

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ILUMINAÇÃO
NATURAL NO PROTÓTIPO DE CASA POPULAR
EFICIENTE DA UFSM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Matheus Cargnelutti de Souza

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ILUMINAÇÃO
NATURAL NO PROTÓTIPO DE CASA POPULAR EFICIENTE
DA UFSM**

Matheus Cargnelutti de Souza

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de
Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental,
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Giane de Campos Grigoletti

Coorientador: Prof.^o Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti

Santa Maria, RS, Brasil

2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SOUZA, MATHEUS CARGNELUTTI DE
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO
PROTÓTIPO DE CASA POPULAR EFICIENTE DA UFSM / MATHEUS
CARGNELUTTI DE SOUZA.- 2016.
129 p.; 30 cm

Orientadora: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI
Coorientador: MARCOS ALBERTO OSS VAGHETTI
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Desempenho lumínico 2. HIS 3. Eficiência energética
4. Plugin Diva I. GRIGOLETTI, GIANE DE CAMPOS II.
VAGHETTI, MARCOS ALBERTO OSS III. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Matheus Cargnelutti de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: matheuscargnelutti@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**


**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**


**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO
PROTÓTIPO DE CASA POPULAR EFICIENTE DA UFSM**

elaborado por
Matheus Cargnelutti de Souza

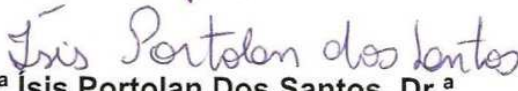
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof.^a Giane de Campos Grigoletti, Dr.^a
(Presidente/Orientadora)


Prof.^o Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr.
(Coorientador)


Prof.^a Celina Maria Britto Correa, Dr.^a
(UFPEL)


Prof.^a Isis Portolan Dos Santos, Dr.^a
(UFSM)

Santa Maria, 08 de agosto de 2016.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Rosemeri Cargnelutti, por estar sempre ao meu lado, sendo meu exemplo de educação, esforço e dedicação, e por sempre me apoiar e incentivar a acreditar nos meus objetivos.

À minha avó Iolanda Cargnelutti e minha prima Janine Cargnelutti, por me acolherem sempre animadas e motivadoras, nas incontáveis viagens a Santa Maria.

À minha orientadora professora Dr.^a Giane de Campos Grigoletti, por me escolher como orientando, acreditar no meu trabalho, e principalmente por todo o auxílio, dedicação e empenho que empregaste na orientação deste trabalho, estando sempre disposta a ajudar no que fosse necessário.

Ao meu coorientador professor Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti, por todo o apoio e motivação que me passaste, e por disponibilizar a casa popular eficiente para ser o meu objeto de estudo nesta dissertação.

À instituição Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação e receber o grau de Mestre em Engenharia Civil.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFSM, seu corpo docente e a secretária Marília Goulart, por todo auxílio prestado.

Ao professor PhD Fernando Oscar Ruttkay Pereira por todo o auxílio ao longo da pesquisa e a recepção na Universidade Federal de Santa Catarina, bem como, seus orientandos Dr.^a. Raphaela Walger da Fonseca, Me. Letícia Niero Moraes (*in memoriam*), e principalmente ao Me. Alexandre Reis Felipe por todos os ensinamentos sobre o *plugin Diva for Rhino*.

A todos os familiares, amigos e colegas que estiveram presentes em minha vida durante a realização deste trabalho, por entenderem a minha ausência em muitos momentos e seguirem me dando apoio, em especial à engenheira Eliane Schuster, e também aos estagiários Giovana, Maurício, Luiza e Bruna, que fizeram parte do meu escritório, me auxiliando neste período de dupla jornada, de arquiteto e mestrando.

Às professoras Dr.^a Celina Maria Britto Correa e Dr.^a Ísis Portolan Dos Santos, por comporem a banca examinadora e pela disponibilidade em contribuir na avaliação do trabalho.

Por fim, a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Projeto de Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROTÓTIPO DE CASA POPULAR EFICIENTE DA UFSM

Autor: Matheus Cargnelutti de Souza
Orientadora: Dr.^a Giane de Campos Grigoletti
Coorientador: Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 08 de agosto de 2016.

A população brasileira presenciou uma facilidade de concessão de crédito para a construção civil até pouco tempo, em virtude do programa Minha Casa Minha Vida. Em contraponto a esta demanda de habitações populares, pairam técnicas construtivas defasadas, no que se refere à qualidade do ambiente construído e a eficiência energética das novas edificações. Neste sentido, em dezembro de 2013, foi inaugurado um protótipo de casa sustentável, no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), desenvolvido a partir do projeto Casa Popular Eficiente, numa parceria entre duas instituições, a UFSM e a Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Esta dissertação surgiu com o intuito de avaliar o desempenho lumínico deste protótipo. Através do método do papel branco, foram realizadas medições com luxímetro portátil em 260 pontos de iluminância refletida para a obtenção das refletâncias das superfícies internas da edificação. Foi utilizado o programa *Rhinoceros* com o *plugin Diva* instalado em seu ambiente. Aplicando-se 1.240 sensores virtualmente no interior do protótipo, foram avaliados parâmetros dinâmicos do comportamento da iluminação natural, submetendo-o a testes de desempenho baseados em indicadores da NBR 15.575-1 e da IESNA. O protótipo foi avaliado também pelos métodos prescritivo e de simulação, para iluminação natural do RTQ-R. Foram realizadas simulações com a alteração de níveis de refletâncias de algumas superfícies do protótipo. Os principais resultados obtidos foram que o protótipo atende dinamicamente os requisitos mínimo, intermediário e superior de iluminâncias de iluminação natural da NBR 15.575-1, nas avaliações pelo RTQ-R todos os ambientes de permanência prolongada e a cozinha / área de serviço atendem dinamicamente aos requisitos de simulação, bem como, ao teste prescritivo de profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais, porém, o protótipo não atinge o nível mínimo de 60% de refletância do teto e apenas a cozinha / área de serviço atende ao mínimo de 12,5% da área do piso destinado às aberturas para o acesso de iluminação natural no interior do protótipo. De maneira geral o PCPE obteve bom resultado nas avaliações de desempenho da iluminação natural, entretanto, o dimensionamento compacto que o mesmo apresenta por se tratar de uma habitação de interesse social (HIS), e a presença de baixos índices de refletâncias nas suas superfícies internas, demonstra a possibilidade de aperfeiçoamento nos critérios estabelecidos pelas normas brasileiras direcionadas à iluminação natural.

Palavras-chaves: Desempenho lumínico. HIS. Eficiência energética. *Plugin Diva*.

ABSTRACT

EVALUATION OF NATURAL ILLUMINANCE PERFORMANCE IN UFSM CASA POPULAR EFICIENTE PROTOTYPE

The Brazilian population observed a possibility of credit concession for civil construction, not long time ago, due to Minha Casa Minha vida program. In opposition to this high demand of popular housing there are constructive techniques which are outdated concerning the quality of the built environment and the powerful efficiency of the new structures. Thus, in December 2013, it was introduced a prototype of a sustainable house in Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), and it was developed from the project of Casa Popular Eficiente, in a partnership between these institutions; UFSM and Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). This dissertation originated with the purpose of evaluating the luminous performance of this prototype. Through the white paper method, it was accomplished mediations with portable Lux Meter in 260 reflected illuminance spots in order to obtain the reflectance of internal surfaces inside the buildings. It was used the program *Rhinoceros* with the *plugin Diva* installed in its environment. Hence, applying 1.240 sensors virtually inside the prototype, dynamics parameters of natural illuminance behavior were evaluated by performance tests based on NBR 15.575-1 and IESNA indicators. The prototype was also evaluated by prescriptive methods and simulation for the natural illuminance of RTQ-R. Some simulations with the change of reflectance levels in some prototype surfaces were performed. The main results are that the prototype fulfills dynamically the minimum, intermediate and superior illuminance requirements of NBR 15.575-1 natural illuminance. Hence, during the evaluation by the RTQ-R all the environments with extended permanence and the kitchen / laundry room satisfy dynamically the simulation requirements, as well as, the prescriptive test about the depth environments with natural illuminance originating from sideway opening. However, the prototype does not meet the requirements of the minimum level of 60% ceiling reflectance and only the kitchen / laundry room fulfills the minimum of 12, 5% floor area designed for the opening of the access of natural illuminance into the prototype. Therefore, the PCPE had a good result in the performance evaluation of natural illuminance, however the compact sizing which presents itself because it refers to a social interest habitation (habitação de interesse social - HIS), and the presence of low rates of reflectance indicates the possibility of an improvement in the established standards by the Brazilian rules regarding natural illuminance.

Key Words: Luminous performance. HIS. Powerful efficiency. *Plugin Diva*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapeamento dos cinco primeiros anos do PMCMV	25
Figura 2 - Localização geográfica do Campus da UFSM	26
Figura 3 - Protótipo da Casa Popular da UFSM e sua placa de Inauguração	27
Figura 4 - Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros).....	31
Figura 5 - Percepção esquemática das grandezas fotométricas.....	33
Figura 6 - Gradiente de refletâncias ideais para superfícies interiores em função de seu posicionamento em relação à janela	33
Figura 7 - Radiação solar e latitude.....	35
Figura 8 - Solstícios no hemisfério Sul	36
Figura 9 - Malha de pontos para medições	39
Figura 10 Entradas e saídas de dados com o <i>plugin Diva for Rhino</i>	47
Figura 11 Elementos arquitetônicos de obstrução da iluminação natural em edificações residenciais avaliados por Sousa.	49
Figura 12 Exemplo de Simulações de Autonomia de Iluminação Natural em 100 lux	50
Figura 13 Modelo de ambiente proposto para simulações por Jaramillo	51
Figura 14 Distribuição de iluminâncias por área em salas de aula.....	52
Figura 15 - Planta Baixa do Protótipo de Casa Popular da UFSM	53
Figura 16 - Ilustração da área externa do Protótipo de Casa Popular da UFSM e suas propostas de materiais e soluções sustentáveis.....	54
Figura 17 - Fachadas do Protótipo de Casa Popular da UFSM	56
Figura 18 - Localização do protótipo de casa popular eficiente da UFSM, no Centro de Eventos da UFSM.	57
Figura 19 - Sala de Estar	58
Figura 20 - Cozinha/Área de Serviço	58
Figura 21 - Circulação	59
Figura 22 - Banheiro.....	59
Figura 23 - Dormitório 01.....	60
Figura 24 - Dormitório 02.....	60
Figura 25 - Luxímetro portátil INSTRUTHERM-LD210.....	61
Figura 26 - Medições de iluminância refletida pelo método do papel branco; medições de iluminância refletida pela parede de tijolo a vista e pelo piso laminado de PVC reciclado.....	62
Figura 27 - Condição do céu encoberto no dia 08/01/2016.....	63
Figura 28 - Limpeza das superfícies de medições de iluminância refletida.....	63
Figura 29 - Locação dos pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes de tijolos a vista, em planta baixa e vistas.	64
Figura 30 - Pontos de medições de iluminância refletida nos tijolos a vista.	65
Figura 31 - Locação dos pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes e teto pintados de branco, em planta baixa e vistas.....	66
Figura 32 - Pontos de medições de iluminância refletida nas paredes e teto brancos.	66
Figura 33 - Locação dos pontos de medições de iluminância refletida nas paredes com revestimento cerâmico claro.....	67
Figura 34 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes com revestimento cerâmico claro.....	67
Figura 35 - Locação dos pontos de medições de iluminâncias refletidas no piso cerâmico claro.	68

Figura 36 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas no piso cerâmico claro.	68
Figura 37 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas da madeira das esquadrias.	69
Figura 38 - Locação dos pontos de medições de iluminância refletida da madeira das esquadrias.	69
Figura 39 - Locação dos pontos de medições de iluminância refletida do piso laminado de PVC reciclado e do forro de chapas OSB.	70
Figura 40 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas do piso laminado.	71
Figura 41 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas do forro de painéis OSB.	71
Figura 42 Interface do programa Rhinoceros e as ferramentas do <i>plugin Diva</i> .	72
Figura 43 - Importação do arquivo climático de Santa Maria, RS.	72
Figura 44 - Pontos de análises das simulações e aplicação dos materiais no <i>Diva</i> .	74
Figura 45 - Configuração do arquivo <i>Material</i> do <i>Diva for Rhino</i> .	74
Figura 46 - Escolha do tipo de simulação; Janela de simulação; Opções de apresentação da simulação após a sua conclusão.	75
Figura 47 - Planta Baixa com a distribuição real dos ambientes do PCPE de UFSM	77
Figura 48 Maquete do PCPE no programa Rhinoceros.	78
Figura 49 - Piso de PVC reciclado; Alvenaria de tijolos de solo cimento; Forro em painéis OSB e Pintura com tinta de terra crua.	79
Figura 50 - Avaliação dos níveis de iluminâncias de iluminação natural no PCPE da UFSM em 23 de abril por simulação computacional.	87
Figura 51 - Avaliação dos níveis de iluminâncias de iluminação natural no PCPE da UFSM em 23 de outubro por simulação computacional.	88
Figura 52 - Simulação para avaliação do ambiente cozinha/ área de serviço pelos parâmetros do RTQ-R.	91
Figura 53 - Simulação para avaliação do ambiente dormitório 01 pelos parâmetros do RTQ-R.	92
Figura 54 - Simulação para avaliação do ambiente dormitório 02 pelos parâmetros do RTQ-R.	93
Figura 55 - Simulação para avaliação do ambiente sala pelos parâmetros do RTQ-R.	93
Figura 56 - Simulação para avaliação do ambiente banheiro em DA30 lux e DA45 lux.	95
Figura 57 - Simulação para avaliação da circulação em DA30 lux e DA45 lux.	95
Figura 58 - Simulação do dormitório 01 em DA90Lux e DA120Lux.	96
Figura 59 - Simulação do dormitório 02 em DA90Lux e DA120Lux.	97
Figura 60 - Simulação da sala de estar em DA90Lux e DA120Lux.	98
Figura 61 - Simulação da cozinha/área de serviço em DA90Lux e DA120Lux.	99
Figura 62 - Simulação para avaliação de UDI no PCPE.	100
Figura 63 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com o teto do protótipo pintado de branco.	101
Figura 64 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco.	103
Figura 65 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com os tetos brancos e as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco.	105
Figura 66 - Simulações de DA do PCPE da UFSM	107
Figura 67 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com pintura branca no teto.	109

Figura 68 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com as atuais paredes de tijolo a vista rebocadas e pintadas de branco.....	111
Figura 69 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com os tetos pintados de branco e as atuais paredes de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco	113
Figura 70 - Gráfico das porcentagens de áreas de piso do PCPE da UFSM que atingem as determinadas DAs nas simulações realizadas	114
Figura 71 - Gráfico comparativo de autonomias de iluminação natural no PCPE da UFSM	116
Figura 72 - Gráfico comparativo de autonomias de iluminação natural no PCPE da UFSM desconsiderando o banheiro e a circulação	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grandezas fotométricas	32
Tabela 2 - Refletâncias recomendadas para teto, paredes e piso	34
Tabela 3 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos	38
Tabela 4 - Níveis de iluminância geral para iluminação natural habitacional	40
Tabela 5 - Condições de avaliação de níveis de iluminância através da NBR 15.215-3 de acordo com a NBR 15.575-1	41
Tabela 6 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação.....	41
Tabela 7 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação.....	42
Tabela 8 - Tabela de Desconto das Esquadrias do protótipo de Casa Popular Eficiente estipulada pelo RTQ-R	44
Tabela 9 - Descrição dos itens destacados na Figura 16.....	55
Tabela 10 - Estimativa de refletância das paredes de tijolos a vista	80
Tabela 11 - Estimativa de refletância das paredes e teto pintados de branco	81
Tabela 12 - Estimativa de refletância das paredes com revestimento cerâmico claro	81
Tabela 13 - Estimativa de refletância do piso cerâmico claro.....	82
Tabela 14 - Estimativa de refletância da madeira das esquadrias	83
Tabela 15 - Estimativa de refletância do piso laminado de PVC reciclado.....	84
Tabela 16 - Estimativa de refletância dos painéis OSB do forro	85
Tabela 17 - Estimativa de refletâncias das superfícies do PCPE da UFSM.....	86
Tabela 18 - Análise das áreas de aberturas para iluminação natural por ambiente..	89
Tabela 19 - Profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais.....	90
Tabela 20 - Elevação de UDI com o teto do protótipo pintado de branco	102
Tabela 21 - Elevação de UDI do protótipo com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco	104
Tabela 22 - Elevação de UDI do protótipo com os tetos brancos e as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco	106
Tabela 23 - DA no PCPE da UFSM e as porcentagens de elevação de DA após as simulações	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
FLD - Fator de Luz Diurna (Daylight Factor)
FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental - RS
GEPETECS - Grupo de Estudos e Pesquisas em Tecnologias Sustentáveis
HIS - Habitação de Interesse Social
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, EUA
nm - Nanometros
NBR - Norma Brasileira
PCPE - Protótipo de Casa Popular Eficiente
PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida
RS - Rio Grande do Sul
ULBRA - Universidade Luterana do Brasil
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS	29
2.1 Objetivo geral	29
2.2 Objetivos específicos	29
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 Iluminação Natural	31
3.2 Fotometria	32
3.3 A Incidência de Luz Solar.....	34
3.4 Condições de céu.....	36
3.5 Normas e Recomendações técnicas para iluminação.....	37
3.5.1 NBR 15215.....	37
3.5.2 NBR 15575-1.....	39
3.5.3 NBR ISO/CIE 8995-1.....	42
3.5.4 Extinta NBR 5413.....	43
3.5.5 Recomendações internacionais	43
3.6 RTQ-R.....	44
3.7 Simulações Computacionais Dinâmicas para Iluminação Natural.....	46
3.9 Projeto Casa Popular Eficiente.....	53
4 METODOLOGIA.....	57
4.1 Objeto de Estudo.....	57
4.1.1 Ambientes internos do Protótipo	58
4.2 Procedimentos	61
4.2.1 Método do Papel Branco.....	61
4.2.2 Simulações de iluminação natural com <i>Diva for Rhino</i>	72
5 RESULTADOS	77
5.1 Refletâncias.....	79
5.2 Avaliação dinâmica de iluminância natural no PCPE com base nos índices de iluminâncias da NBR 15.575	86
5.3 Avaliação do PCPE da UFSM por simulação sob as recomendações do RTQ-R	88
5.3.1 Aplicação do Método Prescritivo do RTQ-R.....	89
5.3.2 Aplicação do Método de Simulação do RTQ-R.....	90
5.4 Simulações de autonomia de iluminação natural com os níveis de desempenho estipulados pela NBR 15.575-1	94
5.4.1 Autonomia de iluminação natural em ambientes internos sem permanência prolongada	94
5.4.2 Autonomia de iluminação natural em ambientes internos com permanência prolongada	96
5.5 Iluminância útil de iluminação natural - <i>Useful Daylight Illuminances</i> (UDI)	99
5.6 Simulações com elevação de refletâncias para a avaliação por UDI	100
5.7 Autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM e propostas para elevação de desempenho.....	106
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
6.1 Conclusões.....	121
6.2 Limitações do Trabalho	122
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	123
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

1 INTRODUÇÃO

O sol é fonte de vida no planeta terra. Sua radiação é uma das maiores geradoras de energia renovável, oferecendo luz e calor aos seres vivos. Porém, mesmo apresentando vários benefícios, a radiação solar também pode se tornar agressiva, se absorvida de forma inadequada ou mal integrada à iluminação artificial, no interior de uma edificação.

Os seres humanos têm uma notável capacidade de adaptar-se ao seu ambiente e ao seu ambiente imediato. De todos os tipos de energia que podem ser usadas por seres humanos, a luz é o mais importante. A luz é um elemento essencial na nossa capacidade de ver e necessária para apreciar a forma, a cor e a perspectiva dos objetos que nos cercam em nossas vidas diariamente. A maior parte das informações que coletamos através dos nossos sentidos, obtemos pela visão (cerca de 80%). E, sendo acostumados a dispor dela, nós tomamos por certo o seu trabalho. No entanto, não podemos esquecer que certos aspectos do bem-estar humano, como o nosso estado de espírito ou o nosso nível de fadiga, são afetados pela iluminação e a cor das coisas que nos rodeiam. (ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, 2001, p. 7)

De acordo com a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013a, p.VII), “uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente que permite que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura”.

Na arquitetura, o excesso de luz solar direta no interior das edificações pode levar a desconfortos térmicos e visuais. Para Bogo (2007, p. 28), “admitir luz natural para o interior dos ambientes significa utilizá-la de forma adequada; para isso é necessário controlá-la, evitando efeitos como excesso de calor, ofuscamento e degradação dos materiais”. Por outro lado, são inúmeros os problemas decorrentes da falta de luz solar direta em interiores, não só pelas questões de higienização dos ambientes e conseqüentemente possíveis proliferações de doenças, como pelas questões econômicas, tanto no âmbito energético como financeiro. Pereira e Souza (2005, p.4), salientam que “a iluminação inadequada pode causar desconforto e fadiga visual, dor de cabeça, ofuscamento e redução da eficiência visual”.

A janela, para Kremer (2002, p. 20), “quando constituída por elementos transparentes tem a importante missão de promover a penetração de luz para o interior e o contato com o exterior, mas ela também pode produzir ofuscamento e

problemas térmicos”. Castaño (2007, p. 01) acrescenta que “a iluminação deve ser uma condicionante do projeto, não uma consequência dele”.

Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminação necessária, no entanto, também existem poucas em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminação do ambiente. (GHISI; LAMBERTS, 1997, p. 2).

Embora as aberturas sejam responsáveis pela penetração da luz natural no interior das edificações, são as superfícies dos ambientes internos que mais influenciarão na distribuição desta iluminação, observando-se a importância de se analisar os materiais empregados nas superfícies dos ambientes a que se pretende avaliar o desempenho da iluminação natural (HOPKINSON; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1980).

Tendo-se as dimensões da edificação, propriedades de reflexão das superfícies opacas, transmissão das superfícies transparentes, e obstruções significativas externas, pode-se utilizar a modelagem de iluminação natural baseada no clima local, hoje amplamente reconhecida, onde existem meios avançados para a análise da luz natural nas edificações, além de possibilitar previsões do comportamento da luz em novas construções (MARDALJEVIC; CHRISTOFFERSEN, 2013).

Uma medida de desempenho de iluminação natural em longo prazo de uma edificação deve considerar a iluminação que resulta a partir de uma vasta gama de condições de céu e sol (MARDALJEVIC, 2000). A modelagem de luz à base de clima é a previsão das quantidades luminosas geradas por um arquivo meteorológico com padrões específicos para o local da construção em fase de avaliação dinâmica, as principais avaliações realizadas são a iluminância útil de iluminação natural (*useful daylight illuminance - UDI*) e a autonomia de iluminação natural (*daylight autonomy - DA*) (MARDALJEVIC; CHRISTOFFERSEN, 2013).

O UDI é identificado como a porcentagem de horas de um ano que a iluminância no plano de trabalho está entre 100 e 2.000 lux, faixa de iluminâncias considerada de conforto visual ao usuário, sendo os valores acima de 2000 lux e

abaixo de 100 lux considerados zonas de desconforto (MARDALJEVIC; NABIL, 2005).

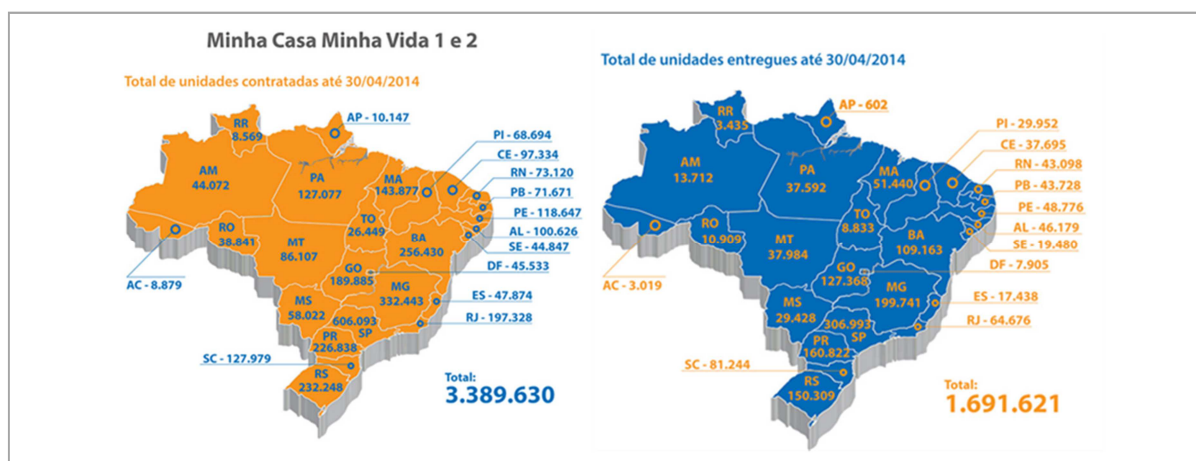
O DA é outra medida dinâmica de análise importante, que simula a porcentagem de horas ocupadas por ano em que as iluminâncias no plano de trabalho atingem um valor predeterminado de iluminância, somente de iluminação natural (REINHART et. al., 2006).

Aliar neste estudo, a forma de avaliar o desempenho da iluminação natural com o efervescente crescimento habitacional do Brasil nos últimos anos reforça uma necessária preocupação com a qualidade do ambiente construído que vem sendo adquirido pela população, afinal, não basta sanar o déficit habitacional do país, é necessário gerar soluções eficientes e bem projetadas.

Nos últimos anos, os brasileiros puderam perceber o crescimento constante na construção de casas populares, devido à facilidade de concessão de crédito, gerada principalmente pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), lançado em março de 2009, pelo governo federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2014).

Completados cinco anos do PMCMV em 2014, a Caixa Econômica Federal (2014), registrou “a contratação de 3,39 milhões de unidades (até 30 de abril deste ano, das quais, 1,68 milhão já foram entregues), beneficiando mais de seis milhões de pessoas”. A Figura 1 apresenta os dados quantitativos das habitações contratadas e entregues até 30/04/2014 pelo PMCMV, com a discriminação de unidades por estado.

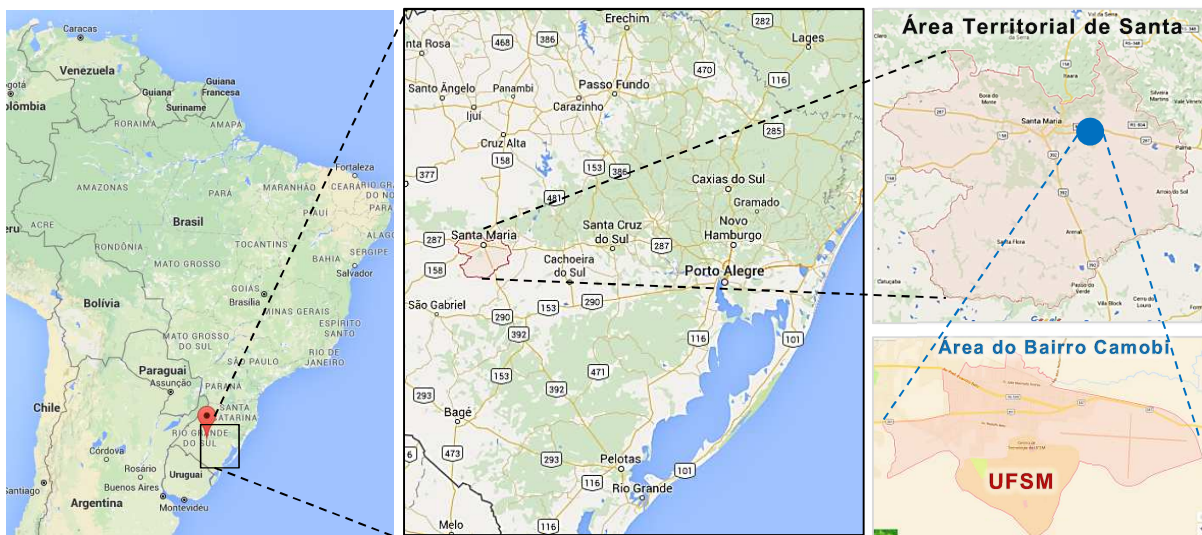
Figura 1 - Mapeamento dos cinco primeiros anos do PMCMV



Com base nos dados da Figura 1, com a conclusão das 3,39 milhões de unidades contratadas, o Brasil teria um crescimento habitacional de 50,09% de moradias do PMCMV, ou seja, dobraria o seu número, em relação às obras já concluídas (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2014). Entretanto, o governo federal divulgou recentemente a entrega de 2,6 milhões de casas desde o início do programa em 2009 até 01 de abril de 2016, não cumprindo a estimativa de 2014, mas com a promessa de chegar a 4,6 milhões de novas residências construídas até 2018 (BRASIL, 2016). A partir destes números, pode-se depreender a importância de se pensar no consumo pós-ocupação e os custos envolvidos para esta população com baixa renda, em especial, a economia que pode ser gerada com o adequado aproveitamento da luz natural nos ambientes internos.

Este trabalho visa valorizar a relação entre as Habitações de Interesse Social (HIS) e o desempenho da iluminação natural, com um estudo desenvolvido no Centro de Eventos da UFSM, na cidade de Santa Maria, RS, bairro Camobi, conforme indica a Figura 2.

Figura 2 - Localização geográfica do Campus da UFSM



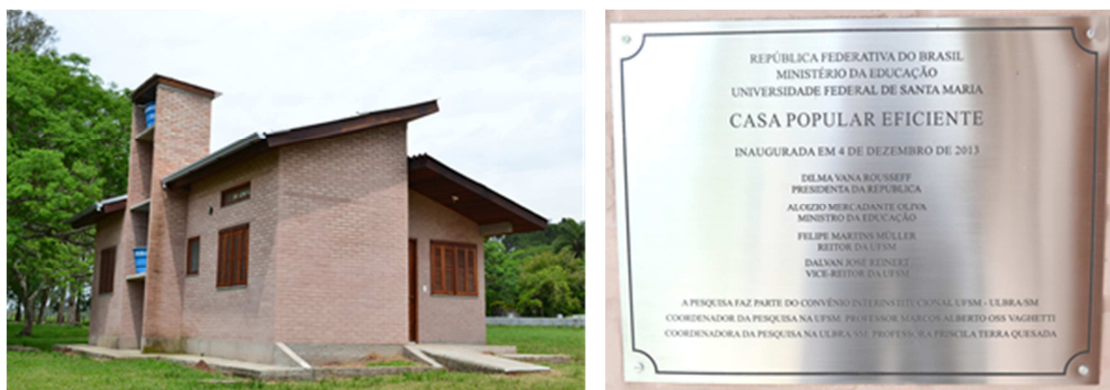
Fonte: Organizado pelo autor, com base em Google Maps (2016).

Segundo IBGE (2010), Santa Maria é uma cidade de porte médio, com área territorial de 1.788,12 km², com população estimada em 261.031 habitantes, sendo que 248.347 são residentes urbanos. Localizada na região central do estado do Rio

Grande do Sul, a cidade é delimitada pelas coordenadas geográficas 53°35' e 54°08' de longitude Oeste e 29°33' e 34°00' de latitude Sul.

No dia quatro de dezembro de 2013, foi inaugurado um protótipo de casa sustentável, Figura 3, no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria, RS, desenvolvido a partir do projeto Casa Popular Eficiente, numa parceria entre duas instituições, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), tem como coordenador o Professor Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti, líder do Grupo de Estudos e Pesquisas em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS). Seu principal objetivo é a avaliação do comportamento físico e mecânico dos materiais utilizados no protótipo, a fim de resultar na máxima eficiência energética da edificação, com o mínimo de custo financeiro empregado (GEPETECS, 2014).

Figura 3 - Protótipo da Casa Popular da UFSM e sua placa de Inauguração



Fonte: Própria, obtida em 10 de outubro de 2014.

O projeto Casa Popular Eficiente se propõe a uma análise de desempenho em longo prazo, para avaliação do comportamento das soluções sustentáveis. Entre as questões estudadas inicialmente estão a eficiência térmica e energética de aquecedor solar para água do chuveiro, o aproveitamento do sol para geração de energia elétrica com a utilização de placas fotovoltaicas, o aproveitamento de águas da chuva para o vaso sanitário e outras finalidades, a vegetação e a ventilação cruzada para o conforto térmico da residência e o tratamento e aproveitamento das águas cinzas do banheiro e da máquina de lavar roupas (GEPETECS, 2014).

Alguns estudos na área de desempenho térmico e acústico já foram realizados no protótipo, desta forma, este trabalho vem a preencher a lacuna do desempenho lumínico no âmbito do conforto ambiental.

Machado e Vaghetti (2015) verificaram que o Protótipo Casa Popular Eficiente (PCPE) atende às especificações de desempenho térmico, regidas pela NBR 15.575, com nível intermediário. Já o estudo de Rossi et al. (2015), expõe que os índices de isolamento acústico das fachadas obtidos encontram-se dentro dos valores recomendados pela NBR 15.575, enquanto, os índices de isolamento das divisórias internas ficaram abaixo do mínimo requerido. No entanto, até o momento da publicação deste, nenhum estudo fora encaminhado para a análise da iluminação natural no PCPE. O presente trabalho pretende contribuir para a avaliação das condições de iluminação natural internas deste protótipo e através de simulações computacionais dinâmicas, prever possíveis formas de aperfeiçoá-lo no âmbito do desempenho lumínico, referenciando-se por normas brasileiras e pesquisas desenvolvidas na área.

Justifica-se a presente pesquisa, pelo avanço nos estudos de procedimentos eficientes para o aproveitamento de uma iluminação, que é recebida diretamente pelo sol e não tem custo financeiro, aliando-a, ao mínimo possível de consumo no que se refere à iluminação artificial, em busca dos melhores índices de desempenho lumínico, através do mapeamento das possíveis deficiências na distribuição da iluminação natural no interior das edificações, com auxílio de simulações computacionais.

Esta dissertação retrata a iluminação e a eficiência energética como um estudo a contribuir com o Projeto Casa Popular Eficiente da UFSM, observando-se a importância de se repensar a forma de fazer arquitetura, para que as HIS não estejam apenas suprimindo uma necessidade de moradia, mas que haja maior planejamento e reflexão sobre as consequências do ambiente projetado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho da iluminação natural nos ambientes internos do Protótipo de Casa Popular Eficiente da Universidade Federal de Santa Maria para identificar o comportamento da iluminação natural empregada no mesmo, através da modelagem da luz natural baseada no clima, além de apontar áreas deficientes de aproveitamento de luz natural, possibilitando que outros pesquisadores prevejam estratégias para o aperfeiçoamento de futuros projetos semelhantes a este, considerando referências que abordam o tema da autonomia de iluminação natural, o contexto da NBR 15575-1 (Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais), e as indicações presentes no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) para o desempenho da luz natural.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento dinâmico da iluminação natural através das porcentagens de horas diurnas anuais em que os ambientes internos do PCPE da UFSM são ocupados por iluminação natural atendendo determinadas faixas de iluminâncias predeterminadas;
- Analisar o PCPE da UFSM perante os níveis de iluminâncias de desempenho lumínico da NBR 15575-1;
- Verificar a adequação das exigências presentes no RTQ-R para aproveitamento da luz natural no PCPE da UFSM;
- Verificar variações no desempenho da iluminação natural no PCPE da UFSM em virtude de alterações dos níveis de refletâncias das superfícies internas do mesmo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

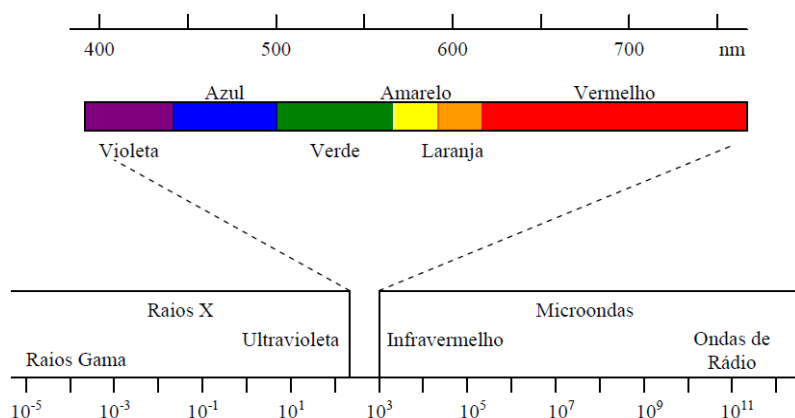
Neste capítulo, apresentam-se informações fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, contextualizando-se os objetos da pesquisa com o referencial teórico e as pesquisas atuais existentes. Os assuntos abordados, relacionados ao tema da pesquisa, são: Iluminação Natural; Fotometria; A Incidência de Luz Solar; Condições de céu; Normas e Recomendações técnicas para iluminação; RTQ-R; Simulações Computacionais dinâmicas para Iluminação Natural; Outros estudos com simulações computacionais de iluminação natural; e Projeto Casa Popular Eficiente.

3.1 Iluminação Natural

A luz, ou radiação visível, de acordo com Pereira e Souza (2005 p.7), “é energia em forma de ondas eletromagnéticas capazes de excitar o sistema humano olho-cérebro, produzindo diretamente uma sensação visual”.

A luz apresenta diferentes comprimentos de onda, que produzem a sensação de cor, sendo percebida pelo olho humano na faixa entre 380 e 780nm através de uma pequena porção do espectro eletromagnético, como ilustra a Figura 4, apresentando os intervalos de comprimentos de onda que correspondem às cores básicas interpretadas pela visão humana, ou seja, violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Figura 4 - Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros)



Fonte: Pereira e Souza (2005, p. 8)

Segundo Barghini (2005, p. 11), a luz natural “não é apenas a parcela da radiação eletromagnética que permite a visão, mas é também aquela parcela que alimenta a maior parte da demanda de energia necessária para a existência da vida sobre a terra”.

3.2 Fotometria

Com base em Castaño (2007, p. 21), a “fotometria é definida como a parte da física que trata da medição da luz, e visa o estudo dos balanços de energia nos processos de emissão, propagação e absorção da radiação”.

É importante compreender alguns conceitos básicos e aplicações, para a abordagem do tema iluminação, por isso, destacam-se, na Tabela 1, as definições de algumas grandezas fotométricas como o fluxo luminoso, a eficiência luminosa, a intensidade luminosa, a iluminância, a luminância e a refletância.

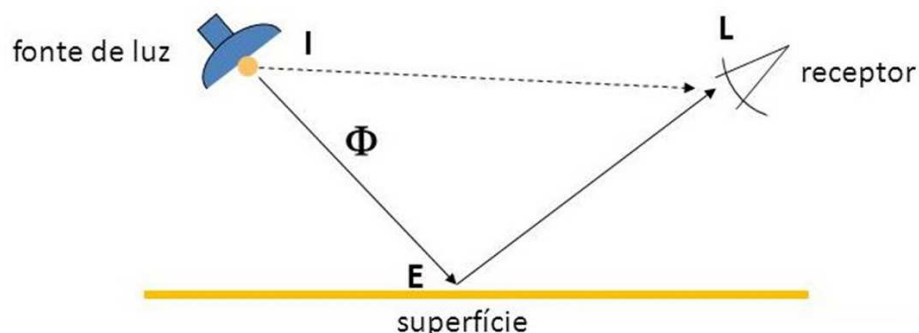
Tabela 1 - Grandezas fotométricas

Grandezas			
Nome	Símbolo	Significado	Unidade
Fluxo Luminoso	Φ	Corresponde ao fluxo radiante que gera uma resposta visual.	lm
Eficiência Luminosa	η	É a razão entre o fluxo luminoso “ Φ ” produzido por uma fonte e a potência P consumida. $\eta = \Phi / P$	lm / W
Intensidade Luminosa	I	É o fluxo luminoso “ Φ ” emitido por uma fonte numa certa direção, dividido pelo ângulo sólido “ ω ”, no qual está contido. $I = \Phi / \omega$	cd
Iluminância	E	É o fluxo luminoso incidente “ Φ ” numa dada superfície, dividida pela área “A” da mesma. $E = \Phi / A$	lux
Luminância	L	É a intensidade luminosa “I” (de uma fonte ou de uma superfície iluminada) por unidade de área aparente “A” numa dada direção. $L = I / A'$	cd / m ²
Refletância	ρ	Para uma radiação incidente com uma composição espectral, polarização e distribuição geométrica dadas, é a razão do fluxo radiante ou luminoso refletido, para o fluxo incidente, nas condições dadas.	%

Fonte: Adaptado de Pereira e Souza (2005, p. 18) e ABNT NBR 5461 (1991).

Para que se compreenda melhor a Tabela 1, Grigoletti (2014) elaborou um esquema, ilustrado na Figura 5.

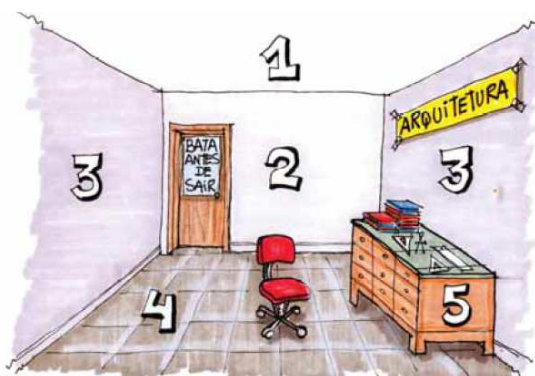
Figura 5 - Percepção esquemática das grandezas fotométricas



Fonte: Grigoletti (2014, p. 41)

A Figura 5 apresenta a relação entre as grandezas fotométricas, que podem ser determinadas a partir da intensidade luminosa, medida em candelas, ao multiplicar ou dividir por quantidades geométricas medidas em áreas ou ângulos sólidos (CASTAÑO, 2007). Visando obter o maior conforto visual possível, na Figura 6, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) destacam a sequência ideal de refletâncias para um ambiente interno (da mais clara para a mais escura) em função de seu posicionamento em relação à janela.

Figura 6 - Gradiente de refletâncias ideais para superfícies interiores em função de seu posicionamento em relação à janela



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 157).

Pereira e Souza (2005) destacam a importância de pintar o teto com cores claras, preferencialmente branco, e recomendam que as paredes devem ter o

mesmo tom das cores do plano de trabalho e para o piso uma cor mais escura do que as usadas no teto e nas paredes. Na Tabela 2, são indicados valores de refletância recomendados.

Tabela 2 - Refletâncias recomendadas para teto, paredes e piso

Superfície	Refletância [%]
Teto	90 - 70
Paredes	70 - 50
Piso	40 - 20

Fonte: Adaptado de Pereira e Souza (2005, p.35)

As grandezas fotométricas mais importantes para este estudo foram as iluminâncias, que foram analisadas inseridas no interior do PCPE da UFSM de uma forma dinâmica, com a aplicação e variação das refletâncias das superfícies internas em simulações computacionais.

3.3 A Incidência de Luz Solar

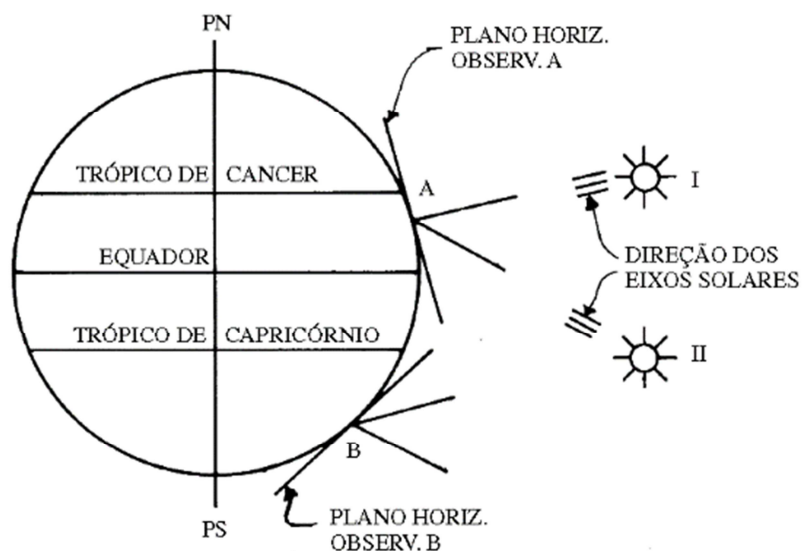
Segundo Mascaró (1983, p.25), “a disponibilidade de luz natural para qualquer região é determinada pela quantidade de radiação solar (luminosa) incidente nas diferentes estações do ano”. Salientando que quantidade de radiação solar varia em função da época do ano de acordo com a latitude do local (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A direção do eixo dos raios solares é definida pela latitude, Monteiro (1999, p.14) destaca que “a chegada dos raios solares, em suas diferentes faixas de comprimento de onda, é mais incisiva na faixa equatorial, declinando à medida que aumenta a distância dela”.

A latitude é medida a partir do Equador, em que cada ponto da superfície da Terra está contido em um semicírculo imaginário paralelo ao Equador e distante deste segundo um ângulo definido pela altura do círculo, ou seja, pelo ângulo ϕ . A latitude é medida de 0° a 90° e será Norte, se estiver acima da linha do Equador, e Sul, se estiver abaixo (FROTA; SCHIFFER, 2001). Na Figura 7, apresenta-se a

posição solar em um plano A, próximo ao Trópico de Câncer e num plano B, próximo ao Trópico de Capricórnio.

Figura 7 - Radiação solar e latitude

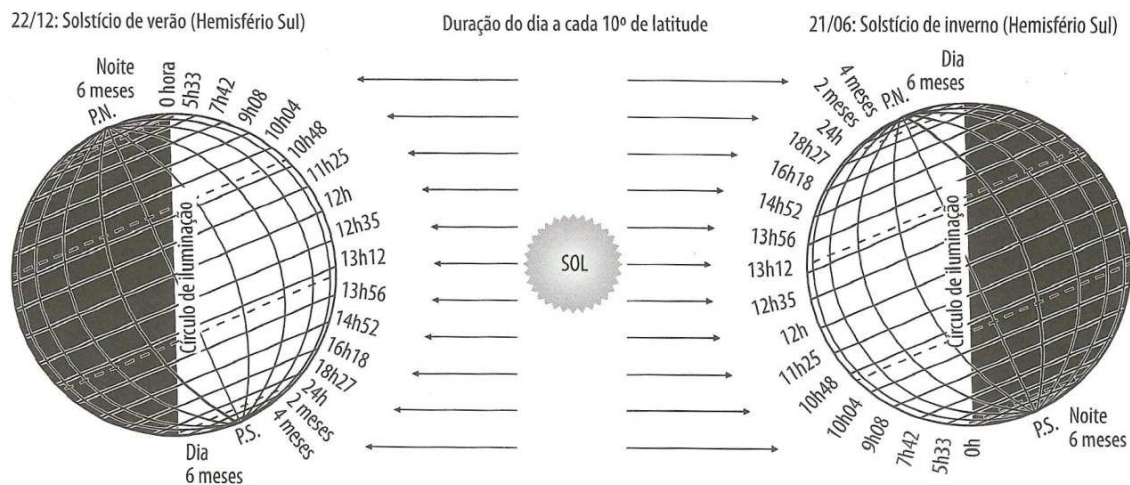


Fonte: Frota e Schiffer (2001, p. 56)

Desta forma, no dia 21 de junho, às 12 horas, o Sol atingirá perpendicularmente o Trópico de Câncer, sendo o ponto máximo de seu percurso no Hemisfério Norte, e no dia 22 de dezembro atingirá, também às 12 horas, o Trópico de Capricórnio limite de sua trajetória no Hemisfério Sul. Esses dois dias típicos são denominados solstícios, sendo de inverno, se o ponto geográfico do observador situar-se em hemisfério oposto ao sol, e de verão, se estiver no mesmo hemisfério (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Santa Maria está localizada no hemisfério sul. Na Figura 8, são apresentados os solstícios de verão e de inverno para este hemisfério.

Figura 8 - Solstícios no hemisfério Sul



Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Os dias 23 de setembro e 22 de março são denominados equinócios, e se caracterizam pela passagem do Sol pela linha do Equador terrestre, o que resulta na duração do dia igual à da noite para qualquer ponto da Terra (FROTA, SCHIFFER, 2001).

3.4 Condições de céu

Segundo a NBR 15.215-2 (ABNT, 2005b, p. 2), a condição de céu é a “aparência da abóboda celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da emissão de luz”.

A quantidade de radiação solar que atinge o solo depende da porcentagem de recobrimento e da espessura das nuvens no céu (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A NBR 15.215-2 descreve as condições do céu, com o método da cobertura de céu preconizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA), no qual as condições de céu são dadas pela porcentagem de nuvens no céu. Para céu claro, 0% a 35%; para céu parcialmente encoberto, 35% a 75%; e para céu encoberto, 75% a 100% (ABNT, 2005 b).

3.5 Normas e Recomendações técnicas para iluminação

No Brasil, as normas técnicas básicas de iluminação são a ABNT NBR 5461 (1991), que trata das terminologias relacionadas à iluminação, a ABNT NBR 15.215 (2005) que, dividida em quatro partes, trata de questões relacionadas à Iluminação natural, a ABNT NBR 15.575-1 (2013 c), que trata das Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1 - Requisitos gerais, no que se refere ao desempenho lumínico e a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013 a) - Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 01 - Interior, sendo que estas duas últimas substituem a antiga ABNT NBR 5413 (1992) de Iluminância de interiores desde 2013.

3.5.1 NBR 15215

Dividida em quatro partes, a ABNT NBR 15.215 (2005 a, 2005 b, 2005 c, 2005 d) aborda questões relacionadas à iluminação natural.

A parte 1 da ABNT NBR 15.215-1 (2005 a) intitula-se Conceitos Básicos e Definições e apresenta os componentes de iluminação natural, os elementos de controle e termos gerais relacionados à iluminação natural e o ambiente construído.

Intitulada Procedimentos de Cálculo para a Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural, a parte 2 da ABNT NBR 15.215-2 (2005 b, p.1) “estabelece procedimentos estimativos de cálculo da disponibilidade da luz natural em planos horizontais e verticais externos, para condições de céu claro, encoberto e parcialmente encoberto ou intermediário”.

Intitulada Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações - Método de medição, a ABNT NBR 15.215-4 (2005 d, p.1), “prescreve métodos para a verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos”.

A instrumentação recomendada para a aplicação da parte 4 desta NBR são os fotômetros, que segundo a ABNT NBR 15.215-4 (2005d, p.2), são “instrumentos que possuem um sensor fotométrico para medição de radiação visível (luz), cuja resposta espectral apresente um erro máximo de 6%, com relação à sensibilidade do olho humano. Esta Norma recomenda o uso de sensores de silício”.

São indicados luxímetros para medições de iluminâncias, e os luminancímetros, os quais consistem essencialmente nos mesmos elementos que os

luxímetros, porém, com a adição de lentes apropriadas para captar o brilho de objetos contidos num determinado ângulo sólido, e medir a intensidade luminosa proveniente deste ângulo sólido (ABNT NBR 15.215-4, 2005d).

Para definir os pontos de medição dos níveis de iluminância, utiliza-se a fórmula descrita pela ABNT NBR 15.215-4 (2005 d, p. 6), e transcrita abaixo.

$$K = \frac{C.L}{H_m.(C+L)} \quad (1)$$

Onde:

L é a largura do ambiente, em metros;

C é o comprimento do ambiente, em metros;

H_m é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho (0,75m, de acordo com a NBR 15.215-4) e o topo da janela.

Desta forma, obtém-se o coeficiente K, conforme a Tabela 3, para obter o número mínimo de pontos necessários para cada ambiente em questão.

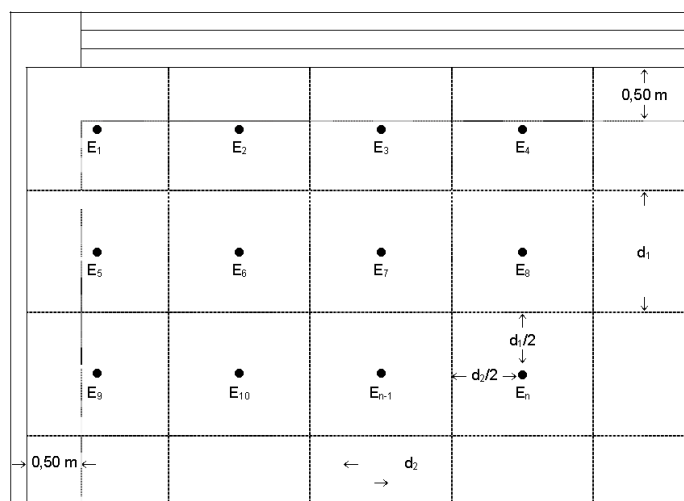
Tabela 3 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	Nº de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: CIBSE (1984 apud ABNT NBR 15215-4, 2005 d, p. 6)

Obedecendo ao requisito mínimo de pontos estabelecido na Tabela 3, serão feitas as leituras diretamente sobre postos de trabalho, organizados conforme a Figura 9 (ABNT NBR 15.215-4, 2005 d).

Figura 9 - Malha de pontos para medições



Fonte: ABNT (2005 d, p. 7)

Para a ABNT NBR 15.215-4 (2005 d, p. 7), ainda “recomenda-se a medição da iluminância externa horizontal na condição mais desobstruída possível. O sensor, entretanto, deve estar protegido da incidência dos raios diretos do sol”.

Para uma análise completa da iluminância no ambiente construído, de acordo com a ABNT NBR 15.215-4 (2005 d, p. 9), “deve-se verificar a variação e distribuição de iluminância através das curvas isoiluminância, a iluminância sobre a superfície total de trabalho e a uniformidade de iluminância sobre as superfícies de trabalho e seu entorno próximo”. Estas curvas isoiluminância representam a variação de iluminância no ambiente, indicando as partes do ambiente onde será necessário o uso de iluminação artificial para suprir as necessidades mínimas.

3.5.2 NBR 15575-1

Publicada em 19 de fevereiro de 2013, e em vigor desde 19 de julho de 2013, esta norma, dentre outros assuntos relacionados ao Desempenho de Edificações Habitacionais, apresenta critérios e métodos de avaliação de iluminação natural e artificial (ABNT, 2013b; ABNT NBR 15.575-1, 2013c).

Para o desempenho de iluminação natural, conforme ABNT NBR 15.575-1 (2013 c, p. 24), “durante o dia, as dependências da edificação habitacional [...]

devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes”. A Tabela 4 apresenta os níveis mínimo (M*), intermediário (I) e superior (S) de iluminância, contando somente com iluminação natural, considerados na norma.

Tabela 4 - Níveis de iluminância geral para iluminação natural habitacional

Dependência	Iluminância geral (lux) para o nível mínimo de desempenho		
	M*	I	S
Sala de estar; Dormitório; Copa / cozinha; Área de serviço.	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro; Corredor ou escada interna à unidade; Corredor de uso comum (prédios); Escadaria de uso comum (prédios); Garagens/estacionamentos	Não exigido	≥ 30	≥ 45

* Valores mínimos obrigatórios, conforme método de avaliação 13.2.2.
 NOTA: Para os edifícios multipiso, admitem-se para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência).
 NOTA 2: Os critérios desta Tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.
 NOTA 3: Deve-se verificar e atender as condições mínimas exigidas pela legislação local.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15.575-1 (2013c, p. 53)

Como método de avaliação para a iluminação natural, devem ser realizadas simulações para o plano horizontal nos períodos da manhã (9h. 30min.) e da tarde (15h. 30min.), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro e sua avaliação deve ser realizada com emprego do algoritmo apresentado na ABNT NBR 15.215-3, atendendo as condições da Tabela 5 (ABNT NBR 15.575-1, 2013c).

Tabela 5 - Condições de avaliação de níveis de iluminância através da NBR 15.215-3 de acordo com a NBR 15.575-1

1	Considerar a latitude e a longitude do local da obra, supor dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50 %);
2	Supor desativada a iluminação artificial, sem a presença de obstruções opacas (janelas e cortinas abertas, portas internas abertas, sem roupas estendidas nos varais, etc);
3	Simulações para o centro dos ambientes, na altura de 0,75m acima do nível do piso;
4	Simulações nos pontos centrais de corredores internos ou externos à unidade, a 0,75m do nível do piso;
5	Para escadarias, simulações nos pontos centrais dos patamares e a meia-largura do degrau central de cada lance, a 0,75m acima do nível do piso;
6	Para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por casas ou sobrados, considerar todas as orientações típicas das diferentes unidades;
7	Para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por edifícios multipiso considerar, além das orientações típicas, os diferentes pavimentos e as diferentes posições dos apartamentos nos andares;
8	Em qualquer circunstância, considerar os eventuais sombreamentos resultantes de edificações vizinhas, taludes, muros e outros possíveis anteparos, desde que se conheçam o local e as condições de implantação da obra.

Fonte: adaptado de ABNT NBR15575-1 (2013c, p. 24)

Ao contar unicamente com iluminação natural, o Fator de Luz Diurna (FLD), já visto na ABNT NBR15215-3 (2005 c), nas diferentes dependências das construções habitacionais, deve atender ao mínimo (M^*) disposto na Tabela 6, para as medições in loco, a mesma tabela também apresenta o FLD para os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S) (ABNT NBR 15.575-1, 2013c).

Tabela 6 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação

Dependência	FLD (%) para os níveis de desempenho		
	M^*	I	S
Sala de estar; Dormitório; Copa / cozinha; Área de serviço.	$\geq 0,50\%$	$\geq 0,65\%$	$\geq 0,75\%$
Banheiro; Corredor ou escada interna à unidade; Corredor de uso comum (prédios); Escadaria de uso comum (prédios); Garagens/estacionamentos	Não exigido	$\geq 0,25\%$	$\geq 0,35\%$

* Valores mínimos obrigatórios, conforme 13.2.2.

NOTA 1: Para os edifícios multipiso, admitem-se para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência).

NOTA 2: Os critérios desta Tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15.575-1 (2013c, p. 54)

Na avaliação do FLD, a ABNT NBR 15.575-1 (2013c, p. 25) destaca a “realização de medições no plano horizontal, com o emprego de luxímetro portátil, erro máximo $\pm 5\%$ do valor medido, no período compreendido entre 9h e 15h”, com base nas condições da Tabela 7.

Tabela 7 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação

1	Medições em dias com cobertura de nuvens maior que 50%, sem ocorrência de precipitações;
2	Medições realizadas com a iluminação artificial desativada, sem a presença de obstruções opacas (janelas e cortinas abertas, portas internas abertas, sem roupas estendidas nos varais, etc);
3	Medições no centro dos ambientes, a 0,75m acima do nível do piso;
4	Medições nos pontos centrais de corredores internos ou externos à unidade;
5	Para escadarias, medições nos pontos centrais dos patamares e a meia-largura do degrau central de cada lance;
6	Para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por casas ou sobrados, considerar todas as orientações típicas das diferentes unidades;
7	Para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por edifícios multipiso considerar, além das orientações típicas, os diferentes pavimentos e as diferentes posições dos apartamentos nos andares;
8	Na ocasião das medições não pode haver incidência de luz solar direta sobre os luxímetros, em nenhuma circunstância; O Fator de Luz Diurna - FLD é dado pela relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra, de acordo com a seguinte equação:
9	$FLD = 100\% \times \frac{E_i}{E_e}$ <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Onde :</p> <p>E_i é iluminância no interior da dependência</p> <p>E_e é iluminância externa à sombra.</p> </div> </div>

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-1 (2013c, p. 54)

A Tabela 7 destaca os condicionantes para a obtenção do fator de luz diurna, já visto anteriormente, para os diferentes ambientes de habitação, que é resultante da razão entre a iluminância no interior da dependência e iluminância do ambiente externo à sombra, multiplicado por 100%.

3.5.3 NBR ISO/CIE 8995-1

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013 a, p. 01) é de grande importância aos projetistas, pois “especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho”, e

vem a suprir parte da ABNT NBR 5413, que, segundo Kawasaki (2014, p. 04), “encontrava-se desatualizada em relação às práticas recomendadas internacionalmente”, abordando apenas os níveis de iluminância.

3.5.4 Extinta NBR 5413

Embora extinta após a criação da NBR ISO/CIE 8995-1 e NBR 15.575-1, é importante destacar os níveis gerais de iluminâncias estipulados por esta norma para ambientes residenciais como sala de estar, cozinha, dormitório e banheiro, sendo os valores de 100 lux, 150 lux e 200 lux, os quais eram bastante elevados em relação aos da NBR 15.575-1. Das três iluminâncias, considera-se o valor do meio, devendo este ser utilizado em todos os casos. O valor mais baixo, das três iluminâncias, pode ser usado quando: a) refletâncias ou contrastes são relativamente altos; b) a velocidade e/ou precisão não são importantes; c) a tarefa é executada ocasionalmente. Já o valor mais alto, das três iluminâncias, deve ser utilizado quando: a) a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos; b) erros são de difícil correção; c) o trabalho visual é crítico; d) alta produtividade ou precisão são de grande importância; e) a capacidade visual do observador está abaixo da média (ABNT NBR 5413, 1991).

3.5.5 Recomendações internacionais

Assim como no Brasil, internacionalmente há dificuldade para se estabelecer um critério para os níveis mínimos de iluminâncias em ambientes residenciais, de acordo com Sousa (2014, p. 29) “verifica-se também a ausência de critérios para determinar sob qual situação espacial o nível mínimo de iluminância deve ser obedecido, ou seja, em que percentual da área do ambiente o nível mínimo de iluminância deverá ser mantido”.

Nos Estados Unidos, a IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) apresentou em 2012 o IES LM-83-12, documento que aprova o método de *Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*, onde recomenda-se como métrica preferencial para a análise da autonomia de luz do dia usando-se uma iluminância análise mínima de 300 lux em superfícies horizontais para avaliar a porcentagem de horas diurnas do ano que cada ponto de análise

dentro de uma determinada área de análise atende ou excede este valor de iluminância de luz do dia sozinho. Estas condições são baseadas em ano meteorológico típico, com um período de tempo de análise que se estende das 8h às 6h do relógio local (10 horas por dia), que será referida como a análise do período. SDA 300⁵⁰ é então classificado como o percentual de análise de pontos em toda a área de análise que atendem o valor de 300 lux durante, pelo menos, 50% do período de análise.

3.6 RTQ-R

O acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada precisa ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior. O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) considera que a soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente, caso contrário, o nível máximo de etiquetagem é C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração (BRASIL, 2010b). É importante destacar que 12,5% da área útil do ambiente é um valor inferior ao exigido pelo código de obras e edificações do município de Santa Maria, que estabelece um mínimo de 16,66% ou 1/6 da área do piso (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA, 2009). O RTQ-R apresenta uma tabela de desconto das esquadrias que pode ser utilizada para a determinação da área de abertura para iluminação natural, como a Tabela 8 (BRASIL, 2010b).

Tabela 8 - Tabela de Desconto das Esquadrias do protótipo de Casa Popular Eficiente estipulada pelo RTQ-R

Tipo de Janela	Ilustração	% de abertura para iluminação natural
De correr (ou deslizante) 2 folhas		80
Maxim-ar (abertura 90°)		90

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010b, Anexo II).

Analisadas as áreas de aberturas, o RTQ-R expõe dois métodos de avaliação para a iluminação natural, o método prescritivo e o método de simulação.

O método prescritivo considera a profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais e a refletância do teto dos ambientes. A maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço ou lavanderia (50% mais 1) com iluminação natural lateral deve ter a sua profundidade máxima calculada pela Equação abaixo. Existindo aberturas em paredes diferentes em um mesmo ambiente, é considerada a menor profundidade (BRASIL, 2010b).

$$P \leq 2,4 \cdot h_a \quad (2)$$

Onde:

P é a profundidade do ambiente, em metros;

h_a é a distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, em metros, excluindo caixilhos.

Quanto à refletância do teto, cada ambiente de permanência prolongada, cozinha e área de serviço ou lavanderia deve ter refletância do teto acima de 60% (BRASIL, 2010b).

O método de simulação deve ser realizado em um programa de simulação dinâmica para iluminação natural, utilizando um arquivo climático. Para a simulação de cada ambiente, deve ser feita uma malha na altura do plano de trabalho, com no mínimo 25 pontos de avaliação, e deve ser modelado o entorno do ambiente simulado. Na maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço ou lavanderia (50% mais 1) sem proteção solar, deve-se comprovar a obtenção de 60 lux de iluminância em 70% do ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano. Na maioria dos ambientes de permanência prolongada (50% mais 1) com proteção solar deve-se comprovar a obtenção de 60 lux de iluminância em 50% do ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano (BRASIL, 2010b).

3.7 Simulações Computacionais Dinâmicas para Iluminação Natural

Atualmente as maioria das métricas para iluminação natural não levam em conta os aspectos temporais e espaciais de luz do dia, nem o conforto dos ocupantes ou intervenções (MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009), exemplificando-se pelo fator de luz diurna (FLD), que não avalia o comportamento da luz natural ao longo do tempo, mas em um dia e horário específico. De acordo com Moraes e Pereira (2014, p. 3) “as técnicas de avaliação padrão, como a abordagem do FLD, são cada vez mais reconhecidas como não adequadas à sua finalidade e precisam de modernização”. Deste modo, as simulações dinâmicas vêm sendo estudadas pela comunidade acadêmica como forma mais adequada de avaliar a iluminação natural.

As medidas dos parâmetros dinâmicos são unidades baseadas no clima, ou seja, indicadores anuais de iluminância interior em função da luz do dia que é gerada a partir de um arquivo climático (REINHART, C. F.; WIENOLD, 2011).

Sendo os níveis de iluminação natural dinâmicos, o desempenho da luz do dia deve ser considerado ao longo do tempo e não simplesmente através de um fator de luz diurna. Um desempenho anual da iluminação natural integra variações de um ano completo, que é altamente dependente das condições climáticas locais, especialmente a luz fornecida a partir da luz solar direta contra o céu e as nuvens (IESNA, 2012).

O *plugin*, ou módulo de extensão, *Diva for Rhino* (sigla para *Design Iterate Validate Adapt*, ou, Projetar Iterar Validar Adaptar), inicialmente desenvolvido na Universidade de Harvard e hoje gerenciado pela Solemma, permite aos usuários realizarem uma série de avaliações de desempenho ambiental dos edifícios individuais e paisagens urbanas, incluindo simulações dinâmicas de iluminação natural baseadas em arquivos climáticos (DIVA, 2016).

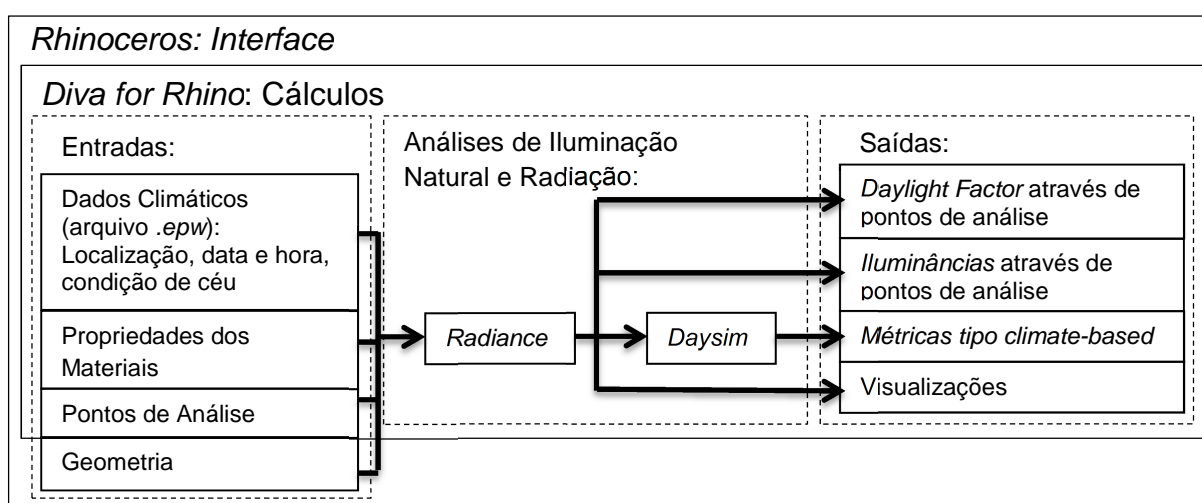
Weiss et. al. (2015), através de simulações com *Diva for Rhino*, avaliou um ambiente controlado (câmara climática), projetado sobre uma plataforma giratória, testou o efeito de diferentes orientações de fachada envidraçada quanto ao seu comportamento nas variáveis relacionadas à disponibilidade de acesso solar (autonomia de iluminação, valores de iluminância, ofuscamento) para diferentes orientações e épocas do ano, cujos resultados obtidos com *Diva* serviram como pré-requisito para avaliações experimentais *in loco*.

De acordo com Jaramillo (2014, p. 35), “para fazer simulações dinâmicas é necessário definir dois aspectos: época do ano para análise e a escala de valores para determinar os níveis de iluminação natural que interesse”. Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), realizaram um estudo onde recomendam identificar os momentos de maior ocupação das pessoas e exigência visual, quando se busca a época do ano. Quanto ao aspecto da escala de valores, existem duas unidades métricas que podem ser adotadas, a iluminância útil de iluminação natural (*Useful Daylight Illuminances* - UDI) e a Autonomia de Iluminação Natural (*Daylight Autonomy* - DA).

Uma vez realizadas as simulações com *Diva*, são representados os níveis de iluminação natural por períodos de tempo, que podem ser visualizados em cores falsas, de acordo com o tipo de avaliação (JARAMILLO, 2014). O *plugin* permite avaliações do desempenho ambiental da edificação, incluindo mapas de irradiação e iluminação natural, baseado nas simulações climáticas anuais (JAKUBIEC; REINHART, 2011b).

A Figura 10 apresenta os processos aplicados em uma simulação dinâmica de iluminação natural com *Diva*.

Figura 10 Entradas e saídas de dados com o *plugin Diva for Rhino*.



Fonte: Adaptado de Weiss et. al. (2015, p. 4)

Pode-se observar que para que ocorram as simulações é necessário criar a geometria dos ambientes que serão analisados, configurando-se as faces de

geometria ativas voltadas para o ambiente de análise, definindo e configurando cada tipo de material de acordo com as suas propriedades, em seguida insere-se os dados, como a definição e aplicação de um arquivo climático em formato *epw*, o qual, contém a localização, data, hora e condição de céu que serão analisadas. Por fim, entram os pontos de análise, que funcionarão como sensores.

Configurados e aplicados os dados de entrada, parte-se para o procedimento de simulação através de *Radiance*, onde o *plugin Diva* identifica as superfícies que os raios luminosos podem interagir, e calcula a partir do ponto de análise, simulando um fotômetro virtual, em relação a fonte luminosa (JACOBS, 2012).

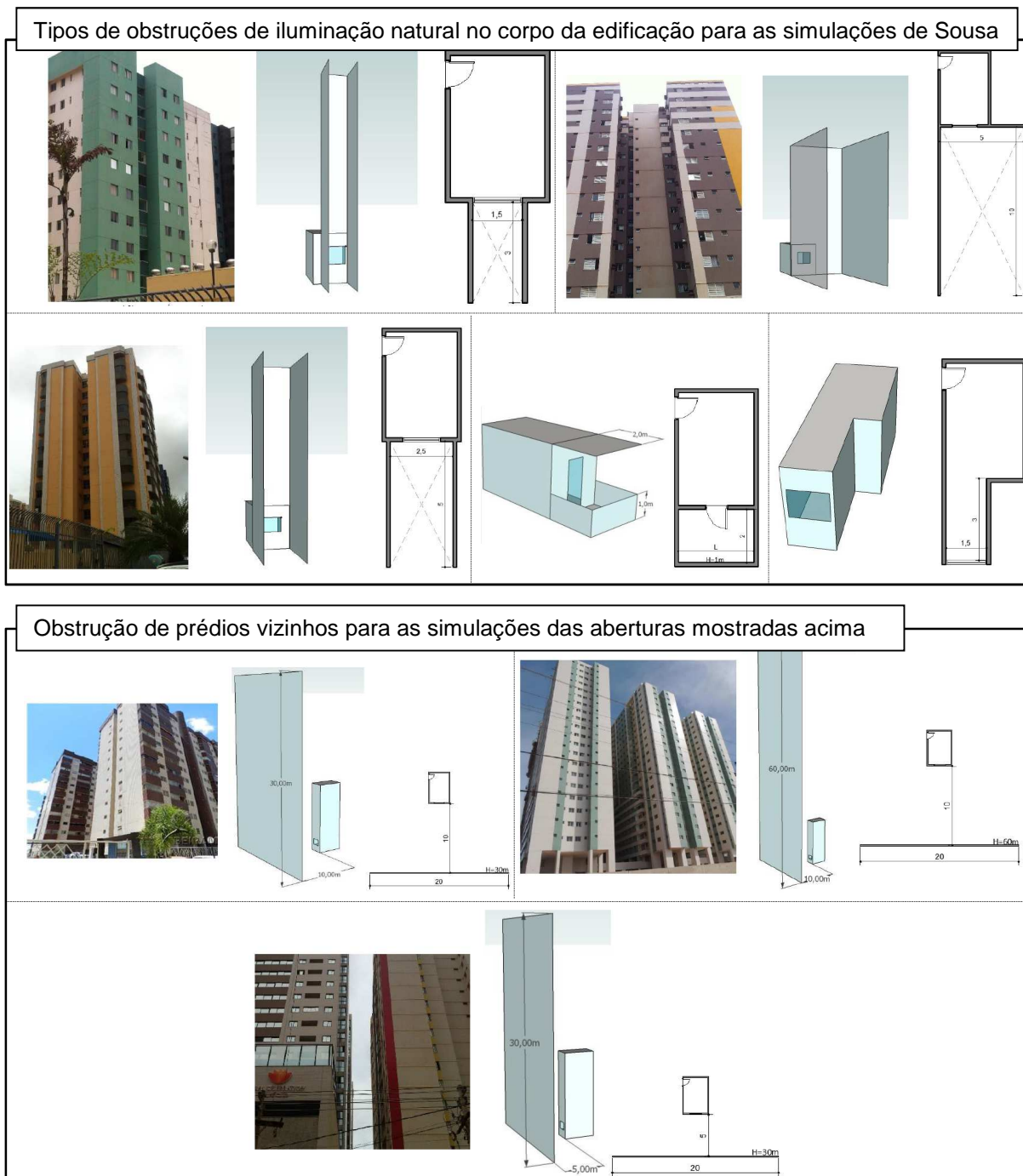
Já o *Daysim*, utiliza-se de *Radiance* para calcular as iluminâncias com base nos dados climáticos (REINHARDT; WIENOLD, 2011). Nesta sequência são geradas as simulações dinâmicas por base climática (*climate-based*), também podem ser geradas visualizações tridimensionais, simulações de iluminâncias ou do fator de luz diurna (*Daylight Factor*).

3.8 Outros estudos com simulações computacionais de iluminação natural

Em sua dissertação de mestrado, Sousa (2014) investigou a influência do dimensionamento de aberturas laterais (janelas) no desempenho da luz natural em ambientes residenciais no Distrito Federal. O método incluiu simulação computacional baseada na Modelagem da Luz Natural Baseada no Clima, através da utilização do *software Daysim*, considerando as exigências do Código de Obras e Edificações do Distrito Federal e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R).

Sousa (2014) avaliou ambientes internos de edificações residenciais nas diferentes orientações solares e situações de obstrução da iluminação natural, e relacionou com a obstrução de três tipos de prédios vizinhos, apresentadas na Figura 11.

Figura 11 Elementos arquitetônicos de obstrução da iluminação natural em edificações residenciais avaliados por Sousa.

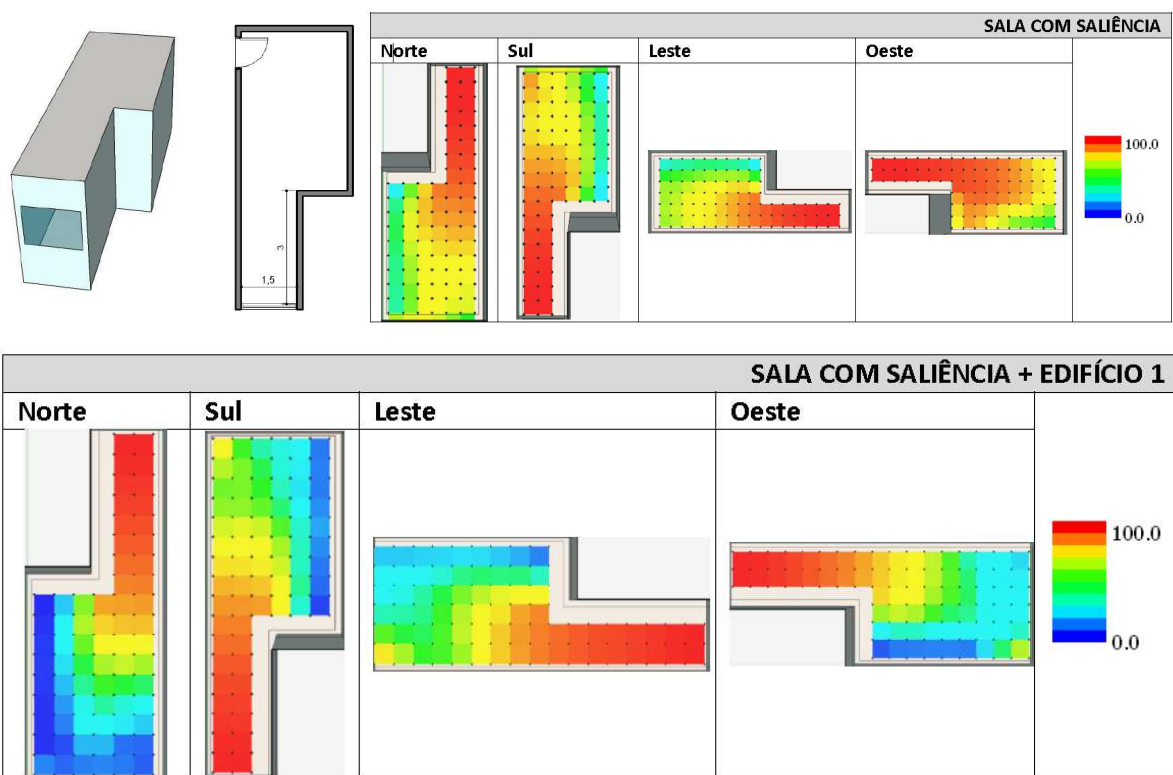


Fonte: Adaptado de Sousa (2014, p. 58, 59, 60, 61, 62 e 63).

No estudo de Sousa (2014), foram analisadas as tipologias da Figura 11, considerando-se sala, quarto, cozinha e área de serviço, onde o mínimo de iluminância para todos os ambientes analisados foi considerado conforme indicações de Reinhart

(2005) com mínimo de 100 lux de iluminâncias de iluminação natural (SOUSA, 2014). Valor ao qual já foi visto anteriormente que é o mínimo para simulações de iluminância útil de iluminação natural (UDI) (MARDALJEVIC, 2011). Sendo assim, a Figura 12 mostra um exemplo das simulações realizadas por Sousa (2014), considerando-se autonomia anual de iluminação natural, em uma sala com saliência sem obstrução externa e em seguida com a obstrução de um edifício vizinho.

Figura 12 Exemplo de Simulações de Autonomia de Iluminação Natural em 100 lux



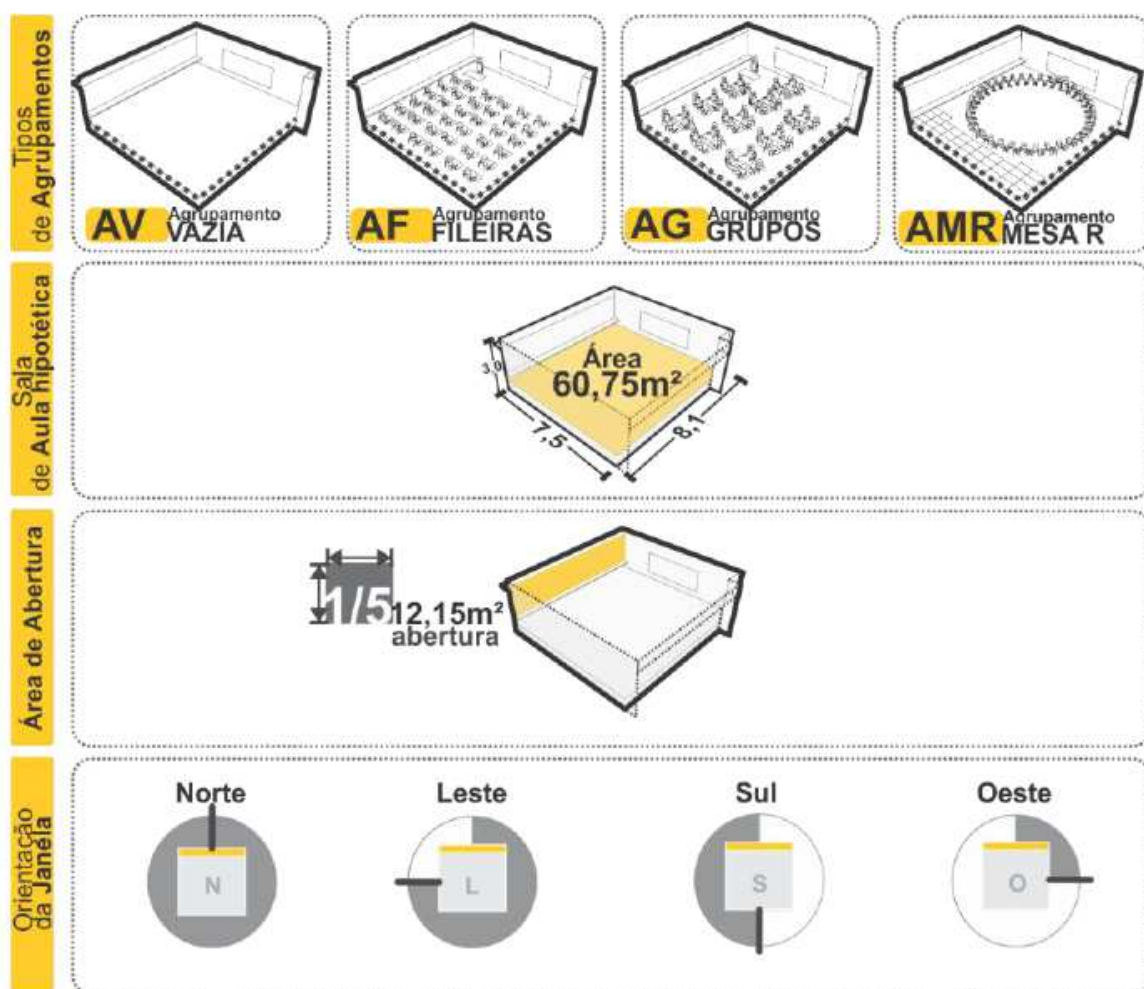
Fonte: Sousa (2014, p. 129).

Pode-se perceber na Figura 12, que o tom vermelho representa as áreas de maior autonomia de luz natural de cada ambiente de acordo com o nível mínimo de iluminância estabelecido, neste caso 100 lux. Da mesma forma, quanto mais próximo ao azul, menos está se atendendo ao nível mínimo de iluminância estabelecido. Estes gráficos auxiliam bastante na análise dos resultados, visto que através das cores é possível identificar rapidamente os intervalos de autonomia de luz natural durante as horas diurnas (das 8h às 18h) do ano no espaço do ambiente,

como se pôde perceber neste comparativo entre a sala com saliência sem obstrução e a mesma com obstrução de um edifício vizinho (SOUSA, 2014).

Jaramillo (2014) realizou um estudo para avaliar a influência de diferentes tipos de agrupamentos de estudantes em salas de aula iluminadas naturalmente, e comparar com uma sala de aula vazia, a Figura 13 apresenta o modelo proposto, onde foram realizadas simulações computacionais estáticas e dinâmicas de uma sala de aula hipotética para avaliar a distribuição da luz no dia.

Figura 13 Modelo de ambiente proposto para simulações por Jaramillo

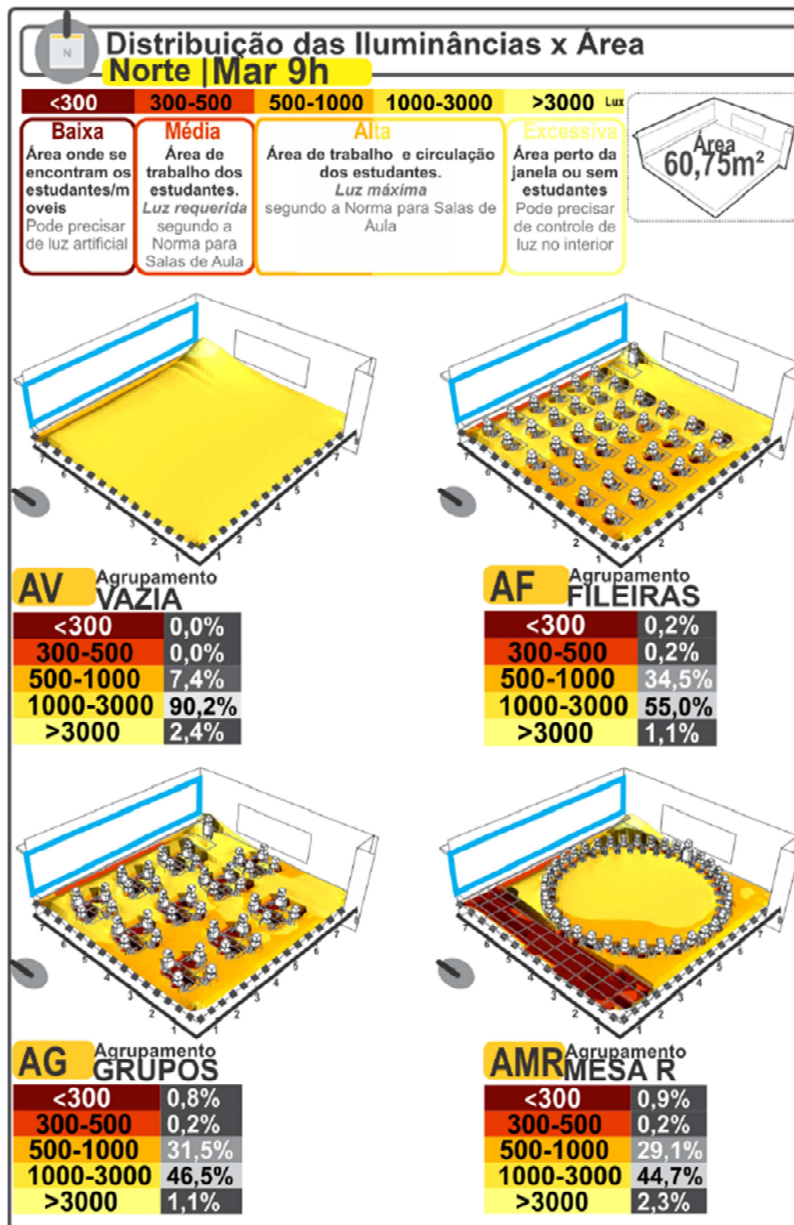


Fonte: Jaramillo (2014, p. 45).

Dentre as simulações realizadas, Jaramillo (2014) avaliou as faixas de iluminâncias atingidas no ambiente sala de aula, relacionando-as com as áreas de ocupação do ambiente em diferentes épocas do ano, na Figura 14, é apresentado

um exemplo das simulações, onde são analisadas as porcentagem de áreas ocupadas por iluminação natural, separando-se por faixas de iluminâncias, para uma orientação solar da janela para norte, no mês de Março, as 9h.

Figura 14 Distribuição de iluminâncias por área em salas de aula



Fonte: Jaramillo (2014, p. 110).

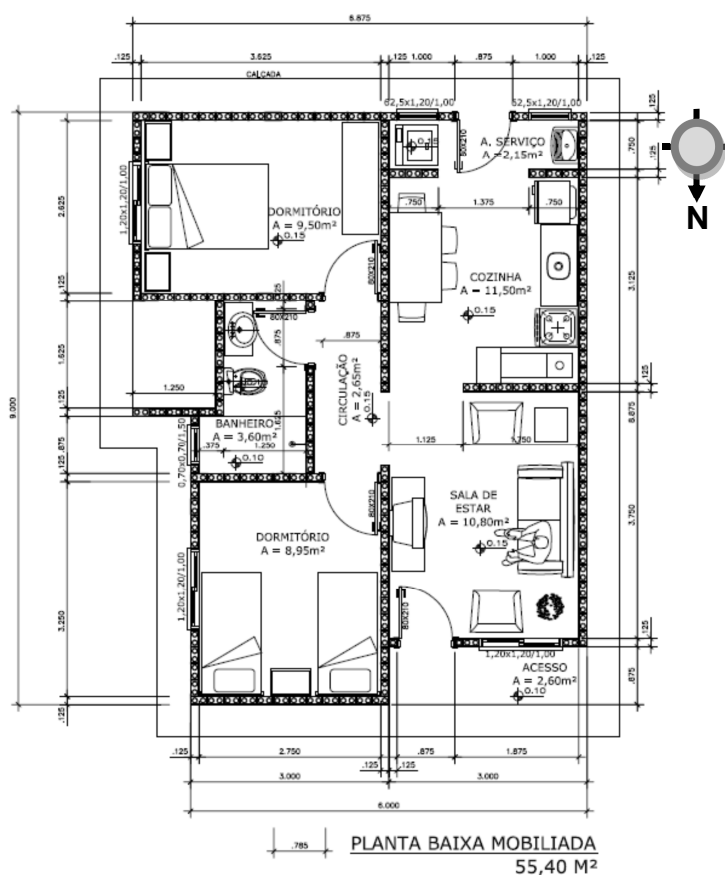
Após várias análises e simulações, Jaramillo (2014, p.116) verificou que “os agrupamentos com estudantes alteram a distribuição das iluminâncias, quando

comparada com uma sala vazia”. Observou-se também, que a curva das iluminâncias da sala vazia não é inferior a 1500lux, na maioria das salas. Destacando que nos locais onde não há a presença dos estudantes, as iluminâncias aumentam, mas não atingem o valor máximo encontrado na sala vazia.

3.9 Projeto Casa Popular Eficiente

O foco do Projeto Casa Popular Eficiente da UFSM é estudar os danos ao meio ambiente, a partir de materiais alternativos na construção, sem que se perca a qualidade de vida dos moradores (GEPETECS, 2014). A Figura 15 apresenta a planta baixa do protótipo, que consiste em uma habitação popular, de 55,40m², distribuída em dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e um banheiro.

Figura 15 - Planta Baixa do Protótipo de Casa Popular da UFSM



Pode-se observar na Figura 15, que trata-se de uma residência unifamiliar. Tendo em vista, que são ambientes com áreas bastante compactas, o grupo de pesquisa GEPETECS estipulou uma especificação de mobiliário para ocupação de quatro pessoas, sendo um dormitório de casal e o outro com duas camas de solteiro. A sala de estar possui espaço físico para um aparelho de televisão, com um estofado de dois lugares, e ainda duas poltronas auxiliares. A cozinha concentra todos os equipamentos de funcionamento (fogão, pia e geladeira) de um lado do ambiente e do outro lado é posicionada a mesa, ainda no mesmo ambiente está a área de serviço, com espaço para um tanque e uma máquina de lavar roupas, ambos separados da cozinha por uma mureta de alvenaria. A edificação conta com um banheiro. A Figura 16 apresenta um desenho esquemático da área externa do protótipo, com suas propostas de materiais e soluções sustentáveis descritas na Tabela 9.

Figura 16 - Ilustração da área externa do Protótipo de Casa Popular da UFSM e suas propostas de materiais e soluções sustentáveis

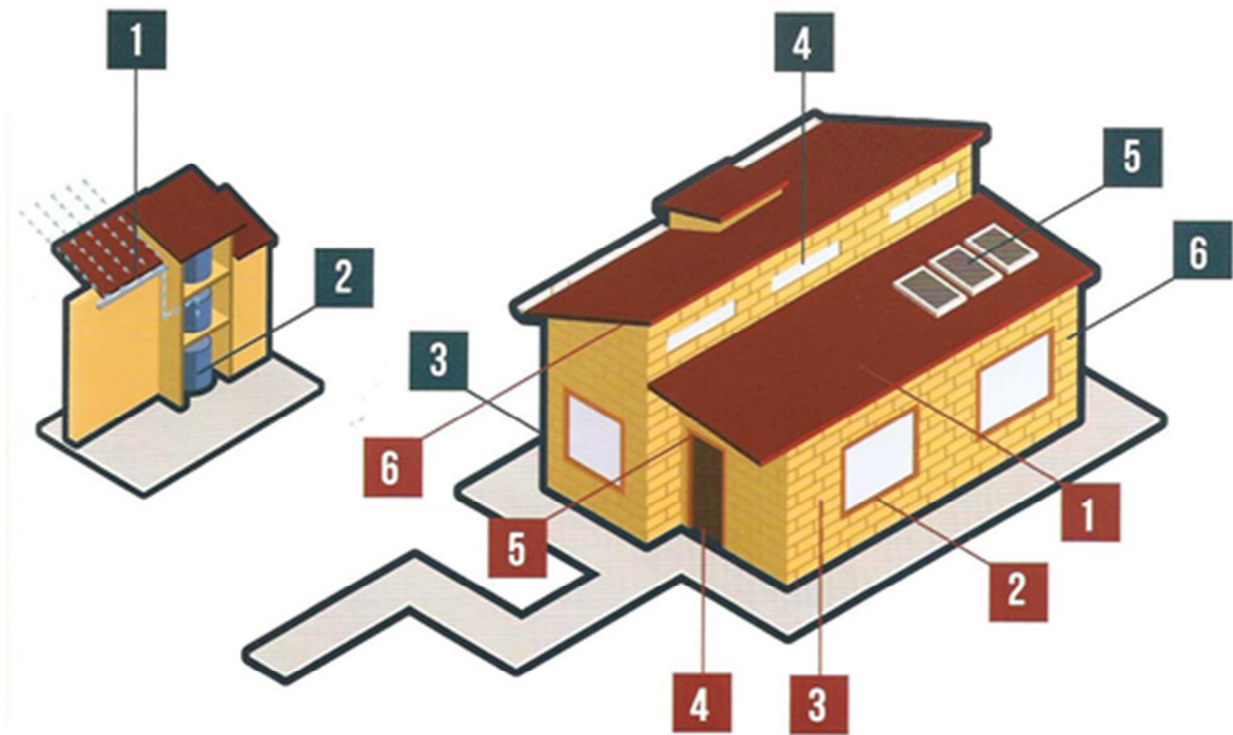


Tabela 9 - Descrição dos itens destacados na Figura 16

Soluções Sustentáveis		
	Itens de Figura 16	Descrição
1	Sistema de captação de águas pluviais	A água da chuva é recolhida através das calhas da casa e reutilizada para abastecer o vaso sanitário, lavar calçadas e regar plantas.
2	Tratamento de águas cinzas	Consiste em tratar as águas vindas do chuveiro, pia do banheiro e máquina de lavar roupas e reconduzi-las a um reservatório
3	Calefação natural	Utiliza o calor do sol nos dias de inverno para o aquecimento do ambiente
4	Ventilação cruzada	Promove o aumento do fluxo de ventilação que circula pela casa produzindo tanto a ventilação de conforto quanto a ventilação higiênica, necessária para renovar o ar do ambiente
5	Aproveitamento da energia solar	São dois sistemas, um composto por placas e acumulador para aquecer a água do chuveiro, e outro para produção de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos, responsáveis por uma energia limpa e gratuita.
6	Alvenaria estrutural de tijolos de solo cimento	Os tijolos possuem saliências que permitem o encaixe entre as peças, facilitando a construção de uma parede nivelada com maior rapidez e menos mão de obra. Os furos dos blocos são utilizados como dutos para a passagem da rede elétrica e hidráulica.

Materiais Utilizados

	Itens de Figura 16	Descrição
1	Telhas <i>Tetra Pak</i>	Feitas a partir de caixas de leite longa vida.
2	Esquadrias em madeira	Feitas com uma espécie de eucalipto que cresce em 15 anos, em substituição à espécies comuns, que levam de 50 a 70 anos para atingir a idade adulta.
3	Tijolos em solo cimento	Produzidos por prensagem, dispensam a etapa de queima do material. São tijolos que produzem menos poluição que os convencionais já na sua fabricação.
4	Piso de PVC reciclado	Produzido a partir de PVC 70% reciclado, ainda é um material fácil de ser limpo
5	Tinta de Terra crua	Resultado da mistura de terras, elas não apresentam em sua composição compostos prejudiciais à saúde.
6	Painéis OSB	Utilizados para o forro da residência, são produzidos a partir de madeira reciclada

Fonte: Adaptado de Arco (2014, p. 29)

Na Figura 17, podem ser vistas as fachadas do Protótipo de Casa Popular da UFSM, a primeira imagem é da fachada principal que está exposta a orientação solar norte.

Figura 17 - Fachadas do Protótipo de Casa Popular da UFSM



Fonte: Fotografias registradas pelo Autor (2014)

A tipologia das esquadrias é bastante usual na região, todas em madeira, nos dormitórios e na sala são janelas com um tamanho padrão de venda comercial (1,40x1,20m) com vidro, de correr protegidas por venezianas. No banheiro e cozinha / área de serviço as janelas não possuem proteção solar e são do tipo maxim-ar. Quanto à iluminação artificial no interior do PCPE da UFSM, não há projeto específico, visto que trata-se de uma habitação popular, cada ambiente possui um ponto de luz central.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa está estruturada por um método de simulação computacional, de cunho quantitativo e sua metodologia será apresentada neste capítulo nos seguintes tópicos gerais: Objeto de estudo e Procedimentos.

4.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo desta dissertação é o Protótipo de Casa Popular Eficiente, já construído, no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria, Figura 18.

Figura 18 - Localização do protótipo de casa popular eficiente da UFSM, no Centro de Eventos da UFSM.



Fonte: Organizado pelo autor, com base em Google Maps (2014).

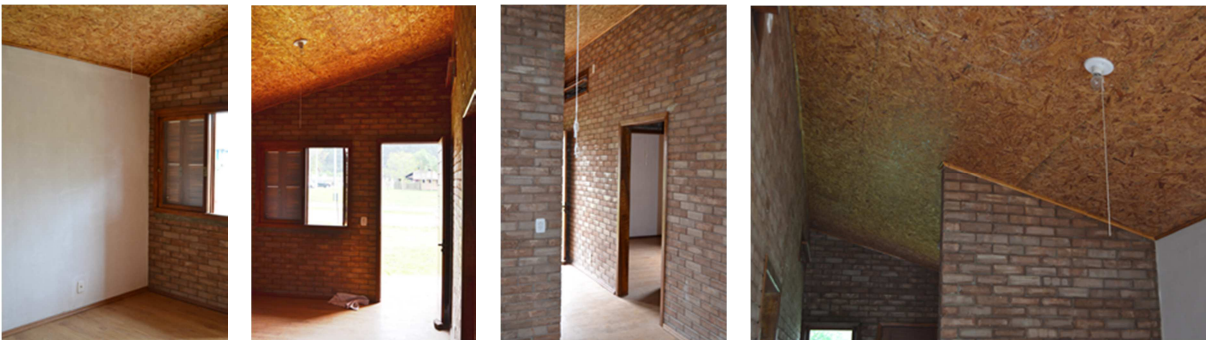
Inicialmente foi realizado o levantamento físico da edificação avaliada, embora exista o projeto do protótipo, foi necessária a conferência das dimensões reais no local.

4.1.1 Ambientes internos do Protótipo

Com 55,40m², o protótipo de casa popular da UFSM, distribui-se em seis ambientes, a seguir apresentados.

- Sala de Estar: 10,80 m², orientação solar norte.

Figura 19 - Sala de Estar



Fonte: Autor (2014)

- Cozinha e Área de Serviço: 11,50 m², orientação solar sul.

Figura 20 - Cozinha/Área de Serviço



Fonte: Autor (2014)

- Circulação: 2,63 m²

Figura 21 - Circulação



Fonte: Autor (2014)

- Banheiro: 3,61 m², orientação solar leste.

Figura 22 - Banheiro



Fonte: Autor (2014)

- Dormitório 01: 8,94 m², orientação solar leste.

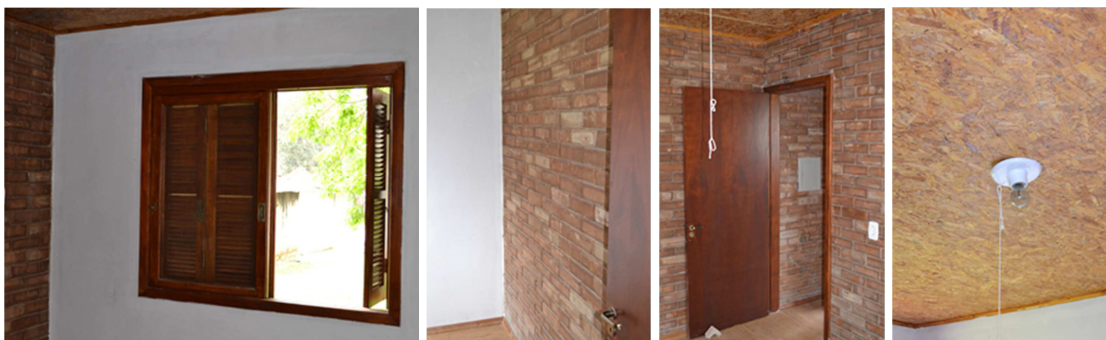
Figura 23 - Dormitório 01



Fonte: Autor (2014)

- Dormitório 02: 9,52 m², orientação solar leste.

Figura 24 - Dormitório 02



Fonte: Autor (2014)

4.2 Procedimentos

4.2.1 Método do Papel Branco

A realização de simulações computacionais para análise de iluminação requer inicialmente os valores de refletâncias das superfícies internas da edificação em análise, para tanto, adotou-se o método do papel branco para a obtenção dos dados no interior do PCPE.

Para medir as refletâncias das superfícies, utilizou-se um luxímetro digital portátil, modelo LD 210, da marca Instrutherm, apresentado na Figura 25, que registra os níveis de iluminância, em lux, com certificação de calibração da empresa fornecedora dos aparelhos. Para as medições, também foram utilizadas folhas de papel branco tamanho A4, com 75g/m².

Figura 25 - Luxímetro portátil INSTRUTHERM-LD210.



Fonte: Autor (2015).

De acordo com Ghisi e Lamberts (1998), para a execução do método do papel branco, é necessário um luxímetro portátil e uma folha de papel branco, onde são feitas duas medições de iluminância refletida em um mesmo ponto, uma com o papel branco e outra da superfície desejada, ambas com a fotocélula do luxímetro voltada para a superfície que se deseja saber a refletância e afastada aproximadamente 10 cm da mesma, como mostra a Figura 26.

Figura 26 - Medições de iluminância refletida pelo método do papel branco; medições de iluminância refletida pela parede de tijolo a vista e pelo piso laminado de PVC reciclado.



Fonte: Autor.

A partir disso, obtém-se a iluminância refletida pelo papel branco e em seguida a iluminância refletida pela superfície que se deseja descobrir a refletância. Ainda segundo Ghisi e Lamberts (1998, p. 3), “admitindo-se a refletância do papel branco como sendo 90%, a refletância da superfície é determinada através de uma proporção como mostra a equação” abaixo.

$$\rho_{sup} = \frac{90 \cdot E_{sup}}{E_{pb}} \quad (3)$$

Onde:

ρ_{sup} = Refletância da superfície (%);

E_{sup} = Iluminância refletida pela superfície (lux);

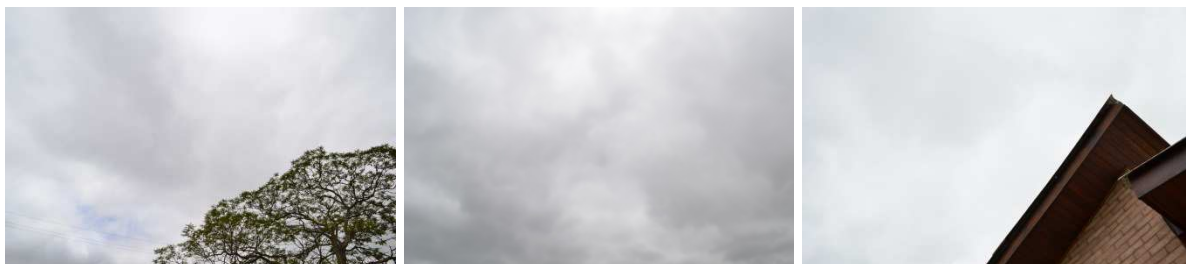
E_{pb} = Iluminância refletida pela superfície com papel branco (lux);

90 = Refletância do papel branco (%).

Conforme Pereira (2009, p. 15), “os dias com céu encoberto são caracterizados pela ausência de luz solar diretamente do Sol. A luz do céu é tão uniformemente difundida, que o padrão de luminância do céu é visualmente simétrico em relação ao zênite”. Realizaram-se as medições de iluminância refletida no dia 8 de janeiro de 2016, entre as 9h e as 19h, por ser um dia com predominância

de céu encoberto, Figura 27, que favorece a uniformidade das iluminâncias e consequentemente reduz a possibilidade de variação dos resultados.

Figura 27 - Condição do céu encoberto no dia 08/01/2016.



Fonte: Autor.

Antes de iniciar os procedimentos de medições das iluminâncias refletidas, todas as superfícies foram devidamente limpas, como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Limpeza das superfícies de medições de iluminância refletida.



Fonte: Autor (2016)

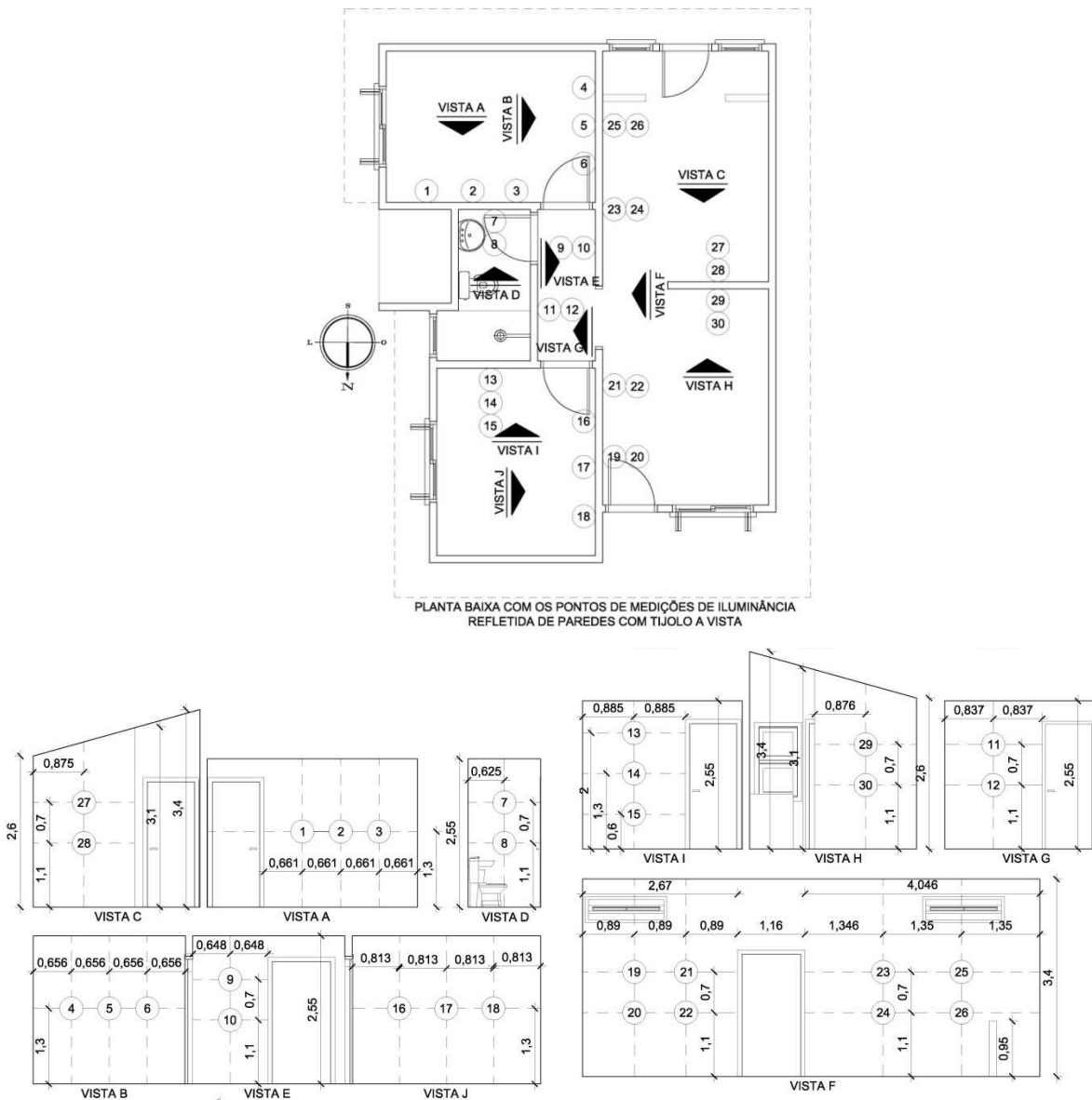
Para a execução do método exposto, são realizados 30 conjuntos de medições para cada tipo de superfície, no caso de superfícies com refletâncias uniformes este número cai para 10 conjuntos (GHISI, 1997, p.97).

Foram realizados 130 conjuntos de medições de iluminância refletida, totalizando 260 medições, sendo 30 conjuntos em cada uma das superfícies

seguintes, paredes de tijolo a vista, forro de painéis OSB e piso laminado de PVC reciclado, e 10 conjuntos em cada uma das superfícies uniformes ou com pequenas áreas de abrangência, sendo as paredes pintadas de branco com tinta de terra crua, a madeira das esquadrias, o revestimento e o piso cerâmico do banheiro.

As paredes de tijolo a vista tiveram os seus 30 pontos distribuídos para as medições de acordo com a Figura 29, com cotas em metros.

Figura 29 - Localização dos pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes de tijolos a vista, em planta baixa e vistas.



Na Figura 30 são expostas as imagens dos 30 pontos de medições das paredes de tijolo a vista, marcados com as devidas folhas de papel branco.

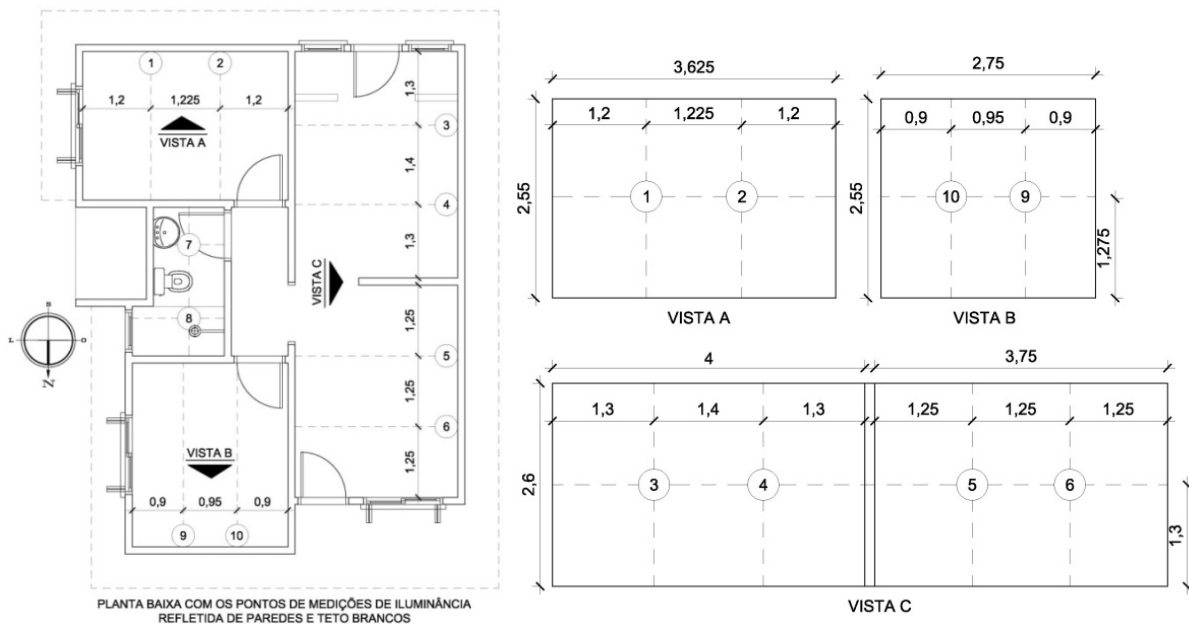
Figura 30 - Pontos de medições de iluminância refletida nos tijolos a vista.



Fonte: Autor (2016)

As paredes e teto pintados de branco, com tinta de terra crua, tiveram os seus 10 pontos distribuídos para as medições de acordo com a Figura 31, com cotas em metros.

Figura 31 - Locação dos pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes e teto pintados de branco, em planta baixa e vistas.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 32 são expostas as imagens dos 10 pontos de medições das paredes e teto brancos, marcados com as devidas folhas de papel branco.

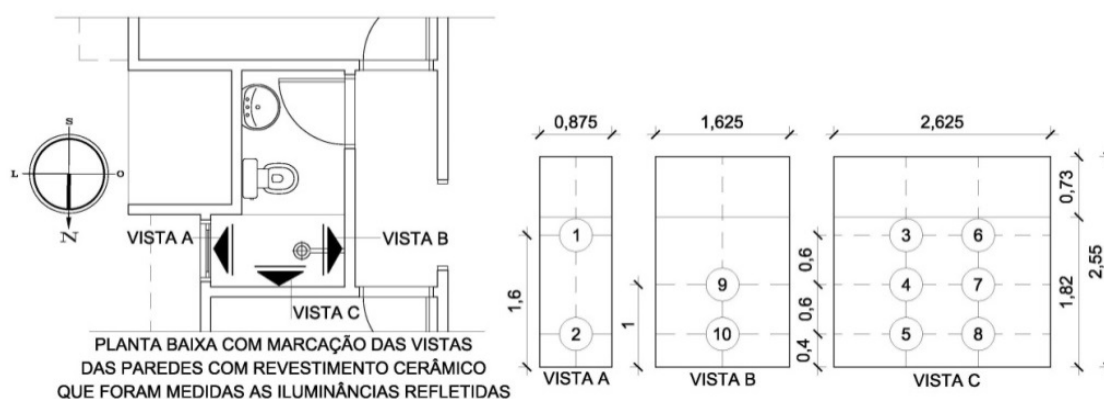
Figura 32 - Pontos de medições de iluminância refletida nas paredes e teto brancos.



Fonte: Autor (2016)

As paredes com revestimento cerâmico claro tiveram os seus 10 pontos distribuídos para as medições, de acordo com a Figura 33, com cotas em metros.

Figura 33 - Localização dos pontos de medições de iluminância refletida nas paredes com revestimento cerâmico claro.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 34 são expostas as imagens dos 10 pontos de medições das paredes com revestimento cerâmico claro, marcados com as devidas folhas de papel branco.

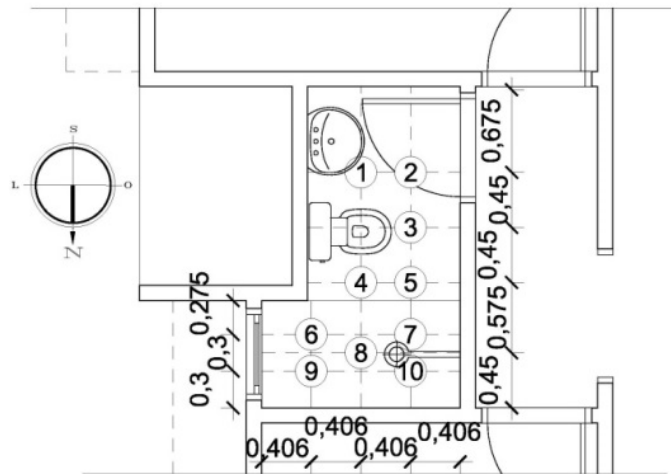
Figura 34 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas nas paredes com revestimento cerâmico claro.



Fonte: Autor (2016)

O piso cerâmico claro teve os seus 10 pontos distribuídos para as medições, de acordo com a Figura 35, com cotas em metros.

Figura 35 - Localização dos pontos de medições de iluminâncias refletidas no piso cerâmico claro.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 36 são expostas as imagens dos 10 pontos de medições do piso cerâmico claro, marcados com as devidas folhas de papel branco.

Figura 36 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas no piso cerâmico claro.



Fonte: Autor (2016)

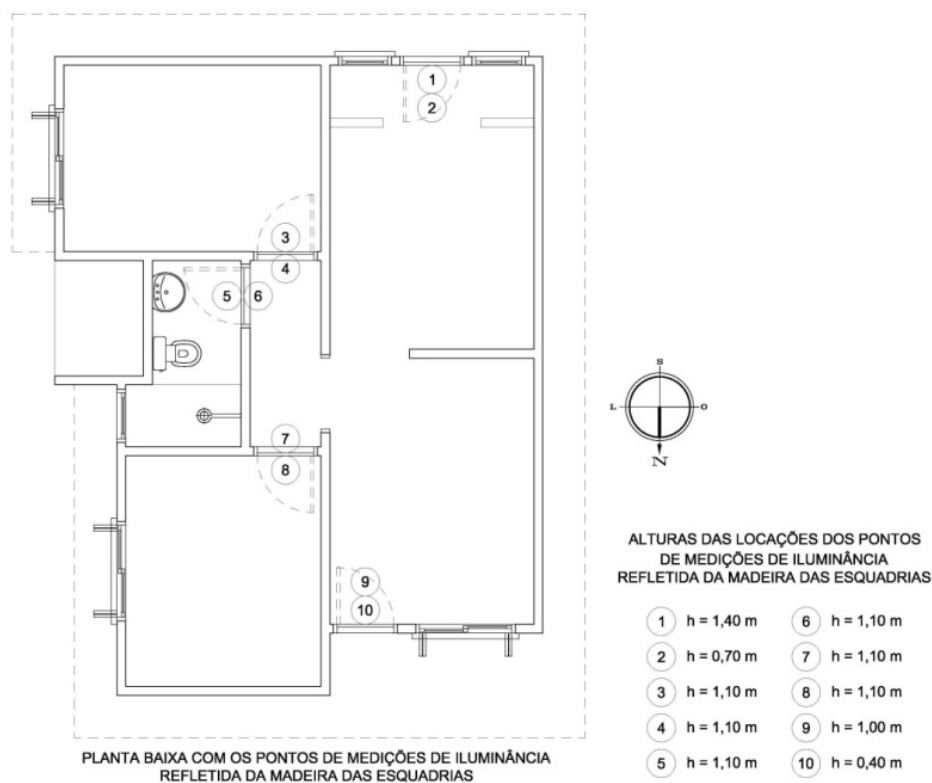
A madeira das esquadrias teve os seus 10 pontos distribuídos para as medições, de acordo com as figuras Figura 37 e Figura 38.

Figura 37 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas da madeira das esquadrias.



Fonte: Autor (2016)

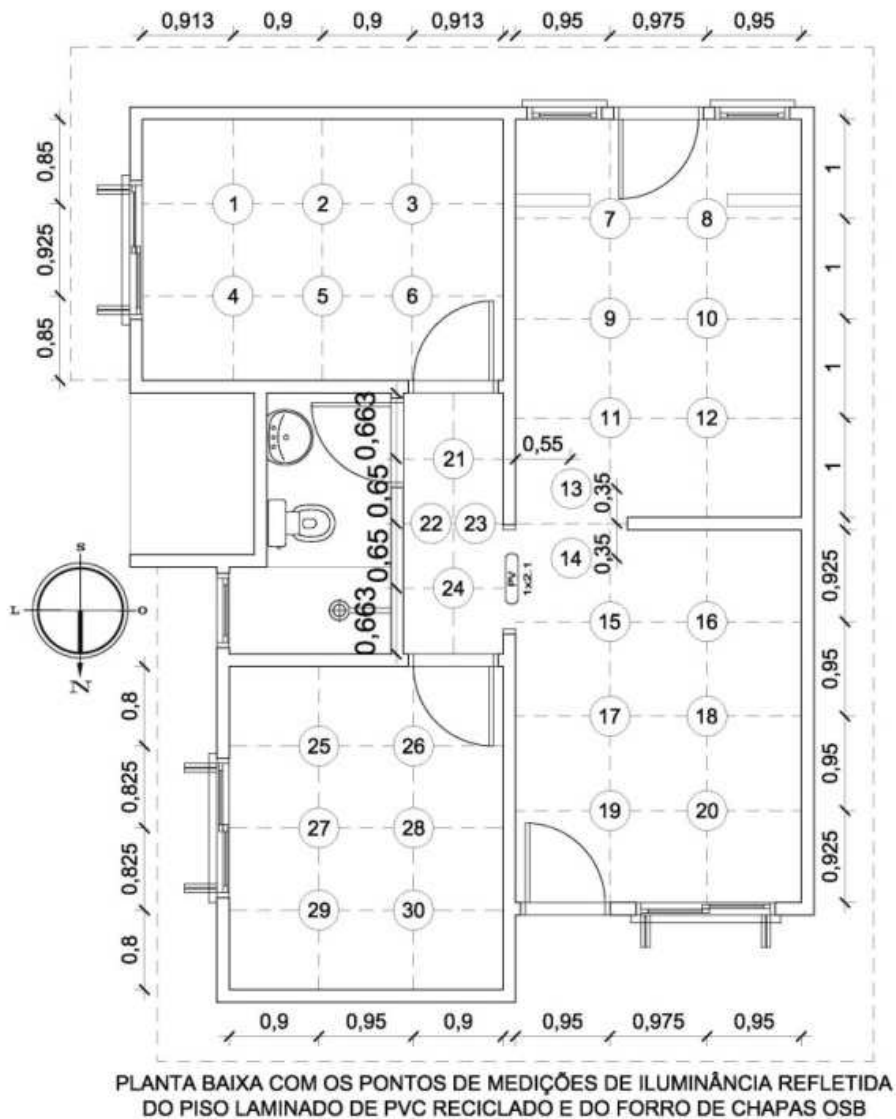
Figura 38 - Localização dos pontos de medições de iluminância refletida da madeira das esquadrias.



Fonte: Autor (2016)

O piso laminado de PVC reciclado e o forro com painéis OSB tiveram cada um, os seus 30 pontos distribuídos para as medições, de acordo com a Figura 39, com cotas em metros.

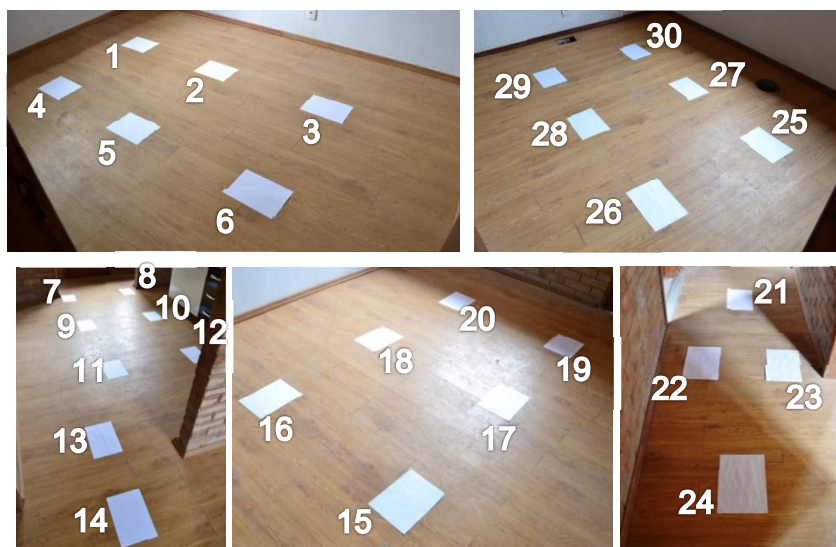
Figura 39 - Localização dos pontos de medições de iluminância refletida do piso laminado de PVC reciclado e do forro de chapas OSB.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 40 são expostas as imagens dos 30 pontos de medições do piso laminado de PVC reciclado, marcados com as devidas folhas de papel branco.

Figura 40 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas do piso laminado.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 41, são expostas as imagens dos 30 pontos de medições do forro de painéis OSB, marcados com as devidas folhas de papel branco.

Figura 41 - Pontos de medições de iluminâncias refletidas do forro de painéis OSB.



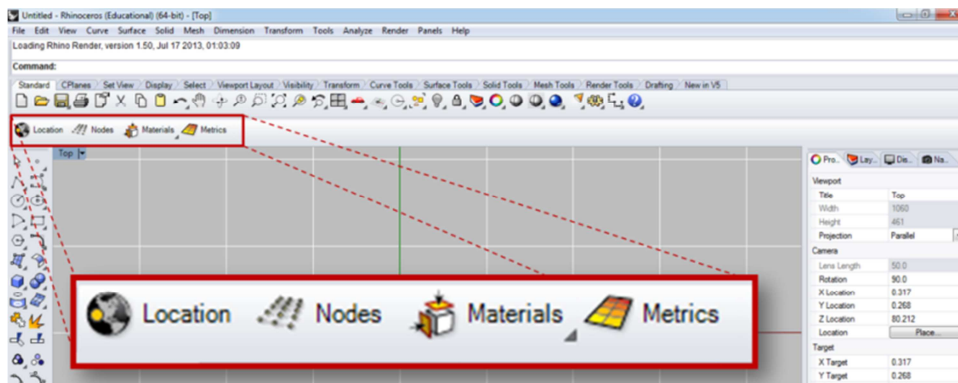
Fonte: Autor (2016)

Após coletados todos os valores de iluminâncias refletidas, são calculadas as refletâncias e posteriormente inseridas no programa de simulação computacional.

4.2.2 Simulações de iluminação natural com *Diva for Rhino*

Após a coleta de dados e realização da média de refletâncias, foi realizada a modelagem da maquete eletrônica do PCPE da UFSM no programa *AutoCAD*, com a definição dos *layers* por tipos de materiais. Iniciou-se a configuração do arquivo no *plugin Diva*, Figura 42, a qual apresenta quatro ícones de uso, *Location*, *Nodes*, *Materials* e *Metrics*.

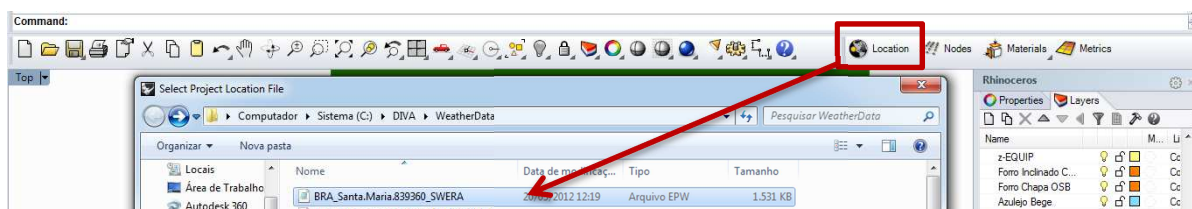
Figura 42 Interface do programa Rhinoceros e as ferramentas do *plugin Diva*



Fonte: Autor (2016)

Os procedimentos de simulação iniciaram pelo ícone *Location*, Figura 43, com a importação do arquivo climático local.

Figura 43 - Importação do arquivo climático de Santa Maria, RS.



Fonte: Autor (2016)

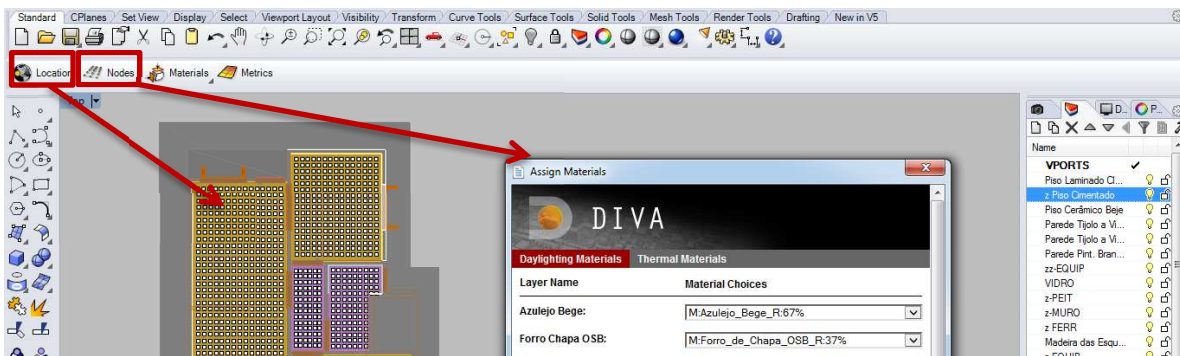
Existem arquivos climáticos do tipo TRY (*Test Reference Year*, traduzido como Ano Climático de Referência) e TMY2 (*Test Meteorological Year*, versão 2, traduzido como Ano Meteorológico Típico). TRY é um arquivo sem os extremos de temperatura de um ano, já TMY2 é um conjunto de meses sem os extremos de temperatura derivados de anos distintos, gerando um ano climático que nunca existiu, mas que possui temperaturas sem os extremos para cada mês (NREL, 1995).

O TRY consiste em 8.760 horas de dados climáticos em formato padronizado adequado aos programas de simulação de desempenho termoenergético de edificações. Já o TMY2 considera os 12 meses restantes da eliminação dos meses individuais com médias máximas e mínimas extremas. No entanto, mesmo que essa medida consista em um ano não real, conta com 8.760 horas de dados climáticos e também com formato padrão adequado aos programas de simulação de desempenho termoenergético de edificações (GHISI; LAMBERTS, 1997, p. 2).

Nesta dissertação foi usado um arquivo climático *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA - em tradução livre Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica), com 8.760 horas, que reúne conjuntos de dados de recursos de energia solar e eólica e ferramentas de análise a partir de números de organizações internacionais em um ambiente orientado para utilização dinâmica (SWERA, 2016), em formato do *Energy Plus (epw)*, desenvolvido baseado no formato TMY2, obtido através do portal do Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina, <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>, onde podem ser encontrados os arquivos climáticos existentes de algumas cidades brasileiras (CARLO; LAMBERTS, 2005). O arquivo consiste em um formato de extensão criado para simulações no programa *EnergyPlus*, e conseqüentemente para o *plugin Diva* (que incorpora ferramentas do *EnergyPlus* nas simulações térmicas e de eficiência energética), são dados climatológicos em um período de 23 anos (entre os anos de 1.978 e 2.000).

Através do comando *Nodes*, Figura 44, são projetados os pontos de análise para as posteriores simulações. Para a simulação de cada ambiente, recomenda-se fazer uma malha na altura do plano de trabalho, com no mínimo 25 pontos de avaliação, devendo ser modelado o entorno do ambiente simulado (BRASIL, 2010b). É demonstrada ainda, a definição dos *layers* da modelagem tridimensional como materiais de configuração *Radiance*.

Figura 44 - Pontos de análises das simulações e aplicação dos materiais no *Diva*



Fonte: Autor (2016)

Acessando *Sistema(C)/DIVA/Daylight/Material* nos documentos do computador, é possível configurar cada material como sua devida refletância, Figura 45, como é estabelecido no manual do algoritmo *Radiance* (CRONE, 1992).

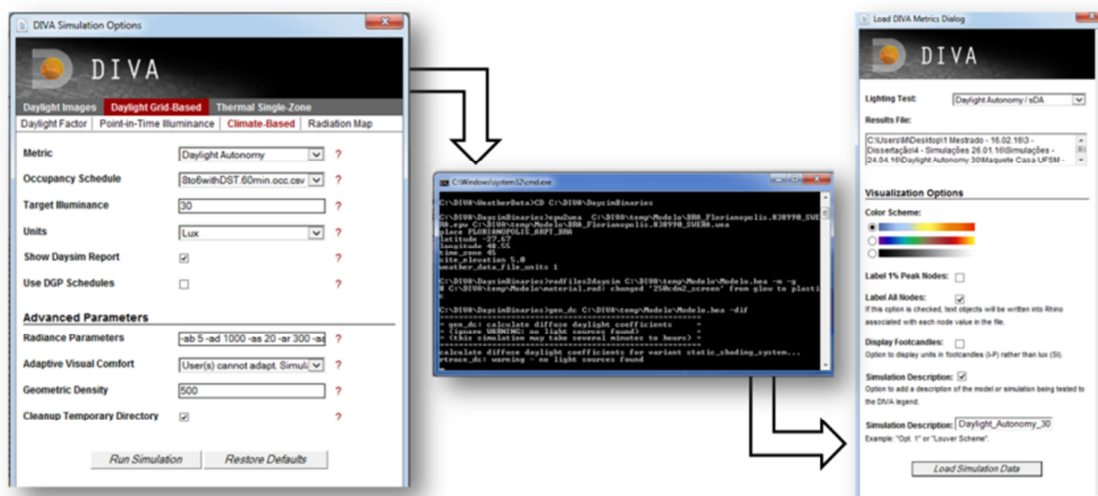
Figura 45 - Configuração do arquivo *Material* do *Diva for Rhino*.

```
material - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
#*****
# Radiance Material Library
#*****
# This file contains a list of Radiance material descriptions and is
# dynamically linked to the DIVA-for-Rhino material dialogue box. users
# can automatically assign radiance materials in this file to layers in
# their Rhino model. If you add a material to this file, it will appear
# in the material selection pull down menus. Please note that it is up
# to you to make sure that the radiance material is correctly defined as
# Radiance is going to crash otherwise. You are encouraged to make a backup
# copy of this file before modifying it.
#*****
# Opaque Materials *****
#*****
# material name: Genericceiling_70
# material type: opaque
# comment: material for typical ceilings as suggested by IES-LM-83
# author: J. Alstan Jakubiec
void plastic Genericceiling_70
0
0
5 0.7 0.7 0.7 0 0
# material name: Forro de Chapa OSB
# material type: opaque
# comment: material for typical ceilings as suggested by IES-LM-83
# author: Matheus Cargnelutti
void plastic M:Forro_de_Chapa_OSBR:37%
```

Fonte: Autor (2016)

Após inserir o arquivo climático local no ícone *Location*, distribuir os pontos dos sensores em *Nodes*, e aplicar todos os materiais configurados com o algoritmo *Radiance* em *Assign Materials*, parte-se para os procedimentos de simulação na opção *Metrics*, Figura 46.

Figura 46 - Escolha do tipo de simulação; Janela de simulação; Opções de apresentação da simulação após a sua conclusão.



Fonte: Organizado pelo Autor (2016).

Nesta dissertação, foram simulados a iluminância útil de iluminação natural (*Useful Daylight Illuminances - UDI*) e a autonomia de iluminação natural (*Daylight Autonomy - DA*), através de *Metrics/Daylight Grid-Based/Climate-Based/Metric*.

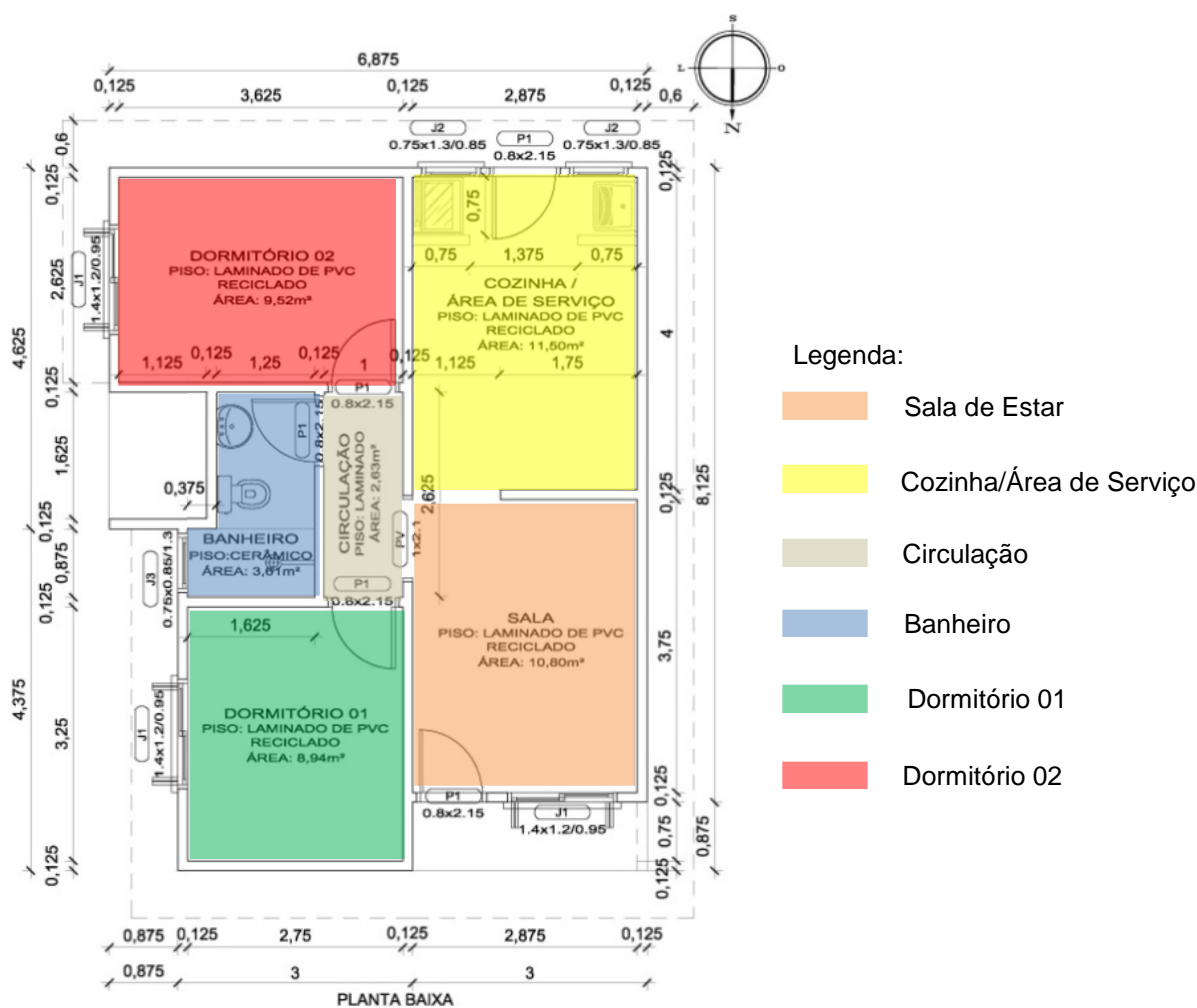
Para a realização das simulações, além do uso das refletâncias das superfícies internas, também foi representado o entorno do protótipo, que está locado em um terreno de 15,00 m x 28,10 m, todo gramado, com uma calçada cimentada no entorno da edificação e possui uma árvore de médio porte ao fundo do terreno.

O retorno de dados dinâmicos do *plugin Diva*, que será apresentado no próximo capítulo, estabelece porcentagens de horas do ano com luz natural em diferentes análises de acordo com o desempenho dos níveis de iluminâncias. As representações gráficas são obtidas em cores falsas, que expõem o nível de desempenho do PCPE em cada simulação.

5 RESULTADOS

Nesta dissertação foi analisado o desempenho da iluminação natural do PCPE da UFSM. Iniciou-se a análise com a verificação das refletâncias das superfícies dos ambientes em estudo, em seguida foram analisados: os parâmetros de iluminâncias mínimo, intermediário e superior, estipulados pela NBR 15.575; as exigências do RTQ-R para os ambientes de permanência prolongada; as atuais condições de iluminâncias úteis e autonomies de iluminação natural por simulações computacionais, bem como, estas mesmas simulações com alterações de refletâncias de superfícies internas. Na Figura 47, apresenta-se a planta baixa do PCPE da UFSM após levantamento das dimensões existentes *in loco*.

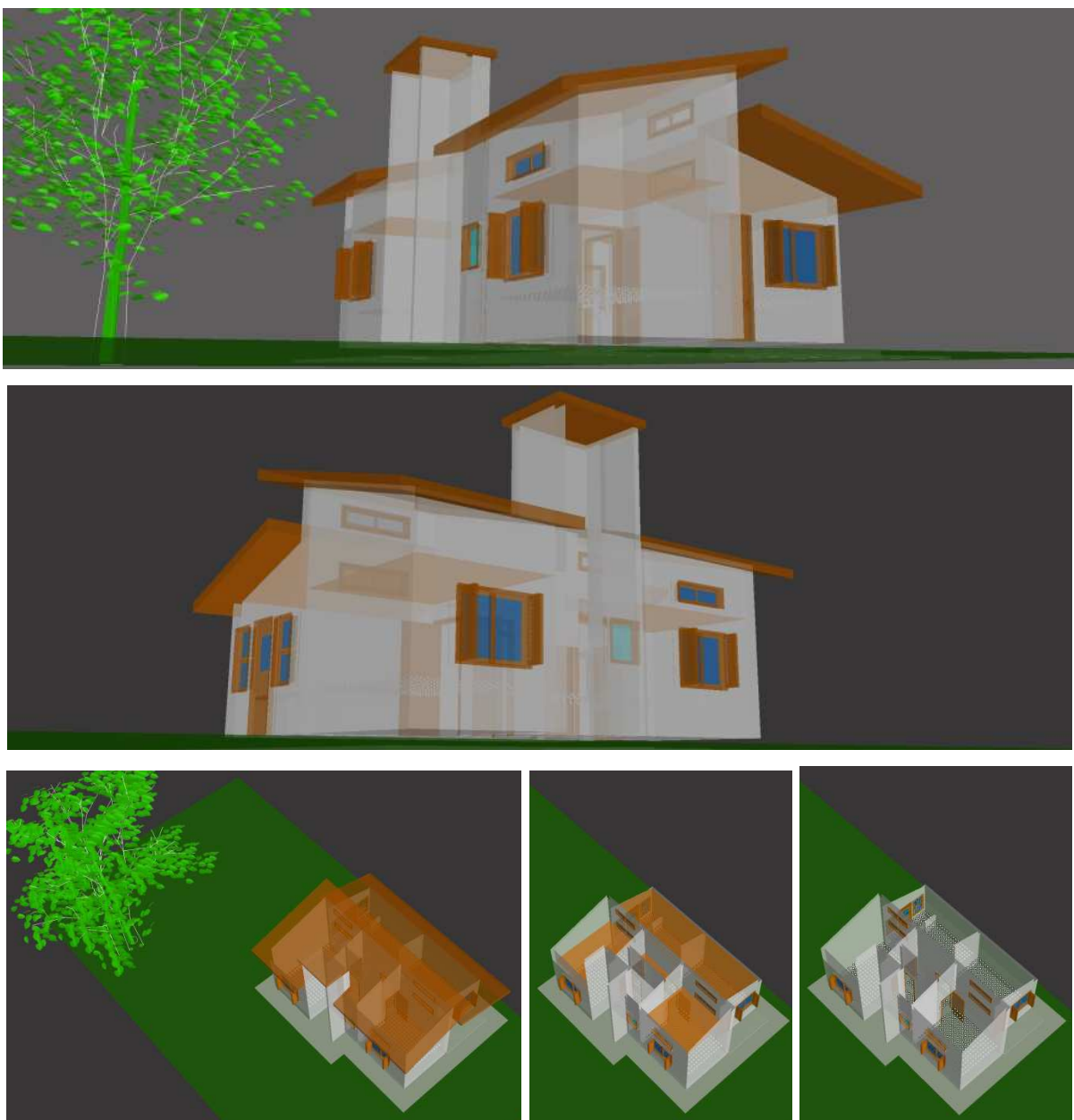
Figura 47 - Planta Baixa com a distribuição real dos ambientes do PCPE de UFSM



Fonte: Organizado pelo autor, com base no levantamento físico e em GEPETECS (2014).

A planta baixa da Figura 47 foi desenhada digitalmente através do programa *AutoCad® 2013*, servindo como registro do levantamento e como ferramenta para posteriores etapas de análise do trabalho. Para a modelagem tridimensional do PCPE da UFSM foi usado também o programa *AutoCad® 2013*, e posteriormente exportado ao programa *Rhinoceros*, Figura 48, para as futuras simulações computacionais relacionadas a iluminação natural.

Figura 48 Maquete do PCPE no programa Rhinoceros

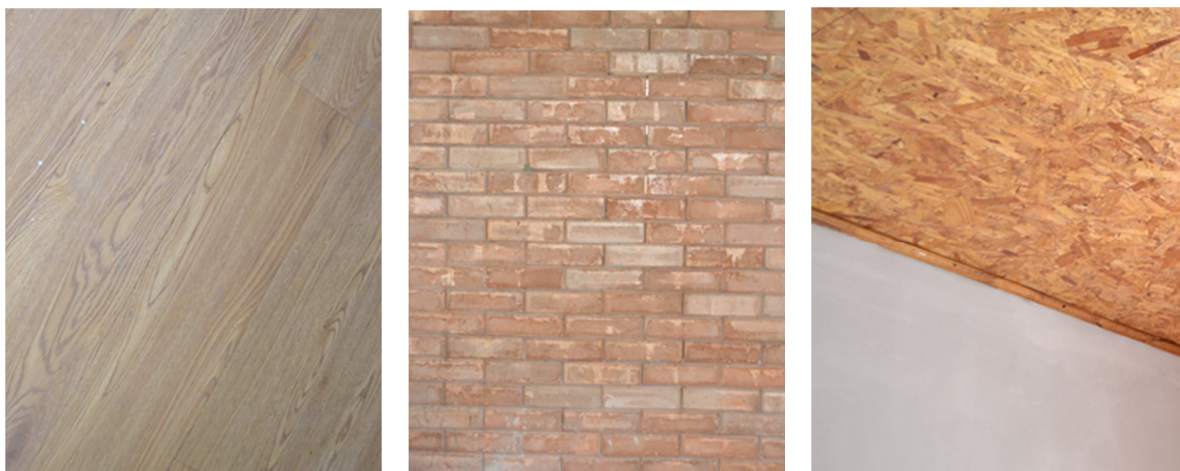


5.1 Refletâncias

No interior dos ambientes, foram identificadas e consideradas todas as cores e texturas, e medidas suas refletâncias, para a avaliação de desempenho de iluminação natural.

O PCPE da UFSM possui revestimentos rebocados com aplicação de tinta de terra crua na cor branca em algumas paredes, e no restante, em alvenaria estrutural exposta, com tijolos de solo cimento. O forro consiste em painéis *Oriented Strand Board* (OSB), sem aplicação de pintura, e o piso, de *polyvinyl chloride* ou policloreto de vinil (PVC) reciclado com textura amadeirada, conforme a Figura 49, com exceção do teto do banheiro, que possui pré laje de concreto, com argamassa de revestimento e pintura em tinta de terra crua na cor branca, piso cerâmico e revestimento cerâmico em meia parede na área do chuveiro.

Figura 49 - Piso de PVC reciclado; Alvenaria de tijolos de solo cimento; Forro em painéis OSB e Pintura com tinta de terra crua.



Fonte: Autor (2014)

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas pelas superfícies, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados e também foi aplicada a equação 3, com o objetivo de encontrar as refletâncias de cada superfície interna do PCPE da UFSM. Iniciando-se pelas paredes de tijolo a vista, encontrou-se os valores da Tabela 10.

Tabela 10 - Estimativa de refletância das paredes de tijolos a vista

Pontos analisados	Iluminância refletida pelo papel branco (lux)	Iluminância refletida pelas paredes (lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	83	27	29,27710843
2	118	36	27,45762712
3	138	33	21,52173913
4	123	29	21,2195122
5	118	21	16,01694915
6	90	19	19,00000000
7	14	4	25,71428571
8	12	3	22,50000000
9	13	3	20,76923077
10	15	4	24,00000000
11	17	4	21,17647059
12	22	6	24,54545455
13	65	20	27,69230769
14	93	30	29,03225806
15	155	48	27,87096774
16	130	36	24,92307692
17	112	33	26,51785714
18	150	39	23,40000000
19	26	10	34,61538462
20	39	12	27,69230769
21	33	11	30,00000000
22	41	14	30,73170732
23	27	9	30,00000000
24	41	13	28,53658537
25	46	13	25,43478261
26	104	33	28,55769231
27	27	8	26,66666667
28	26	8	27,69230769
29	35	9	23,14285714
30	60	18	27,00000000
Média dos pontos:	65,76666667	18,43333333	25,22554486

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para as paredes de tijolos a vista obteve-se 25,22554486%, por arredondamento, este valor será considerado 25%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas das paredes e teto pintados de branco, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 11, onde também foi aplicada a Equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 11 - Estimativa de refletância das paredes e teto pintados de branco

Pontos analisados	Iluminância refletida pelo papel branco (lux)	Iluminância refletida pela pintura branca (lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	112	107	85,98214286
2	60	58	87,00000000
3	65	63	87,23076923
4	37	35	85,13513514
5	118	104	79,32203390
6	247	230	83,80566802
7	17	16	84,70588235
8	51	48	84,70588235
9	57	56	88,42105263
10	106	104	88,30188679
Média dos pontos:	87	82,1	84,93103448

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para as paredes e teto pintados de branco, obteve-se 84,93103448%, por arredondamento, este valor será considerado 85%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas pelo revestimento cerâmico claro, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 12, onde também foi aplicada a equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 12 - Estimativa de refletância das paredes com revestimento cerâmico claro

Pontos	Iluminância refletida pelo papel branco (lux)	Iluminância refletida pelo revestimento cerâmico claro (lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	181	121	60,16574586
2	122	90	66,39344262
3	130	96	66,46153846
4	138	96	62,60869565
5	48	37	69,37500000
6	201	163	72,98507463
7	96	75	70,31250000
8	43	33	69,06976744
9	81	58	64,44444444
10	32	25	70,31250000
Média dos pontos:	107,2	79,4	66,66044776

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para as paredes com revestimento cerâmico claro, obteve-se 66,66044776%, por arredondamento, este valor será considerado 67%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas do piso cerâmico claro, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 13, onde também foi aplicada a equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 13 - Estimativa de refletância do piso cerâmico claro

Pontos	Iluminância refletida pelo papel branco (Lux)	Iluminância refletida pelo piso cerâmico (Lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	56	41	65,89285714
2	240	176	66,00000000
3	620	466	67,64516129
4	782	575	66,17647059
5	1425	1100	69,47368421
6	659	525	71,69954476
7	234	189	72,69230769
8	141	111	70,85106383
9	740	604	73,45945946
10	108	79	65,83333333
Média dos pontos:	500,5	386,6	69,51848152

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para o piso cerâmico claro, obteve-se 69,51848152%, por arredondamento, este valor será considerado 70%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas da madeira das esquadrias, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 14, onde também foi aplicada a equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 14 - Estimativa de refletância da madeira das esquadrias

Pontos	Iluminância refletida pelo papel branco (lux)	Iluminância refletida pela madeira (lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	40	10	22,50000000
2	24	6	22,50000000
3	94	16	15,31914894
4	84	12	12,85714286
5	217	52	21,56682028
6	48	8	15,00000000
7	26	5	17,30769231
8	517	66	11,48936170
9	46	9	17,60869565
10	44	9	18,40909091
Média dos pontos:	114	19,3	15,23684211

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para a madeira das esquadrias, obteve-se 15,23684211%, por arredondamento, este valor será considerado 15%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas do piso laminado de PVC reciclado, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 15, onde também foi aplicada a equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 15 - Estimativa de refletância do piso laminado de PVC reciclado

Pontos	Iluminância refletida pelo papel branco (Lux)	Iluminância refletida pelo piso laminado (Lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	368	130	31,79347826
2	444	167	33,85135135
3	320	129	36,28125000
4	240	88	33,00000000
5	338	115	30,62130178
6	220	84	34,36363636
7	147	50	30,61224490
8	178	58	29,32584270
9	135	49	32,66666667
10	79	30	34,17721519
11	76	30	35,52631579
12	54	20	33,33333333
13	93	37	35,80645161
14	93	37	35,80645161
15	89	32	32,35955056
16	129	48	33,48837209
17	108	40	33,33333333
18	138	54	35,2173913
19	27	12	40,00000000
20	59	24	36,61016949
21	70	27	34,71428571
22	34	12	31,76470588
23	90	38	38,00000000
24	28	10	32,14285714
25	526	185	31,65399240
26	380	146	34,57894737
27	522	181	31,20689655
28	317	110	31,23028391
29	245	86	31,59183673
30	240	82	30,75000000
Média dos pontos:	192,9	70,36666667	32,83048212

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para o piso laminado de PVC reciclado, obteve-se 32,83048212%, por arredondamento, este valor será considerado 33%.

Após coletados os dados de iluminâncias refletidas dos painéis OSB do forro, com e sem o papel branco, os valores foram relacionados na Tabela 16, onde também foi aplicada a equação 3, e por fim apresenta-se a média dos valores dos pontos.

Tabela 16 - Estimativa de refletância dos painéis OSB do forro

Pontos	Iluminância refletida pelo papel branco (Lux)	Iluminância refletida pela chapa OSB (Lux)	Refletância estimada determinada pela Equação 3 (%)
1	110	41	33,54545455
2	86	34	35,58139535
3	60	23	34,50000000
4	138	55	35,86956522
5	91	39	38,57142857
6	71	32	40,56338028
7	21	9	38,57142857
8	26	11	38,07692308
9	25	10	36,00000000
10	22	9	36,81818182
11	18	8	40,00000000
12	17	7	37,05882353
13	18	7	35,00000000
14	18	8	40,00000000
15	24	10	37,50000000
16	27	10	33,33333333
17	25	11	39,60000000
18	37	15	36,48648649
19	28	11	35,35714286
20	60	22	33,00000000
21	11	5	40,90909091
22	13	6	41,53846154
23	13	6	41,53846154
24	13	6	41,53846154
25	65	29	40,15384615
26	67	27	36,26865672
27	60	25	37,50000000
28	57	22	34,73684211
29	43	17	35,58139535
30	42	18	38,57142857
Média dos pontos:	43,53333333	17,76666667	36,73047473

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

Como resultado da estimativa de refletância para as chapas OSB do forro, obteve-se 36,73047473%, por arredondamento, este valor será considerado 37%.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados das medições de iluminâncias refletidas e as estimativas de refletância para cada tipo de superfícies do PCPE da UFSM.

Tabela 17 - Estimativa de refletâncias das superfícies do PCPE da UFSM

Superfícies dos pontos medidos	Média de Iluminâncias refletidas pelo papel branco (Lux)	Média de Iluminância refletida pela superfície (Lux)	Refletância estimada (%)
Paredes de tijolos a vista	65,76666667	18,43333333	25
Paredes e teto pintados de branco	87,00000000	82,10000000	85
Paredes com revestimento cerâmico claro	107,20000000	79,40000000	67
Piso cerâmico claro	500,50000000	386,60000000	70
Madeira das esquadrias	114,00000000	19,30000000	15
Piso laminado de PVC reciclado	192,90000000	70,36666667	33
Painéis OSB do forro	43,53333333	17,76666667	37

Fonte: Levantamento realizado pelo autor em 08/01/2016

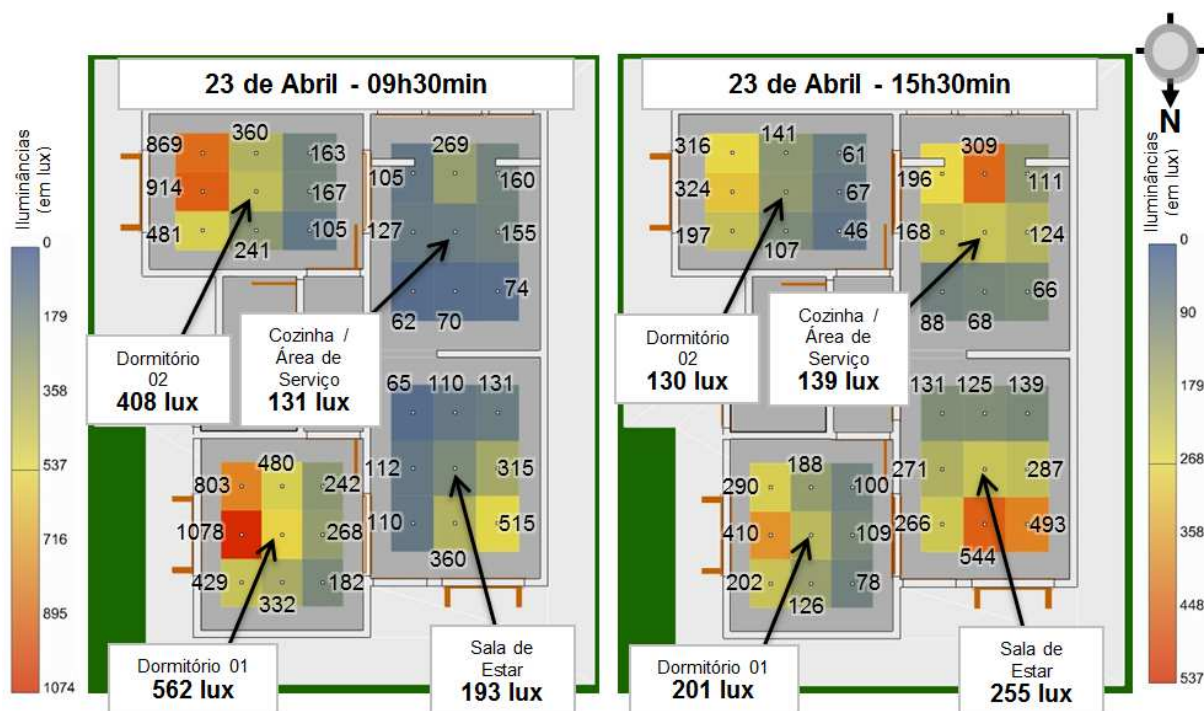
Além das refletâncias das superfícies do interior do protótipo, foi considerado o albedo do entorno do protótipo, a grama verde em 25% e a calçada cimentada em 55% (MARKVART; CASTAÑER, 2003), e a árvore de médio porte no fundo do terreno em 18% (BARRY; CHORLEY, 1992). A transmissividade do vidro mini boreal incolor do banheiro foi de 39% e dos demais vidros, liso incolor 3mm, de 88%, ambas obtidas a partir de suas transmitâncias visuais (DIVA, 2016).

5.2 Avaliação dinâmica de iluminância natural no PCPE com base nos índices de iluminâncias da NBR 15.575

Contando unicamente com iluminação natural, os níveis gerais de iluminância nas dependências sala de estar, dormitórios, cozinha e área de serviço, das construções habitacionais, devem atender ao mínimo 60 lux, aplicando-se o método de simulação proposto pela NBR 15575. Para tanto, é medida a iluminância do ponto central de cada um dos ambientes mencionados, em dois horários, as 09h.

30min. e as 15h. 30min., dos dias 23 de abril e 23 de outubro, como mostram as Figuras Figura 50 e Figura 51.

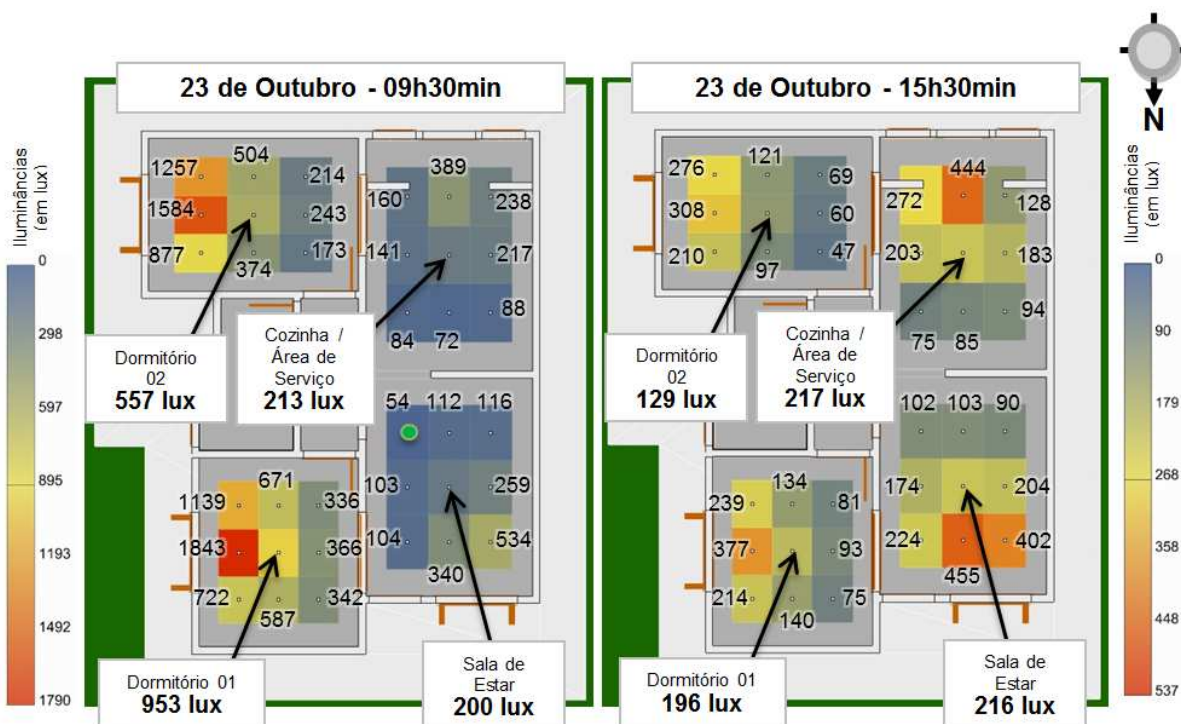
Figura 50 - Avaliação dos níveis de iluminâncias de iluminação natural no PCPE da UFSM em 23 de abril por simulação computacional.



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

No dia 23 de abril, pode-se observar na Figura 50, que todos os ambientes possuem iluminâncias que ultrapassam o nível mínimo de desempenho de 60 Lux, assim como, também atingem os níveis de desempenho intermediário (90 Lux) e superior (120 Lux), tanto as 9h. e 30min. quanto as 15h. e 30min., a mesma situação ocorre na simulação do dia 23 de outubro, na Figura 51.

Figura 51 - Avaliação dos níveis de iluminâncias de iluminação natural no PCPE da UFSM em 23 de outubro por simulação computacional.



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Em ambas as simulações também foram colocados sensores no entorno dos pontos centrais, observando-se o desempenho de iluminâncias além dos pontos estipulados pela NBR 15.575. Apenas o ponto destacado em verde na Figura 51 não atingiu 60 Lux de iluminância mínima, obtendo 54 Lux. A condição de céu destas simulações foi a *CIE Intermediate sky without sun* (céu intermediário, sem sol, da *Commission Internationale de l'Eclairage*), considerando o índice de nuvens de 50% referido na NBR 15.575.

5.3 Avaliação do PCPE da UFSM por simulação sob as recomendações do RTQ-R

O RTQ-R apresenta duas formas de avaliar a iluminação natural no interior de uma edificação, pelos métodos prescritivo e de simulação. Mas antes da aplicação destes métodos, é importante salientar que o acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais

aberturas para o exterior BRASIL (2010b). Deste modo, BRASIL (2010b, p. 28) destaca que “a soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente”, para tanto, apresenta-se esta análise na Tabela 18.

Tabela 18 - Análise das áreas de aberturas para iluminação natural por ambiente

Ambientes	Área útil do ambiente (m ²)	Área de aberturas para a iluminação natural existente em cada ambiente (m ²)	Porcentagem da área útil do ambiente usada nas aberturas para a iluminação natural existente (%)	A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente atende ao mínimo de 12,50% da área útil do ambiente?
Sala de Estar	10,8000	1,0864	10,0593	Não
Cozinha/Área de Serviço	11,5000	1,4380	12,5043	Sim
Dormitório 01	8,9400	1,0864	12,1521	Não
Dormitório 02	9,5200	1,0864	11,4118	Não

Fonte: Organizado pelo autor em 23/06/2016, baseado em BRASIL (2010b).

A consequência ao não atendimento da área mínima de aberturas de iluminação implica, segundo BRASIL (2010b, p. 28) “em no máximo nível C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração”, no que se refere à etiquetagem do RTQ-R. Como pode-se perceber na Tabela 20, o único ambiente que atingiu as expectativas mínimas do RTQ-R foi a Cozinha/Área de Serviço. A solução para a adequação deste quesito seria um pequeno aumento na área de aberturas de iluminação voltadas para o exterior da edificação, de modo que se atinja o mínimo de 12,50% da área útil nos demais ambientes quando o protótipo for reproduzido.

5.3.1 Aplicação do Método Prescritivo do RTQ-R

Neste método avaliou-se a profundidade dos ambientes de permanência prolongada com iluminação natural proveniente de aberturas laterais, Tabela 19, e também se a refletância do teto é superior a 60%.

Tabela 19 - Profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais

Ambientes	Profundidade do Ambiente (P), em metros.	Altura máxima da abertura para iluminação a partir do piso (ha) excluindo caixilhos, em metros.	Aplicação da fórmula $P \leq 2,4 \cdot ha$	Avaliação
Sala de Estar	3,750	2,050	$3,750 \leq 4,92$	✓ Cumpre a exigência
Cozinha/Área de Serviço	4,000	2,050	$4,000 \leq 4,92$	✓ Cumpre a exigência
Dormitório 01	2,750	2,050	$2,750 \leq 4,92$	✓ Cumpre a exigência
Dormitório 02	3,625	2,050	$3,625 \leq 4,92$	✓ Cumpre a exigência

Fonte: Organizado pelo autor em 25/06/2016, baseado em BRASIL (2010b).

O protótipo cumpre todas as exigências em relação à profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais exigidos pelo RTQ-R. É importante salientar que as HIS são edificações bastante compactas, então, é possível que as mesmas sempre cumpram estes critérios de profundidade.

Quanto à refletância do teto levantada neste trabalho através de medições *in loco*, apresentas no capítulo anterior, foi de 37%, valor bastante inferior aos 60% estipulados pelo RTQ-R.

5.3.2 Aplicação do Método de Simulação do RTQ-R

Para as simulações foram definidos, 75cm de altura dos pontos em relação ao piso, estabelecido pela NBR 15575-1, e aproximadamente 20cm de afastamento horizontal entre os pontos para se obter resultados com boa precisão, obtendo-se um número bastante superior ao mínimo de 25 pontos por ambiente estipulado pelo RTQ-R.

Iniciou-se esta análise avaliando o ambiente de permanência prolongada que não possui proteção solar, a cozinha/área de serviço. O objetivo é avaliar se o mesmo atinge de 60 lux de iluminância em 70% da área cada ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano (BRASIL, 2010b). Para isso, foi realizada a simulação da Figura 52, com auxílio do *plugin Diva for Rhino*.

Figura 52 - Simulação para avaliação do ambiente cozinha/ área de serviço pelos parâmetros do RTQ-R.

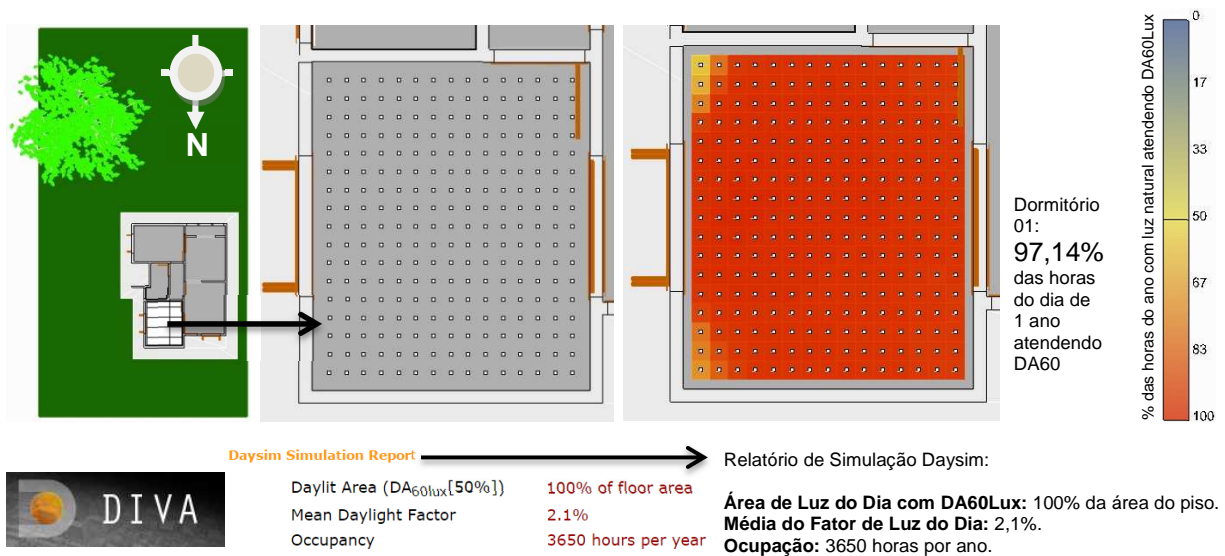


Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Para esta simulação, foram distribuídos 255 sensores na cozinha e 75 sensores na área de serviço, totalizando 330 sensores no ambiente integrado. Pode-se observar na Figura 52, que as horas diurnas de um ano com autonomia de iluminação natural em 60 lux são de 94,98% para a cozinha e 97,32% para a área de serviço, ambas superando o mínimo de 70% estipulado pelo RTQ-R. Quanto à análise da área do piso do ambiente que alcança a iluminância mínima, o relatório de simulação do *plugin Diva* concluiu que 100% área atinge 60 lux ao longo de um ano.

Para os ambientes de permanência prolongada que possuem proteção solar, os dormitórios e a sala, o RTQ-R recomenda avaliar se os mesmos atingem de 60 lux de iluminância em 50% de cada ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano (BRASIL, 2010b). Para isso, foram realizadas as simulações a seguir, iniciando pelo dormitório 01, Figura 53, com auxílio do *plugin Diva for Rhino*.

Figura 53 - Simulação para avaliação do ambiente dormitório 01 pelos parâmetros do RTQ-R.

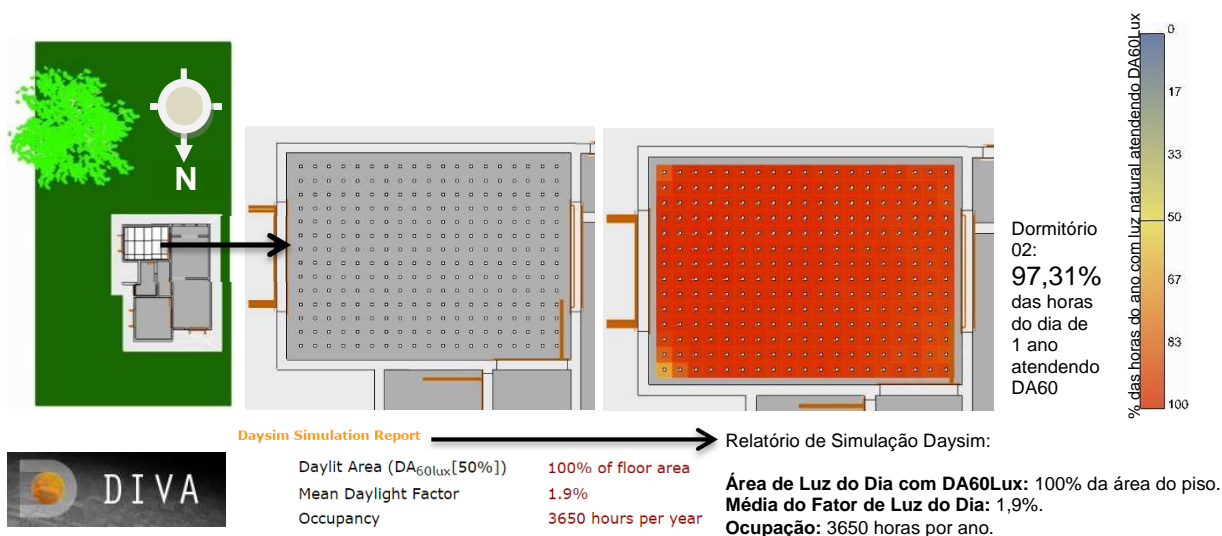


Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Para a simulação do dormitório 01, foram distribuídos 255 sensores, como pode-se observar na Figura 53, onde as horas diurnas de um ano com autonomia de iluminação natural em 60 lux são de 97,14%, superando o mínimo de 70% estipulado pelo RTQ-R. Quanto à análise da área do piso do ambiente que alcança a iluminância mínima, o relatório de simulação do *plugin Diva* concluiu que 100% área atinge 60 lux ao longo de um ano.

No dormitório 02, foram distribuídos 266 sensores, como se pode observar na Figura 54, onde as horas diurnas de um ano com autonomia de iluminação natural em 60 lux são de 97,31%, superando o mínimo de 70% estipulado pelo RTQ-R. Em relação à análise da área do piso do ambiente que alcança a iluminância mínima, assim como nos ambientes anteriores, o relatório de simulação do *plugin Diva* concluiu que 100% área atinge 60 lux ao longo de um ano.

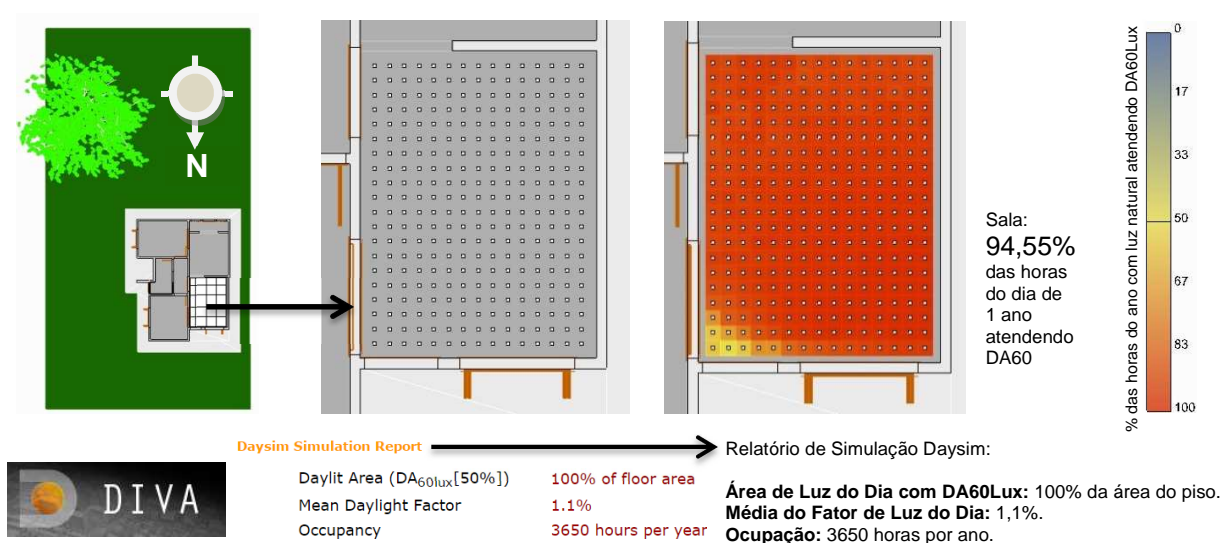
Figura 54 - Simulação para avaliação do ambiente dormitório 02 pelos parâmetros do RTQ-R.



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Na sala, foram distribuídos 300 sensores, como pode-se observar na Figura 55, onde as horas diurnas de um ano com autonomia de iluminação natural em 60 lux são de 94,55%, superando o mínimo de 70% estipulado pelo RTQ-R. Em relação à análise da área do piso do ambiente que alcança a iluminância mínima, assim como nos ambientes anteriores, o relatório de simulação do *plugin Diva* concluiu que 100% área atinge 60 lux ao longo de um ano.

Figura 55 - Simulação para avaliação do ambiente sala pelos parâmetros do RTQ-R.



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Após a realização destas simulações, concluiu-se que todos os ambientes avaliados atingiram 60 lux em 100% de suas áreas ao longo de um ano, e tiveram autonomies de iluminação natural em 60 lux e bastante superiores aos índices mínimos do RTQ-R.

5.4 Simulações de autonomia de iluminação natural com os níveis de desempenho estipulados pela NBR 15.575-1

Foram analisados os desempenhos em autonomia de iluminação natural seguindo os índices de iluminâncias internas de edificações habitacionais estabelecidos pela NBR 15.575-1 - Norma de desempenho de edificações habitacionais - onde são considerados para dormitórios, sala de estar e cozinha, o nível mínimo de iluminância de 60 Lux, o nível intermediário a partir de 90 Lux e o nível superior a partir de 120 Lux. Considerando que os ambientes mencionados poderão ser utilizados como ambientes de estudo ou trabalho, também foi analisada a autonomia de iluminação natural em 300 Lux.

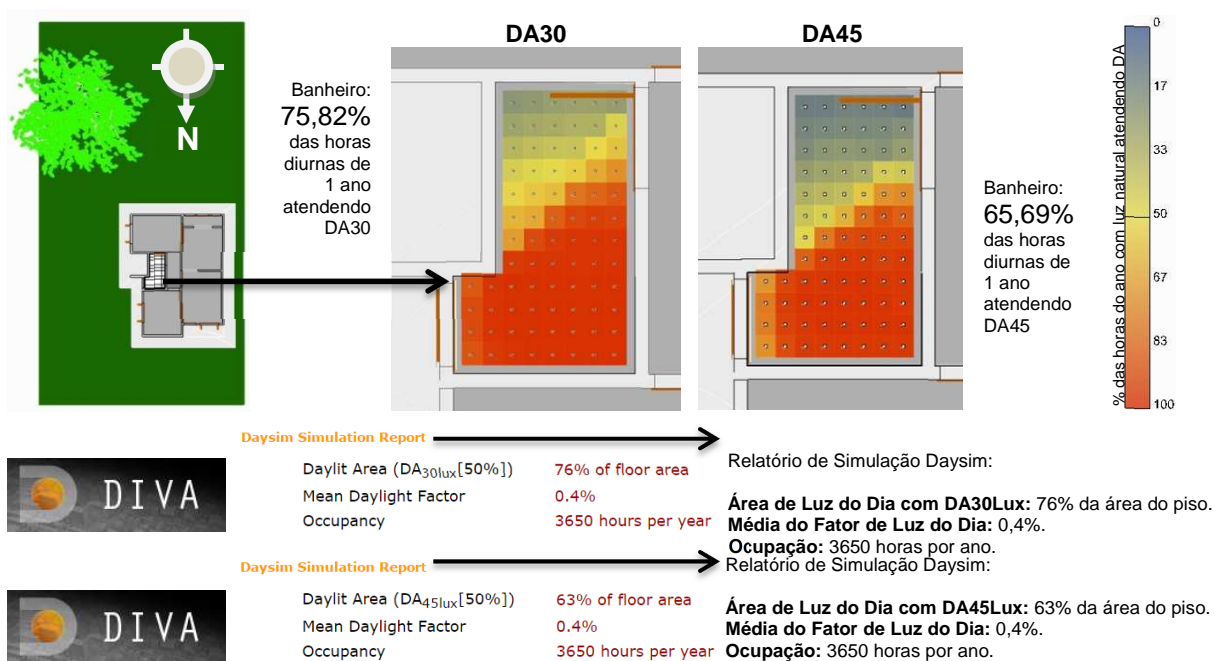
5.4.1 Autonomia de iluminação natural em ambientes internos sem permanência prolongada

Para iluminâncias em ambientes internos sem permanência prolongada, a NBR15575-1 não considera um desempenho mínimo, mas considera 30 Lux como desempenho intermediário e 45 Lux como desempenho superior, no caso do protótipo os ambientes avaliados são a circulação e o banheiro.

Mesmo não havendo níveis mínimos de iluminâncias para o banheiro e a circulação do protótipo, é interessante analisar as porcentagens de horas diurnas do ano com luz natural atendendo aos DAs de nível intermediário e superior. Na Figura 56, pode-se observar que o banheiro atende ao nível intermediário DA 30 lux em 75,82% das horas diurnas de um ano, já em nível superior, DA 45 lux, o mesmo atende em 65,69% das horas diurnas de um ano.

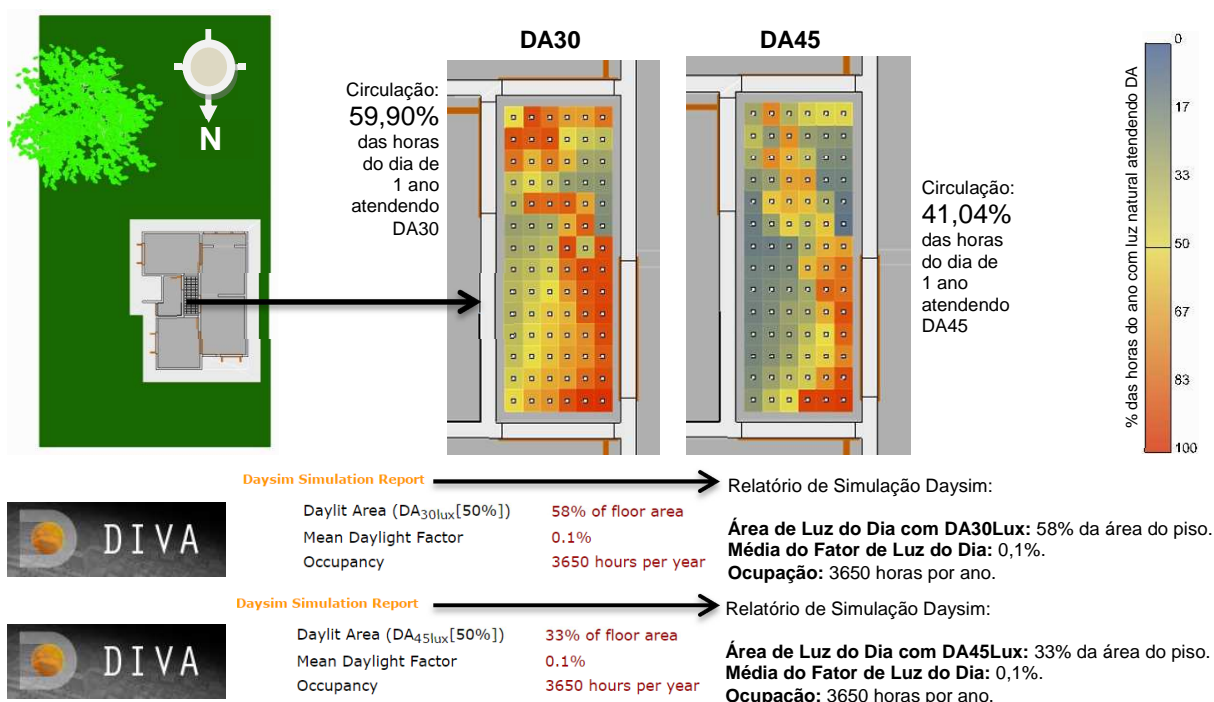
Na circulação, Figura 57, pode-se observar que o nível intermediário DA 30 lux é alcançado em 59,90% das horas diurnas de um ano, e o nível superior DA 45 lux é atendido em 41,04% das horas diurnas de um ano.

Figura 56 - Simulação para avaliação do ambiente banheiro em DA30 lux e DA45 lux.



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Figura 57 - Simulação para avaliação da circulação em DA30 lux e DA45 lux.



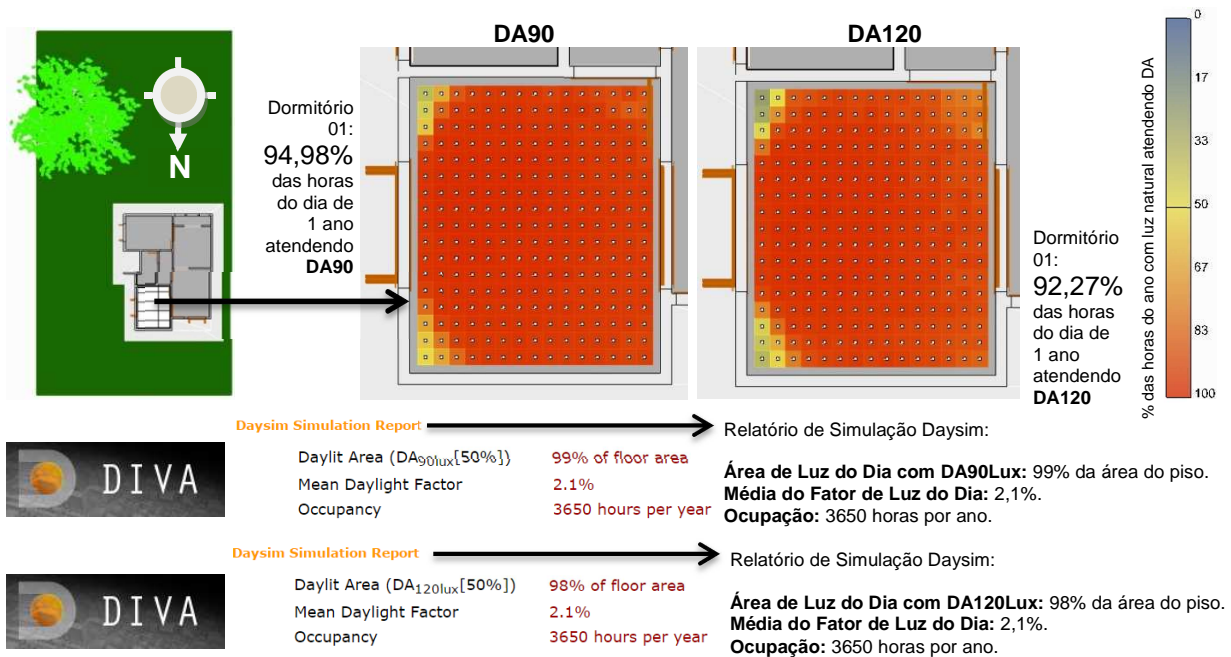
Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Os índices de autonomia da circulação são relativamente baixos, mas é importante lembrar que o ambiente não possui aberturas diretas para o exterior da edificação e por se tratar de uma habitação popular necessita ocupar a menor área construída possível. Seu fator de luz diurna acompanha estes valores pouco expressivos, atingindo apenas 0,1%, não atingindo um nível intermediário de desempenho, que seria de 0,25%. Já no banheiro o fator de luz diurna de 0,4%, que o define como um desempenho superior, pois ultrapassa o índice de 0,35% que se considera como nível superior de desempenho.

5.4.2 Autonomia de iluminação natural em ambientes internos com permanência prolongada

Para iluminâncias em ambientes internos com permanência prolongada, no caso do PCPE os dormitórios, a sala e a cozinha/área de serviço, a NBR15575-1 considera 60 Lux como desempenho mínimo (apresentado anteriormente na avaliação por simulação do RTQ-R), 90 Lux como desempenho intermediário e 120 Lux como desempenho superior, os quais são apresentados a seguir, iniciando pelo dormitório 01, Figura 58.

Figura 58 - Simulação do dormitório 01 em DA90Lux e DA120Lux.

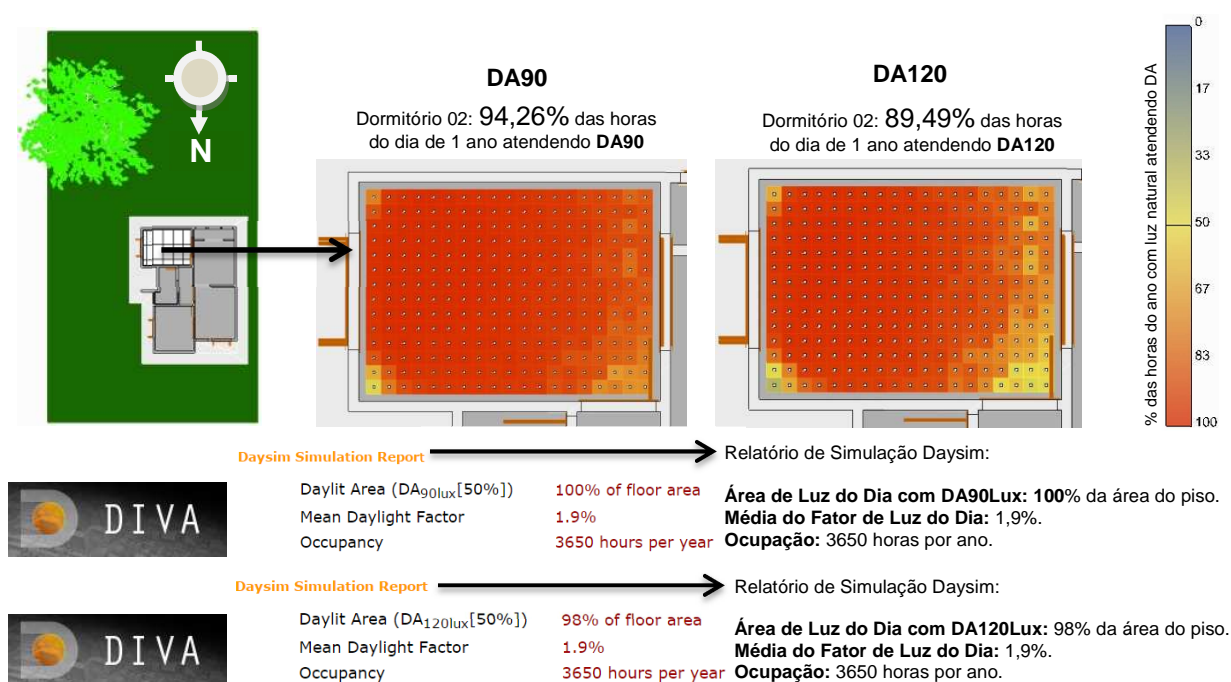


Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

O dormitório 01 possui uma autonomia significativamente homogênea e elevada, com 94,98% das horas diurnas do ano com luz natural atendendo DA 90 lux, e 92,27% atendendo DA 120 lux. O fator de luz diurna tem um ótimo resultado, estimado em 2,1%, valor considerado de nível superior pela NBR 15575-1, pois está consideravelmente acima dos 0,75% estipulados pela norma de desempenho para fator de luz diurna em nível superior.

O dormitório 02 apresenta-se na mesma orientação solar que o dormitório 01, porém, com uma diferença de dimensionamento do ambiente, onde se distingue por possuir maior afastamento entre a abertura e a parede voltada para a janela, podendo-se perceber na Figura 59 uma queda de autonomia de iluminação natural nas áreas mais distantes da janela em DA90Lux e DA120Lux.

Figura 59 - Simulação do dormitório 02 em DA90Lux e DA120Lux.

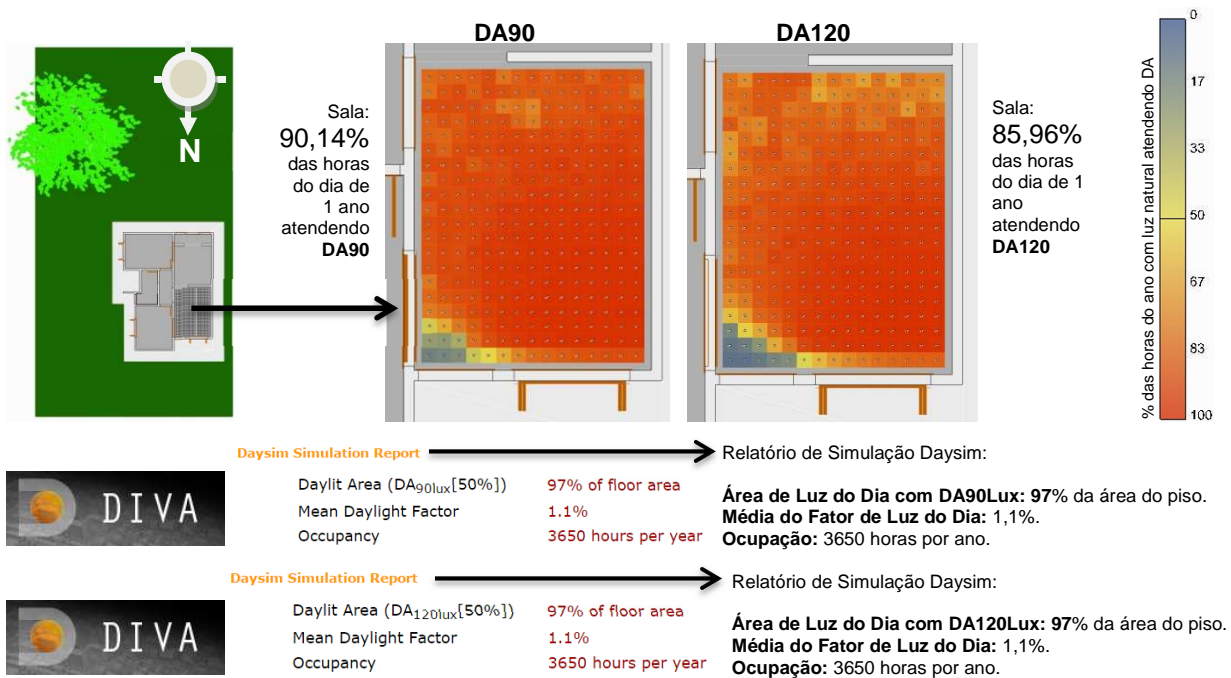


Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Pode-se observar ainda no dormitório 02, a queda do fator de luz do dia em relação ao dormitório 01, registrando 1,9%, mas ainda bastante elevado em relação aos 0,75% considerado o mínimo para um nível superior de desempenho de iluminação natural. Outro fator a destacar no dormitório 02 é que o mesmo atingiu 100% da área do piso com iluminâncias superiores a 90 lux na simulação DA90.

Com dimensionamento do ambiente semelhante ao dormitório 02, porém, com a janela voltada para a orientação solar norte e deslocada da área central da parede devido ao posicionamento da porta de acesso principal do protótipo, a sala de estar apresenta na Figura 60 índices um pouco inferiores aos dos dormitórios.

Figura 60 - Simulação da sala de estar em DA90Lux e DA120Lux.



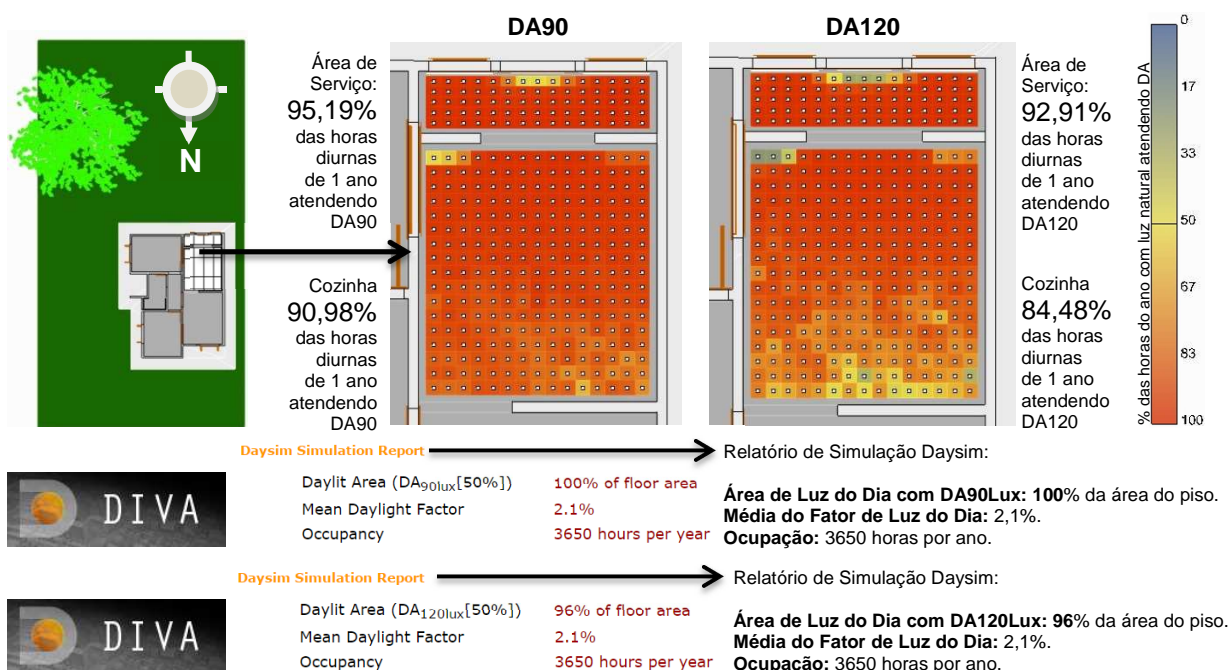
Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Na sala de estar, tanto a simulação em DA 90 lux como a simulação em 120 lux, apresentaram autonomia de luz diurna estimada em 97% da área do piso, índice elevado, assim como o seu fator de luz do dia com desempenho superior, estimado em 1,1%.

O ambiente cozinha/área de serviço está voltado para a fachada sul, orientação solar mais crítica para a posição geográfica da cidade de Santa Maria, RS, onde está localizado o protótipo, pois não há insolação direta na maior parte das horas do ano. Entretanto, este foi o único ambiente que superou a área mínima de aberturas para iluminação natural de 12,5% da área do piso do ambiente, estipulado pelo RTQ-R, possivelmente isto tenha influenciado nos bons resultados de suas simulações em DA 90 lux e DA 120 lux, apresentadas na Figura 61, onde a cozinha apresenta 90,98% das horas diurnas do ano com luz natural atendendo DA 90 lux, e

84,48% atendendo DA 120 lux. A área de serviço apresenta valores ainda mais elevados, 95,19% das horas diurnas do ano atendendo DA90, e 92,91% atendendo 120 lux.

Figura 61 - Simulação da cozinha/área de serviço em DA90Lux e DA120Lux.



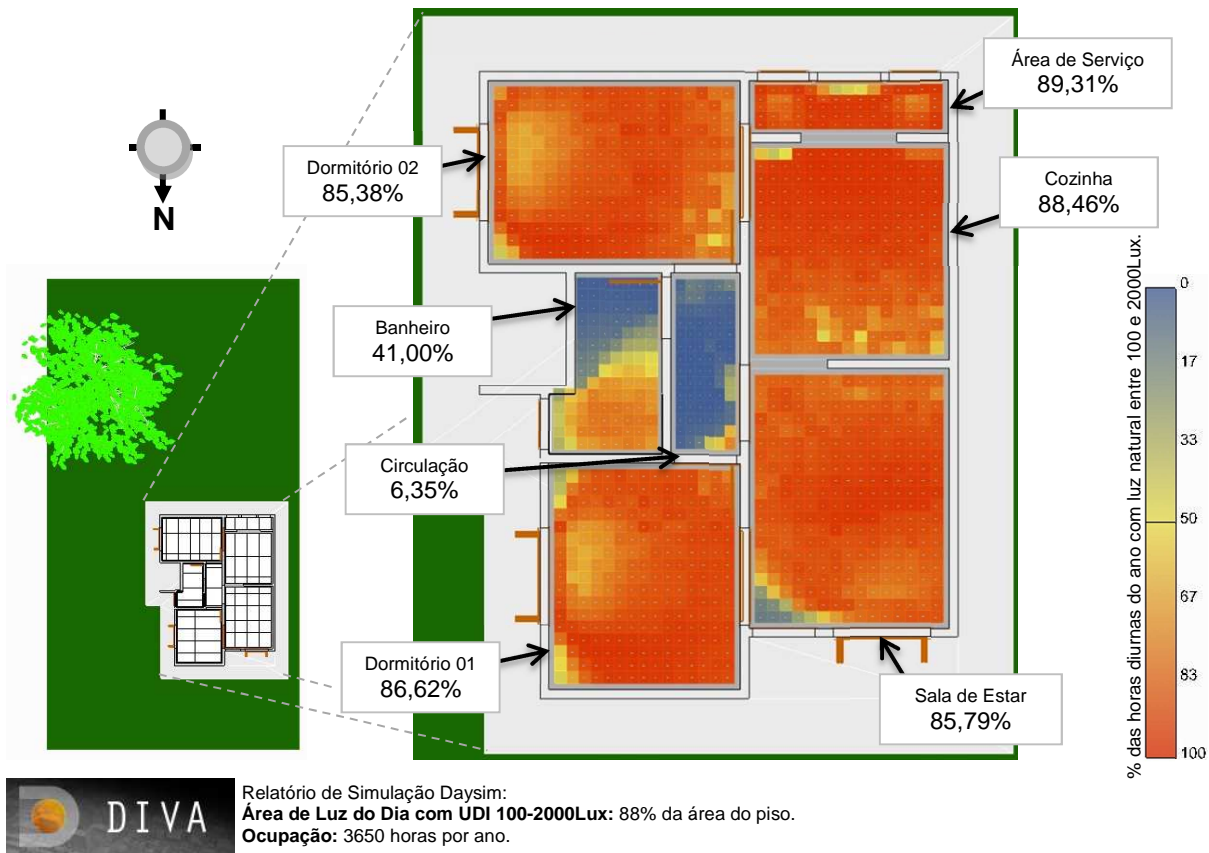
Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Na simulação DA 90 lux, o ambiente cozinha / área de serviço conseguiu atingir 100% da área do piso com iluminâncias superiores a 90 lux, outra informação relevante, é que o fator de luz do dia teve desempenho em nível superior, estimado em 2,1%, o mesmo índice do dormitório 01.

5.5 Iluminância útil de iluminação natural - *Useful Daylight Illuminances (UDI)*

A simulação de UDI foi realizada para identificar as porcentagens das horas de luz natural de um ano em que a iluminância no plano de trabalho está entre 100 e 2.000 lux, Figura 62, esta avaliação caracteriza a porcentagem de horas diurnas onde se tem estado de conforto visual (MARDALJEVIC; NABIL, 2005).

Figura 62 - Simulação para avaliação de UDI no PCPE



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

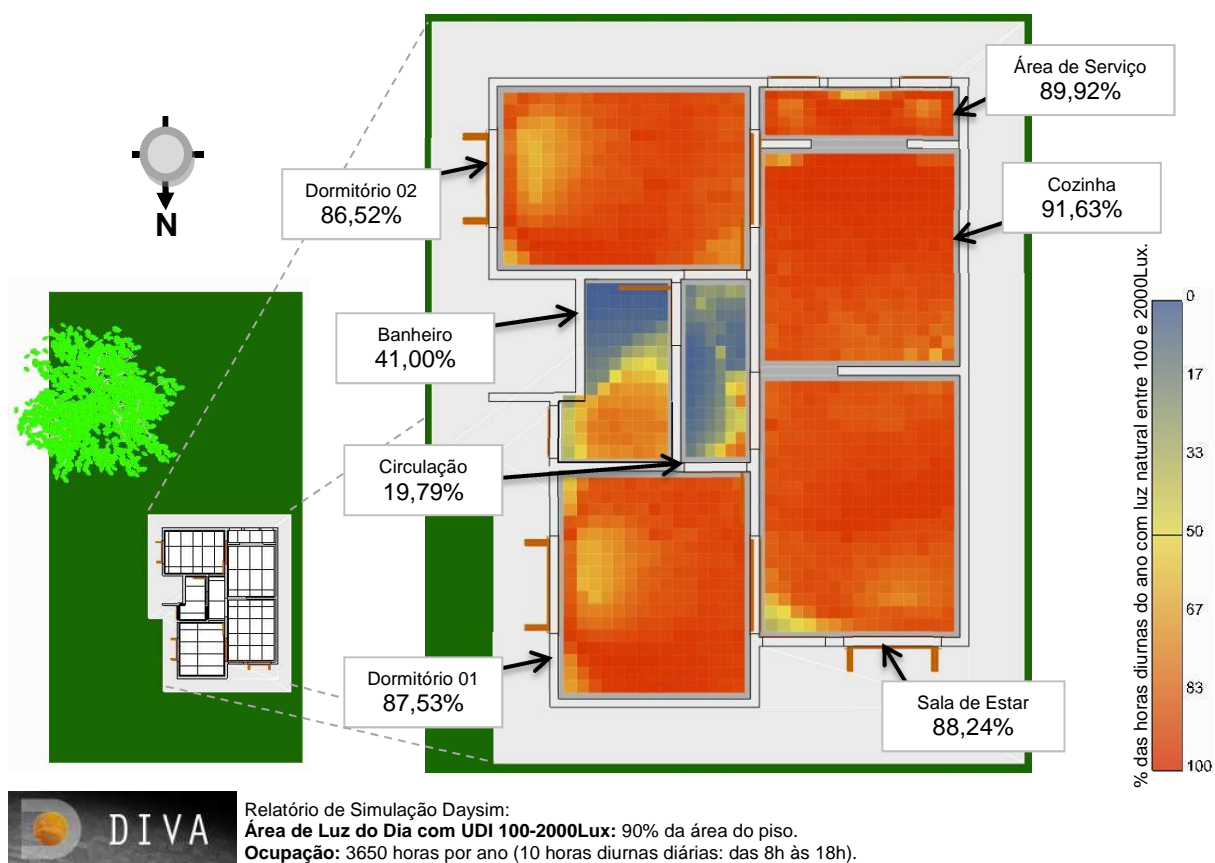
A avaliação de UDI no PCPE da UFSM foi positiva, como se pode perceber na Figura 62, onde todos os ambientes de permanência prolongada superaram 80% de horas do ano com luz natural entre 100 e 2000Lux, além de 88% da área útil do protótipo atingir esta mesma faixa de iluminâncias, considerada de conforto visual. As zonas mais azuladas da figura 49 representam os 22% de iluminâncias mais críticas, onde UDI fica abaixo de 100 Lux e acima de 2.000 Lux.

5.6 Simulações com elevação de refletâncias para a avaliação por UDI

Pensando em soluções econômicas, simulou-se três situações para aperfeiçoar a iluminação natural no interior do PCPE da UFSM. A primeira opção pintando o teto de branco, a segunda opção rebocando as paredes de tijolo a vista e pintando-as de branco, e a terceira juntando as duas situações anteriores, com paredes e tetos brancos.

Para analisar as iluminâncias úteis de iluminação natural (UDI), foi realizada uma simulação com o teto dos ambientes pintado de branco (85% de refletância), elevando em 48% a refletância destas superfícies, inicialmente com 37% de refletância dos painéis OSB existentes. A simulação de UDI foi realizada para identificar as porcentagens de horas diurnas de luz natural de um ano em que a iluminância no plano de trabalho está entre 100 e 2.000 lux, Figura 63, esta avaliação caracteriza a porcentagem de horas diurnas onde se tem estado de conforto visual na condição teto branco.

Figura 63 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com o teto do protótipo pintado de branco



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Assim como no protótipo original, na análise de UDI com o teto dos ambientes pintados de branco, Figura 63, todos os ambientes de permanência prolongada superaram 80% de horas diurnas do ano com luz natural entre 100 e 2000Lux, sendo que a cozinha chegou a ultrapassar 90% nesta análise. A área útil

do protótipo que atingiu está mesma faixa de iluminâncias, considerada de conforto visual, foi de 90%, aumentando 2% em relação aos ambientes originais. As zonas mais azuladas da Figura 63 representam os 20% de iluminâncias mais críticas, onde UDI fica abaixo de 100 Lux e acima de 2.000 Lux.

A Tabela 20 apresenta uma comparação entre as UDIs do protótipo original e as UDIs com o teto do protótipo pintado de branco, e a porcentagem de elevação destas iluminâncias úteis de iluminação natural após a simulação com o teto branco em relação aos índices atuais do protótipo.

Tabela 20 - Elevação de UDI com o teto do protótipo pintado de branco

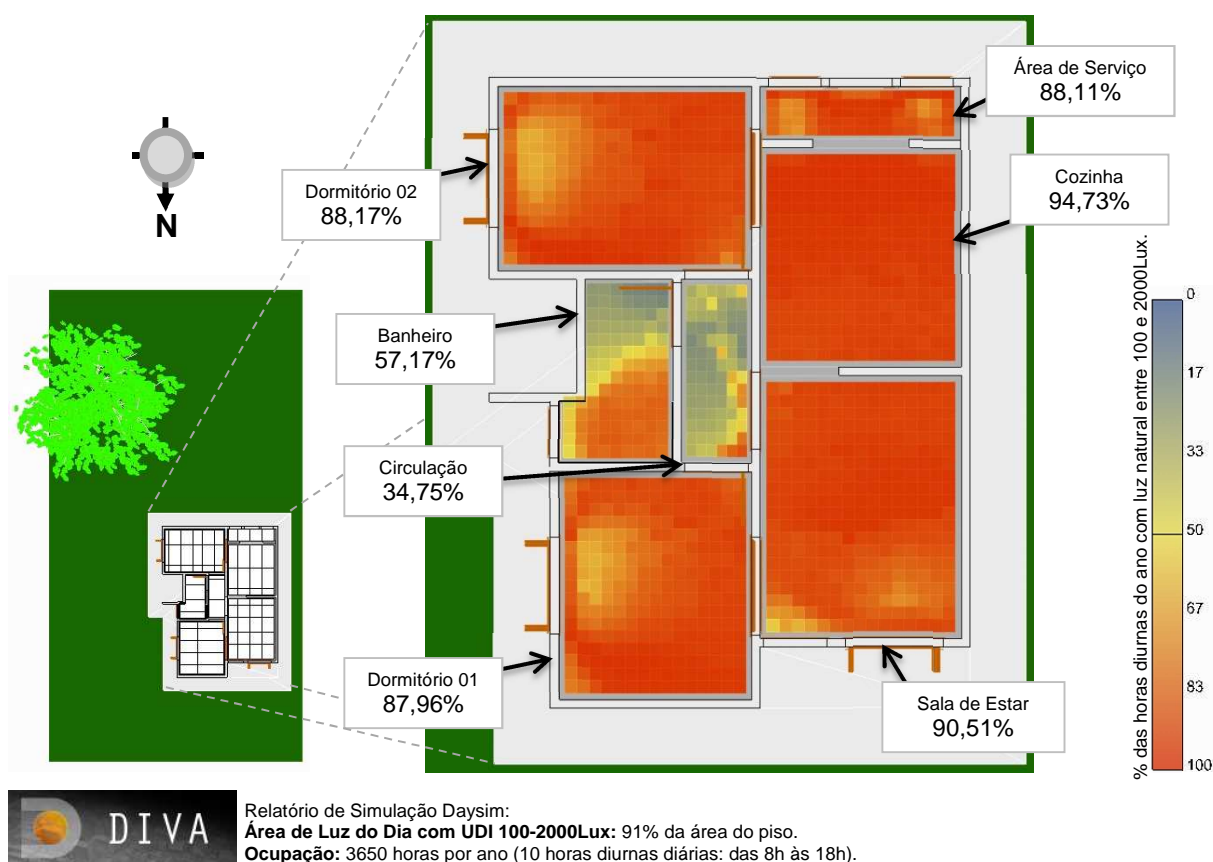
Ambientes	UDI atual do protótipo (%)	UDI com o teto do protótipo pintado de branco (%)	Aumento de UDI (%)
Sala de Estar	85,79	88,24	2,45
Cozinha	88,46	91,63	3,17
Área de Serviço	89,31	89,92	0,61
Dormitório 01	86,62	87,53	0,91
Dormitório 02	85,38	86,52	1,14
Banheiro	41,00	41,00	Este teto já era branco
Circulação	6,35	19,79	13,44
Aumento médio de UDI na simulação com teto branco:			3,71

Fonte: Organizado pelo autor em 25/06/2016.

O aumento médio de UDI na simulação com teto branco foi de 3,71% em relação ao protótipo original, variando este aumento de 0,61% na área de serviço, até 13,44% na circulação, como pôde ser visto na Tabela 22.

A Figura 64 apresenta a simulação de UDI do PCPE, alterando-se as paredes de tijolos a vista por paredes rebocadas e pintadas de branco.

Figura 64 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Na análise de UDI alterando as paredes de tijolos a vista do protótipo por paredes rebocadas e pintadas de branco, Figura 64, todos os ambientes de permanência prolongada obtiveram resultados próximos de 90% das horas diurnas do ano com luz natural entre 100 e 2000 lux, sendo que a cozinha e a sala de estar ultrapassaram os 90% nesta análise. A área útil do protótipo que atingiu está mesma faixa de iluminâncias, foi de 91%, aumentando 3% em relação aos ambientes originais. As zonas mais azuladas e um pouco amareladas representam os 19% de iluminâncias mais críticas, onde UDI fica abaixo de 100 lux e acima de 2.000 lux.

A Tabela 21 apresenta a comparação entre as UDIs dos ambientes internos do protótipo original e as UDIs com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco, e a porcentagem de elevação destas iluminâncias úteis de iluminação natural após a simulação com as paredes internas rebocadas e pintadas de branco em relação a estes índices atuais do protótipo.

Tabela 21 - Elevação de UDI do protótipo com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco

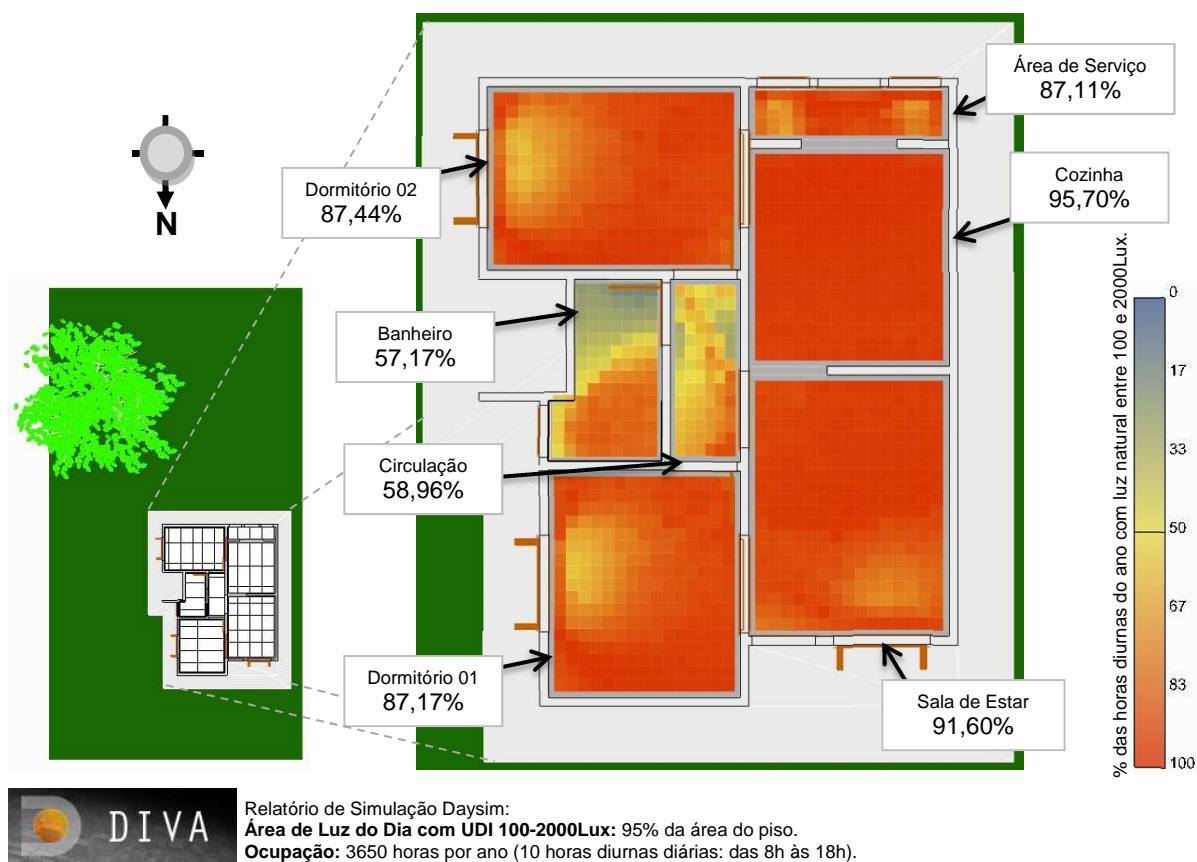
Ambientes	UDI atual do protótipo (%)	UDI com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco (%)	Aumento de UDI (%)
Sala de Estar	85,79	90,51	4,72
Cozinha	88,46	94,73	6,27
Área de Serviço	89,31	88,11	- 1,20
Dormitório 01	86,62	87,96	1,34
Dormitório 02	85,38	88,17	2,79
Banheiro	41,00	57,17	16,17
Circulação	6,35	34,75	28,40
Aumento médio de UDI na simulação com as paredes de tijolo a vista rebocadas e pintadas de branco:			8,36

Fonte: Organizado pelo autor em 25/06/2016.

O aumento médio de UDI na simulação com a substituição das atuais paredes internas de tijolos a vista por paredes rebocadas e pintadas de branco foi de 8,36% em relação ao protótipo original, variando este aumento de -1,20% na área de serviço, até 28,40% na circulação, como pôde ser visto na Tabela 21.

Na análise de UDI pintando o teto de branco e alterando as paredes de tijolos a vista do protótipo por paredes rebocadas e pintadas de branco, Figura 65, todos os ambientes de permanência prolongada novamente obtiveram resultados próximos de 90% das horas diurnas do ano com luz natural entre 100 e 2000 lux, sendo que a cozinha e a sala de estar elevaram ainda mais os seus índices nesta análise, já os dormitórios tiveram uma leve queda de UDI em relação a simulação com somente as paredes brancas, possivelmente exceder 2000 lux nas áreas próximas as janelas, visto que a coloração amarela se intensificou nestas regiões na última simulação. A área útil do protótipo que atingiu está mesma faixa de iluminâncias (de 100 lux a 2.000 lux), foi de 95% nesta simulação, aumentando 7% em relação aos ambientes originais. As zonas mais azuladas e um pouco amareladas representam os 19% de iluminâncias mais críticas, onde UDI fica abaixo de 100 lux e acima de 2.000 lux.

Figura 65 - Simulação de UDI no PCPE da UFSM com os tetos brancos e as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio do *plugin Diva for Rhino* (2016).

A Tabela 22 apresenta a comparação entre as UDIs dos ambientes internos do protótipo original e as UDIs com os tetos brancos e as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco, e a porcentagem de elevação destas iluminâncias úteis de iluminação natural após a simulação com os tetos brancos e as paredes internas rebocadas e pintadas de branco em relação a aos índices atuais do protótipo.

Tabela 22 - Elevação de UDI do protótipo com os tetos brancos e as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco

Ambientes	UDI atual do protótipo (%)	UDI com as atuais paredes internas de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco (%)	Aumento de UDI (%)
Sala de Estar	85,79	91,60	5,81
Cozinha	88,46	95,70	7,24
Área de Serviço	89,31	87,11	- 2,20
Dormitório 01	86,62	87,17	0,55
Dormitório 02	85,38	87,44	2,06
Banheiro	41,00	57,17	16,17
Circulação	6,35	58,96	52,61
Aumento médio de UDI na simulação com os tetos brancos e as paredes de tijolo a vista rebocadas e pintadas de branco:			12,38

Fonte: Organizado pelo autor em 25/06/2016.

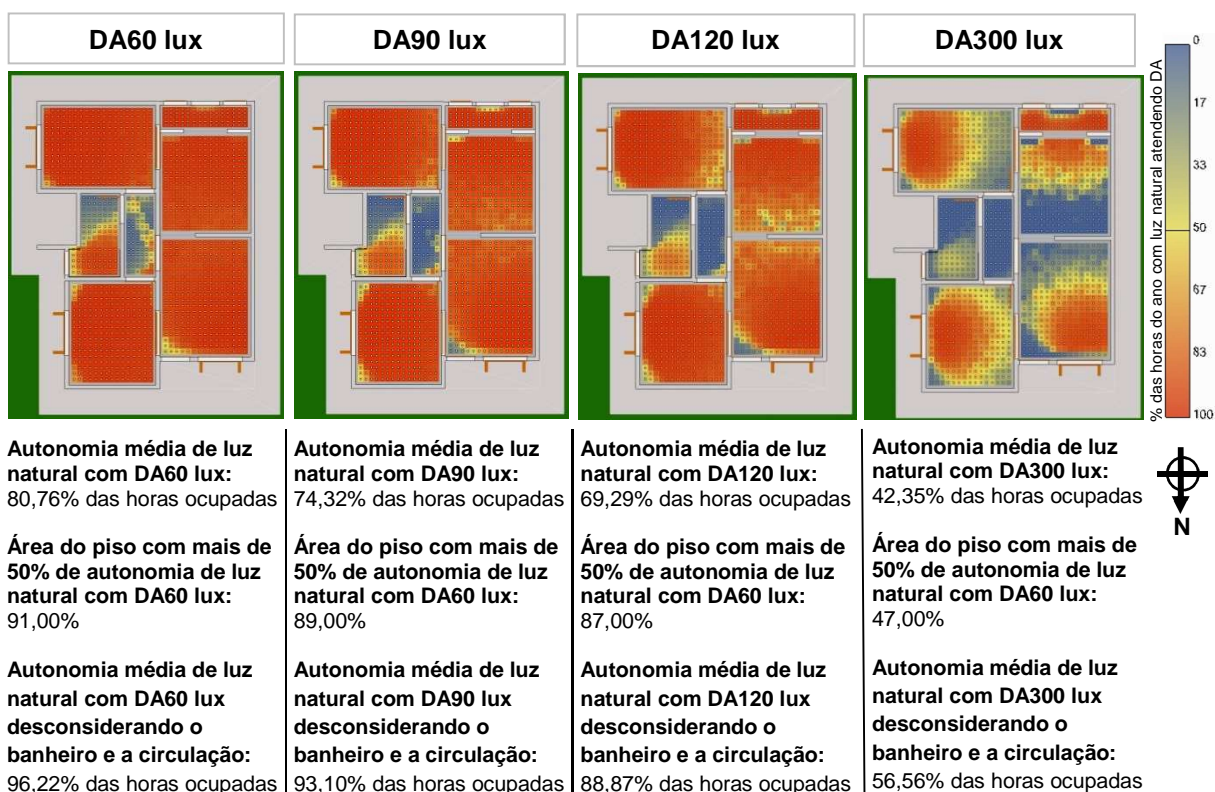
O aumento médio de UDI na simulação com os tetos brancos e a substituição das atuais paredes internas de tijolos a vista por paredes rebocadas e pintadas de branco, foi de 12,38% em relação ao protótipo original, variando este aumento de -2,20% na área de serviço, até 52,61% na circulação, como pode ser visto na Tabela 22.

5.7 Autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM e propostas para elevação de desempenho

No item 6.4.2, foi avaliada a autonomia de iluminação natural em cada ambiente interno de permanência prolongada conforme o RTQ-R (BRASIL, 2010b), obtendo-se bons resultados nestas verificações, agora são apresentadas avaliações no contexto geral do PCPE da UFSM, incluindo todos os ambientes, sejam com ou sem permanência prolongada.

Na Figura 66 é apresentada a planta baixa do protótipo após a realização de três simulações da autonomia de iluminação natural nos níveis de desempenho mínimo (60 lux), intermediário (90 lux) e superior (120 lux), estipulados pela NBR 15.575.

Figura 66 - Simulações de DA do PCPE da UFSM



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio dos relatórios de simulação Daysim, com 3.650 horas (10 horas por dia, das 8h às 18h) de ocupação por ano (luz do dia), do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Observou-se na Figura 66, de forma dinâmica, que 91,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 60 lux de iluminação natural anual, e que 80,76% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 60 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 96,22% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Em relação ao nível de desempenho intermediário (90 lux), observou-se de forma dinâmica que 89,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 90 lux de iluminação natural, e que 74,32% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 90 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 93,10% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Em seguida, analisou-se também de forma dinâmica o PCPE em nível de desempenho superior (120 lux), onde 87,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 120 lux de iluminação natural, e que 69,29% das 3.650 das horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 120 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 88,87% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

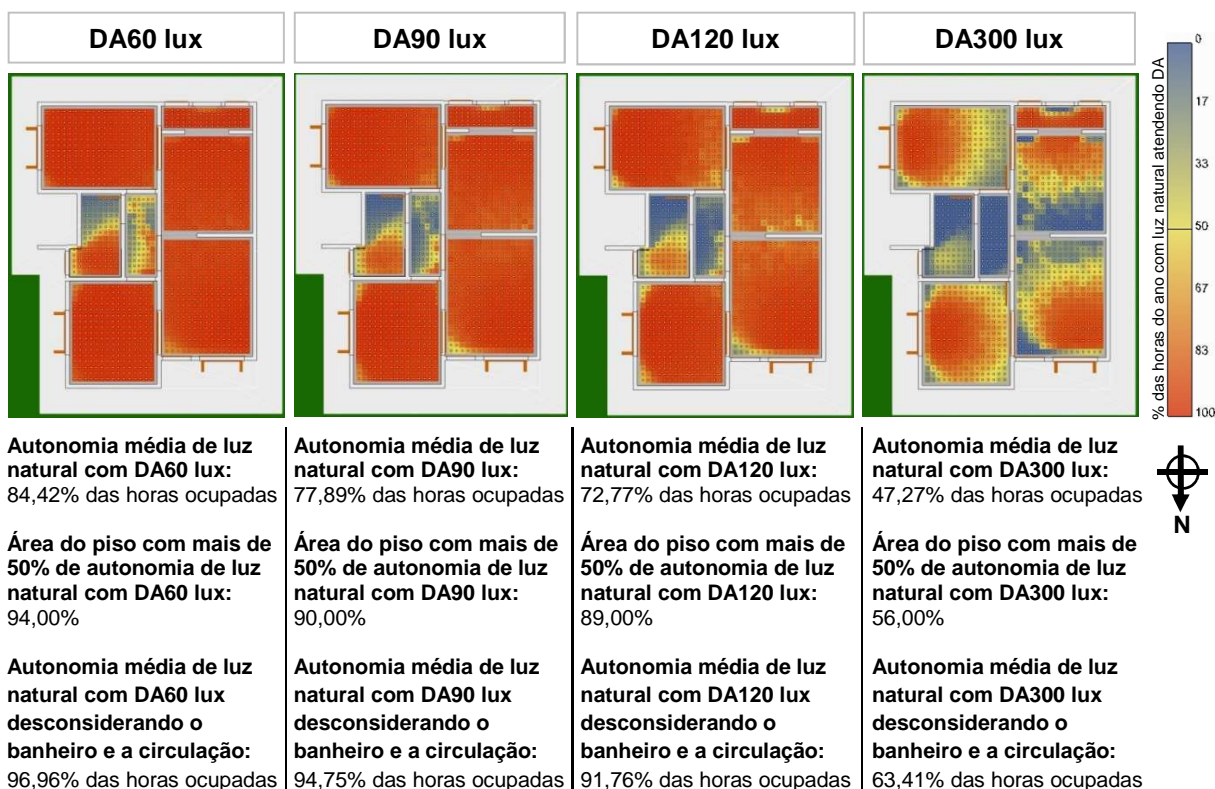
Por fim, foi incluída uma simulação com DA 300 lux, supondo que os ambientes de permanência prolongada possam ser ocupados como áreas de estudo ou trabalho doméstico, e por ser uma recomendação de avaliação de desempenho proposta pela IESNA (2012), onde deve atingir um mínimo de 50% de autonomia em 300 lux com 10 horas de ocupação diária diurnas (das 8h as 18h), desta forma, obteve-se que 56,56% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 300 lux de iluminância, e constatou-se que 47,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 300 lux de iluminação natural, considerando apenas os ambientes de permanência prolongadas, excluindo-se o banheiro e a circulação do cálculo.

Após avaliar a autonomia de iluminação natural do ambiente existente, parte-se para simulações com o propósito de elevar os níveis de iluminância do teto do mesmo, reprovado na avaliação de refletância proposta pelo RTQ-R (BRASIL, 2010b), o PCPE apresenta atualmente 37% de refletância, medida *in loco* e apresentada no Capítulo 5 deste trabalho. Como se trata de uma habitação que prioriza além da sustentabilidade, a economia financeira simulou-se no teto uma simples pintura do com a cor branca e tomando-se com base o nível de 85% de refletância obtido na medição da pintura branca de algumas paredes do interior do PCPE.

A Figura 67 apresenta a planta baixa do protótipo após a realização de quatro simulações da autonomia de iluminação natural, com a alteração do teto, hoje com painéis *Oriented Strand Board* (OSB) de refletância calculada em 37%, para a aplicação de uma pintura branca de refletância estimada em 85%, o que eleva a refletância do teto em 48%. As simulações realizadas de forma dinâmica, nos níveis de desempenho mínimo (60 lux), intermediário (90 lux) e superior (120 lux),

estipulados pela NBR 15.575, e também em um nível mais elevado que o superior (300 lux).

Figura 67 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com pintura branca no teto



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio dos relatórios de simulação Daysim, com 3.650 horas (10 horas por dia, das 8h às 18h) de ocupação por ano (luz do dia), do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Observou-se que 94,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 60 lux de iluminação natural anual, e que 84,42% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 60 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 96,96% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Em relação ao nível de desempenho intermediário (90 lux), observou-se que 90,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 90 lux de iluminação natural, e que 77,89% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 90 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o

banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 94,75% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

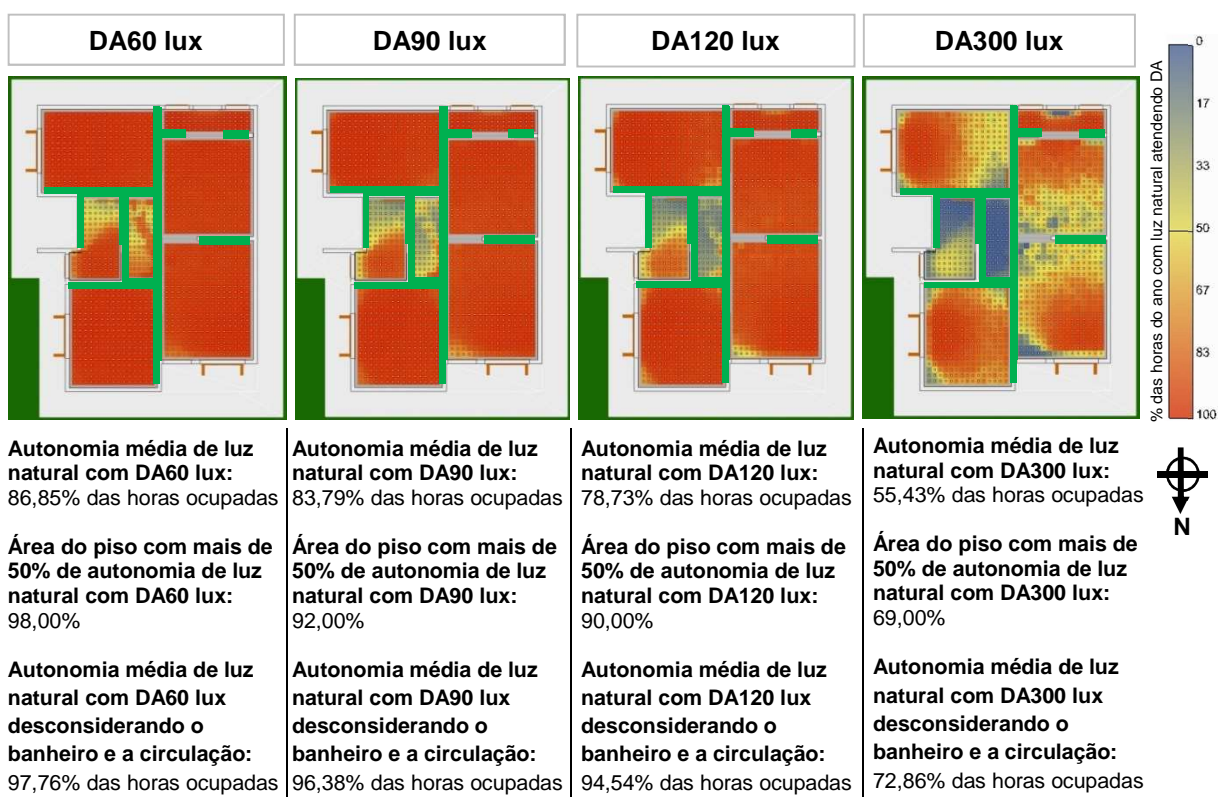
Analisou-se a seguir o PCPE em nível de desempenho superior (120 lux), onde 89,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 120 lux de iluminação natural, e 72,77% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 120 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 91,76% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Por fim, foi realizada a simulação com DA 300 lux, onde obteve-se 56,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 300 Lux de iluminação natural, e 63,41% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 300 Lux de iluminância, considerando apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro (que já possui o teto branco) e a circulação.

Na sequência, simulou-se novamente o PCPE existente, mas desta vez substituindo-se as paredes internas de tijolos a vista (25% de refletância, medida *in loco* e apresentada no Capítulo 5 deste trabalho), marcadas em verde na Figura 68, por paredes rebocadas e pintadas de branco (85% de refletância, assim como a anterior, também medida e apresentada neste trabalho).

Na Figura 68 observou-se a planta baixa do protótipo após a realização de quatro simulações da autonomia de iluminação natural, com a alteração das paredes internas de tijolos a vista (25% de refletância) por paredes rebocadas e pintadas de branco (85% de refletância), o que eleva a refletância destas superfícies em 60%. As simulações realizadas de forma dinâmica, nos níveis de desempenho mínimo (60 lux), intermediário (90 lux) e superior (120 lux), estipulados pela NBR 15.575, e também em um nível mais elevado que o superior (300 lux).

Figura 68 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com as atuais paredes de tijolo a vista rebocadas e pintadas de branco



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio dos relatórios de simulação Daysim, com 3.650 horas (10 horas por dia, das 8h às 18h) de ocupação por ano (luz do dia), do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Pôde-se perceber que 98,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 60 Lux de iluminação natural anual, e que 86,85% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 60 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 97,76% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Em relação ao nível de desempenho intermediário (90 lux), observou-se que 92,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 90 lux de iluminação natural, e que 83,79% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 90 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, esta mesma autonomia é elevada para 96,38% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

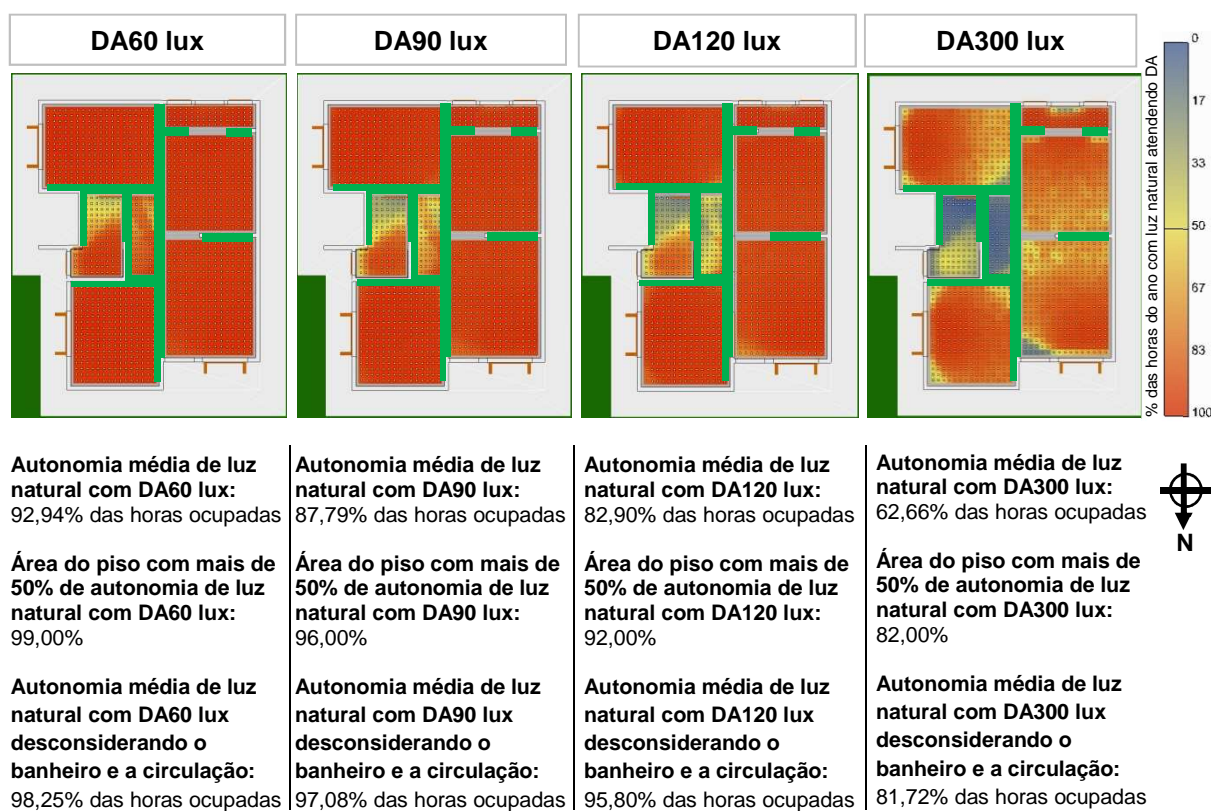
Analisou-se a seguir o PCPE em nível de desempenho superior (120 lux), onde 90,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 120 lux de iluminação natural, e 78,73% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 120 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 94,54% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Por fim, foi realizada a simulação com DA 300 lux, onde obteve-se que 69,00% da área do piso do PCPE possui mais que 50% de autonomia de luz natural com autonomia em 300 lux de iluminação natural, e 55,43% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 300 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 72,86%.

Pressupondo-se uma elevação de desempenho dinâmico da iluminação natural ainda maior, simulou-se novamente o PCPE existente, mas desta vez com a pintura branca nos tetos e substituindo-se as paredes internas de tijolos a vista (25% de refletância, medida *in loco* e apresentada no Capítulo 5 deste trabalho), marcadas em verde na Figura 68, por paredes rebocadas e pintadas de branco (85% de refletância, assim como a anterior, também medida e apresentada neste trabalho).

A Figura 68 apresenta a planta baixa do protótipo após a realização de quatro simulações da autonomia de iluminação natural, com a pintura branca (85% de refletância) nos tetos, e a alteração das paredes internas de tijolos a vista (25% de refletância) por paredes rebocadas e pintadas de branco (85% de refletância), o que eleva a refletância destas superfícies em 60%. As simulações realizadas de forma dinâmica, nos níveis de desempenho mínimo (60 lux), intermediário (90 lux) e superior (120 lux), referenciados pela NBR 15.575, e também em um nível mais elevado que o superior (300 lux) proposto pela IESNA (2012).

Figura 69 - Simulações de DA do PCPE da UFSM com os tetos pintados de branco e as atuais paredes de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco



Fonte: Organizado pelo Autor com auxílio dos relatórios de simulação Daysim, com 3.650 horas (10 horas por dia, das 8h às 18h) de ocupação por ano (luz do dia), do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Observou-se na Figura 69 que 99,00% da área do piso do PCPE apresentou mais que 50% de autonomia de luz natural na simulação com autonomia em 60 lux de iluminação natural anual, e que 92,94% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 60 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 98,25% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

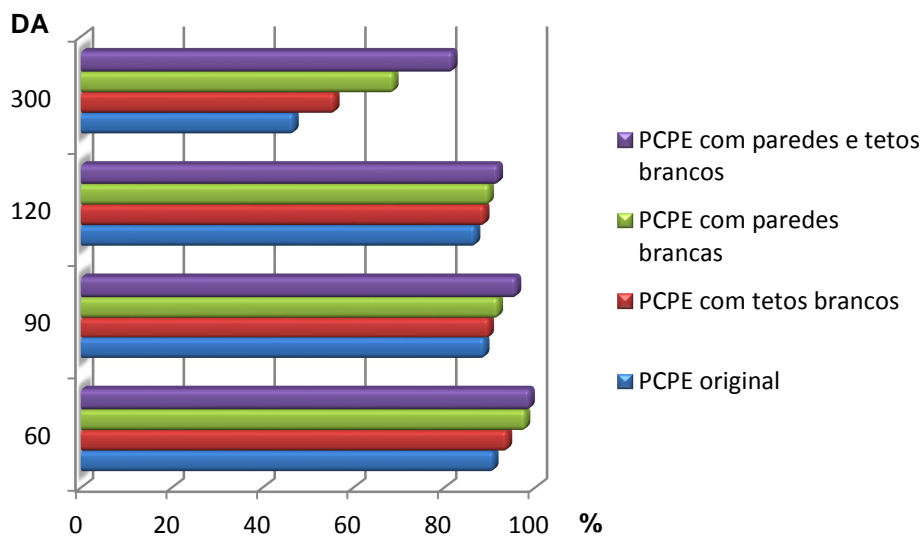
Em relação ao nível de desempenho intermediário (90 lux), observou-se que 96,00% da área do piso do PCPE apresentou mais que 50% de autonomia de luz natural na simulação com autonomia em 90 lux de iluminação natural, e que 87,79% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 90 lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, esta mesma autonomia é elevada para 97,08% das horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Analisou-se a seguir o PCPE em nível de desempenho superior (120 lux), onde 92,00% da área do piso do PCPE apresentou mais que 50% de autonomia de luz natural na simulação com autonomia em 120 lux de iluminação natural, e 82,90% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 120 Lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta mesma autonomia é elevada para 95,80% horas anuais ocupadas por iluminação natural.

Por fim, foi realizada a simulação com DA 300 lux, onde obteve-se 82,00% da área do piso do PCPE apresentou mais que 50% de autonomia de luz natural na simulação com autonomia em 300 lux de iluminação natural, e 62,66% das 3.650 horas anuais que são ocupadas por iluminação natural superam 300 Lux de iluminância, e se considerarmos apenas os ambientes de permanência prolongada, excluindo-se o banheiro e a circulação, esta autonomia é elevada para 81,72%.

A Figura 70 apresenta as porcentagens de áreas de piso do PCPE da UFSM que atingem as determinadas DAs nas simulações realizadas, onde podemos observar o aumento quantitativo da abrangência área que atingem os níveis avaliados de DA em 60 lux, 90 lux, 120 lux e 300 lux, relacionados com as modificações propostas para elevação das refletâncias das superfícies.

Figura 70 - Gráfico das porcentagens de áreas de piso do PCPE da UFSM que atingem as determinadas DAs nas simulações realizadas



Na Figura 70, pode-se observar o crescimento das áreas de piso do PCPE da UFSM que atingem as determinadas DAs nas simulações realizadas durante as 3.650 horas anuais diurnas.

No PCPE da UFSM, 91% da área do piso atingiu mais que 50% de autonomia de iluminação natural com índice mínimo de 60 lux, aumentando esta porcentagem em 3,00% ao simula-lo com o teto pintado de branco, em 7,00% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 8% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

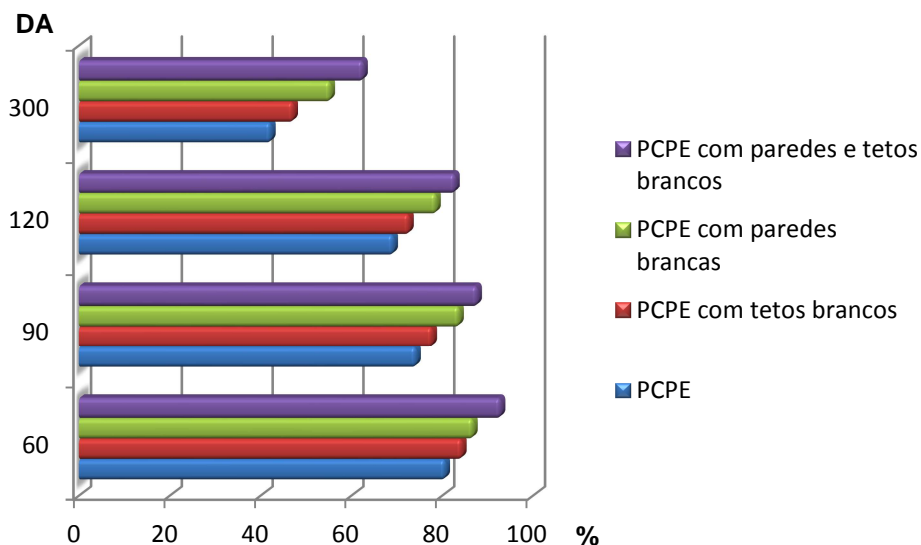
Em DA 90 lux, 89,00% da área do piso atingiu mais que 50% de autonomia de iluminação natural com este índice mínimo de iluminância, elevando esta área em 1,00% se o teto for pintado de branco, em 3,00% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 7,00% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 120 lux, 87,00% da área do piso atingiu mais que 50% de autonomia de iluminação natural com este índice mínimo de iluminância, aumentando esta área em 2,00% se o teto for pintado de branco, em 3,00% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 5,00% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 300 lux, 47,00% da área do piso atingiu mais que 50% de autonomia de iluminação natural com este índice mínimo de iluminância, elevando esta área em 9,00% se o teto for pintado de branco, em 22% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 35% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

A Figura 71 apresenta um gráfico comparativo entre as avaliações de autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM e nas outras três simulações realizadas, uma com a inclusão de pintura na cor branca aos painéis *Oriented Strand Board* (OSB), outra com a alteração das paredes internas de tijolos a vista por paredes rebocadas e pintadas de branco, e uma terceira simulação juntando as duas simulações anteriores, com as paredes e tetos brancos.

Figura 71 - Gráfico comparativo de autonomias de iluminação natural no PCPE da UFSM



Fonte: Organizado pelo Autor com base nas simulações do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Cruzando os dados da Figura 71, pode-se observar o crescimento da porcentagem das 3.650 horas anuais diurnas que são ocupadas por iluminação natural a cada simulação, em relação ao PCPE da UFSM.

Na simulação DA 60 Lux, o protótipo obteve 80,76% de autonomia de iluminação natural, aumentando a autonomia em 3,66% se os tetos forem pintados de branco, em 6,09% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 12,18% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

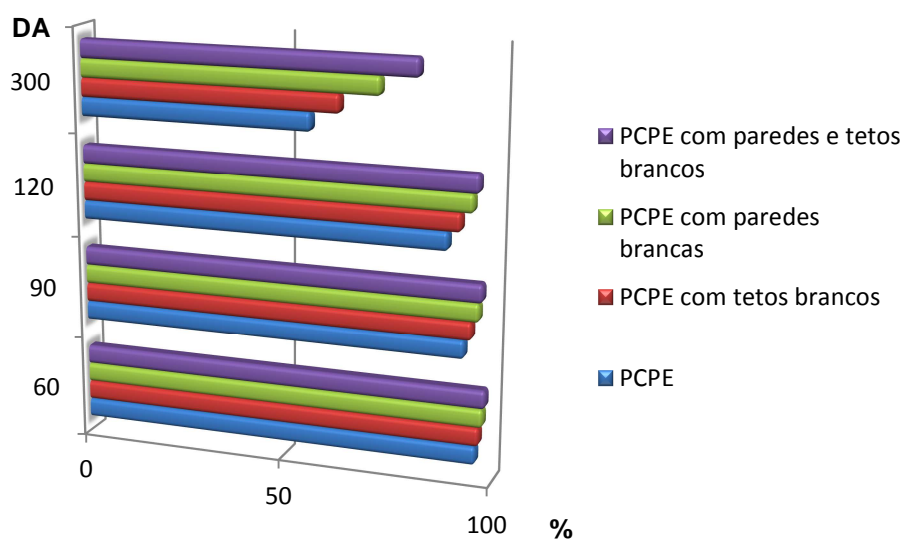
Em DA 90 Lux, a autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM alcançou 74,32%, elevando a autonomia em 3,57% se os tetos forem pintados de branco, em 9,47% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 13,47% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 120 Lux, o PCPE obteve 69,29% de autonomia de iluminação natural, aumentando a autonomia em 3,48% se os tetos forem pintado de branco, em 9,44% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 13,61% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 300 Lux, a autonomia de iluminação natural no PCPE alcançou 42,35%, elevando a autonomia em 4,92% se o teto for pintado de branco, em 13,08% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco e em 20,31% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

A Figura 72 apresenta o mesmo gráfico comparativo entre a as avaliações de autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM da Figura 70, porém, desconsiderando o banheiro e a circulação, para que sejam analisados apenas os ambientes de permanência prolongada (incluindo a cozinha/área de serviço), como é solicitado pelo RTQ-R.

Figura 72 - Gráfico comparativo de autonomias de iluminação natural no PCPE da UFSM desconsiderando o banheiro e a circulação



Fonte: Organizado pelo Autor com base nas simulações do *plugin Diva for Rhino* (2016).

Comparando os dados da Figura 72, pode-se observar o crescimento da porcentagem das 3.650 horas anuais diurnas que são ocupadas por iluminação natural, desconsiderando o banheiro e a circulação.

Na simulação DA 60 Lux, o PCPE obteve 96,22% de autonomia de iluminação natural, aumentando a autonomia em 0,74% se os tetos forem pintados de branco, em 1,54% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e

pintadas de branco, e em 2,03% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 90 Lux, a autonomia de iluminação natural no PCPE alcançou 93,10%, elevando a autonomia em 1,65 % se os tetos forem pintados de branco, em 3,28 % se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 3,98% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 120 Lux, o PCPE da UFSM obteve 88,87% de autonomia de iluminação natural, aumentando a autonomia em 2,89% se os tetos forem pintados de branco, em 5,67% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 6,93% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Em DA 300 Lux, a autonomia de iluminação natural no PCPE da UFSM alcançou 56,56%, elevando a autonomia em 6,85% se os tetos forem pintados de branco, em 16,3% se as paredes de tijolos a vista internas forem rebocadas e pintadas de branco, e em 25,16% se os tetos forem pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

A partir dos gráficos comparativos das figuras Figura 71 e Figura 72, obteve-se os dados da Tabela 23, com as porcentagens de avaliação dos diferentes níveis de DA no PCPE da UFSM e as avaliações das elevações de DA realizadas a partir das simulações com os tetos pintados de branco, com as paredes de tijolos a vista internas rebocadas e pintadas de branco, e aliando os tetos pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

Na Tabela 23, observa-se o crescimento dos índices de autonomia da iluminação natural no PCPE após as simulações com pinturas na cor branca, seja nos tetos, nas paredes, ou em ambos, os dados mais importantes são os que se referem aos ambientes de permanência prolongada, ou seja, sem a inclusão do banheiro e da circulação.

Tabela 23 - DA no PCPE da UFSM e as porcentagens de elevação de DA após as simulações

Nível de análise de DA (Lux)	DA no PCPE (%)		Aumento de DA no PCPE com teto branco em relação ao PCPE original (%)		Aumento de DA no PCPE com as paredes de tijolo a vista internas rebocas e pintadas de branco em relação ao PCPE original (%)		Aumento de DA no PCPE com os tetos pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco, em relação ao PCPE original (%)	
	Com banheiro e circulação	Sem banheiro e circulação	Com banheiro e circulação	Sem banheiro e circulação	Com banheiro e circulação	Sem banheiro e circulação	Com banheiro e circulação	Sem banheiro e circulação
	60	80,76	96,22	3,66	0,74	6,09	1,54	12,18
90	74,32	93,10	3,57	1,65	9,47	3,28	13,47	3,98
120	69,29	88,87	3,48	2,89	9,44	5,67	13,61	6,93
300	42,35	56,56	4,92	6,85	13,08	16,30	20,31	25,16

Fonte: Organizado pelo Autor com base nas simulações do *plugin Diva for Rhino* (2016).

É evidente que ao aumentar os índices de refletância das superfícies automaticamente se eleva a autonomia da iluminação natural, porém, pode-se perceber um crescimento pouco relevante das autonomies para iluminâncias consideradas de desempenho mínimo (60 Lux), intermediário (90 Lux) e superior (120 Lux) descritas na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013 c), frente à adaptação do protótipo ao requisito de obtenção de refletâncias acima de 60% requerida pelo RTQ-R (BRASIL, 2010 b), onde a simulação com a pintura do teto na cor branca elevou esta superfície de 37% para 85%, entretanto, sua autonomia de iluminação natural cresceu apenas 0,74% em DA 60 Lux, 1,65% em DA 90 Lux e 2,89% em DA 120 Lux, valores relativamente baixos tendo-se em vista que o aumento de refletância do teto foi de 48%.

Nas simulações seguintes, com as paredes de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco, porém, mantendo-se os tetos com a refletância atual de 37%, os índices de autonomia de iluminação natural praticamente dobraram em todos os níveis de desempenho comparado às simulações com teto branco, percebendo-se o crescimento de 1,54% em DA 60 Lux, 3,28% em DA 90 Lux e 5,67% em DA 120

Lux, onde houve elevação de refletância foi de 25% (tijolo a vista) para 85% (pintura branca).

Outro fator relevante, ainda na Tabela 23, nas simulações que desconsideram o banheiro e circulação, é que o aumento na porcentagem de autonomia de iluminação natural é crescente a cada escala de iluminância proposta nas simulações de DA comparando-se com as suas respectivas simulações de DA no protótipo original, comprovando-se esta elevação, nos resultados crescentes apresentados anteriormente e destacando-se pelas simulações de DA 300 lux, que possui uma escala de avaliação maior que as demais simulações e obteve um crescimento de autonomia de 6,85% na simulação com o teto branco, 16,30% na simulação com as paredes de tijolos a vista rebocadas e pintadas de branco, e chegou a 25,16% de aumento em relação ao PCPE original ao aliar os tetos pintados de branco e as atuais paredes internas de tijolo a vista rebocadas e também pintadas de branco.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões encontradas na presente pesquisa, além de serem expostas algumas considerações finais, como as limitações do trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Este trabalho visou analisar o comportamento dinâmico da luz natural no interior do Protótipo de Casa Popular Eficiente da UFSM. Para tanto, buscou-se resultados que avaliassem o fenômeno da iluminação natural de uma forma espacial, dinâmica e com uma metodologia prática e eficiente aos projetistas de arquitetura ou especificamente de iluminação.

Iniciou-se a aplicação do estudo com a obtenção dos níveis de refletâncias do PCPE por medições *in loco*, onde foram constatados baixos índices nas paredes de tijolos a vista (25%) e no teto (37%). Resultados contrários aos padrões de refletâncias recomendados para paredes, 50% a 70%, e teto, 70% a 90% (PEREIRA; SOUZA, 2005), entretanto, não foi constatado um desempenho ruim de iluminação natural com estes índices existentes, provavelmente por se tratar de uma HIS, com ambientes bastante compactos e pelas exigências mínimas das normas brasileiras serem bastantes baixos. Mesmo assim, foram realizadas simulações com o ajuste dos níveis de refletâncias, onde foram encontrados resultados ainda mais satisfatórios ao se simular a aplicação de pintura na cor branca em locais estratégicos do protótipo.

Com a simulação de iluminância útil de iluminação natural, pode-se verificar de forma dinâmica que todos os ambientes de permanência prolongada superaram 80% de horas diurnas do ano com luz natural (10 horas por dia, das 8h às 18h) na faixa de iluminâncias considerada de conforto visual (entre 100 Lux e 2000 Lux) (MARDALJEVIC; NABIL, 2005), com 88% da área do piso atingindo mais que 50% de autonomia de iluminação natural dentro desta faixa de iluminâncias.

Na avaliação dinâmica baseada nos parâmetros iluminâncias da NBR 15575-1, que propõe que os níveis gerais de iluminâncias nas dependências sala de estar, dormitórios, cozinha e área de serviço, das construções habitacionais, devem

atender ao mínimo 60 lux, aplicando-se um método de simulação, sendo medida a iluminância do ponto central de cada um dos ambientes mencionados, em dois horários, as 09h30min e as 15h30min, dos dias 23 de abril e 23 de outubro. O PCPE não só atingiu o desempenho mínimo de 60 Lux, como também os desempenhos intermediário (90 Lux) e superior (120 Lux).

Na avaliação da iluminação natural pelo RTQ-R, a soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente foi avaliada de modo a atender o mínimo de 12,50% da área útil do ambiente (embora o Código de Obras da cidade de Santa Maria preveja 16,66%), o qual apenas o ambiente cozinha / área de serviço obteve este índice, já caracterizando o PCPE com no máximo nível C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração. Em seguida, foram aplicados os dois métodos do RTQ-R, o prescritivo e o de simulação. No método prescritivo, todos os ambientes foram aprovados na avaliação da profundidade dos ambientes de permanência prolongada com iluminação natural proveniente de aberturas laterais, entretanto, os mesmos foram reprovados no quesito refletância do teto, o qual deveria ser superior a 60% e as medições deste trabalho constataram que o índice de refletância atual do teto com painéis OSB é de 37%. No método de simulação todos os ambientes foram aprovados em suas avaliações de autonomia.

A autonomia de iluminação natural foi avaliada individualmente, por ambiente, e também em um contexto geral, também foram simuladas elevações dos níveis de autonomia, e aplicados novos índices de refletâncias para o teto e as paredes de tijolos a vista, onde se obteve resultados positivos. Por recomendação da IESNA (2012), nas simulações com DA 300 lux, os ambientes avaliados devem atender o mínimo de 300 lux em pelo menos 50% da área do piso do ambiente proposto, neste critério tanto o PCPE original como as demais simulações superaram este índice.

6.2 Limitações do Trabalho

Ao longo da pesquisa, foram encontradas algumas limitações referentes às simulações computacionais para a determinação das avaliações dinâmicas da iluminação natural, descritas a seguir:

- Tempo das simulações: Embora o estudo não tenha envolvido um número de simulações consideravelmente alto no resultado final, foram realizadas muitas simulações de teste, para verificar a correta configuração de materiais, geometria tridimensional e padrões de simulação. A velocidade na geração dos resultados foi determinante para a evolução do trabalho, no *plugin Diva for Rhino*, as simulações de autonomia de iluminação natural por ambientes demoravam de 15 minutos a 30 minutos, já as simulações de autonomia de iluminação natural para todos os ambientes do protótipo levavam de 1 hora a 3 horas, e as simulações mais extensas, de iluminâncias úteis de iluminação natural, chegavam a demorar até 4 horas. As longas extensões de tempo das simulações devem-se principalmente ao grande volume de sensores utilizados, 1.240 unidades em todo o protótipo.

- Para a realização das simulações, além do arquivo climático SWERA, também foi testado outro arquivo do tipo *epw* recomendado pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina, o INMET compilado por Roriz (2012), com dados climáticos de um período de 10 anos, com ano de referência 2003, para a cidade de Santa Maria, porém, este arquivo não funcionou da forma esperada, zerando os resultados de simulações, e por isso não foi utilizado neste trabalho.

- Foi trabalhado com condições específicas de localização e entorno para o PCPE da UFSM, considerando-se a implantação um loteamento de HIS é necessário simular as condições de entorno com as edificações vizinhas.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Simular UDI e DA rotacionando o PCPE da UFSM existente nas demais orientações solares, para avaliar e comparar os fenômenos dinâmicos de iluminação natural no interior da edificação sob o ponto de vista da replicação deste protótipo em um possível loteamento sustentável e de interesse social.

- Avaliações pós ocupação de desempenho de iluminação natural em diferentes tipos de edificações.

- Simulações de desempenho de iluminação natural de UDI e DA, para estudos de implantação de novos projetos de arquitetura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCO. Jornalismo Científico e Cultural. Santa Maria: UFSM, 2014. Trimestral. ISSN: 2318-0757.

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

_____. Publicada a nova versão da Norma de Desempenho de Edificações. Rio de Janeiro, 2013 b. Disponível em: < http://www.abnt.org.br/m5.asp?cod_noticia=1230&cod_pagina=962>. Acesso em: 28 nov. 2014.

_____. **NBR 15.575-1**. Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013 c.

_____. **NBR 15.215-1**. Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005 a.

_____. **NBR 15.215-2**. Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 b.

_____. **NBR 15.215-3**. Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005 c.

_____. **NBR 15.215-4**. Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 d.

_____. **NBR 5413**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5461**. Terminologia de Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

BARGHINI, A. **Influência da Iluminação Artificial Sobre a Vida Silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos**. 2005, 242 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. London: Routledge, 392 p. 1992.

BOGO, A. J. **Método para Avaliação da Admissão de Luz Natural Através de Aberturas com Elementos de Controle Solar**. 2007, 308 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BRASIL. Infraestrutura: Com nova fase, Minha Casa Minha Vida vai alcançar 4,6 milhões de casas construídas. **Portal Brasil**. Brasília, 01 abril 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/03/minha-casa-minha-vida-chega-a-3a-fase-com-2-milhoes-de-novas-moradias-ate-2018>>. Acesso em 12 de junho de 2016.

_____. Portaria 395, de 11 de outubro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2010 b.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Programa Minha Casa Minha Vida - Recursos FAR. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

CARLO, J C; LAMBERTS, R. **Relatório Técnico: LabEEE-200504. Processamento de arquivo climático para simulação do desempenho térmico de edificações.** ELETROBRÁS/PROCEL, Florianópolis, SC, 2005.

CASTAÑO, A. G. **Avaliação e Calibração de um Céu Artificial para Estudos de Iluminação Natural com Modelos Físicos em Escala Reduzida.** 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CRONE, S. M. D. Radiance User's Manual, Architectural Dissertation, Vol. 2, 1992. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/usman2.pdf>>. Acesso em 30 de maio de 2016.

DIVA FOR RHINO. What is DIVA-for-Rhino?, Cambridge, MA, USA. 2016. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>. Acesso em 30 de maio de 2016.

ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, Juan Guasch Farrás, Capítulo 46 (Iluminación), Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GEPETECS. Casa Popular Eficiente. Disponível na Internet <<http://coral.ufsm.br/gepetecs/index.php/projetos/casa-popular-eficiente>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação. **VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Florianópolis. p. 401-409. 1998

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Avaliação das condições de iluminação natural nas salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina. In: Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: Antac: 1997. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20Natural/Pesquisa/avaliaca_das_condicoes_de_iluminacao_natural_em_salas_de_aula.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2016.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma Metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: Estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GOOGLE MAPS. Imagem aérea via Satélite do Campus da Universidade Federal de Santa Maria. Disponível na Internet <<https://www.google.com.br/maps/@29.719107,-53.7145319,954m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

GRIGOLETTI, G. de C. Fundamentos Físicos da Luz, 2014. Disponível na Internet <<http://slideplayer.com.br/slide/1790448/>>. Acesso em: 01 ago. 2016

HOPKINSON R.G.; LONGMORE, J.; PETHERBRIDGE, P. Iluminação Natural. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Demográfico 2010. Disponível na Internet <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2014.

IESNA. IES LM-83-12. IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, NY, USA, 2012.

JACOBS, A. **Radiance Tutorial**, 2012. p. 8. Disponível em: <http://www.jaloxa.eu/resources/radiance/documentation/docs/radiance_tutorial.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2016.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. **The “ adaptive zone ” - a concept for assessing glare throughout daylight spaces**. 2011, USA: Harvard University , Graduate School of Design , Department of Architecture Basis of Discomfort Glare, 2011.

JARAMILLO, C. B. Alterações na distribuição da luz natural causados pelos agrupamentos de estudantes em salas de aula. 2014, 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

KAWASAKI, J. I. A nova norma brasileira NBR ISO 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Disponível na Internet <http://atitudeeventos.com.br/cursos/pluginfile.php/58/mod_resource/content/0/CINASE%202013-%20Juliana.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2014.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural**: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª edição. São Paulo: ProLivros, 2014.

MACHADO, R. M. e S.; VAGHETTI, M. A. O. Casa Popular Eficiente: Desempenho Térmico Durante o Inverno. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC’ 2015**. Fortaleza. Brasil. 2015. Disponível em: <http://www.confrea.org.br/media/Civil_casa_popular_eficiente_desempenho_termico_durante_o_inverno.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

MARKVART, T.; CASTAÑER, L. **Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications**. Oxford: Elsevier, 2003. Disponível em: <http://science.gov.tm/projects/soltme/images/database/46_Practical_Handbook_of_Photovoltaics.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

MARDALJEVIC, J. **Daylight metrics and energy savings**. California: SAGE, 2011.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research and Technology** 32, 3 (1 2000), 111–118.

MARDALJEVIC, J. CHRISTOFFERSEN, J. A Roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings. In: 28th Session of the CIE Sun City. **Anais..** Paris: CIE, 2013.

MARDALJEVIC, J; Hescong L.; Lee; E.S. Daylight metrics and energy savings. **Published in Lighting Research + Technology**, p.1-23. 2009. Disponível em: <<https://buildings.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-4585e.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

MARDALJEVIC, J; NABIL, A. **The Useful Daylight Illuminance Paradigm: A Replacement for Daylight Factors**. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD). Leicester, Reino Unido. 2005.

MASCARÓ, L. R. de. **Luz, Clima e Arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MONTEIRO, C. A. F. **O Estudo Geográfico do Clima**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. V. 01. 71 p.

MORAES, L. N.; PEREIRA, F. O. R. **Desenvolvimento de um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da luz natural e sua influência sobre a eficiência energética**. III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo/arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva. São Paulo, 2014.

PEDROSA, Israel. **Da cor à cor inexistente**. 5. ed. Rio de Janeiro: Leo Christiano/UNB, 1989.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **User's manual for TMY2s and TMY2sm typical meteorological years derived from the 1961-1990**. Colorado: NREL, 1995.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. de. **Iluminação**. Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental. 1995 / 2005

PEREIRA, R. C. **Avaliação de Ferramentas de Simulação de Iluminação Natural por Meio de Mapeamento Digital de Luminâncias da Abóbada Celeste e**

Entorno. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. **Código de Obras e Edificações do Município de Santa Maria:** Santa Maria: Secretaria de Município de Gestão e Modernização Administrativa, 2009. 62 p.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and environment*, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2011. Disponível em: <<http://www.gsd.harvard.edu/research/gdsquare/Publications/HolisticDaylightingDesignEvaluations.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2015.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, v.3, v.1, p. 7-31. 2006.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: IX International Building Simulations Conference. **Anais..** Montreal: IBPSA, 2005.

RORIZ, Maurício. In: Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012. Disponível em:< http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2016.

ROSSI, J. G.; ONGARO, A. D.; PINHEIRO, M. A. S.; VAGHETTI, M. A. O.; PAIXÃO D. X. da. Avaliação de Propriedades Acústicas da “Casa Popular Eficiente”. **EURO ELECS 2015**. Guimarães. Portugal. 2015. Disponível em: <http://civil.uminho.pt/euro-elecs-2015/files/Euro-ELECS_2015-Proceedings_Vol3.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SOUSA, J. A. de B. de. **Iluminação Natural em Edificações Residenciais: Dimensionamento de Aberturas Laterais (Janelas) no Contexto do Distrito Federal.** 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SWERA. Solar and Wind Energy Resource Assessment. Disponível na Internet < [http://en.openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](http://en.openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))>. Acesso em: 14 fev. 2016.

WEISS, T.; TAMURA, C.; KRÜGER, E. L. Uso de simulação computacional como suporte a um estudo de iluminação natural em câmara climática. **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, ENCAC/ELACAC 2015. Campinas. Brasil. 2015. Disponível em: < https://www.academia.edu/18746657/USO_DE_SIMULA%C3%87%C3%83O_COM_PUTACIONAL_COMO_SUORTE_A_UM_ESTUDO_DE_ILUMINA%C3%87%C3%83O_NATURAL_EM_C%C3%82MARA_CLIM%C3%81TICA>. Acesso em: 05 jun. 2016.