6.7: corte transversal do modelo de janelas altas de 0,50m

7 Análise dos resultados

7.1 Monitor de Cobertura

Figura 7.1: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura às 8h, no equinócio

No monitor de cobertura não há a entrada de luz direta, apenas de luz refletida. O local onde ocorre a primeira reflexão, nas primeiras horas do dia, é dentro da estrutura do monitor ou no alto da parede oeste interna. Neste local haverá uma forte zona de alto brilho. Devido à curvatura da estrutura interna do monitor de cobertura, os raios refletidos não serão mais paralelos entre si, mas abrirão um feixe que vai da região do piso próxima à parede oeste até aproximadamente a metade da nave.

À partir da segunda reflexão, não é possível acompanhar com precisão o trajeto dos raios por grande parte da energia já ter se perdido nas absorções e também pelo piso considerado no modelo ser escuro e rugoso, como o granito cinza utilizado em muitas igrejas paulistas.

Na imagem à seguir podemos verificar as zonas de brilho explicadas anteriormente: a primeira e mais intensa na parede oeste e a segunda mais dispersa no chão da nave, na metade oeste.

Figura 7.2: Iluminância (perspectiva) do modelo de monitor de cobertura às 8h, no equinócio, com céu claro

Conforme a altura solar aumenta com o passar das horas, a primeira zona de brilho tende a, primeiramente descer um pouco pela parede e, depois, desaparecer, no momento em que a primeira reflexão se der fora da estrutura do monitor, sobre o telhado.

A segunda zona de brilho, com o passar das horas, irá se aproximar cada vez mais da parede oeste até que, pouco após as 11h, com o desaparecimento da primeira zona de brilho, ela desapareça também. Após este horário até aproximadamente pouco antes das 13h, a quantidade de luz dentro da nave cai

drasticamente, pois a luz que entra na nave já sofreu muitas reflexões antes de conseguir chegar ao observador na assembleia.

Figura 7.3: Iluminância (perspectiva) no modelo de monitor de cobertura às 12h do equinócio, com céu claro

Figura 7.4: Iluminância (plano de trabalho) no modelo de monitor de cobertura às 12h do equinócio, com céu claro

Podemos observar que às 12h as quantidades de luz no plano de trabalho de um observador sentado na assembleia são mais amenas, entre 176 e 594 lux, e mesmo assim, perfeitamente adequadas para tarefas visuais frequentemente necessárias durante uma Missa.

A figura a seguir mostra o esquema do trajeto dos raios às 8h nos solstícios de verão e inverno, apenas para ilustrar que o comportamento deste sistema, estando orientado leste-oeste, não se altera tanto ao longo do ano quanto se altera ao longo das horas.

Figura 7.5: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo monitor de cobertura às 8h nos solstícios

A principal alteração observada se dá no fato de que a penetração da luz no ambiente será mais profunda no solstício de inverno e menos profunda no solstício de verão.

Figura 7.6: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, equinócio, orientação norte-sul

Apesar de o monitor de cobertura bidirecional apresentar resultados semelhantes de Autonomia Diurna (D.A.) para a orientação norte-sul, uma breve análise de seu funcionamento nesta orientação nos mostra um comportamento diferente, porém baseado no mesmo princípio geométrico.

A primeira zona de brilho estará no alto da parede sul, por onde descera com o passar das horas, porém desta vez sem desaparecer. A segunda zona de brilho iniciará o dia mais a oeste, no piso, próximo ao

canto entre as paredes oeste e sul, e caminhará ao longo do dia pela parede sul até atingir o canto oposto, onde a parede sul encontra a leste.

Figura 7.7: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, orientação norte-sul

Nesta orientação os monitores não apresentam simetria horária, mas sim de estação. As zonas de brilho retratadas nas imagens anteriores virão do monitor voltado para o norte de março a setembro,

manchando a ala sul da nave, e do monitor voltado para o sul de outubro a fevereiro, manchando a ala norte da nave.

É recomendado que, ao se utilizar este sistema de iluminação natural, se utilize, portanto, a orientação leste-oeste, para que se tenha menor variação ao longo do ano.

7.2 Clerestório

Figura 7.8: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pelo modelo de clerestório às 8h, no equinócio

O clerestório terá um efeito semelhante ao do monitor de cobertura, no que tange a apresentar zonas de alto brilho na parede e piso próximo a esta. No entanto, seu efeito é amplificado, pois a participação de raios de luz diretos do sol e do céu é maior neste sistema.

O fato de a maior parte da luz que entra pelo sistema ser direta (ou do sol, ou do céu) faz com que o desconforto visual seja maior nas horas mais críticas, ou seja, das 8h às 11h e pouco. Os valores máximos, para o equinócio, aumentam de 2655 lux obtidos com o monitor, para mais de 6000 lux (máximo da escala para ambientes internos do software utilizado).

Figura 7.9: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, equinócio, com céu claro

Às 12h, horário no qual não há a penetração de luz direta do sol, permanece visível a diferença de luminosidade entre a faixa central da nave e as zonas mais próximas às paredes leste-oeste.

Figura 7.10: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, equinócio, com céu claro

A grande diferença no funcionamento deste sistema com relação ao monitor de cobertura está justamente nesta mancha central. Enquanto o monitor de cobertura “varre” a parede com brilho deixando uma zona central menos luminosa do que as laterais, o clerestório faz o oposto.

A zona de brilho se espalha em direção ao centro da nave a medida que o sol se aproxima das 12h. Às 12h a região de maior intensidade luminosa é a faixa central da nave. Ao entardecer, esta região de maior luminosidade vai aumentando de intensidade até se transformar na zona de brilho simétrica àquela obtida pela manhã.

O efeito obtido com este sistema é, portanto, semelhante ao monitor de cobertura no entendimento da geometria solar, porém oposto em efeito cênico.

7.3 Janelas altas

As janelas laterais são a forma mais popular de iluminação natural utilizada no Brasil. Sua variação fora da altura do olhar do observador permite não apenas reduzir as distrações do fiel durante as funções litúrgicas, mas também para reduzir o desconforto visual.

Figura 7.11: esquema do trajeto dos raios de luz entrando pela janela alta, às 8h, equinócio

Figura 7.12: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, equinócio, com céu claro

Dos três sistemas analisados, pode-se dizer que o de janelas altas é o mais eficiente, pois com metade da área de abertura dos outros dois sistemas consegue atingir o mesmo D.A.

Isso é justificado pela geometria solar envolvida, já que neste sistema prevalece a luz direta sobre a refletida. Já às 8h, a luz chega ao observador sem ter sofrido nenhuma reflexão. Isso se reflete tanto na eficiência do sistema quanto no seu efeito.

A zona de brilho causada pela primeira reflexão da luz no interior do ambiente é bem mais definida do que nos outros dois sistemas. No entanto, como sua eficiência é maior e, consequentemente, sua área de abertura é menor, esta zona também tem uma área bastante reduzida. Efetivamente, para a data quais foram

feitas as análises críticas mais aprofundadas, este foi o único sistema em que menos de 10% da área estava acima do threshold estabelecido de 1000 lux (apenas 7% da área apresentou mais de 1000 lux às 8h no equinócio, contra 52% do monitor de cobertura e 97% do clerestório) às 8h.

O funcionamento geométrico deste sistema faz com que ele concentre o desconforto visual numa área pequena, que se move sobre a assembleia com o passar das horas. O restante da área apresenta uma distribuição mais uniforme de luminosidade do os outros dois sistemas.

Cerca de 93% da área tem iluminâncias entre cerca de 400 lux à 800lux às 8h. às 12h, a totalidade da assembleia se encontra em níveis de iluminância entre cerca de 200 lux à 400 lux.

Figura 7.13: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, equinócio, com céu claro

7.4 Comparativo entre os três sistemas analisados

Os três sistemas de iluminação geral de projetos de arquitetura religiosa analisados tem seu funcionamento bastante marcado pela geometria solar. Isso se dá pelo fato de que os três sistemas analisados tem seu melhor desempenho (D.A. próximo ou igual a 100% e ASE inferior a 10%) na orientação leste-oeste. Este fato resulta que os três apresentam simetria horária de efeito, e não simetria com relação às estações do ano. Ao se estudar um destes sistemas para o período da manhã, é certo que o mesmo resultado se obterá para o período da tarde, porém de maneira espelhada com relação ao eixo norte-sul.

A eficiência destes sistemas, ou seja, uma menor área de abertura para uma maior quantidade de luz admitida, está relacionada com a quantidade de reflexões que cada um deles obriga a luz a fazer antes de chegar ao observador, no caso, a assembleia.

No sistema de Monitor de Cobertura, observamos o maior número de reflexões, seguido pelo Clerestório e pelas Janelas Altas, respectivamente. Desta forma, de maneira inversamente proporcional, a maior eficiência é obtida com as Janelas Altas, seguida pelo Clerestório e pelo Monitor de Cobertura, respectivamente.

No que tange o efeito cênico obtido por estes sistemas, as principais diferenças são a localização da zona de brilho e a uniformidade da iluminação. Enquanto o Monitor de Cobertura marca principalmente as paredes laterais com uma forte zona de brilho, o Clerestório privilegia a faixa central da nave com uma luminosidade maior. As Janelas Altas, por sua vez, apresentam uma uniformidade maior de iluminâncias, ao mesmo tempo que uma estreita faixa de brilho caminha pela assembleia de acordo com o movimento do sol.

Pode-se dizer que as Janelas Altas, mesmo não permitindo a visão do exterior pelo observador, permite uma maior interação com o exterior do que os outros dois sistemas, por permitir acompanhar mais claramente a trajetória solar.

Os efeitos cênicos destes sistemas não podem ser analisados quantitativamente ou proporcionalmente. Eles dependerão da intenção plástica do projeto como um todo.

Figura 7.14: Quadro resumo das características dos três sistemas

Monitor de Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • Luz “escorrendo” pelas paredes • Zonas de brilho nas laterais • Zonas de brilho pouco definidas • Mais luz refletida
Clerestório	<ul style="list-style-type: none"> • Luz concentrada no eixo • Zonas de brilho com média definição • Uso concomitante de luz direta e refletida
Janelas altas	<ul style="list-style-type: none"> • Zona de brilho mais definida • Mais luz direta • Zona de brilho que “caminha” sobre a nave • Maior contato com o exterior • Maior uniformidade de iluminância: “desconforto concentrado”

8 Conclusão

A iluminação natural na arquitetura religiosa tem quatro qualidades desejáveis, que devem coexistir no projeto desde o seu princípio, de forma que nenhuma delas seja deixada de lado. São elas: a ambiência, a função, o destaque e a simbologia.

Para alcançar estas quatro qualidades, os diversos sistemas de iluminação natural disponíveis podem ser usados para iluminação Geral da nave ou para Destaque de algum elemento litúrgico, artístico ou arquitetônico.

Os três sistemas analisados neste trabalho são do tipo iluminação Geral da nave. Para que se possa optar por um destes três sistemas, deve-se levar em conta, primeiramente, o efeito plástico desejado.

O Monitor de Cobertura concentra o foco de brilho nas paredes laterais da nave. O Clerestório, por sua vez, o concentra no eixo central da nave. Enquanto isso, as janelas altas laterais produzem uma mancha de brilho que se desloca mais claramente pela nave ao passar das horas.

Após a escolha do efeito plástico deve ser realizado o dimensionamento das aberturas para possibilitar o conforto visual pelo maior número de horas possível ao longo do ano, ou seja, possibilitar uma iluminação que alcance as quatro qualidades da iluminação na arquitetura religiosa, sem causar ofuscamento.

O resultado será uma igreja onde a luz toma o papel principal destacando a arquitetura e, ao mesmo tempo, permite que as atividades litúrgicas transcorram sem dificuldades visuais.

9 Referências ¹

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior, Brasil, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15215 - Iluminação Natural. Brasil, 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho. Brasil, 2013.

AMARAL, Vanine Borges; CABÚS, Ricardo C. Iluminando a Igreja Matriz do Pilar-AL. **XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2006

ANAND, Isha. Contemporizing religious architecture: an assesment and re-interpretation of spacial, sensorial and form giving characteristics through Day-light. MArch Sustainable Environmental Design, Architectural Association Graduate School, London, 2010.

ANDER, G.A. Daylighting. Performance and Design. New York, Van Nostrand Reinhold, 1995.

ASHDOWN, IAN. Daylight factors. Disponível em <http://agi32.com/blog/2014/03/05/daylight-factors/> acesso em 08 set 2015, 16:57:05

AUTODESK KNOWLEDGE. Ecotect Analysis Discontinuation. 09 jun 2015. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/ecotect-analysis/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Ecotect-Analysis-Discontinuation-FAQ.html> acesso em 26 out 2015, 15:40:42

BARNABÉ, Paulo Marcos Mottos. A luz natural como diretriz de projeto. **Pós: Revista do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, n.22, p.62-81, dez 2007

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. Daylight design of buildings. Ed. James x James, 2002

BETTENCOURT, D. Estêvão. Que é a Igreja litúrgica? *Pergunte e responderemos*. Rio de Janeiro, ano V, n. 50, 1962

BOUBEKRI, Mohamed. Daylight, architecture and health. Architectural Pres. 2008

BRYAN, Harvey. Lighting/Daylighting Analysis: a comparison. Sayyed Mohammed Autif School of Architecture. Arizona State University. Tempe. AZ. United States of America. Disponível em: <http://www.sbse.org/awards/docs/Autif.pdf> acesso em 08 set 2015, 16:37:18

CABÚS, Ricardo. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. **ENCAC 2005 - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído**, p 240-249.

CABÚS, Ricardo C; PEREIRA, Fernando O R. Luminous efficacy of daylighting in intertropical region: An analysis for toplighting systems. **Renewable energy**. p. 210-213. 31 ago 1996.

CABÚS, Ricardo Carvalho; PEREIRA, Fernando Oscar Rutkay. Avaliação através de método gráfico da distribuição de iluminâncias em ambientes.In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 4. ,1997. Salvador, BA, 1997. p.328-332.

CUNHA, Luís. Arquitetura religiosa Moderna. Edições portuguesas. 1957

EGGER, Stephanie. New Insight plugin features Daylight Autonomy. 21 dez 2016. Disponível em: <http://blogs.autodesk.com/insight360/new-insight-plugin-features-daylight-autonomy/> acesso em 17 jan 2017, 10:29:10

FRADE, Gabriel. Arquitetura sagrada no Brasil: sua evolução até as vésperas do Concílio Vaticano II. Edições Loyola, São Paulo, 2007

GONÇALVES, Joana Carla Soares; VIANNA, Nelson Solano. Iluminação e arquitetura. São Paulo, Virtus, 2001

HEILBRON, J. L. (1999): "The Sun in the Church." In: **THE SCIENCES**, New York Academy of Sciences, pp 29-35; SEPTEMBER/OCTOBER 1999.

KOSTER, Helmut. Dinamic daylight architecture: basics, systems, projects. Boston. Birkhauser-Publishers for Architecture, 2004

LAM, William M. C. Sunlighting as Formgivers for Architecture. New York, McGraw-Hill, 1986.

LARANJA, A. C.; CABÚS, R. C.; GAZZANEO, L. M. C. Interferência da orientação das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. In: **XIV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 14, 2012, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: UFJF, 2012

LI, D. H. W. et al. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 11, p. 1343-1348, Nov. 2006.

LIGHTING ANALYSTS. Daylight calculations in Practice. Disponível em http://www.agi32.com/Downloads/TechnicalDocs/Daylight_Calculations_in_Practice_AGi32_version14_Daylight_Factor.pdf acesso 08 set 2015, 17:21:28

MENEZES, Ivo Porto de. Arquitetura sagrada. Edições Loyola, São Paulo, 2006

MILANI, Eliva de Menezes. Arquitetura, luz e liturgia: um estudo da iluminação nas igrejas católicas (Tese de Mestrado).— Rio de Janeiro:UFRJ/FAU, 2006. 114f. Disponível em <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/Id/Arquitetural/Pesquisa/arquitetura%20luz%20e%20liturgia.pdf>>, acesso em 29 out 2014, 16:48:55.

MONACO, Amanda Vanessa. A iluminação natural aplicada à arquitetura religiosa: projeto da paróquia de São Francisco de Assis. São Paulo, Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAU/USP, 2011.

MONACO, Amanda Vanessa. Estudo da condução da luz natural em dutos através de modelos físicos em escala. **XVI SIICUSP**, disponível em <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=1870&numeroEdicao=17>>, acesso em 29 out 2014, 15:42:22

MOORE, Fuller. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, London, v. 38, n. 7, p. 905-913, Jul. 2006.

PANITZ, Konrad; GARCIA-HANSEN, Veronica Ruth. Daylighting design and simulation: ease of use analysis os digital tools for architects. In: **CIB World Building Congress 2013 – Contruction and Society**. Brisbane. Australia. 2013. disponível em: https://www.academia.edu/3749096/Daylighting_design_and_simulation_ease_of_use_analysis_of_digital_tools_for_architects acesso em 09 set 2015, 12:26:29

PASTRO, Claudio. Guia do espaço sagrado. Edições Loyola,

PAULA, Fabiane Castro Lopes de. A luz natural e a percepção do espaço arquitetônico em edifícios de caráter religioso. **Revista Especialize On-lineIPOG-Goiânia** -6ª Edição nº 006 Vol.01/2013 –dezembro 2013. disponível em < <http://www.ipog.edu.br/uploads/arquivos/f01303eb10917ba796c2dc6b7edbbaef.pdf>>, acesso 29 out 2014, 16:42:12

ROBBINS, Claude. Daylighting. Design and Analysis. New York, Van Nostrand, 1986.

STERNER, Carl. Measuring daylight: dinamic daylight metrics and what they mean for designers. 19 fev 2014. Disponível em <http://sefaira.com/resources/measuring-daylight-dynamic-daylighting-metrics-what-they-mean-for-designers/>, acesso em 21 fev 2017, 19:22:01

(1) De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023)

10 Anexo: resultados das simulações

Seguem os resultados obtidos nas duas etapas de simulações: DA e Iluminância.

10.1 D.A.

Seguem os resultados obtidos nas simulações de DA dos três sistemas analisados.

10.1.1 Monitor de Cobertura

Seguem os resultados obtidos nas simulações de DA do Monitor de Cobertura.

Figura 10.1: DA monitor de cobertura, abertura 0,50m, orientação norte-sul

Figura 10.2: DA monitor de cobertura, abertura 1,0m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

99% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 99% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 0% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.3: DA monitor de cobertura, abertura 1,50m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

100% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 4% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.4: DA monitor de cobertura, abertura 0,50m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 0 Points

1% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 1% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 0% of Building area >ASE hours threshold
- 0% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 0% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.5: DA monitor de cobertura, abertura 1,00m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

100% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 0% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.6: DA monitor de cobertura, abertura 1,50m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

100% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 7% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

10.1.2 Clerestório

Seguem os resultados obtidos nas simulações de DA do Clerestório.

Figura 10.7: DA clerestório, abertura 0,50m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)

For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm

(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250}

0 Points

15% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

15% of Building area meets sDA % hours

0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

0% of Building area >ASE hours threshold

0% of Rooms meet sDA >55% Room area

0% of Rooms meet sDA >75% Room area

0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.8: DA clerestório, abertura 1,00m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

100% of Building area meets sDA % hours
100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

11% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area
100% of Rooms meet sDA >75% Room area
100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.9: DA clerestório, abertura 1,50m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary

Daylight Autonomy (sDA preview)

For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm

(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250}

*** 0 Points**

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

100% of Building area meets sDA % hours

100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

16% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area

100% of Rooms meet sDA >75% Room area

100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.10: DA clerestório, abertura 0,50m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)

For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm

(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 2 Points

68% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

68% of Building area meets sDA % hours
0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

0% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area
0% of Rooms meet sDA >75% Room area
0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.11: DA clerestório, abertura 1,00m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

100% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 10% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.12: DA clerestório, abertura 1,50m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

100% of Building area meets sDA % hours
100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

97% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area
100% of Rooms meet sDA >75% Room area
100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

10.1.3 Janelas altas

Seguem os resultados obtidos nas simulações de DA das Janelas Altas.

Figura 10.13: DA janelas altas, abertura 0,50m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} 3 Points

97% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 97% of Building area meets sDA % hours
- 0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 0% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.14: DA janelas altas, abertura 1,00m, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 13% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.15: DA janelas altas, abertura 1,50, orientação norte-sul

Lighting Analysis - Results Summary

Daylight Autonomy (sDA preview)

For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm

(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

100% of Building area meets sDA % hours

100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

18% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area

100% of Rooms meet sDA >75% Room area

100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.16: DA janelas altas, abertura 0,50m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)

For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm

(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

SDA_{300/50} + ASE_{1000/250}

3 Points

98% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

98% of Building area meets sDA % hours
0% of sDA Building area fails for Rooms >ASE

0% of Building area >ASE hours threshold

100% of Rooms meet sDA >55% Room area
100% of Rooms meet sDA >75% Room area
0% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.17: DA janelas altas, abertura 1,00m, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 18% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

Figura 10.18: DA janelas altas, abertura 1,50, orientação leste-oeste

Lighting Analysis - Results Summary ? X

Daylight Autonomy (sDA preview)
For all Rooms Included in Daylighting

Jan 1 to Dec 31, 8:00 am to 6:00 pm
(Both sDA and ASE must be met for Room area to qualify)

sDA_{300/50} + ASE_{1000/250} * 0 Points

0% of Building area meets sDA % hours
in Rooms with <10% area above ASE

Detailed Summary:

- 100% of Building area meets sDA % hours
- 100% of sDA Building area fails for Rooms >ASE
- 29% of Building area >ASE hours threshold
- 100% of Rooms meet sDA >55% Room area
- 100% of Rooms meet sDA >75% Room area
- 100% of Rooms >ASE hours >10% Room area

10.2 Iluminância

Seguem os resultados obtidos nas simulações de Iluminância dos três sistemas analisados.

10.2.1 Monitor de Cobertura

Seguem os resultados obtidos nas simulações de Iluminância do Monitor de Cobertura.

Figura 10.19: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.20: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.21: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.22: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.23: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.24: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.25: Iluminância (perspectiva), monitor de cobertura, 12h, CIE Overcast Sky

Figura 10.26: Iluminância (plano de trabalho), monitor de cobertura, 12h, CIE Overcast Sky

10.2.2 Clerestório

Seguem os resultados obtidos nas simulações de Iluminância do Clerestório.

Figura 10.27: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.28: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.29: Iluminância (perspectiva), clerestório, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.30: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.31: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.32: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.33: Iluminância (perspectiva), clerestório, 12h, CIE Overcast Sky

Figura 10.34: Iluminância (plano de trabalho), clerestório, 12h, CIE Overcast Sky

10.2.3 Janelas Altas

Seguem os resultados obtidos nas simulações de Iluminância das Janelas Altas.

Figura 10.35: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.36: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 8h, CIE Clear Sky

Figura 10.37: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.38: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 8h, CIE Overcast Sky

Figura 10.39: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.40: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 12h, CIE Clear Sky

Figura 10.41: Iluminância (perspectiva), janelas altas, 12h, CIE Overcast Sky

Figura 10.42: Iluminância (plano de trabalho), janelas altas, 12h, CIE Overcast Sky