

Rejane Alexandra Silva Mendes

O impacto dos dispositivos de proteção solar no comportamento da luz natural em
edificações residenciais em Belo Horizonte

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura da UFMG
2015

Rejane Alexandra Silva Mendes

O impacto dos dispositivos de proteção solar no comportamento da luz natural em edificações residenciais em Belo Horizonte

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura da UFMG
2015

Monografia defendida junto ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais em 18 de dezembro de 2015, pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Iraci Stensjö - UFMG

Camila Carvalho Ferreira - UFMG

AGRADECIMENTOS

A Deus, o autor e consumidor da minha fé. Sem tua graça Senhor eu não poderia superar as inúmeras barreiras que por vezes encontro em meu caminho, obrigada por me fazer superar toda e qualquer situação adversa, em especial por mais esta vitória;

À minha filha Valentina e ao meu esposo Wanderson que abriram mão de meu tempo e dedicação para que eu pudesse me dedicar e concluir este trabalho;

Aos meus pais pelo amor e apoio incondicional;

À professora Iraci por ter me acolhido como orientanda na reta final deste curso, pelas orientações e metas que me fizeram chegar ao meu objetivo;

À Camila Carvalho Ferreira, pelo treinamento no software Daysim;

Aos professores e mestres por todo conhecimento compartilhado;

Aos colegas pela rica troca de experiências;

Aos amigos pelo incentivo e força.

RESUMO

A presente monografia de especialização surgiu da intenção em analisar qual seria o impacto dos dispositivos de proteção solar na iluminação natural em edificações residenciais localizadas na cidade de Belo Horizonte. Estudos sobre o comportamento da iluminação natural em fachadas protegidas da radiação solar podem contribuir com o Programa Brasileiro de Etiquetagem das Edificações, mais especificamente com o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R).

O estudo partiu da criação de um modelo hipotético de sala residencial, cuja abertura foi proposta no sentido de seu comprimento tendo em vista entender o alcance da profundidade da luz dentro do ambiente. O posicionamento desta abertura segundo os oito quadrantes de determinação de fachada contidos no anexo I, da portaria INMETRO Nº 018/ 2012, permitiu a avaliação da necessidade de proteção solar para cada uma das fachadas, assim como o dimensionamento desta proteção.

Para a obtenção de resultados mais completos adotou-se a simulação computacional para verificar autonomia da luz natural em fachadas que utilizam dispositivos de proteção solar. O Daysim, software escolhido permitiu realizar o cálculo de iluminância interna no período de um ano, minimizando o tempo de simulação. A partir da simulação foi possível analisar qual é o impacto destes dispositivos de proteção sobre a distribuição interna da luz natural, bem como verificar se o valor da iluminância mínima requerida para a realização das tarefas para este ambiente foi atingida, e ainda, em qual proporção das horas do dia no dado período de utilização se atinge esta iluminância sem o incremento de luz artificial.

Palavras-chave: Arquitetura, Eficiência Energética, Dispositivos de Proteção Solar e Iluminação Natural.

ABSTRACT

The present specialization monograph comes from the intention to analyse what would be the impact of the artifacts of solar protection in the natural lighting located in residential constructions in the city of Belo Horizonte. Studies about the behavior of the natural lighting in protecting façades of the solar radiation may contribute to the Brazilian Program of Labelling of the Constructions, more specifically with the regulations of technical quality of the level of energy efficiency of residential buildings. The study comes of the creation of a hypothetical model of residential room, whose opening was proposal in the sense of your behavior in view of understanding within range of the depth of the light of the environment. The positioning of this opening according to the eight quadrants of determination contained in front of the annex I, of the INMETRO ordinance No 018/ 2012, allowed the evaluation of the need of solar protection for each of the façades, as well as the dimensioning of this protection.

For the attainment of more complete results it was adopted computational simulation to check autonomy of light in façades natural to use solar artifacts of protection. The Daysim, chosen software allowed to perform the calculation of the internal lighting in the period of the one year, minimizing the simulation time. Since this simulations was possible to analyse what is the impact of these artifacts protection on the internal distribution of natural light, just like checking if the value of the required minimum for lighting to the realization of tasks for this environment was stricken, and yet, which proportion of the hours of the day in the period of the utilization this lighting level is stricken without the increment of the artificial light.

Key words: Architecture, Energy Efficiency, Artifacts of Solar Protection, Natural Lighting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala de cores para preenchimento da carta solar para a cidade de Belo Horizonte - (ZB3).....	24
Figura 2 - Radiação solar incidente (W/m^2) nas regiões de céu considerando 2/10 de céu.	24
Figura 3 - Modelos de transferidores auxiliares.....	26
Figura 4 - Máscaras de proteção solar para a cidade de Belo Horizonte (opção 1 de mascaramento das aberturas grandes).....	27
Figura 5 - Máscara de proteção solar para a cidade de Belo Horizonte (opção 2 de mascaramento das aberturas grandes).....	27
Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	30
Figura 7 - carta solar da cidade de Belo Horizonte.....	31
Figura 8 - Planta do modelo hipotético	33
Figura 9 - Corte esquemático do modelo hipotético	33
Figura 10 - Ângulos de proteção solar mínimo por fachada para a cidade de Belo Horizonte, com marcação das fachadas que não necessitam de proteção solar	34
Figura 11 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada norte....	35
Figura 12 – Dimensionamento de proteção solar para a fachada noroeste	36
Figura 13 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada oeste ...	36
Figura 14 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada sudoeste	37
Figura 15 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada sul	37
Figura 16 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada leste	38
Figura 17 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada norte.....	41
Figura 18 - Iluminância média para a fachada norte	41
Figura 19 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada noroeste	42
Figura 20 - Iluminância média para a fachada noroeste.....	42
Figura 21 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada oeste	43

Figura 22 - Iluminância média para a fachada oeste.....	43
Figura 23 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada sudoeste.....	44
Figura 24 - Iluminância média para a fachada sudoeste	44
Figura 25 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada sul.....	45
Figura 26 - Iluminância média para a fachada sul.....	45
Figura 27 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada leste.....	46
Figura 28 - Iluminância média para a fachada leste	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores determinantes da iluminação adequada	20
Tabela 2 - Iluminância por classe de tarefa visual.....	20
Tabela 3 - Temperatura horária média mensal para a cidade de Belo Horizonte	23
Tabela 4 - Ângulos de proteção solar mínimo por fachada para a cidade de Belo Horizonte.....	28
Tabela 5 - Levantamento de dados para confecção do modelo hipotético	32
Tabela 6 - Resumo dos dados de simulação	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE – Commission Internationale de l’Eclairage
DA – Daylight Autonomy
DF – Daylight Factor
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ONU – Organização das Nações Unidas
PAF – Percentual de Abertura de Fachada
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIB – Produto Interno Bruto
RTQ-R – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
T – Temperatura, (°C)
Te - Temperatura do ar média mensal (°C)
Tmn - Temperatura média mensal mínima, (°C)
Tmx - Temperatura média mensal máxima, (°C)
Tn - Temperatura neutra (°C)
WMO – Organização Mundial de Meteorologia
ZB – Zoneamento Bioclimático
 α_r : ângulo de proteção horizontal recomendado;
 γ_{er} : ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção recomendado;
 γ_{dr} : - ângulo de extensão lateral direito da proteção recomendado;
 β_{er} : - ângulo de proteção vertical esquerdo recomendado;
 β_{dr} : - ângulo de proteção vertical direito recomendado;
 α_p : ângulo de proteção horizontal projetado;
 γ_{ep} : ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção projetado;
 γ_{dp} : ângulo de extensão lateral direito da proteção projetado;
 β_{ep} : ângulo de proteção vertical esquerdo projetado;
 β_{dp} : ângulo de proteção vertical direito projetado;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 Introdução	14
3.2 Iluminação Natural	16
3.3 Dispositivos de proteção solar	17
3.4 Unidades da Iluminação	19
3.5 Normas de Iluminação.....	19
3.6 Método para dimensionamento das proteções solares	21
3.6.1 <i>Confecção da carta solar com plotagem de temperatura</i>	21
3.6.2 <i>Tratamento dos dados climáticos</i>	21
3.6.3 <i>Cálculo da temperatura neutra mensal</i>	22
3.6.4 <i>Variações da temperatura média mensal em relação à temperatura neutra</i> <i>22</i>	
3.6.5 <i>Determinação da escala de cores para plotagem na carta solar</i>	23
3.6.6 <i>Plotagem de radiação solar por fachada nas cartas solares</i>	24
3.6.7 <i>Níveis de radiação considerados</i>	25
3.6.8 <i>Definição da faixa de proteção solar</i>	25
3.6.9 <i>Ângulos mínimos dos dispositivos de proteção solar</i>	25
3.6.10 <i>Geração de dispositivos de proteção solar</i>	26
3.6.11 <i>Ângulos de proteções solares mínimas recomendados</i>	28
4 METODOLOGIA	29
4.1 Variáveis da simulação	29
4.2 Definição do modelo.....	31
4.3 Verificação das fachadas que necessitam de proteção solar.....	34
4.4 Dimensionamento das proteções solares	35
4.5 Simulação	38
4.6 Resultados das simulações computacionais.....	40
4.7 Avaliação dos resultados.....	47
5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

As restrições energéticas e a sustentabilidade são temas que há tempos são objeto de discussão mundial. Desde a grande crise do petróleo ocorrida em 1973, o setor energético vem passando por sucessivas crises. Este cenário, fez com que os governos internacionais se unissem na busca de alternativas que pudessem diminuir o impacto da ação do homem sobre o planeta. Assim, surgiram nesta mesma década, as conferências internacionais¹ elaboradas pela ONU. O objetivo principal destas conferências seria discutir e propor um compromisso político das nações com o desenvolvimento sustentável. Esses compromissos resultam em metas que visam reduzir tais impactos.

Dentro deste contexto, podemos destacar o ramo da construção civil como um dos maiores consumidores de água e energia e, portanto, um dos maiores causadores dos impactos negativos sobre o meio ambiente. Além do gasto energético que envolve todo o processo construtivo, as edificações requerem ao longo de sua vida útil uma demanda energética que só aumenta na medida em que nossa sociedade “evolui” no sentido tecnológico. Toda essa discussão em torno do desenvolvimento sustentável e da gestão dos recursos naturais fez surgir em todo o mundo sistemas de reconhecimento das práticas sustentáveis para as edificações. Estas práticas resultam em certificações que atestam o grau de sustentabilidade e eficiência energética da edificação.

No cenário nacional, após a crise de racionamento de energia ocorrida em 2001, foi regulamentada a Lei de n. 10295 de 17 de outubro de 2001, que estabeleceu que deveriam ser criados níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil, assim como para as edificações construídas. No tocante às edificações residenciais, foi lançado em 2010, no Brasil, Regulamento Técnico da qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R),

¹ Conferência de Estocolmo em 1972, ECO 92 no Rio de Janeiro, Rio+10 em Johannesburgo e Rio+20 no Rio de Janeiro.

que tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.

O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

A partir das certificações para as edificações de uso residencial através do RTQ-R, as práticas sustentáveis e a eficiência energética nos projetos de arquitetura de uso residencial ganham importância dentro contexto arquitetônico nacional. Além disso, o atual panorama da crise energética, a falta de investimentos no setor e as condições hidrológicas desfavoráveis requerem que todos os setores da sociedade repensem sua forma de atuação e o consequente impacto de suas atividades na manutenção desta crise.

Analisando o contexto das edificações de uso residencial, percebemos que na última década houve um aumento significativo na demanda de energia requerida pelo setor. Em 2013, por exemplo, a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) registrou uma taxa de crescimento de 4,5% ante a evolução do PIB nacional de 2,3%, segundo o último dado divulgado pelo IBGE. Pelo segundo ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período, houve redução da oferta de energia hidráulica. Neste mesmo ano, esse decréscimo foi de 5,4%. Entretanto, o consumo de energia no setor residencial aumentou 3,6% no biênio de 2013 - 2014, enquanto no setor industrial caíram 5,5% no mesmo período (MINISTÉRIO..., 2009).

Esse aumento na demanda de energia no setor residencial se deve entre outros fatores, às políticas de redução de impostos durante a crise econômica para alguns bens de consumo da linha branca e ao aumento da renda per capita no país. Para a companhia de eletricidade CPFL, que atua no Estado de São Paulo, um fato que merece destaque é a crescente demanda de equipamentos de condicionamento de ar pelo setor residencial ocorrido nas últimas décadas.

Como a transferência de calor do ambiente externo para o ambiente interno se dá quando a radiação solar direta incide sobre a edificação, boa parte desta transferência acontece pelas fachadas, mais especificamente sobre suas aberturas.

Assim, o tipo de fachada influi diretamente no consumo de energia da edificação, tornando necessário, em climas tropicais como o nosso, proteger as fachadas, principalmente suas aberturas da radiação solar direta. O objetivo desta proteção é impedir o ganho de carga térmica por radiação solar direta.

É muito comum vermos abordagens deste tipo de estudo, porém voltadas apenas aos setores comerciais e de serviços. Entretanto, com o incremento do RTQ-R, este tema volta a ter importância também dentro do setor residencial. Além disso, a não complexidade dos sistemas envolvidos em um projeto de uso residencial, permite que o arquiteto controle com maior facilidade todo o processo construtivo. Outro fato que merece destaque, diz respeito ao relacionamento direto entre o autor do projeto e o usuário final de sua proposta. Esta relação facilita as decisões arquitetônicas, principalmente às decisões relacionadas ao comportamento deste usuário e a relação que este terá com a edificação.

Porém, toda esta discussão gera uma grande responsabilidade sobre a figura do arquiteto projetista e coloca em discussão o atual modelo de concepção e construção dos edifícios. Utilizar a arquitetura para controlar com maior eficácia a radiação solar direta, reduzir o aporte de carga térmica e aumentar o potencial de economia de energia da edificação, pode parecer tarefa fácil. No entanto, quando se trata de sustentabilidade e eficiência energética, é preciso pensar de uma forma mais global e não apenas em sistemas isolados. Sendo assim, este estudo se propõe a avaliar exatamente qual é o impacto dos dispositivos de proteção solar na iluminação natural dentro das edificações.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste em verificar através da simulação computacional qual é o impacto dos dispositivos de proteção solar no comportamento da luz natural no interior das edificações residenciais situadas na cidade de Belo Horizonte.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos se resumem em compreender exatamente qual é o impacto causado pelas proteções solares, dentro de uma faixa horária, que compreende um período de horas do dia quando há grande disponibilidade de luz natural na abóboda celeste, nos níveis internos de iluminação em torno duas variáveis específicas:

- Verificar qual é o valor de Daylight Autonomy (DA), que corresponde à autonomia da luz do dia, ou seja, qual é a porcentagem de horas em que o nível mínimo de iluminância interno é atingido apenas com a luz natural.
- Verificar qual é o valor médio do nível de iluminância interna (ILL) e comparar esse valor ao mínimo requerido para aquele ambiente.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Introdução

A tecnologia permite controlar em grande parte as condições interiores de um edifício. No entanto, a aplicação de elementos com certo grau de sofisticação tecnológica, em especial nos países subdesenvolvidos, implica em custos mais elevados, dependência de conhecimentos externos e, em alguns casos em um maior consumo energético. De acordo com BROWN, DEKAY (2004), o projetista deve entender como a edificação utilizará a energia para que, ainda em fase de estudo possa utilizar estratégias de projeto que adeque a edificação ao ambiente em que esta será inserida.

Utilizar elementos arquitetônicos com o objetivo de melhorar as condições de conforto interno dos edifícios e, conseqüentemente, a de seus usuários constitui uma técnica passiva de melhoria do conforto térmico e influi diretamente no balanço energético das edificações. De acordo com FROTA (2004), as alterações impostas ao meio ambiente pelo homem podem, entretanto, ser mais conscientes e voltadas para o aproveitamento das qualidades ambientais, ou mesmo atuar na atenuação de suas características inconvenientes.

No tocante às edificações, é tarefa do projetista propor espaços que promovam o conforto de seus usuários. Conforto, segundo MASCARÓ (1980), é função da relação que o homem estabelece com o meio ambiente e esta relação é dependente daquilo que o meio possibilita ao indivíduo em termos de luz, som, calor, uso, além das experiências de cada indivíduo. Ainda segundo MASCARÓ (1980), o arquiteto projeta para o homem e, portanto, deve ter como seu objetivo maior promover o bem-estar dos indivíduos no seu sentido mais amplo, ou seja, atingir o conforto psicofísico e social daqueles que usam o espaço que ele propõe.

Além da questão do conforto ambiental e da crise energética já mencionada, é preciso repensar o atual modelo de produção das edificações no Brasil. A repetição de modelos advindos de outros países, como as caixas de vidro ou pela adoção de fachadas envidraçadas e sem o menor critério, demonstra uma completa incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e produção arquitetônica nacional. De acordo com FROTA (2004), a internacionalização da arquitetura, o incremento de novos materiais e o uso de técnicas de construção advindas dos países desenvolvidos de clima frio imprimiu uma marca histórica em nossa arquitetura marcada por uma expressão arquitetônica puramente estética.

“A imprevista liberdade expressiva, tornada possível graças aos novos materiais (cimento armado, aço e vidro), pela potência e versatilidade das máquinas de obra e pelas instalações de aquecimento e condicionamento, desencadeou uma rajada de loucura projetual que atravessou e transformou uma disciplina, a arquitetura, de síntese entre o útil e o belo em uma expressão unicamente estética. (BUTERA, 2009, p. 174).”

Analisando o panorama atual das edificações brasileiras, podemos dizer que alguns projetistas, abandonaram os princípios básicos da arquitetura bioclimática e demonstram uma completa falta de preocupação com as questões preliminares que correspondem à implantação, a orientação das fachadas, a incidência da radiação solar pelas aberturas, entre outras questões que deveriam ser parte fundamental dos estudos preliminares de um projeto.

Se analisarmos a arquitetura brasileira da década de 30 até meados de 60, (coincidentemente a época áurea da arquitetura brasileira), percebemos que a arquitetura deste período possuía uma identidade própria. Eram as soluções arquitetônicas para controle da radiação solar, os brises, os elementos vazados, entre

outras técnicas que imprimiam nesta arquitetura esta personalidade. A arquitetura brasileira desta época se valia de conceitos bioclimáticos, que dava a esta arquitetura um caráter que ultrapassava os efeitos estéticos, e que resultava numa arquitetura de altíssima qualidade, tanto do ponto de vista do conforto ambiental, quanto da adequação específica àquele meio.

3.2 Iluminação Natural

A luz natural oferece enormes vantagens para os sistemas fisiológicos do homem, além de toda a qualidade visual que esta luz carrega em suas características. No Brasil, a disponibilidade de luz natural na abóboda celeste é muito grande. Entretanto, este recurso é muitas das vezes subutilizado ou utilizado de forma equivocada. Além dos benefícios fisiológicos e visuais, a luz natural pode ser utilizada como estratégia para obter maior qualidade ambiental e eficiência energética nos edifícios.

Segundo VIANNA, GONÇALVES, (2001), projetos que utilizam a luz natural podem chegar a substituir a luz artificial em 80 a 90% das horas do dia, economizando consideráveis quantidades de energia elétrica. Isto, sem contar que a entrada da luz solar difusa e controlada reduz os ganhos de calor pelas aberturas; reduz o gasto com iluminação artificial; e diminui ainda a carga de refrigeração dos equipamentos de ar condicionado. Além disso, a luz natural proporciona uma iluminação e uma distribuição mais agradável que a luz artificial.

Entretanto, utilizar a luz natural nos projetos de arquitetura, não se trata de simplesmente abrir janelas ou zenitais indiscriminadamente, e sim em equilibrar sabiamente a proposta destas aberturas, adequando sua orientação e dimensão, à sua necessidade e/ou proteção. Além disso, existem outros fatores que determinam a qualidade de iluminação natural em um ambiente, tais como, fontes de luz, reflexões internas e externas, contrastes, entre outros, o que torna seu uso em arquitetura um caso muito específico e com uma complexidade um pouco maior.

Segundo BOGO (2007), as aberturas servem como transmissão da luz natural do ambiente externo para o interior das edificações. Essa luz chega ao ambiente através da radiação solar direta (radiação térmica) e através da radiação luminosa, sendo que esta última é proveniente da radiação solar difusa e/ou refletida para o ambiente interno. Por isso, admitir a entrada da luz natural através das

aberturas de modo a garantir níveis adequados de iluminação e de distribuição dentro do ambiente, controlando os respectivos ganhos de calor, num equilíbrio termo luminoso, não é tarefa fácil.

Ainda de acordo com BOGO (2007), o uso da luz natural para ambientes internos deve ser feito de modo a evitar o excesso de calor, ofuscamento e degradação dos materiais devido à radiação solar direta, considerando de suma importância os dispositivos para controlar essa radiação. O controle da luz natural através destes dispositivos se baseia na recepção da luz solar direta e reintrodução da luz de forma indireta, filtrada, refletida ou redirecionada, permitindo ainda ao usuário o contato com o meio exterior.

Segundo a NBR 15215 (ABNT, 2005), as aberturas são importantes também por garantir aos ocupantes, uma visão para o meio externo, permitindo um relaxamento visual e um aumento no bem estar. Desta forma a iluminação natural é capaz de garantir ao usuário uma integridade física e psíquica, o que influencia diretamente no rendimento da execução das tarefas visuais. Todas estas características coloca a luz natural como elemento fundamental na qualidade de vida e na saúde humana, além é claro, do grande potencial de utilização deste recurso quando aplicado à sustentabilidade do ambiente construído.

Segundo VIANNA, GONÇALVES (2001), ao utilizar a iluminação natural em climas tropicais, os ambientes devem ser protegidos da radiação solar excessiva, pois o aproveitamento da luz natural através das aberturas requer atenção quanto aos ganhos térmicos com a radiação solar direta, para que sejam alcançados maiores índices de eficiência energética. Esta eficiência está muito mais ligada neste caso, à introdução de luz difusa, filtrada, em quantidade e qualidades adequadas ao ambiente, requerendo muita atenção do projetista, principalmente no que tange aos ganhos térmicos.

3.3 Dispositivos de proteção solar

Para que a radiação solar direta não atinja o ambiente interno através de suas aberturas, uma das alternativas muito utilizadas pelos arquitetos projetistas é a utilização de dispositivos de proteção solar. Estes elementos impedem que a radiação solar direta incida no interior do edifício. Além de impedir o ganho térmico solar, esses elementos podem assumir diversas formas e ângulos de reflexão, sendo capazes de

proporcionar níveis diferentes de iluminação e de redistribuição da luz natural dentro do ambiente. Entretanto, apesar de essenciais estes elementos modificam a trajetória da luz natural, bem como interferem na quantidade de luz no interior da edificação. O elemento de controle solar assume desta forma, uma complexidade maior.

Sobre o ganho térmico solar através dos vidros, BROWN, DEKAY (2004), afirma que pode chegar a 85% da radiação incidente, aumentando o aporte de carga térmica nas edificações e conseqüentemente aumentando seu consumo energético. Segundo BOGO (2007), com o uso dos protetores solares, a luz advinda do sol, não incide diretamente no vidro das aberturas, pois são redirecionadas por reflexão ao atingir estas proteções junto às aberturas. Neste caso, o redirecionamento da luz é proveniente da refletância dos materiais empregados nos elementos de proteção solar.

Proteção solar, segundo a NBR 15215-1 (ABNT, 2005), é o “elemento de controle de superfície contínua opaca que protegem o componente de passagem contra os raios diretos do sol, podendo refletir luz natural para o interior”. Esses elementos podem ser: beirais, marquises, muros e partes do edifício (quando fazem o papel de proteção solar vertical), ou elementos criados apenas como quebra-sol (brises).

Os sistemas e componentes utilizados para a proteção solar das aberturas vão desde os sistemas mais simples, como proteções solares fixas às tecnologias mais sofisticadas. Entretanto, qualquer um dos métodos utilizados, requer estudo e investigação para que não se torne um inconveniente. Segundo BOGO (2007) os protetores solares modificam a trajetória da luz natural transmitida e sua quantidade, alterando a iluminação natural dentro do ambiente. As proteções solares bloqueiam uma parcela da luz incidente em sua superfície, absorvem parte da energia recebida e refletem outra parcela para o interior da edificação ou mesmo para o entorno dependendo do ângulo de reflexão.

Além das reflexões provenientes da refletância dos materiais, outro cuidado deve ser pensado pelo projetista quando se trata de proteção solar. De acordo com VIANA; GONÇALVES (2001), em países de clima quente, a preocupação com superaquecimento devido aos ganhos com a radiação solar direta, tem levado ao uso de proteções solares superdimensionadas. Essas proteções excessivas bloqueiam a

luz natural, implicando no uso permanente dos sistemas de iluminação artificiais, conseqüentemente aquecendo o ambiente e aumentando o consumo de energia.

3.4 Unidades da Iluminação

Várias unidades descrevem as grandezas referentes à iluminação. Entretanto, neste trabalho, trataremos apenas das principais grandezas da iluminação necessárias para avaliar as condições de iluminação natural no interior dos ambientes.

Iluminação natural. É a iluminação produzida direta ou indiretamente pelo sol, segundo MASCARÓ (1980).

Iluminação geral. É a iluminação de um local sem considerar as necessidades particulares nas diferentes áreas, segundo MASCARÓ (1980).

Luminância. É a intensidade luminosa de uma superfície, numa direção, por unidade de área perpendicular a esta direção expresso em cd/m^2 . Segundo a NBR 5461 (1991).

Iluminância. Segundo a NBR 5461 (1991), é a razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende a zero, ou seja, é a razão do fluxo luminoso incidente em um elemento, dado em m^2 , tendo como unidade de medida o lux ($\text{lux}=\text{lm}/\text{m}^2$).

Daylight Factor (DF). É uma das medidas recomendadas pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) para determinação da luz natural. É a razão da iluminância interna no ponto de interesse pela iluminância horizontal externa sob um céu encoberto padrão CIE. A principal desvantagem é desconsiderar a orientação da edificação em estudo e a latitude do local de investigação. Como o Daylight Factor é dado sob condições de céu encoberto, critério este que não se enquadra no contexto de céu brasileiro, utilizaremos neste trabalho outros critérios.

Daylight Autonomy (DA). É a porcentagem das horas ocupadas por ano em que o nível mínimo de iluminância pode ser obtido apenas com a utilização da iluminação natural.

3.5 Normas de Iluminação

Existem várias normas que orientam os projetistas para o uso adequado da iluminação natural em projetos de arquitetura. A NBR 5413 (ABNT, 1992), por exemplo, estabelece os valores de iluminâncias médias para a iluminação em

interiores. De acordo com a norma é preciso avaliar a idade do usuário, a velocidade de precisão da tarefa visual, além de verificar qual o nível de iluminância requerida para cada classe de tarefa. Estas determinações estão estipuladas na norma, conforme tabela abaixo.

Tabela 1 – Fatores determinantes da iluminação adequada

Características da tarefa do observador	Peso		
	-1	0	1
Idade	< 40 anos	40 a 55 anos	> 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	> 70 anos	30 a 70%	< 30%

Fonte: ABNT (1992)

Tabela 2 - Iluminância por classe de tarefa visual

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20-30-50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50-75-100	Orientação simples para permanência curta.
	100-150-200	Recintos não usados para trabalho contínuo.
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para áreas de trabalho	500-750-1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritório.
	1000-1500-2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 - 5000	Tarefas visuais externas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Fonte: ABNT (1992)

Por se tratar de estudo de caso de edificação de uso residencial, não será considerada a idade dos usuários, a velocidade e precisão das tarefas serão

consideradas sem importância, a cor clara será adotada para a refletância e para a iluminação adotou-se o índice de 150 lux.

3.6 Método para dimensionamento das proteções solares

O ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012 exemplifica uma metodologia que visa facilitar o dimensionamento das proteções solares. O método descrito foi aplicado para as cidades que dispõem de Normais Climatológicas do INMET (1961-1990).

Embora o objetivo do anexo seja possibilitar uma bonificação para a iluminação natural, aumentando o coeficiente da variável na equação de desempenho da envoltória, o procedimento foi utilizado apenas no dimensionamento das proteções solares, já que define os ângulos para a determinação de dimensões mínimas do sistema de proteção solar, através da conjunção de critérios de temperatura externa e radiação solar incidente na fachada, trazendo como exemplo as cartas solares para a latitude da cidade de Belo Horizonte.

3.6.1 Confecção da carta solar com plotagem de temperatura

A primeira etapa no processo de dimensionamento das proteções solares é a confecção da carta solar com a plotagem da temperatura. Os dados das normais climatológicas com a de temperatura média para a cidade de Belo Horizonte, incluindo as médias mensais de 6 h às 18 h ao longo dos meses do ano, estão disponíveis no próprio anexo, e descritos abaixo.

3.6.2 Tratamento dos dados climáticos

Para elaborar a carta solar é preciso tratar os dados climáticos. Estes dados são obtidos a partir das temperaturas do ar máxima e mínima mensais, dadas nas Normais Climatológicas. A partir destes valores, chegamos aos dados horários médios mensais de temperatura do ar, pelo ajuste dos dados locais à curva-padrão da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) exemplificado pela Equação 1.

Equação 1:

$$T = T_x - T_{xm} - T_{mn.j}$$

Onde:

T: temperatura média mensal horária, (°C);

Tmx: temperatura média mensal das máximas, (°C);

Tmn: temperatura média mensal das mínimas, (°C);

J: valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

3.6.3 Cálculo da temperatura neutra mensal

Com os dados horários médios mensais definidos, é preciso chegar a um valor de temperatura neutra. Este valor corresponde ao centro da zona de conforto para uma determinada população aclimatada, e é determinado pelo cálculo da temperatura neutra. Assim, as temperaturas devem ser classificadas de acordo com os limites determinados pelo cálculo e exemplificado pela Equação 2.

Equação 2:

$$T_n = 0,31T_e = 17,6$$

Onde:

T_n: temperatura neutra (°C);

T_e: temperatura do ar média mensal (°C), extraída das Normais Climatológicas (BRASIL, 1991).

3.6.4 Variações da temperatura média mensal em relação à temperatura neutra

Como a temperatura neutra (T_n) corresponde ao centro da zona de conforto para uma determinada população aclimatada, as variações não podem ser nem muito acima ou abaixo deste valor. Como estamos em um clima predominantemente quente, as variações em graus acima da T_n (T_n+2, T_n+3...), devem ser bloqueadas, assim como sua variação e graus abaixo da T_n (T_n-6, T_n-7, T_n-8...), deve ser permitida.

Os dados horários de temperatura média mensal para Belo Horizonte já estão plotados na tabela 3. Esta tabela auxilia na análise das temperaturas locais e na construção da carta solar. Cada cor representa um grau a mais ou a menos da temperatura neutra (T_n), obtida a partir das médias mensais. Estas cores são levadas para a tabela com as médias horárias para cada mês.

Tabela 3 - Temperatura horária média mensal para a cidade de Belo Horizonte

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Tn-8	16,8	16,9	16,8	16,2	15,8	15,4	15,3	15,6	16,2	16,5	16,6	16,6
Tn-7	17,8	17,9	17,8	17,2	16,8	16,4	16,3	16,6	17,2	17,5	17,6	17,6
Tn	24,8	24,9	24,8	24,2	23,8	23,4	23,3	23,6	24,2	24,5	24,6	24,6
Tn+2	26,8	26,9	26,8	26,2	25,8	25,4	25,3	25,6	26,2	26,5	26,6	26,57
Tn+3	27,8	27,9	27,822	27,2	26,8	26,4	26,3	26,6	27,19	27,5	27,6	27,6
Tn+4	28,8	28,9	28,8	28,2	27,8	27,4	27,3	27,6	28,2	28,5	28,6	28,6
06:00	18,8	19,0	18,80	17,3	15,0	13,4	13,1	14,4	16,20	17,50	18,2	18,4
07:00	19,5	19,7	19,5	18,0	15,77	14,2	13,9	15,2	17,0	18,2	18,9	19,0
08:00	21,1	21,4	21,2	19,7	17,6	16,2	15,9	17,3	18,8	19,9	20,4	20,5
09:00	22,8	23,2	23,0	21,7	19,7	18,4	18,0	19,60	20,9	21,9	22,2	22,2
10:00	24,3	24,8	24,6	23,3	21,5	20,2	19,9	21,5	22,7	23,5	23,7	23,7
11:00	25,6	26,1	25,9	24,6	22,9	21,8	21,4	23,1	24,1	24,8	24,9	24,8
12:00	26,8	27,3	27,1	26,0	24,4	23,3	22,9	24,7	25,6	26,2	26,1	26,0
13:00	27,2	27,7	27,5	26,4	24,79	23,7	23,34	25,2	26,0	26,6	26,5	26,3
14:00	28,0	28,6	28,4	27,25	25,7	24,7	24,31	26,2	26,9	27,4	27,3	27,1
15:00	28,2	28,8	28,6	27,5	26,0	25,0	24,6	26,5	27,20	27,7	27,5	27,3
16:00	27,82	28,4	28,2	27,1	25,6	24,54	24,1	26,0	26,8	27,3	27,1	26,9
17:00	27,4	28,0	27,816	26,7	25,1	24,1	23,7	25,5	26,3	26,9	26,8	26,59
18:00	26,8	26,8	27,1	26,0	24,4	23,3	22,9	24,7	25,6	26,2	26,1	26,0

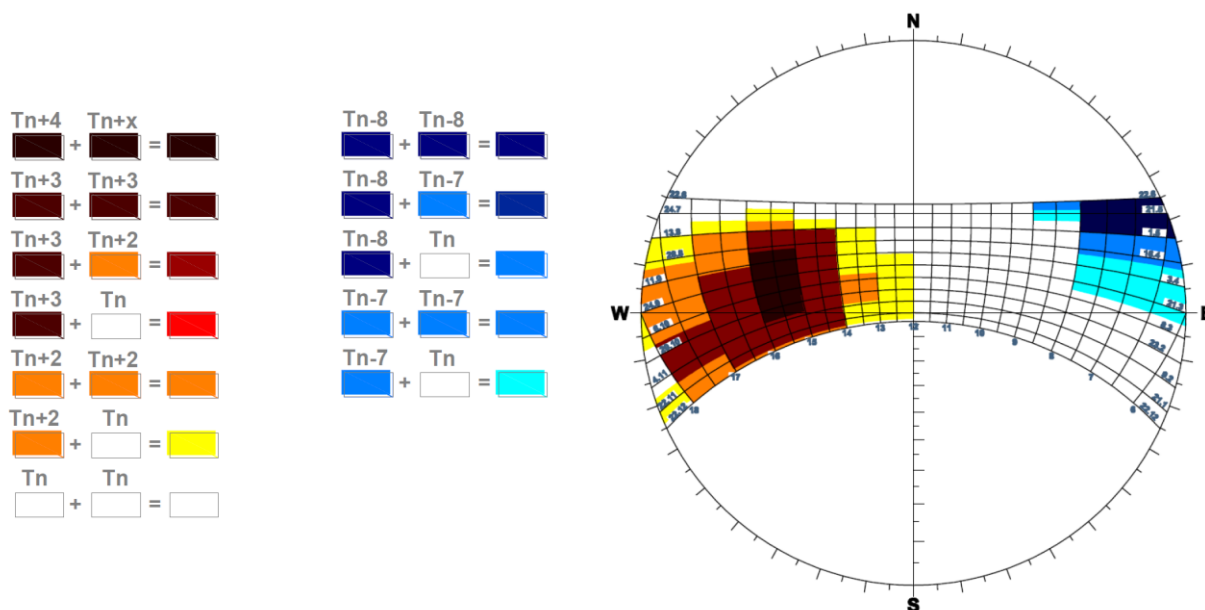
Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

3.6.5 Determinação da escala de cores para plotagem na carta solar

Uma vez que a carta solar representa duas trajetórias solares ao longo do ano (a primeira de 22 de dezembro a 22 de junho e a segunda de 22 de junho a 22 de dezembro), ao se marcar as temperaturas na carta solar deve-se marcar prioritariamente as temperaturas mais extremas tanto no período de calor quanto no período de frio de cada uma destas trajetórias.

Como as trajetórias solares representam dois momentos do ano, deve-se ainda criar uma escala de cores que represente a ocorrência de temperaturas nas faixas estabelecidas de Tn nas duas épocas do ano em que o sol estará presente em determinada região de céu. A escala de cores (baseada no item anterior) para o preenchimento da carta solar é representada na Figura 1.

Figura 1 - Escala de cores para preenchimento da carta solar para a cidade de Belo Horizonte - (ZB3)



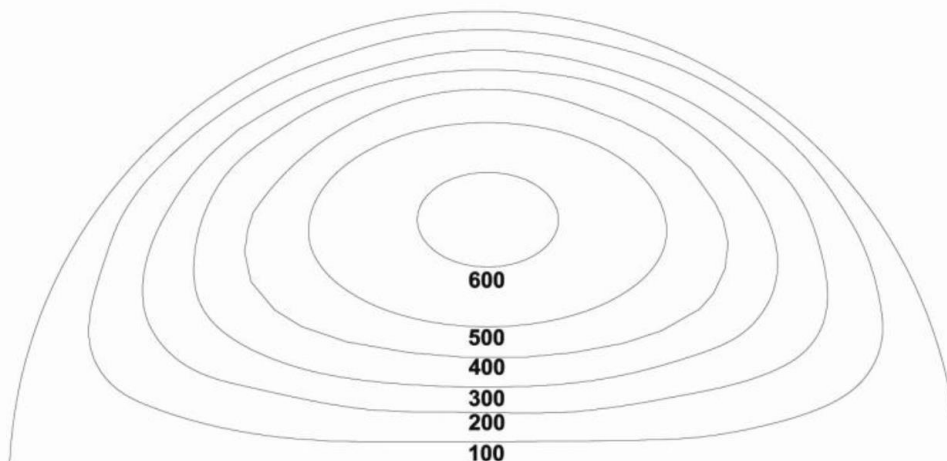
Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

3.6.6 Plotagem de radiação solar por fachada nas cartas solares

De acordo com o anexo I, do RTQ-R, as fachadas que devemos considerar para fim de proteção solar, variam a cada 45° de variação azimutal, e são estas: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, sendo que orientações intermediárias devem ser substituídas pelo azimute mais próximo.

A estas fachadas deve ser sobreposto o gráfico de radiação solar incidente na fachada representado na Figura 2.

Figura 2 - Radiação solar incidente (W/m²) nas regiões de céu considerando 2/10 de céu.



Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

3.6.7 Níveis de radiação considerados

São considerados como elevados os valores de 600 W/m². A intensidade desta radiação é obtida por meio da na Figura 2.

3.6.8 Definição da faixa de proteção solar

O anexo da portaria INMETRO Nº 018/ 2012 resume as recomendações das proteções solares, através da análise das figuras e tabelas acima. De acordo com o anexo, não deve haver sombreamento da insolação em aberturas para temperaturas inferiores a T_n-8 para a Zona Bioclimática 03. Além disso, estas proteções não são necessárias quando a necessidade de sombreamento se der por menos de dois meses do ano e/ou duas horas do dia e após as 17h00.

Além disso, deve ser feita proteção solar quando houver incidência do sol em horários em que as temperaturas forem superiores a T_n+3 , tanto para aberturas pequenas (aberturas com área menor que 25% da área do piso) quanto para aberturas grandes (aberturas com área maior que 25% da área do piso).

Ademais, devem ser protegidas as aberturas pequenas quando estas temperaturas superiores a T_n+3 coincidirem com a radiação de 600W; e nas aberturas grandes, tanto na região em que houver insolação superior a 600W, quanto na região em que a temperatura externa for superior a T_n+3 . Temperaturas maiores que as da faixa de proteção devem sempre ser protegidas (T_n+4 , T_n+5 ,...).

3.6.9 Ângulos mínimos dos dispositivos de proteção solar

Os ângulos de proteção solar resultantes do método descrito nos itens anteriores devem ser transcritos para a tabela resumo (Figura 3). A leitura deste ângulo é feita de acordo com o indicado nas Figuras de (A4 a A10).

Figura 3 - Modelos de transferidores auxiliares

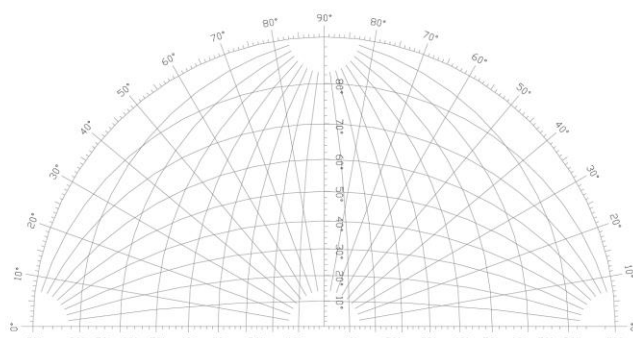
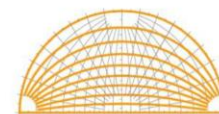
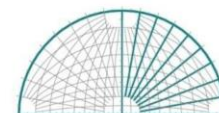
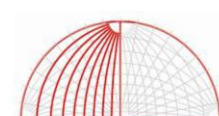
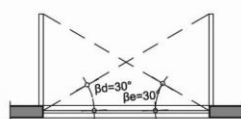
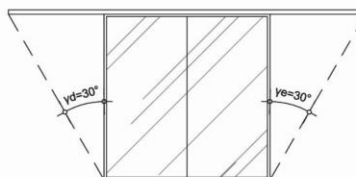
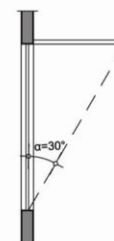


Figura A4: modelo de transferidor auxiliar

Figura A5: ângulo α Figura A6: ângulo β Figura A7: ângulo γ Figura A8: ângulo β
(planta)Figura A9: ângulo γ
(vista)Figura A10: ângulo α
(corte)

Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

3.6.10 Geração de dispositivos de proteção solar

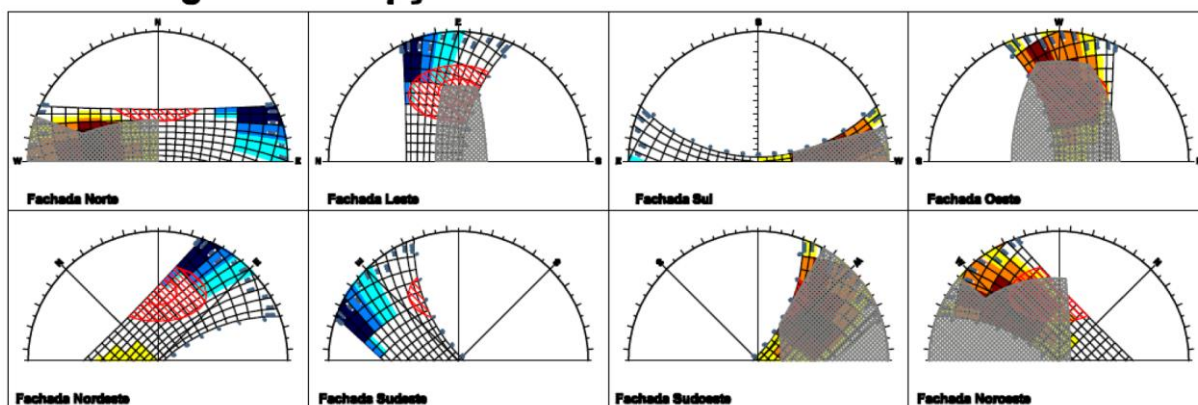
Para cada fachada, quando for o caso, pode-se desenvolver três tipos de máscaras: um conjunto para aberturas consideradas pequenas (não utilizado neste trabalho); um conjunto para aberturas consideradas grandes (que se refere a máscaras conjugadas, que utilizam tanto placas de proteção verticais quanto horizontais – descritos na opção 1 de mascaramento); e um conjunto que se refere às máscaras que possuem ângulos beta e gama, ou seja, que podem ser geradas apenas por brises verticais (opção 2 de mascaramento para as aberturas grandes).

As Figuras 4 e 5, demonstram os exemplos com as opções de máscaras de proteção solar para as aberturas consideradas grandes, ou seja, com mais de 25% da

área do piso, para a cidade de Belo Horizonte, serão estas opções as utilizadas neste trabalho.

Figura 4 - Máscaras de proteção solar para a cidade de Belo Horizonte (opção 1 de mascaramento das aberturas grandes)

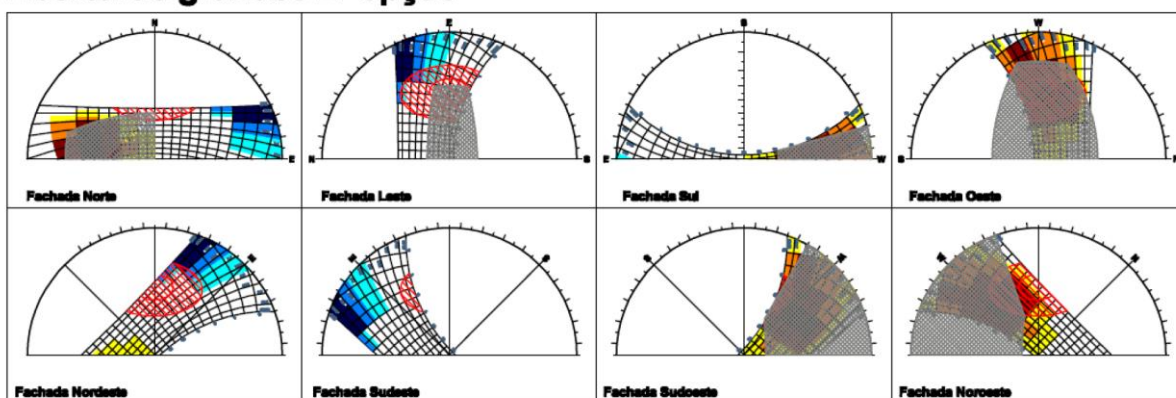
Aberturas grandes 1ª opção



Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

Figura 5 - Máscara de proteção solar para a cidade de Belo Horizonte (opção 2 de mascaramento das aberturas grandes)

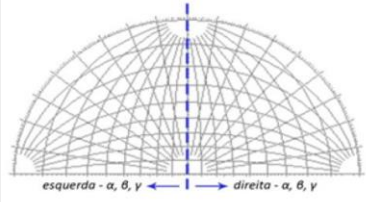
Aberturas grandes 2ª opção



Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

Com base nas máscaras representadas nas Figuras 4 e 5, resumimos os dados na Tabela 4, que apresenta o conjunto de ângulos mínimos para proteção solar das fachadas tomadas a cada 45° para a cidade de Belo Horizonte.

Tabela 4 - Ângulos de proteção solar mínimo por fachada para a cidade de Belo Horizonte

FACHADA NORTE					FACHADA OESTE					FACHADA SUDESTE				
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais					Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--	65°	--	--	35°	20°	--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
35°	--	20°	--	--	75°	--	--	50°	40°	--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
40°	--	--	--	70°	75°	--	--	50°	40°	--	--	--	--	--
FACHADA SUL					FACHADA NORDESTE					FACHADA NOROESTE				
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais					Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	60°	--	--	--	50°
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	15°	--	30°	--	--	--	--	--	--	65°	--	40°	10°	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	15°	--	30°	--	--	--	--	--	--	--	--	70°	--	20°
FACHADA LESTE					FACHADA SUDOESTE									
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais									
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso									
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe					
--	--	--	--	--	60°	--	--	55°	--					
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso									
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe					
60°	--	--	25°	20°	--	60°	--	20°	--					
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)									
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe					
60°	--	--	25°	20°	--	60°	--	20°	--					

Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

3.6.11 Ângulos de proteções solares mínimas recomendados

Para cada uma das aberturas, a tabela 4 descreve os ângulos mínimos recomendados para o projeto da proteção solar descritos abaixo:

αr : ângulo de proteção horizontal recomendado;

$\gamma e r$: ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção recomendado;

$\gamma d r$: - ângulo de extensão lateral direito da proteção recomendado;

$\beta e r$: - ângulo de proteção vertical esquerdo recomendado;

$\beta d r$: - ângulo de proteção vertical direito recomendado;

αp : ângulo de proteção horizontal projetado;

$\gamma e p$: ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção projetado;

$\gamma d p$: ângulo de extensão lateral direito da proteção projetado;

$\beta e p$: ângulo de proteção vertical esquerdo projetado;

$\beta d p$: ângulo de proteção vertical direito projetado;

Toda a metodologia descrita no anexo da portaria INMETRO permite avaliar a eficiência da envoltória através da determinação do valor de “somb”, que

gera uma bonificação para a etiquetagem de uma edificação de uso residencial. Porém, como já exposto anteriormente, a metodologia foi utilizada apenas para facilitar o dimensionamento das proteções solares.

Entretanto, vale salientar que em projetos que visam desempenho energético, um sistema não deve ser pensado de forma isolada, sendo, portanto imprescindível avaliar o impacto que os dispositivos de proteção solar podem ter sobre a iluminação natural no interior da edificação, sendo exatamente este o objetivo deste estudo.

4 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem quantitativa devido à natureza de seu objeto e visa analisar o impacto das proteções solares no comportamento da luz natural em edificações residenciais na cidade de Belo Horizonte. Para tanto a metodologia foi dividida em três etapas descritas abaixo:

PRIMEIRA ETAPA:

1. Variáveis da simulação: cidade, orientação e horário de ocupação.
2. Definição do modelo
3. Verificação das fachadas que necessitam de proteção solar.
4. Dimensionamento das proteções solares.

SEGUNDA ETAPA:

5. Simulação computacional feita através do software Daysim.
6. Avaliação dos resultados

TERCEIRA ETAPA:

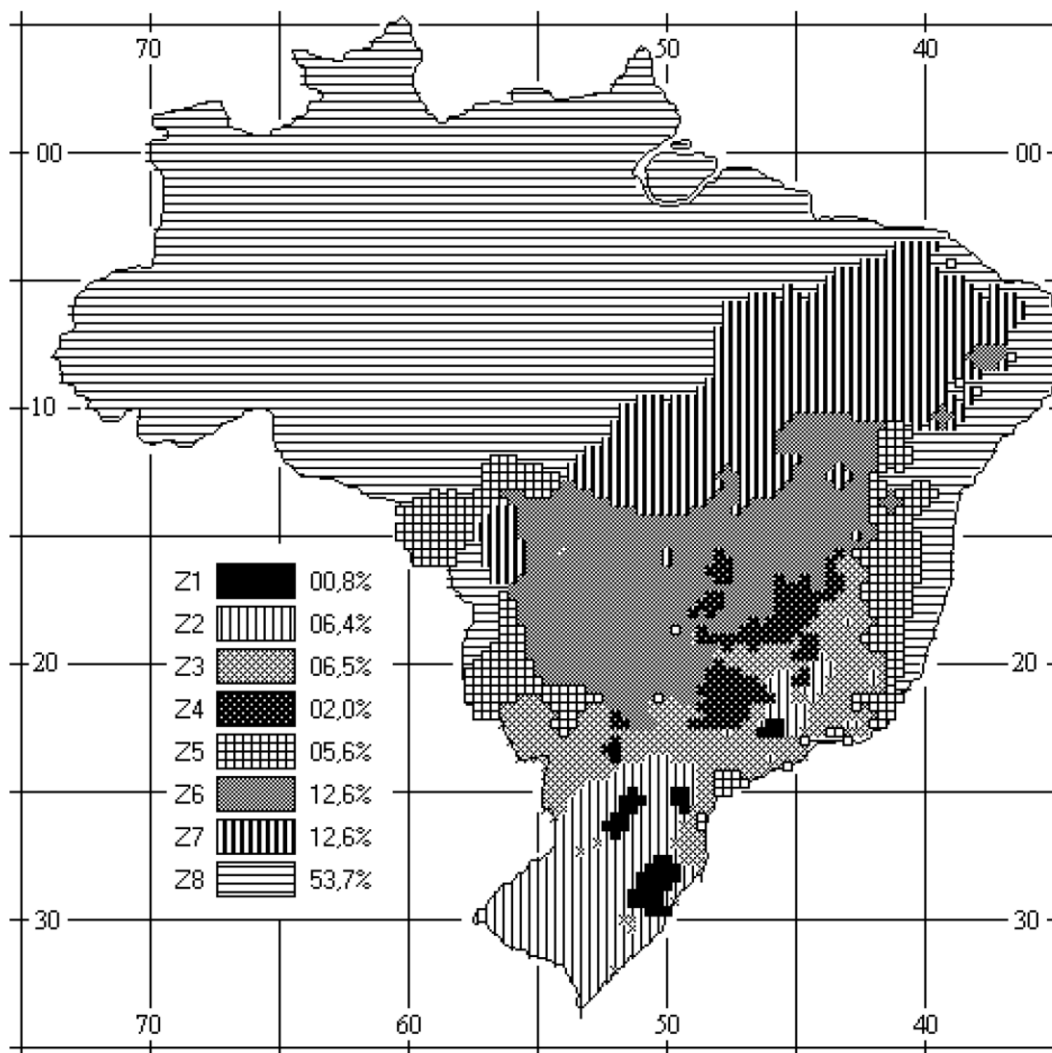
7. Considerações finais.

4.1 Variáveis da simulação

Este estudo pretende verificar o impacto dos protetores solares no comportamento da luz natural no interior das edificações residenciais localizados na cidade de Belo Horizonte. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2003) a cidade está

inserida no Zoneamento Bioclimático 3 (ZB-3), conforme figura 6. A cidade possui latitude de 19°51' e longitude de 43°57'.

Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT - NBR 15220-3.

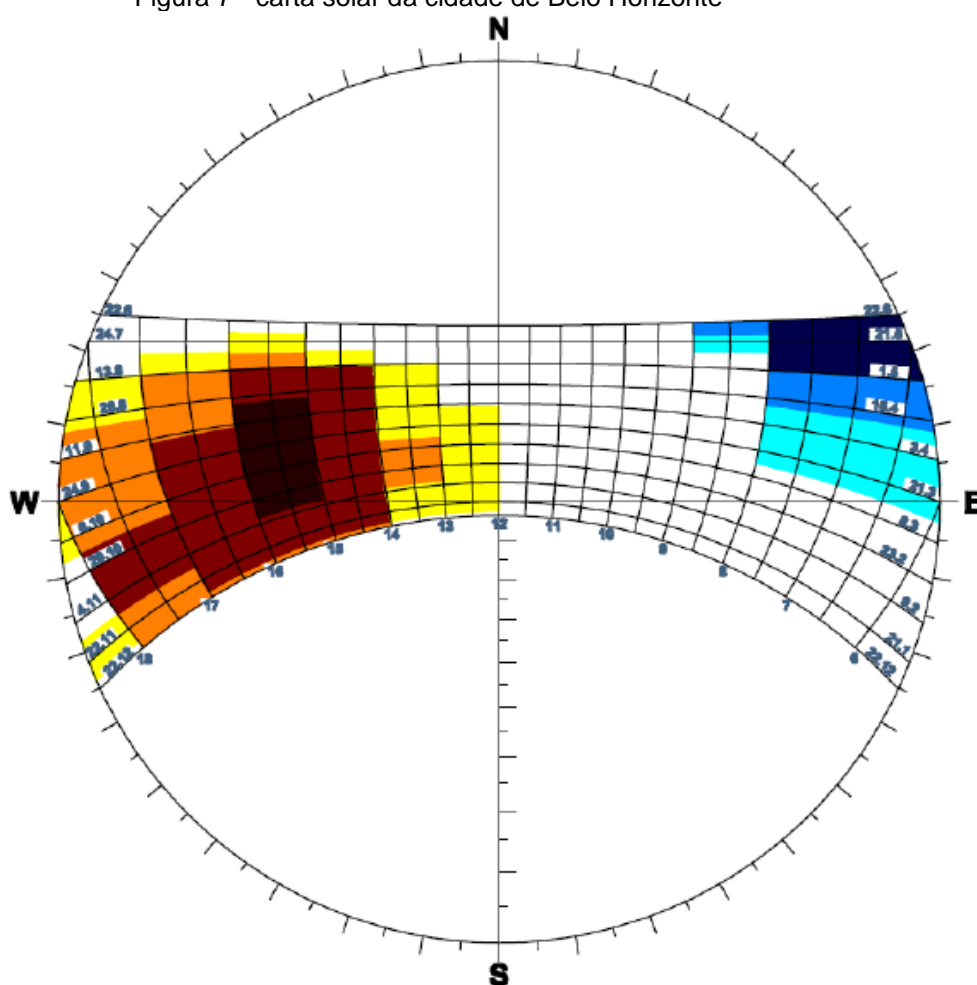
O ambiente definido para estudo foi submetido às oito orientações descritas no anexo da portaria INMETRO Nº 018/ 2012. Definida estas orientações, cada fachada foi analisada tendo em vista a necessidade ou não de proteção solar.

Analisando a carta solar de Belo Horizonte abaixo, podemos observar uma diferença na duração do dia e da noite nas diferentes épocas do ano com relação aos horários de nascer e pôr do sol. Para o solstício de verão (22/12) 05h30min às 18h30min e para o solstício de inverno (21/06) 06h45min às 17h15min. Já no

Equinócio de Primavera (22/09) 06h00min às 18h00min e para o equinócio de outono (20/03) 06h00min às 18h00min.

Com base na leitura da carta solar foi possível definir uma faixa horária de ocupação. Esta faixa horária representa as horas dos dias ao longo do período de um ano em que há disponibilidade de luz natural na abóboda celeste. Assim, a faixa horária definida para uso, para fim de simulação computacional compreende o período das 07h00min às 17h00min.

Figura 7 - carta solar da cidade de Belo Horizonte



Fonte: ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/ 2012

4.2 Definição do modelo

Para o estudo e avaliação do impacto do protetor solar na iluminação natural de edificações residenciais em Belo Horizonte, adotou-se um modelo hipotético de uma sala residencial para dois ambientes. Para a configuração espacial do modelo (largura x profundidade x pé direito) foram levantados dados de projeto de

uso residencial do escritório Innovare Arquitetura e Urbanismo Ltda. A média obtida nos dados levantados permitiu a criação de um modelo hipotético para análise. O gráfico abaixo representa os dados levantados para a criação do modelo hipotético a ser estudado.

Tabela 5 - Levantamento de dados para confecção do modelo hipotético

LEVANTAMENTO DOS DADOS DA MÉDIA DO AMBIENTE ESTAR/JANTAR DE PROJETOS DE USO RESIDENCIAL DO ESCRITÓRIO INNOVARE ARQUITETURA E URBANISMO LTDA							
CÓDIGO PROJETO	LARG. (cm)	PROFUND. (cm)	PÉ DIREITO (cm)	VARANDA (cm)	BEIRAL (cm)	ABERTURA	
						PAF %	ÁREA PISO
0212 - ARQ-EP-R00	470	1370	330	285	100	>50%	>25%
1012 - ARQ-PL-R01	310	680	280	0	80	>50%	>25%
0213 - ARQ-PL-R00.1	450	950	400	280	135	>75%	>25%
0313 - ARQ-PB-R00	480	560	530	120	120	<50%	>25%
1613-ARQ-PE-R00	415	750	280	440	340	>75%	>25%
2213-ARQ-PE-R02	390	625	600	160	160	>50%	>25%
2513-ARQ-PE-R01	700	1040	300	355	155	>75%	>25%
0514-ARQ-EP-R03	440	885	320	190	190	>75%	>25%
0914-ARQ-PB-R00	385	500	540	470	350	>75%	>25%
0115-ARQ-EP-R00	360	800	500	190	30	>75%	>25%
MÉDIA	440	816	408	249	166	>75%	>25%

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com base nos dados acima foi possível criar um modelo hipotético para submetê-lo as análises específicas deste trabalho. O modelo representa uma média dos dados levantados e configuram uma volumetria com as seguintes dimensões:

Largura = 440 cm

Profundidade = 816 cm

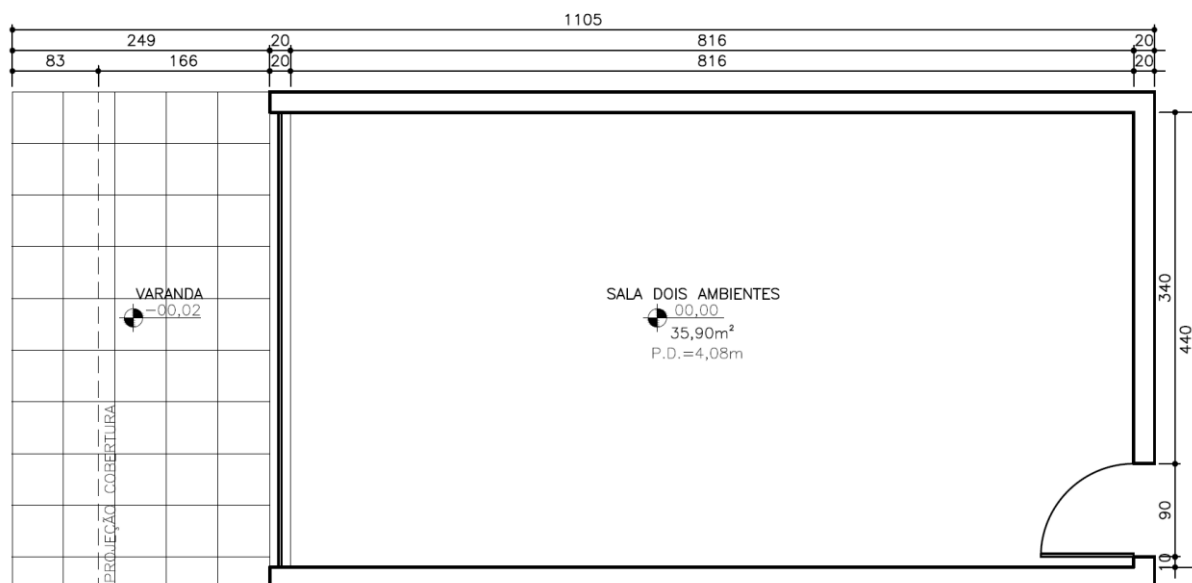
Pé direito = 408 cm

Varanda = 249 cm

Beiral = 166 cm

Área total = 35,90m²

Figura 8 - Planta do modelo hipotético

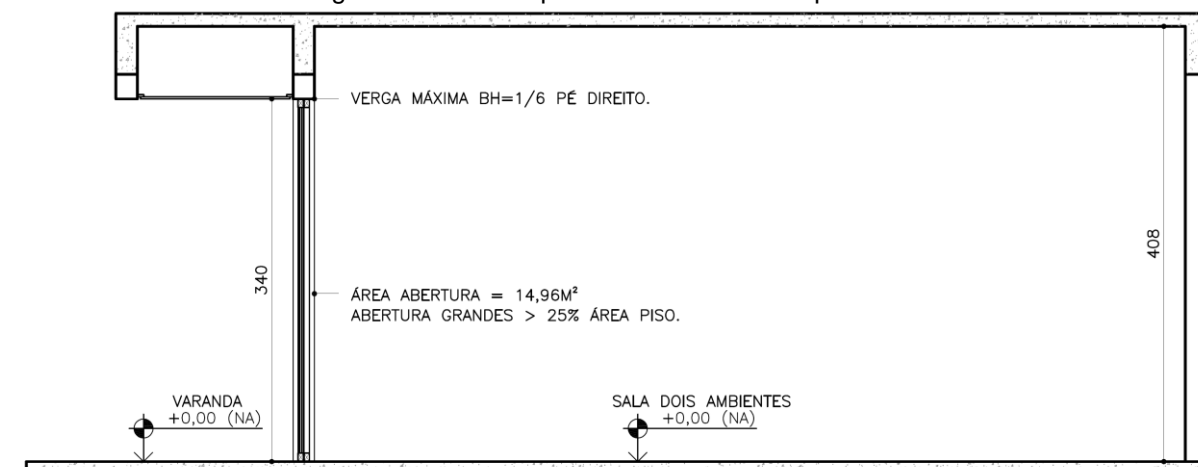


PLANTA AMBIENTE PADRÃO

SEM ESCALA

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 9 - Corte esquemático do modelo hipotético



CORTE ESQUEMÁTICO MODELO PADRÃO

SEM ESCALA

Fonte: Elaborado pelo Autor

Além de todos os dados dimensionais discriminados acima, outras informações se tornam importantes na configuração do modelo em estudo. A locação da abertura, por exemplo, foi proposta propositalmente no sentido da profundidade do ambiente. Desta forma, é possível também estudar o impacto do protetor solar na iluminação natural tendo em vista o alcance desta iluminação natural na profundidade do ambiente.

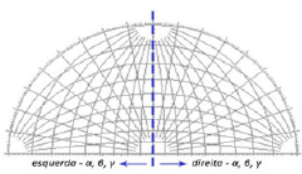
Além disso, o estudo se baseia em aberturas consideradas grandes. De acordo com os dados levantados temos um Percentual de Abertura de Fachada (PAF) > 75% da fachada, assumindo ainda esta abertura um valor correspondente a uma área superior a 25% da área do piso. Apesar de ser um modelo hipotético, a abertura, foi submetida à outra variável escrita no código de obras da cidade de Belo Horizonte, a verga máxima de 1/6 do pé direito.

Desta forma, a abertura de 440 x 340 cm totaliza uma área para iluminação e ventilação natural de 14,96 m², ou seja, > que 25% da área do piso. Este valor corresponde ainda a um PAF > que 75%, além da verga de 68 cm, que corresponde à verga máxima de 1/6 do pé direito.

4.3 Verificação das fachadas que necessitam de proteção solar

A tabela abaixo apresenta os ângulos mínimos de proteção solar para cada uma das oito fachadas descritas no RTQ-R e no anexo da portaria INMETRO Nº 018/2012. Conforme podemos observar as não há indicação de proteção solar mínima para as fachadas Sudeste e Nordeste (em destaque), por isso estas fachadas não serão consideradas na simulação computacional.

Figura 10 - Ângulos de proteção solar mínimo por fachada para a cidade de Belo Horizonte, com marcação das fachadas que não necessitam de proteção solar

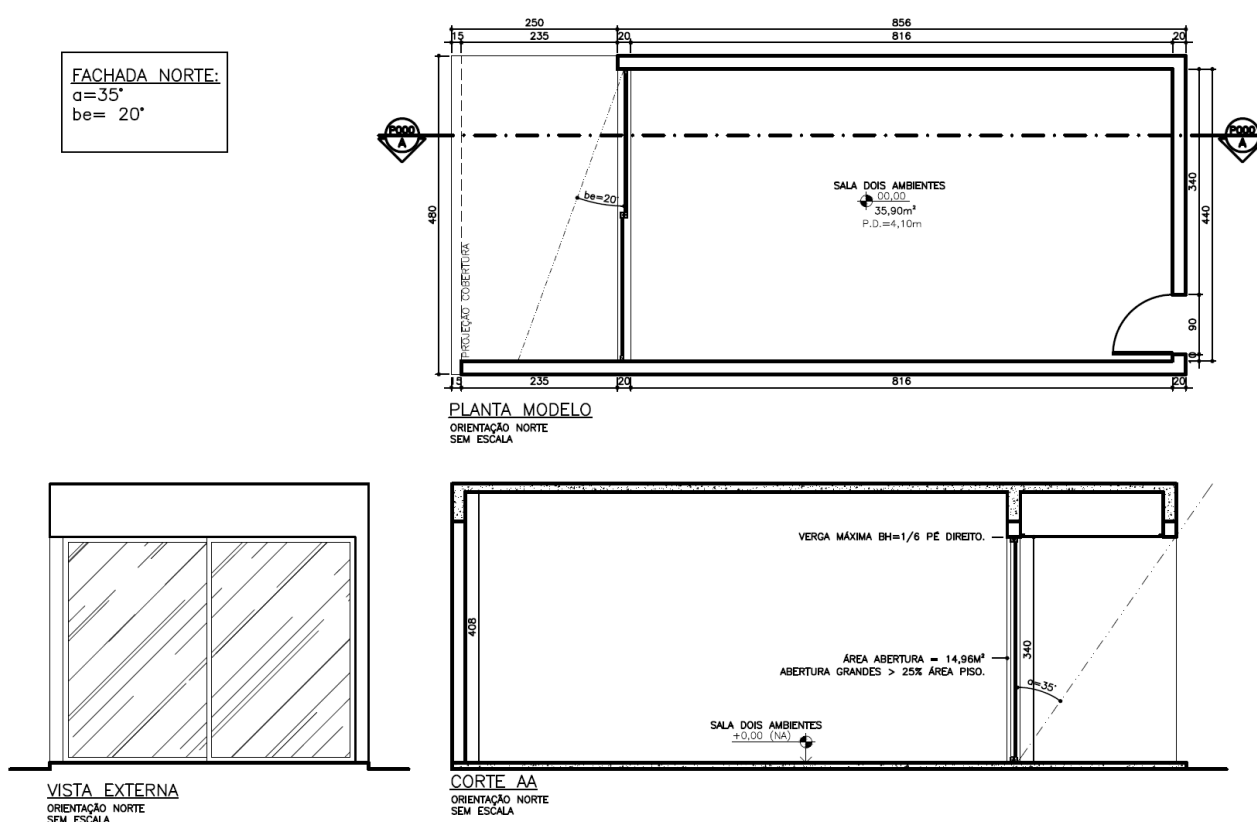
FACHADA NORTE	FACHADA OESTE	FACHADA SUDESTE																																																																																										
Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>35°</td><td>--</td><td>20°</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>40°</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>70°</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	35°	--	20°	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	40°	--	--	--	70°	Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>65°</td><td>--</td><td>--</td><td>35°</td><td>20°</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>75°</td><td>--</td><td>--</td><td>30°</td><td>40°</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>75°</td><td>--</td><td>--</td><td>30°</td><td>40°</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	65°	--	--	35°	20°	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	75°	--	--	30°	40°	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	75°	--	--	30°	40°	Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
35°	--	20°	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
40°	--	--	--	70°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
65°	--	--	35°	20°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
75°	--	--	30°	40°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
75°	--	--	30°	40°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
FACHADA SUL Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>15°</td><td>--</td><td>30°</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>15°</td><td>--</td><td>30°</td><td>--</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	15°	--	30°	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	15°	--	30°	--	FACHADA NORDESTE Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	FACHADA NOROESTE Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>60°</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>50°</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>65°</td><td>--</td><td>40°</td><td>10°</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>70°</td><td>--</td><td>20°</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	60°	--	--	--	50°	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	65°	--	40°	10°	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	70°	--	20°
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	15°	--	30°	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	15°	--	30°	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
60°	--	--	--	50°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
65°	--	40°	10°	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	70°	--	20°																																																																																								
FACHADA LESTE Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>60°</td><td>--</td><td>--</td><td>25°</td><td>20°</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>60°</td><td>--</td><td>--</td><td>25°</td><td>20°</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	--	--	--	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	60°	--	--	25°	20°	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	60°	--	--	25°	20°	FACHADA SUDESTE Edificações Residenciais Área da janela < 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>60°</td><td>--</td><td>--</td><td>35°</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>60°</td><td>--</td><td>20°</td><td>--</td></tr> </table> Área da janela > 25% área do piso (2ªopção) <table border="1"> <tr><th>α</th><th>β_d</th><th>β_e</th><th>γ_d</th><th>γ_e</th></tr> <tr><td>--</td><td>60°</td><td>--</td><td>20°</td><td>--</td></tr> </table>	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	60°	--	--	35°	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	60°	--	20°	--	α	β_d	β_e	γ_d	γ_e	--	60°	--	20°	--																															
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	--	--	--	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
60°	--	--	25°	20°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
60°	--	--	25°	20°																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
60°	--	--	35°	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	60°	--	20°	--																																																																																								
α	β_d	β_e	γ_d	γ_e																																																																																								
--	60°	--	20°	--																																																																																								

4.4 Dimensionamento das proteções solares

Com base nos ângulos mínimos de proteções solares descritos na figura 10, foi possível dimensionar as proteções solares para cada uma das seis fachadas que necessitam de sombreamento.

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada norte correspondem aos valores de $\alpha=35^\circ$ e $\beta e=20^\circ$, conforme figura 11.

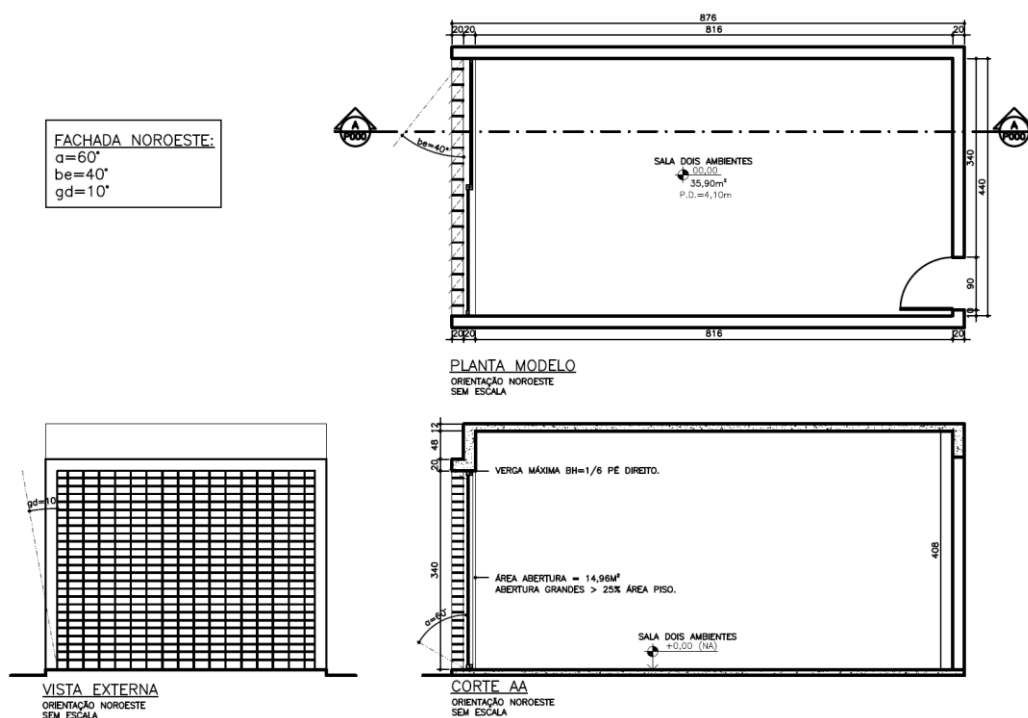
Figura 11 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada norte



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada noroeste correspondem aos valores de $\alpha=60^\circ$, $\beta e=40^\circ$, e $\gamma d=10^\circ$, conforme figura 12.

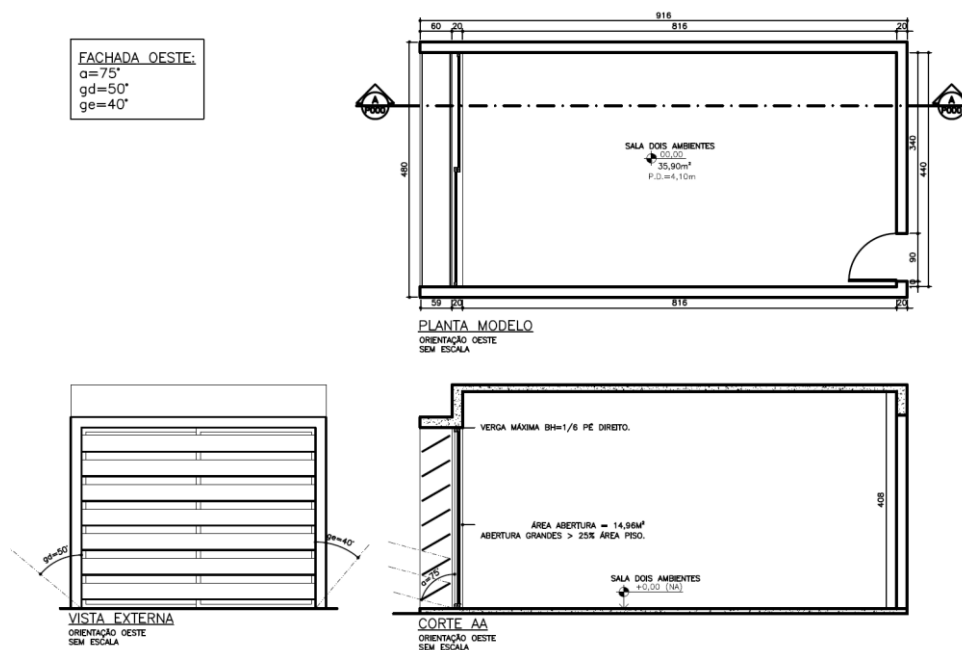
Figura 12 – Dimensionamento de proteção solar para a fachada noroeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada oeste correspondem aos valores de $\alpha=75^\circ$, $\gamma d=50^\circ$ e $\gamma e=40^\circ$, conforme figura 13.

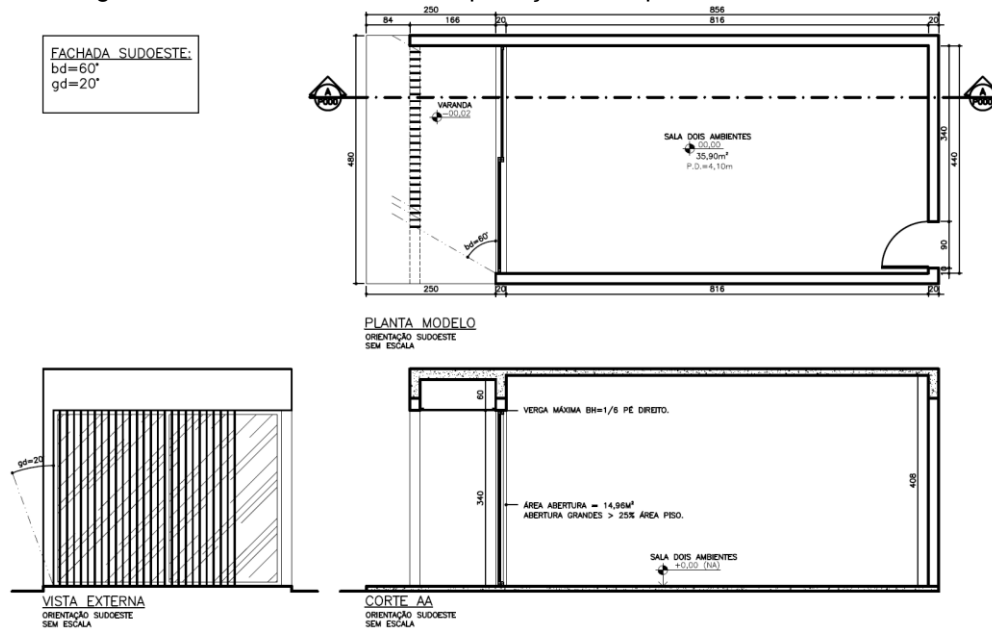
Figura 13 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada oeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada sudoeste correspondem aos valores de $\beta d=60^\circ$ e $\gamma d=20^\circ$, conforme figura 14.

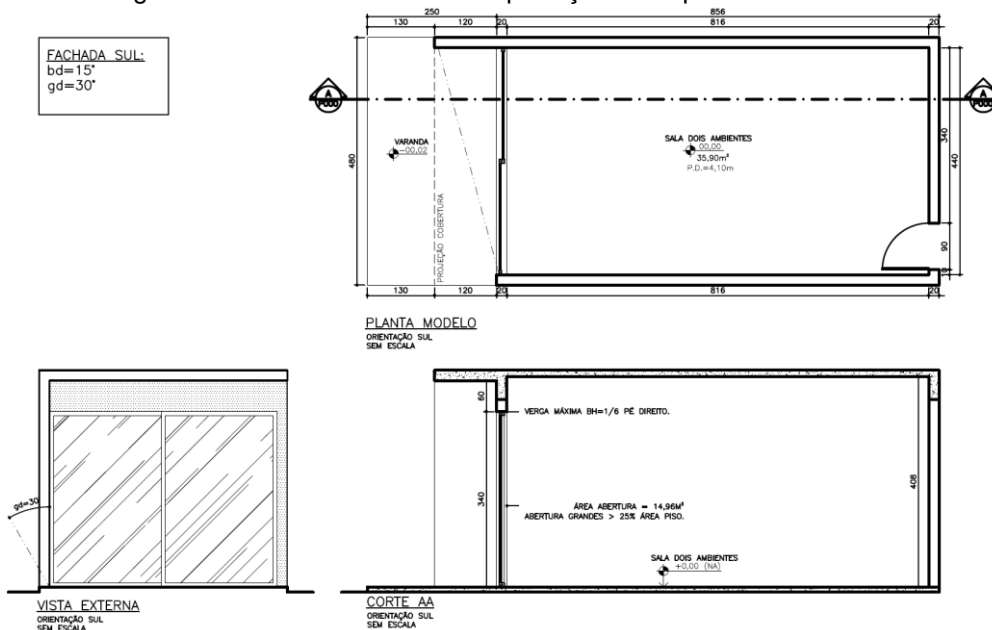
Figura 14 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada sudoeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada sul correspondem aos valores de $\beta d=15^\circ$ e $\gamma d=30^\circ$, conforme figura 15.

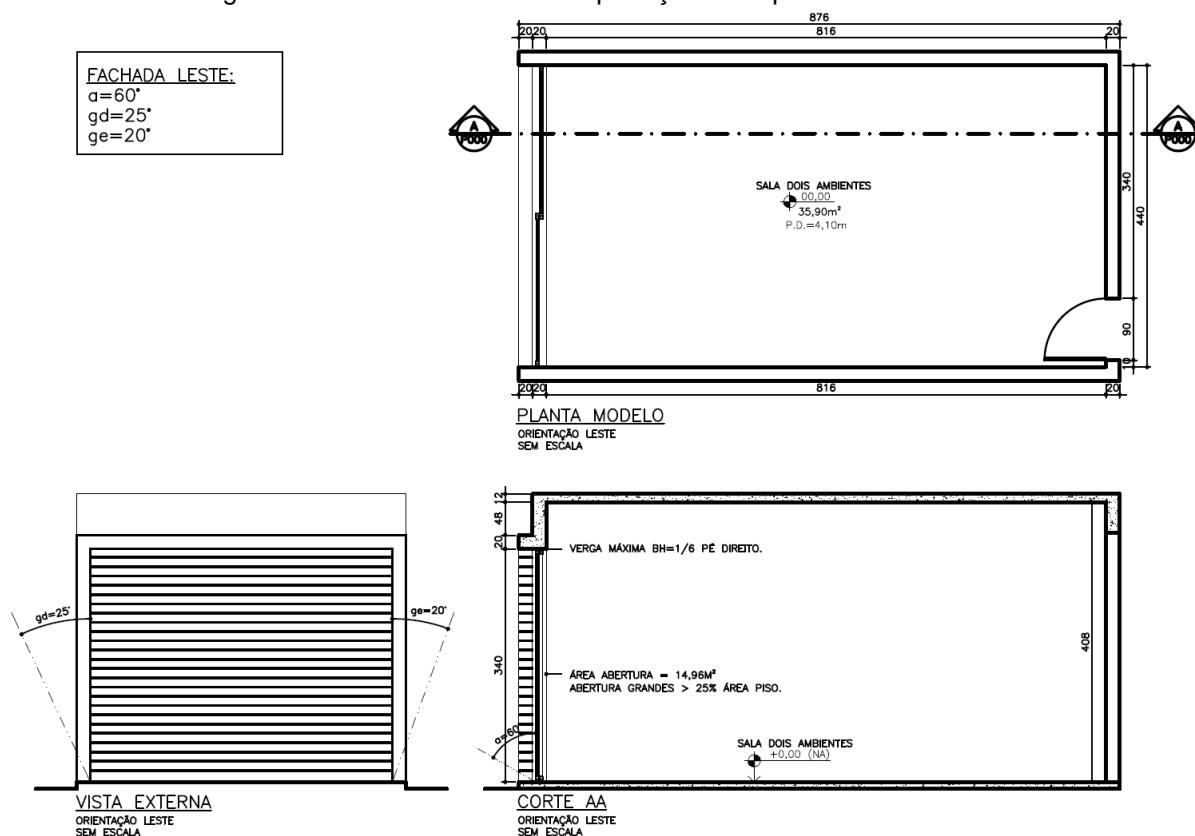
Figura 15 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada sul



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores adotados para o dimensionamento da proteção solar da fachada leste correspondem aos valores de $\alpha=60^\circ$, $\gamma_d=25^\circ$ e $\gamma_e=20^\circ$, conforme figura 16.

Figura 16 - Dimensionamento de proteção solar para a fachada leste



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.5 Simulação

Após a definição das proteções solares para cada uma das fachadas o passo inicial para a simulação computacional foi à modelagem dos modelos tridimensionais e a definição das características dos materiais e das fontes luminosas.

O SketchUp programa utilizado para a criação do modelo em 3D permite a introdução dos dados de refletância e dos materiais a serem simulados, deixando assim a modelagem mais simples. O programa é compatível com o software de simulação utilizado, o Daysim.

Entretanto, apesar de compatível com o software de simulação, a modelagem em 3D, deve cumprir algumas premissas básicas. A geometria do ambiente, por exemplo, não deve conter espessuras e para a aplicação dos materiais é necessário utilizar a biblioteca do próprio Daysim dentro do software SketchUp. Além

disso, o material aplicado em uma face deve ser replicado em ambas às faces, para impressão das características de refletâncias dos materiais. Após a aplicação dos materiais é necessário verificar se existe algum conflito entre as faces do modelo e resolver antes de prosseguir.

Para caracterizar um plano de análise a ser simulado, foi adotada como referência a NBR 15215-4 (ABNT, 2005). O plano de trabalho descrito nesta norma corresponde a uma superfície horizontal situada a 0,75 m acima do pano do piso. Assim, é preciso criar uma malha de pontos com referência nesta altura caracterizando o próprio plano de trabalho. Esta malha deve ser criada em uma layer específica ainda no software Sketchp, no Plugin su2ds>Create sensor point mesh.

Com a modelagem pronta é preciso editar o local da simulação e inserir o arquivo climático² em extensão epw. O programa converterá o weather file para o formato wea e criará uma pasta no desktop com o arquivo que deverá ser aberto no software de simulação o Daysim.

O próximo passo é abrir o Daysim, abrir o header file e importar o arquivo em wea. Ajustar os valores de refletância e transmissividade para cada material, alterar também os parâmetros de simulação de acordo com cada modelo.

Os dados de refletância adotados foram: Para o teto 80%, para as paredes 50%, para o piso 20%, para os protetores solares 70% e vidro comum incolor com transmitância de luz visível de acordo com o banco de dados do próprio programa Daysim (Radiance) de 90%. Os parâmetros de simulação poderão assumir uma complexidade 1 ou 2, que é caracterizada pela ausência/existência de proteção solar.

Após ajustar todos estes dados para cada uma das fachadas foram feitas as simulações de iluminação natural dos modelos que requeriam proteções solares. A simulação de iluminação natural é um cálculo computacional com o objetivo de prever a quantidade de luz natural disponível na edificação sob determinada condição de céu selecionada (simulação estática) ou durante o curso de todo um ano (simulação dinâmica).

² O arquivo climático está disponível em:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil

Para este trabalho utilizou-se a simulação dinâmica com o objetivo de avaliar se a iluminação natural é boa, adequada ou insuficiente. Por se tratar de edificação de uso residencial, foi adotado o nível de iluminância médio recomendado pela NBR 5413 (ABNT, 1992), que corresponde ao valor de 150 lux.

4.6 Resultados das simulações computacionais

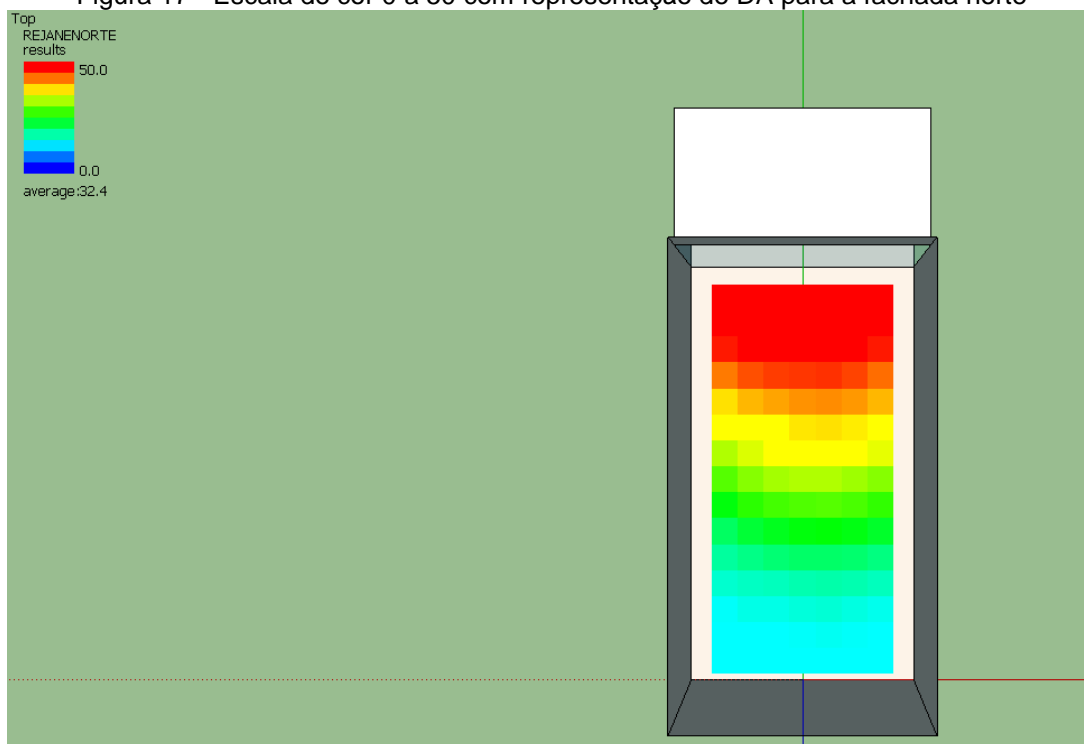
Os resultados do processo de simulação podem ser dados por meio da exibição de relatórios numéricos, que descrevem os níveis de iluminação do ambiente, ou por imagens estáticas que são plotadas em uma mesma escala de cor para todos os modelos.

Essas escalas de cores são chamadas também de cores falsas, pois possuem o objetivo apenas de facilitar a leitura e o entendimento da distribuição da luz natural dentro do ambiente. Essa autonomia da luz natural é representada pelas métricas dinâmicas de (DA) e representam a porcentagem de horas ao longo do período de um ano em que a Iluminância média requerida para o ambiente foi atingida, dentro da faixa horária definida para a simulação.

Já os gráficos que representam os valores das iluminâncias (ILL), traduzem através de dados numéricos qual é o valor médio real da Iluminância em lux, atingida em cada uma das fachadas, ao longo do período de um ano, dentro da faixa horária definida para a simulação.

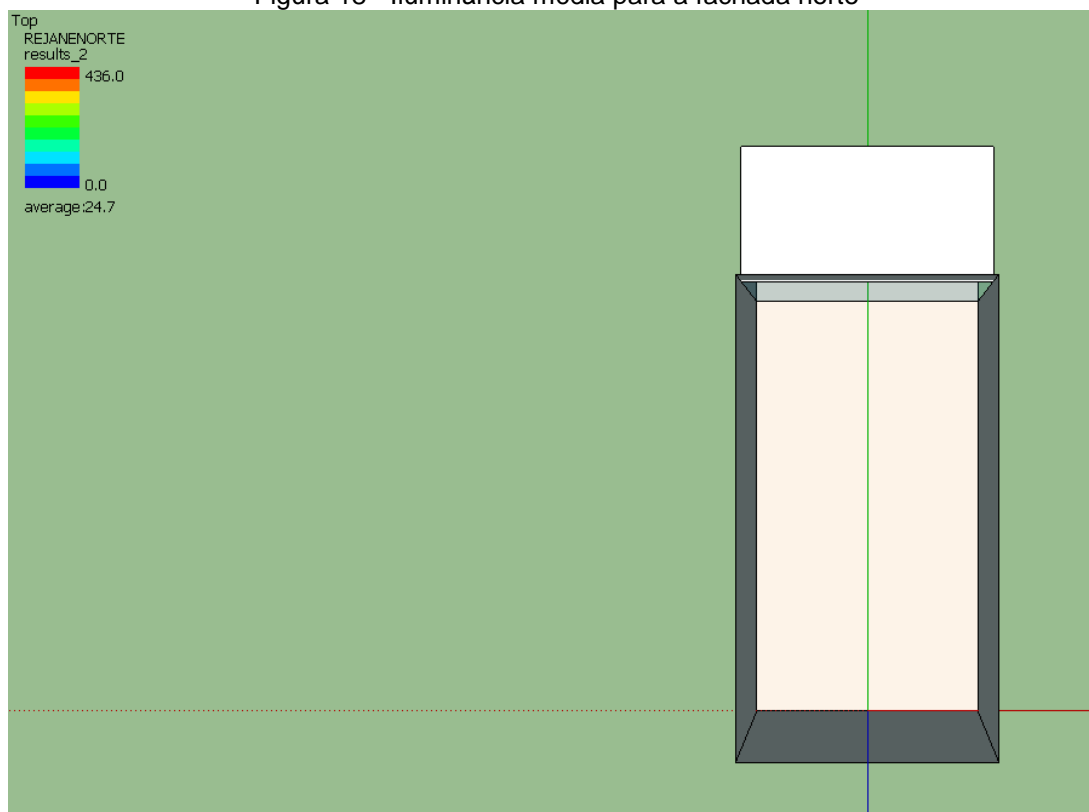
Para a fachada norte os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de Daylight Autonomy DA = 32,4 % e uma Iluminância média ILL= 24,7 lux, conforme figuras 17 e 18.

Figura 17 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada norte



Fonte: Elaborado pelo Autor

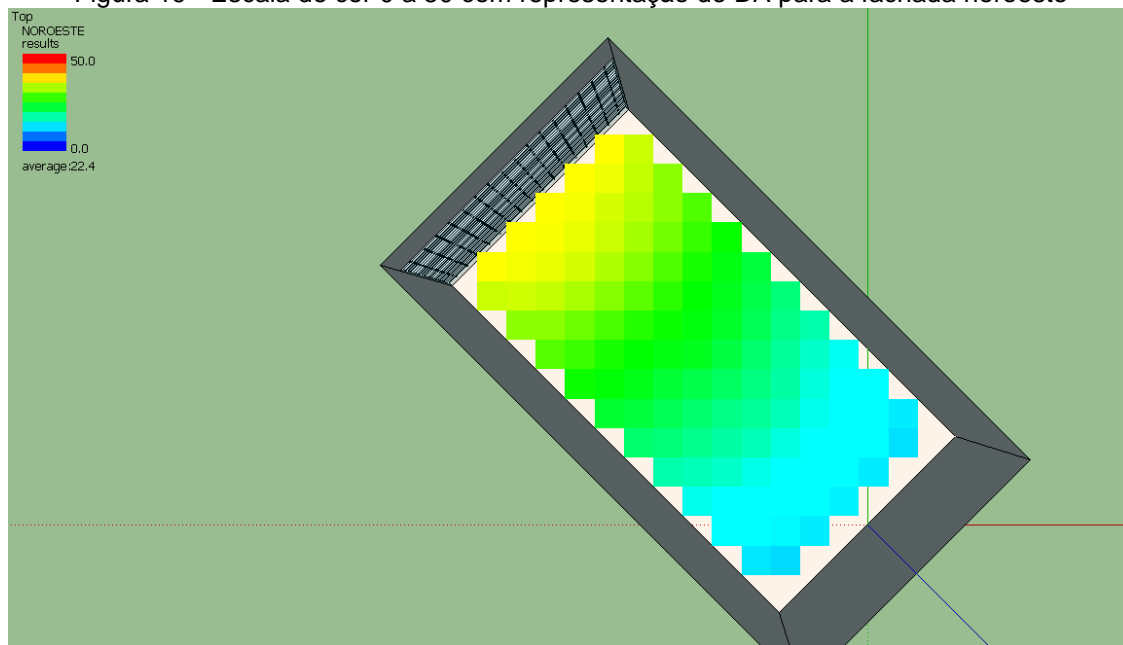
Figura 18 - Iluminância média para a fachada norte



Fonte: Elaborado pelo Autor

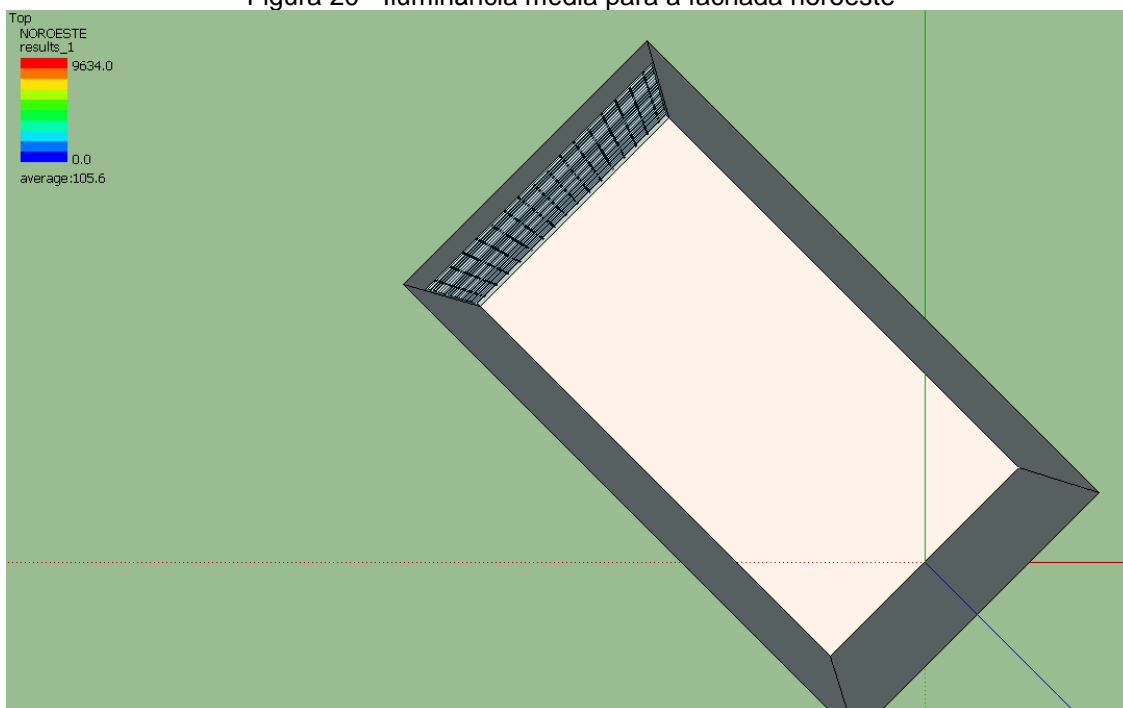
Para a fachada noroeste os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de DA = 22,4 % e ILL= 105,6 lux, conforme figuras 19 e 20.

Figura 19 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada noroeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

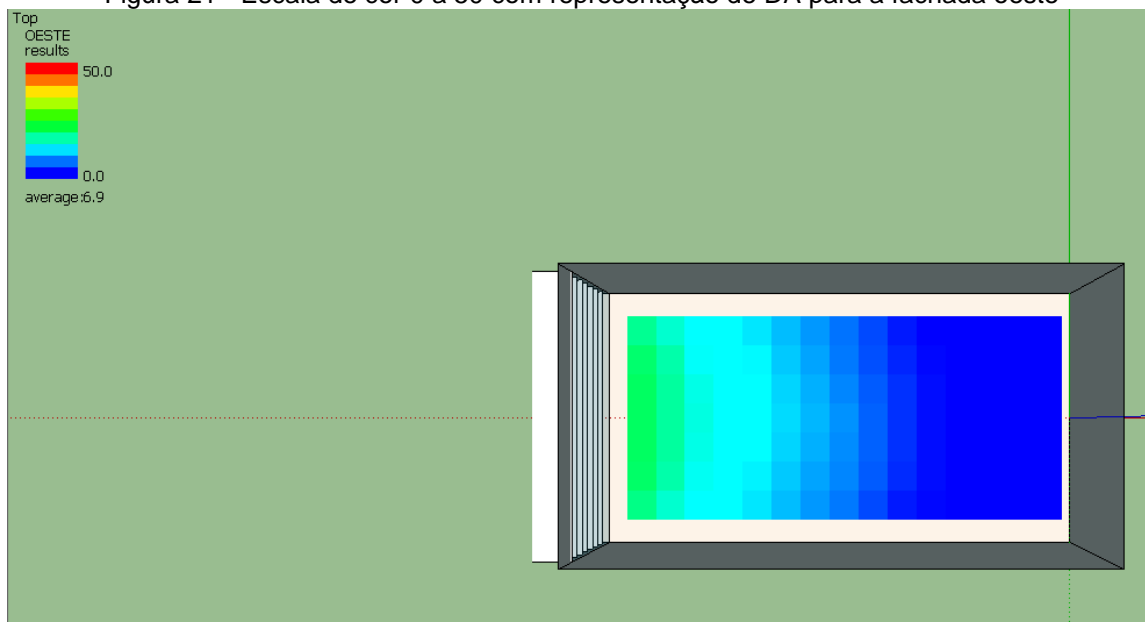
Figura 20 - Iluminância média para a fachada noroeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

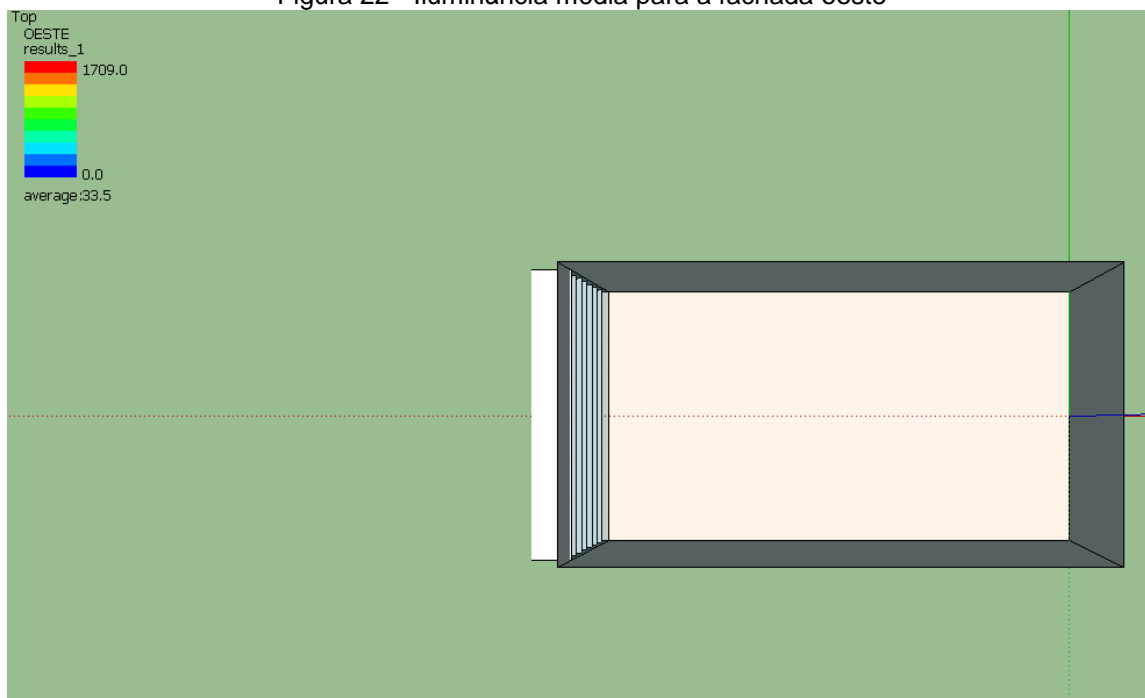
Para a fachada oeste os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de DA = 6,9 % e ILL= 33,5 lux, conforme figuras 21 e 22.

Figura 21 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada oeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

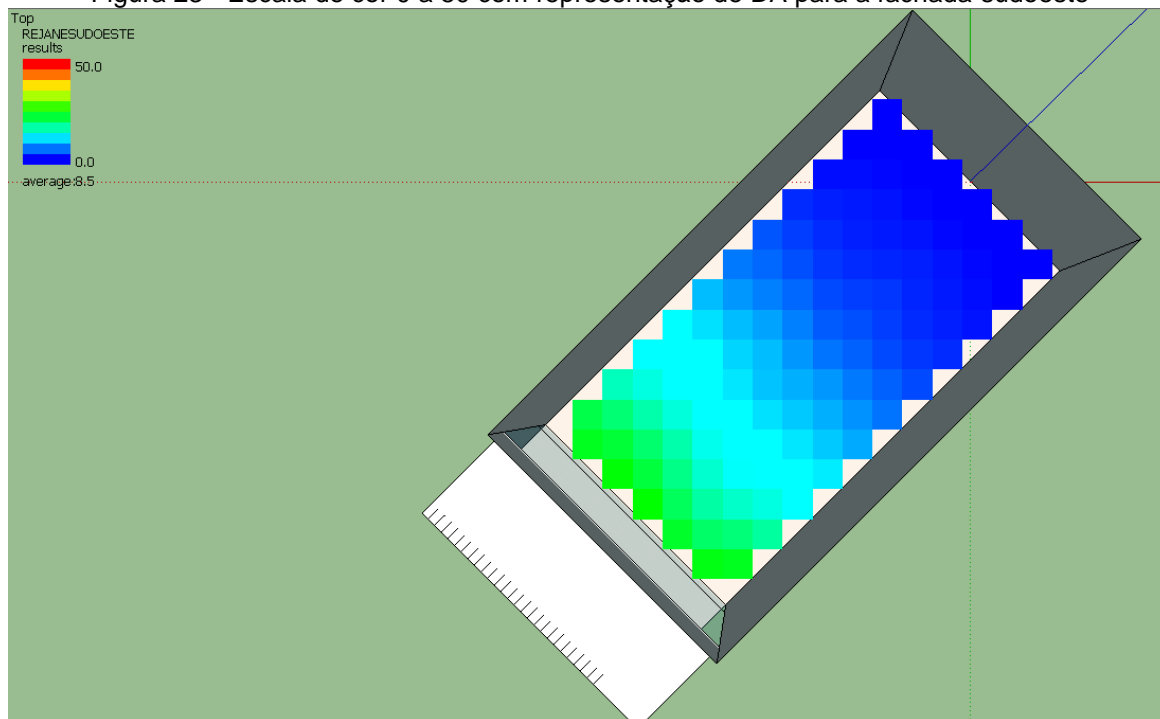
Figura 22 - Iluminância média para a fachada oeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

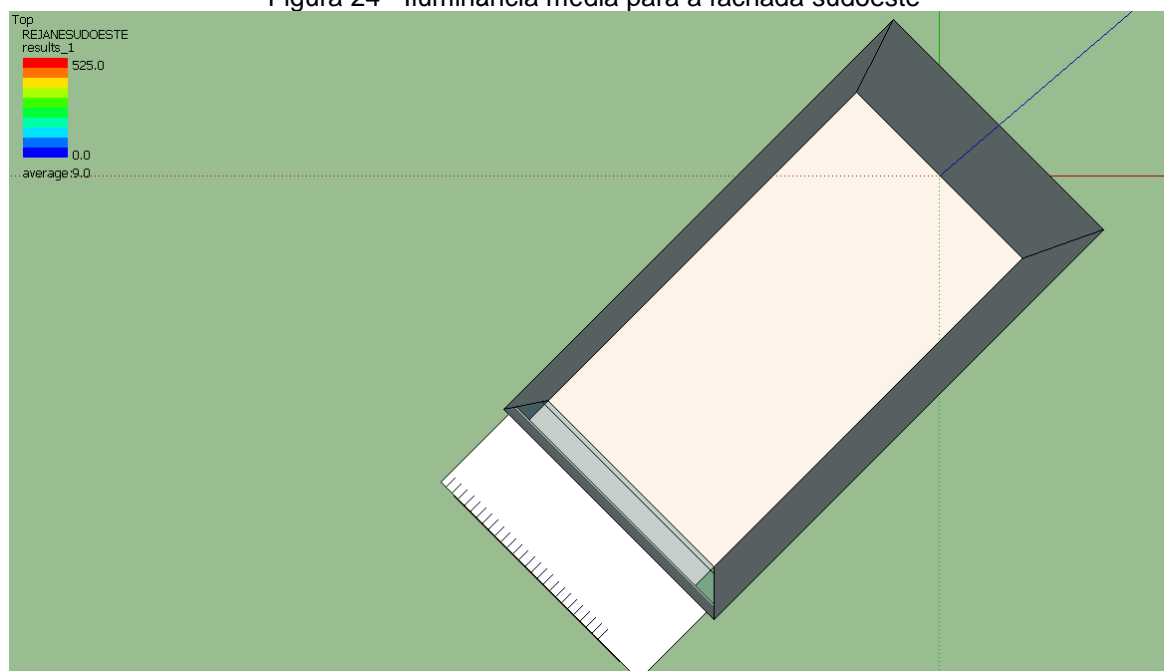
Para a fachada sudoeste os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de DA = 9,5 % e ILL= 09 lux, conforme figuras 23 e 24.

Figura 23 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada sudoeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

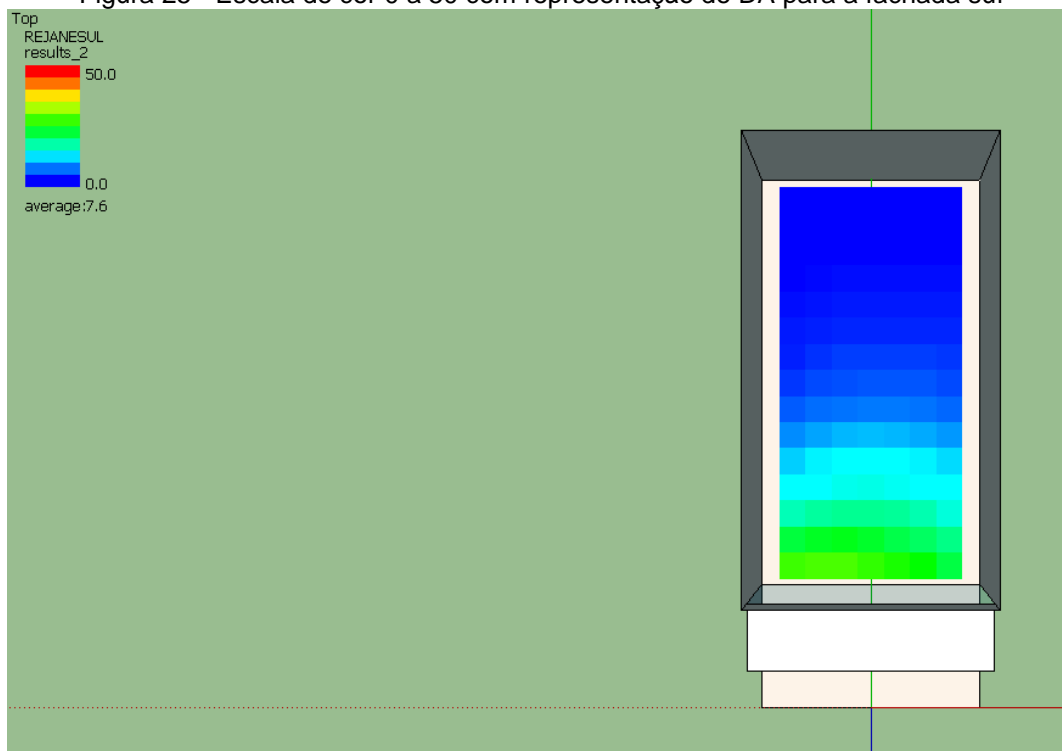
Figura 24 - Iluminância média para a fachada sudoeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

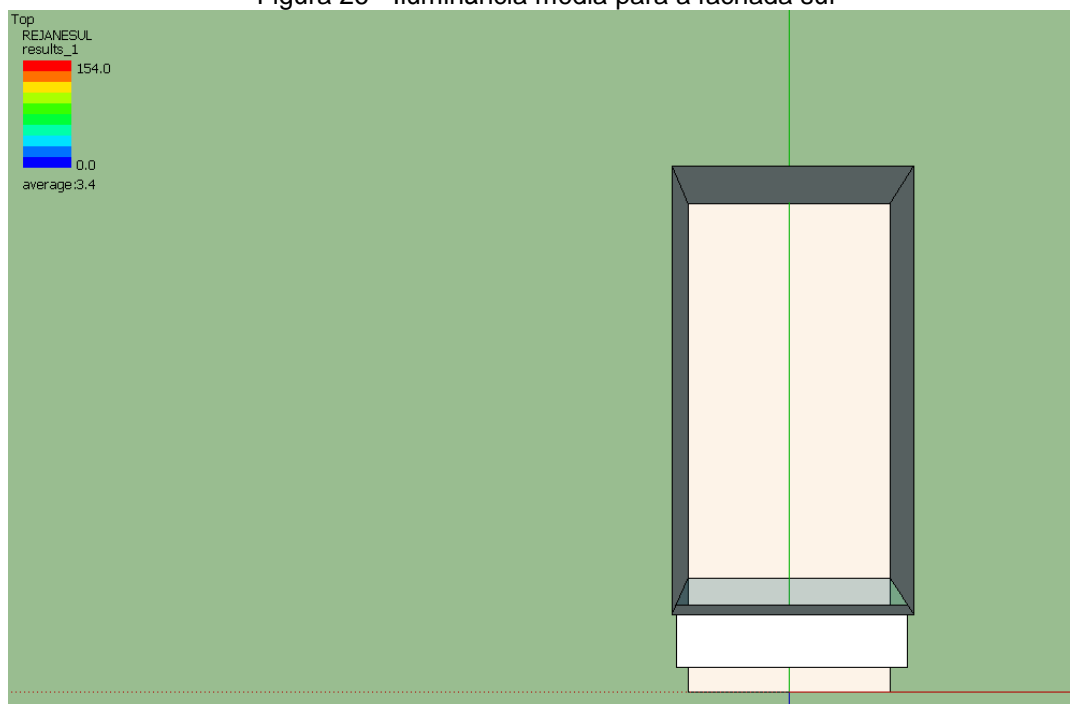
Para a fachada sul os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de DA = 7,6 % e ILL= 3,4 lux, conforme figuras 25 e 26.

Figura 25 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada sul



Fonte: Elaborado pelo Autor

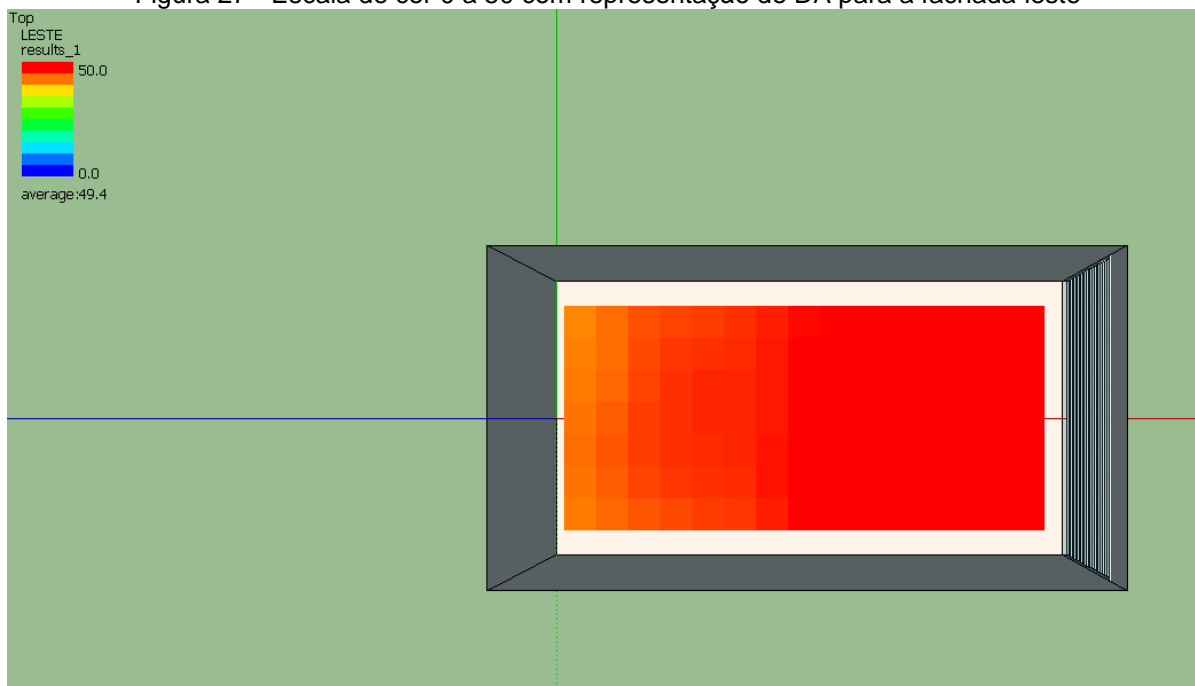
Figura 26 - Iluminância média para a fachada sul



Fonte: Elaborado pelo Autor

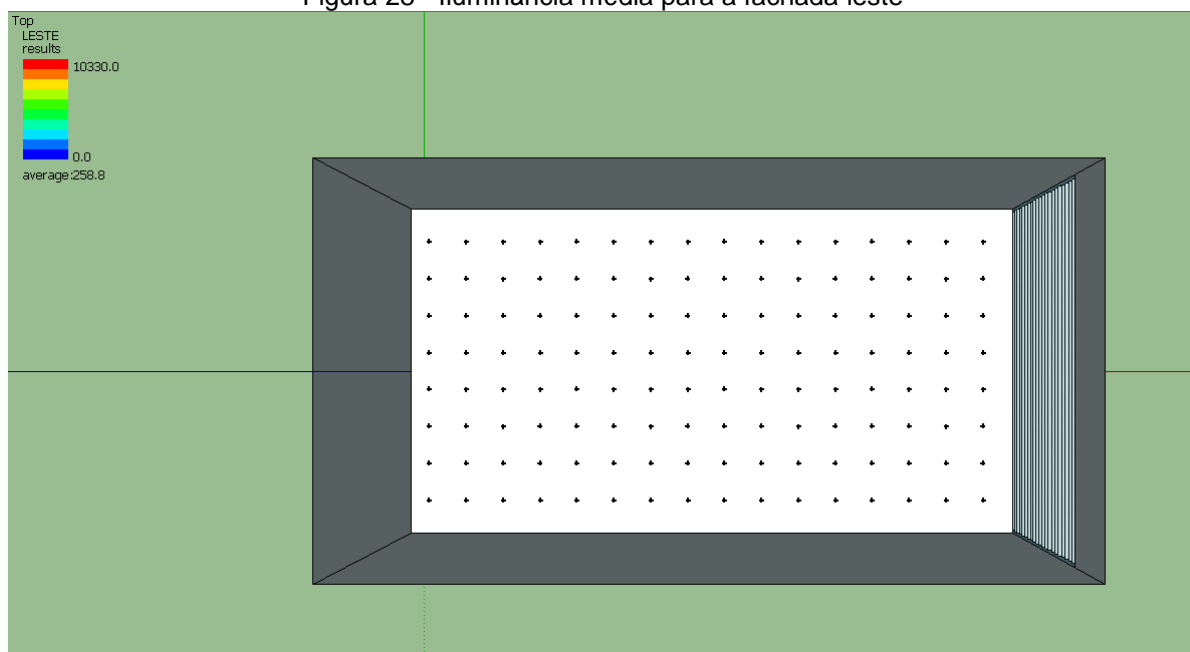
Para a fachada leste os valores resultantes da simulação computacional correspondem a um valor de DA = 49,4 % e ILL= 258,8 lux, conforme figuras 27 e 28.

Figura 27 - Escala de cor 0 a 50 com representação de DA para a fachada leste



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 28 - Iluminância média para a fachada leste



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.7 Avaliação dos resultados

Com a apresentação dos dados acima passamos a análise do comportamento da luz natural como uso das métricas dinâmicas de DA e de ILL. A tabela 6 resume os dados simulados em cada modelo em conjunto com os dados das tipologias das proteções solares, visando facilitar a análise comparativa dos resultados.

Tabela 6 - Resumo dos dados de simulação

Resumo dos Dados de DA e ILL para os modelos em estudo						
Dados	Norte	Noroeste	Oeste	Sudoeste	Sul	Leste
DA (%)	32,4	22,4	6,9	9,5	7,6	49,4
ILL (lux)	24,7	105,6	33,5	9,0	3,4	258,8
TIPOLOGIA PROTEÇÃO SOLAR	Marquise	Protetor solar misto	Protetor filetado c/ ângulo de reflexão	Protetor vertical	Marquise	Protetor horizontal

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com base nos resultados obtidos nas simulações e sintetizados na tabela 6, podemos dizer que o impacto dos dispositivos de proteção solar na iluminação natural dentro do ambiente é muito grande. Mesmo havendo em nosso céu padrão uma grande disponibilidade de luz na abóboda celeste, e, ainda trabalhando com aberturas consideradas grandes (segundo anexo da portaria INMETRO Nº 018/ 2012), ou seja, que representam mais de 25% da área de piso, o impacto da proteção solar na iluminação natural é muito maior do que o esperado.

O valor médio do nível de iluminância interna (ILL) requerido para o ambiente em análise corresponde a 150 lux, um índice que podemos considerar baixo, porém admitido ou adequado às tarefas visuais simples. Mesmo com o valor de ILL baixo, de todos os valores encontrados apenas a fachada Leste atingiu um índice superior ao valor de ILL mínimo. Entretanto, este valor só é atingido nesta fachada em 49,4% das horas do dia (dentro da faixa definida para a simulação), ao longo do período de um ano. Isto significa dizer que embora a Iluminância média do ambiente para esta fachada seja superior à requerida para o mesmo, nos outros 50,6% das

horas do dia, será necessário o incremento de luz artificial para a realização das tarefas consideradas visualmente simples.

Em nenhum dos outros modelos em análise o valor médio da Iluminância mínima requerida de 150 lux foi atingido, sendo que apenas a fachada Noroeste apresenta valor acima de 100 lux, que embora não seja o valor de referência adotado, segundo a NBR 5413 (1992), pode ser adotado para recintos não usados para o trabalho contínuo, se enquadrando nos critérios adotados neste estudo. As demais fachadas não se adequam aos critérios da NBR 5413 (1992) por apresentarem valores de Iluminância média abaixo de 50 lux.

Embora a iluminância média não tenha sido atingida na maioria dos modelos e na maior parte das horas de ocupação, a iluminância requerida de 150 lux é atingida em algum período das horas de uso. Este período em que a iluminância adotada na simulação, de 150 lux é atingida é representado pelos dados de DA. Embora os valores de DA sejam considerados baixos, não podemos dizer que a iluminância de 150 lux não foi atingida em nenhum dos modelos, e sim, que a iluminância de 150 lux foi atingida em uma porcentagem muito pequena das horas de uso da edificação.

Isto significa dizer que na maior parte das horas de uso, será necessária a utilização da luz artificial complementar à luz natural, mesmo se tratando de uma edificação de uso residencial onde as tarefas visuais são consideradas simples.

Um fato que merece atenção sobre a análise do comportamento da luz natural é o fato de que em todos os modelos testados a distribuição da luz natural acontece de forma bastante homogênea dentro do espaço. Isto significa dizer que a distribuição da luz natural, embora até mesmo insuficiente, acontece de forma gradiente ao longo da profundidade do espaço, e, neste ponto podemos dizer que houve uma boa distribuição espacial. Sob o ponto de vista do conforto, esta distribuição da luz está diretamente relacionada ao conforto do usuário, uma boa distribuição da luz minimiza possíveis incômodos e problemas causados por ofuscamento e contraste entre diferentes pontos em um mesmo ambiente.

Analisando um pouco a tipologia das proteções solares, podemos dizer que pelo fato de termos avaliado um número muito pequeno de tipologias não foi possível relacionar os resultados dos valores de mínimos e máximos encontrados às tipologias estudadas. Para esta correlação seria necessário testar várias tipologias

para cada uma das fachadas, e com base nestas variações tentarmos relacionar um maior ou menor impacto do dispositivo de proteção solar sobre a iluminação natural.

5 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto das proteções solares em edificações residenciais situadas na cidade de Belo Horizonte. O estudo partiu de um modelo hipotético com proteção solar dimensionada segundo o anexo da portaria INMETRO Nº 018/ 2012. Embora o estudo se restrinja à cidade de Belo Horizonte e apresente um número muito pequeno de tipologias, ou seja, apenas uma tipologia de proteção solar por fachada, foi possível concluir que os resultados encontrados demonstram a necessidade de um melhor aprofundamento quanto as possibilidades de variações destas tipologias e de seu impacto nos outros sistemas passivos de conforto ambiental e da sustentabilidade como um todo. É sabido que estas proteções causam um enorme impacto na iluminação natural, resta saber ainda, como minimizar este impacto através do estudo de uma variação maior de tipologias.

Só assim, poderíamos chegar a um sistema de proteção solar capaz de reduzir o aporte de carga térmica no interior da edificação e ao mesmo tempo aumentar o potencial de utilização de luz natural, reduzindo tanto o consumo com a demanda de equipamentos de ar condicionado, como o consumo de energia pelo não acionamento da iluminação artificial durante a maior parte das horas do dia.

Como este estudo aborda uma área de abertura para iluminação e ventilação natural maior que 25% da área de piso e com um PAF acima de 75%, nos leva a crer que em aberturas menores o impacto da proteção solar sobre a iluminação natural seria ainda maior. Desta forma, a necessidade de se testar maiores possibilidades para estas proteções fica ainda mais evidente, já que este estudo utilizou aberturas maiores que as dimensões mínimas exigidas pelos códigos de obras da maioria das prefeituras brasileiras, e mesmo assim atingiu índices muito baixos de Iluminância, sendo estes índices considerados insuficientes para o exercer das atividades básicas residenciais.

Além da necessidade em estudar o impacto das proteções solares na iluminação natural abrangendo uma variação maior de tipologias para esta proteção, o estudo demonstra que questões relacionadas à sustentabilidade aplicada ao

ambiente construído devem acontecer de forma integrada, pois é muito comum, principalmente em países de clima quente como o nosso, o projetista se atentar para a proteção da fachada em torno da radiação solar direta, visando à promoção do conforto ambiental, porém se esquecer de avaliar o impacto desta proteção no comportamento da luz natural.

No tocante à sustentabilidade, é fato, que o dispositivo de proteção solar diminui em muito o aporte de carga térmica dentro da edificação, o que conseqüentemente melhora o conforto térmico e minimiza o gasto com refrigeração e demanda por equipamento de ar condicionado. Entretanto, com uma iluminação considerada insuficiente até mesmo para as tarefas domésticas, a utilização da iluminação artificial durante a maior parte das horas do dia, altera o consumo energético da edificação que decorre da perda de autonomia da luz natural. Esse incremento da luz artificial durante boa parte das horas do dia aumenta o aquecimento do ambiente, além de promover um espaço com má qualidade ambiental.

No âmbito da tecnologia e da sustentabilidade aplicados ao ambiente construído, existe uma infinidade de recursos disponíveis para testar os projetos ainda na fase de estudo. Esta avaliação inicial pode aumentar em muito a eficiência energética da edificação, permitindo ao projetista ainda na fase inicial melhorar ou até mesmo mudar a estratégia aplicada aquele projeto.

No que diz respeito à simulação computacional, ainda há muita dificuldade de utilização dos softwares disponíveis. Neste estudo, estas dificuldades se apresentaram na própria instalação do software. O Daysim utiliza de outros programas para auxiliar nos dados de entrada e saída dos dados e apresentação dos resultados, o que exigiu uma dedicação de tempo muito grande. Esta demanda por tempo impossibilitou um estudo mais abrangente de tipologias aplicadas ao objeto deste estudo, tendo em vista que uma variação maior destas tipologias permitiria uma análise mais correlativa dos resultados.

Embora existam muitas limitações quanto às simulações computacionais, esta técnica se apresenta como uma excelente ferramenta para análise e decisões inerentes ao projeto de arquitetura. Este estudo demonstra a importância de incrementar em nossas práticas projetuais estudos mais integrados sobre a eficiência energética. O acesso aos softwares de simulação computacional assim como a disseminação de estudos nesta área são de extrema importância, para que a

utilização destas estratégias em larga escala possa modificar a realidade de um projeto e torna-lo cada vez mais palpável, colaborando para a sustentabilidade da arquitetura de forma mais concreta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. Norma Brasileira. Iluminação de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT. 1992. 13p.

_____. **NBR 5461**. Norma Brasileira. Iluminação (Terminologia). Rio de Janeiro: ABNT. 1992. 68p.

_____. **NBR 15520**. Norma Brasileira. Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 2003. 66p.

_____. **NBR 15215-1**. Norma Brasileira. Iluminação Natural. Parte 1. Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT. 2005. 05p.

_____. **NBR 15215-4**. Norma Brasileira. Iluminação Natural. Parte 4. Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de Medição. Rio de Janeiro: ABNT. 2005. 13p.

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

BROWN, G. Z; DEKAY, A. S. M. **Sol Vento e Luz**. 2004, 416p.

BUTERA, F. M. **Da caverna à casa Ecológica. História do conforto e da Energia**. São Paulo: Nova técnica Editorial, 2009, 320p.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. 2004, 289p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO - **MANUAL RTQ-R**. Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - Versão I – 202 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO - **PORTARIA Nº 018/ 2012**. 136p.

LUCAS, Vanessa. **Construção sustentável** – sistema de avaliação e certificação. 2011. 197f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

MASCARÓ, L. E. R. **Iluminação Natural nos Edifícios**. Porto Alegre: Universidade Federal do rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, PROPARG, 1980.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2014**: ano-base 2013. Brasília: MME, 2014.

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus S/C Ltda, 2001, 362p.