


PATRICIA WINTER CHAVES

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS**  
O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS

Brasília - DF  
2012

PATRICIA WINTER CHAVES

# ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – UnB 

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Naves David Amorim**

Brasília - DF  
2012

PATRICIA WINTER CHAVES

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS**  
O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – UnB.

Data da defesa: 02 de abril de 2012

Dissertação aprovada pela comissão examinadora, constituída por:

---

Orientadora | **Professora Cláudia Naves David Amorim, Dr<sup>a</sup>.**  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | UnB

---

Professor **Neander Furtado Silva, Dr.**  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

---

Professor **Evangelos Dimitrios Christakou, Dr.**  
Faculdade de Tecnologia - Engenharia Civil | UnB

Brasília, 2012

A Deus, sobre todas as coisas  
Aos meus pais, fontes de inspiração para a vida  
Ao meu esposo, pelo amor e companheirismo dedicados sempre

# AGRADECIMENTOS

A professora Cláudia Amorim, que sabiamente orientou este trabalho, demonstrando competência e compreensão em todos os momentos dando-me oportunidade ímpar de ampliar e aprofundar conhecimentos.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-graduação da FAU, em especial ao João e ao Júnior pela sua benevolência e apoio sempre.

A Juliana Garrocho pela disposição demonstrada no auxílio à realização das simulações computacionais.

Ao meu esposo, Ebenezer Chaves que sempre muito positivo me fez acreditar na realização deste trabalho.

Aos meus pais, em eterna gratidão, por conduzirem e dedicarem grande parte de suas vidas à minha educação e formação acadêmica.

Aos queridos amigos que encontrei durante esta realização, Helena Costa, Joene Saibrosa, Beatriz Toledo, Thaís Lima, Márcio Brandão, Carol, Luciana Carpaneda e Valdecir Teixeira pelo apoio e amizade dedicados.

A Atrium Arquitetura, pela compreensão e em especial ao arquiteto Murilo Meira de Araújo, pela contribuição e auxílio.

## RESUMO

O uso otimizado da iluminação natural nos ambientes de escritório está condicionado ao conhecimento das condições climáticas locais, principalmente da disponibilidade de luz natural e às necessidades dos usuários. As configurações de aberturas na tipologia de escritórios apresentam-se usualmente de forma lateral, portanto o uso do painel prismático nestas aberturas se mostra interessante. Esta pesquisa aborda o painel prismático inserido em aberturas laterais, analisado através de simulações computacionais com o software Rayfront. As cidades tomadas como referência representam três diferentes latitudes e condições climáticas e de disponibilidade de luz natural, sendo elas Maceió, Brasília e Florianópolis. Apóia-se na revisão bibliográfica do comportamento da luz natural, dos sistemas inovadores para redirecionamento da luz e do uso de softwares de simulação computacional, resultando em análises do uso do painel prismático nas latitudes adotadas. O estudo mostrou que o fechamento painel prismático pode ser utilizado para elevar os níveis de iluminância em comparação com o vidro incolor em até aproximadamente dois terços do ambiente. O painel prismático também evitou diversas situações de possível ofuscamento, em comparação com valores excessivamente elevados de iluminância apresentadas pelo vidro. Quanto às datas, os resultados mais satisfatórios foram no solstício de inverno em todas as latitudes. O tipo de céu de uso mais interessante foi o céu claro e o horário que apresentou valores de iluminância mais aproximados dos ideais foi às 15h. A latitude com melhor aproveitamento do painel prismático quando comparado ao vidro foi Maceió, seguida por Florianópolis e Brasília. Em todas as situações simuladas, Maceió obteve maior quantidade de valores satisfatórios de iluminância com o painel prismático do que com o vidro. Por fim uma solução interessante para alcançar um aproveitamento otimizado da luz natural dentro dos espaços, de acordo com cada situação para o painel estudado é sugerido na conclusão do trabalho.

**Palavras-chave:** Iluminação natural; escritórios; abertura lateral; painel prismático; simulação computacional.

# ABSTRACT

The optimal use of natural lighting in office environments is conditioned to the knowledge of local weather conditions, especially the availability of daylighting and the needs of users. The configurations of openings in the type of offices can be found usually laterally way, so using the prismatic panel in these openings it shown interesting. This research addresses the prismatic panel inserted into the side openings, analyzed through computer simulations with the software Rayfront. The cities taken as reference represents three different latitudes and climatic conditions and availability of daylighting, they are Maceió, Brasília and Florianópolis. It is based on literature review of the behavior of daylighting, innovative systems for the redirection of light and the use of computer simulation software, resulting in analysis of use prismatic panel at the adopted latitudes. The study showed that the closure prismatic panel can be used to raise levels of illuminance compared to clear glass up to about two-thirds of the environment. The prismatic panel also avoided various situations of possible glare, compared with excessively high luminance values presented by the glass. Regarding the dates, the most satisfactory results were at the winter solstice at all latitudes. The most interesting kind of use sky was the clear sky and the time that had values of illuminance more approximated of the ideal was at 3pm. The latitude with better use of the prismatic panel when compared to the glass was Maceió, followed by Florianópolis and Brasília. In all cases simulated, Maceió had the highest amount of satisfactory values of illuminance with the prismatic panel than the glass. Finally an interesting solution to achieve an optimal use of daylighting within the spaces, according to each situation to the panel studied is suggested at the conclusion of this work.

**Key-words:** Daylighting; offices; lateral opening; prismatic panels; computational simulation.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>11</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DA LUZ NATURAL</b>	<b>11</b>
<b>2.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LUZ NATURAL</b>	<b>12</b>
<b>2.2 FONTES DE LUZ NATURAL</b>	<b>13</b>
2.2.1 LUZ DO SOL	13
2.2.2 LUZ DO CÉU	16
<b>2.3 COMPONENTES DA LUZ NATURAL</b>	<b>20</b>
<b>2.4 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL</b>	<b>22</b>
2.4.1 RADIAÇÃO SOLAR E INSOLAÇÃO	23
<b>2.8 LUZ NATURAL E CLIMA</b>	<b>26</b>
2.8.1 CLIMA DE BRASÍLIA	27
2.8.2 CLIMA DE FLORIANÓPOLIS	28
2.8.3 CLIMA DE MACEIÓ	29
<b>2.6 REQUISITOS DE CONFORTO VISUAL</b>	<b>31</b>
2.6.1 VALORES DE ILUMINÂNCIA (E)	33
2.6.2 DISTRIBUIÇÃO, CONTROLE E QUANTIDADE - ÍNDICE DE UNIFORMIDADE	33
2.6.4 OFUSCAMENTO	35
<b>2.7 FENÔMENOS FÍSICOS DA LUZ</b>	<b>37</b>
2.7.1 REFLEXÃO, TRANSMISSÃO E ABSORÇÃO	37
2.7.2 LEI DE LAMBERT (LEI DOS COSSENOS)	41
2.7.3 REFRAÇÃO	41
2.7.4 DIFRAÇÃO	43
<b>2.8 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>43</b>



<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>46</b>
<b>ILUMINAÇÃO NATURAL LATERAL</b>	<b>46</b>
<b>3.1 CONCEITUAÇÃO</b>	<b>47</b>
<b>3.2 USO DA ILUMINAÇÃO LATERAL EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS</b>	<b>49</b>
<b>3.3 SISTEMAS INOVADORES PARA REDIRECIONAMENTO DA LUZ</b>	<b>51</b>
3.3.1 PRATELEIRAS DE LUZ	52
3.3.2 LASER CUT PANEL	53
3.3.3 OKASOLAR	55
3.3.4 PAINEL PRISMÁTICO	56
3.3.5 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO PARA DISPOSITIVOS DE REDIRECIONAMENTO DA LUZ NATURAL	63
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>64</b>
<b>FERRAMENTAS PARA CÁLCULO E AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL</b>	<b>64</b>
<b>4.1 FERRAMENTAS CONVENCIONAIS</b>	<b>65</b>
<b>4.2 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>73</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>73</b>
<b>5.1 O PAINEL PRISMÁTICO E O MODELO GEOMÉTRICO</b>	<b>75</b>
<b>5.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO</b>	<b>78</b>
5.2.1 LOCALIZAÇÃO	78
5.2.2 ORIENTAÇÃO DA ABERTURA	78
5.2.3 TIPOS DE CÉU	79
5.2.4 DATAS	81
5.2.5 HORÁRIOS	82
<b>5.3 PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL</b>	<b>82</b>
<b>5.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b>82</b>
<b>5.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>93</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>93</b>
<b>6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES</b>	<b>94</b>
6.1.1 CIDADE DE BRASÍLIA	98
6.1.2 CIDADE DE FLORIANÓPOLIS	105
6.1.3 CIDADE DE MACEIÓ	112

<b>CAPÍTULO 7</b>	<b>120</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>120</b>
<b>7.1 CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES</b>	<b>121</b>
7.1.1 SOFTWARE RAYFRONT .....	121
<b>7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>122</b>
<b>7.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO   SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS</b>	<b>125</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>133</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Grande Terminal Central de Nova Iorque. Fonte: [www.nyc.gov](http://www.nyc.gov).

FIGURA 1.2 – Catedral de Sevilla.

FIGURA 1.3 – Área de circulação do Instituto do Mundo Árabe, Paris.

FIGURA 1.4 – Componentes de fachada em forma de diafragmas no Instituto do Mundo Árabe.

FIGURA 2.1 – Espectro das cores, da luz visível. Fonte: Adaptado de [www.lablogatorios.com.br](http://www.lablogatorios.com.br)

FIGURA 2.2 – Representação dos solstícios e equinócios. Fonte: adaptado de Grimm, 1999.

FIGURA 2.3 – Projeção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para latitude - 15,86°, (referente à cidade de Brasília). Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol)

FIGURA 2.4 – Projeção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para latitude - 27,66° (referente à cidade de Florianópolis). Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol)

FIGURA 2.5 – Projeção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para latitude - 9,51°, (referente à cidade de Maceió). Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol)

FIGURA 2.6 – Modelo de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. (Fonte: Baker et al, 2002).

FIGURA 2.7 – Nebulosidades mensais para a cidade de Brasília. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.8 – Nebulosidades mensais para a cidade de Florianópolis. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.9 – Nebulosidades mensais para a cidade de Maceió. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.10 – Comparativo entre nebulosidades mensais para a cidade de Maceió, Florianópolis e Brasília, respectivamente. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.11 – Componente do céu (CC) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

FIGURA 2.12 – Componente refletida externa (CRE) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

FIGURA 2.13 – Componente refletida interna (CRI) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

FIGURA 2.14 – Média de horas de insolação mensal para a cidade de Brasília. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.15 – Média de horas de insolação mensal para a cidade de Florianópolis. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.16 – Média de horas de insolação mensal para a cidade de Maceió. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.17 – Comparativo entre as médias de horas de insolação mensal para a cidade de Maceió, Florianópolis e Brasília, respectivamente. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FIGURA 2.18 – Carta Solar de Brasília – de janeiro a junho. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.19 – Carta Solar de Brasília – de junho a dezembro. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.20 – Carta Solar de Florianópolis – de janeiro a junho. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.21 – Carta Solar de Florianópolis – de junho a dezembro. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.22 – Carta Solar de Maceió – de janeiro a junho. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.23 – Carta Solar de Maceió – de junho a dezembro. Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

FIGURA 2.24 – Níveis aceitáveis de luminância em função da posição do observador. Fonte: adaptado de Baker et al,1993.

FIGURA 2.25 – Interação da luz com a matéria. Fenômenos de absorção (a), reflexão (r) e transmissão (t). Fonte: Adaptado de Baker et al (2002).

FIGURA 2.26 – Ângulo de incidência = Ângulo de reflexão – para superfície especular e semi-especular. Fonte: Quality lighting & energy conservation strategies – ddc lighting manual.

FIGURA 2.27 – Classificação dos tipos de reflexão e transmissão de acordo com o ângulo (delta) de dispersão. Fonte: Adaptado de Baker et al (1998).

FIGURA 2.28 – Representação da Lei dos cossenos de Lambert. Fonte: adaptado de PUC-RIO, 2008.

FIGURA 2.29 – Representação da Lei dos cossenos de Lambert.  
Fonte: [www.arq.ufsc.br](http://www.arq.ufsc.br)

FIGURA 2.30 – Desenho esquemático para representação do fenômeno da refração em uma superfície.

FIGURA 2.31 – Difração da luz. Fonte: [omnis.if.ufrj.br](http://omnis.if.ufrj.br)

FIGURA 3.1 – Visualização fotorealística de um ambiente iluminado por dois vãos, onde o superior possui sistema de redirecionamento de luz. Fonte: IEA, 2005.

FIGURA 3.2 – Aeroporto Washington Dulles. Fonte: [www.metwashairports.com](http://www.metwashairports.com)

FIGURA 3.3 – Aeroporto Ronald Regan, Washington. Fonte: [www.metwashairports.com](http://www.metwashairports.com)

FIGURA 3.4 – Representação da queda de iluminância na medida em que se distancia da janela. Fonte: adaptado de BAKER e STEEMERS, 2002.

FIGURA 3.5 – Escritório SUVA em Basel, Suíça. Arquitetos responsáveis: Herzog e Pierre de Meuron. Fonte: Fontoynont, 1999.

FIGURA 3.6 – Escritório SUVA em Basel, Suíça. Fonte: Fontoynont, 1999.

FIGURA 3.7 – Detalhe da aplicação do painel prismático na fachada do edifício correspondente às figuras 3.5 e 3.6. Fonte: Fontoynont, 1999.

FIGURA 3.8 – Exemplo de aplicação da prateleira de luz. Fonte: [www.ncgreenbuilding.org](http://www.ncgreenbuilding.org).

FIGURA 3.9 – Corte esquemático de uma prateleira de luz. Fonte: IEA, 2000.

FIGURA 3.10 – Exemplo de aplicação do Laser Cut Panel. Fonte: IEA, 2000.

FIGURA 3.11 – Secção de um Laser Cut Panel, demonstrando seu comportamento a incidência da luz. Fonte: IEA, 2000.

FIGURA 3.12 – Esquema de funcionamento do Laser Cut Panel entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.13 – Secção de um Okasolar, demonstrando seu comportamento a incidência da luz. Fonte: adaptado de KOSTER, apud CIAMPINI, 2005.

FIGURA 3.14 – Vista do elemento Okasolar demonstrando sua transparência. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.15 – Esquema de funcionamento do Okasolar entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.16 – Okalux Office, Marktheidenfeld. Fonte: OKALUX, 2008.

FIGURA 3.17 – Retrolux Capricorn, Monchengladbach. Fonte: OKALUX, 2008.

FIGURA 3.18 – Painel prismático. Fonte: IEA, 2000.

FIGURA 3.19 – Painel prismático. Fonte: IEA, 2000.

FIGURA 3.20 – Esquema de funcionamento do Painel Prismático entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.21 E FIGURA 3.22 – Uso do painel prismático como sistema de proteção. Fonte: do autor, 2008.

FIGURA 3.23 – Exemplos de painéis prismáticos disponíveis comercialmente pela empresa SITECO (nome comercial SIEMENS). Fonte: adaptado de IEA.

FIGURA 3.24 – Simulação de incidência solar nos painéis prismáticos colocados em forma de brises. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.25 – Comparação do comportamento da luz natural em um componente de painel prismático simples e um componente com uma das faces reflexivas. Fonte: adaptado de IEA,2000.

FIGURA 3.26 – Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no prisma. Fonte: adaptado de KOSTER,2004.

FIGURA 3.27 – Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no painel prismático voltado para o norte. Fonte: LORENZ, 2001.

FIGURA 3.28 – Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no prisma adotado para o estudo.

FIGURA 3.29 – Escritório em Esslingen. Arquiteto responsável: Odilo Reutter. Fonte: KÖSTER, 2004.

FIGURA 3.30 – Fábrica St. Zeno, Kirchseeon (2003). Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 3.31 – Escritório em Esslingen. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

FIGURA 4.1 E 4.2 – Exemplo de protótipo elaborado para o estudo da luz natural. Vista exterior e vista interior. Fonte: CIAMPINI, 2005.

FIGURA 4.3 – Imagem em greyscale.

FIGURA 4.4 – Imagem sintetizada em false color.

FIGURA 5.1 – Fluxograma da metodologia adotada para a realização do trabalho.

FIGURA 5.2 – Desenho da planta do ambiente de escritório virtual adotado

FIGURA 5.3 – Interface de ajuste das características do “prism 1” no software Rayfront.

FIGURA 5.4 – Interface de ajuste das características do “vidro simp” no software Rayfront.

FIGURA 5.5 – Corte do ambiente de escritório virtual, mostrando os dois fechamentos adotados para a simulação.

FIGURA 5.6 e 5.7 – Elevação e perspectiva ilustrativa do ambiente de escritório virtual.

FIGURA 5.8 – Mapa do Brasil com a representação das localidades e suas respectivas latitudes. Fonte: do autor, 2008.

FIGURA 5.9 – Janela do software DLN (Disponibilidade de Luz Natural) com os dados de iluminâncias para (a) Brasília, (b) Florianópolis e (c) Maceió em 22 de junho.

FIGURA 5.10 – Fluxograma da metodologia adotada para a realização das simulações computacionais.

FIGURA 5.11 – Janela base de interface do software Rayfront.

FIGURA 5.12 – Interface de ajuste dos parâmetros geográficos.

FIGURA 5.13 – Seleção do tipo de céu, data e hora.

FIGURA 5.14 – Escolha dos materiais e suas características.

FIGURA 5.15 – Seleção dos parâmetros de simulação.

FIGURA 5.16 – Seleção dos dados referentes ao plano de medição.

FIGURA 5.17 – Representação dos pontos de medição estabelecidos no quadro anterior (fig. 5.16).

FIGURA 5.18 – Quadro de representação dos cálculos numéricos.

FIGURA 5.19 – Quadro de análise de resultado na forma *false color*.

FIGURA 5.20 – Plano de medição representando os pontos adotados.

FIGURA 5.21 – Exemplo de gráfico comparativo entre vidro e painel prismático.

FIGURA 6.1 – Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de dezembro para Brasília.

FIGURA 6.2 – Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de dezembro para Brasília.

FIGURA 6.3 – Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de dezembro para Maceió.



## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Condições de céu de acordo com a cobertura de nuvens. Fonte: ABNT, 2005.

TABELA 2.2 – Valores de iluminância obtidos com o software DLN (versão 2.06 – 1997).

TABELA 2.3 – Temperatura máxima, média e umidade da cidade de Brasília. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

TABELA 2.4 – Temperatura máxima, média e umidade da cidade de Florianópolis. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

TABELA 2.5 – Temperatura máxima, média e umidade da cidade de Maceió. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

TABELA 2.6 – Iluminância por classe de tarefas visuais. Fonte: adaptado de ABNT 5413/1992.

TABELA 2.7 – Iluminância por tipo de atividade (valores médios em serviço) Fonte: adaptado de ABNT 5413/1992.

TABELA 2.8 – Refletâncias recomendadas para escritórios. Fonte: Adaptado de IESNA, apud GHISI, 1997.

TABELA 2.9 – Índices de refração de alguns materiais. Fonte: física.ufc.br.

TABELA 3.1 – Classificação dos principais sistemas inovadores para a luz natural. Fonte: AMORIM (2000b).

TABELA 4.1 – Exemplos de *softwares* de simulação computacional de luz natural. Fonte: adaptado de CHRISTAKOU (2004).

TABELA 5.1 – Índices de nebulosidade e respectivas condições de céu para as cidades do estudo.

TABELA 5.2 – Valores de iluminância obtidos com os softwares DLN (versão 2.06 - 1997) e Rayfront (versão 1.04) respectivamente.

TABELA 5.3 – Parâmetros fixos e variáveis adotados nas simulações.

TABELA 5.4 – Dados fornecidos pelo software Rayfront em planilha do programa Excel.

TABELA 5.5 – Exemplo de tabela formatada com os resultados fornecidos pelo software Rayfront.

TABELA 5.6 – Exemplo de tabela-resumo para cada simulação realizada.

TABELA 6.1 – Resultados das simulações no software Rayfront para a cidade de Brasília.

TABELA 6.2 – Resultados das simulações no software Rayfront para a cidade de Florianópolis.

TABELA 6.3 – Resultados das simulações no software Rayfront para a cidade de Maceió.

TABELA 6.4 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.

TABELA 6.5 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.

TABELA 6.6 – Resultados das iluminâncias mínima, máxima e média no dia 22 de dezembro em Florianópolis.

TABELA 6.7 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 15 horas do dia 22 de junho para a cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

TABELA 6.8 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 15 horas do dia 22 de junho para a cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

TABELA 6.9 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

TABELA 6.10 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 9 horas do dia 22 de setembro para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

TABELA 6.11 – Resultados das simulações no software Rayfront, às 9 horas do dia 22 de junho para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

TABELA 7.1 – Tabela resumo com resultados das simulações comparando a porcentagem atingida para valores de iluminância entre 300 e 500lux nos dois fechamentos para todas as cidades.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	Commission International d` Eclairaige
IEA	International Energy Agency
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
NC	Normais Climatológicas
NB	Norma Brasileira
NOOA	National Oceanic and Atmosferic Administration

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

Ao longo da história, a luz natural sempre teve um papel importante na arquitetura, do ponto de vista estético e simbólico, e em relação ao conforto e à iluminação funcional. A busca da iluminação natural foi incrementada durante a Revolução Industrial, através das inovações tecnológicas (por exemplo, as novas técnicas para a produção de vidro). As implicações arquitetônicas da utilização da luz natural nos edifícios sempre foram, além disso, uma fonte de inspiração para os projetistas; neste sentido a iluminação natural sempre fez parte, ainda que implicitamente, do processo de projeto (AMORIM, 2002).

Para Szabo (1998), a luz natural está intrinsecamente ligada à arquitetura. Foram 65 séculos de uso de luz natural na arquitetura contra apenas um século de iluminação artificial (elétrica). Nos templos gregos, por exemplo, o ritmo é definido pelas colunas, que barram a luz, e pelos espaços entre elas, que filtram a luminosidade. No Panteão, templo romano encimado por uma cúpula, a iluminação provém de uma abertura circular no alto da construção, reflete nas paredes laterais e ganha uma qualidade difusa. Na igreja gótica, as paredes não são estruturais e o vão é convertido em elemento translúcido e com uso de cores, tornando-se agente transformador da luz, como é mostrado na figura 1.2. A iluminação colorida desaparece na Renascença, que valoriza a luz branca indireta. No barroco, a luminosidade se torna o ponto central do projeto e tudo é idealizado em função da luz.



**Figura 1.1:** Grande Terminal Central de Nova Iorque.  
Fonte: [www.nyc.gov](http://www.nyc.gov).

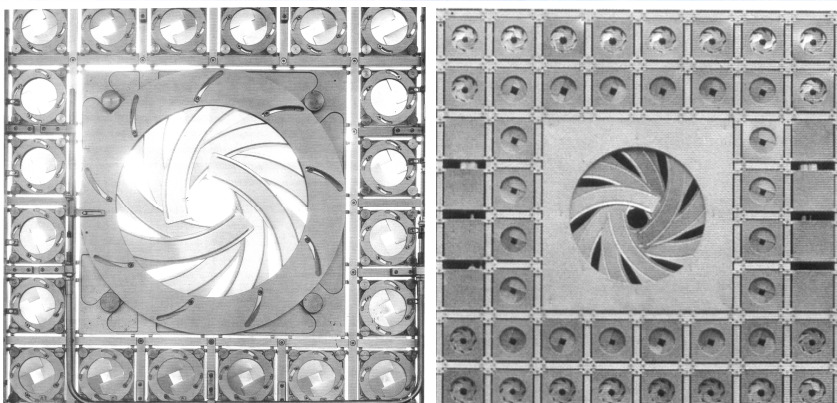
**Figura 1.2:** Catedral de Sevilla.

A arquitetura moderna promoveu uma revolução na iluminação. No início do século, o arquiteto alemão Walter Gropius escreveu que os espaços deveriam ter o máximo de luz, sol e ar e que as janelas não seriam simples buracos na parede, mas panos de vidro para garantir a entrada da luz.

As propostas contemporâneas investigam a relação entre arquitetura, percepção visual e estrutura, como é mostrado nas figuras 1.3 e 1.4. As superfícies que separam o interior do exterior recebem tratamento especial por meio de vidros, plásticos translúcidos ou chapas perfuradas, materiais que insinuam transparência e criam sombreamento no espaço interno. A transparência total dá lugar à translucidez. Essas “capas” deixam passar certa quantidade de luz, criando um reflexo que destaca a obra de seu entorno e marca a identidade visual do edifício. Além disso, proporcionam um microclima mais agradável, sinalizando uma arquitetura com preocupação ambiental, econômica e ecológica.



**Figura 1.3:** Área de circulação do Instituto do Mundo Árabe, Paris.



**Figura 1.4:** Componentes de fachada em forma de diafragmas no Instituto do Mundo Árabe.

Já a iluminação artificial elétrica iniciou-se em 1879, com o aprimoramento da lâmpada incandescente por Thomas Edson, chegando até os dias atuais, quando se consolidam as funções do *lighting designer*.

Na metade do século passado, em parte devido ao desenvolvimento de sistemas mais eficientes e econômicos (por exemplo, as lâmpadas fluorescentes), passou-se

a “excluir” o ambiente externo do projeto arquitetônico. Mesmo em edifícios construídos para responder ao problema da economia de energia, a iluminação natural era muitas vezes o aspecto mais negligenciado do projeto. Desta forma, apesar do aumento da eficiência das fontes luminosas e do desenvolvimento de sistemas de controle da luz artificial, a iluminação permanece ainda hoje, na Europa e no Brasil, como um dos maiores responsáveis pelo consumo de energia em edifícios não residenciais (BAKER *et al*, 1993; LAMBERTS *et al*, 1996).

O processo de globalização e a instauração de uma economia altamente competitiva vêm exigindo das instituições maior eficiência na execução das suas atividades. A eficiência energética está diretamente ligada a melhor qualidade ambiental nos edifícios, o que se traduz em habitabilidade, produtividade no trabalho e conforto ambiental. Desta forma, o uso eficiente da luz natural torna-se um fator importante, pois não significa apenas redução nas despesas com energia elétrica e redução nos impactos ambientais, como também ganhos em outros aspectos importantes.

De acordo com Vitruvius (1982), “a arquitetura deveria ser entendida como um espaço habitável que equilibraria os aspectos estruturais, funcionais e formais concomitantemente”. Portanto, o conforto ambiental interno, assim como a eficiência energética, são critérios fundamentais para garantir uma edificação de qualidade que pretenda colocar a satisfação do homem como seu principal objetivo.

É possível perceber que nos tempos atuais a questão do conforto ambiental através da iluminação natural, não está direcionada apenas a estudos de interesse científico, mas também à atual preocupação com o esgotamento dos recursos naturais não-renováveis. Portanto, a partir do uso adequado dos recursos de iluminação natural é possível também obter a redução do consumo energético nos edifícios.

O conforto luminoso parte de um processo complexo da visão, onde está condicionada a fenômenos físicos, fisiológicos e psicológicos. A visão é, portanto, a fonte de informação mais importante a respeito do espaço ambiental, definindo através da percepção visual dos objetos, maior ou menor esforço no desempenho de uma atividade. A luz natural, com relação ao conforto luminoso, apresenta inúmeras vantagens, quais sejam (MAJOROS apud Amorim, 2002):

- Melhor qualidade da iluminação, dado que a visão humana desenvolveu-se com a luz natural;
- Sua quantidade permite maiores níveis de iluminância do que seria possível com a luz elétrica;

- A luz natural, adequadamente inserida em um projeto, pode alcançar a iluminância exigida em até 80-90% das horas de luz natural disponível; isto permite a economia de uma parcela considerável da energia que, de outra forma, seria consumida em iluminação artificial;
- A mudança contínua da quantidade de luz natural é favorável, pois tem um efeito estimulante.

Os edifícios de escritórios tendem a ser volumes compactos de grande escala, fazendo com que o volume interior predomine sobre a área de fachada. Em consequência destas tipologias, a desconsideração ao uso adequado da luz natural tem sido uma constante (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

A captação de luz natural nas tipologias de escritórios é quase sempre por aberturas laterais, através de panos de vidro. Este tipo de fechamento, mundialmente utilizado, tem trazido diversas implicações para o ambiente interno. Situações de contraste excessivo, ofuscamento e aquecimento interno se tornam freqüentes, solucionados, estes problemas muitas vezes pelo uso de elementos como persianas e cortinas, que reduzem excessivamente a luz natural.

O interesse pelo uso da luz natural nos ambientes de escritório muitas vezes se dá pelo fato de ser uma estratégia efetiva na redução do consumo de energia. De acordo com Caddet (1995), a iluminação artificial é responsável por aproximadamente 30% do total gasto em eletricidade nos edifícios de escritório.

O potencial de economia pelo aproveitamento da luz natural depende de alguns fatores, dos quais os mais relevantes são: o partido arquitetônico da edificação (características); o entorno (outras edificações e vegetação); a latitude do local; as condições meteorológicas; a estratégia de controle da iluminação artificial.

Para se utilizar a luz natural corretamente e aplicar os recursos disponíveis como estratégias eficientes de projeto é indispensável conhecer o comportamento da luz; os materiais e tecnologias existentes atualmente, suas características e propriedades fotométricas, no intuito de resultar em uma edificação voltada ao conforto do ser humano, contribuindo para uma arquitetura sustentável.

As relações do homem com o meio se dão através da interação dos mecanismos sensoriais. Para um estudo mais aprofundado sobre a questão relativa ao conforto luminoso em edifícios de escritório é necessário separar esta inter-relação sensorial das outras (relativas ao conforto térmico e acústico).



O homem moderno passa grande parte do seu tempo útil dentro do ambiente de trabalho, em especial nos escritórios, grandes centros de trabalho e produção da vida nas cidades.

“Dos diferentes tipos de espaços construídos pelo homem para abrigar suas atividades cotidianas, os escritórios se destacam como os mais eminentemente contemporâneos. Essa característica se manifesta não apenas nas radicais transformações por que passam durante este último século - de fato, transformações muito mais fundamentais do que aquelas sofridas pelos espaços da habitação ou da fábrica - mas também por serem os escritórios, os espaços onde um número cada vez maior de pessoas passa uma parcela cada vez maior do seu tempo” (CALDEIRA, 2005).

Ao longo dos anos o escritório evoluiu das salas escuras e escondidas nos palácios e das bibliotecas reais e eclesiásticas, para os escritórios panorâmicos das grandes corporações, comuns nos dias de hoje, refletindo as influências das organizações sociais, quanto à forma de tratamento dispensada aos empregados, passando desde as fases altamente hierarquizadas até a distribuição democrática dos espaços compartilhados dos *open-offices*, com divisórias baixas e controles individuais para adequação ao conforto do seu usuário.

A concepção dos espaços dos escritórios se transformou de maneira mais perceptiva a partir da década de 60 com a proposta revolucionária do *office landscape*, modernamente conhecido como *open office space* ou escritório panorâmico, esta com uma nova teoria de condenação a massificação e a segregação hierárquica. Propôs a convivência de funcionários de diversos escalões, abolindo o isolamento das chefias e gerências e também as separações físicas entre os diferentes departamentos. Surgiram então em ilhas multifuncionais, onde os funcionários agrupam-se, em função da complementaridade de suas tarefas. Os funcionários formam grupos em que cada um assume uma parte de responsabilidade e passa a ter iniciativa própria dentro de certos limites. A hierarquia permanece parecendo diluída pelo convívio em um mesmo espaço de chefes e chefiados. (CALDEIRA, 2005).

A tendência atual para o layout de escritórios busca uma combinação, de salas individuais, ou para pequenos grupos, geralmente situados junto às janelas do prédio, deixando o centro do pavimento livre para a utilização de estações de trabalho panorâmicas. Por sua vez, os edifícios comerciais possuem características distintas quanto à distribuição das atividades, grau de permanência e uso dos espaços.

Por outro lado, os sistemas de aberturas para a luz natural podem ser classificados, resumidamente, como zenitais e laterais. Na tipologia arquitetônica comercial voltada a escritórios percebe-se que a utilização de aberturas laterais para a entrada da luz natural é o mais utilizado. Até mesmo devido a esta tipologia de edificações possuir vários pavimentos, geralmente com poucas possibilidades de iluminação zenital.

No caso de ambientes iluminados lateralmente, os níveis de iluminação decrescem com o aumento da distância da janela. Essa característica direcional da luz resulta, normalmente, numa distribuição de iluminação interna não uniforme – as áreas próximas à janela são bem iluminadas, enquanto as áreas mais afastadas podem mostrar-se bastante sombrias (BAKER e STEEMERS, 2002).

Ao mesmo tempo em que existe pouca uniformidade, deve-se levar em conta também de que não basta apenas melhorar o ingresso da luz natural com o aumento da dimensão da janela, sem levar em consideração o ingresso de mais calor. A melhoria da iluminação natural, segundo estudos de Bittencourt (1995) e Beltran et al (1995), na sua qualidade além da quantidade, deve ser de forma integrada e diversos aspectos contribuem para o desempenho do conjunto como:

- tamanho da abertura;
- posicionamento da janela;
- forma da abertura;
- elementos de redirecionamento da luz.

As recentes inovações tecnológicas de materiais, componentes e sistemas para a arquitetura propõem aos projetistas um melhor uso da luz natural disponível.

Nos últimos anos, vários sistemas inovadores surgiram no mercado internacional com o objetivo de otimizar a entrada de luz natural, evitando o excesso de calor solar direto. No entanto, esta é uma realidade palpável apenas em alguns países da Europa e Austrália, portanto, suas orientações de uso são para estes contextos climáticos.

No Brasil, existem alguns estudos para utilização de sistemas inovadores em aberturas zenitais (GARROCHO, 2005) e em aberturas laterais (CIAMPINI, 2005), considerando o clima da cidade de Brasília e Campinas.

Questões freqüentes, como a introdução de luz natural em espaços internos profundos; a má distribuição da luz natural; o melhoramento do equilíbrio do brilho no espaço, relativo à vista da janela; diminuições da carga térmica do ambiente,

podem ser facilmente solucionados atendendo aos itens citados acima, em conjunto com a utilização de sistemas de iluminação natural. Eles devem ser inseridos para que possam auxiliar na melhoria do desempenho das aberturas, concebidos visando melhorar a admissão da luz natural quando é necessária ou obstruí-la quando indesejável, de acordo com a latitude, o clima, os requisitos visuais, as necessidades de ganho térmico, os requisitos de níveis de iluminação natural mínimos, economia de energia para a iluminação e climatização do ambiente. Os sistemas mais inovadores possuem elementos de controle e redirecionamento da luz solar, que podem ser fixos ou dinâmicos, atenderem a problemas de orientação inadequada, limitações construtivas e impossibilidade de acesso à luz natural e a diversos outros aspectos.

Vários destes materiais, denominados sistemas inovadores para iluminação natural, trabalham redirecionando a luz incidente, evitando o ofuscamento, mantendo a transparência e a vista externa e permitindo que a luz natural seja explorada na edificação de uma maneira mais proveitosa. Manipulam a luz do sol através dos mecanismos de reflexão interna total, transmissão, refração e difração, utilizando-se da diferença da geometria das placas e da diferença entre os índices de refração dos materiais para o redirecionamento dos feixes solares (AMORIM, 2002).

Estes sistemas são apropriados também quando o ambiente é demasiadamente profundo para ser iluminado de maneira adequada apenas por aberturas convencionais, que não são capazes de fornecer uma luz uniforme ou apropriada para o desenvolvimento das tarefas.

Dos sistemas inovadores existentes no mercado internacional para o uso eficiente da luz natural, o painel prismático foi selecionado por se mostrar inicialmente interessante em estudos realizados anteriormente (GARROCHO, 2005).

Portanto, supõe-se ter uma boa aplicabilidade em tipologias de escritórios, devido à eficiência em bloquear a insolação direta e ao redirecionamento do fluxo luminoso para as áreas mais distantes da janela.

Os painéis prismáticos são placas de acrílico, vidro ou policarbonato, planas, utilizadas para redirecionar ou refratar a luz solar. Possuem duas funções bem distintas: proteção solar, através da refração da luz solar direta e redirecionamento da luz, transmitindo a luz solar difusa da abóbada celeste para o interior. Podem ser utilizados de forma fixa ou móvel, internos ou externos a fachada, para iluminação lateral e/ou zenital.

Um painel prismático consiste na junção de vários prismas de acrílico sendo que enquanto numa superfície estão as saliências dos prismas, na outra está a face lisa. O material é transparente, porém distorce a visão do exterior. O sistema prismático refrata os raios solares através da combinação de refração entre dois ângulos. Normalmente o sistema é posicionado entre duas lâminas de vidro para evitar o desgaste das superfícies ópticas e para facilitar a manutenção.

A aparência destes painéis também apresenta-se como vantagem quando se pensa na arquitetura do invólucro, já que a busca pela estética atualmente tem levado à adoção do vidro como principal fechamento.

O conhecimento e as informações a que se propõe apresentar o estudo para a otimização da iluminação natural na arquitetura de escritórios (onde prevalecem as aberturas do tipo lateral) através do uso de sistemas inovadores empregados nas superfícies iluminantes torna-se de relevada importância, podendo oferecer outras possibilidades de aberturas verticais a esta tipologia arquitetônica.

Os projetistas, que são parte essencial no processo, muitas vezes desconhecem tecnologias mais adequadas ao uso da luz natural ou encontram dificuldades em empregá-las. A disseminação de informações é muito importante para que a utilização destas estratégias em larga escala possa tornar-se de fato concreta e usual.

No Brasil, as condições climáticas são favoráveis para o aproveitamento da luz natural, possibilitando talvez o uso de sistemas inovadores, dependendo de seu desempenho.

O estudo em questão engloba o sistema inovador de painel prismático inserido em aberturas laterais, analisado através de simulações computacionais com software específico. As cidades tomadas como referências representam três diferentes localidades e diferentes condições climáticas e de disponibilidade de luz natural, sendo elas Maceió, Brasília e Florianópolis.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Estudar o sistema painel prismático, através de sua utilização em aberturas laterais em ambientes destinados a escritórios, avaliando seu desempenho com relação a três latitudes diversas, correspondentes à região sul, central e norte do Brasil, através de simulações computacionais.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Levantar as informações necessárias ao estudo da iluminação lateral, considerando a configuração de suas aberturas e seu desempenho ambiental em edifícios de escritório;
- b) Analisar o desempenho do painel prismático através de um software de simulação;
- c) Comparar resultados obtidos em termos de iluminância e uniformidade entre os fechamentos de vidro e painel prismático dentro das latitudes selecionadas;
- d) Elaborar recomendações para uso mais apropriado do painel prismático de acordo com a distribuição de iluminância e luminância mais adequadas para as latitudes selecionadas.

## **CAPÍTULO 2**

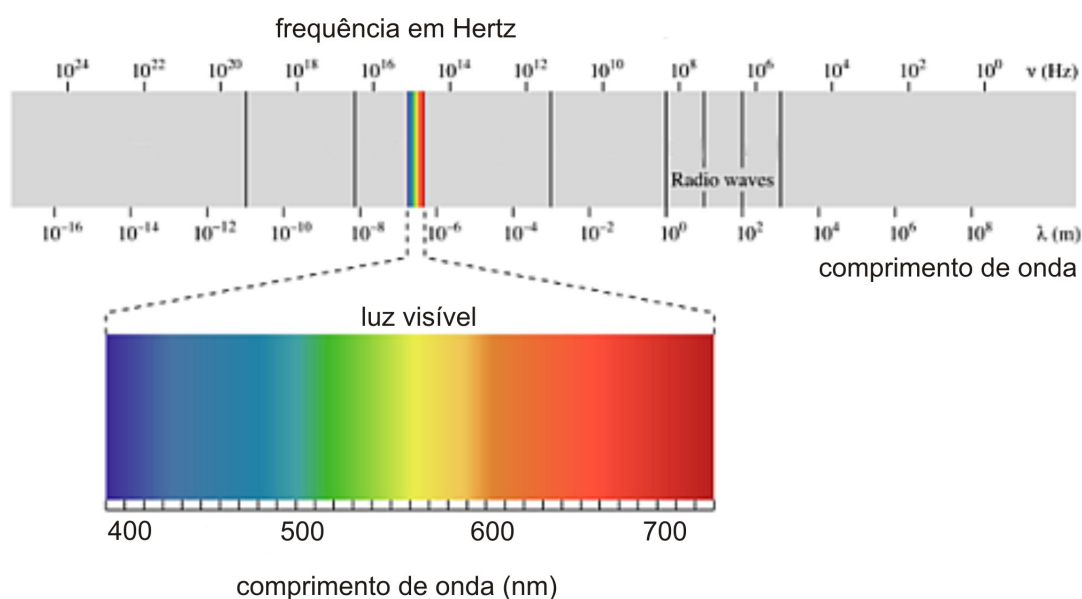
### **CARACTERÍSTICAS DA LUZ NATURAL**

## 2.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LUZ NATURAL

A luz natural exerce grande influência na vida humana, pois a percepção visual do homem representa 70% de sua percepção total. Ela faz parte do seu dia-a-dia, da sua forma de habitar. A partir do momento que nasce o homem já esta sendo submetido ao ritmo da natureza, da existência do dia e da noite, elementos que fazem parte de uma condição necessária para que ele se sinta pertencente ao próprio tempo (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

De acordo com Mascaró (1983) a luz natural pode ser definida como a radiação luminosa proveniente do sol, manifestando-se de forma direta, através dos raios solares ou de forma indireta, através da reflexão da atmosfera com ou sem nuvens (luz difusa), da vegetação, dos edifícios ou outros objetos existentes na superfície da terra (luz refletida).

A luz visível é uma radiação correspondente ao espectro eletromagnético entre os comprimentos de onda 380nm e 780nm. Através da visão, o ser humano tem a capacidade de distinguir comprimentos de onda intermediários do intervalo, que são percebidos como cores básicas (SILVA, 1977). A figura 2.1 apresenta o intervalo do espectro eletromagnético que corresponde à luz visível ao olho humano, em seus diferentes comprimentos de onda e cores.



**Figura 2.1:** Espectro das cores, da luz visível.  
Fonte: Adaptado de [www.lablogatorios.com.br](http://www.lablogatorios.com.br)

## **2.2 FONTES DE LUZ NATURAL**

De acordo com Hopkinson et al (1996), as fontes de luz podem ser divididas em: fonte primária, que apresenta luz própria – representada pelo Sol, um filamento incandescente, uma vela acesa; e as fontes de luz secundárias, que são a reflexão de luz causada por um objeto que recebe luz de uma fonte primária.

De acordo com Moore (1991), as fontes de luz natural são caracterizadas pela forma direta: através da luz do sol, bem como pela forma indireta: através da luz de difusores reflexivos ou translúcidos iluminados por outra fonte de luz primária ou secundária.

Pode-se dizer então que a luz natural é a radiação luminosa proveniente do sol estabelecida diretamente através dele e indiretamente através da reflexão da luz solar na abóbada celeste. Como fonte de luz secundária pode-se também citar o entorno representado pela luz refletida através das superfícies exteriores ao edifício em estudo.<sup>1</sup>

A seguir então, são apresentadas as principais características das fontes de luz do sol e do céu.

### **2.2.1 LUZ DO SOL**

O sol é uma fonte de luz primária e de grande intensidade. Mascaró (1983) afirma que apenas metade de sua energia radiante recebida pela superfície terrestre é visível. O espectro da energia solar varia de ondas curtas (ultra-violeta) a ondas longas (infravermelho) e toda essa energia radiante produz calor quando absorvida. Isso faz com que a luz solar não seja considerada adequada para a iluminação natural, particularmente onde sua presença é habitual, nos climas tropicais e em seu entorno (MASCARÓ, 1983).

O ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície da terra depende da posição geográfica do ponto em análise, da latitude e altitude, da estação do ano e da hora do dia.

---

<sup>1</sup> No entanto, para este estudo o entorno não será considerado por se tratar de um ambiente hipotético podendo estar localizado em qualquer uma das três cidades citadas anteriormente.



O Sol libera uma quantidade aproximada de seis bilhões de lumens<sup>2</sup> para cada metro quadrado de sua superfície. Deste valor, cerca de 134 000 lux<sup>3</sup> alcançam a atmosfera externa de Terra, em que 20% desta luz é absorvida e 25% é refletida de volta ao espaço. Uma parte dos 55% restantes chega à superfície da Terra diretamente em forma de feixe de raios paralelos, que é chamada de luz direta. Outra fração é difundida pelas camadas da atmosfera, nuvens e outros elementos como a própria composição do ar, compondo então a luz difusa (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Segundo Pereira (1995 apud Macedo, 2002)

Devido à distância entre o Sol e a Terra, a luz direta do Sol se comporta como uma intensa fonte colimada proporcionando uma iluminação de 60 a 110 klux no plano horizontal, o que é 10 a 15 vezes a iluminação proporcionada pela abóbada celeste em caso de céu encoberto e também muito intensa para ser usada diretamente na iluminação de tarefa. A quantidade contida em 1 m<sup>2</sup> de luz poderia garantir, caso uniformemente distribuída, em torno de 500 lux de iluminação sobre uma área de 200 m<sup>2</sup>.

## TRAJETÓRIA SOLAR

O centro de gravidade da terra gira em torno do sol formando um plano elíptico. A excentricidade da elipse acarreta uma variação no fluxo da energia solar recebida pela terra, entre um máximo situado no solstício de verão (21 de dezembro) e um mínimo no solstício de inverno (21 de junho); e mais dois movimentos de equilíbrio entre esses extremos, chamados equinócios (21 de março e 21 de setembro). (BITTENCOURT, 2004).

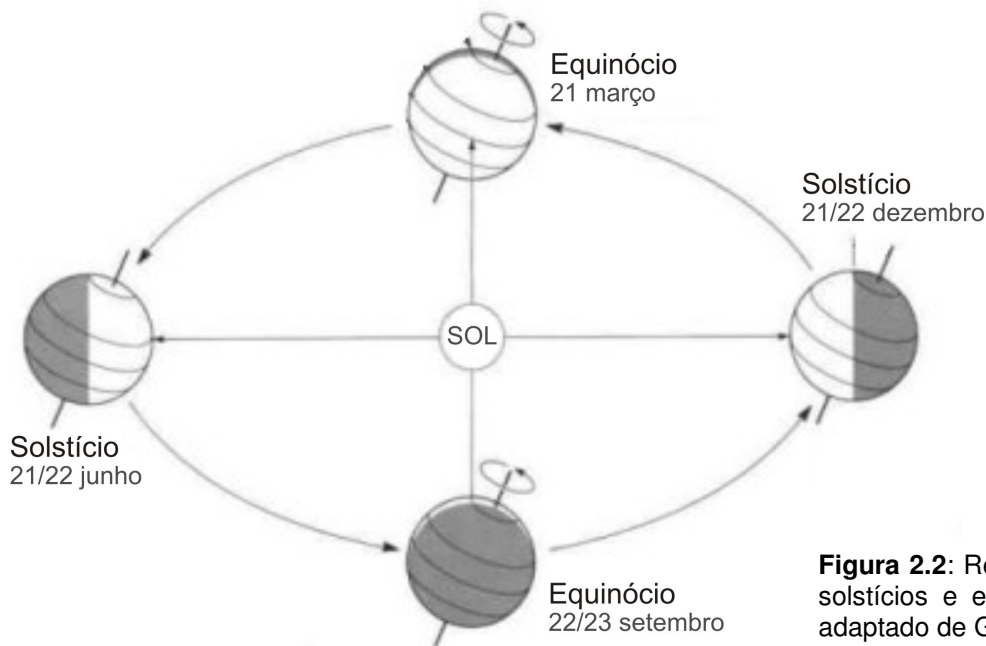
Durante o solstício de verão pode-se observar o hemisfério sul inclinado em relação ao sol. Devido a esta inclinação, neste período ele recebe mais horas de sol e a radiação incide com um ângulo maior na superfície terrestre. Já no solstício de inverno, o hemisfério sul recebe menos horas de sol e a radiação solar incide em um ângulo menor.

Nos equinócios de outono e primavera, o sol se torna constante para os dois hemisférios, devido ao sol girar em torno do equador.

---

<sup>2</sup> lm = unidade de medida do fluxo luminoso, que corresponde ao fluxo de energia espectral total (watt).

<sup>3</sup> Lux = lm/m<sup>2</sup>, sendo que lux é a unidade da grandeza de Iluminância, correspondente ao fluxo luminoso de 1lumen igualmente distribuído numa superfície de 1m<sup>2</sup>.

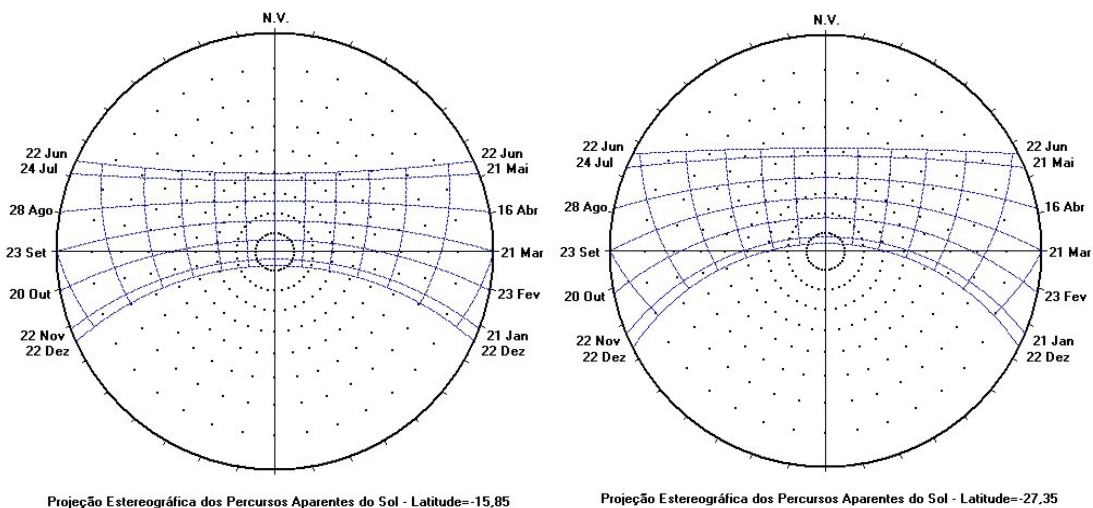


**Figura 2.2:** Representação dos solstícios e equinócios. Fonte: adaptado de Grimm, 1999.

A posição do sol em relação à terra pode ser calculada através de vários métodos, baseados em cálculos numéricos ou gráficos.

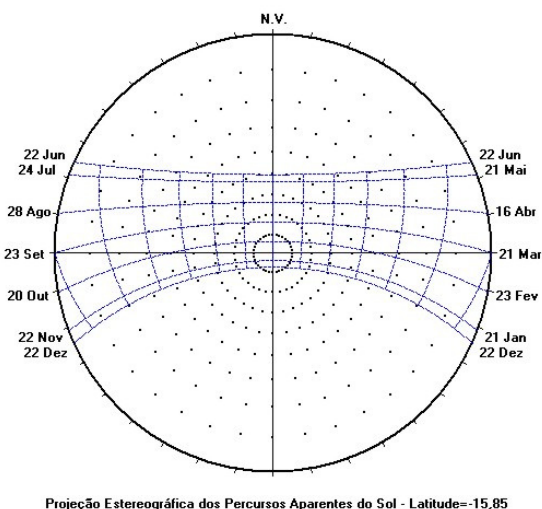
Para aplicação em arquitetura os métodos gráficos (cartas solares) se apresentam mais acessíveis e facilmente aplicáveis. Portanto neste estudo, estes métodos foram adotados para obtenção do azimute e dados da geometria da insolação para cada data e latitude.

As cartas solares são projeções, sobre um plano, dos pontos cardeais e das trajetórias aparentes do sol, acima do horizonte, para uma dada latitude, marcando-se em cada trajetória projetada, as posições do sol (altura) e instantes (t), igualmente espaçados, anteriores e posteriores ao meio-dia solar verdadeiro.



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-15,85

Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-27,35



**Figura 2.3:** Projecção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para Brasília - Latitude -15,86°.

Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol).

**Figura 2.4:** Projecção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para Florianópolis - Latitude -27,66°.

Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol).

**Figura 2.5:** Projecção Estereográfica dos percursos aparentes do sol para Maceió - Latitude -9,51°.

Fonte: [www.labee.ufsc/software/luzdosol](http://www.labee.ufsc/software/luzdosol).

## 2.2.2 LUZ DO CÉU

A luz do céu resulta da refração e da reflexão da luz do sol ao passar pela atmosfera. Como uma fonte secundária, a luz do céu, difundida pela abóbada celeste tem uma área visível maior, porém relativamente com pouca luminância se comparada ao sol. Isso faz com que ela se torne mais adequada ao se utilizar a iluminação natural (MASCARÓ, 1983).

A trajetória solar de cada latitude, as características locais de nebulosidade e os fenômenos meteorológicos fazem com que a abóbada celeste pareça mais ou menos luminosa durante cada dia do ano.

As condições atmosféricas e climáticas da abóbada celeste determinam a composição do céu, porém devido à complexidade e diversidade de situações, designou-se a existência de apenas três tipos de céu.

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE – Commission Internationale de L’Eclairage) estabeleceu três tipos de céu para o uso em estudos quantitativos e qualitativos da luz natural, sendo eles: céu claro, céu parcialmente encoberto (ou céu de luminosidade uniforme) e céu encoberto. O céu parcialmente encoberto, ou céu intermediário, permanece ainda em estado de pesquisa pela CIE, não adotado em consenso (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

Já a NBR 15215 (ABNT, 2005) considera a caracterização das condições de céu utilizando o método da cobertura de céu estabelecido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA), designando o tipo de cobertura pela observação visual do montante de cobertura de nuvens. A tabela abaixo mostra as

condições de céu consideradas, de acordo com o percentual de cobertura de nuvens, expressos numa escala de 0 a 100%.

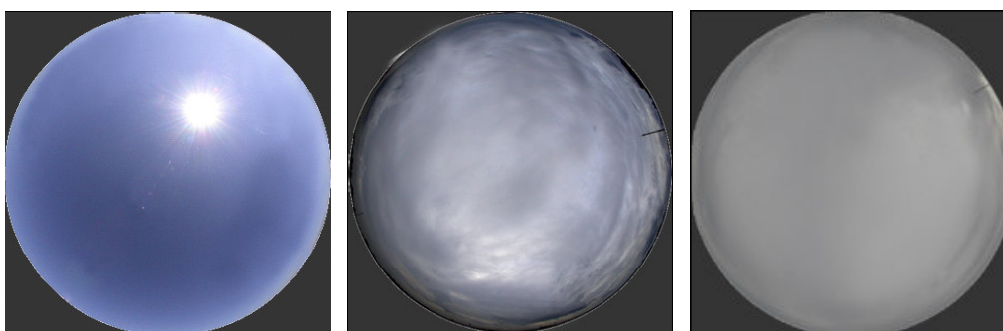
**Tabela 2.1:** Condições de céu de acordo com a cobertura de nuvens. Fonte: ABNT, 2005.

CONDIÇÕES DE CÉU	COBERTURA NUVENS
Claro	0% a 35%
Parcialmente Encoberto	35% a 75%
Encoberto	75% a 100%

No céu claro não há a presença de nuvens, portanto o sol é sempre visível e a atmosfera apresenta-se limpa. A cor azul no céu, como mostra a figura 2.6, é resultado da difusão provocada pelas partículas de vapor d'água (ABNT, 1999). Sob estas condições as superfícies que refletem a luz do sol se tornam importantes fontes secundárias de luz natural, já que a luz do sol apresenta-se muito intensa para ser usada diretamente sobre a área de trabalho (MOORE, 1991).

Há muita dificuldade em caracterizar o céu parcialmente encoberto, pois possui uma variação de luminância muito grande, podendo apresentar-se muito diferente de uma hora para outra, ou de um dia para outro. Sua constituição é de céu claro ao fundo com nuvens sobrepostas a ele. No céu encoberto é considerada a condição de sol não visível, com cobrimento espesso de nuvens brancas e atmosfera carregada de poeira (VIANNA e GONÇALVES, 2001). A luminosidade do zênite é três vezes maior do que a apresentada na região do horizonte.

Pode-se observar na figura abaixo as imagens dos modelos de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto.



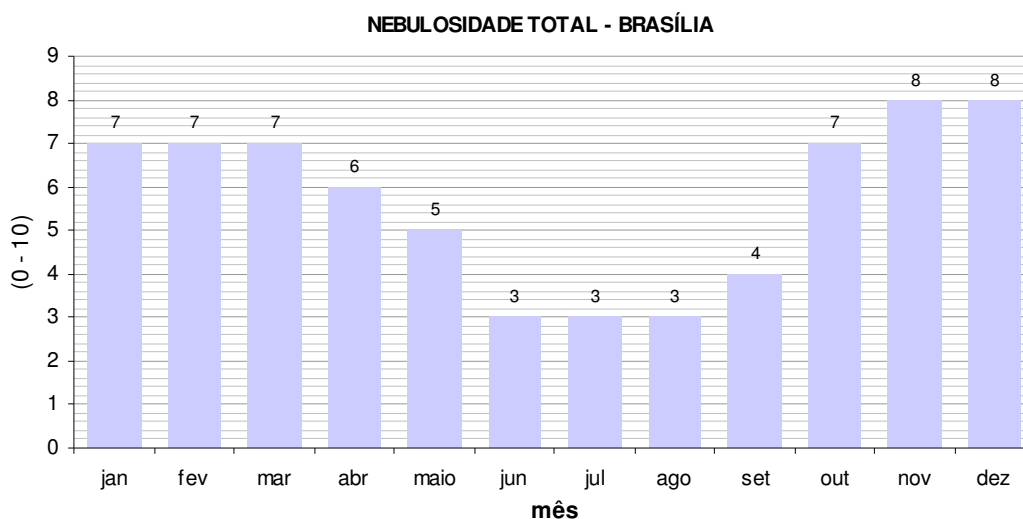
**Figura 2.6** Modelo de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. Fonte: Baker e Steemers, 2002.

Este trabalho faz referência à classificação dos três tipos de céu mostrados acima, adotados também pela NBR 15215, que são céu claro, céu encoberto e céu

parcialmente encoberto ou intermediário. Segundo esta norma as condições de céu estão relacionadas com a porcentagem de nuvens no céu, como mostrado na tabela 2.1, da mesma forma esta porcentagem se relaciona com a nebulosidade, representada por dados numéricos.

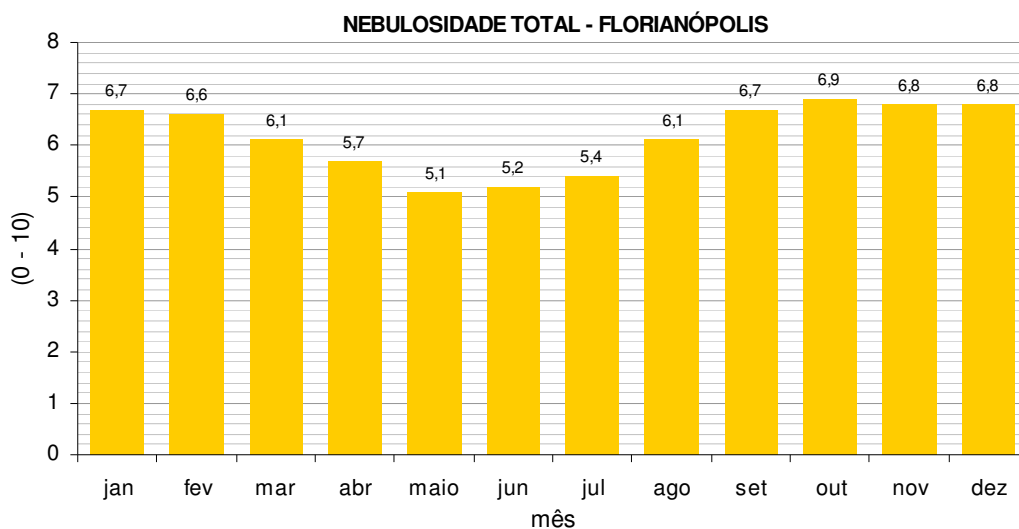
São apresentados abaixo, os dados de nebulosidade extraídos das Normais Climatológicas (1960-1990) para as cidades de Brasília, Florianópolis e Maceió, objeto deste estudo. Os índices mensais de nebulosidade são classificados de acordo com uma escala de 0 a 10, onde de 0 a 3 – considerado céu claro, de 4 a 7 – considerado céu parcialmente encoberto e de 8 a 10 – considerado céu encoberto.

**Figura 2.7:** Nebulosidades mensais para a cidade de Brasília.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



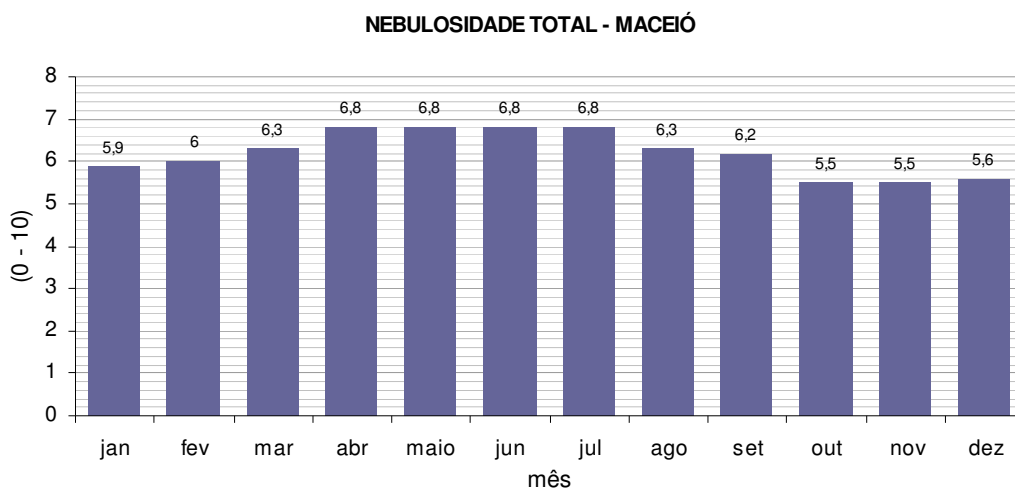
Na cidade de Brasília (Fig. 2.7) a nebulosidade apresenta grande variação ao longo do ano, aumentando consideravelmente entre os meses de outubro e março, quando as precipitações são quase sempre presentes. Já nos meses de junho a agosto o céu apresenta-se claro devido à baixa nebulosidade.

**Figura 2.8:** Nebulosidades mensais para a cidade de Florianópolis.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



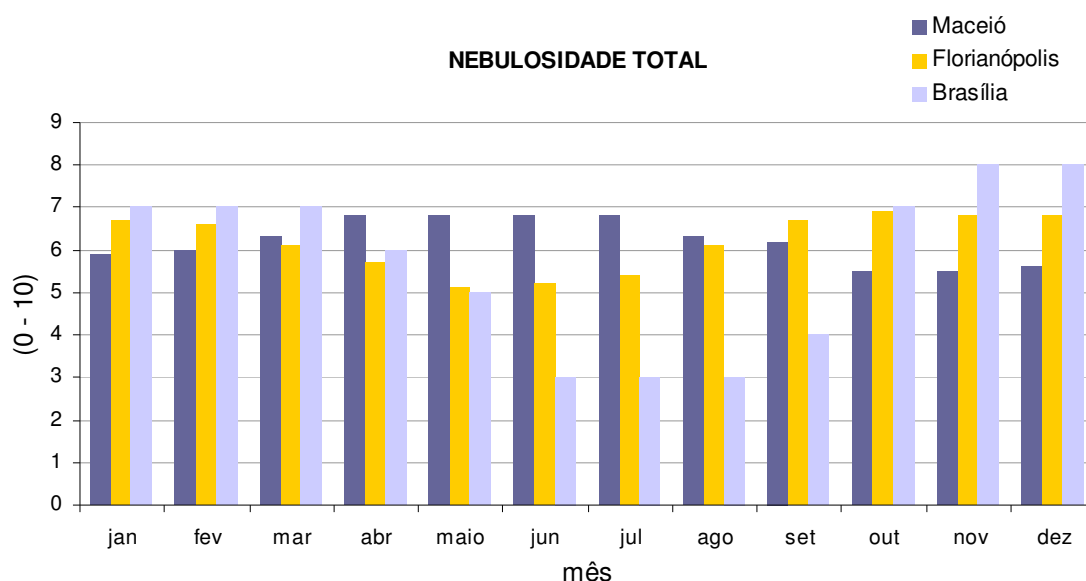
Em Florianópolis (Fig. 2.8) através dos dados representados no gráfico é possível observar que a nebulosidade se mantém constante e num nível médio, ocorrendo uma leve redução apenas nos meses de maio a julho.

**Figura 2.9:** Nebulosidades mensais para a cidade de Maceió.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



Na cidade de Maceió (Fig. 2.9), ao longo do ano a nebulosidade aumenta entre os meses de abril a julho.

**Figura 2.10:** Comparativo entre nebulosidades mensais para a cidade de Maceió, Florianópolis e Brasília, respectivamente.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



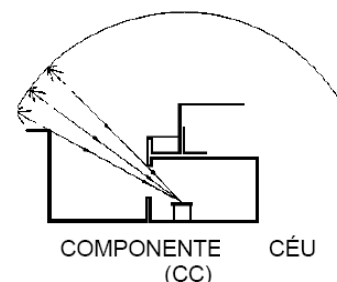
Através do gráfico comparativo da figura 2.10 é possível perceber que para as cidades de Florianópolis e Maceió o céu se apresenta parcialmente nublado ao longo de todo o ano, sofrendo apenas pequenas variações neste tempo, os índices permanecem no intervalo de 5,5 a 6,9, considerados pelo INMET (NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, 1960-1990) como céu parcialmente nublado.

As variações maiores ocorrem na cidade de Brasília, em que nos meses estudados, sendo eles junho, setembro e dezembro, os resultados são todos diferentes. Em junho o índice é de 3, considerado céu claro, em setembro apresenta índice 4, considerado céu parcialmente encoberto e em dezembro o índice é de 8, correspondente a céu encoberto.

### **2.3 COMPONENTES DA LUZ NATURAL**

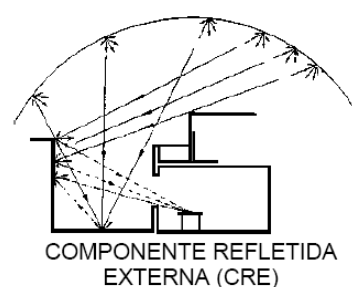
A iluminação natural no ambiente interno é resultado de várias contribuições, sendo três os componentes principais que atingem um ponto no interior de um ambiente: a componente celeste, a componente refletida externa e a componente refletida interna (figuras 2.11, 2.12 e 2.13).

A **componente celeste** ou componente do céu (**CC**) é a luz proveniente diretamente do céu. Os valores da CC correspondem à quantidade de luminosidade que incide diretamente do céu até um ponto específico do ambiente interno.



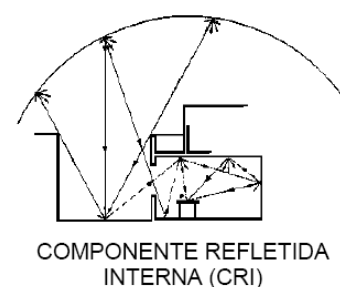
**Figura 2.11:** Componente do céu (CC) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

A **componente refletida externa (CRE)** é a luz proveniente das reflexões das superfícies externas, portanto é a luz que atinge o interior após ter sido refletida pelo entorno. Os valores de CRE representam a iluminância incidente em um ponto específico do ambiente, refletida pelas obstruções externas, corresponde então a uma variável da parte do céu barrada pelas obstruções vistas por este ponto.<sup>4</sup>



**Figura 2.12:** Componente refletida externa (CRE) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

A **componente refletida interna (CRI)** é a luz que alcança o ponto após sofrer reflexão das superfícies internas. Esta componente depende das áreas das superfícies internas e suas características. Em ordem de importância, a contribuição do teto é a mais significativa e a do piso, a menos significativa.



**Figura 2.13:** Componente refletida interna (CRI) da iluminação natural. Fonte: NBR 15215 (ABNT, 2005).

<sup>4</sup> Para este estudo não será considerada a componente refletida externa por se tratar de um ambiente hipotético destinado a tarefas de escritório localizado nas cidades de Brasília, Maceió e Florianópolis.



## **2.4 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL**

Outro fator de extrema importância nos projetos de iluminação consiste no conhecimento da disponibilidade de luz natural proporcionada pelas fontes.

A disponibilidade de luz natural pode ser definida pela quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, que se pode dispor por certo período de tempo. Dados e técnicas para a estimativa das condições de disponibilidade de luz natural são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia. De acordo com a NBR15215 (2004), os parâmetros que influem no cálculo da disponibilidade da luz natural são os dados relativos à posição do sol, as épocas da determinação, como o dia e o mês do ano, a latitude e longitude geográficas e o tipo do céu.

Vianna e Gonçalves (2001) afirmam que consideram a sazonalidade (de acordo com o movimento do sol estabelece variações de luminosidade natural), o clima (como principal agente definidor dos tipos de céu), a qualidade do ar, características físicas e geográficas (latitude, continentalidade, altitude, dentre outros) e a orientação e configuração morfológica do entorno construído os principais fatores para disponibilidade de luz natural.

A seguir são mostrados os valores de iluminância relativos às cidades de Brasília, Florianópolis e Maceió. Os dados foram obtidos através do software DLN (SCARAZATTO, 1995).

**Tabela 2.2:** Valores de iluminância obtidos com o software DLN (versão 2.06 – 1997).

CIDADE	DATA	HORA	ILUMINÂNCIA NO PLANO HORIZONTAL (lux)
BRASÍLIA	<b>22 de junho</b> Céu Claro	09:00	56200
		12:00	89400
		15:00	33300
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	58400
		12:00	98000
		15:00	34100
	<b>22 de dezembro</b> Céu Encoberto	09:00	62000
		12:00	84000
		15:00	62000
FLORIANÓPOLIS	<b>22 de junho</b> Parcialmente Encoberto	09:00	34000
		12:00	55000
		15:00	34000
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	54000
		12:00	76000
		15:00	54000
	<b>22 de dezembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	64000
		12:00	85000
		15:00	64000
MACEIÓ	<b>22 de junho</b> Parcialmente Encoberto	09:00	50000
		12:00	72000
		15:00	50000
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	59000
		12:00	84000
		15:00	59000
	<b>22 de dezembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	59000
		12:00	82000
		15:00	59000

### 2.4.1 RADIAÇÃO SOLAR E INSOLAÇÃO

A radiação solar é uma das variáveis de maior impacto na arquitetura (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

O fluxo de energia solar está permanentemente atingindo o globo terrestre e sua atmosfera. A atmosfera atua como um filtro solar, pois antes de chegar a superfície da terra as radiações emitidas pelo sol atravessam uma camada gasosa de alguns quilômetros. Esta camada difunde, refrata e absorve parte destas radiações (BITTENCOURT, 2004).

A radiação solar é constituída de três tipos principais: a radiação proveniente diretamente do sol, chamada de direta; a radiação difundida pela atmosfera

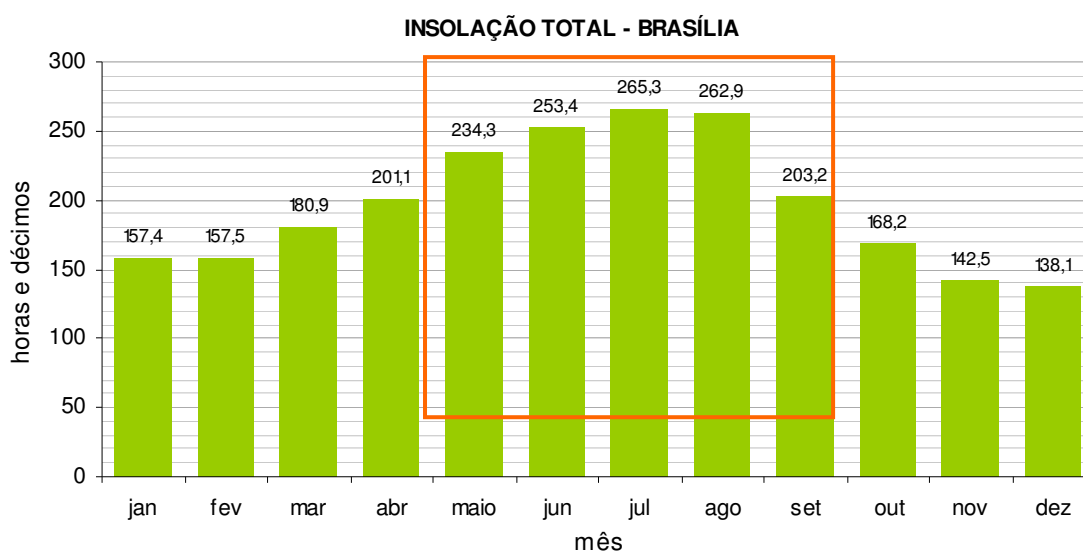
(abóbada celeste), chamada difusa; a radiação direta e difusa restituída pelo entorno do ambiente, chamada de refletida.

Portanto as horas de insolação (radiação direta) em uma determinada localidade influenciam na quantidade e qualidade da luz natural disponível.

A seguir, observa-se a média de horas de insolação mensal para as cidades em estudo, que são Brasília, Florianópolis e Maceió.

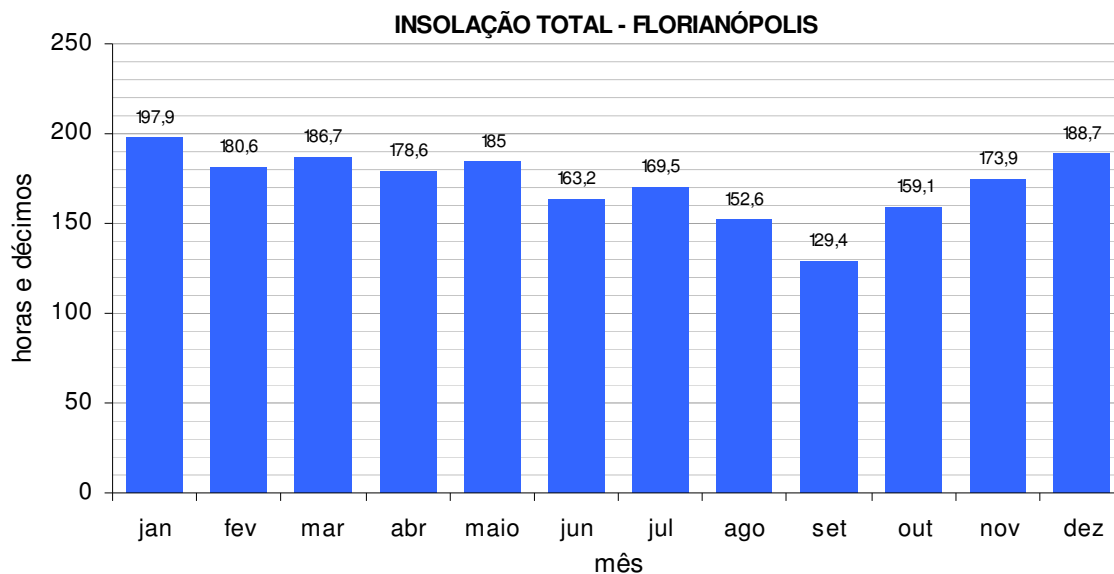
**Figura 2.14:** Média de horas de insolação mensal para a cidade de Brasília.

Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



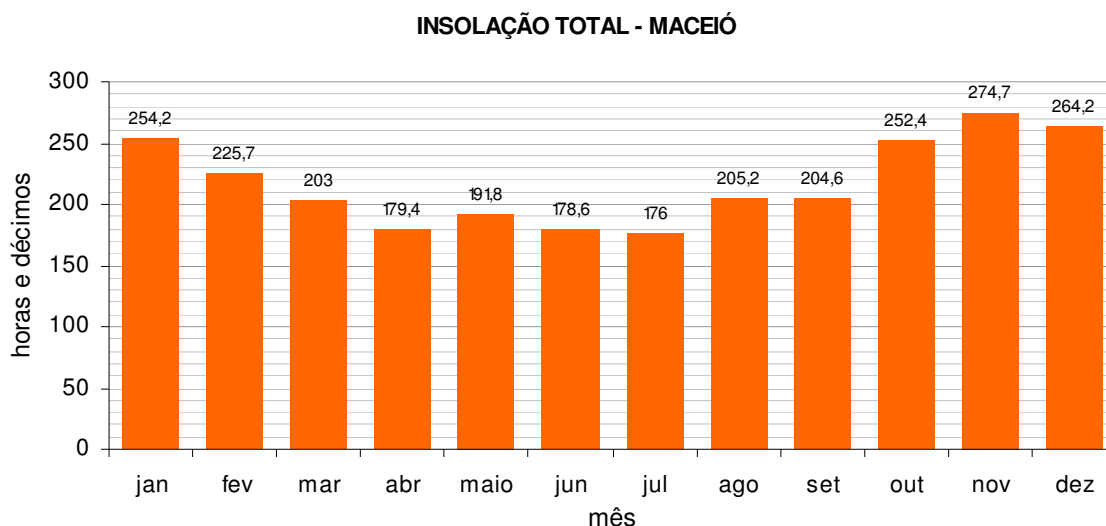
Na cidade de Brasília (Fig. 2.14) tem-se o maior número de horas de insolação no período seco, que segue de maio a setembro (mês 5 - 9), obtendo-se uma média de 243 horas de insolação mensal, enquanto que no período quente e úmido (mês 10 - 4) tem-se uma média de 163 horas de insolação mensal. O mês de maior insolação é julho, com 265,30 horas. São totalizadas 2.365 horas de insolação anuais para a cidade de Brasília.

**Figura 2.15:** Média de horas de insolação mensal para a cidade de Florianópolis.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



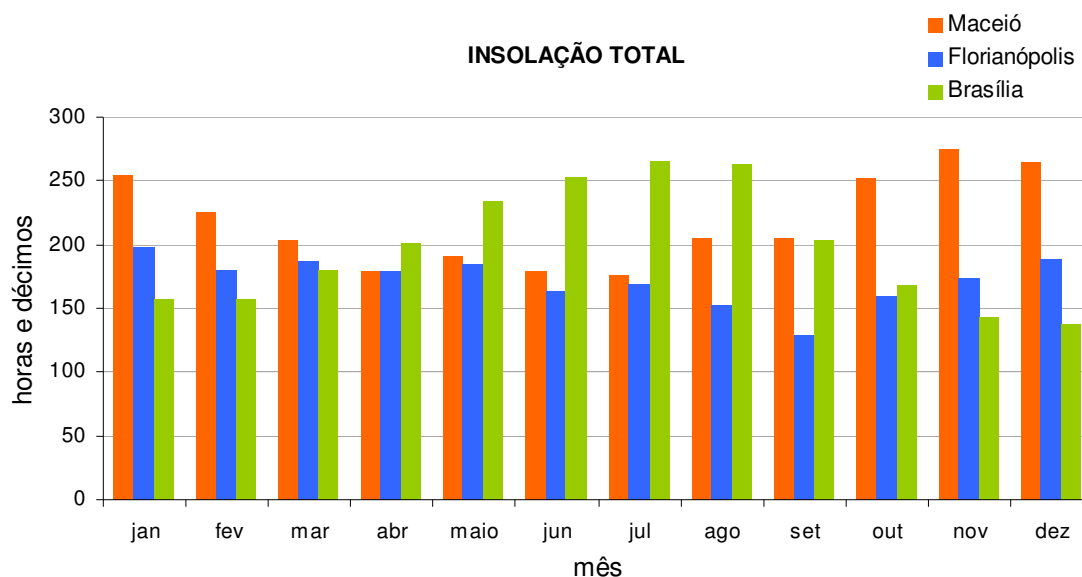
Florianópolis (Fig. 2.15) possui pequena variação entre os períodos de maior ou menor insolação. Os maiores índices estão no verão, entre janeiro e dezembro. Sua média mensal de insolação está em aproximadamente 172 horas. São totalizadas 2.065 horas de insolação anuais para a cidade de Florianópolis.

**Figura 2.16:** Média de horas de insolação mensal para a cidade de Maceió.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



Em Maceió (Fig. 2.16) a insolação apresenta níveis maiores de outubro a fevereiro, com média mensal de 254 horas, enquanto que sua média mensal anual fica em torno de 217 horas. São totalizadas 2.609 horas de insolação anuais para a cidade de Maceió.

**Figura 2.17:** Comparativo entre as médias de horas de insolação mensal para a cidade de Maceió, Florianópolis e Brasília, respectivamente.  
 Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.



Comparando os dados de insolação total entre as três cidades analisadas (Fig. 2.17), percebe-se que Maceió possui o maior número de horas de sol, com 2.609, enquanto que Brasília e Florianópolis possuem respectivamente 2.364 e 2.065 horas.

Enquanto que Florianópolis mantém níveis de insolação mais baixos e mais constantes, Brasília e Maceió alternam suas máximas entre os meses do ano de forma inversa, como se pôde observar no gráfico comparativo.

## 2.8 LUZ NATURAL E CLIMA

Para avaliar a eficiência de sistemas que visam o melhor aproveitamento da luz natural deve-se também analisar os dados climáticos locais.

Do ponto de vista meteorológico e geográfico, o clima é definido pela combinação de uma série de elementos climáticos, tais como, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitações, ventos e radiação solar incidente. Estes variam sob a ação de fatores regionais como latitude, altitude, relevo, vegetação, massas de ar, entre outros.

A temperatura do ar, por exemplo, é mais elevada quanto mais próximo o local da linha do equador (latitude 0º) e apresentará maiores variações quanto mais distante do oceano. A altitude também exerce influência sobre as amplitudes térmicas, pois

com o aumento da altitude, o ar se torna mais rarefeito, com menor capacidade de absorção da radiação solar (MACEDO, 2002).

Neste trabalho será analisado o clima das três localidades do estudo: Brasília, Florianópolis e Maceió.

### **2.8.1 CLIMA DE BRASÍLIA**

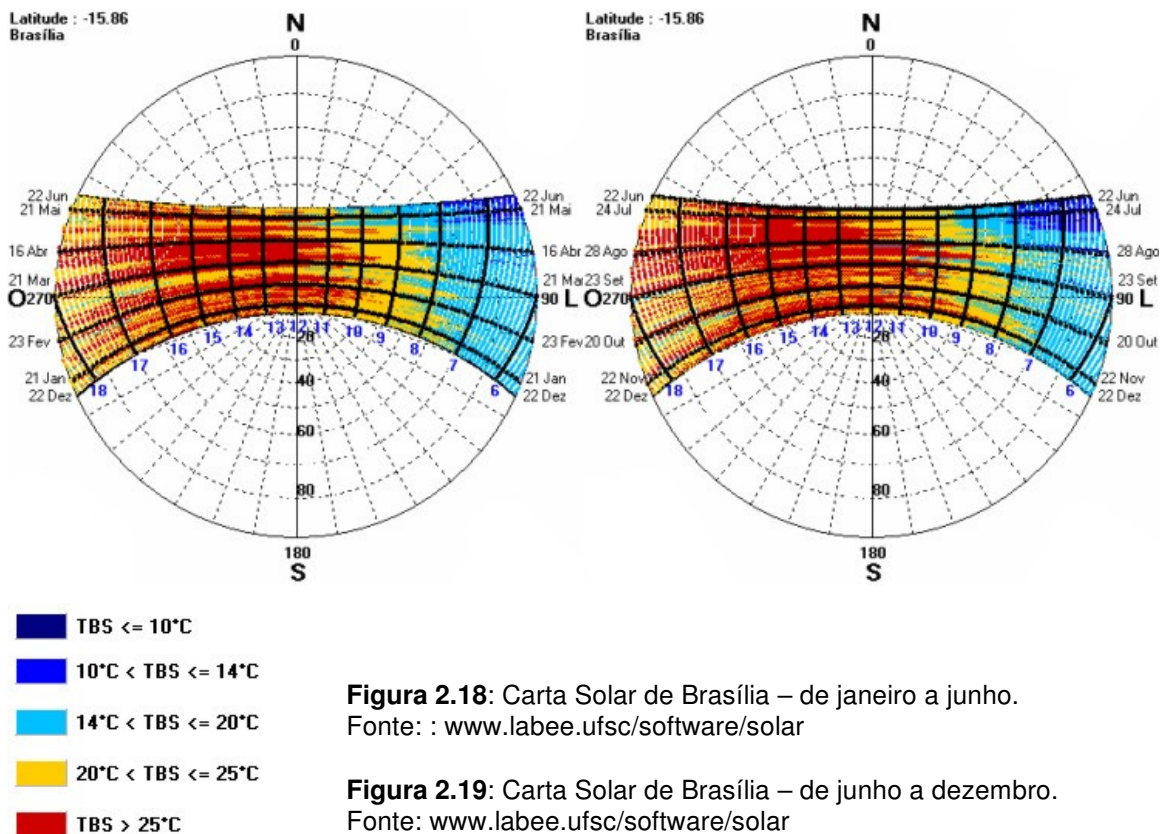
Brasília está localizada na região centro-oeste, mais precisamente no Distrito Federal. Situa-se a 15°86'S de latitude e a 47°30'O de longitude. Sua altitude máxima em relação ao mar é de 1.159m. Este último dado também tem grande influência no clima de Brasília, já que quanto maior a altitude, menos carregado de partículas sólidas e líquidas é o ar, que são as responsáveis pela absorção e difusão da radiação solar.

De acordo com estudos realizados por Maciel (2002), o clima de Brasília é marcado por dois períodos: o quente e úmido, representado entre os meses de outubro a abril, e o período seco, representado pelos meses de maio a setembro. Estes períodos podem ser chamados de verão e inverno, respectivamente. Portanto, o clima de Brasília possui características de clima composto, sendo classificado como Tropical de Altitude (FERREIRA, 1965). Apresenta grandes amplitudes térmicas (CODEPLAN, 1984), como se pode observar na tabela 2.3.

**Tabela 2.3:** Temperatura média das máximas e mínima da cidade de Brasília. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

<b>BRASÍLIA</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAIO</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>
MÉDIA DAS MÁXIMAS (C°)	26.9	26.7	27.1	26.6	25.7	25.2	25.1	27.3	28.3	27.5	26.6	26.2
MÍNIMA (C°)	17.4	17.4	17.5	16.8	15.0	13.3	12.9	14.6	16.0	17.4	17.5	17.5

Na figura 2.18 e 2.19 observa-se através da carta solar que a maioria dos meses apresenta períodos vespertinos com temperaturas acima de 25°C, consideradas elevadas, e com necessidade do uso de estratégias bioclimáticas para adequação ao conforto térmico.



## 2.8.2 CLIMA DE FLORIANÓPOLIS

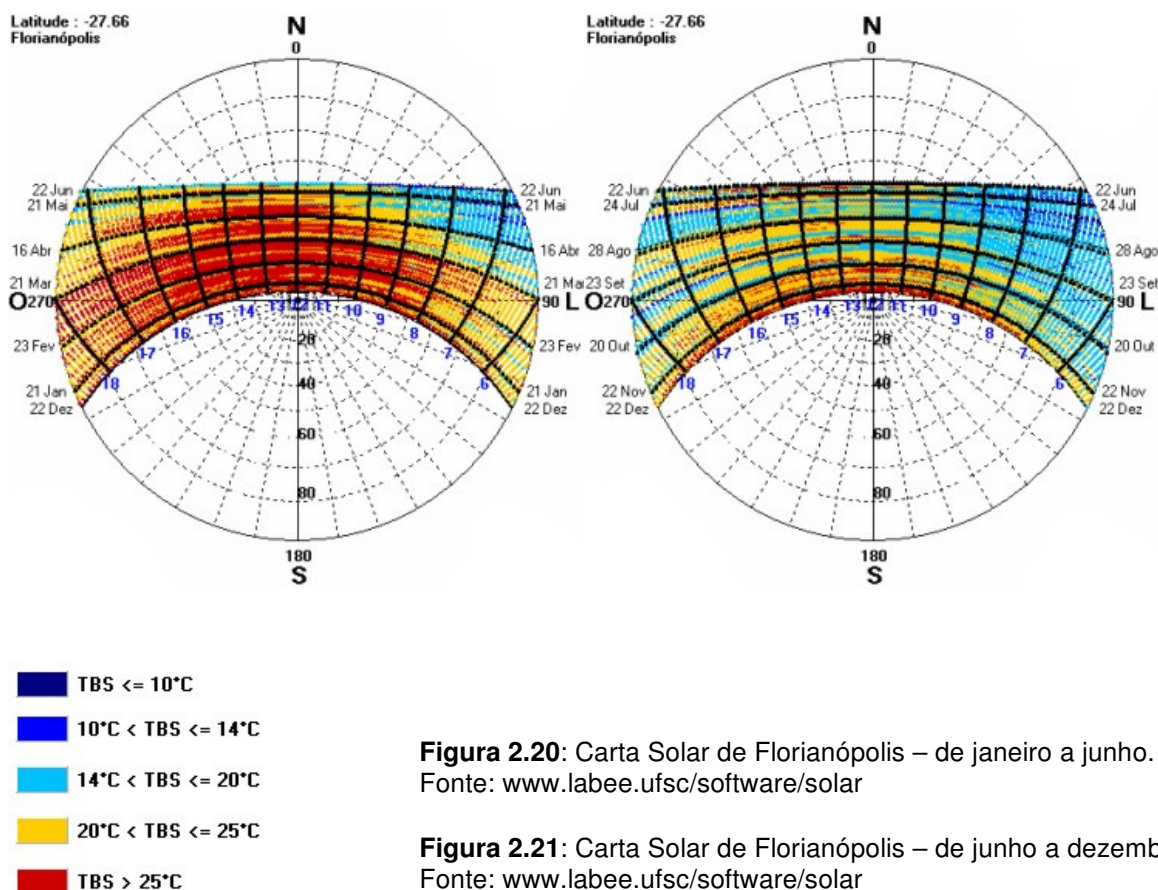
Florianópolis localiza-se na região sul do Brasil, mais especificamente na região litorânea do estado de Santa Catarina. Sua posição geográfica está a 27°66'S e a 48°30'O, com altitude de aproximadamente 3 metros.

O clima da região é classificado como Subtropical Úmido, característico em todo o litoral sul do Brasil, apresentando temperaturas bem variadas entre verão e inverno (tabela 2.4).

**Tabela 2.4:** Temperatura média das máximas e mínima da cidade de Florianópolis. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

FPOLIS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA DAS MÁXIMAS (C°)	28.0	28.4	27.5	25.4	23.0	20.9	20.4	20.7	21.2	22.9	24.8	26.6
MÍNIMA (C°)	21.4	21.8	20.7	18.3	15.6	13.4	13.3	14.0	15.1	16.9	18.6	20.3

As cartas solares na figura 2.20 e 2.21 mostram as variações de temperatura ocorridas durante o ano, demonstrando que as temperaturas mais elevadas se apresentam entre os meses de janeiro a junho, no período entre 10 e 16h.



**Figura 2.20:** Carta Solar de Florianópolis – de janeiro a junho.  
Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

**Figura 2.21:** Carta Solar de Florianópolis – de junho a dezembro.  
Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

### 2.8.3 CLIMA DE MACEIÓ

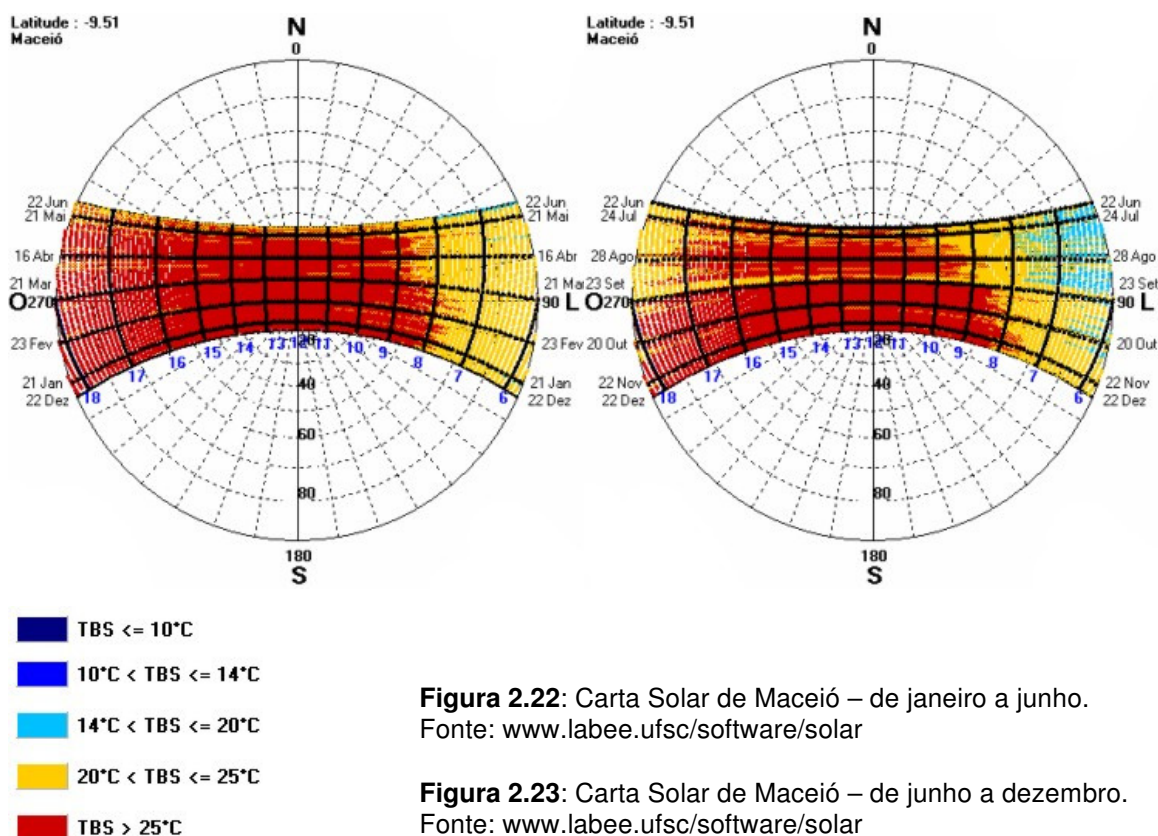
A cidade de Maceió está localizada no estado de Alagoas, em região litorânea, na latitude 9°40'S e longitude 35°42'O. Possui clima Tropical Úmido e sua altitude máxima acima do nível do mar é de 80m. É possível observar através da tabela 2.5 que até mesmo as temperaturas mínimas se apresentam sempre maiores que 20°C.

**Tabela 2.5:** Temperatura média das máximas e mínima da cidade de Maceió. Fonte: Normais Climatológicas (1960-1990), INMET.

MACEIÓ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA DAS MÁXIMAS (C°)	30.2	30.4	30.2	29.6	28.5	27.6	27.0	27.1	27.8	29.0	29.9	30.0
MÍNIMA (C°)	22.4	22.6	22.7	22.5	22.0	21.3	20.5	20.2	20.7	21.2	21.6	22.0



A carta solar de Maceió (fig.2.22 e fig. 2.23) apresenta na maior parte do ano situações com temperaturas acima de 25°C, principalmente no período entre 10h e 17h. A temperatura como parte de uma variável ambiental, influencia na sensação de conforto do ambiente (MACIEL, 2002), devendo portanto ser analisada e considerada quando da elaboração do projeto.



**Figura 2.22:** Carta Solar de Maceió – de janeiro a junho.  
Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

**Figura 2.23:** Carta Solar de Maceió – de junho a dezembro.  
Fonte: [www.labee.ufsc/software/solar](http://www.labee.ufsc/software/solar)

As cidades selecionadas para o estudo, como se pode perceber possuem períodos do ano, de acordo com o seu respectivo clima, com temperaturas elevadas. A necessidade de sombreamento, para que se evite o aquecimento excessivo, se torna imprescindível.

Apesar de a iluminação natural ser proporcionada pela luz do sol e do céu, a luz do sol geralmente tem sido relacionada ao seu alto conteúdo energético (aspectos térmicos) e luminoso (aspectos visuais), ignorada muitas vezes no desenho das janelas para iluminação.

Este tem sido um dos pontos mais críticos relacionados ao desenho das janelas, pois quanto mais luz penetra no ambiente, maior é o ganho de calor, que em

determinados períodos do ano em Brasília, Florianópolis e Maceió se tornam indesejáveis, conforme a análise anterior.

Esta mesma solução foi implementada neste estudo, com a proposta de também melhorar a distribuição de luz natural no ambiente interno.

## **2.6 REQUISITOS DE CONFORTO VISUAL**

De acordo com FITCH (1972) a complexidade do processo da visão está condicionada a fenômenos físicos, fisiológicos e psicológicos. Portanto, a visão é a fonte de informação mais importante a respeito do espaço ambiental – forma, tamanho, locação e características físicas do mundo dos objetos.

O maior ou menor esforço no desempenho de uma atividade está, pois condicionado à melhor percepção visual dos objetos.

O olho é um órgão periférico da visão, que tem a capacidade de atribuir uma qualidade (cor) à luz, que varia em função do comprimento de onda da radiação. O estudo de seu funcionamento é importante na medida em que todas as informações visuais que recebemos são assim percebidas em função das características e mecanismos que aqui acontecem.

O sistema visual humano é composto pelo sistema olho-cérebro ligado pelo nervo ótico. O olho é freqüentemente comparado a uma câmera fotográfica que apresenta um sistema de lentes que corresponde ao cristalino; um sistema de abertura variável, à pupila; e, o filme, à retina (GUYTON; HALL, 1997). O sistema de lentes é composto pela córnea, humor aquoso, cristalino e humor vítreo, sendo responsável pela acomodação e acuidade visual.

Ao longo do dia, o sistema visual se adapta constantemente às mudanças da iluminação do ambiente externo ou interno. Essa capacidade de adaptação do sistema visual depende de três tipos de mecanismos:

a) adaptação neural: qualquer alteração inicial na iluminação aumenta a intensidade nos sinais transmitidos pelas células nervosas, constituindo uma resposta da ordem de menos de 200m/s (IESNA, 2000).

b) dilatação e contração da pupila: a quantidade de luz que penetra no olho está diretamente relacionada ao reflexo do diâmetro pupilar. A contração leva em torno de 0,3s, sendo 5 vezes mais rápida que a dilatação, que leva aproximadamente 1,5s (IESNA, 2000). Isto indica que a adaptação da pupila é mais rápida quando se passa de um ambiente menos iluminado para outro mais iluminado.

c) adaptação foto-química: a adaptação foto-química está relacionada com a sensibilidade dos cones e bastonetes e leva mais tempo, na ordem de minutos. “a porção inicial da curva é causada pela adaptação dos cones porque todos os eventos químicos da visão, inclusive a adaptação, ocorrem cerca de quatro vezes mais rapidamente nos cones que nos bastonetes” (GUYTON; HALL, 1997). Os cones atingem sua máxima sensibilidade após 10 - 12 minutos enquanto que os bastonetes levam em torno de 60 minutos (IESNA, 2000).

Porém, apesar da eficiência dos mecanismos de adaptação às variações na iluminação, existem situações nas quais a adaptação não transcorre normalmente devido a uma grande variação na quantidade de luz ou a uma grande velocidade, o que causa desconforto visual, denominado de ofuscamento.

O ofuscamento ocasiona dois efeitos que podem ocorrer simultaneamente:

- perda de visibilidade (ofuscamento inabilitador) quando uma quantidade excessiva de luz provocando saturação do sistema visual, que ocorre por volta de 25.000 cd/m<sup>2</sup>. Isso pode ocorrer, por exemplo, ao se olhar diretamente para o sol.

- desconforto ou perturbação (ofuscamento perturbador) quando a proporção de luminâncias no campo visual excede a razão de 10:1, como por exemplo, quando se observa o reflexo de uma lâmpada no monitor do computador.

O ofuscamento perturbador não impede o desenvolvimento da tarefa visual, ao passo que o ofuscamento inabilitador impede a visibilidade momentânea e pode ser muito perigoso em certas circunstâncias.

De acordo com Lamberts (1998), o conforto visual pode ser definido pela existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual,

com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 5413 determina as iluminâncias recomendadas para algumas tarefas visuais que podem servir de referência.

Para ser avaliada, é necessário considerar a iluminação em um plano de trabalho, que funciona como plano hipotético localizado onde a tarefa visual deverá ser executada. Para as tarefas de escritório, adota-se um plano horizontal com altura de 75cm em relação ao piso (ABNT, 1992).

É necessário saber também que não basta apenas atender as quantidades mínimas de iluminação exigidas. Faz-se necessário atender aos aspectos qualitativos, através de um direcionamento correto da iluminação, intensidade necessária sobre a área de trabalho, boa reprodução de cores e outras decisões inerentes a boa qualidade de iluminação, de forma a evitar efeitos nocivos, tais como velamento, ofuscamento, deslumbramento, iluminamento uniforme prolongado, entre outros.

### **2.6.1 VALORES DE ILUMINÂNCIA (E)**

A iluminância ou nível de iluminação indica o fluxo luminoso incidente por unidade de área e é representada por “E”. Sua unidade de medida é o lux ou lumem/m<sup>2</sup> e sua expressão matemática possui a seguinte relação (IESNA, 2000):

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Como referência para o estudo, foram utilizados os valores de iluminância média/mínima estabelecidos pela NBR 5413 (ABNT, 1992) mostrados na tabela 2.22.

**Tabela 2.6:** Iluminância por classe de tarefas visuais. Fonte: adaptado de ABNT 5413/1992.

CLASSE	ILUMINÂNCIA (lux)	TIPO DE ATIVIDADE
B	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
Iluminação geral para área de trabalho	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.

**Tabela 2.7:** Iluminância por tipo de atividade (valores médios em serviço).  
Fonte: adaptado de ABNT 5413/1992.

ESCRITÓRIOS	ILUMINÂNCIA (lux)
Registros, cartografia, etc.	750 - 1000 - 1500
Desenho, engenharia mecânica e arquitetura.	750 - 1000 - 1500
Desenho decorativo e esboço	300 - 500 - 750

Conforme a classe de atividades visuais para escritórios constantes na NBR, verificou-se que a mesma estima a iluminância média entre 500 e 1000 lux como sendo adequada. Entretanto, para este estudo foram adotados os valores de tolerância mínima de 300 lux, média de 500 lux e máxima de 2.000lux.

A iluminância máxima aceitável no trabalho foi de 2000lux, pois de acordo com Vianna (2001) vários estudos demonstraram que existe um limite quantitativo para a iluminância, a partir do qual qualquer aumento não traz mais nenhuma melhora para a acuidade visual.

De acordo com NABIL e MARDALJEVIC (2005), a Useful Daylight Illuminances (UDI), ou seja, iluminação natural útil é dada pela freqüência da iluminância em um determinado tempo de acordo com faixas pré-estabelecidas. Os valores considerados úteis foram estabelecidos pelos autores entre 100lux e 2000lux.

A NBR 5413 não leva em consideração quando há excesso de iluminância para as atividades, podendo ocasionar gastos desnecessários, assim como possibilidades de ofuscamento.

Além da determinação dos níveis de iluminância adequada estabelecida pela norma, a mesma também apresenta diferenciações quanto à idade, velocidade e precisão necessárias para a realização da tarefa e da refletância do fundo da tarefa visual (VIANNA, 2001). Estas diferenciações não serão consideradas devido ao fato de não ter se delimitado a idade e a especificidade da atividade de escritório em questão.

Neste estudo serão utilizadas simulações estáticas, que expressam seus resultados na forma de imagens, valores absolutos de iluminância em relação à iluminância produzida por um céu de referência. Desta forma a prospecção do desempenho da iluminação natural esta fundamentada em um valor da iluminação com uma única condição de céu predeterminada. Existem também as simulações dinâmicas, que produzem séries anuais de iluminâncias e são usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. As simulações dinâmicas possuem como medidas o Daylight Autonomy (DA); o Useful Daylight Illuminances (UDI); e o Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) (REINHART, 2006).

## **2.6.2 DISTRIBUIÇÃO, CONTROLE E QUANTIDADE - ÍNDICE DE UNIFORMIDADE**

A distribuição da luz necessária ao ambiente é estabelecida de acordo com as atividades relacionadas a ele. Para alguns tipos de atividades a iluminação uniforme é a mais recomendada, enquanto que para outros a variação pode ser imprescindível. Em ambientes nos quais os usuários ocupam posições fixas, devem ser adotados critérios diferentes do que para os estabelecidos onde as pessoas podem mover-se com liberdade na direção das aberturas ou para longe delas.

### **UNIFORMIDADE (U<sub>o</sub>)**

A distribuição equilibrada dos diferentes valores de iluminância pelo ambiente de trabalho é uma característica muito importante. Para que ocorra uma uniformidade de iluminância adequada é necessário que a relação entre a iluminância mínima de uma superfície e a iluminância média (através de média aritmética) nesta superfície esteja entre os valores considerados ideais. A expressão matemática abaixo a demonstra:

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}}$$

No estudo realizado foram calculados os índices de uniformidade para cada situação considerando como objetivo principal a avaliação comparativa entre os dois fechamentos. A recomendação da CIE (1986) estabelece como adequados os valores superiores a 0,8. Este valor não será estabelecido como parâmetro, pois dificilmente pode-se obtê-lo somente com o uso da luz natural.

### 2.6.3 LUMINÂNCIA (L)

A luminância pode ser definida como a intensidade por metro quadrado de área aparente da fonte de luz ou de uma superfície iluminada. Esta sensação de luminosidade, decorrente da reflexão dos raios luminosos por uma superfície é que configura a luminância, tendo por unidade a  $\text{cd}/\text{m}^2$ . (VIANNA, 2001).

A equação que permite a sua determinação é a seguinte:

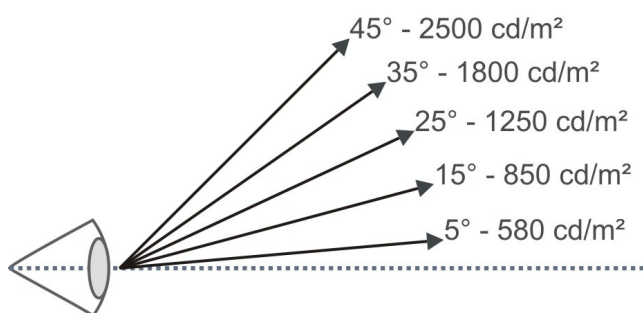
$$L = \frac{I}{A},$$

representando a intensidade luminosa (cd - candela) por unidade de área ( $\text{m}^2$ ).

A luminância não está contemplada no estudo, devido as superfícies de trabalho e do interior do invólucro não estarem em análise.

### 2.6.4 OFUSCAMENTO

O ofuscamento por ser uma sensação, não pode ser medido, exceto em termos de outra sensação. É função da luminância da fonte, luminância do fundo, tamanho aparente da fonte de luz, número de fontes presentes no campo visual e posição relativa à direção de visão, podendo ocorrer quando uma destas partes é muito mais clara que o restante (fig. 2.24).



**Figura 2.24:** Níveis aceitáveis de luminância em função da posição do observador.

Fonte: adaptado de Baker et al,1993.

De acordo com Pereira (2001), o ofuscamento pode ocorrer devido a dois fenômenos distintos: contraste, caso em que a proporção entre as luminâncias dos objetos do campo visual for maior do que 10:1; e saturação, quando o olho é saturado com luz em excesso (ocorre nos casos em que a luminância da cena excede  $25.000\text{cd}/\text{m}^2$ ).

## 2.7 FENÔMENOS FÍSICOS DA LUZ

A luz interage com a matéria através de diversos mecanismos, e para que se possa controlá-la é necessário conhecê-los.

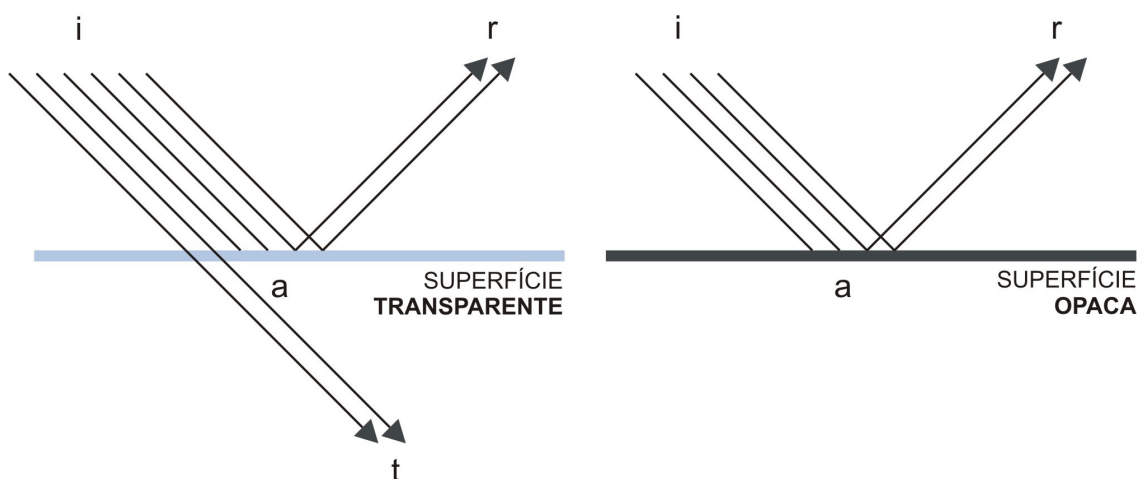
As propriedades dos materiais influenciam diretamente a forma de propagação da luz, visto que a luz se propaga através dos mesmos. Portanto, as características específicas de cada material pode contribuir, dificultar ou até mesmo distorcer a passagem da luz, servindo como elementos de controle ou maximização do ganho solar.

### 2.7.1 REFLEXÃO, TRANSMISSÃO E ABSORÇÃO

Toda superfície que recebe luz pode absorver, refletir e/ou transmitir quantidades de luz, variando de acordo com as suas propriedades físicas.

Baker (2002) afirma que podem ocorrer três fenômenos quando a luz incide em uma superfície: a luz pode ser refletida (a relação entre energia incidente e refletida é chamada de refletância – R), a luz pode ser transmitida (a relação entre energia incidente e transmitida é chamada de transmitância – T) e a luz pode ser absorvida (a relação entre energia incidente e absorvida é chamada de absorvância – a).

A soma destes três componentes em um material qualquer, será sempre igual à luz incidente no mesmo, ou seja,  $i = t + a + r$

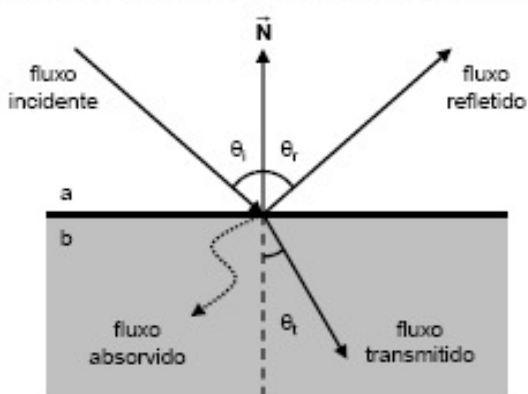


**Figura 2.25:** Interação da luz com a matéria. Fenômenos de absorção (a), reflexão (r) e transmissão (t). Fonte: Adaptado de Baker *et al* (2002).



Como mostra a figura, em superfícies opacas a transmitância é igual a 0, enquanto que em superfícies transparentes a energia incidente é em parte refletida, transmitida e absorvida.

Com relação à reflexão, esta pode ser especular ou difusa. No caso da reflexão especular, como mostra a figura a seguir, o ângulo de incidência é igual ao ângulo refletido, mantendo a mesma forma, tamanho e direção. Esta relação é chamada de Lei de Snell.



**Figura 2.26:** Ângulo incidente = Ângulo refletido – para superfície especular e semi-especular. Fonte: Fontoynt, (1999).

No caso de a reflexão ser difusa, independente do ângulo de incidência, não mantém a mesma forma que incidiu, como mostra a figura 2.26.

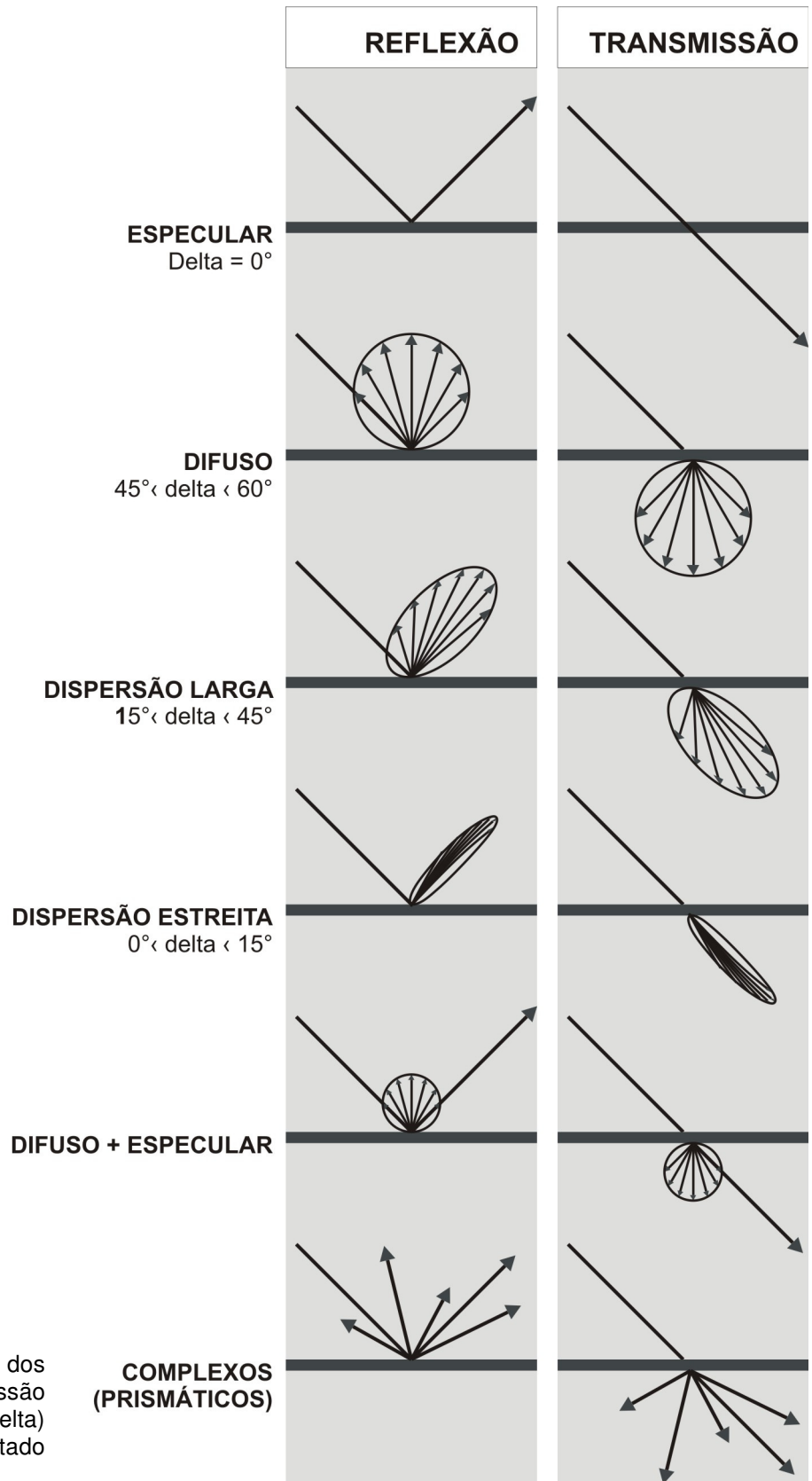
O IESNA (1995) possui valores de referência indicando as refletâncias para o ambiente de escritório, estes devem ser os seguintes:

**Tabela 2.8:** Refletâncias recomendadas para escritórios. Fonte: Adaptado de IESNA, apud GHISI,1997.

SUPERFÍCIE	REFLETÂNCIA (%)
PISO	20 a 40
PAREDE	50 a 70
TETO	superior a 80
MOBILIÁRIO	25 a 45
DIVISÓRIAS	40 a 70

Em aberturas, os fechamentos geralmente adotados permitem a passagem de luz para o interior, sendo estes, vidros, policarbonatos, dentre outros materiais. No estudo feito foram adotados os índices de reflexão de 40% para o piso, 70% para as paredes e de 80% para o teto.

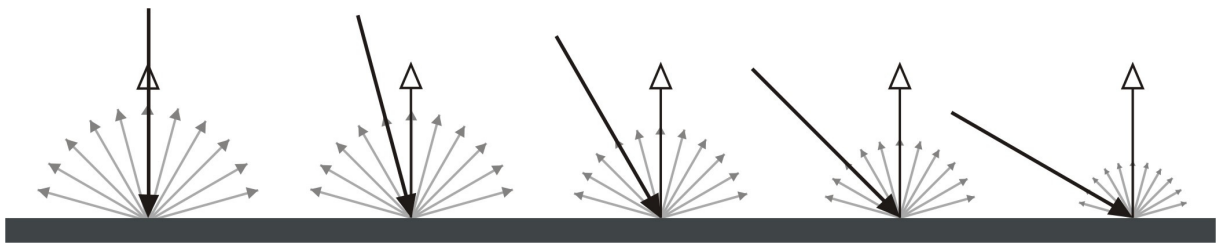
Como visto anteriormente, de acordo com as características ópticas de cada material, e a incidência de luz sobre ele, pode-se verificar a ocorrência de reflexão, transmissão e/ou absorção. As formas de reflexão e transmissão foram classificadas por Baker *et al* (1998), como mostra a figura 2.27.



**Figura 2.27:** Classificação dos tipos de reflexão e transmissão de acordo com o ângulo (delta) de dispersão. Fonte: Adaptado de Baker *et al* (1998)

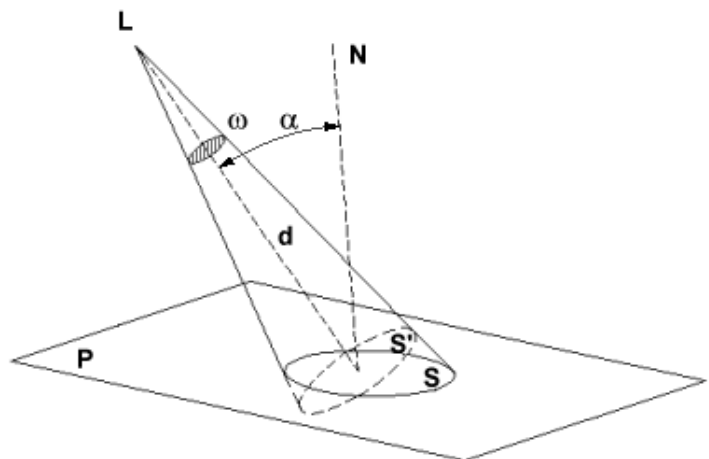
## 2.7.2 LEI DE LAMBERT (LEI DOS COSSENOS)

A lei dos cossenos, ou também conhecida como Lei de Lambert estabelece que a iluminância sobre uma superfície varia de acordo com o cosseno do ângulo de incidência. O ângulo de incidência é o ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente (IEE, 2003).



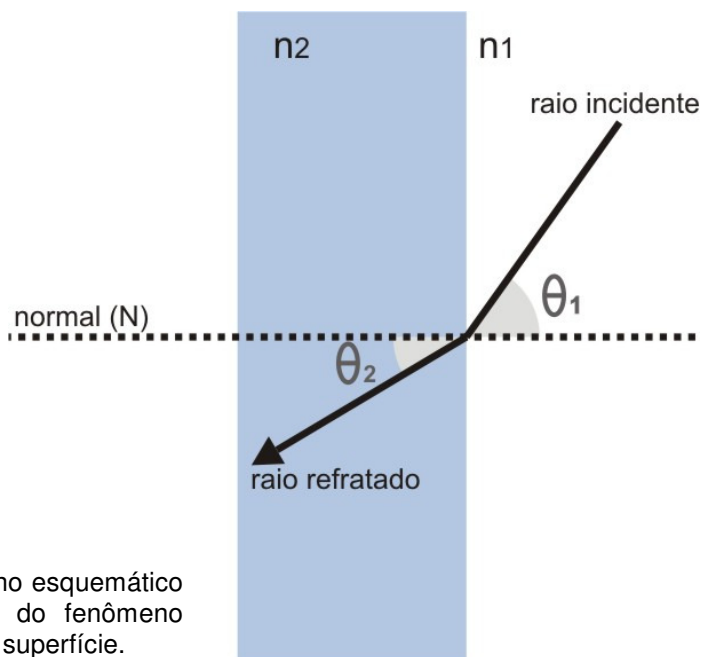
**Figura 2.28:** Representação da Lei dos cossenos de Lambert.  
Fonte: adaptado de PUC-RIO, 2008.

**Figura 2.29:** Representação da Lei dos cossenos de Lambert.  
Fonte: [www.arq.ufsc.br](http://www.arq.ufsc.br)



## 2.7.3 REFRAÇÃO

A refração ocorre quando há a incidência de luz em um material, através da diferença de densidade entre eles. Isto acontece devido à mudança de velocidade de propagação quando da passagem de luz de um meio para o outro. As variáveis que interferem neste fenômeno são o ângulo de incidência ( $\theta_1$ ) e o índice de refração dos materiais ( $n_1$  e  $n_2$ ).



**Figura 2.30:** Desenho esquemático para representação do fenômeno da refração em uma superfície.

Na figura 2.30,  $n_1$  e  $n_2$  representam os índices de refração dos meios, que no caso de o meio 1 ser o ar, seria portanto igual a 1.

No exemplo acima nota-se que um feixe de luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, portanto o feixe de luz ao encontrar-se com este meio se aproxima mais da normal. Neste caso o meio 1 poderia ser o ar, enquanto que o meio 2 poderia ser o vidro ou acrílico (CHAVES, 2001).

A primeira lei de refração estabelece que o raio incidente ( $\theta_1$ ), o raio refratado ( $\theta_2$ ) e a normal pertencem a um mesmo plano. A segunda lei, ou Lei de Snell-Descartes estabelece uma relação entre os ângulos de incidência, de refração e os índices de refração dos meios. Esta lei está representada matematicamente pela fórmula a seguir:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$$

Como o meio 1 ( $n_1$ ) no estudo será o ar, que possui índice de refração igual a 1, e o raio incidente (altura solar) é conhecido, a fórmula matemática pode ser resumida a:

$$\text{sen } \theta_2 = \text{sen } \theta_1 / n_2$$

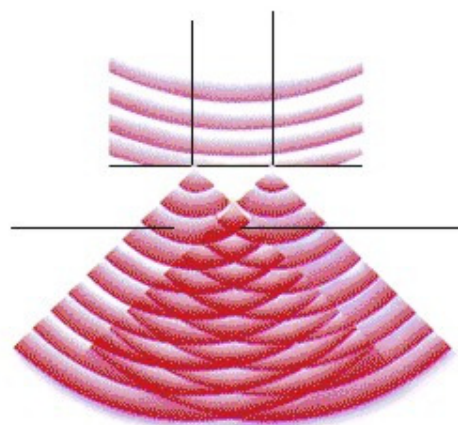
Na tabela a seguir foram relacionados os índices de refração a serem utilizados neste estudo.

**Tabela 2.9:** Índices de refração de alguns materiais. Fonte: Adaptado de física.ufc.br.

MEIO MATERIAL	INDICE DE REFRAÇÃO
AR	1,00
VIDRO	1,50
ACRILICO	1,49

### 2.7.4 DIFRAÇÃO

A luz também sofre difração, chamada de difração das ondas luminosas, porém se torna mais difícil percebê-la, porque os obstáculos e aberturas em que a luz incide são normalmente bastante grandes em relação ao seu comprimento de onda. Entretanto, se a luz passar por orifícios cada vez menores, poderá se observar que a luz sofrerá difração ao passar por esse orifício.



**Figura 2.31:** Difração da luz. Fonte: [omnis.if.ufrj.br](http://omnis.if.ufrj.br)

A difração é explicada através do Princípio de Huygens, onde os pontos de uma abertura ou de um obstáculo são atingidos pela frente de onda, é quando eles tornam-se fontes de ondas secundárias que mudam a direção de propagação da onda principal, contornando o obstáculo. O fenômeno da difração somente é nítido quando as dimensões da abertura ou do obstáculo forem da ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.

## 2.8 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Num país com grande disponibilidade de luz natural como o Brasil, nota-se que o uso deste recurso é muitas vezes subutilizado, ou utilizado de maneira equivocada, gerando problemas para as edificações em geral. No entanto, com uma boa utilização da luz natural podem-se obter economias significativas, além da melhoria da qualidade ambiental (AMORIM, 2002):

- a chamada economia direta acontece utilizando-se de forma otimizada a luz natural, e conseqüentemente reduzindo o uso da luz artificial. É necessário que haja

um sistema de controle da luz artificial incorporado, de forma que quando há suficiente luz natural, a luz artificial seja desligada ou diminuída.

- além desta, a economia indireta acontece reduzindo-se as cargas de climatização (ar condicionado ou aquecimento). Quando há um bom projeto de luz natural, proporcionando a entrada de luz natural controlada, há menores ganhos de calor solar e reduzem-se os ganhos de calor gerados pela iluminação artificial. Também pode-se dosar os ganhos de calor necessários para substituir ou complementar o aquecimento, caso este seja necessário no clima local. A luz natural não somente substitui a luz artificial, reduzindo o uso de energia, mas também influencia nas cargas de aquecimento e resfriamento.

É importante salientar que a economia energética ocorre somente quando há uma preocupação em integrar a luz natural e a artificial, através de controles e zoneamento, por exemplo. Caso contrário, haverá melhoria no conforto ambiental, através do uso da luz natural, mas não haverá economia energética (AMORIM, 2002).

O planejamento para luz natural, desta forma, envolve a integração das perspectivas e exigências de várias especializações e diversos profissionais, implicando necessariamente numa maior interação entre os projetistas.

## **RTQ - C**

O regulamento “Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” (RTQ-C), publicado em 2009, faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO. Apresenta como objetivos zelar pela eficiência energética, estabelecer requisitos mínimos de desempenho e estabelecer regras equânimes e de conhecimento público para os seguimentos de projeto e construção de edifícios comerciais, de serviços e públicos (BRASIL, 2009).

Com esta iniciativa, o Brasil uniu-se a outros países que já possuem certificação energética de edifícios. Esta é uma tendência mundial que busca uma política de conservação e uso mais racional da energia (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Os pré-requisitos gerais do RTQ-C incluem envoltória, iluminação, condicionamento de ar e simulação. Para classificação do sistema de iluminação existem os critérios a

serem atendidos, como o uso de circuitos independentes para uma determinada área, automação do sistema com desligamentos automáticos, limites de potência pré-determinados e identificação de níveis de eficiência (BRASIL, 2009).

Além dos pré-requisitos de análise e classificação obrigatória, existem bonificações para alguns tipos de iniciativas que venham a aumentar a eficiência da edificação. Dentre eles, pode-se citar o uso de inovações técnicas ou de sistemas para iluminação natural. A exigência é que estes venham a propiciar uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

O painel prismático pode ser considerado um destes sistemas inovadores com grande potencial para obter a bonificação oferecida, mediante comprovação a redução deve ser de 30% do consumo anual de energia elétrica.



## **CAPÍTULO 3**

### **ILUMINAÇÃO NATURAL LATERAL**

### 3.1 CONCEITUAÇÃO

A luz natural obtida através das aberturas laterais depende da somatória das contribuições de três variáveis: luz proveniente da abóbada celeste, luz das reflexões de obstruções externas e das reflexões das superfícies internas (VIANNA, 2001).

Uma janela pode exercer varias funções, podendo ser caracterizada pelo melhor uso da iluminação natural, para vista do exterior e/ou para ventilação natural. Nas janelas para iluminação natural, a posição mais alta e um tamanho que otimize o ingresso de luz é o mais importante. Para a ventilação natural, a posição é mais importante do que o tamanho. E para vista do exterior, o tamanho e a altura do peitoril são os fatores mais importantes.

Para não comprometer o ingresso da luz natural, recomenda-se uma divisão da janela para que cada parte exerça uma determinada função. Por exemplo, a parte superior da janela pode ter a função de iluminação e a inferior de proporcionar a vista do exterior (figura 3.1) (IEA, 2000).



**Figura 3.1:** Visualização fotorealística de um ambiente iluminado por dois vãos, onde o superior possui sistema de redirecionamento de luz. Fonte: IEA, 2005.

Entretanto, em determinados períodos do dia ou do ano, algumas destas funções podem se tornar incompatíveis, como por exemplo, a iluminação e a visão do exterior.

Outro exemplo ocorre quando a janela permite a incidência solar direta, como é mostrado na figura 3.3. A incidência solar no ambiente interno pode causar ao usuário tanto o desconforto visual quanto o térmico (PEREIRA, 1992; BOYCE, 1998). Dessa forma, sua função de iluminação fica prejudicada, pois o usuário evitará o ingresso de luz.



**Figura 3.2:** Aeroporto Washington Dulles. Fonte: [www.metwashairports.com](http://www.metwashairports.com)

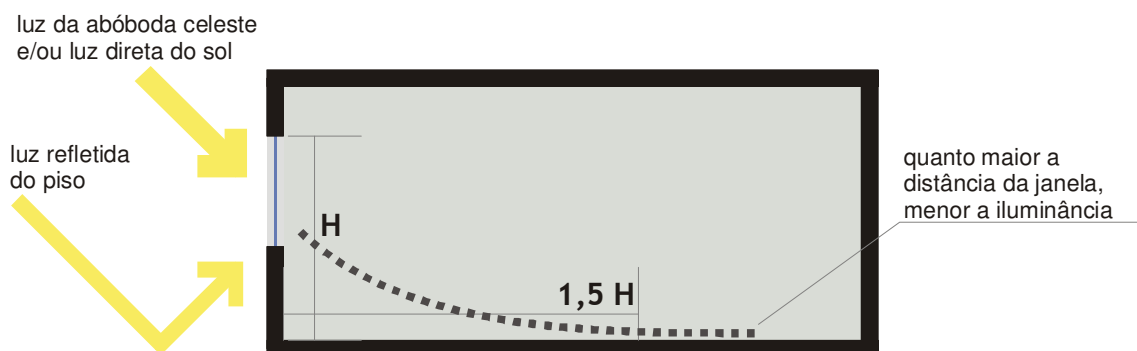
**Figura 3.3:** Aeroporto Ronald Regan, Washington. Fonte: [www.metwashairports.com](http://www.metwashairports.com)

O ingresso e a distribuição da luz natural dependem, portanto, das características relacionadas à janela como tamanho, localização, orientação e forma e da compatibilização das diversas funções.

Além disso, como dito anteriormente, a distribuição da luz no ambiente construído depende também da refletância das superfícies. A refletância é a relação entre a luz incidente e refletida; assim, está relacionada com a cor das superfícies. Superfícies claras refletem mais a luz do que superfícies escuras.

Simulações computacionais feitas por Baker e Steemers (2002) apresentaram valores, através dos quais nota-se que nas superfícies que apresentaram baixa refletância a distribuição da luz foi menos uniforme, e nas que apresentaram alta refletância a distribuição da luz foi mais uniforme.

A característica mais marcante da iluminação lateral é a sua desuniformidade em termos de distribuição pelo ambiente, pois ela é muito mutável em relação às horas do dia, as condições meteorológicas e de entorno. Outro fator característico do seu uso é que a distribuição obtida da luz natural diminui rapidamente com o aumento da distância da janela. A penetração da luz obedece a uma relação aproximada de 1,5 a 2 vezes a altura do piso à verga ( $x = 1,5h$ ) (VIANNA, 2001).



**Figura 3.4:** Representação da queda de iluminância à medida que se distancia da janela.  
Fonte: adaptado de BAKER e STEEMERS, 2002.

Uma das variáveis mais importantes relacionadas à boa iluminação é a adequada localização das janelas. Em áreas de trabalho é recomendável que as áreas envidraçadas sejam distribuídas homoganeamente na fachada e se estendam até o forro, iniciando a uma determinada altura mínima.

A partir da tendência do uso de fachadas envidraçadas em volumes compactos nos edifícios de escritório, o meio pelo qual a luz é captada para o interior se resume aos panos de vidro (VIANNA E GONÇALVES, 2001). Por este motivo, há necessidade de se criar elementos que potencializem o uso da iluminação natural nestes ambientes. Dispositivos de redirecionamento da luz natural foram então concebidos para solucionar esta problemática.

### **3.2 USO DA ILUMINAÇÃO LATERAL EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS**

As edificações destinadas a escritório, em sua maioria possuem aberturas apenas laterais. O partido arquitetônico para estas tipologias geralmente está relacionado ao uso de vários pavimentos com grandes dimensões colocados na mesma projeção e com aberturas para iluminação e ventilação apenas nas extremidades dos pavimentos.

Em edificações como escritórios, boas condições de iluminação natural nos ambientes ajudam a obter mais eficiência e produtividade no trabalho, e ao mesmo tempo aumentam o conforto ambiental e mais especificamente o conforto visual.

Neste caso, é importante que em primeiro lugar esteja o aspecto técnico e funcional da iluminação, eliminando problemas como ofuscamento ou iluminação insuficiente ou exagerada. Para atingir estes objetivos, tanto a forma da edificação, sua orientação, tratamento de fachadas e, além disso, o desenho acurado das aberturas terá papel preponderante.

As figuras a seguir representam a tipologia utilizada na atualidade para escritórios, porém com o uso de sistemas que visam otimizar o uso da luz natural.



**Figura 3.5:** Escritório SUVA em Basel, Suíça. Arquitetos responsáveis: Herzog e Pierre de Meuron. Fonte: Fonte: Fontoynt, 1999.

**Figura 3.6:** Escritório SUVA em Basel, Suíça. Fonte: Fonte: Fontoynt, 1999.

**Figura 3.7:** Detalhe da aplicação do painel prismático na fachada do edifício correspondente às figuras 3.5 e 3.6. Fonte: Fontoynt, 1999.

É importante que as esquadrias possam ser projetadas para atender às necessidades de iluminação, proteção do ofuscamento, distribuição de luz difusa, e, além disso, ventilação natural e aspectos como privacidade e vista para o exterior. Este último aspecto, muitas vezes relegado em segundo plano pela própria forma do edifício, que impede que todos os ocupantes possam ter vista para o exterior, é importantíssimo para a qualidade do ambiente interno e a saúde dos ocupantes, principalmente em ambientes de trabalho de longa permanência.

### 3.3 SISTEMAS INOVADORES PARA REDIRECIONAMENTO DA LUZ

Devido à freqüente variação e a sua grande intensidade, a luz solar direta é constantemente recusada, para uso no interior das edificações, sendo, portanto seu uso indireto a forma mais adequada. De acordo com o que foi explanado anteriormente, a luz pode ser manipulada através do controle de fenômenos físicos como reflexão, transmissão, absorção, refração e outros (PEREIRA, 1993). Desta maneira, dispositivos que controlam o acesso da luz solar ao interior dos ambientes podem ser incorporados ou agregados aos sistemas de aberturas.

De acordo com Amorim (2002), existem hoje sistemas inovadores<sup>5</sup> para a luz natural, que são adaptações nas janelas ou nas aberturas zenitais e têm como objetivo otimizar a quantidade e a distribuição de luz natural no interior de um espaço. Estes sistemas utilizam a luz do zênite, do céu e do sol de maneira eficiente, guiando-a com mais profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes.

Alguns deles podem ter efeito de proteção solar que, normalmente, consegue-se com os sistemas de sombreamento externo, reduzindo as temperaturas internas. Além disso, estes sistemas podem reduzir a ocorrência de ofuscamento causado pela luz direta ou pela luz difusa.

A utilização destes sistemas exige alguns cuidados em projeto, como o seu dimensionamento, formato, inclinação, posicionamento dos mesmos em relação às aberturas e a orientação solar considerando a latitude local.

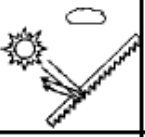
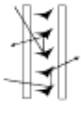
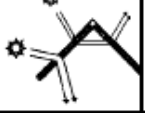

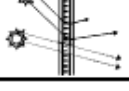

A seguir pode-se observar um panorama dos principais sistemas inovadores para a otimização do uso da luz natural em edificações. Os sistemas são classificados por tornarem possível o uso da luz direta ou da luz difusa, além de mostrar suas características físicas e aplicabilidade.

A tabela a seguir apresenta uma classificação diferenciando sistemas com proteção solar de sistemas sem proteção.

---

<sup>5</sup> O termo sistemas inovadores designa sistemas que redirecionam a luz do sol ou a luz do céu para áreas onde é necessário, sem ofuscamento. Esses sistemas utilizam dispositivos óticos que iniciam reflexão, refração e/ou usam a reflexão interna total da luz do sol e da luz do céu (IEA,2000).

**Tabela 3.1:** Classificação dos sistemas inovadores para a luz natural. Fonte: Amorim (2000b).

1. SISTEMAS COM PROTEÇÃO SOLAR												
Categoria	Sistema		Clima	Localização	Critérios para Seleção							
	Tipo/Nome	Desenho			Proteção do Ofuscamento	Vista externa	Condução da luz p/ o fundo do ambiente	Uniformidade Iluminação	Economia de Luz artificial	Necessidade de Seguir o percurso solar	Disponibilidade	Produtor, desenvolvedor
1A. Sistemas para uso primário da luz difusa.	Painéis Prismáticos		Todos os climas	AL AZ	D	D	D	D	D	D	S	1
	Vidros c/ perfis refletores (Okasolar)		Climas Temperados	AL AZ	D	D	D	D	D	N	S	3
	Abertura Zenital c/ Laser Cut Panel		Climas quentes, céu claro, baixas latitudes	AZ	D		S	S	S	N	D	2
2. SISTEMAS SEM PROTEÇÃO SOLAR												
2A. Sistemas para Condução da Luz Difusa	Prateleira de Luz		Todos os climas	AL AZ	D	S	D	D	D	N	S	1
2B. Sistemas para Condução da Luz Direta	Laser Cut Panel		Todos os climas	AL AZ	N	S	S	S	S	N	T	2
	Painéis Prismáticos		Todos os climas	AL AZ	D	D	D	D	D	S/N	S	1

AL: Abertura Lateral; ALA: Abertura Lateral Alta; AZ: Abertura Zenital; S: sim; D: depende; N: Não; T: em fase de testes; FD: em fase de desenvolvimento

Fabricação e Desenvolvimento de Produtos:

1. Siemens AG, Traunreuth, Alemanha; 2. Queensland University of Technology, Ian Edmonds, Brisbane, Austrália; 3. Okalux, Marktheidenfeld, Alemanha.

### 3.3.1 PRATELEIRAS DE LUZ

As prateleiras de luz, também conhecidas como bandejas de luz, são estruturas adicionadas à parte superior das aberturas laterais, com a intenção de redirecionar parte da luz direta e difusa incidente para o plano do teto. São observadas duas interferências na distribuição da luz no interior, com a aplicação das prateleiras de luz: sombreamento na parte do interior da janela e aumento da iluminância nas

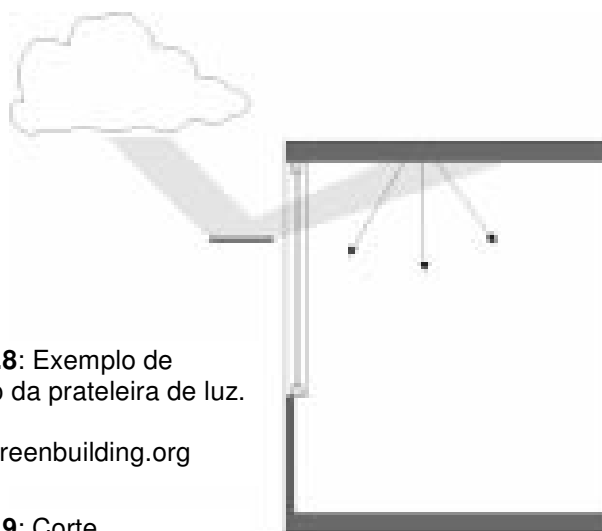
partes mais profundas do espaço, por efeito de reflexão de luz difusa pelo teto (VIANNA, 2001).

A prateleira de luz é geralmente posicionada horizontalmente, acima do campo de visão, junto à janela, podendo ser externa ou interna a ela. Quando colocadas de maneira externa à janela, exercem a função de proteção térmica também, enquanto que as internas não. Pode adquirir funções diferentes se tratada com superfícies de revestimento diferentes. Desta forma ela posiciona-se dividindo a abertura lateral em dois.

Este componente representa o sistema mais usual entre os apresentados nesta pesquisa e é um exemplo de dispositivo passivo, usado para redirecionar a luz solar para o interior das edificações.



**Figura 3.8:** Exemplo de aplicação da prateleira de luz.  
Fonte: [www.ncgreenbuilding.org](http://www.ncgreenbuilding.org)

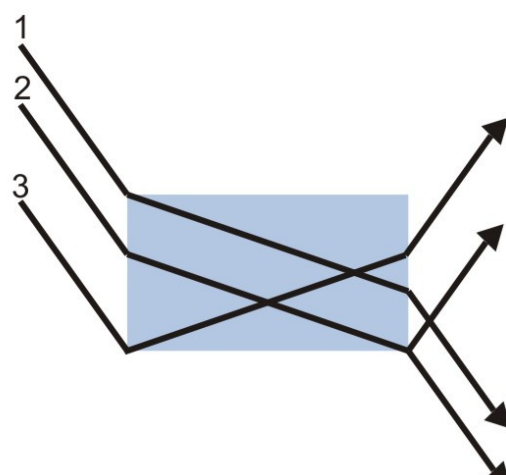


**Figura 3.9:** Corte esquemático de uma prateleira de luz.  
Fonte: IEA, 2000.

### **3.3.2 LASER CUT PANEL**

O Laser Cut Panel é composto por um painel de acrílico dividido por meio de cortes a laser em uma série de elementos retangulares. A superfície de cada corte a laser funciona como um pequeno espelho interno que deflete a luz que passa através do painel. Suas principais características são a alta proporção de luz refletida pelo ângulo obtuso (>120°), visibilidade através do painel e método de produção flexível para pequenas ou grandes quantidades (IEA, 2000).



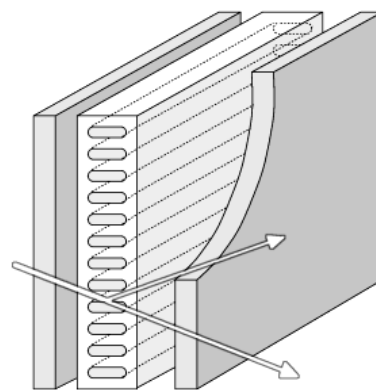


**Figura 3.10:** Exemplo de aplicação do Laser Cut Panel. Fonte: IEA, 2000.

**Figura 3.11:** Seção de um Laser Cut Panel, demonstrando seu comportamento a incidência da luz. Fonte: IEA, 2000.

Como visto na figura 3.11, os feixes de luz que atravessam o Laser Cut Panel são defletidos por refração, como os raios de incidência 2 e 3, ou podem ter um comportamento referente ao do raio 1, que é semelhante ao de um vidro comum.

A quantidade de luz defletida para o interior depende da inclinação dos cortes no painel, da profundidade dos mesmos, da distância que haverá entre eles e do índice de refração do material.



**Figura 3.12:** Esquema de funcionamento do Laser Cut Panel entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

A análise destes parâmetros é fundamental para determinar a geometria capaz de defletir a luz da forma mais eficiente para uma dada latitude, de forma a evitar o ofuscamento.

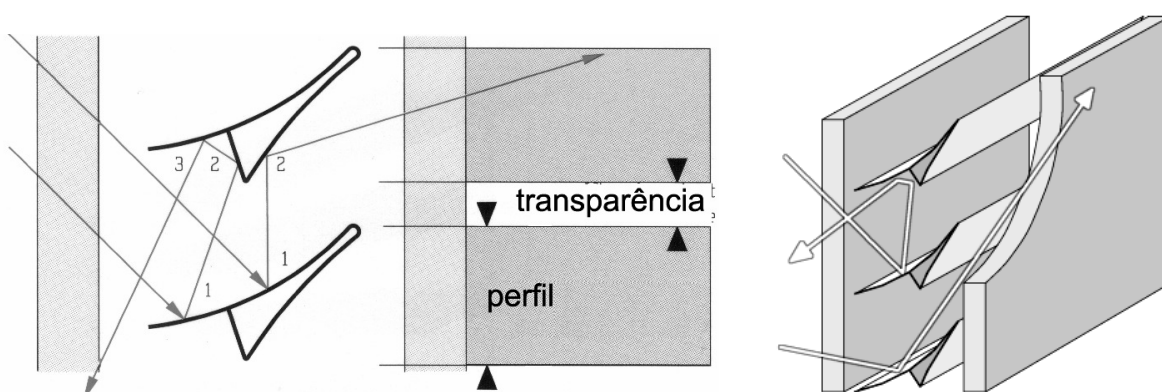
O painel normalmente é colocado entre vidros para evitar a manutenção excessiva e pode ser utilizado de forma fixa ou móvel, como também na forma de brise móvel.

O sistema é capaz de redirecionar a luz solar direta quando adequadamente posicionado, otimizando sua distribuição no ambiente interno.

Foi projetado na Austrália, por Ian R. Edmonds (CIAMPINI, 2005).

### 3.3.3 OKASOLAR

O sistema Okasolar<sup>6</sup> é composto de lâminas de aço cobertos de alumínio reflexivo com uma geometria côncava e convexa espaçados igualmente, projetados e posicionados de forma a evitar a entrada da luz solar direta, ao mesmo tempo em que redirecionando a luz solar difusa para o interior do ambiente. As lâminas são colocadas entre vidros para evitar a perda das características reflexivas do material e permitem a visualização do exterior (quando colocadas em aberturas laterais).



**Figura 3.13:** Seção de um Okasolar, demonstrando seu comportamento a incidência da luz. Fonte: adaptado de KOSTER, apud CIAMPINI, 2005.

**Figura 3.14:** Vista do elemento Okasolar demonstrando sua transparência. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com).

**Figura 3.15:** Esquema de funcionamento do Okasolar entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com).



**Figura 3.16:** Okalux Office, Marktheidenfeld. Fonte: OKALUX, 2008.



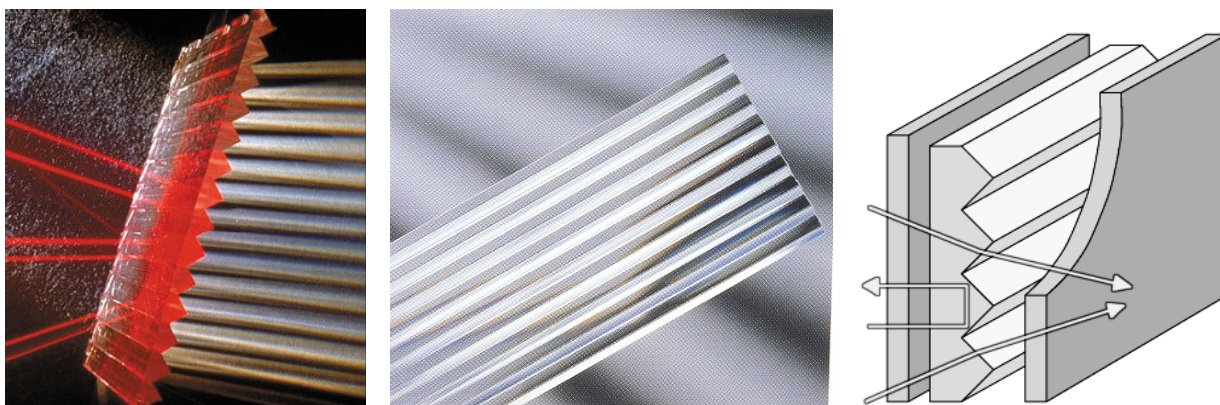
**Figura 3.17:** Retrolux Capricorn, Monchengladbach. Fonte: OKALUX, 2008.

<sup>6</sup> Este brise foi comercializado inicialmente pela empresa OKALUX, portanto a responsável pelo nome dado ao elemento.

Nas figuras 3.16 e 3.17 é possível verificar este sistema em funcionamento e a manutenção da transparência entre o interior e o exterior.

### **3.3.4 PAINEL PRISMÁTICO**

Os painéis prismáticos são placas feitas de acrílico, vidro ou policarbonato de espessura fina e plana. O painel prismático linear consiste em uma disposição de prismas com uma superfície para cada prisma, que dão forma a uma superfície plana conhecida como revestimento protetor de prisma.

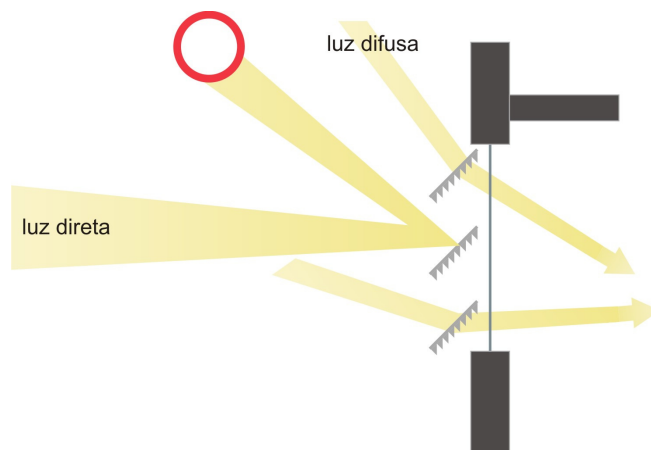


**Figura 3.18:** Painel prismático. Fonte: IEA, 2000.

**Figura 3.19:** Painel prismático. Fonte: IEA, 2000.

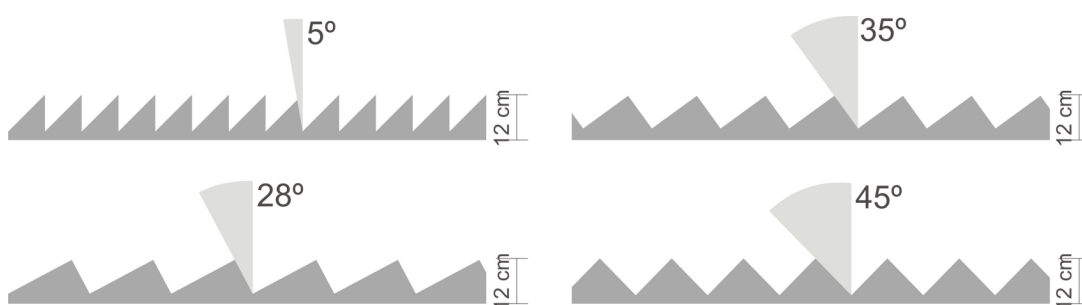
**Figura 3.20:** Esquema de funcionamento do Painel Prismático entre vidros. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

O painel prismático tem duas funções distintas: A) redirecionar, transmitindo a luz solar da abóbada celeste ao interior; B) refracionar a luz solar direta, atuando como sistema de proteção solar, como mostra a figura 3.21. Neste caso o sistema refrata os raios solares através da combinação de refração entre dois ângulos (IEA, 2000).



**Figura 3.21 e 3.22:** Uso do painel prismático como sistema de proteção na forma de brise.

Os painéis prismáticos são produzidos de duas formas: A) através do corte de prismas a partir de uma placa de acrílico, são produzidos do polímero acrílico em quatro configurações diferentes (ângulos de refração diferentes) (fig. 3.22). Alguns painéis são revestidos parcialmente com uma película de alumínio com refletância especular elevada em uma superfície de cada prisma; B) Corte especializado, este processo produz os prismas espaçados a menos de um milímetro de distância. A película acrílica resultante é de pouco peso, contudo ainda tem boas propriedades óticas (IEA, 2000).



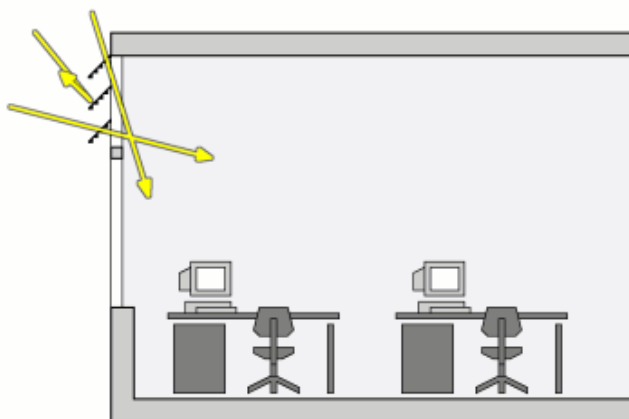
**Figura 3.23:** Exemplos de painéis prismáticos disponíveis comercialmente pela empresa SITECO (nome comercial SIEMENS). Fonte: adaptado de IEA, 2000.

## APLICAÇÕES

Este sistema é utilizado para direcionar a luz difusa, bem como a luz direta. Os painéis prismáticos são utilizados normalmente no plano vertical da fachada para redirecionar a luz da abóbada celeste à parte superior do ambiente.

Simultaneamente, reduzem o brilho da janela e se fazem de um sistema anti-ofuscante com função de redirecionamento simultâneo.

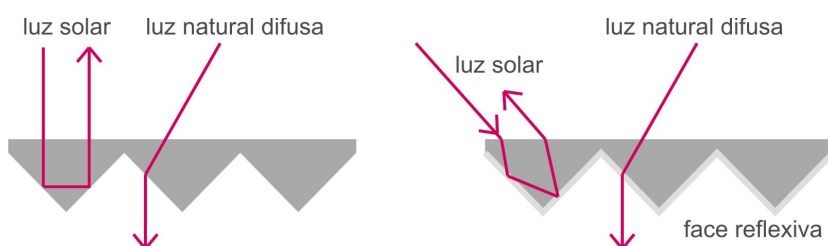
Os painéis podem ser utilizados de forma fixa ou móvel, ajustados manualmente ou de forma automática. Podem também ser introduzidos entre lâminas de vidro ou expostos diretamente ao ambiente (IEA, 2000).



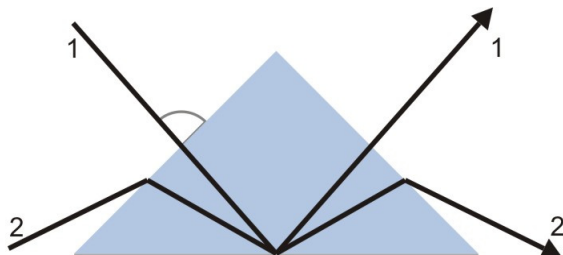
**Figura 3.24:** Simulação de incidência solar nos painéis prismáticos colocados em forma de brises. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

Em algumas formas de utilização os painéis podem ser agregados a outros sistemas, tais como o sistema Okasolar, com o intuito de melhorar o desempenho da aplicação em casos específicos.

Existe também a possibilidade de colocação de película reflexiva em uma das faces para a alteração dos ângulos de refração. Esta situação pode ser observada na figura abaixo.



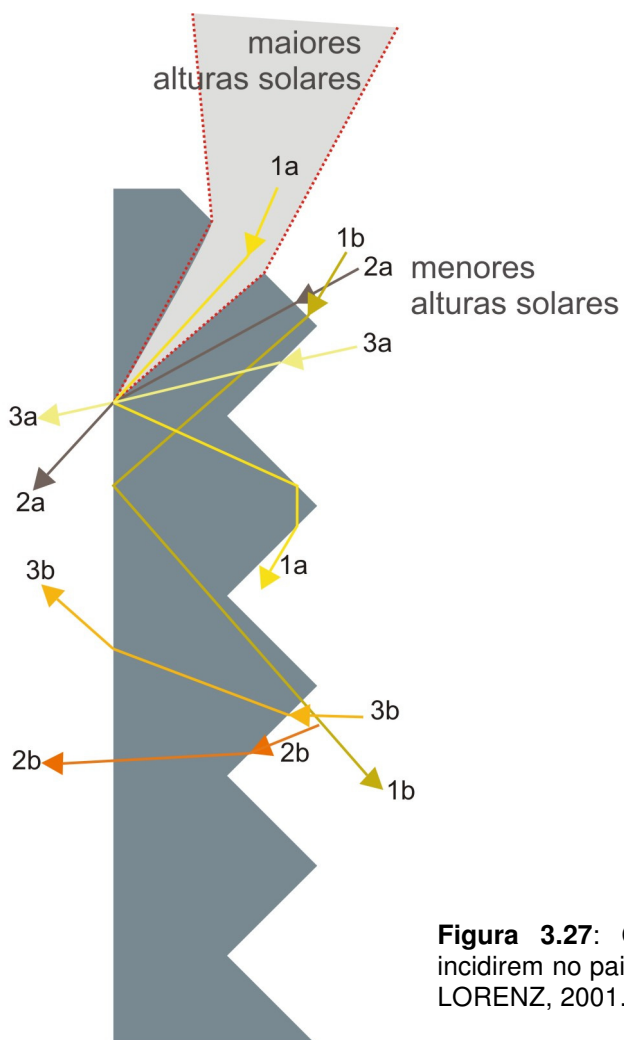
**Figura 3.25:** Comparação do comportamento da luz natural em um componente de painel prismático simples e um componente com uma das faces reflexivas. Fonte: adaptado de IEA,2000.



**Figura 3.26:** Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no prisma. Fonte: adaptado de KOSTER, 2004.

A figura 3.26 mostra o comportamento dos feixes de luz ao incidirem no prisma. No feixe 1 há a reflexão interna total, com ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão. Já no feixe 2 pode-se observar primeiramente a refração, depois a reflexão interna total e a nova refração nas superfícies do prisma alterando a direção do feixe (KOSTER, 2004).

A figura 3.27 mostra o funcionamento de um painel prismático voltado para o norte, interagindo com a luz solar direta e a luz solar difusa. A maior fração da radiação solar incide primeiramente nas faces superiores do prisma (representado pelas letras 1a, 1b e 2a), enquanto que uma pequena fração incide primeiro na face inferior (representado pelas letras 2b e 3b).



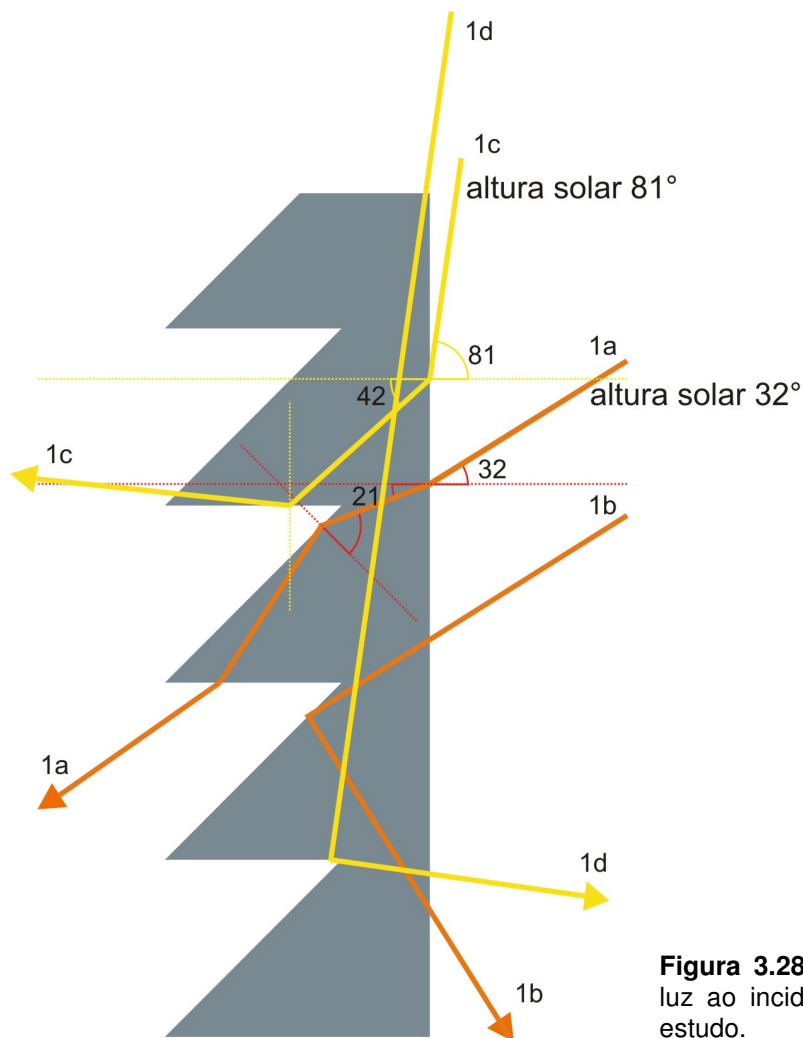
**Figura 3.27:** Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no painel prismático voltado para o norte. Fonte: LORENZ, 2001.

Os raios incidentes provenientes de altitudes solares maiores (1a e 1b), compreendidos numa faixa angular entre o zênite e a angulação da superfície

prismática atingem a face superior do prisma e são totalmente refletidos (por reflexão interna total) pela face lisa do painel.

Em seguida os feixes que seguem a trajetória (1a) incidem na face superior do prisma, pelo lado interno e são totalmente refletidos, penetrando na superfície inferior pelo lado interno para serem refletidos para o exterior. Os raios com trajetória 1b, ao sofrerem reflexão interna total incidem diretamente na superfície interna inferior até alcançar o exterior. Por este prisma ter esta característica angular, os feixes entrarão novamente no prisma, e após sofrer reflexão interna total na face lisa serão direcionados para a parte inferior interna alcançando finalmente o exterior. Os raios de altitudes maiores (2a) que entram pelas faces superiores e são direcionados para baixo não geram ofuscamento. Os feixes (2b) que entram pelas superfícies inferiores são direcionados para cima, mas devido à sua pequena proporção não chegam a gerar ofuscamento perturbador. Os raios com ângulos praticamente horizontais (3a e 3b) que entram pelas faces superior e inferior dos prismas são enfraquecidos pela absorção na atmosfera e, portanto também não geram ofuscamento.

A figura 3.28 mostra o funcionamento do painel prismático adotado para o estudo, voltado para o norte, porém com outra configuração angular na face prismática. A incidência solar corresponde às 9h e 12h do dia 22 de dezembro para a cidade de Brasília. A cor amarela (1c e 1d) representa as 12h com altura solar de  $81^\circ$ , enquanto que a cor laranja (1a e 1b) representa as 9h com altura solar de  $32^\circ$ .



**Figura 3.28:** Comportamento dos feixes de luz ao incidirem no prisma adotado para o estudo.

Para a altura solar maior, o raio incidente 1c atinge primeiramente a face lisa do painel, logo após é refratado e jogado para o exterior, para a face prismática. Já o raio incidente 1d sofre reflexão total e logo é jogado de volta para o exterior pela mesma face de entrada, porém com uma angulação bem reduzida.

Com altura solar menor, o raio 1a atinge a superfície sendo refratado até alcançar o exterior pela face prismática na parte inferior do mesmo. Já o raio 1b entra no prisma atingindo a face interna e sendo imediatamente refletido totalmente para o exterior. Nas altitudes mais reduzidas existe uma possibilidade maior de ocorrência de ofuscamentos, como por exemplo, a situação 2, em que os dois feixes saíram refletidos e refratados com angulações reduzidas, podendo configurar situação de ofuscamento.



## CONTROLE

Quando os painéis são aplicados como um sistema móvel de proteção solar, devem ser ajustados de acordo com os movimentos do sol. Para algumas situações é possível projetá-lo de forma a ter a necessidade de realizar apenas ajustes sazonais.

## MANUTENÇÃO

Os painéis prismáticos são introduzidos em sua maioria entre lâminas de vidro, de forma a facilitar a limpeza. No entanto se os painéis estiverem expostos, a manutenção se torna mais complexa, pois é necessário ter o cuidado de não danificar as superfícies ópticas.



**Figura 3.29:** Escritório em Esslingen. Arquiteto responsável: Odilo Reutter. Fonte: KÖSTER, 2004.

**Figura 3.30:** Fábrica St. Zeno, Kirchseeon (2003). Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

**Figura 3.31:** Escritório em Esslingen. Fonte: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com)

### **3.3.5 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO PARA DISPOSITIVOS DE REDIRECIONAMENTO DA LUZ NATURAL**

O uso de dispositivos de redirecionamento da luz natural está ligado a uma série de critérios que devem ser cuidadosamente checados durante o projeto, de forma a definir as vantagens e o custo/benefício da utilização de cada um deles (BAKER et al, 1993). Por estes fatores é que se tem a problemática da origem destes dispositivos, projetados para as alturas solares e as condições climáticas europeias, se tornando necessário, portanto serem checados para o Brasil.

Estudos anteriores (GARROCHO,2005 e CIAMPINI,2005) mostraram aplicabilidade de alguns dos sistemas inovadores para o Brasil, dentre os quais, o painel prismático.

De acordo com Garrocho (2005), o painel prismático demonstrou proporcionar boa distribuição da iluminação no ambiente de centro de compras, quanto utilizado nas superfícies iluminantes dos zenitais. Os estudos foram realizados na cidade de Brasília para períodos semelhantes aos deste estudo.

Já a pesquisadora Ciampini (2005) afirma que os dispositivos citados anteriormente, dentre eles o painel prismático, se mostraram interessantes para o uso na cidade de Campinas por terem sido eficientes, no que diz respeito ao redirecionamento da iluminação natural em ambientes internos em vários períodos do ano. Seus estudos foram feitos através de modelo reduzido.

## **CAPÍTULO 4**

### **FERRAMENTAS PARA CÁLCULO E AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL**

Neste capítulo apresentam-se algumas ferramentas disponíveis para a análise da luz natural em ambientes internos, indicados inicialmente para a situação a que se propõe o estudo.

Para a avaliação da luz natural no ambiente construído faz-se necessário obter o conhecimento do seu comportamento. De acordo com a configuração arquitetônica adotada e os dispositivos de iluminação natural nela inseridos, o resultado pode parecer adequado ou não. Como forma de avaliar esta arquitetura, executada ou não, utilizam-se alguns métodos de medição, análise e avaliação.

#### **4.1 FERRAMENTAS CONVENCIONAIS**

A quantificação da iluminação natural no ambiente pode ser realizada através de cálculos ou de medições. Os procedimentos da quantificação da luz natural no ambiente interno são apresentados pelas normas brasileiras NBR-15215-3 (2004) e NBR-15215-4 (2004).

As medições devem ser feitas de acordo com a norma NBR-15215-4 (2004) que também descreve sobre a instrumentação envolvida neste método:

Quanto ao instrumento, recomenda-se o uso de sensores de silício ou selênio; quanto à dimensão das fotocélulas deve-se observar que as medições caracterizam condições pontuais de iluminação e, portanto, para modelos físicos em escala reduzida (maquete), a fotocélula não deve ultrapassar uma área de 0,03m<sup>2</sup> na escala do modelo; quanto à qualidade dos instrumentos: apresentar uma sensibilidade próxima ao olho humano (resposta espectral), com correção do efeito cosseno, linearidade em resposta a elevadas iluminâncias, erro total associado ao instrumento de no máximo 10% e as medições devem ser realizadas em ambientes com temperatura em torno de 25°C (sensibilidade à temperatura) (NBR-15215-4, 2004).

A verificação experimental das condições de iluminação interna pode ser realizada em modelos físicos em escala reduzida (figura 4.1 e 4.2), como também em ambientes reais.



**Figura 4.1 e 4.2:** Exemplo de protótipo elaborado para o estudo da luz natural. Vista exterior e vista interior. Fonte: CIAMPINI, 2005.

Para se efetuar medições em modelos em escala reduzida, inicialmente, devem-se observar alguns procedimentos quanto ao modelo, como: escala não menor que 1:40; modelos seccionados não são adequados; a refletividade das superfícies deve representar o mais corretamente possível a refletividade das superfícies reais; evitar modelos mal executados; garantir que as obstruções externas apresentem tamanhos e refletividades corretas; os detalhes das aberturas devem representar adequadamente o objeto real; planejar as medições com antecedência. (NBR-15215-4, 2004)

As medições em ambientes reais “têm como objetivo avaliar as condições de iluminação natural do ambiente construído, em condições reais de ocupação e utilização” (NBR-15215-4, 2004). Para avaliar as condições de iluminação, as medições em ambientes reais são mais fáceis de ser realizadas em comparação às medições em modelos de escala reduzida, por apresentarem procedimentos mais simples de ser seguidos.

Em modelos de escala reduzida, os procedimentos apresentam algumas restrições quanto à confecção do modelo considerando a refletividade das superfícies internas e externas, os detalhes das aberturas e as obstruções. Tais itens podem até ser contornados, porém, o tempo empreendido torna-se outro inconveniente.

Diante das características intrínsecas as medições em escala reduzida e em ambiente real, verifica-se neste caso, a inviabilidade no uso das mesmas, principalmente pelas variações horárias, sazonais e atmosféricas que podem provocar alterações na disponibilidade da luz natural (FONTOYNONT, 1998). Além

destes fatores existe a dificuldade em coletar os dados simultaneamente em três diferentes localidades.

## **4.2 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO**

Na avaliação de sistemas e componentes de projeto a simulação computacional é um instrumento de comprovada eficácia no auxílio das decisões a serem tomadas.

A simulação por computador permite reproduzir fenômenos ou sistemas de forma a atestar seus comportamentos sob as mais diferentes situações (AMORIM, 2003).

Ao simular no computador um objeto ou fenômeno, busca-se atribuir ao modelo simulado propriedades e (ou) capacidades do modelo real e não mais somente “copiar” sua aparência visual, o que irá depender da finalidade da simulação (MACHADO, 2001).

Existem três tarefas que envolvem o processo de simulação computacional em iluminação: a primeira se refere à obtenção de entrada precisa de dados; a segunda está relacionada à simulação precisa e eficiente da interação da luz no ambiente; e a terceira refere-se ao mapeamento dos resultados para os dispositivos de saída. (INANICI, 2002).

Um dos objetivos da simulação é a criação de imagens geradas em computador, que, muitas vezes, é a maneira mais fácil, menos dispendiosa e mais eficaz de visualizar de maneira preliminar resultados de projeto, ao contrário de modelos construídos e protótipos, além de permitir a consideração de alternativas adicionais de projeto, a partir da interação do projetista com a imagem exibida (OLEY, 1997).

Para a aplicação da simulação, uma tarefa importante a ser realizada é a validação do modelo de simulação, que se refere ao grau de confiabilidade com que o modelo representa o sistema em estudo, sob o enfoque considerado.

A validação deve ser feita pelo projetista do sistema, no momento da sua implementação, e pelo usuário desse sistema, de forma a garantir que os resultados encontrados no processo de simulação estejam corretos e possam ser utilizados para os estudos enfocados.

O estudo das ferramentas computacionais para simulação da iluminação não envolve somente a simulação visual do espaço, ou seja, as condições qualitativas para a representação precisa do projeto de iluminação, mas envolve também as questões quantitativas, referentes aos níveis de iluminação das superfícies, para a determinação da melhor solução de projeto.

Além disso, as ferramentas propiciam a visualização dos efeitos de lâmpadas e luminárias, a distribuição luminosa, a iluminação natural e seu comportamento durante os períodos do dia e do ano, e o estudo da influência dos materiais nas condições de iluminação no espaço projetado.

De acordo com Inanici (2002:2), o estudo da aplicação do software de simulação da iluminação pode ser dividido em quatro critérios principais:

1) **DADOS DE ENTRADA:** o passo inicial para a simulação em projeto de iluminação é a construção do modelo geométrico e a definição das características dos materiais e das fontes luminosas, que constituem dados de entrada para a simulação.

A geometria do modelo deve ser construída de maneira a representar as superfícies do espaço, principalmente aquelas que interagem com as fontes de luz. Os materiais devem ser especificados quanto a cor, refletância e transmissão luminosa, para que o modelo seja fisicamente fundamentado.

As fontes luminosas devem ser especificadas através das suas grandezas fotométricas.

2) **ALGORITMOS:** os softwares de simulação de iluminação são ditos fisicamente fundamentados, pois utilizam os algoritmos de iluminação global para descrever a interação da luz na cena e simular seus efeitos sobre as superfícies dos objetos. Os algoritmos utilizados são o de radiosidade, para o cálculo da propagação da luz difusa do ambiente, e o ray tracing, que calcula as contribuições da reflexão especular.

3) **SAÍDA DOS RESULTADOS:** os resultados do processo de simulação podem ser dados por meio da exibição de relatórios numéricos, que descrevem os níveis de

iluminação do ambiente, imagens estáticas, formas mais utilizadas, ou através de animação e walkthrough.

4) **FERRAMENTAS DE ANÁLISE:** a maioria dos softwares disponibiliza ferramentas de análise quantitativa, tais como gráficos isolux e imagens em falsa cor (técnica pseudocolor), em que faixas de cor entre azul e vermelho são atribuídas aos valores de distribuição de iluminamento ou luminância, emulando as linhas de isolux, o que facilita a análise da distribuição luminosa no ambiente.

A tabela a seguir elenca alguns softwares de simulação de iluminação disponíveis a nível mundial:

**Tabela 4.1:** Exemplos de *softwares* de simulação computacional de luz natural. Fonte: adaptado de CHRISTAKOU (2004).

SOFTWARE		DESENVOLVIMENTO	
ADELINÉ	IBM PC/DOS	Fraunhofer Institute for Buildings-IBP	Suíça
DeLIGHT	IBM PC/DOS	Lawrence Berkeley Laboratory California	EUA
DESKTOP RADIANCE	IBM PC/Windows	GREG WARD- Lawrence Berkeley Laboratory California	EUA
ECOTECH	IBM PC/Windows	SQUARE ONE research PTY LTD	AUS
LIGHTSCAPE	IBM PC/Windows	DISCREET – AUTODESK	EUA
LIGHT TOOL		UFSC - LABCON	Brasil
LUMEN MICRO	IBM PC	Lighting Technologies Inc. Colorado	EUA
RADIANCE	Linux, MAC OSX, SGI	GREG WARD- Lawrence Berkeley Laboratory California	EUA
RAYFRONT	Linux, MAC OSX, Windows	GEORG MISCHLER	Alemanha
RELUX	IBM PC/Windows	INFORMATIK AG	Alemanha
SKYVISION	IBM PC/Windows	Institute for Research in Construction	Canadá
TROPLUX		UFAL Universidade Federal de Alagoas	Brasil

Entre os softwares relacionados na tabela acima pode-se destacar os seguintes:

**DESKTOP RADIANCE** é um aplicativo que auxilia o projeto e análise da iluminação de edificações, criado a partir do original Radiance Synthetic Imaging System. O software foi desenvolvido por Greg Ward na *Lawrence Berkeley Laboratory* na Califórnia.

Opera no sistema Windows, como um plug-in do AutoCAD, o que possibilita a utilização de seus recursos para a modelagem tridimensional. A simulação é processada com o uso do modelo de ray tracing. Os resultados obtidos podem ser analisados através de pontos de referência únicos, grid de pontos, imagens



texturizadas, imagens em falsa cor ou com curvas isolux, oferecendo ainda uma análise humana sensitiva, traduzida numa emulação da visão humana (CHRISTAKOU, 2004).

LIGHTSCAPE é um aplicativo para o estudo de iluminação e texturização, que simula as propriedades das fontes luminosas e dos materiais, gerando imagens fotorealísticas. Foi desenvolvido pela Discreet, adquirido posteriormente pela Autodesk.

O processo de simulação se dá em três etapas: a primeira é a configuração dos parâmetros de simulação, a segunda é a subdivisão das superfícies numa malha de elementos finitos e a terceira, o processamento propriamente dito, quando o modelo de radiosidade de refinamento progressivo é aplicado para o cálculo da iluminação. Após a simulação, os resultados numéricos podem ser visualizados graficamente em imagens de falsa cor ou escala de cinza, ou através da análise de pontos simples ou em um grid (CHRISTAKOU, 2004).

A análise qualitativa é feita através da visualização do modelo simulado sob vários pontos de vista ou em imagens texturizadas, com o uso do modelo de iluminação ray tracing.

LIGHT TOOL é um software que avalia a iluminação por meio da troca de radiações entre superfícies opacas e difusas, o algoritmo utilizado para tanto é chamado de Modelo Vetorial Esférico. Este tipo de algoritmo considera todas as trocas luminosas por inter-reflexão, estabelecendo um conceito de ciclo integral (SA, 2008).

De acordo com Anderson Claro (SA, 2008), responsável pela criação do software, além de criar uma simulação espacial com todos os elementos considerados em um projeto de iluminação, o software gera planilhas com dados numéricos, apresentando os níveis de iluminação e de potencia instalada.

LUMEM MICRO é um software para análise da iluminação que permite a visualização dos ambientes e a análise do seu desempenho. Foi desenvolvido pelo Lighting Technologies Inc. no Colorado. No software o modelo é definido no próprio software, com a restrição de modelar apenas ambientes ortogonais, não sendo possível utilizar elementos inclinados ou curvos (CHRISTAKOU, 2004).

A simulação no software é feita a partir do cálculo da radiosidade e do ray tracing, tendo como resultados a visualização de imagens texturizadas, coloridas ou em escala de cinza, diagramas isolux e relatórios numéricos com os valores dos níveis de iluminação.

TROPLUX é um software desenvolvido pela Universidade Federal de Alagoas para avaliação da iluminação natural em ambiente construído que permite analisar a contribuição do sol e do céu separadamente. Permite a análise de ambiente com geometria complexa, materiais com transmissão e reflexão difusa, especular e mista (CHRISTAKOU, 2004).

RAYFRONT é uma ferramenta independente de plataforma e de sistema operacional que necessita de uma interface gráfica ao software Radiance (software de simulação da luz natural). Por ter como base o motor de cálculo do Radiance SIS, o Rayfront utiliza o método de *raytracing* híbrido. O software pode ser operado como módulo externo aos softwares Autocad e Intellicad, assim como em conjunto com o software de modelagem 3DSolar.

A geometria deve ser criada externamente em softwares CAD, através de extensão DXF ou através do software 3DSolar, que permite a importação direta ao Rayfront. Possui um módulo que pode ser agregado ao software, denominado *Raydirect*, que possibilita o cálculo de sistemas inovadores de redirecionamento da luz natural, como o *laser cut panel* e os painéis prismáticos.

O sistema do software permite gerenciar vários projetos e suas variantes de simulação simultaneamente.

O software foi desenvolvido pelo arquiteto alemão Georg Mischler, entre os anos de 1998 e 2000.

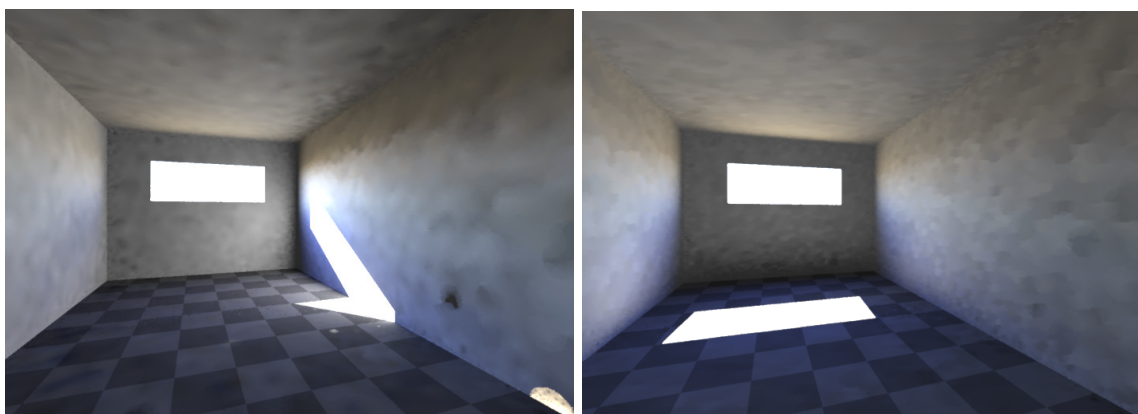
Para seu funcionamento deve-se atender a alguns pré-requisitos: processador Intel Pentium 200MHz, 64Mb RAM, 1GB em disco e placa de vídeo gráfica com 16 bits de cor e resolução de tela mínima de 1024x768.

Através da observação dos principais softwares para a simulação da luz natural (CHRISTAKOU, 2004) no ambiente construído, percebeu-se que com suas características e indicações de uso, este seria o mais adequado. Como argumento principal apresenta-se a sua biblioteca de materiais, bem mais completa e com materiais mais sofisticados, incluindo a maioria dos dispositivos de redirecionamento

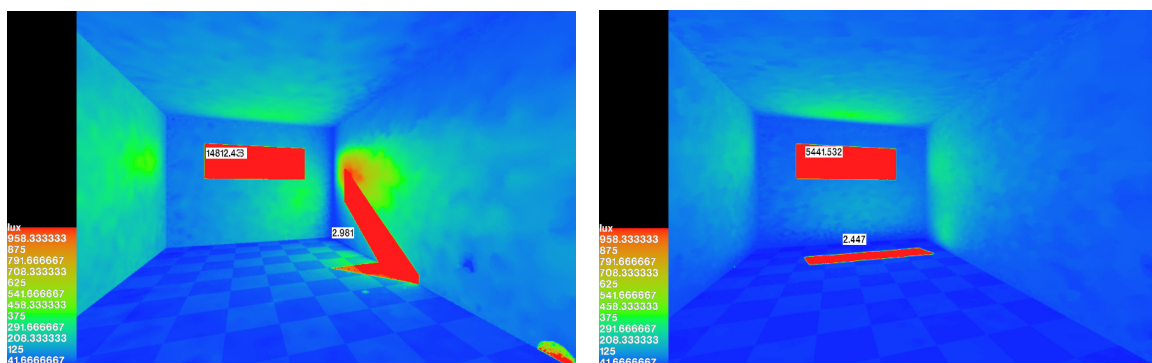
da luz mostrados anteriormente. Este fator possibilitou as simulações com os Painéis Prismáticos e o Vidro Incolor.

Os resultados das simulações são disponibilizados de diversas formas, entre elas, as saídas de imagens sintetizadas, dados fotométricos (através de imagens em *falsecolor* e *isocontours*), análise de pontos na imagem, zonas de trabalho, cálculo de FLD e grade com valores.

Na figura 4.3 e 4.4 é possível verificar-se algumas saídas de imagens.



**Figura 4.3:** Imagem em greyscale.



**Figura 4.4:** Imagem sintetizada em *false color* .

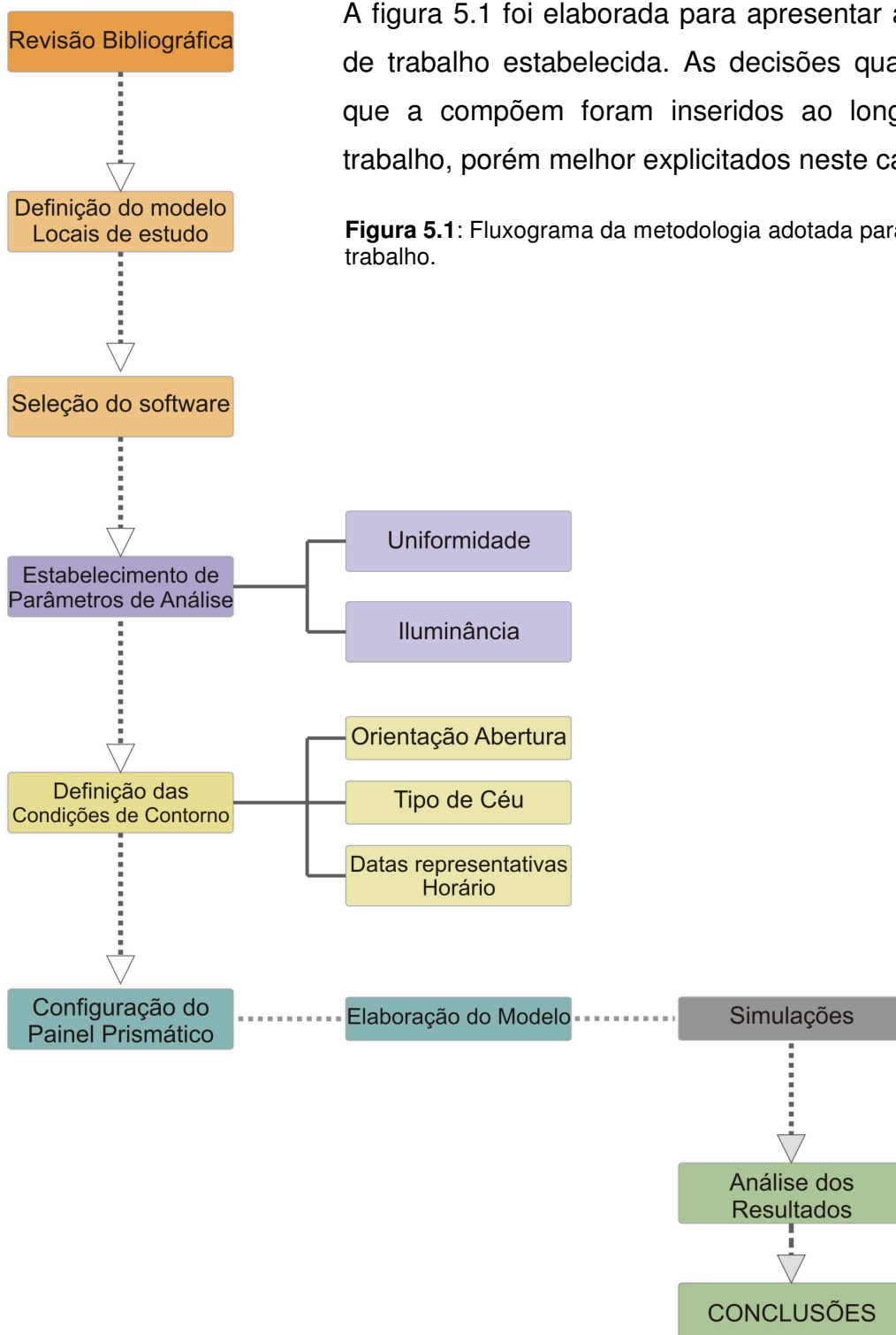
O software Rayfront tem como base o motor de cálculo do Radiance SIS, já validado, não deixando portanto dúvidas quanto a precisão de seus resultados (CHRISTAKOU, 2004).

## **CAPÍTULO 5**

### **METODOLOGIA**

Este capítulo trata dos procedimentos metodológicos referenciais para a consecução da avaliação do desempenho luminoso em um espaço pré-determinado com o uso de sistema inovador de redirecionamento da luz.

Este capítulo descreve a forma de trabalho adotada, portanto consiste no uso de simulações computacionais a fim de gerar os dados necessários para investigar o uso dos painéis prismáticos em aberturas laterais com base em um modelo virtual pré-estabelecido.



A figura 5.1 foi elaborada para apresentar a metodologia de trabalho estabelecida. As decisões quanto aos itens que a compõem foram inseridos ao longo de todo o trabalho, porém melhor explicitados neste capítulo.

**Figura 5.1:** Fluxograma da metodologia adotada para a realização do trabalho.

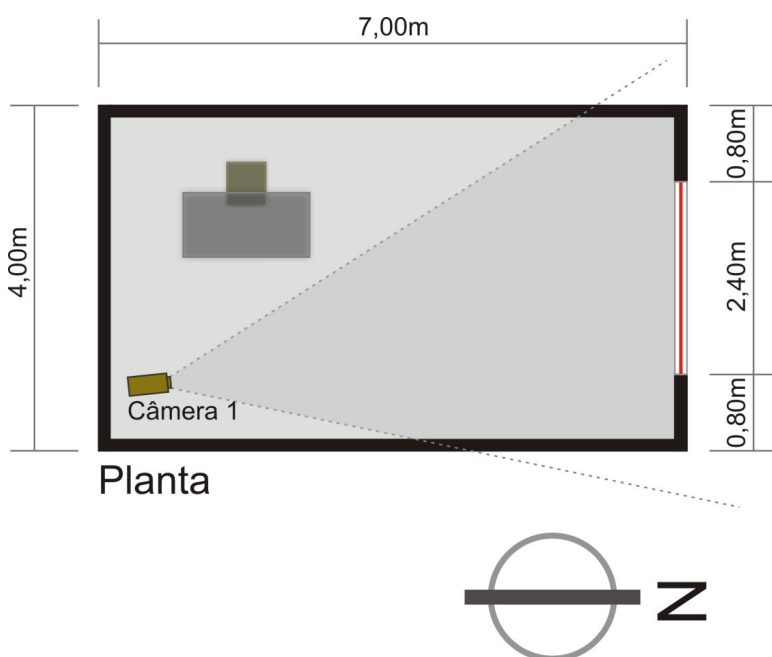
## 5.1 O PAINEL PRISMÁTICO E O MODELO GEOMÉTRICO

O modelo geométrico foi criado representando uma tipologia de escritório, pelo seu formato e a localização de sua abertura. A configuração retangular foi de escolha proposital mediante as configurações existentes no mercado imobiliário para a atividade a que se destina.

O modelo empregado possui formato retangular com as dimensões de 4 x 7 metros, pé-direito de 2,70 resultando em uma área de 28m<sup>2</sup>, como mostra a figura 5.2.

A luz natural penetra no ambiente através da abertura que está localizada no seu comprimento, esta abertura possui formato retangular com as seguintes dimensões, 2,40 x 0,80 metros, com peitoril de 1,60.

A câmera para visualização interna do ambiente está localizada no canto inferior esquerdo, como mostra a figura 5.2. Esta câmera é utilizada pelo software como forma de representar o olho do observador, que neste estudo foi posicionada a altura de 1,50 m do piso.



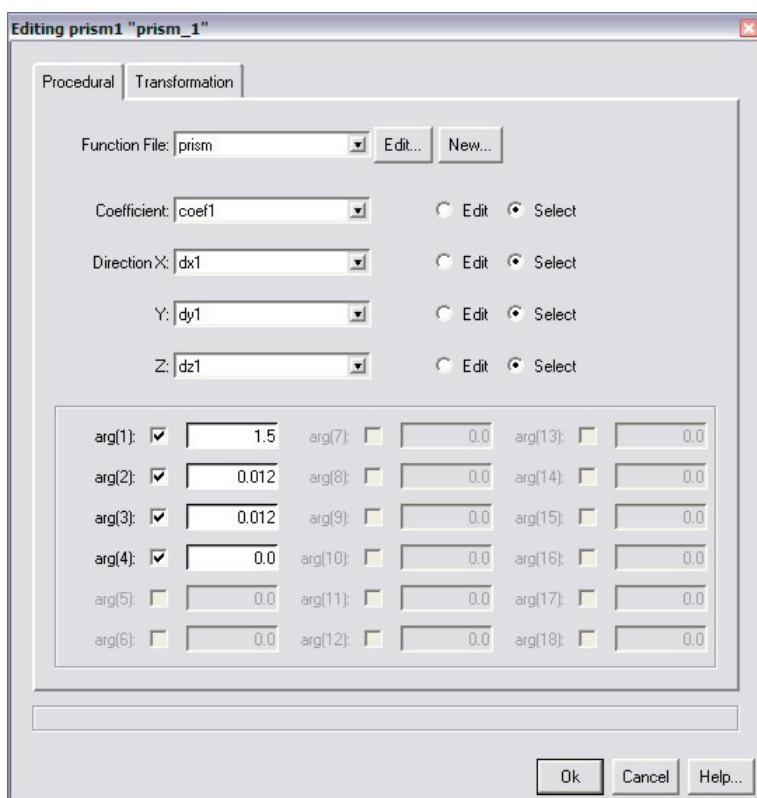
**Figura 5.2:** Desenho da planta do ambiente de escritório virtual adotado.

Foram feitas simulações com dois tipos de fechamento, os dois estão inseridos no mesmo local (abertura). Suas características podem ser observadas nas descrições a seguir:

▪ Fechamento 1

O elemento painel prismático foi aplicado no vão lateral (fig. 5.5), com posicionamento vertical. A abertura foi colocada a esta altura para que não interferisse na visualização do exterior, demonstrando a forma mais interessante de utilização do painel prismático como auxiliador na captação de iluminação natural, não causando interferências na relação visual exterior/interior.

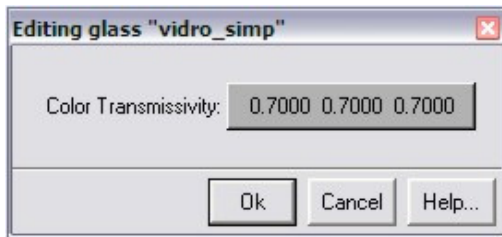
A figura 5.3 mostra as características e propriedades do painel prismático utilizado, designado como “prism 1” na biblioteca de materiais do software Rayfront. O software possui em sua biblioteca dois tipos de prismas, diferindo apenas quanto à angulação de uma de suas faces. O modelo adotado foi o prisma 1 (fig.5.3) pois apresentou resultados prévios melhores quando simulado no software Rayfront, em comparação ao prisma 2.



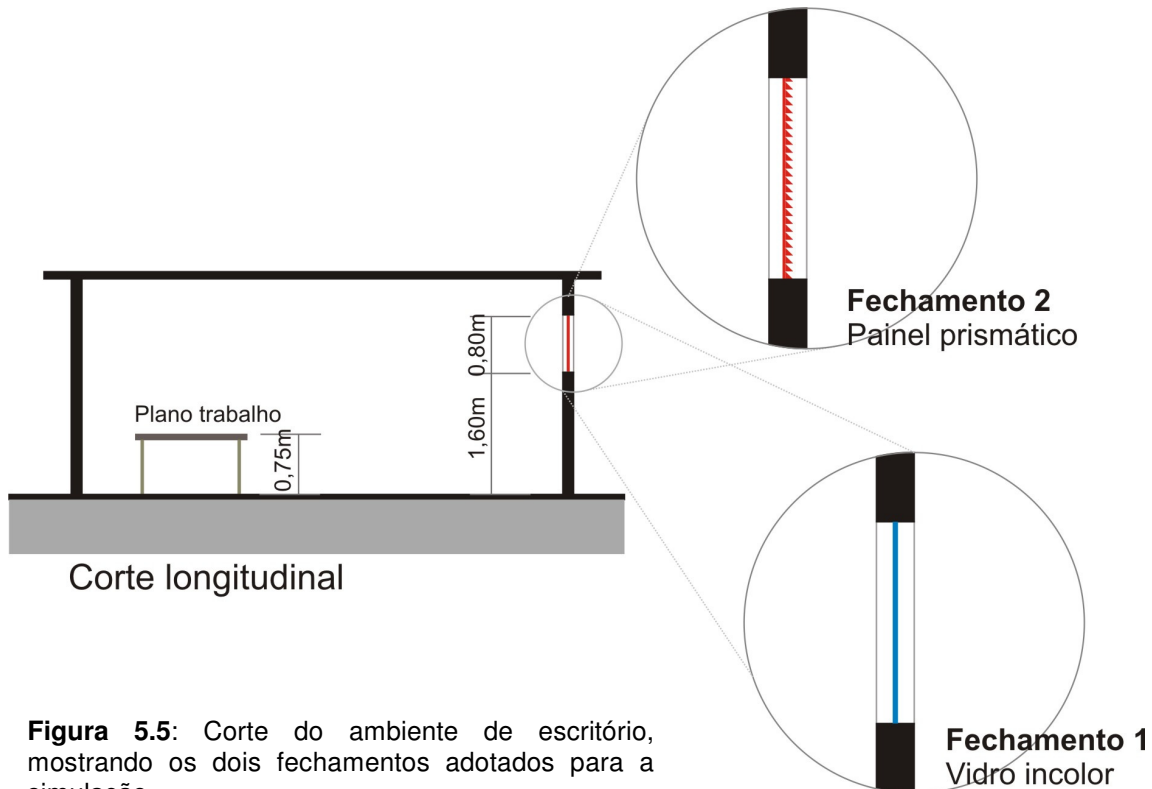
**Figura 5.3:** Interface de ajuste das características do “prism 1” no software Rayfront.

▪ Fechamento 2

O vidro comum foi utilizado como fechamento por ser um elemento muito presente nesta tipologia arquitetônica. Com estes dois fechamentos foi possível realizar uma análise comparativa de resultados.

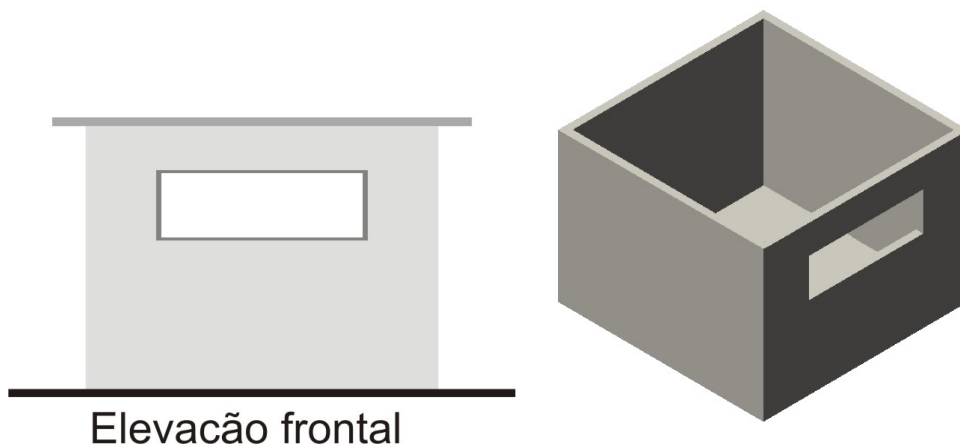


**Figura 5.4:** Interface de ajuste das características do “vidro simp” no software Rayfront.



**Figura 5.5:** Corte do ambiente de escritório, mostrando os dois fechamentos adotados para a simulação.

A modelo possui as outras três faces sem aberturas e com cobertura simples, de forma a simular os ambientes de escritórios. Vianna e Gonçalves (2001) confirmam que os escritórios tendem a ter volumes compactos e de grande escala, fazendo com que o volume interior predomine sobre a área de fachada.



**Figura 5.6 e 5.7:** Elevação e perspectiva ilustrativa do ambiente de escritório virtual.



A presença de obstruções no campo visual do entorno não foi considerada devido ao modelo ser virtual, portanto não possui endereço exato dentro de cada latitude.

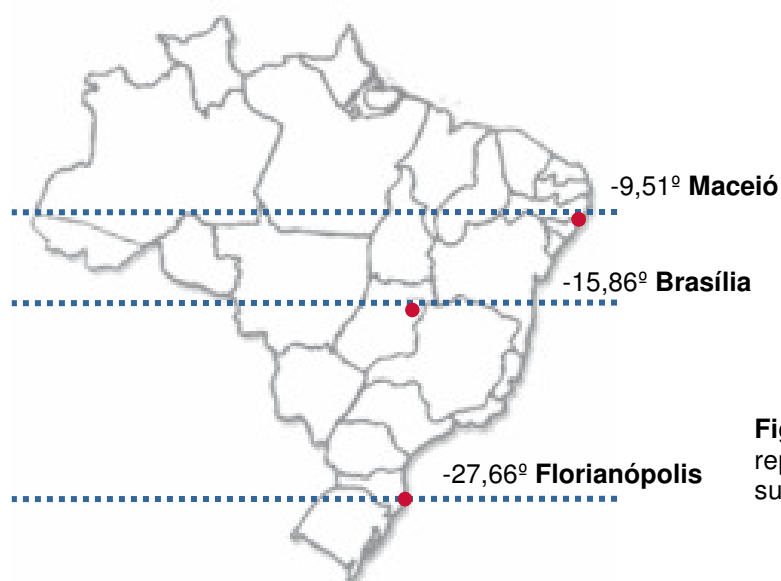
## 5.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

### 5.2.1 LOCALIZAÇÃO

A altura solar influencia diretamente na intensidade de radiação solar obtida em cada localidade, sendo que a altura solar varia de acordo com a latitude. O clima também é influenciado pela latitude. Mediante estes fatores, adotou-se para a pesquisa três cidades, com latitudes diversas para a realização das simulações.

O fato de já existirem estudos focados na iluminação natural nestas cidades também foi preponderante para a escolha das mesmas.

Portanto, as cidades escolhidas para a realização do estudo foram Maceió, Brasília e Florianópolis. A figura 5.8 mostra as três cidades em âmbito nacional.



**Figura 5.8:** Mapa do Brasil com a representação das localidades e suas respectivas latitudes.

### 5.2.2 ORIENTAÇÃO DA ABERTURA

A superfície lateral do modelo que contém a abertura foi posicionada a orientação norte, no software Rayfront esta orientação corresponde a  $0^\circ$ . Foi especificada esta condição, pois nesta orientação a abertura receberá iluminação com altura solar maior, justificando a utilização de um sistema que se propõe a direcionar a luz para o interior. Esta situação pôde ser observada na figura 5.2.

### 5.2.3 TIPOS DE CÉU

As condições de céu foram identificadas através do índice de nebulosidade médio mensal obtido através dos dados das Normais Climatológicas (1960-1990) para cada cidade. Estes dados estão demonstrados na tabela 5.1 e os índices mensais de nebulosidade são classificados de acordo com uma escala de 0 a 10, onde de 0 a 3 – considerado céu claro, de 4 a 7 – considerado céu parcialmente encoberto e de 8 a 10 – considerado céu encoberto.

**Tabela 5.1:** Índices de nebulosidade e respectivas condições de céu para as cidades do estudo.

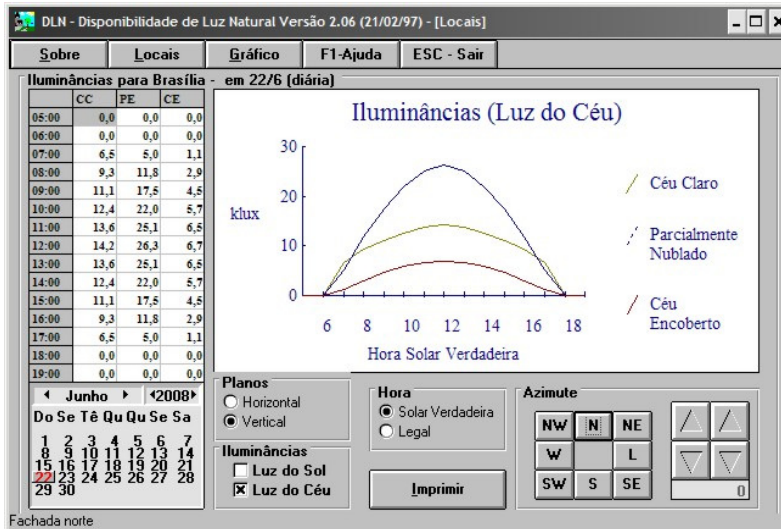
CIDADE	DATA	ÍNDICE NEBULOSIDADE	CONDIÇÃO DE CÉU
BRASÍLIA	22 de junho	3.0	Claro
	23 de setembro	4.0	Parcialmente Encoberto
	22 de dezembro	8.0	Encoberto
FLORIANÓPOLIS	22 de junho	5,2	Parcialmente Encoberto
	23 de setembro	6,7	Parcialmente Encoberto
	22 de dezembro	6,8	Parcialmente Encoberto
MACEIÓ	22 de junho	6,8	Parcialmente Encoberto
	23 de setembro	6,2	Parcialmente Encoberto
	22 de dezembro	5,6	Parcialmente Encoberto

Os dados inseridos no software correspondem às condições de céu listadas acima, porém os valores de radiação global foram os estabelecidos pelo software, que são os definidos pela CIE (Comission Internationale de IÉclairage).

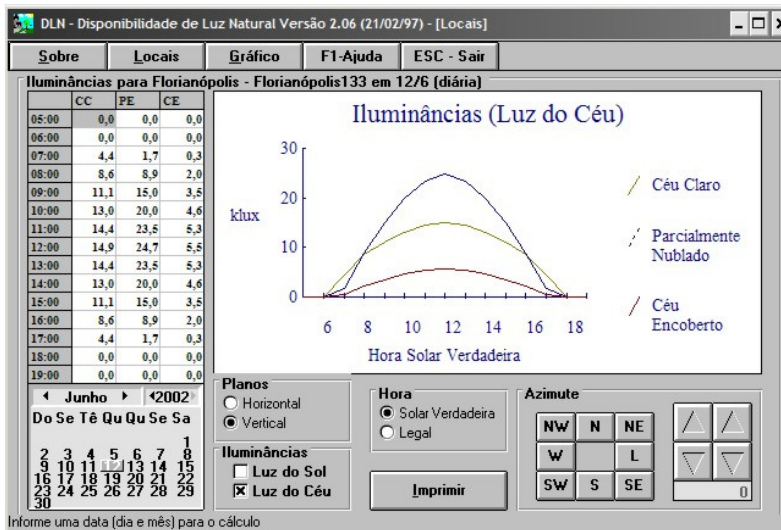
Os tipos de céu segundo os padrões da CIE, que portanto estão presentes no software são: Céu Claro, Céu Parcialmente Encoberto (anisotrópico) e Céu Encoberto (isotrópico).

Como parâmetro da iluminância global em um plano horizontal, portanto, foram obtidos os valores do software DLN (Disponibilidade de Luz Natural). Logo a seguir foram colocadas as janelas deste software para ilustrar os dados utilizados. O software foi desenvolvido pelo arquiteto Paulo Sergio Scarazzato e Rogério Reis da Silva.

Nas janelas a seguir é possível verificar, como exemplo, os valores de iluminância no plano horizontal para as cidades de Brasília e Florianópolis, respectivamente.



**Figura 5.9 :** Janela do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural) com os dados de iluminâncias para (a) Brasília, (b) Florianópolis em 22 de junho.



A partir dos dados obtidos no DLN para todas as datas, horários e cidades correspondentes ao estudo, foi possível calcular a diferença entre os valores de iluminância encontrados no software Rayfront e os valores obtidos no DLN. As diferenças encontram-se na tabela elaborada a seguir. Pode se verificar que para algumas situações os valores se diferem bastante, razão pela qual a realidade encontrada nas localidades estudadas não é compatível com as do software, elaborado com os modelos de céu CIE.

**Tabela 5.2 :** Valores de iluminância obtidos com os softwares DLN (versão 2.06 -1997) e Rayfront (versão 1.04) respectivamente.

CIDADE	DATA	HORA	ILUMINÂNCIA (lux)		
			DLN	RAYFRONT	DIFERENÇA (%)
BRASÍLIA	<b>22 de junho</b> Céu Claro	09:00	56200	40500	-28%
		12:00	89400	62725	-30%
		15:00	33300	46533	40%
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	58400	54271	-7%
		12:00	98000	75965	-22%
		15:00	34100	56551	65%
	<b>22 de dezembro</b> Céu Encoberto	09:00	62000	57281	-8%
		12:00	84000	77821	-7%
		15:00	62000	60905	-2%
FLORIANÓPOLIS	<b>22 de junho</b> Parcialmente Encoberto	09:00	34000	30380	-11%
		12:00	55000	51994	-5%
		15:00	34000	37056	9%
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	54000	49870	-8%
		12:00	76000	70529	-7%
		15:00	54000	53004	-2%
	<b>22 de dezembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	64000	59034	-8%
		12:00	85000	78240	-8%
		15:00	64000	63207	-1%
MACEIÓ	<b>22 de junho</b> Parcialmente Encoberto	09:00	50000	54459	9%
		12:00	72000	66608	-7%
		15:00	50000	39777	-20%
	<b>23 de setembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	59000	65347	11%
		12:00	84000	76421	-9%
		15:00	59000	45863	-22%
	<b>22 de dezembro</b> Parcialmente Encoberto	09:00	59000	64609	10%
		12:00	82000	75547	-8%
		15:00	59000	48325	-18%

#### 5.2.4 DATAS

As simulações foram realizadas em dois solstícios e um equinócio:

**22 de junho** (solstício de inverno), **23 de setembro** (equinócio da primavera) e **22 de dezembro** (solstício de verão).

As iluminâncias do céu foram obtidas no software DLN – Cálculo de Disponibilidade de Luz Natural versão 2.06 (1997). Este software utiliza a metodologia designada pelo IESNA para o cálculo da iluminância e luminância produzida pela abóbada celeste no plano horizontal e vertical em condições de céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto para diferentes latitudes no Brasil. O software permite que se calcule a luminância diária e de horas do dia típico luminoso, dado utilizado

na simulação por ser representativo de uma condição média de uma determinada estação do ano.

### **5.2.5 HORÁRIOS**

Foram adotados três horários para as simulações: às **9h** para o período da manhã, às **12h** para a altura máxima solar e às **15h** representando o período da tarde.

## **5.3 PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL**

Foram estabelecidos parâmetros para a análise da iluminação natural no modelo adotado, com seus diferentes fechamentos.

A **Iluminância** estabelecida como adequada para o ambiente está entre 300lux e 500lux, limitando-se o seu aproveitamento ao valor máximo de 2.000lux.

O índice de **uniformidade** (Emín./Eméd) foi utilizado apenas com o objetivo de análise comparativa entre os fechamentos, os valores estabelecidos como ideais pelo CIE (0,8) fizeram parte apenas de uma análise secundária.

Foi considerado **ofuscamento** nas situações em que os valores ficaram acima de 2.500cd/m<sup>2</sup> (Baker et al, 1998).

O software selecionado permite o uso de um plano de análise, sendo portanto hipotético e localizado a 75cm do piso, conforme recomendação da NBR 5413.

## **5.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

O método de estimação de iluminação interna através das simulações computacionais se mostra mais vantajoso para o trabalho, visto que permite a construção rápida de modelos com pouca demanda de recursos, viabiliza medições em vários pontos simultaneamente, possui precisão nos resultados, rapidez na determinação dos valores numéricos e facilidade de alterações nas datas requeridas para as análises.

Posteriormente à escolha por desenvolver o trabalho baseado em métodos computacionais, selecionou-se o software que melhor atendesse as características e

necessidades da simulação. Desta maneira, devido à proposta de estudo utilizar sistemas inovadores para redirecionamento da luz natural, se propôs o direcionamento das simulações para o software Rayfront. Esta escolha se deu por ser o único dos softwares em análise que continha em seu banco de dados os cálculos para sistema de painéis prismáticos prontos para o uso, possibilitando resultados mais eficientes.

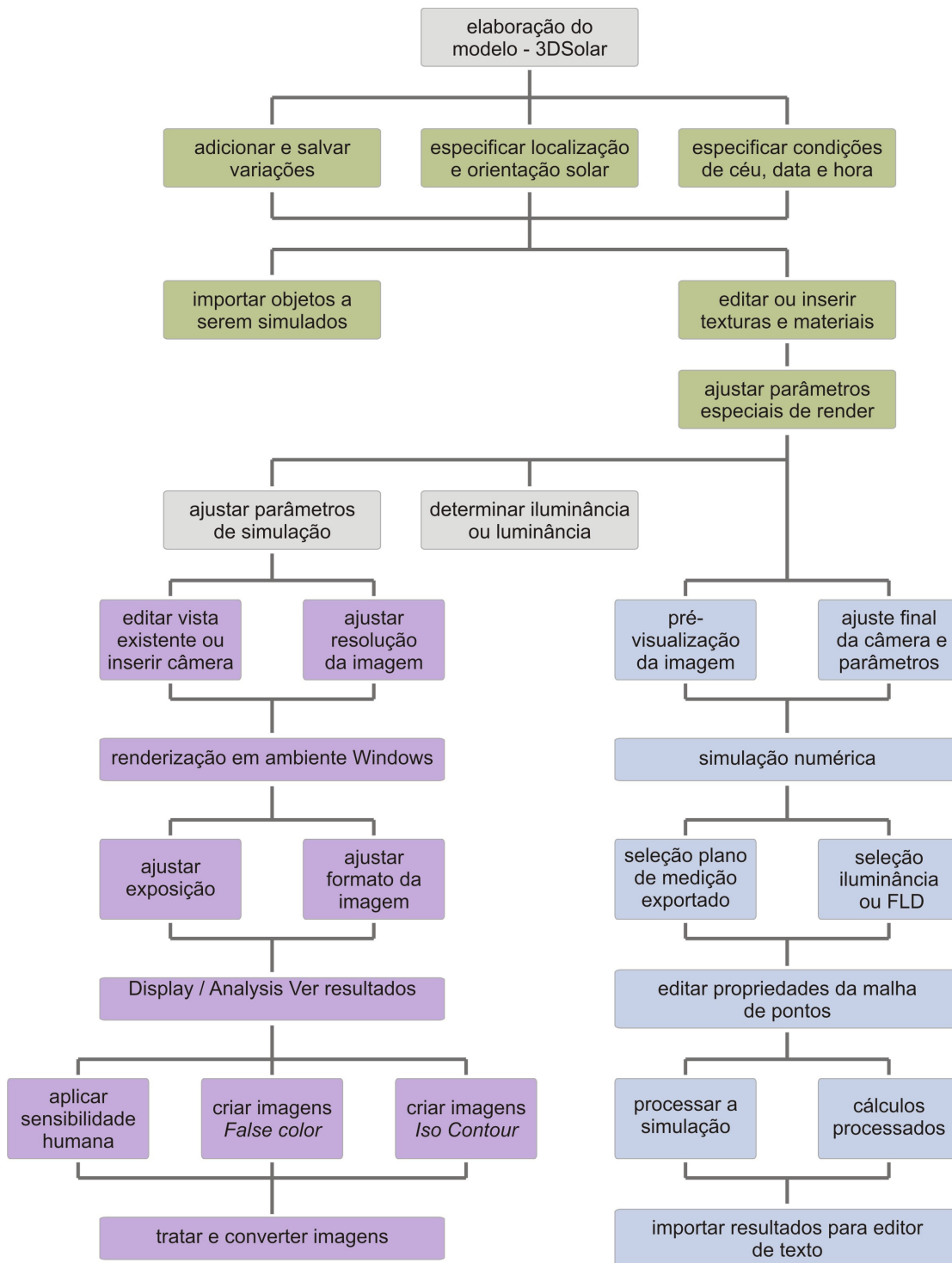
Conforme colocado nas condições de contorno, faz parte da simulação, um ambiente de análise com parâmetros fixos e parâmetros variáveis, como mostra a tabela 5.3.

**Tabela 5.3** : Parâmetros fixos e variáveis adotados nas simulações.

<b>PARÂMETROS FIXOS</b>	Orientação NORTE
	Refletâncias internas do ambiente
	Geometria do ambiente
	Hemisfério Sul
<b>PARÂMETROS VARIÁVEIS</b>	Data
	Hora
	Latitude e Longitude
	Fechamento da abertura

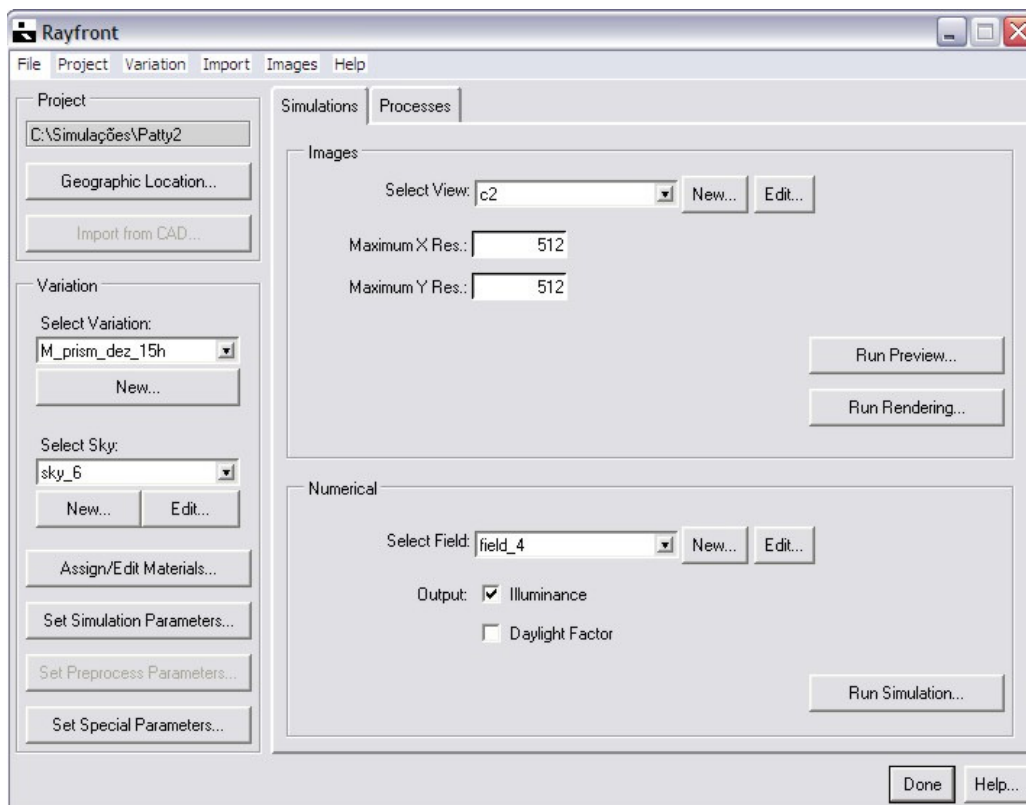
Através da combinação destes parâmetros, foram realizadas 18 simulações para cada latitude, totalizando 54 simulações ao final do trabalho.

A figura 5.10 mostra de maneira sucinta, através de um fluxograma, os procedimentos necessários à execução das simulações computacionais realizadas.



**Figura 5.10:** Fluxograma da metodologia adotada para a realização das simulações computacionais.

Por ter sido o software adotado, apresenta-se a seguir a seqüência de trabalho a ser executada para a obtenção dos resultados para conseqüente análise.



**Figura 5.11:** Janela base de interface do software Rayfront.

Para o início da execução das simulações é necessário criar um novo projeto e estabelecer um padrão de nomenclatura para as variações a serem realizadas.

A partir deste momento são feitas as escolhas das características da simulação. A primeira delas é a definição dos parâmetros geográficos, tais como localização e orientação do modelo, que podem ser vistos de maneira ilustrativa no quadro a seguir.



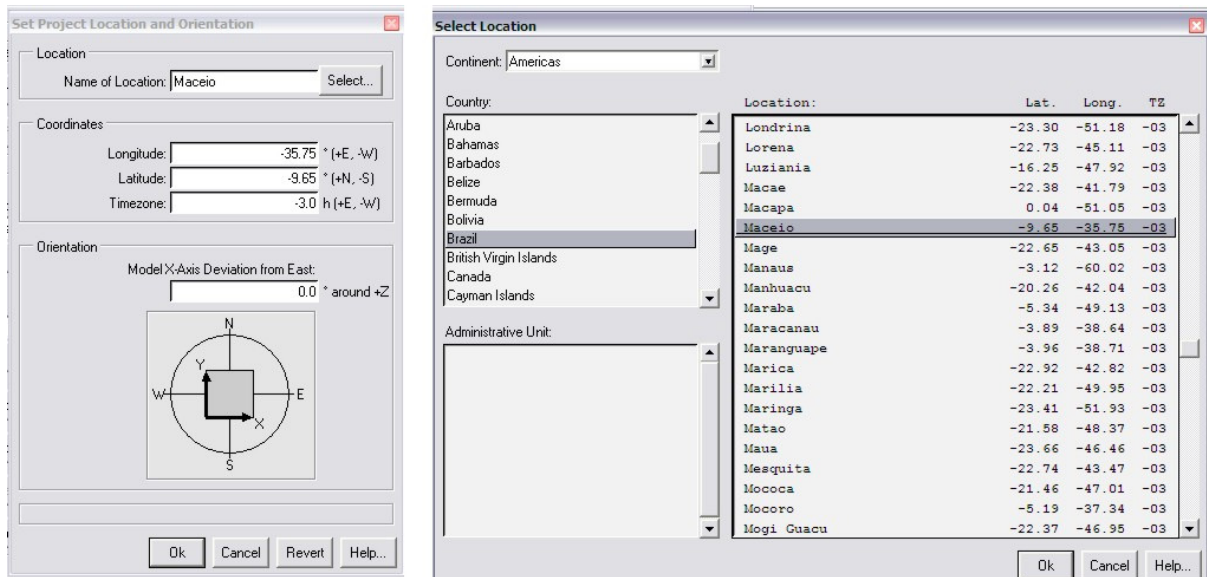


Figura 5.12: Interface de ajuste dos parâmetros geográficos.

Após a eleição destes parâmetros é possível iniciar a criação de variações, para isto faz-se necessário selecionar o tipo de céu, a data e a hora para cada uma delas (Fig 5.13).

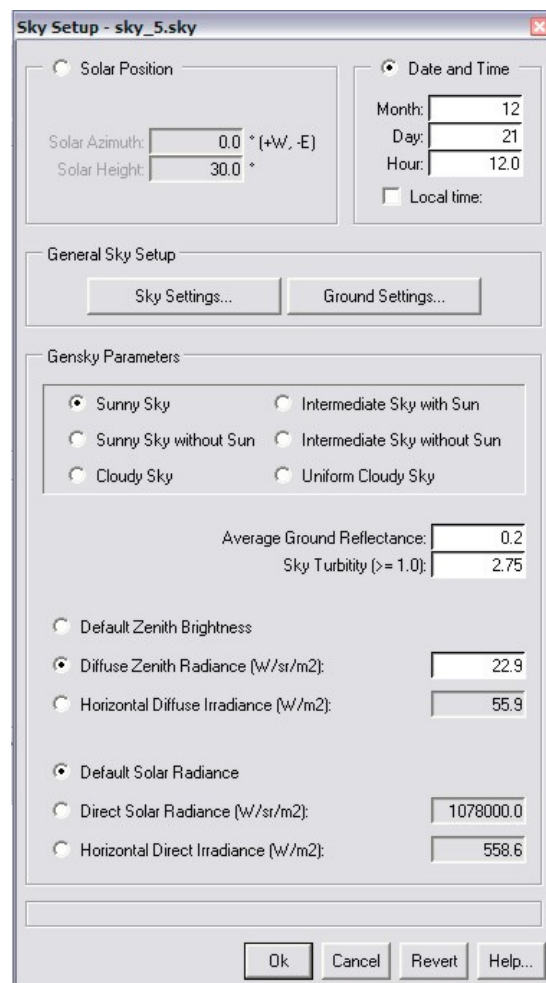
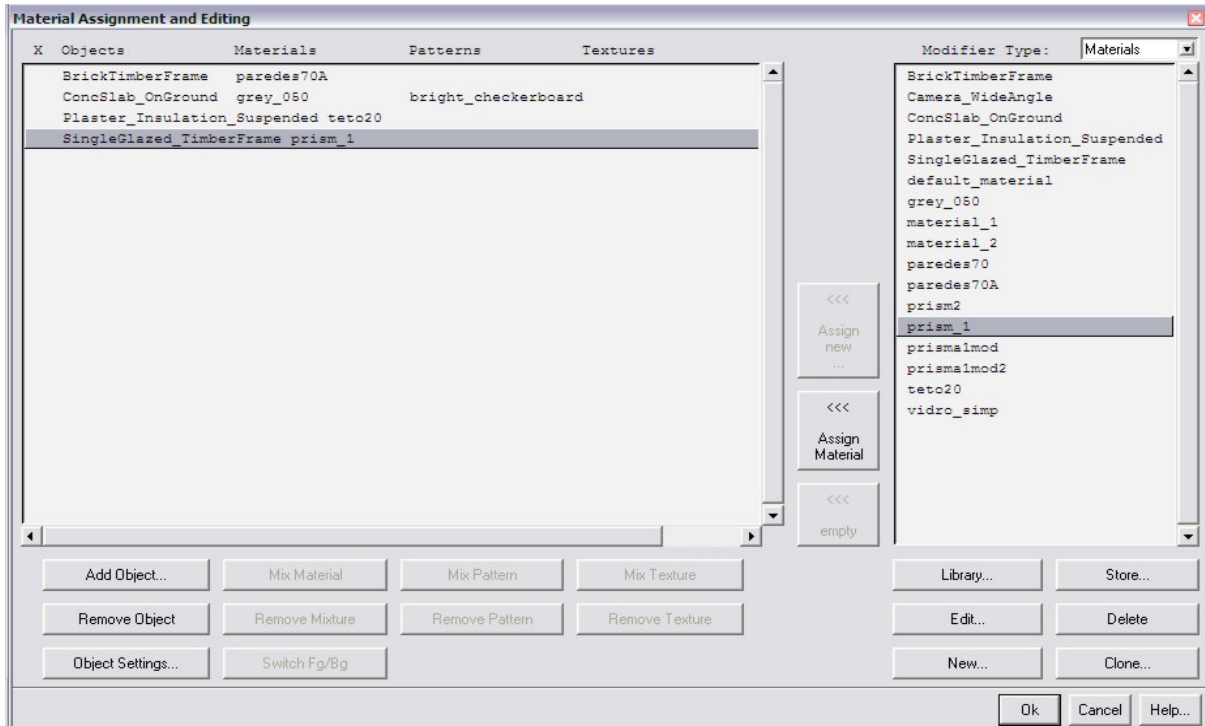


Figura 5.13: Seleção do tipo de céu, data e hora.

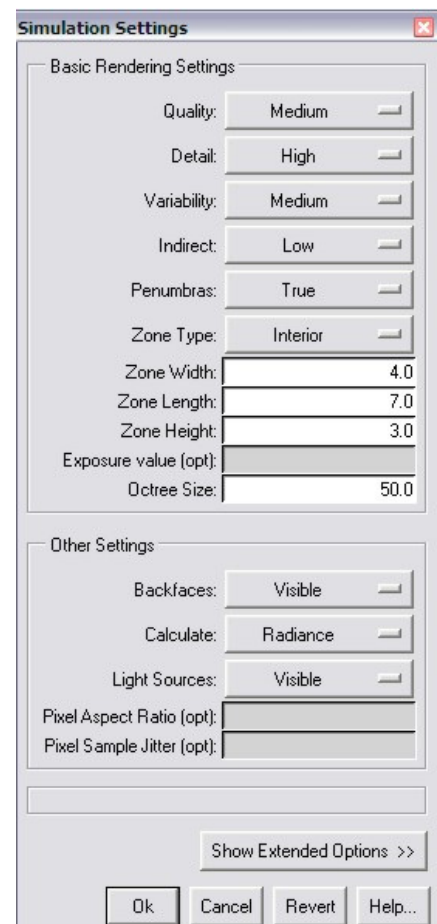
O próximo passo é a atribuição das características dos materiais adotados, que podem ser selecionados a partir da biblioteca de materiais do software. Estes devem ser vinculados, um a um, cada material a sua modelagem.



**Figura 5.14:** Escolha dos materiais e suas características.

Na seqüência devem ser ajustados os parâmetros de simulação e também os critérios para avaliação da iluminação natural de acordo com a proposta de pesquisa, tais como iluminância ou luminância.

**Figura 5.15:** Seleção dos parâmetros de simulação.



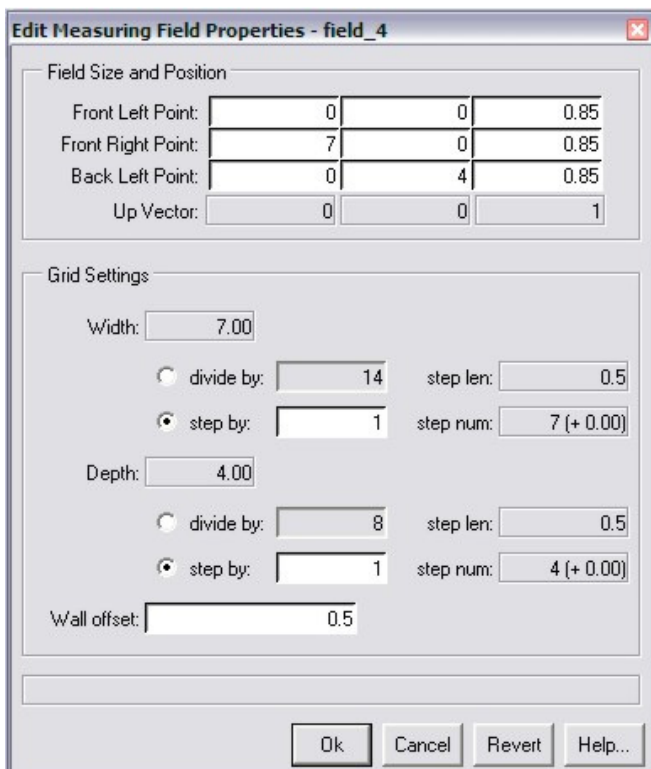


Figura 5.16: Seleção dos dados referentes ao plano de medição.

Para viabilizar a análise faz-se necessário estabelecer o plano de medição, com o número de pontos e localização já definidos previamente e de acordo com a NBR 5413.

As possibilidades de configuração se encontram no quadro a seguir.

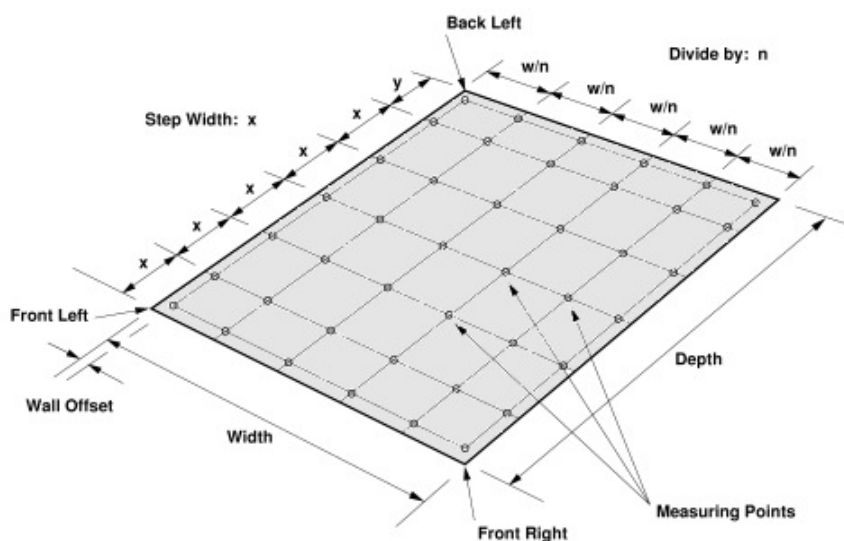
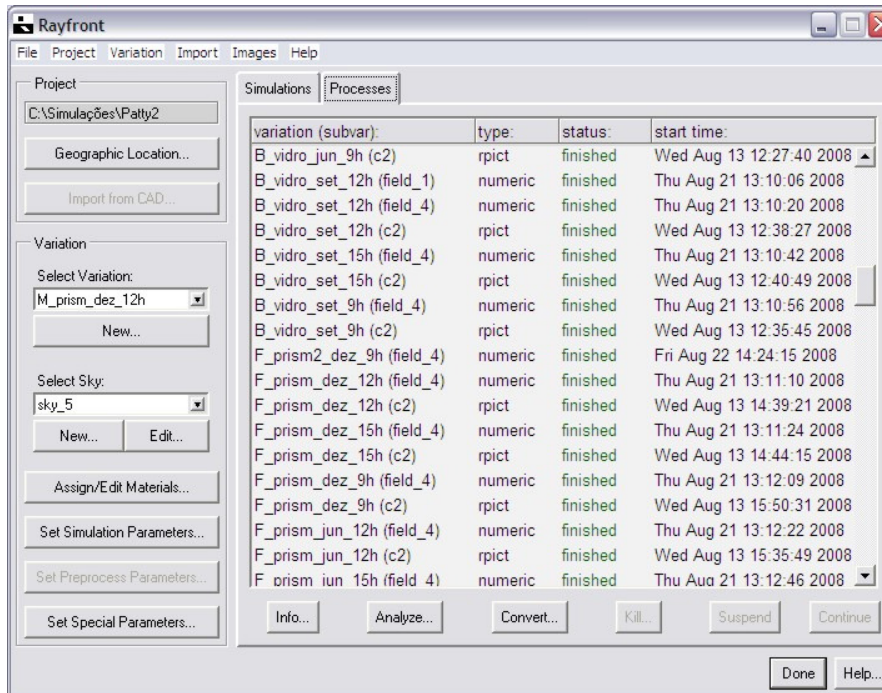


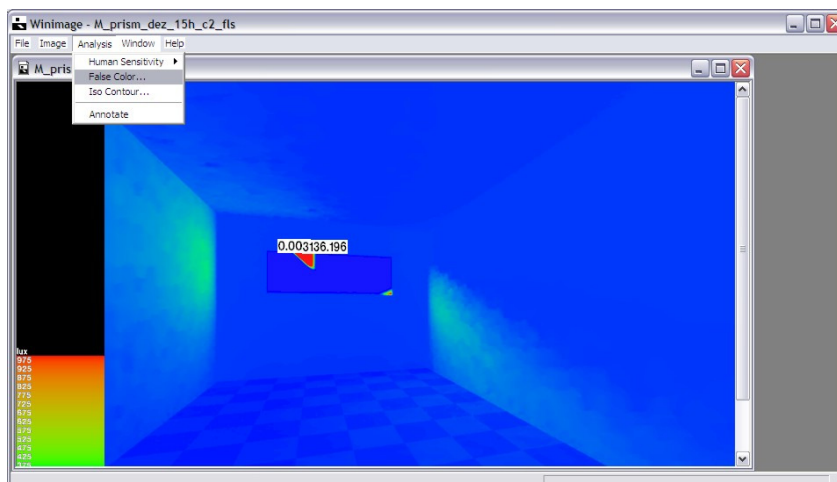
Figura 5.17: Representação dos pontos de medição estabelecidos na figura anterior.

Logo após esta seqüência de procedimentos pode se dar início aos cálculos numéricos. Através da segunda janela, é possível verificar o andamento dos processos de acordo com cada variação criada. Como mostrado no exemplo executado (fig 5.18). Depois de finalizados os cálculos é necessário fazer a leitura dos dados através de um software de editoração de textos.



**Figura 5.18:** Quadro de representação dos cálculos numéricos.

A partir destes procedimentos pode-se realizar a pré-visualização da imagem ou iniciar a sua renderização final com resultados de formas diversas, tais como sensibilidade humana, *false color* ou *iso contour*.

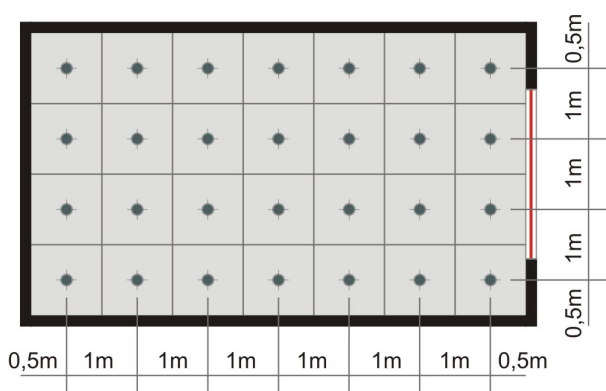


**Figura 5.19:** Quadro de análise de resultado na forma *false color*

## 5.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores de iluminância foram obtidos através de posição cartesiana, sendo que as coordenadas foram estabelecidas previamente, de acordo com a NBR 5413.

Conforme apresentado anteriormente, foi utilizado um plano hipotético, situado a 75 centímetros do piso, com determinação dos pontos afastados 50 centímetros das paredes e estabelecidos em uma malha de 28 pontos, divididos por 4 linhas e 7 colunas. A figura 5.20 ilustra o plano de análise estabelecido.



Planta Escritório\_ **Plano de Medição**  
28 pontos

**Figura 5.20:** Plano de medição representando os pontos adotados.

Através deste plano foram quantificados os resultados da iluminação natural no modelo. Os resultados foram salvos através de arquivos *Illuminance Table* obtidos diretamente do software *Rayfront*, e posteriormente inseridos no programa de planilhas Excel, como mostra a tabela 5.4.

**Tabela 5.4:** Dados fornecidos pelo software Rayfront em planilha do programa Excel.

```

### "Illuminance values"
### "Called with:" "[rtrace', '%s', '-l+', '-ov', '-h-', '-af', 'ambfiles/B_prism_dez_9h.amb',
'octrees/B_prism_dez_9h.oct']"
### "Computed with:" "rtrace <options> -l+ -ov -h- -af ambfiles/B_prism_dez_9h.amb
octrees/B_prism_dez_9h.oct"
### "Options:" ""
### "Start date:" "Thu Aug 21 13:04:23 2008"
### "End date:" "Thu Aug 21 13:04:23 2008"
### "Field:" "field_4"
### "Reference:" "64609.43 lux"
### "DIN points:" "right [6 2 0.85]: 51.79 lux."
### "" "left [1 2 0.85]: 309.07 lux."

```

0,	1.00,	2.00,	3.00,	4.00,	5.00,	6.00,	7.00
1.00,	271.66,	426.37,	382.53,	189.09,	73.94,	73.24,	57.36,

2.00,	224.73,	309.07,	278.09,	129.12,	67.81,	69.06,	51.79,
3.00,	118.81,	141.61,	59.18,	51.12,	51.91,	50.31,	50.13,
4.00,	130.05,	142.60,	84.16,	57.62,	53.85,	50.70,	50.44,

Após a obtenção dos dados e inserção em planilha do software Excel, foram elaboradas tabelas com colunas contendo tipo de fechamento, data, tipo de céu, horário, iluminância externa (Eext), iluminância mínima (Emin), iluminância máxima (Emax), iluminância média (Emed) e índice de uniformidade (Uo) (tab. 5.5). Os valores de iluminância média e índice de uniformidade foram estabelecidos mediante os cálculos mostrados no capítulo de revisão bibliográfica.

**Tabela 5.5:** Exemplo de tabela formatada com os resultados fornecidos pelo software Rayfront.

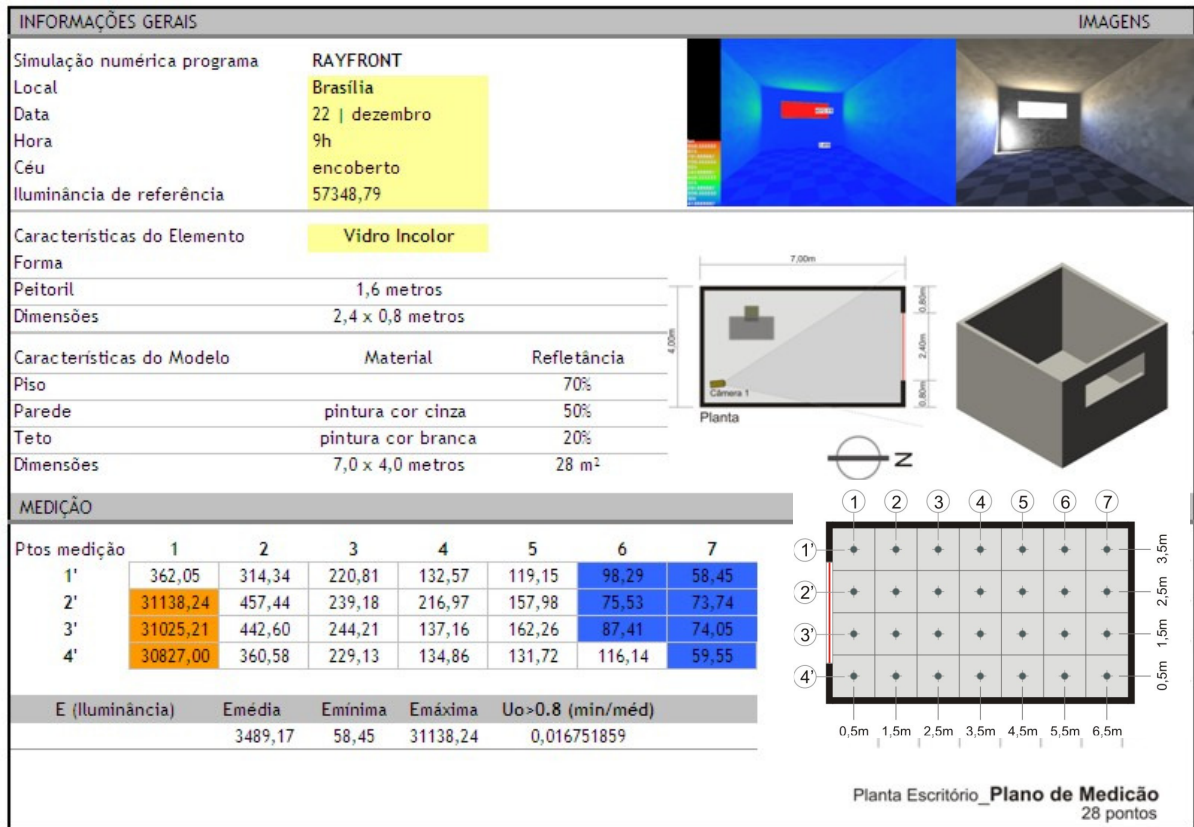
LOCAL <b>BRASÍLIA</b>						
FECHAMENTO	DATA	SOLSTÍCIO DE INVERNO - 22 de junho				
	CÉU CLARO					
	HORÁRIO	Eext.	Emin.	Emáx.	Emed.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	40.643	49,59	20131,03	1756,17	0,03
	12:00	62.845	58,55	268,41	106,37	0,55
	15:00	46.577	50,20	215,96	115,80	0,43
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	40.501	53,21	2796,73	728,79	0,07
	12:00	62.725	49,61	813,51	242,56	0,20
	15:00	46.533	49,24	651,09	217,66	0,23
SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro						
FECHAMENTO	DATA	SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro				
	CÉU ENCOBERTO					
	HORÁRIO	Eext.	Emin.	Emáx.	Emed.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	57.349	58,45	31138,24	3489,17	0,02
	12:00	77.833	51,25	108,01	66,00	0,78
	15:00	60.961	60,45	155,94	92,99	0,65
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	57.282	48,87	570,24	216,15	0,23
	12:00	77.822	48,55	220,83	101,23	0,48
	15:00	60.906	49,52	447,13	158,89	0,31
EQUINÓCIO - 22 de setembro						
FECHAMENTO	DATA	EQUINÓCIO - 22 de setembro				
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO					
	HORÁRIO	Eext.	Emin.	Emáx.	Emed.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	54.329	50,63	29394,77	2296,27	0,02
	12:00	76.015	49,82	134,41	73,61	0,68
	15:00	56.552	50,62	171,50	99,12	0,51
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	54.272	49,67	1020,11	333,08	0,15
	12:00	75.966	48,69	280,92	123,01	0,40
	15:00	56.255	50,44	459,47	166,12	0,30

ILUMINÂNCIAS ACIMA DE 2000lux  
ILUMINÂNCIAS ABAIXO DE 100LUX

As tabelas possuem diferenciação de cores de acordo com os limites previstos para os critérios utilizados, estabelecendo as cores azul para iluminâncias abaixo de 100lux e laranja para os valores acima de 2000lux (tab. 5.5).

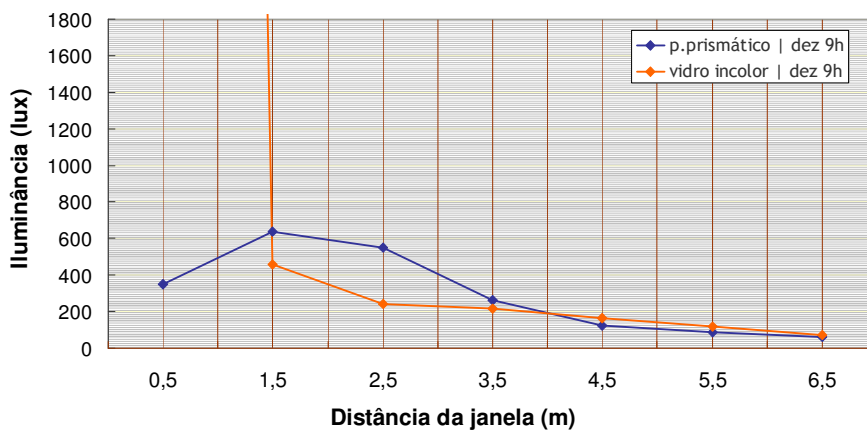
Para melhor elucidar os resultados foram elaboradas tabelas-resumo (tab. 5.6) com todos os parâmetros estabelecidos, as imagens geradas e os tabelas com a posição cartesiana de cada ponto, juntamente com seus valores de iluminância. Para cada simulação foi elaborada uma tabela-resumo, totalizando 54 tabelas.

**Tabela 5.6:** Exemplo de tabela-resumo para cada simulação realizada.



Através destas tabelas foi possível elaborar gráficos no software Excel para análise quantitativa dos níveis de iluminância. Os gráficos foram trabalhados como uma função matemática, onde o eixo X representa a profundidade da sala e no eixo Y são relacionados os valores de iluminância, como mostra a figura 5.21. Foram colocadas duas linhas representando os resultados do vidro e do painel prismático.

**Comparativo entre Iluminâncias | Brasília**



**Figura 5.21:** Exemplo de gráfico comparativo entre o vidro e o painel prismático.

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



## **6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

Este capítulo descreve e analisa os resultados obtidos nas simulações realizadas de acordo com as condições e parâmetros estabelecidos anteriormente.

Para cada situação em que ocorreu alguma modificação nas variações local, data, horário e elemento de fechamento foram geradas tabelas com os seus respectivos resultados. Algumas destas tabelas podem ser observadas, como no exemplo a seguir.

O comparativo entre o desempenho dos elementos vidro incolor e painel prismático pôde ser analisado através das iluminâncias e índices de uniformidade obtidos.

As análises estão descritas de acordo com a comparação de uso do elemento de fechamento vidro incolor e o elemento painel prismático para cada cidade estabelecida, nos períodos do ano: solstício de inverno (22/6), equinócio de primavera (23/9) e solstício de verão (22/12) de acordo com os horários estabelecidos.

Depois de elaboradas todas as tabelas individualizadas, formatou-se para melhor compreensão dos resultados, uma tabela resumo com todas as variações separadas por cidade, sejam elas Brasília, Florianópolis e Maceió.

As tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 explanam resumidamente os resultados obtidos.

Tabela 6.1: Resultados das simulações no programa Rayfront para a cidade de Brasília.

LOCAL BRASÍLIA						
FECHAMENTO	DATA	SOLSTÍCIO DE INVERNO - 22 de junho				
	CÉU CLARO					
	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	40.643	49,59	20131,03	1756,17	0,03
	12:00	62.845	58,55	268,41	106,37	0,55
	15:00	46.577	50,20	215,96	115,80	0,43
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	40.501	53,21	2796,73	728,79	0,07
	12:00	62.725	49,61	813,51	242,56	0,20
	15:00	46.533	49,24	651,09	217,66	0,23
FECHAMENTO	DATA	SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro				
	CÉU ENCOBERTO					
	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	57.349	58,45	31138,24	3489,17	0,02
	12:00	77.833	51,25	108,01	66,00	0,78
	15:00	60.961	60,45	155,94	92,99	0,65
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	57.282	48,87	570,24	216,15	0,23
	12:00	77.822	48,55	220,83	101,23	0,48
	15:00	60.906	49,52	447,13	158,89	0,31
FECHAMENTO	DATA	EQUINÓCIO - 22 de setembro				
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO					
	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	54.329	50,63	29394,77	2296,27	0,02
	12:00	76.015	49,82	134,41	73,61	0,68
	15:00	56.552	50,62	171,50	99,12	0,51
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	54.272	49,67	1020,11	333,08	0,15
	12:00	75.966	48,69	280,92	123,01	0,40
	15:00	56.255	50,44	459,47	166,12	0,30

ILUMINÂNCIAS ACIMA DE 2000lux  
 ILUMINÂNCIAS ABAIXO DE 100LUX

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS**

LOCAL **FLORIANÓPOLIS**

	DATA	SOLSTÍCIO DE INVERNO - 22 de junho				
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO					
FECHAMENTO	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	30.530	74,60	15212,95	1533,35	0,05
	12:00	52.062	62,42	340,27	126,63	0,49
	15:00	37.268	63,07	242,22	126,56	0,50
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	30.381	50,91	35071,53	4309,02	0,01
	12:00	51.995	51,96	1311,20	365,39	0,14
	15:00	37.056	48,56	794,47	248,77	0,20
	DATA	SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro				
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO					
FECHAMENTO	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	59.062	70,01	32390,91	3613,85	0,02
	12:00	78.250	50,22	100,79	64,62	0,78
	15:00	63.269	50,11	148,56	86,45	0,58
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	59.034	49,66	676,92	231,55	0,21
	12:00	78.240	49,26	216,19	100,43	0,49
	15:00	63.207	50,03	394,13	154,34	0,32
	DATA	EQUINÓCIO - 22 de setembro				
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO					
FECHAMENTO	HORÁRIO	Eext.	Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
VIDRO INCOLOR	09:00	49.884	96,60	26202,81	2071,49	0,05
	12:00	70.661	56,61	186,45	87,45	0,65
	15:00	53.117	57,31	153,99	100,66	0,57
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	49.870	52,11	1604,16	404,00	0,13
	12:00	70.529	49,96	479,62	170,60	0,29
	15:00	53.005	50,50	521,44	188,78	0,27

ILUMINÂNCIAS ACIMA DE 2000lux  
 ILUMINÂNCIAS ABAIXO DE 100LUX

Tabela 6.3: Resultados das simulações no programa Rayfront para a cidade de Maceió.

LOCAL MACEIÓ						
FECHAMENTO	DATA		SOLSTÍCIO DE INVERNO - 22 de junho			
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO		Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
	HORÁRIO	Eext.				
VIDRO INCOLOR	09:00	54.575	49,58	27553,77	3076,02	0,02
	12:00	66.770	49,93	180,87	88,71	0,56
	15:00	39.971	65,21	226,20	123,84	0,53
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	54.460	50,28	1555,87	432,29	0,12
	12:00	66.609	49,59	525,50	183,72	0,27
	15:00	39.778	49,26	642,77	222,07	0,22
FECHAMENTO	DATA		SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro			
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO		Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
	HORÁRIO	Eext.				
VIDRO INCOLOR	09:00	64.650	49,59	20131,03	1756,17	0,01
	12:00	75.561	58,55	268,41	106,37	0,72
	15:00	48.337	50,20	215,96	115,80	0,45
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	64.609	53,21	454,84	169,15	0,30
	12:00	75.548	49,61	813,51	242,56	0,46
	15:00	48.326	49,24	651,09	217,66	0,25
FECHAMENTO	DATA		EQUINÓCIO - 22 de setembro			
	CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO		Emín.	Emáx.	Eméd.	Uo
	HORÁRIO	Eext.				
VIDRO INCOLOR	09:00	65.432	59,15	34808,52	2606,84	0,02
	12:00	76.452	53,13	108,28	69,07	0,77
	15:00	45.964	64,23	202,40	116,35	0,55
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	65.348	48,72	649,68	213,65	0,23
	12:00	76.421	50,23	260,46	110,87	0,45
	15:00	45.864	51,28	591,35	212,63	0,24

ILUMINÂNCIAS ACIMA DE 2000lux  
 ILUMINÂNCIAS ABAIXO DE 100LUX

### **6.1.1 CIDADE DE BRASÍLIA**

A seguir são apresentadas análises resultantes de cada horário para cada tipo de fechamento para a cidade de Brasília.

#### **22 de dezembro | Céu encoberto | Iluminância externa 57.349 | 9 horas**

Painel Prismático - diminuiu excessivamente os valores de iluminância nos últimos 2 metros do ambiente. Evitou situações de valores muito altos de iluminância em frente à abertura. Apresentou valores adequados de iluminância do início até a metade do ambiente (coluna de pontos 1 a 4). (tabela 6.5)

Vidro Incolor - apresentou valores excessivamente altos de iluminância em frente à abertura, valores regulares a baixos de iluminância da coluna de pontos 2 à coluna de pontos 5 do ambiente. Apresentou valores baixíssimos de iluminância no final do ambiente (coluna de pontos 6 e 7). (tabela 6.4)

Conclusão: o painel prismático evitou iluminâncias altíssimas no início do ambiente e apresentou iluminâncias mais adequadas do que o vidro até a metade do ambiente (coluna de pontos 4).

#### **22 de dezembro | Céu encoberto | Iluminância externa 77.833 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores baixos de iluminância (entre 100 e 220lux) até o meio do ambiente (coluna de pontos 4) e valores baixíssimos de iluminância (até 90lux) no restante do ambiente. (tabela 8.1)

Vidro Incolor – apresentou valores baixíssimos de iluminância (até 100lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.2)

Conclusão: apesar de os dois fechamentos (vidro e painel prismático) produzirem valores baixos de iluminâncias, com o painel prismático os valores foram um pouco mais elevados. Muito se deve ao valor de iluminância externa se apresentar reduzido neste horário (em torno de 62.000lux).

#### **22 de dezembro | Céu encoberto | Iluminância externa 60.961 | 15 horas**

Painel Prismático – valores de iluminância médio-baixos (entre 120 e 450lux) até o meio do ambiente (coluna do ponto 4) e valores baixíssimos de iluminância (até 90lux) no restante do ambiente. (tabela 8.3)

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente baixos de iluminância (de no máximo 150lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.4)

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores baixos de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados. Muito se deve ao valor de a iluminância externa se apresentar reduzida neste horário (em torno de 46.000lux). Nesta situação o painel prismático apresentou um pouco de sua característica direcionadora de luz até o meio do ambiente se comparado ao vidro incolor.

### **22 de junho | Céu claro | Iluminância externa 40.643 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores um pouco altos de iluminância (até 2.700lux) no início-meio (coluna de pontos 2 e 3), valores adequados de iluminância na coluna de pontos 1 e 4. Apresentou valores baixíssimos no final do ambiente (coluna de pontos 7). (tabela 8.5)

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente altos (acima de 19.000lux) de iluminância em 3 pontos em frente à abertura, apresentando valores médianos no restante do ambiente. (tabela 8.6)

Conclusão: nesta situação o uso do vidro incolor mostrou mais pontos com iluminância nos níveis adequados, porém sua uniformidade (U<sub>o</sub>) resultou inadequada, pelo fato de apresentar 3 pontos de iluminância excessivamente alta. Ou seja, o painel teve melhor desempenho na distribuição da luz.

### **22 de junho | Céu claro | Iluminância externa 62.845 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio (coluna de pontos 4) do ambiente e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.7)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente. (tabela 8.8)

Conclusão: o painel prismático apresentou valores de iluminância mais adequados referentes à metade do ambiente (coluna de pontos 1 ao 4) do que o vidro incolor, se equiparando ao mesmo no restante. A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, mas a iluminância média é inferior ao solicitado pelos critérios.

**22 de junho | Céu claro | Iluminância externa 46.577 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio (coluna de pontos 4) do ambiente e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.9)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 215lux. (tabela 8.10)

Conclusão: o painel prismático apresentou valores de iluminância mais adequados referentes a metade do ambiente (coluna de pontos 1 ao 3) do que o vidro incolor, se equiparando ao mesmo no restante. A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, mas a iluminância média é inferior ao solicitado pelos critérios.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 54.329 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados em mais de 50% do ambiente, com valores baixos no restante (coluna de pontos 5, 6 e 7). (tabela 8.11)

Vidro Incolor – apresentou valores de iluminância excessivamente altos em dois pontos (1'1 e 2'1) do ambiente, apresentando valores de iluminância médio-baixos no seu restante. (tabela 8.12)

Conclusão: nesta situação o painel prismático mostrou-se eficiente direcionador da luz, ao mesmo tempo em que evitou situações de iluminância excessiva no início do ambiente.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 76.015 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores baixos de iluminância (entre 130 e 280lux) até o meio do ambiente (coluna de pontos 4) e valores excessivamente baixos de iluminância (até 94lux) no restante do ambiente. (tabela 8.13)

Vidro Incolor – valores excessivamente baixos de iluminância (com Emáx.=134lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.14)

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores baixos de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 56.552 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio (coluna de pontos 4) do ambiente e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.15)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 171lux. (tabela 8.16)

Conclusão: A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, porém não refletindo uma situação mais adequada, já que este índice se apresentou melhor apenas devido aos valores de iluminância serem muito baixos em toda extensão do ambiente.

### **Considerações Finais**

Nas situações de céu claro para a cidade de Brasília, exemplificada pelo solstício de inverno neste estudo, o painel prismático evitou situações de índices excessivamente altos de iluminância, como os apresentados pelo vidro incolor no mesmo período. Ao mesmo tempo em que demonstrou, no restante das situações, elevar os índices de iluminância em sua grande maioria quando comparados aos valores do vidro incolor. Esta elevação dos índices de iluminância não significa estar dentro dos parâmetros de iluminância estabelecidos para o estudo, permanecendo desta forma insatisfatórios para as atividades a que se destina o ambiente.

O índice de uniformidade de distribuição de iluminação apresentou valores mais adequados aos adotados como parâmetro no fechamento de vidro incolor, mas este fato deve principalmente ao fato de que os níveis de iluminância para o vidro se mantiveram em sua maioria baixos e abaixo do desejável, salvo quando existiram as situações com altos índices de iluminância, não sofrendo portanto grandes variações.

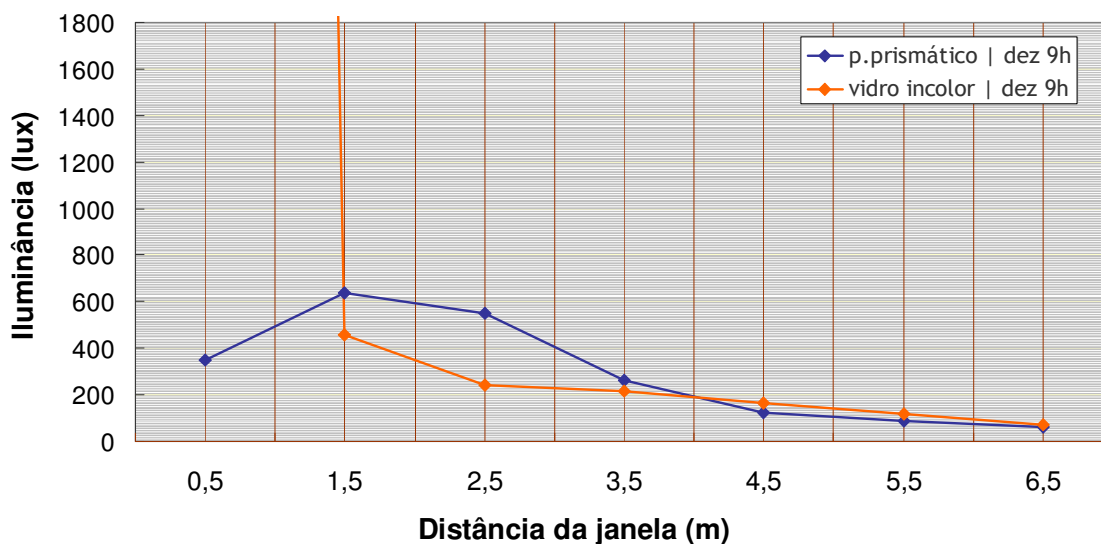
O fechamento com painel prismático apresentou resultados mais favoráveis do que o vidro incolor, pois manteve níveis de iluminância maiores e mais constantes no período analisado.

O painel prismático mostrou-se também um direcionador parcialmente eficiente da luz, por trazer iluminâncias em valores adequados até pouco mais do que a metade da profundidade total do ambiente.



No exemplo abaixo se pode visualizar uma das situações citadas anteriormente na qual os níveis máximos de iluminância para o painel prismático se mostram superiores aos do vidro incolor.

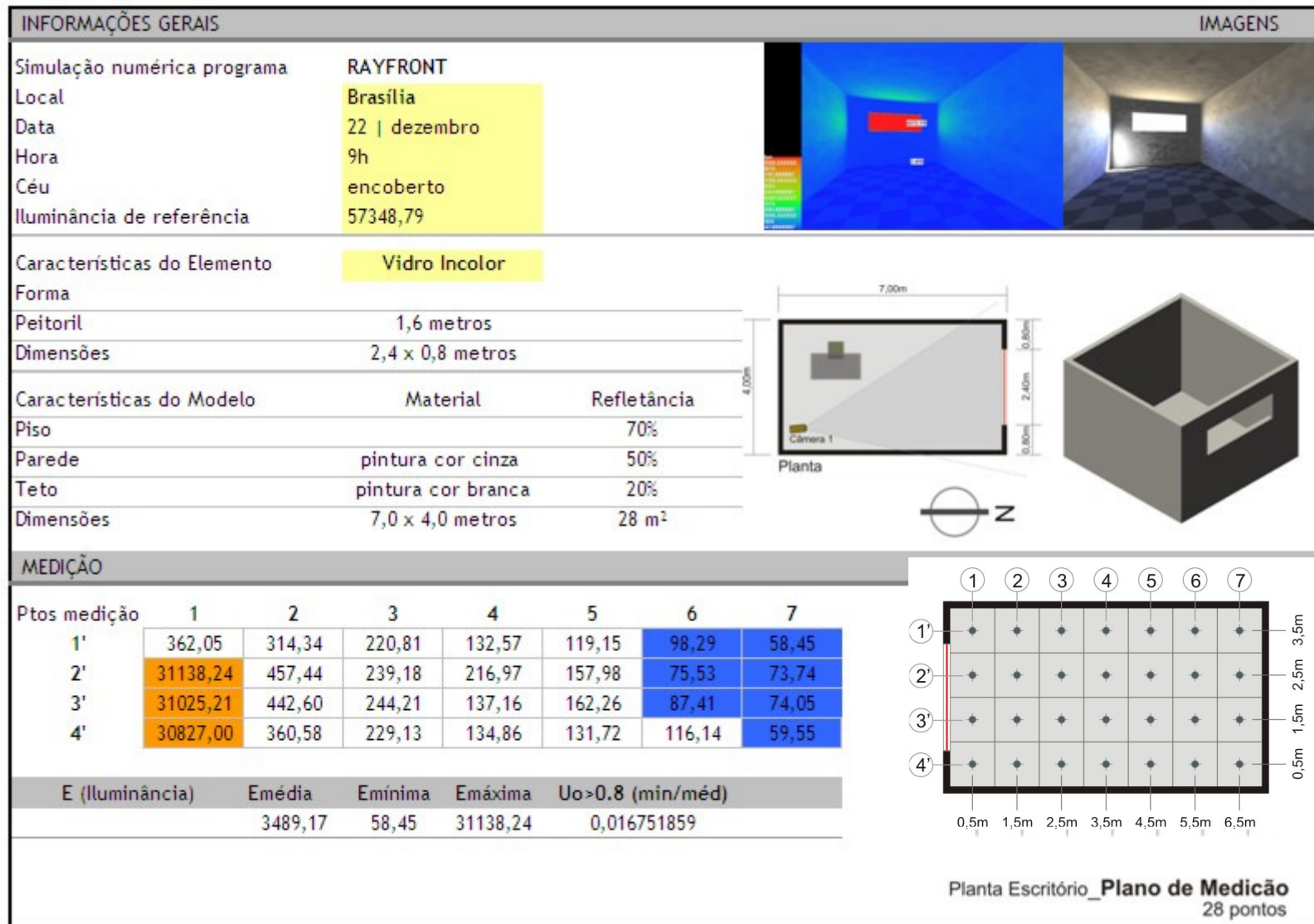
### Comparativo entre Iluminâncias | Brasília



**Figura 6.1:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **9 horas de 22 de dezembro** para Brasília.

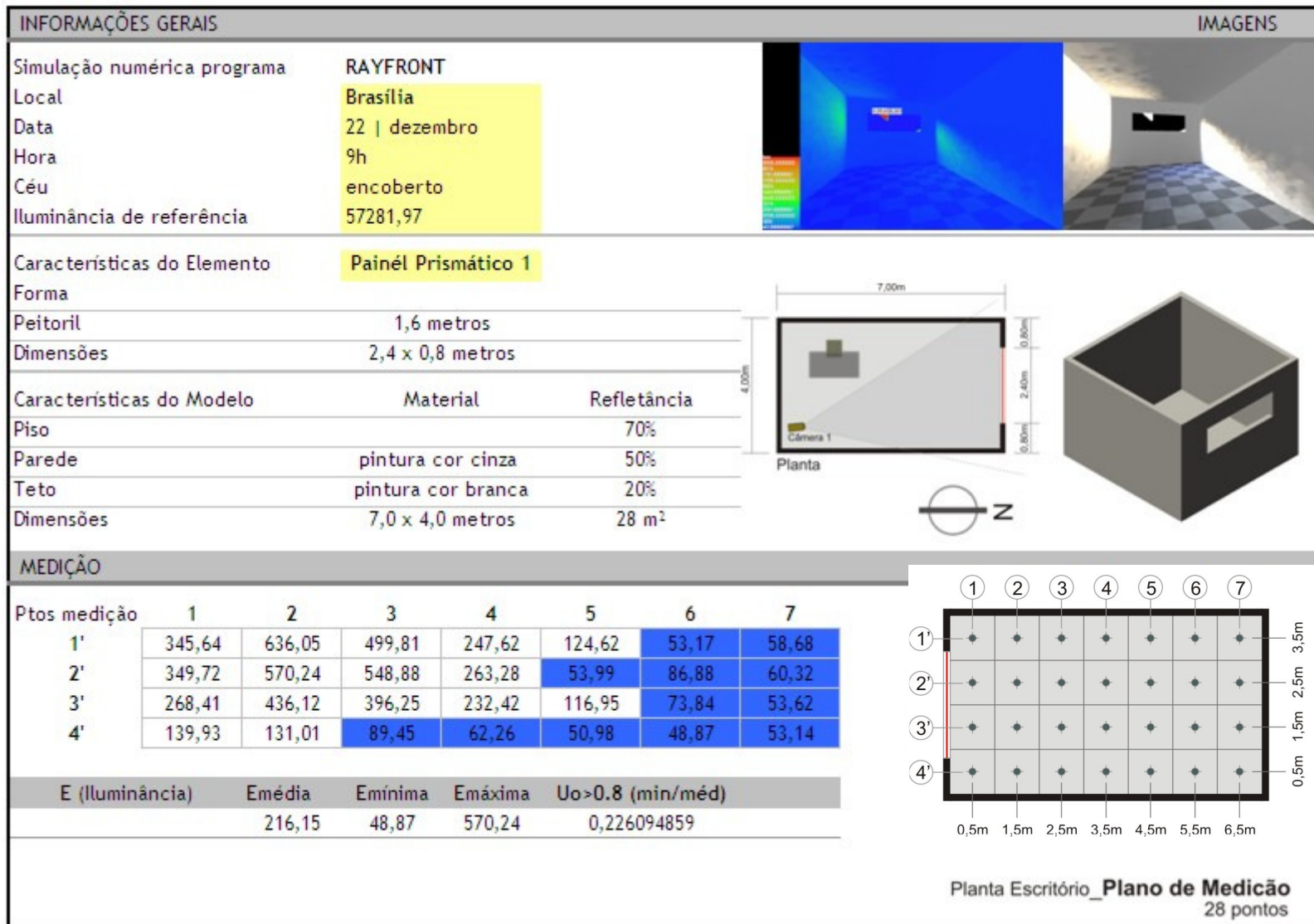
Além da diferença entre os valores de iluminância, se observa que na situação com vidro incolor ocorrem três pontos de incidência de luz solar direta para este horário. Esta situação está elucidada no quadro a seguir, que mostra um resumo dos dados obtidos nesta simulação.

## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS



**Tabela 6.4:** Resultados das simulações no programa **Rayfront**, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.

## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS



**Tabela 6.5:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.

## **6.1.2 CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

A seguir são apresentadas análises resultantes de cada horário para cada tipo de fechamento para a cidade de Florianópolis.

### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 59.062 | 9 horas**

Painel Prismático – diminuiu excessivamente os valores de iluminância nos últimos pontos do ambiente (colunas dos pontos 6 e 7). Evitou situações de valores muito altos de iluminância em frente à abertura. Apresentou valores adequados de iluminância nas colunas dos pontos 1, 2 e 3 (correspondente a até 50% do ambiente). (tabela 8.26)

Vidro Incolor – apresentou valores de iluminância baixos em mais de 50% do ambiente (da coluna do 3 em diante), com valores excessivamente altos (até 32.000lux) em três pontos da coluna 1. (tabela 8.27)

Conclusão: o painel prismático se comportou como direcionador de luz nesta situação, por elevar a iluminância a níveis mais adequados até pouco mais de 50% do ambiente, além de ter evitado pontos com iluminâncias altíssimas no início do ambiente.

### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 78.250 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores baixos de iluminância (entre 80 e 180lux) até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores baixíssimos de iluminância (até 80lux) no restante do ambiente. (tabela 8.28)

Vidro Incolor – apresentou valores baixíssimos de iluminância (entre 50 e 100lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.29)

Conclusão: apesar de os dois fechamentos (vidro e painel prismático) reproduzirem valores baixos de iluminâncias, com o painel prismático os valores foram um pouco mais elevados.

### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 63.269 | 15 horas**

Painel Prismático – valores de iluminância médio-baixos (entre 130 e 400lux) até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores excessivamente baixos de iluminância (até 90lux) no restante do ambiente. (tabela 8.30)

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente baixos de iluminância (iluminância máxima 148lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.31)

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores baixos de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados. Muito se deve ao valor de a iluminância externa se apresentar reduzida neste horário (em torno de 46.000lux). Nesta situação o painel prismático apresentou parcialmente sua característica direcionadora de luz até o meio do ambiente, se comparado ao vidro incolor.

### **22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 30.530 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores excessivamente altos de iluminância (até 35.000lux) em seis pontos das colunas 2 e 3, valores adequados de iluminância na coluna de pontos 4 e valores baixos no final do ambiente (coluna de pontos 6 e7). (tabela 8.32)

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente altos (iluminância máxima 15.000lux) de iluminância em 3 pontos próximos à abertura, apresentando valores adequados em quase todo o restante do ambiente. (tabela 8.33)

Conclusão: nesta situação o painel prismático apresentou valores mais desproporcionais em todo o ambiente fazendo com que a uniformidade ficasse abaixo dos critérios estabelecidos.

### **22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 52.062 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados em até pouco mais de 50% do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.34)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos (colunas dos pontos 1 a 4) e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente. (tabela 8.35)

Conclusão: o painel prismático apresentou valores de iluminância mais adequados referentes à metade do ambiente (coluna de pontos 1 ao 4) do que o vidro incolor, se equiparando ao mesmo no restante do ambiente. A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, mas a iluminância média é inferior ao solicitado pelos critérios.

**22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 37.268 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio do ambiente (até coluna de pontos 4) e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo (dos pontos da coluna 5 a 7). (tabela 6.7)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 240lux. (tabela 6.8)

Conclusão: em até 50% do ambiente (até a coluna de pontos 4), o painel prismático apresentou valores de iluminância adequados, enquanto que o vidro incolor apresentou apenas valores abaixo dos parâmetros. A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, mas a iluminância média é inferior ao solicitado pelos critérios, portanto não se traduz em um melhor resultado.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 49.884 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados em pouco mais de 50% do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores excessivamente baixos no restante (coluna de pontos 5, 6 e 7). (tabela 8.36)

Vidro Incolor – apresentou valores de iluminância excessivamente altos em dois pontos do ambiente (1'1 e 2'1), e valores de iluminância médio-baixos no seu restante. (tabela 8.37)

Conclusão: nesta situação o painel prismático mostrou-se eficiente direcionador da luz, ao mesmo tempo em que evitou situações de iluminância excessiva (como os mostrados no vidro incolor) em alguns pontos do ambiente.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 70.661 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores medianos de iluminância (entre 150 e 480lux) até o meio do ambiente (coluna de pontos 4) e valores excessivamente baixos de iluminância (até 92lux) no restante do ambiente. (tabela 8.38)

Vidro Incolor – valores excessivamente baixos de iluminância (com  $E_{máx.}=180lux$ ) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.39)

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores abaixo dos parâmetros de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 53.117 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.40)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 153lux. (tabela 8.41)

Conclusão: A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, porém não refletindo uma situação mais adequada, já que este índice se apresentou melhor apenas devido aos valores de iluminância serem muito baixos em toda extensão do ambiente.

### Considerações Finais

As datas escolhidas para as simulações apresentam o mesmo tipo de céu, porém com iluminâncias externas um pouco diferenciadas, o que fez com que alterasse os resultados na iluminância interna.

As variações de iluminância entre o horário de 9 horas e os de 12 e 15 horas são grandes, sendo que o primeiro se apresenta muito elevado, o fechamento vidro incolor apresenta situações de iluminância excessiva em pontos próximos a janela, enquanto que no painel prismático estas situações são evitadas. Já nos outros horários, de 12 e 15h os valores de iluminância se apresentam mais adequados e dentro dos parâmetros no painel prismático, com exceção das colunas dos pontos 6 e 7, que sempre apresentam valores baixos.

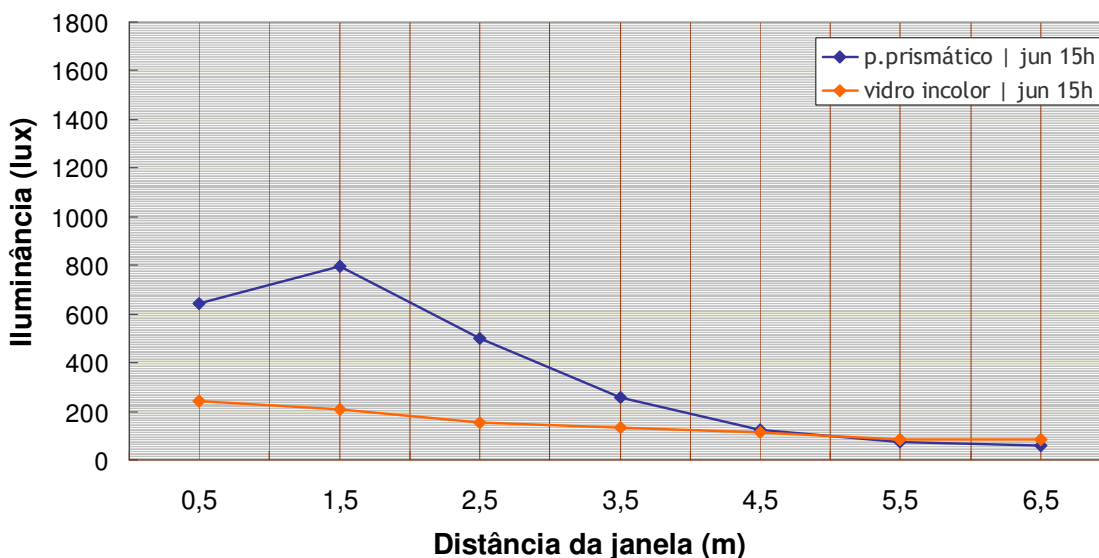
Como exemplo pode ser citado a situação de 9 horas do dia 22 de dezembro, onde a iluminância máxima permaneceu em torno de 32.000 lux, enquanto que para as 12 e 15 horas ela ficou em torno de 120 lux, ou seja, muito abaixo dos parâmetros.

**Tabela 6.6:** Resultados das iluminâncias mínima, máxima e média no dia 22 de dezembro em Florianópolis.

DATA		SOLSTÍCIO DE VERÃO - 22 de dezembro		
CÉU				
FECHAMENTO	HORÁRIO	Emín.	Emáx.	Eméd.
VIDRO INCOLOR	09:00	70,01	32390,91	3613,85
	12:00	50,22	100,79	64,62
	15:00	50,11	148,56	86,45
PAINEL PRISMÁTICO	09:00	49,66	676,92	231,55
	12:00	49,26	216,19	100,43
	15:00	50,03	394,13	154,34

No exemplo a seguir (22 de junho às 15h) é possível observar que o painel prismático obteve valores máximos de iluminância mais altos do que o vidro incolor, se mantendo dentro dos parâmetros até pouco mais de 4 metros da profundidade do ambiente, e reduzindo excessivamente logo após (equiparando-se aos valores do vidro incolor).

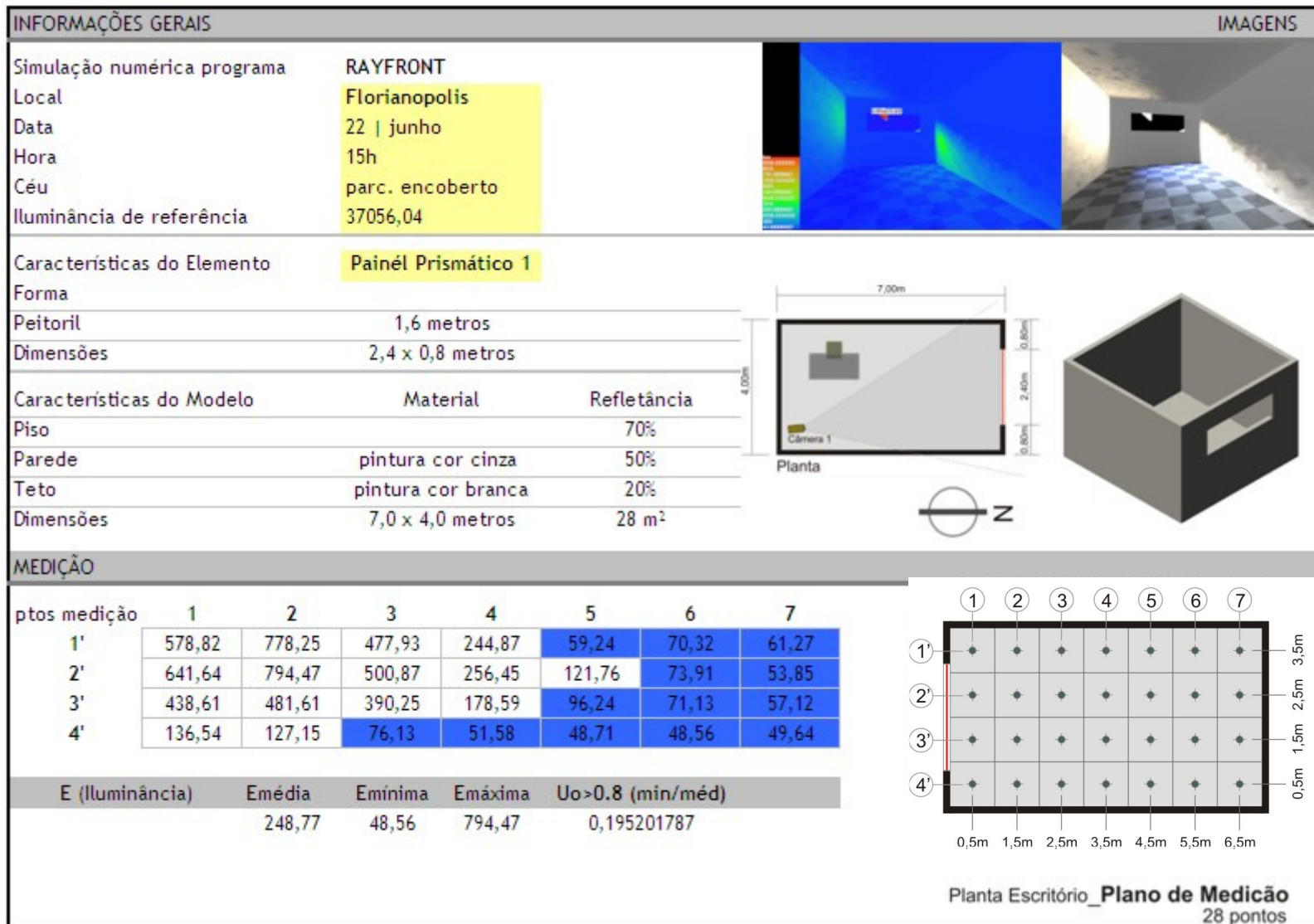
### Comparativo entre Iluminâncias | Florianópolis



**Figura 6.2:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **9 horas de 22 de dezembro** para Brasília.

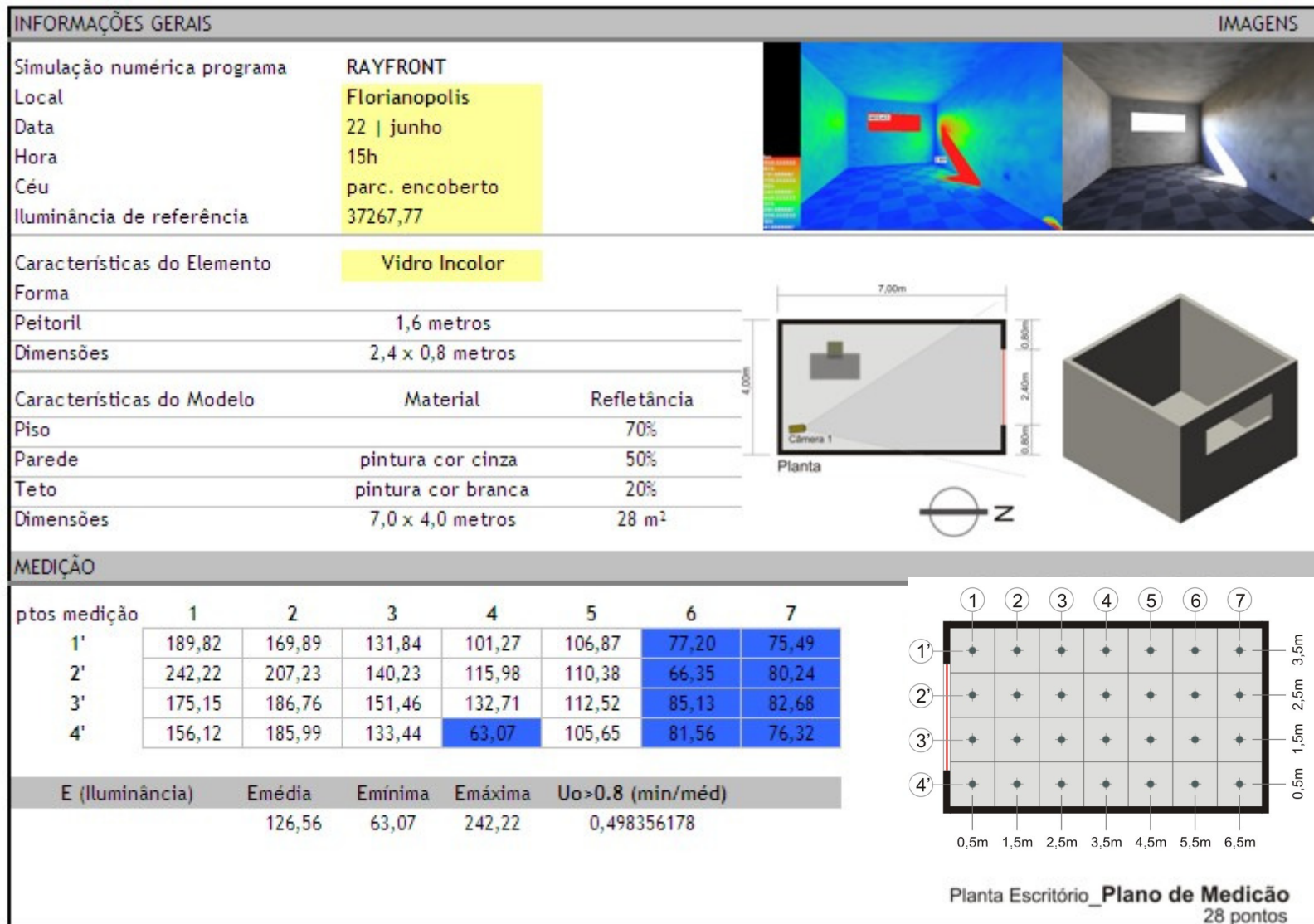
Os índices de uniformidade de distribuição de iluminação se mostraram todos abaixo dos parâmetros adotados, tendo melhor situação nos horários de 12 horas, já que se aproximavam de 0,7. Este valor se apresenta um pouco mais aproximado dos parâmetros no caso do vidro incolor, porém se relaciona ao mesmo fator negativo ocorrido para a cidade de Brasília, onde os valores de iluminância são baixos e regulares, apresentando um índice de uniformidade mais regular.





**Tabela 6.7:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas do dia 22 de junho para a cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS



**Tabela 6.8:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas do dia 22 de junho para a cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

### **6.1.3 CIDADE DE MACEIÓ**

A seguir são apresentadas análises resultantes de cada horário para cada tipo de fechamento para a cidade de Maceió.

#### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 64.650 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores excessivamente baixos de iluminância nas últimas colunas de pontos (5,6,7) do ambiente. Evitou situações de valores muito altos de iluminância em frente à abertura. Apresentou valores adequados de iluminância do início ao meio do ambiente (coluna de pontos 1 a 3).

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente altos de iluminância em frente à abertura, valores regulares a baixos de iluminância da coluna de pontos 2 à coluna de pontos 5 do ambiente. Apresentou valores baixíssimos de iluminância no final do ambiente (coluna de pontos 6 e 7). (tabela 6.9)

Conclusão: o painel prismático evitou iluminâncias excessivamente altas no início do ambiente e apresentou iluminâncias mais adequadas do que o vidro incolor até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4).

#### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 75.561 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores baixos de iluminância (entre 100 e 230lux) até o meio do ambiente (coluna de pontos 4) e valores baixíssimos de iluminância (até 92lux) no restante do ambiente.

Vidro Incolor – apresentou valores baixíssimos de iluminância (até 115lux) em toda extensão do ambiente.

Conclusão: apesar de os dois fechamentos (vidro e painel prismático) produzirem valores abaixo dos parâmetros de iluminâncias, com o painel prismático os valores foram um pouco mais elevados.

#### **22 de dezembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 48.337 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância dentro dos parâmetros entre os pontos 1'1 e 3'4 e valores excessivamente baixos de iluminância (até 92lux) no restante do ambiente.

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente baixos de iluminância (iluminância máxima 195lux) em toda extensão do ambiente.

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores baixos de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados. Muito se deve ao valor de a iluminância externa se apresentar reduzida neste horário (em torno de 46.000lux). Nesta situação o painel prismático apresentou um pouco de sua característica direcionadora de luz até o meio do ambiente se comparado ao vidro incolor.

**22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 54.575 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores dentro dos parâmetros de iluminância ate a coluna de pontos 4. Apresentou valores excessivamente baixos no final do ambiente (coluna de pontos 5,6,7).

Vidro Incolor – apresentou valores excessivamente altos (acima de 27.000lux) de iluminância em 3 pontos em frente à abertura, apresentando valores medianos na coluna de pontos 2 e 3 e valores abaixo dos parâmetros no restante do ambiente (pontos das colunas 5, 6 e 7. (tabela 8.11)

Conclusão: nesta situação o uso painel prismático apresentou mais pontos com iluminância dentro dos parâmetros e uniformidade mais adequada, portanto o painel teve melhor desempenho na distribuição da luz.

**22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 66.770 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo.

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente (iluminância máxima 180lux).

Conclusão: o painel prismático apresentou valores de iluminância mais adequados referentes à metade do ambiente (coluna de pontos 1 a 4) do que o vidro incolor, se equiparando ao mesmo no restante do mesmo. A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, mas a iluminância média é inferior ao solicitado pelos critérios.

**22 de junho | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 39.971 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo.

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 226lux.

Conclusão: o painel prismático apresentou valores de iluminância mais adequados referentes a metade do ambiente (da coluna de pontos 1 a 3) do que o vidro incolor, se equiparando ao mesmo no restante.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 65.432 | 9 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados em aproximadamente 50% do ambiente, com valores abaixo dos parametros no restante do ambiente (coluna de pontos 5, 6 e 7). (tabela 8.61)

Vidro Incolor – apresentou valores de iluminância excessivamente altos em dois pontos (1'1 e 2'1) do ambiente, apresentando valores de iluminância medianos e baixos no seu restante. (tabela 8.10)

Conclusão: nesta situação o painel prismático mostrou-se eficiente direcionador da luz, ao mesmo tempo em que evitou situações de iluminância excessiva próximas à abertura do ambiente.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 76.452 | 12 horas**

Painel Prismático – apresentou valores baixos de iluminância (entre 110 e 260lux) até o meio do ambiente (até a coluna de pontos 4) e valores excessivamente baixos de iluminância (até 90lux) no restante do ambiente. (tabela 8.62)

Vidro Incolor – valores excessivamente baixos de iluminância (com Emáx.=108lux) em toda extensão do ambiente. (tabela 8.63)

Conclusão: apesar de as duas situações apresentarem valores baixos de iluminância, no fechamento painel prismático os valores foram um pouco mais elevados, portanto mais próximos dos parâmetros de iluminância.

**22 de setembro | Céu parc. encoberto | Iluminância externa 45.964 | 15 horas**

Painel Prismático – apresentou valores de iluminância adequados até o meio (coluna de pontos 1,2,3,4) do ambiente e valores de iluminância excessivamente baixos no restante do mesmo. (tabela 8.64)

Vidro Incolor – apresentou valores baixos e excessivamente baixos ao longo de todo o ambiente, apresentando iluminância máxima de 202lux. (tabela 8.65)

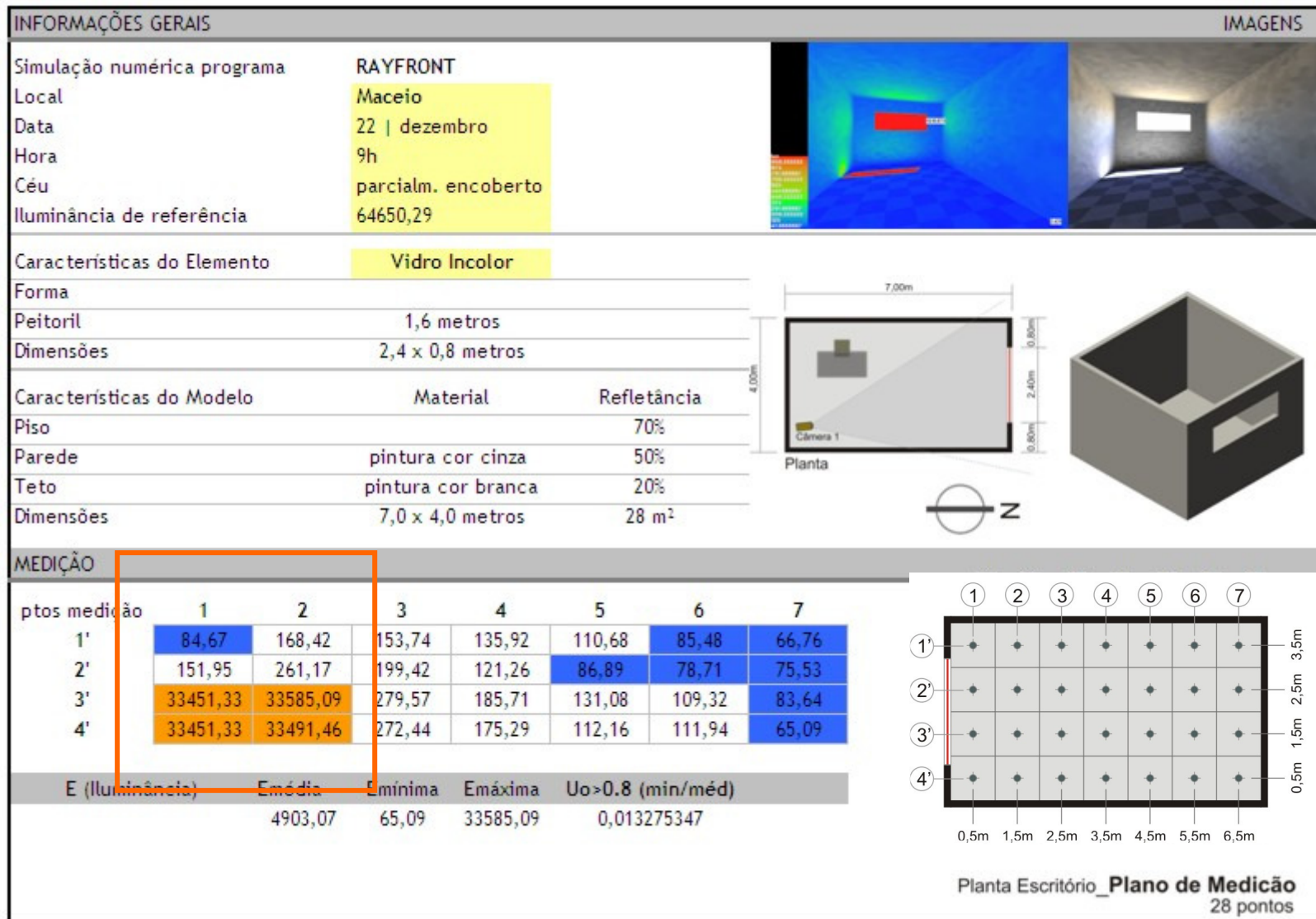
Conclusão: A uniformidade resultou melhor no vidro incolor, porém não refletindo uma situação mais adequada, já que este índice se apresentou melhor apenas devido aos valores de iluminância serem muito baixos e constantes em toda extensão do ambiente.

### **Considerações Finais**

A simulação com o vidro incolor para Maceió demonstrou três situações de valores de iluminância excessiva, enquanto que o painel prismático evitou valores excessivos (tab.6.9). Estas situações podem ser observadas nas tabelas 6.9, 6.10 e 6.11.

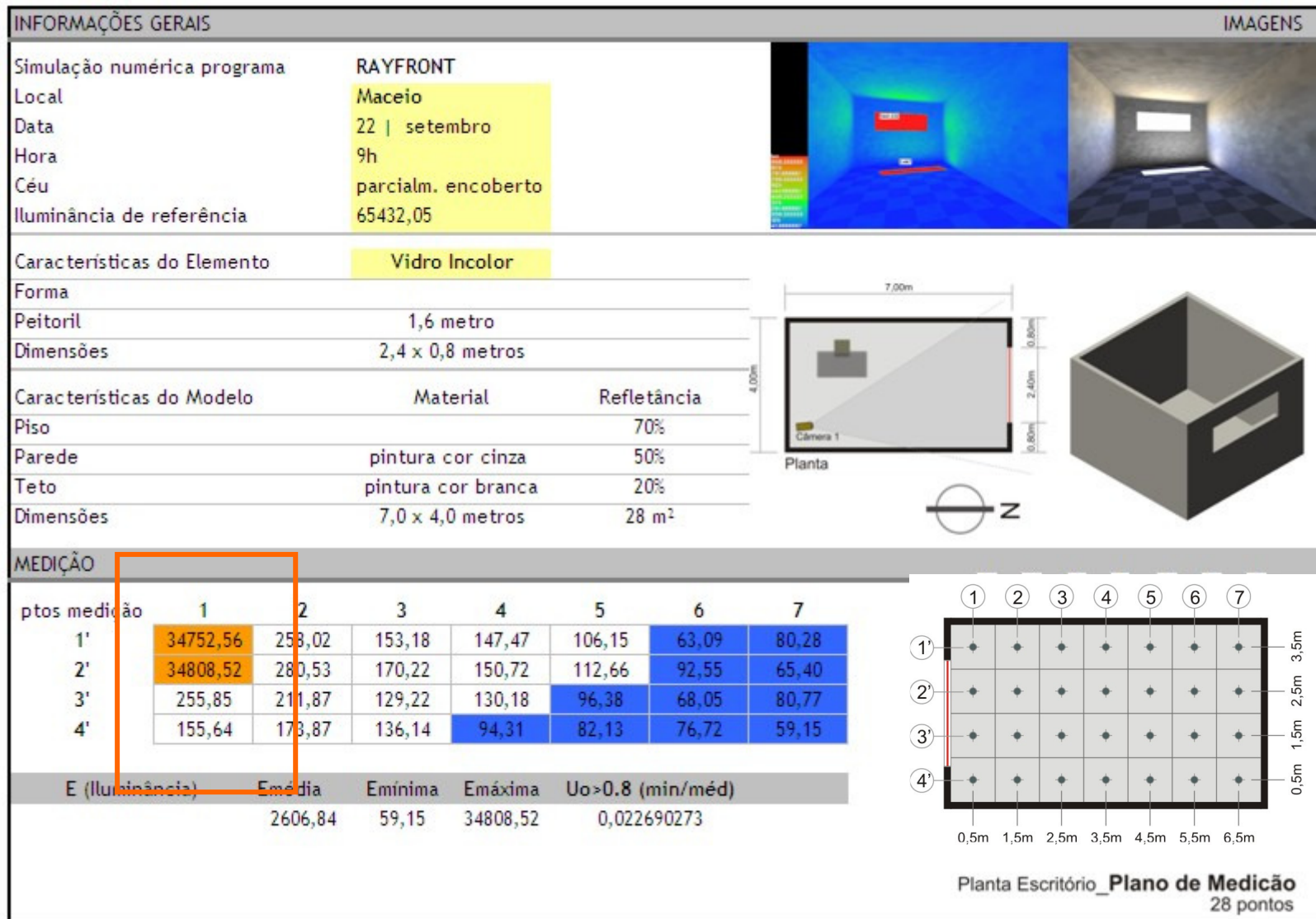
Os índices de uniformidade de distribuição de iluminação se mostraram todos abaixo dos parâmetros adotados. Este valor se apresenta um pouco mais aproximado dos parâmetros no caso do vidro incolor, porém se relaciona ao mesmo fator negativo ocorrido para a cidade de Brasília e Florianópolis, onde os valores de iluminância são baixos e regulares, apresentando um índice de uniformidade mais regular.

## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS



**Tabela 6.9:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas do dia 22 de dezembro para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

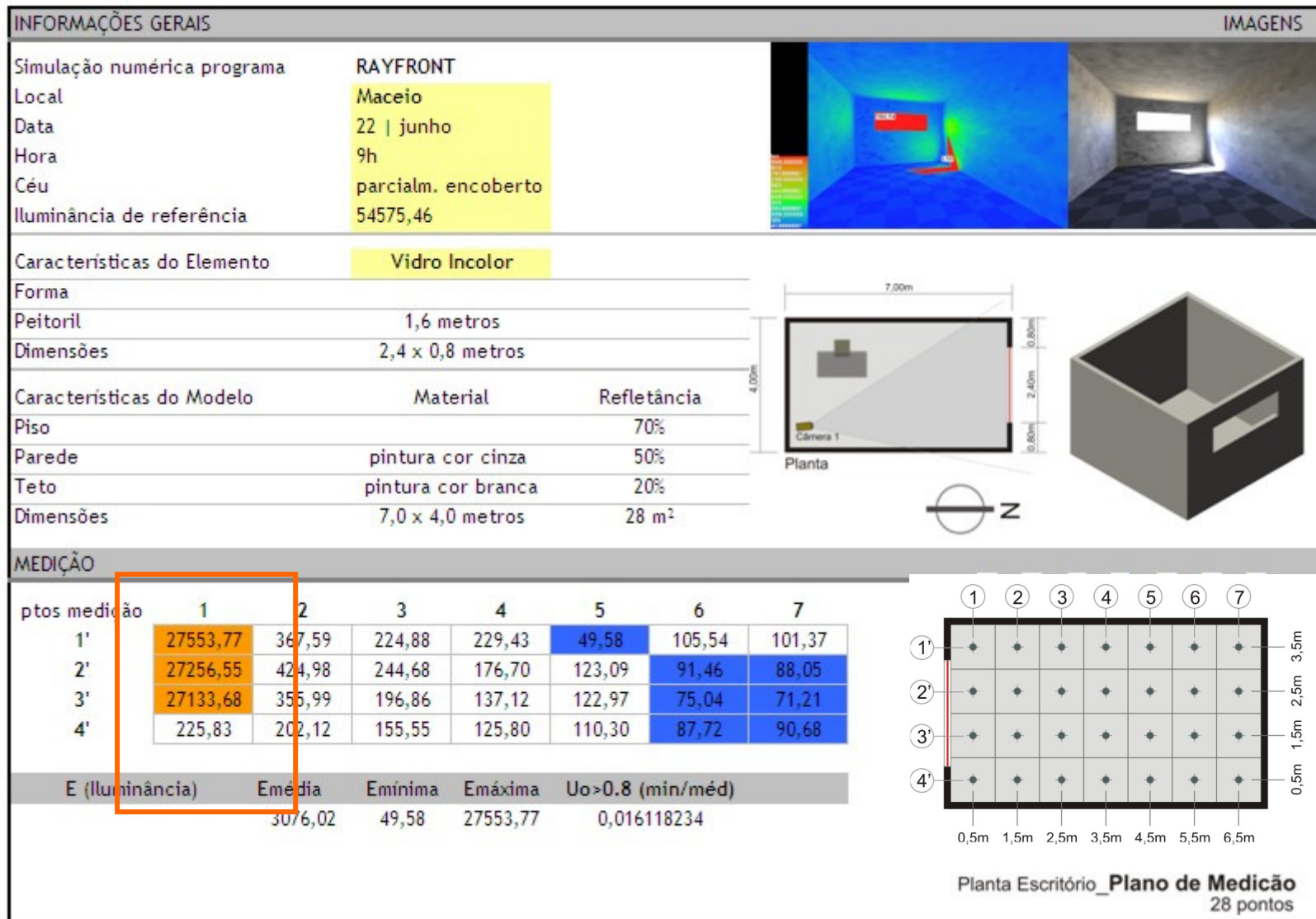
## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS



**Tabela 6.10:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas do dia 22 de setembro para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.



## ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCRITÓRIOS | O USO DO PAINEL PRISMÁTICO EM ABERTURAS LATERAIS

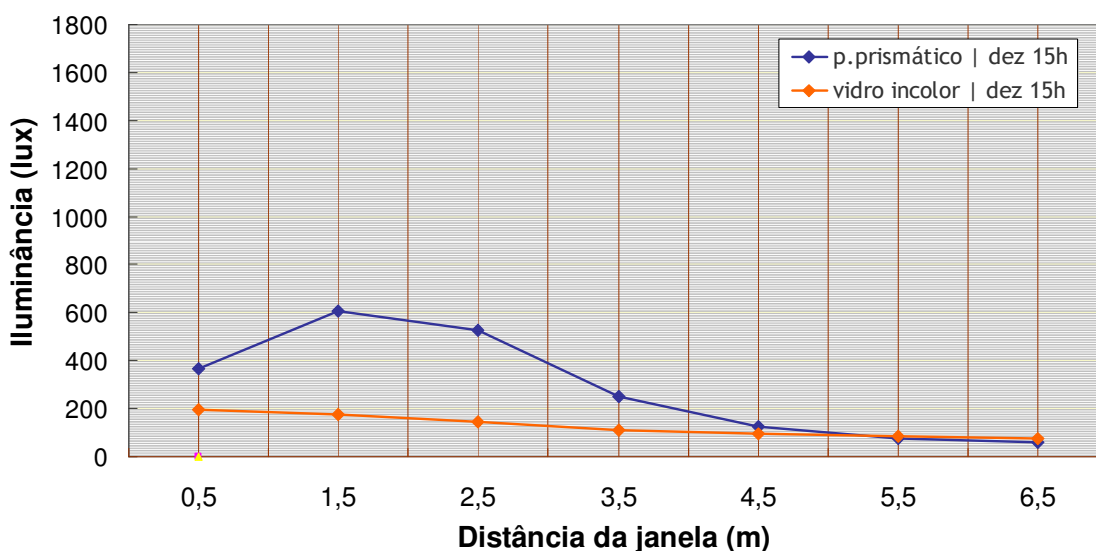


**Tabela 6.11:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas do dia 22 de junho para a cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

O painel prismático apresentou valores de iluminância média um pouco abaixo dos parâmetros em todos os dias e horários, mantendo-se em torno de 200 lux. Isto acontece devido ao fato de que na maioria das situações simuladas 50% do ambiente apresenta níveis adequados de iluminância enquanto que os outros 50% apresentam níveis muito reduzidos, fazendo com que a média também reduza consideravelmente.

Logo abaixo esta situação pode ser observada pelo exemplo às 15 horas em 22 de dezembro.

### Comparativo entre Iluminâncias | Maceió



**Figura 6.3:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de dezembro para Maceió.

Pelo mesmo fato citado anteriormente, os índices de uniformidade de distribuição de iluminação se mostram abaixo do desejado.

Todas as simulações com painel prismático para a cidade de Maceió não apresentaram situações de iluminância excessiva. Isto demonstra ponto favorável ao fechamento com painel prismático por evitar possíveis situações de ofuscamento, não prejudicando a execução das tarefas a que se destina o ambiente.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## **7.1 CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

Esta seção apresenta as principais conclusões do trabalho realizado, relacionando-as com os objetivos propostos. Também apresenta sugestões para estudos futuros a partir dos resultados alcançados.

### **7.1.1 SOFTWARE RAYFRONT**

O software adotado para a simulação se mostrou adequado a execução de todas as situações propostas. Disponibiliza atualizações e manual para elucidar a execução de tarefas, porém não possui tutoriais.

Para que as simulações possam ser realizadas torna-se necessário a inserção de um modelo geométrico no software, já que o mesmo não o faz. Para tanto, foram realizadas tentativas de importação de outros softwares CAD, através de extensões DXF, onde não foi possível obter sucesso devido ao software acusar erros diversos. Estes problemas foram explanados ao suporte técnico, mas não foi possível a solução dos mesmos.

Possui limitações também quanto a importações em versões mais recentes de AutoCAD (extensão DXF), apenas permitindo o uso de versões anteriores a versão 2000.

Esta limitação induziu a pesquisadora a desempenhar outra alternativa, a inserção do modelo geométrico no software através da utilização do software 3DSolar. Com o uso deste software, que se mostrou de fácil aplicabilidade, obtêm-se um bom resultado no processo das simulações, já que a integração entre eles é de muito sucesso.

Os processos de trabalho dentro do software Rayfront se mostraram eficientes e com facilidade para gerenciar muitas variações ao mesmo tempo.

Outro aspecto positivo é a possibilidade de modelar diversas condições de céu em determinado local, além do céu padrão CIE. Possui uma biblioteca de materiais bem sofisticada, fator que possibilitou as simulações, já que outros softwares estudados

não possuem este tipo de materiais, como o painel prismático e vidros mais inovadores.

O software permite também trabalhar com todas as relações de transporte da luz, especulares, inter-reflexões difusas e difração; dispõe de ferramenta para tratamento e conversão de imagens; permite pré-visualização da imagem e alteração sofisticada das vistas inseridas no 3DSolar.

Possui limitação para a leitura e editoração dos resultados das simulações numéricas, em que é necessário utilizar outro software de editoração de texto para a leitura.

## **7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso do painel prismático se mostrou interessante na maioria das situações estudadas, elevando os níveis de iluminância, em comparação ao vidro incolor, de maneira geral nos pontos referentes a até aproximadamente dois terços do ambiente.

No que se refere à pouca iluminação, provocada pela profundidade do ambiente, o painel prismático não apresentou resultados efetivamente satisfatórios, se equiparando aos níveis de iluminância referentes ao do vidro incolor, quando relacionados à maior profundidade do ambiente (ultimo terço do ambiente).

No entanto, em todas as simulações realizadas o uso do painel prismático apresentou apenas duas situações com iluminâncias acima de 2.500 lux, enquanto que o vidro incolor apresentou inúmeras situações e com iluminâncias muito elevadas, com valores de até 34.000 lux. Portanto, as situações de valores de iluminância excessiva foram praticamente evitadas pelo painel prismático, eliminando desta maneira possíveis situações de ofuscamento.

Na tabela a seguir pode-se observar através de valores numéricos a porcentagem do ambiente atendida somente pela luz natural com os níveis de iluminância estabelecidos como adequados para o uso adotado.

**Tabela 7.1:** Tabela resumo com resultados das simulações comparando a porcentagem atingida para valores de iluminância entre 300 e 500lux nos dois fechamentos para todas as cidades.

		LOCAL		
		BRASILIA	FLORIANÓPOLIS	MACEIÓ
<b>FECHAMENTO</b>	<b>DATA</b>	<b>SOLSTÍCIO DE INVERNO - 22 de junho</b>		
	<b>CLASSIFICAÇÃO CÉU</b>	<b>CLARO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>
	<b>HORARIO</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>
VIDRO INCOLOR	09:00:00	36%	57%	21%
	12:00:00	0%	7%	0%
	15:00:00	0%	0%	0%
PAINEL PRISMÁTICO	09:00:00	43%	50%	43%
	12:00:00	32%	32%	29%
	15:00:00	32%	32%	32%
<b>FECHAMENTO</b>	<b>DATA</b>	<b>SOLSTÍCIO DE VERAO - 22 de dezembro</b>		
	<b>CLASSIFICAÇÃO CÉU</b>	<b>ENCOBERTO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>
	<b>HORARIO</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>
VIDRO INCOLOR	09:00:00	29%	21%	14%
	12:00:00	0%	0%	0%
	15:00:00	0%	0%	0%
PAINEL PRISMÁTICO	09:00:00	18%	32%	18%
	12:00:00	0%	0%	0%
	15:00:00	14%	14%	29%
<b>FECHAMENTO</b>	<b>DATA</b>	<b>EQUINÓCIO - 22 de setembro</b>		
	<b>CLASSIFICAÇÃO CÉU</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>	<b>PARC.ENCOBERTO</b>
	<b>HORARIO</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>	<b>300 - 500 lux</b>
VIDRO INCOLOR	09:00:00	29%	25%	7%
	12:00:00	0%	0%	0%
	15:00:00	0%	0%	0%
PAINEL PRISMÁTICO	09:00:00	43%	39%	32%
	12:00:00	0%	29%	0%
	15:00:00	18%	29%	32%

Se comparados os três períodos do ano analisados, o painel prismático se comportou melhor que o vidro no solstício de inverno, elevando consideravelmente os níveis de iluminância. Neste período para todas as latitudes houve elevação considerável nos níveis de iluminância.

Quanto às classificações de céu, o melhor desempenho do painel prismático ocorreu em céu claro, principalmente entre as 12h e 15h. Em seguida tem-se o céu encoberto com melhores resultados, sendo que configura a maior parte das situações.

Dentre os horários analisados, o das 15h apresentou os melhores resultados. Quanto aos níveis de iluminância adotados como adequados, enquanto que com o

fechamento em vidro não foi possível obter nenhum valor dentro do estabelecido como adequado (300-500lux) neste horário, o painel prismático apresentou índices que chegaram, de maneira geral a valores 25,7% adequados ao ambiente. O destaque para este horário foi Maceió, que obteve 31% de satisfação nos índices de iluminância no ambiente.

A latitude com melhor aproveitamento do painel prismático se comparado ao vidro foi Maceió, seguida por Florianópolis e Brasília. Em todas as situações simuladas, Maceió obteve maior quantidade de valores satisfatórios de iluminância com o painel prismático do que com o vidro.

O desempenho do painel prismático para as situações simuladas mostrou que ele pode ser um bom componente na otimização do uso da luz natural, se utilizado de maneira consciente. Faz-se necessário também o conhecimento, por parte dos profissionais relacionados ao projeto de iluminação, destes componentes, com suas características e possibilidades de uso.

No entanto, é importante compreender que a proposta destes componentes em melhorar a iluminação dentro do ambiente, servindo-se da luz solar só se verifica de forma eficiente se o sistema de redirecionamento dos raios solares dos painéis for projetado, e adequado, as condições luminosas locais. Ou seja, para alcançar o melhor desempenho luminoso, é necessário calcular a geometria e o posicionamento adequado de cada painel, de acordo com a latitude e longitude da localidade e de acordo com o posicionamento na fachada onde o mesmo será utilizado, considerando os princípios de interação da luz com a matéria que regem cada dispositivo.

O despertar de uma consciência ambiental para o uso da luz natural torna-se fator importante nesta era, tanto em obras já executadas, como nas fases de projeto para novas edificações. Estes projetos de adaptações ou novas soluções devem agregar o uso de soluções lumínicas mais eficientes, que se complementem através da iluminação natural e artificial, com atenção as necessidades de redirecionamento do fluxo luminosos, tratamento de superfícies e manutenção dos componentes no uso de cada espaço e suas devidas funções.

### **7.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO | SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

Com base na observação dos processos de desenvolvimento do presente trabalho, alguns aspectos merecem atenção para estudos futuros, dentre eles:

- Estudo do desempenho de outros modelos de painel prismático, através da configuração de outras angulações, para os mesmos locais analisados, a fim de analisar comparativamente somente estes componentes, uma vez que o presente trabalho mostrou haver potencial no uso destes elementos nestas latitudes;
- Estudo do desempenho de outras configurações de composição de painéis prismáticos, como o uso em forma de brises, ou combinados com outros componentes inovadores;
- Estudo em modelo reduzido para comprovação (conforme CIAMPINI, 2005);
- No trabalho foram utilizadas simulações estáticas, que expressam seus resultados na forma de imagens, valores absolutos de iluminância em relação à iluminância produzida por um céu de referência. Sabe-se que isto representa uma limitação na prospecção do desempenho da iluminação natural por estar fundamentado em um valor da iluminação com uma única condição de céu predeterminada. Diferentemente das simulações dinâmicas, que produzem séries anuais de iluminâncias e são usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. As simulações dinâmicas possuem como medidas o Daylight Autonomy (DA); o Useful Daylight Illuminances (UDI); e o Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN).

Este estudo avança na avaliação e incentivo ao uso de elementos arquitetônicos que proporcionem melhor uso da iluminação natural. Portanto espera-se que sirva de subsídio para o estudo e inclusão destes elementos no processo projetual com o adequado uso da iluminação natural no ambiente construído.



## REFERÊNCIAS

AMORIM, C.N.D. “**Iluminação natural e eficiência energética – Parte I: Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável**”. Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá, vol. 4, 2002.  
[http://www.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/paranoa.htm](http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm)

\_\_\_\_\_. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II. Sistemas Inovadores para a Luz Natural**. Brasília, Nov. 2002b. Disponível em:  
[http://www.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/paranoa.htm](http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm)

\_\_\_\_\_. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: Estudo de caso na região de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

\_\_\_\_\_. **Iluminação natural, conforto ambiental e eficiência energética no projeto de arquitetura: estratégias projetuais e tecnológicas para climas tropicais**. Projeto de pesquisa (CNPq / FAU – UnB), Brasília, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações** - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-2**: Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005 b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 c.

BAKER N., STEAMERS K. Daylight design of buildings. Londres, James e James 2002.

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

BARBOSA, Luís Antônio Greno. **Edificações Inteligentes: conceitos e considerações para o projeto de arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2006.

BELTRAN, LEE E.S K.M. PAPAMICHAEL, AND S:E: SELKOWITS. **The design and Evaluation of three Advanced Daylight Systems** : Light Shelves, Light Pipes and Skylights. In: Solar 94 Golden Opportunities for Solar Prosperity. Proceedings. San Jose, California June 25-30 1994.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. Maceio: EDUFAL, 2004.

BOURBEAU J.; & MENZIES D. **The New England Journal of Medicine** - Vol. 337, nº21.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>>. Acesso em: 25/02/2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 185, de 22 de junho de 2009**. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001465.pdf>>. Acesso em: 25/02/2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Ministério da Indústria e Comércio e Eletrobrás. **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/procel> Acesso em: 09/11/2009.

CADDET. **Saving energy with efficient lighting in commercial buildings**. Centre for the analysis and dissemination of demonstrated energy technologies. The Netherlands, 1995.

CALDEIRA, Vasco. **Histórico da evolução do brise-soleil**. Idéias de Arquitetura. Nº1. Disponível em: <http://www.luxalon.com.br>. Acesso em: 13/03/2009.

CALDEIRA, Vasco. (Coord). **A arquitetura de escritórios**. Idéias de Arquitetura. Nº 9. Disponível em: <http://www.luxalon.com.br>. Acesso em: 13/03/2009.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética da Envolvória de Edificações Não Residenciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C., LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**, 2010. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10,n.2,p.7-26,abr./jun.2010.

CIE Standard General Skies - **Spatial distribution of daylight -CIE standard general sky**. Commission Internationale de L'Eclairage, Publication CIE. Vienna, 2003.

CHAVES, A. **Física: ondas relatividade e física quântica**. Reichmann & Affonso Editores, Volume 3, 2001.

CHRISTAKOU, Evangelos Dimitrios. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

CIAMPINI, Flavia. **Sistemas inovadores de iluminação natural**, estudo de seu desempenho sob condições de céu real em Campinas. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

CREMONINI, Lorenzino. **Luce, luce naturale, luce artificiale**. Firenze, Alínea editrice, 1992.

CODEPLAN - Companhia de desenvolvimento do planalto central. Atlas do Distrito Federal. GDF -Brasília, 1984.

FERREIRA, P.C. **Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 1965.

FITCH, J. M. **The environmental forces that shape**. “American Building 2”. Boston: Houghton Mifflin Company Boston, 1972.

FONTOYNOT, M.(Ed.). **Daylighting Performance in Buildings**. London: James and James, 1998.

FROTA, A. e SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel, São Paulo, 1995.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GARROCHO, Juliana Saiter. **Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras**. 2005. 112f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília. 2005.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, 1992.

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

GOULART, Solange et al. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: NPC – UFSC, 1997.

HOPKINSON R.G., LONGMORE J., PETHERBRIDGE P., **Daylighting**, Heinemann, London, 1966

HOPKINSON, R.G.; KAY, D.J. **Daylighting of Buildings**. Faber and Faber, London, 1972.

IEA-INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Daylight in Buildings: A source book on Daylighting Systems and Components**. Lawrence Berkley National Laboratory, 2000. Disponível em: <<http://www.gaia.lbl.gov/iea21>> Acesso em: 16/02/2008.

IESNA. **Lighting handbook: reference & application**. Illuminating Engineering Society of North America. New York. 8th edition, 1995.

INANICI, Mehlika N. **Application of the State of Art Computer Simulation and Visualization in Architectural Lighting Research**. In: Building Simulation Seventh International IBPSA Conference, Madison, USA, 1995.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Daylight in Buildings: a source book on daylighting systems and components**. IEA SHS Task 21 – ECBCS Annex 29, 2000

KALTENBACH, F. **Translucent Materials**. Chronicle Books. April, 2004.

KÖSTER H. **Dynamic daylight Architecture, basics systems projects**. Birkhauser, Basel, 2004.

KÖSTER H. Frankfurt (De). **Sun protection Installation comprising sun protection lamellae having a toothed upper side**. Int cl G02B 27/00 us patent US 006367937 b2. Abril, 2002.

KÖSTER H. **Gestufte lamelle zur Lenkung von lichtstrahlung** DE patent 1954381. Março, 1997.

LAAR M. , Grimme, F.W. **German Developments in daylight guidance systems: An overview**. Building Research and information V30 I4, pp 282-301. 2002.

LAAR M. **Daylighting for the tropics the example of laser cut panels (Australia) and Plexiglas daylight (Germany)**. Proceedings of the 7th International IBPSA Conference, p.1329-1333, RJ, Brasil, 2001.

LAAR M. G. F.W.. **German developments in daylight guidance systems: an overview**. Institute of technology in the tropics ITT University of Applied Sciences Cologne Betzdorfer strabe 2 d 50679 cologne germany 1998.

LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. São Paulo: Atlas, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. E PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. UFSC/Procel/ Eletrobrás, 1998

LIMA, T. B. S. **Uso da simulação computacional em projetos de iluminação**

**interna**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, 2003.

LORENZ W. **A glazing unit for solar control, daylighting and energy conservation**. Solar Energy Volume 70, p. 109-130, 2001.

LORENZ W. **Design guidelines for a glazing with a seasonally dependent solar transmittance**. Solar Energy 63 (1998), p. 79-96.

MACHADO, Arlindo. **Maquina e imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas**. 3 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

MASCARÓ, L.E. **Iluminação natural nos edifícios**. FAU / USP, São Paulo, 1975.

MACARÓ, Lucia Raffo de. **Luz, clima e arquitetura**. Nobel, São Paulo, 1983.

MACIEL, Alexandra A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MARDALJEVIC J. (2006). **Examples of Climate-Based Daylight Modelling**. CIBSE National Conference 2006: Engineering the Future.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1991.

NABIL A, & MARDALJEVIC J. (2005). **Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings**. Lighting Research & Technology, 37(1), 41-59.

NETO DOS SANTOS, A. A.; **Automação de traçado de máscaras de sombras para avaliar dispositivos de proteção solar: uma aplicação computográfica**. Dissertação de Mestrado UFSC, 1995.

NISSOLA, L. J. **A influência da luz natural na probabilidade de ocorrência de ofuscamento em ambientes com terminais de vídeo** - um estudo de caso. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

NOGUCHI, Mika Yada. **Análise das condições de iluminação em edificações de escritórios: um estudo de caso no paço municipal de Maringá – PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2003. ix.133p.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Editorial Gustavo Gilli, Barcelona, 1998.

OLIVEIRA, Tadeu Almeida; RIBAS, Otto Toledo. **Sistemas de controle das condições ambientais de conforto**. Saúde & Tecnologia - Textos de Apoio à

Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 1995.

PARANOIA: **Cadernos de arquitetura e urbanismo**: Revista do Programa de Pesquisa e Pós Graduação da FAU-UnB. Ano 6, n.3 (agosto 2007) – Brasília: FAU UnB, 2007 – v:il.;30 cm.

PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia da edificação**. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1993 : Florianópolis). Anais ... / Editores : Roberto Lamberts ... [et all]. Florianópolis : ANTAC : ABERGO : SOBRAC, 1993. p. 257-267.

PETERS, Paulhans. **Proyecto y planificación**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1975.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. Leukos, v. 3, n. 1, 2006.

SA, C. **Light Tool: Software brasileiro calcula luz natural e artificial**. Revista LUME Arquitetura. Ano VI, n. 31 (abril/maio 2008) – São Paulo: De Maio Comunicação e Editora Ltda, 2008.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 1996.

SCARAZZATO, P S e SILVA, R. R. **Disponibilidade de Luz Natural (DLN) versão 2.06**, São Paulo, 1995.

SCARAZZATO, P. S. e MINGRONE, A. C. **Iluminação lateral e Iluminação zenital**. Notas de aula. FAU/USP. São Paulo, 2004.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SOUZA, R.V.G. **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

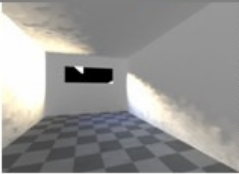
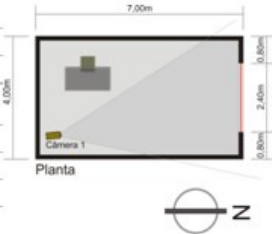

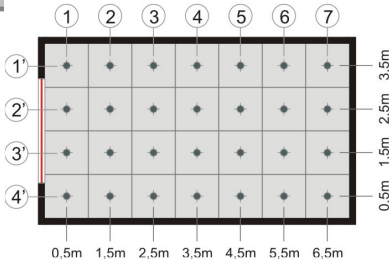
VIANNA, N. e GONÇALVES, J. **Iluminação e Arquitetura**. UniABC Virtus s/c Ltda, São Paulo, 2001.

VITRÚVIO, M. L. **Los diez libros de arquitectura**. Barcelona: Ibéria S. A., 1982.


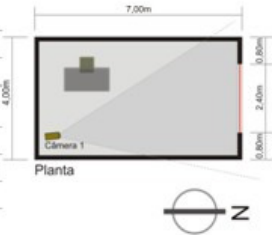

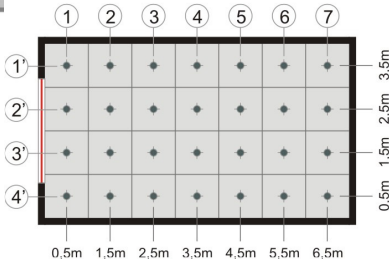
**ANEXOS**



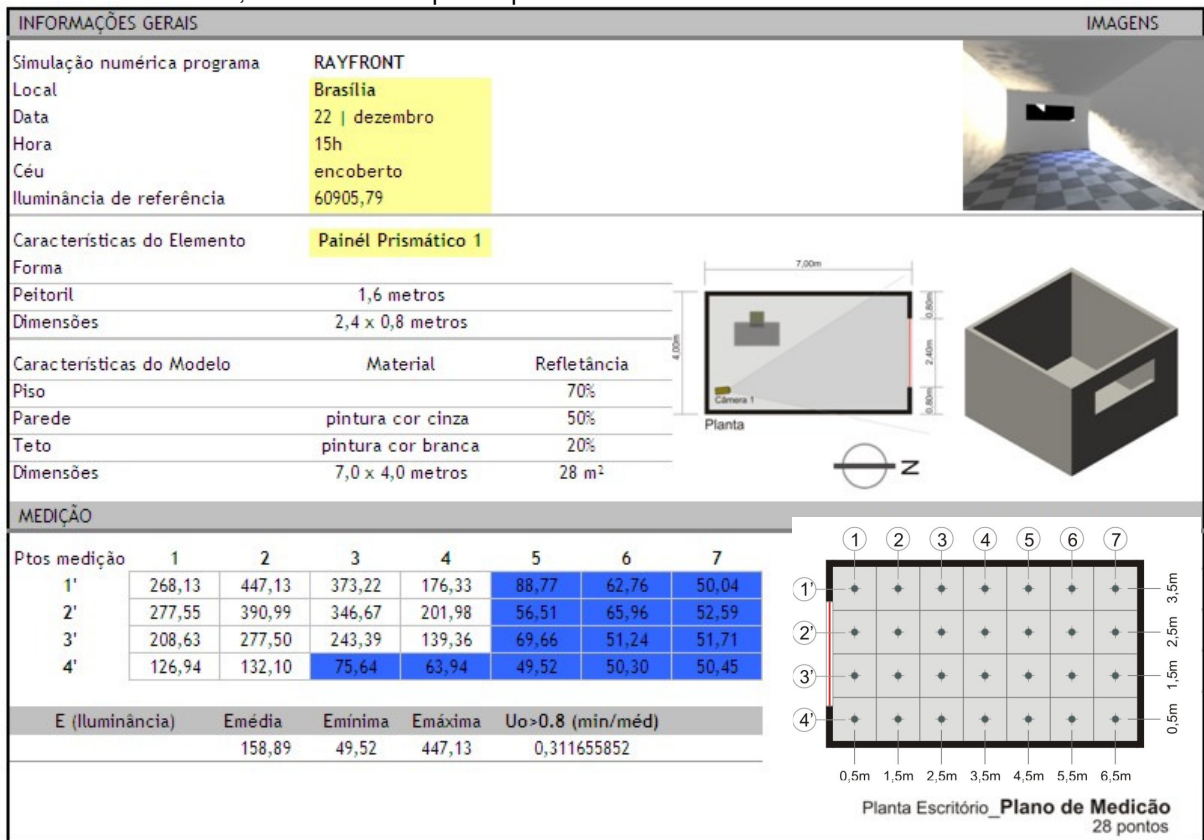
**Tabela 8.1:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS					
Simulação numérica programa	RAYFRONT						
Local	Brasília						
Data	22   dezembro						
Hora	12h						
Céu	encoberto						
Iluminância de referência	77821,98						
Características do Elemento		<b>Painel Prismático 1</b>					
Forma							
Peitoril	1,6 metros						
Dimensões	2,4 x 0,8 metros						
Características do Modelo		Material	Refletância				
Piso			70%				
Parede	pintura cor cinza		50%				
Teto	pintura cor branca		20%				
Dimensões	7,0 x 4,0 metros		28 m <sup>2</sup>				
							
MEIÇÃO							
Ptos medição	1	2	3	4	5	6	7
1'	159,46	203,72	220,83	124,94	66,16	52,58	53,11
2'	147,47	199,99	191,62	113,73	69,45	60,49	51,86
3'	104,57	124,98	121,24	88,39	66,51	55,69	50,39
4'	119,20	114,17	70,98	54,56	48,55	50,05	49,81
E (Iluminância)	Emédia	Eminima	Emáxima	Uo>0.8 (min/méd)			
	101,23	48,55	459,47	0,479590757			
							
		Planta Escritório_Plano de Medição 28 pontos					

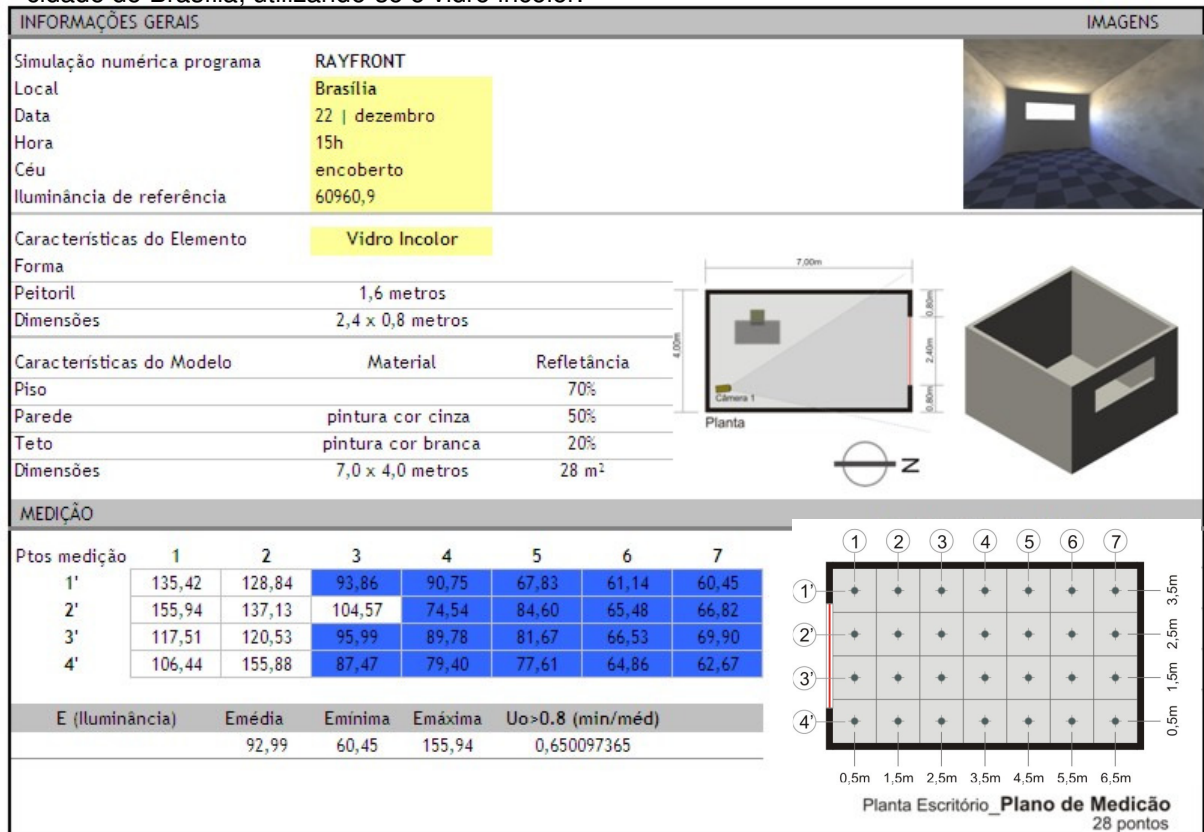
**Tabela 8.2:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS					
Simulação numérica programa	RAYFRONT						
Local	Brasília						
Data	22   dezembro						
Hora	12h						
Céu	encoberto						
Iluminância de referência	77832,87						
Características do Elemento		<b>Vidro Incolor</b>					
Forma							
Peitoril	1,6 metros						
Dimensões	2,4 x 0,8 metros						
Características do Modelo		Material	Refletância				
Piso			70%				
Parede	pintura cor cinza		50%				
Teto	pintura cor branca		20%				
Dimensões	7,0 x 4,0 metros		28 m <sup>2</sup>				
							
MEIÇÃO							
Ptos medição	1	2	3	4	5	6	7
1'	91,00	77,63	66,78	60,48	60,29	55,31	54,03
2'	108,01	83,60	68,15	66,86	60,46	53,35	51,25
3'	63,25	80,23	67,64	65,28	57,54	56,21	55,94
4'	77,74	73,69	65,87	59,19	58,77	54,16	55,22
E (Iluminância)	Emédia	Eminima	Emáxima	Uo>0.8 (min/méd)			
	66,00	51,25	108,01	0,776544566			
							
		Planta Escritório_Plano de Medição 28 pontos					

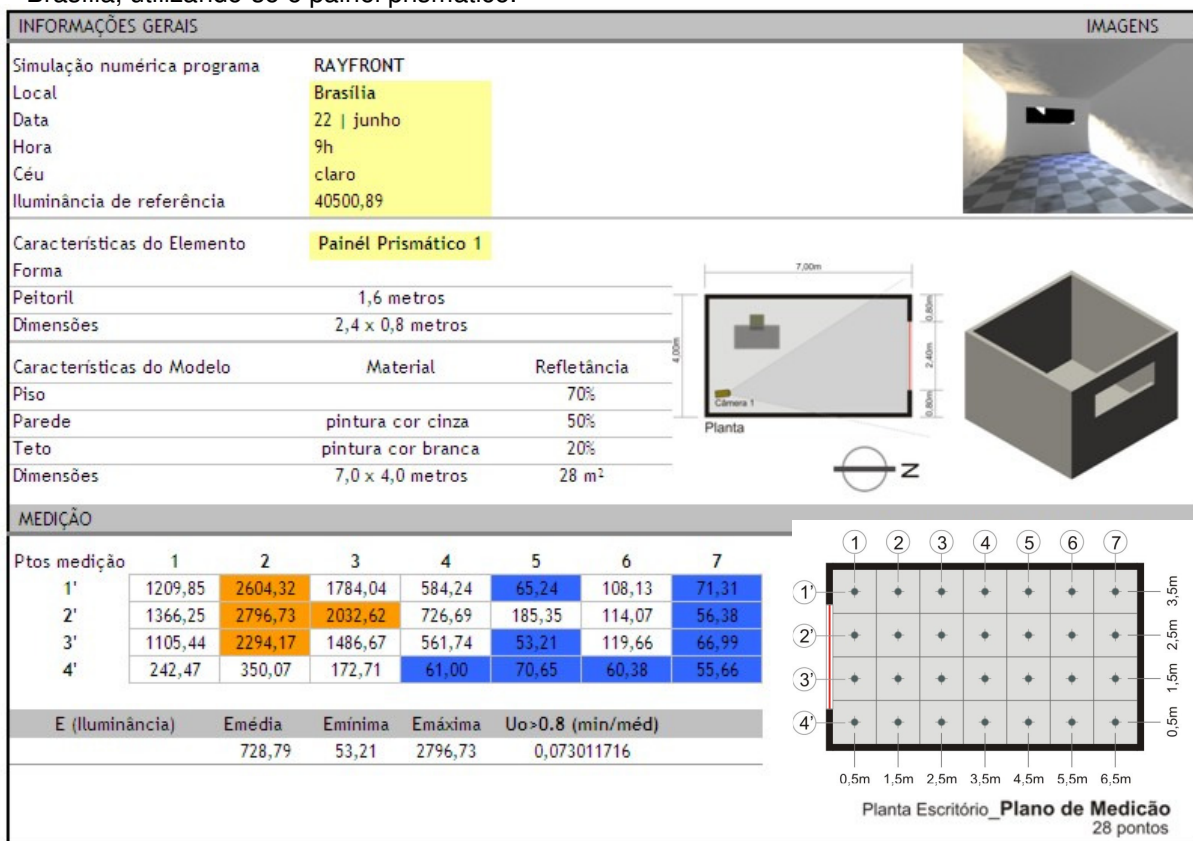
**Tabela 8.3:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



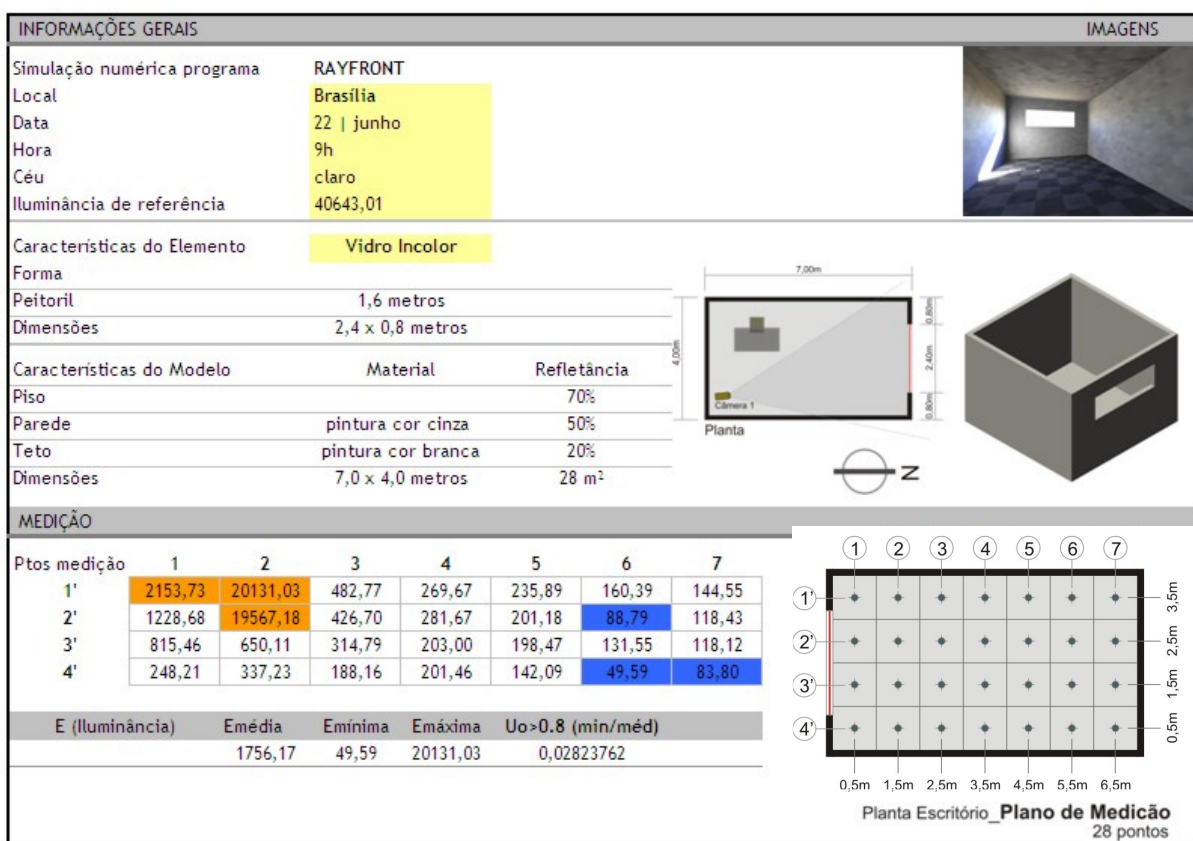
**Tabela 8.4:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



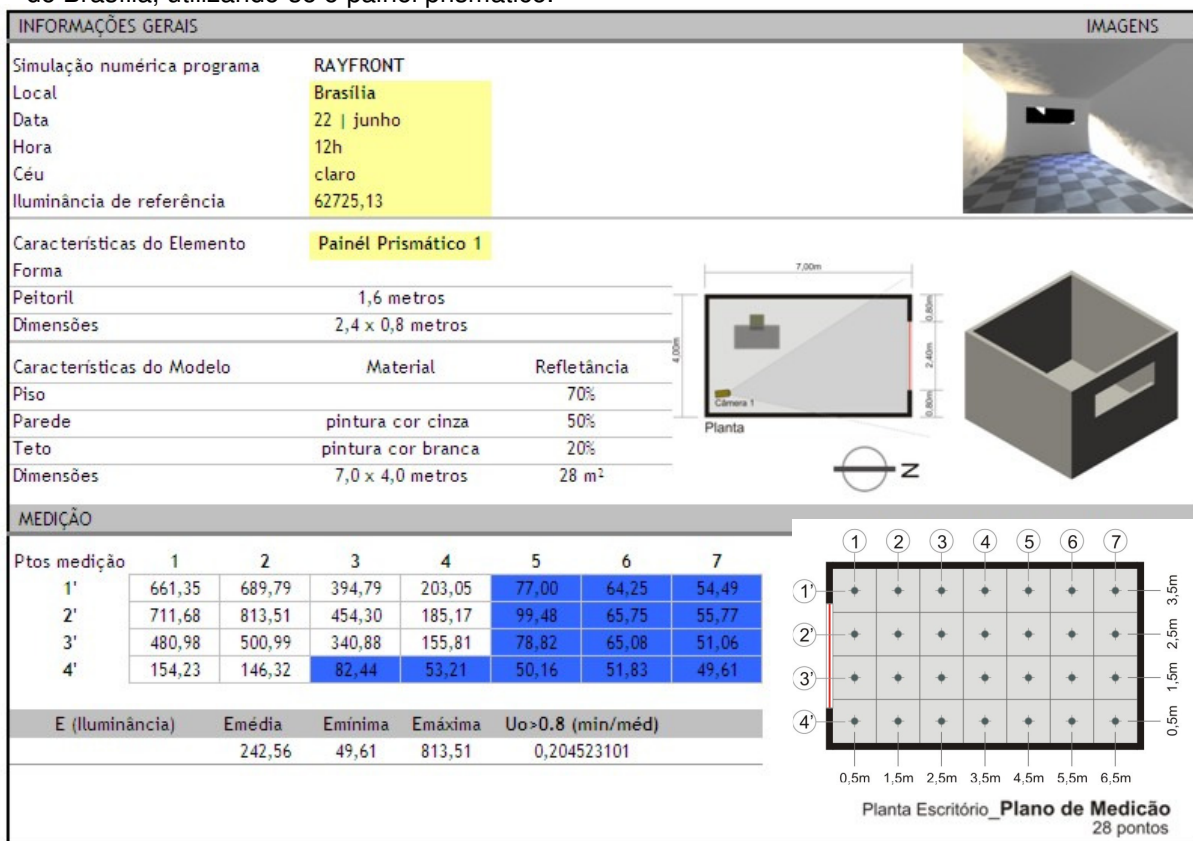
**Tabela 8.5:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



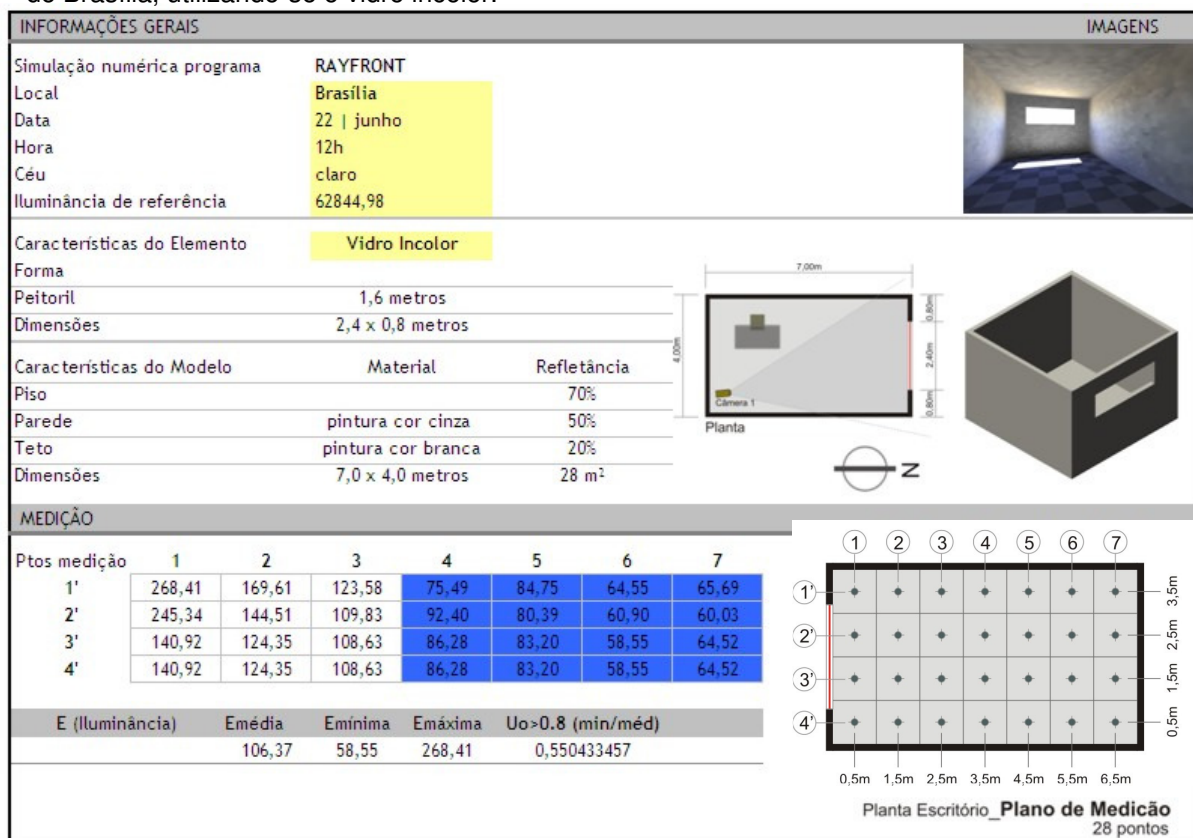
**Tabela 8.6:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



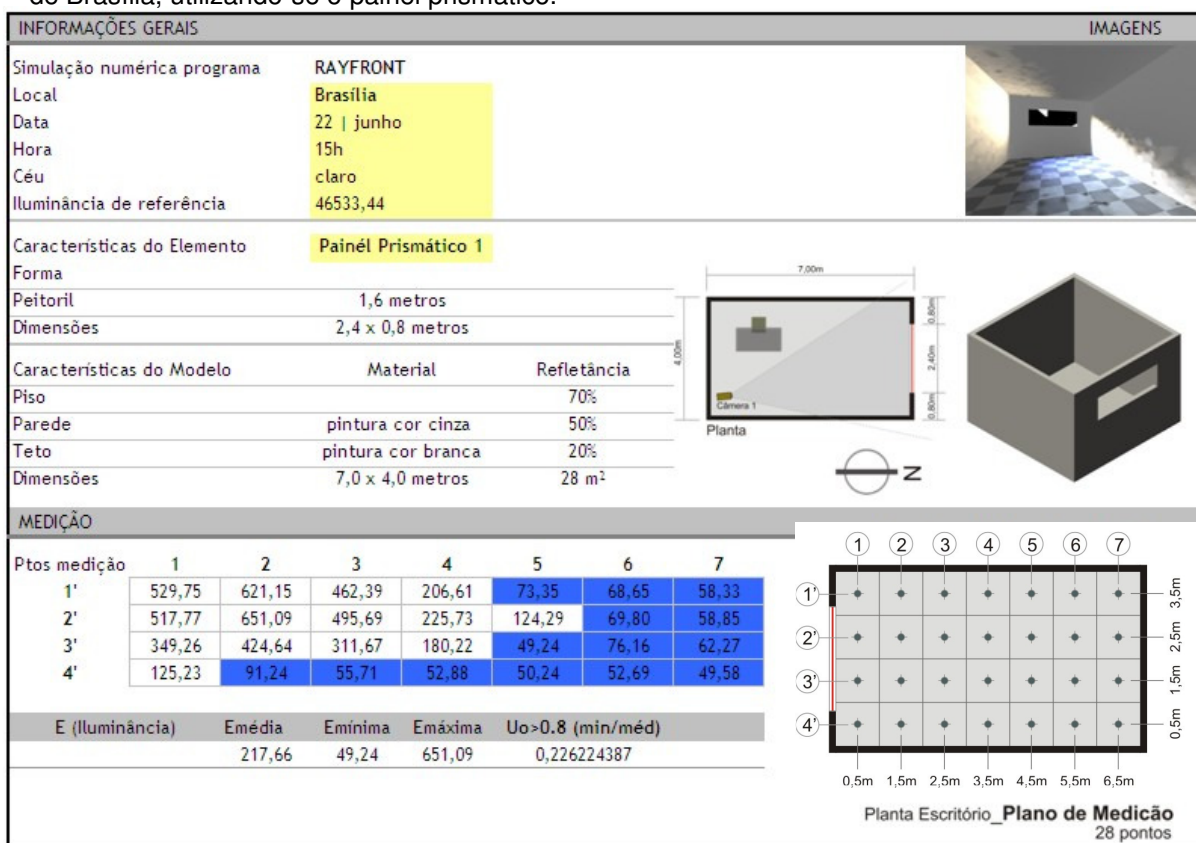
**Tabela 8.7:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



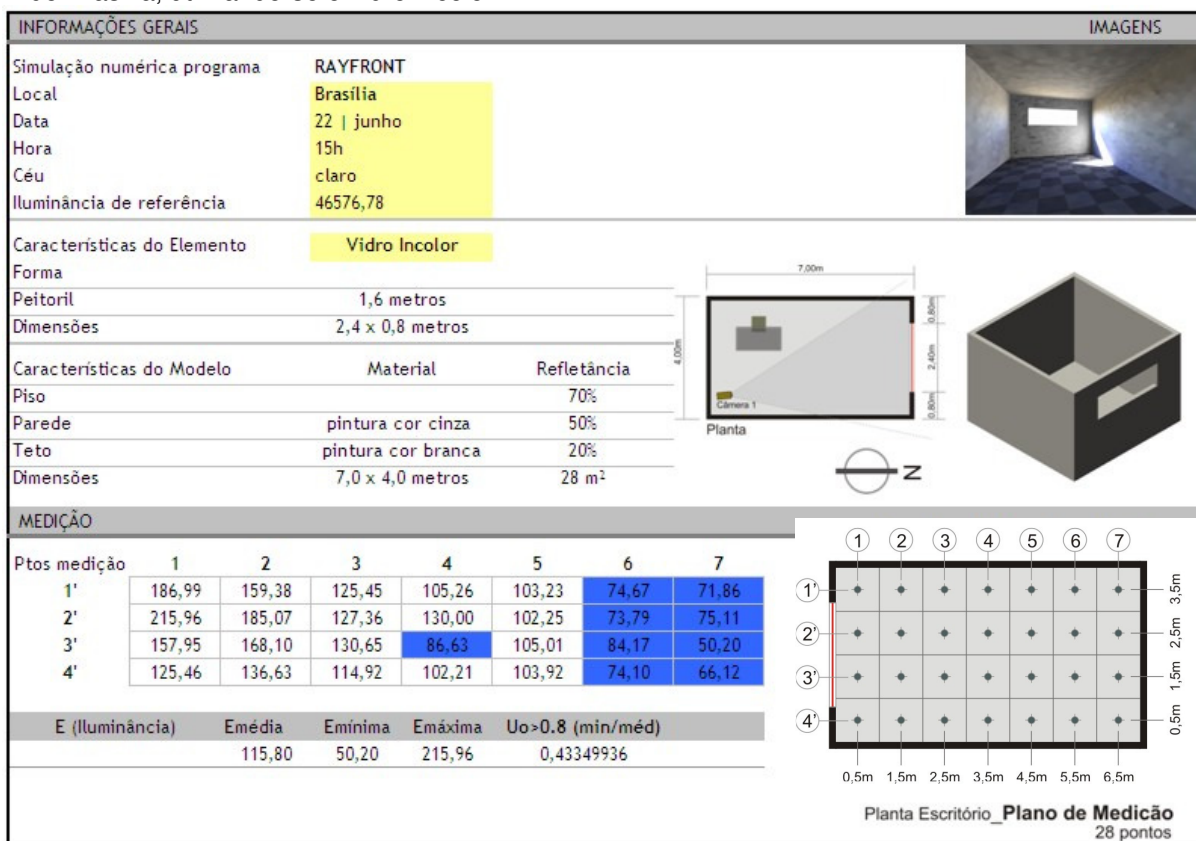
**Tabela 8.8:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



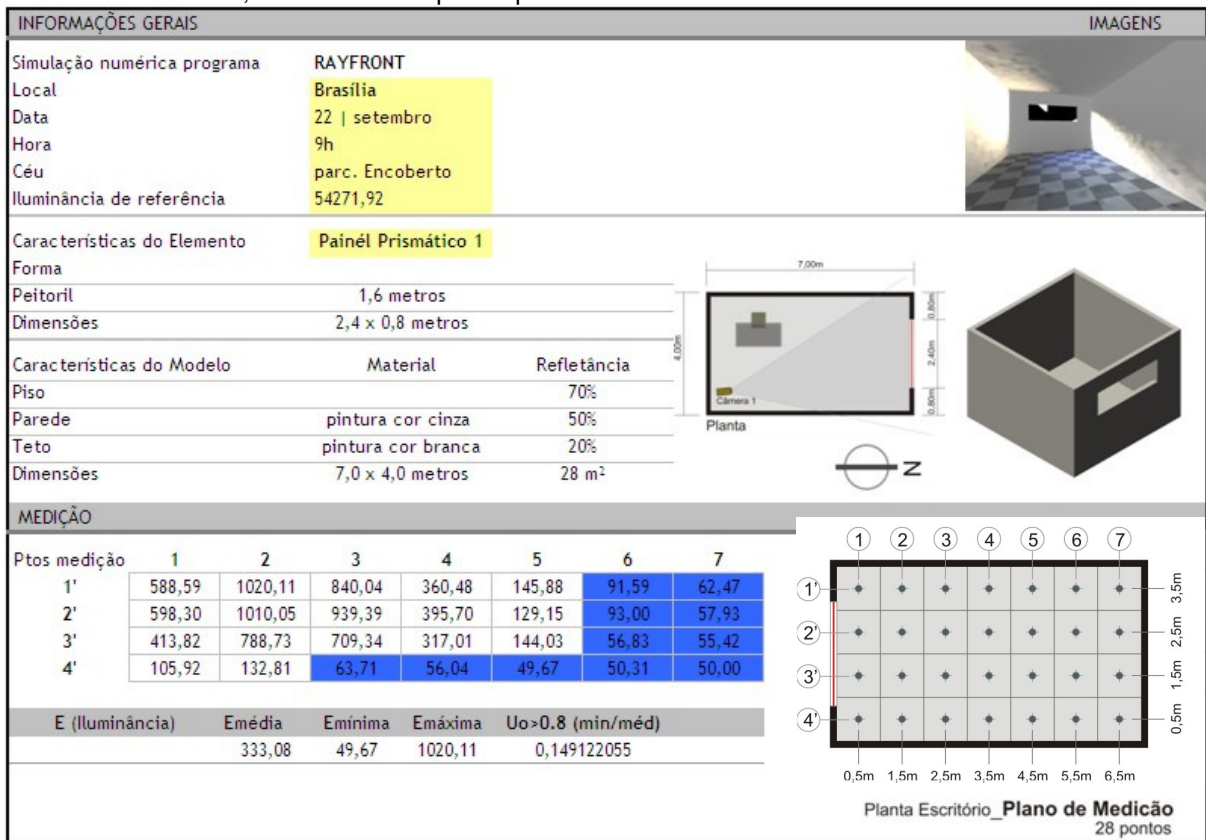
**Tabela 8.9:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



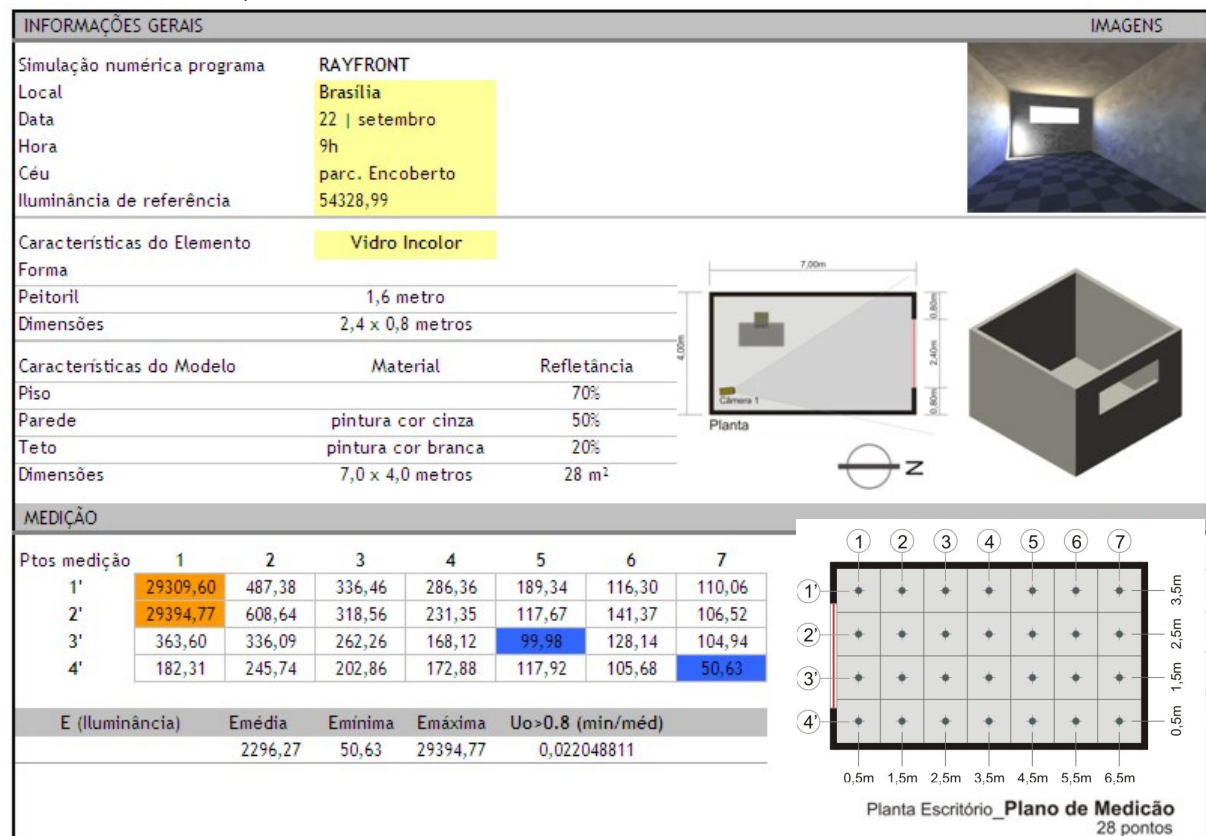
**Tabela 8.10:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 junho, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



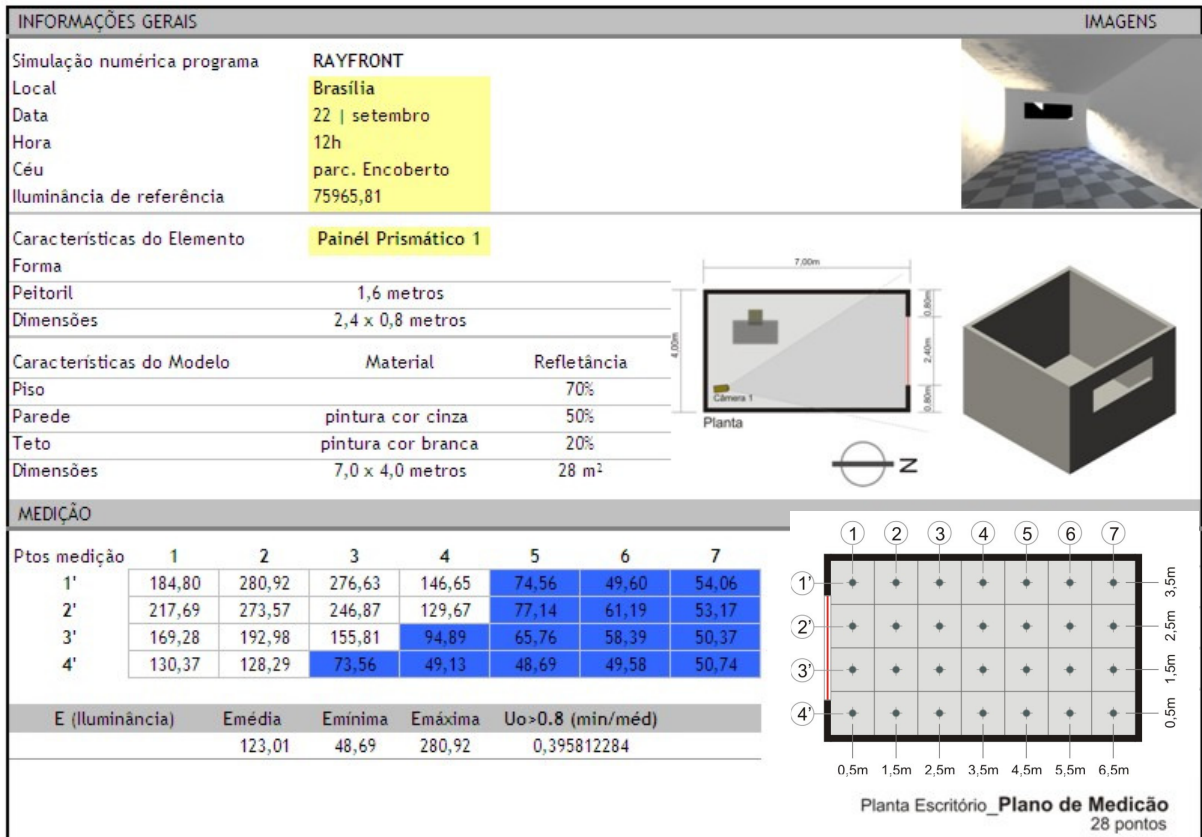
**Tabela 8.11:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



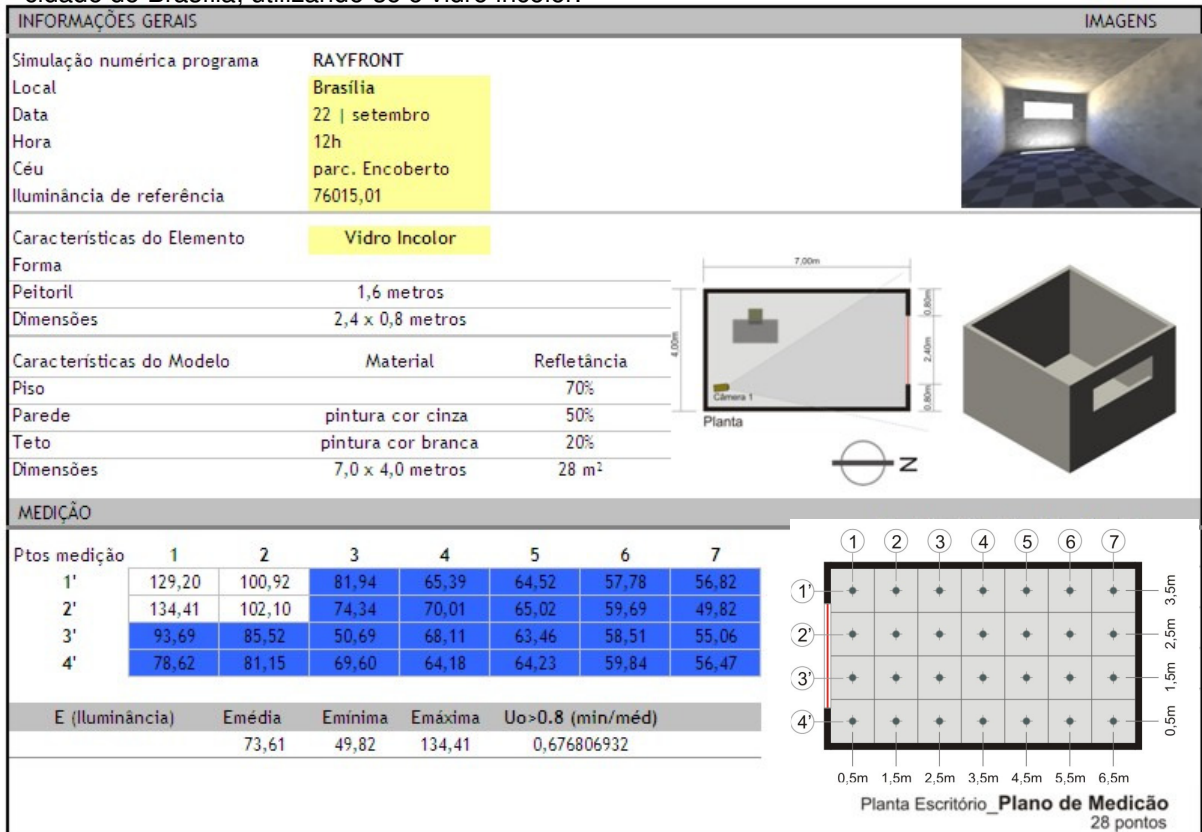
**Tabela 8.12:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



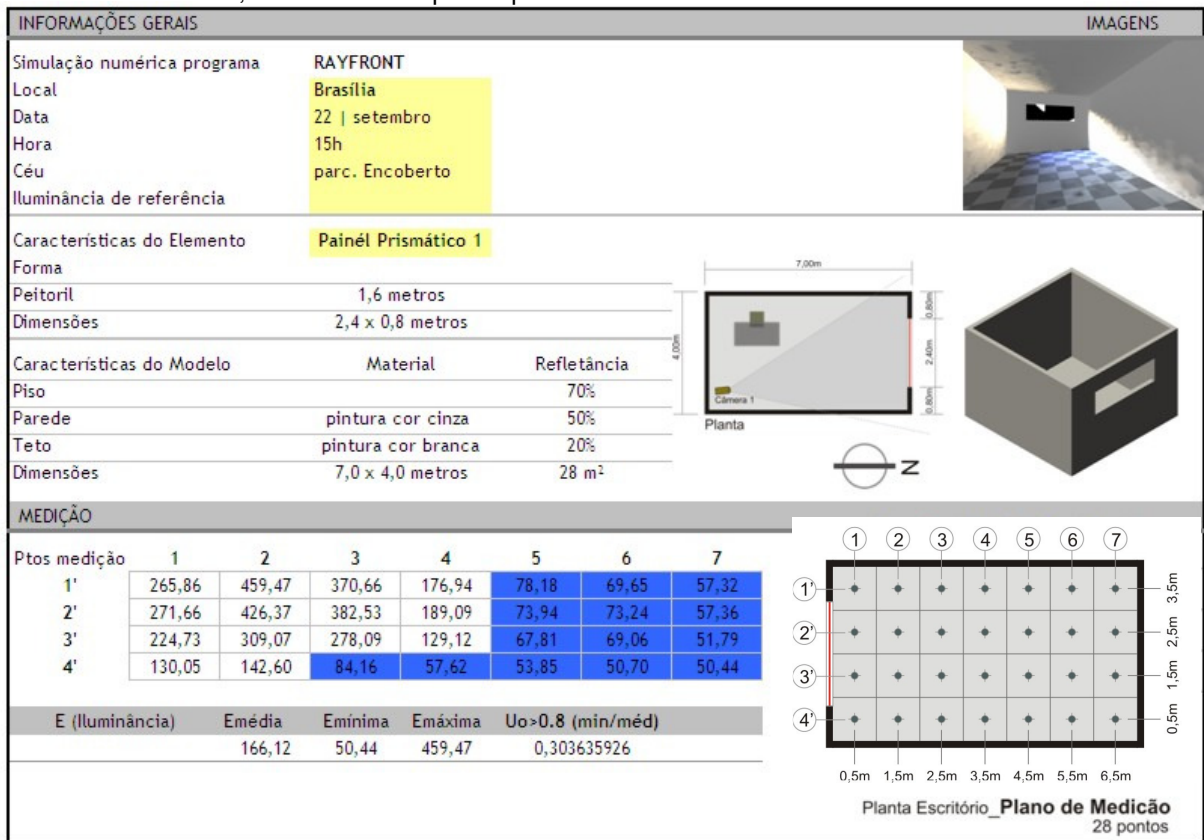
**Tabela 8.13:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



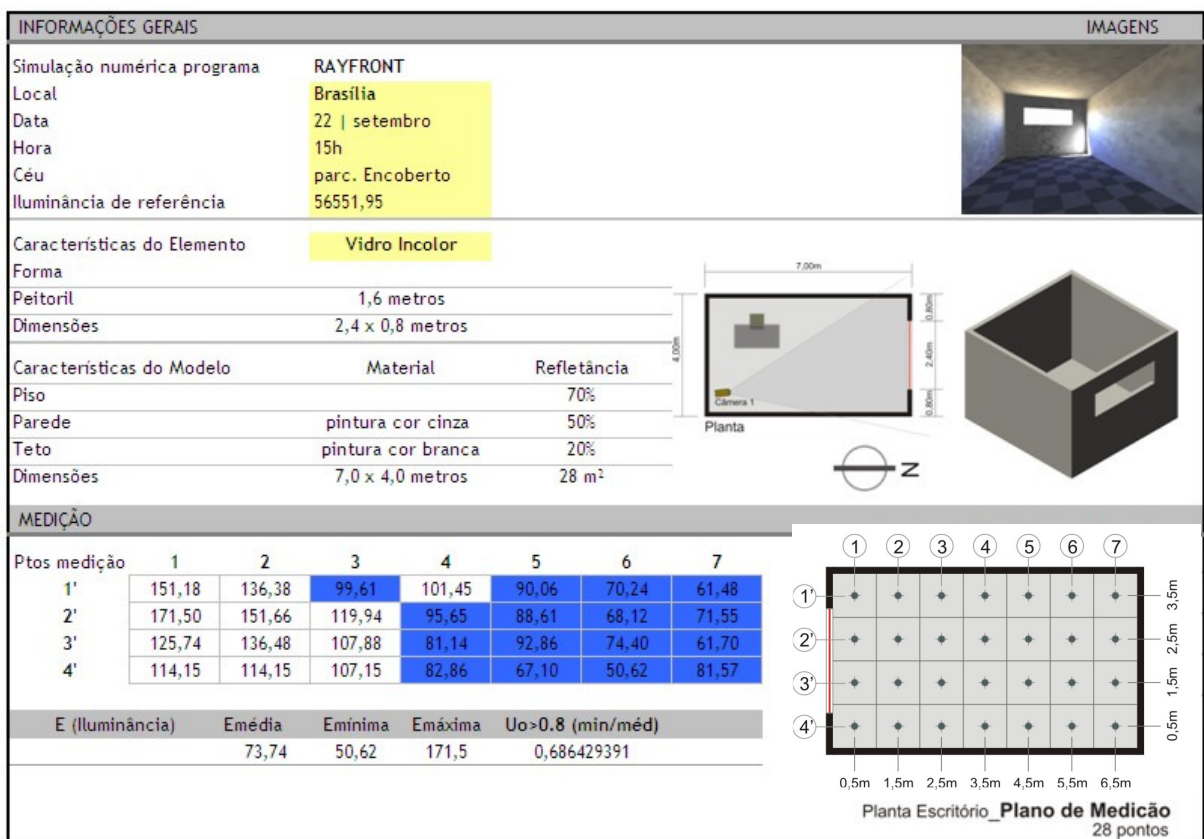
**Tabela 8.14:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.



**Tabela 8.15:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o painel prismático.



**Tabela 8.16:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Brasília, utilizando-se o vidro incolor.





Comparativo entre Iluminâncias | Brasília

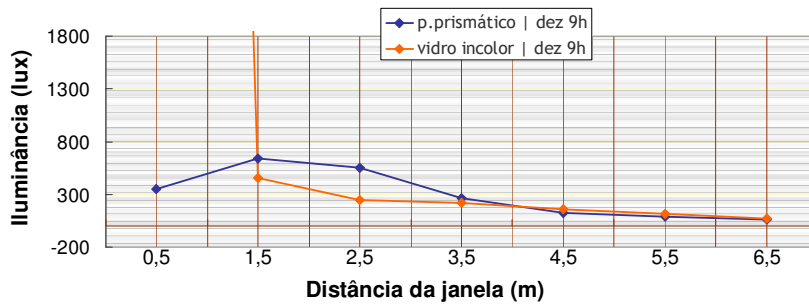


Figura 8.17: Gráfico comparativo entre vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de dezembro para Brasília.

Comparativo entre Iluminâncias | Brasília

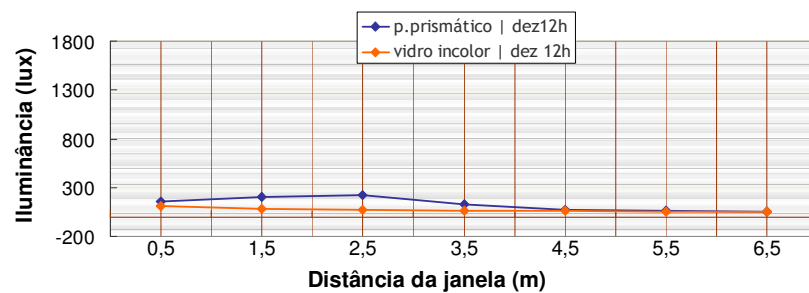


Figura 8.18: Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de dezembro para Brasília.

Comparativo entre Iluminâncias | Brasília

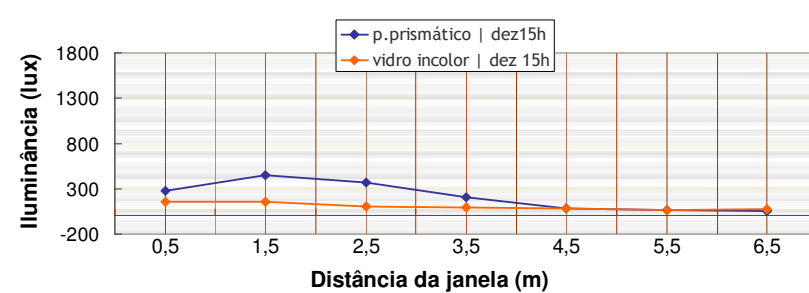


Figura 8.19: Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de dezembro para Brasília.

Comparativo entre Iluminâncias | Brasília

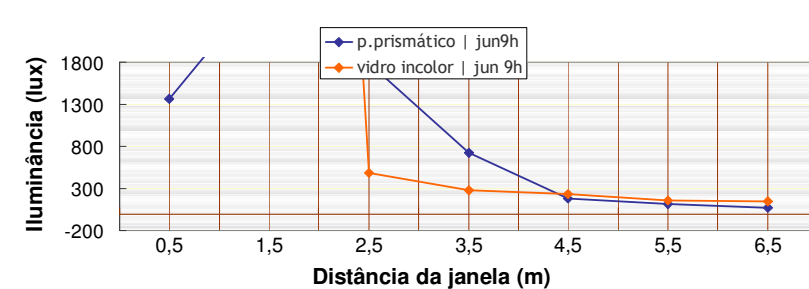


Figura 8.20: Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de junho para Brasília.

Comparativo entre Iluminâncias | Brasília

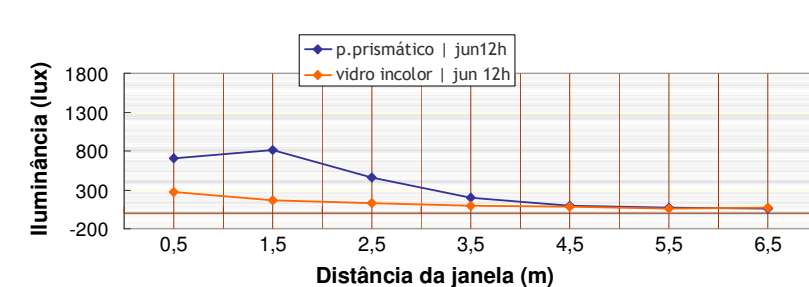
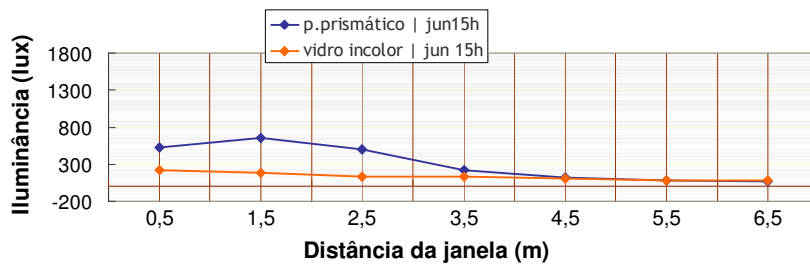


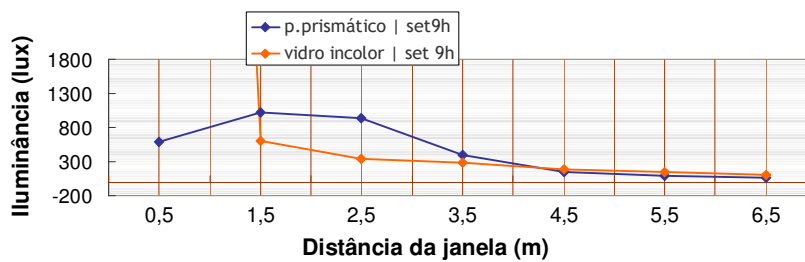
Figura 8.21: Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de junho para Brasília.

**Comparativo entre Iluminâncias | Brasília**



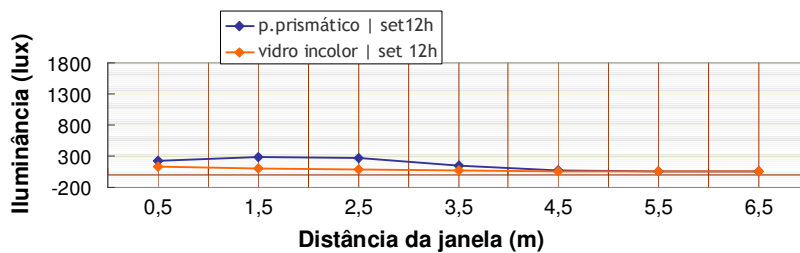
**Figura 8.22:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de junho para Brasília.

**Comparativo entre Iluminâncias | Brasília**



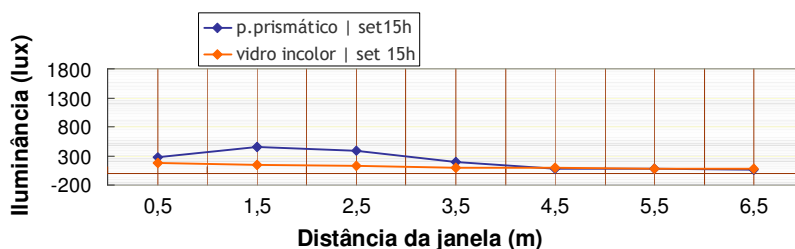
**Figura 8.23:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de setembro para Brasília.

**Comparativo entre Iluminâncias | Brasília**



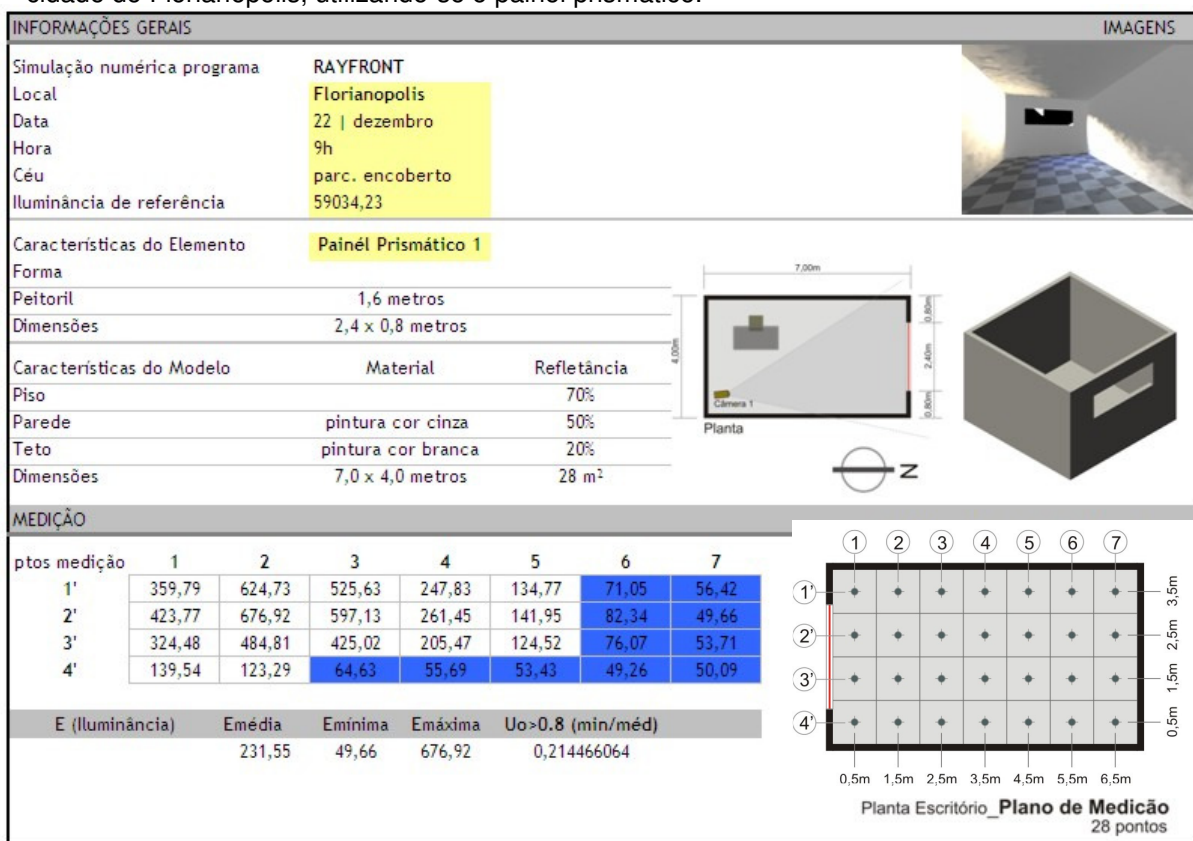
**Figura 8.24:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de setembro para Brasília.

**Comparativo entre Iluminâncias | Brasília**

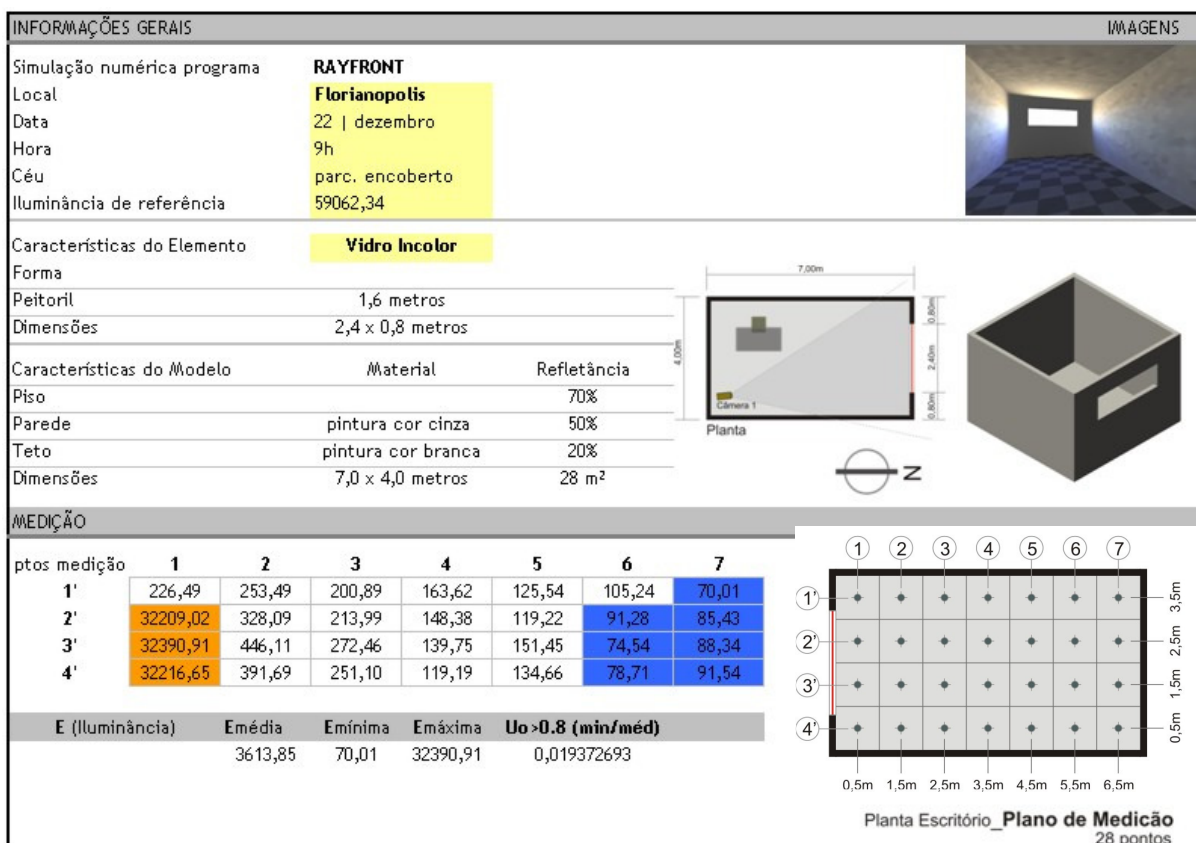


**Figura 8.25:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de setembro para Brasília.

**Tabela 8.26:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.



**Tabela 8.27:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.



**Tabela 8.28:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianopolis</b>							
Data	22   dezembro							
Hora	12h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	78240,05							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Painél Prismático 1</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
Material	Refletância							
Piso	70%							
Parede	pintura cor cinza 50%							
Teto	pintura cor branca 20%							
Dimensões	7,0 x 4,0 metros 28 m <sup>2</sup>							
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
1'	161,14	216,19	214,39	129,70	71,76	55,10	50,09	
2'	131,66	178,72	172,37	104,06	62,59	51,05	50,54	
3'	114,10	125,41	105,67	80,95	61,10	55,71	50,33	
4'	125,06	146,87	80,22	66,40	49,26	51,12	50,54	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	100,43	49,26	216,19	0,490480424				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								28 pontos

**Tabela 8.29:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianopolis</b>							
Data	22   dezembro							
Hora	12h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	78250,13							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Vidro Incolor</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
Material	Refletância							
Piso	70%							
Parede	pintura cor cinza 50%							
Teto	pintura cor branca 20%							
Dimensões	7,0 x 4,0 metros 28 m <sup>2</sup>							
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
1'	93,38	73,16	66,25	57,93	57,48	55,87	57,51	
2'	100,79	79,88	68,70	60,50	59,92	56,22	54,13	
3'	82,70	74,85	63,83	59,72	58,29	54,83	50,22	
4'	70,29	68,55	61,52	58,10	56,77	51,64	56,42	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	64,62	50,22	100,79	0,777120119				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								28 pontos

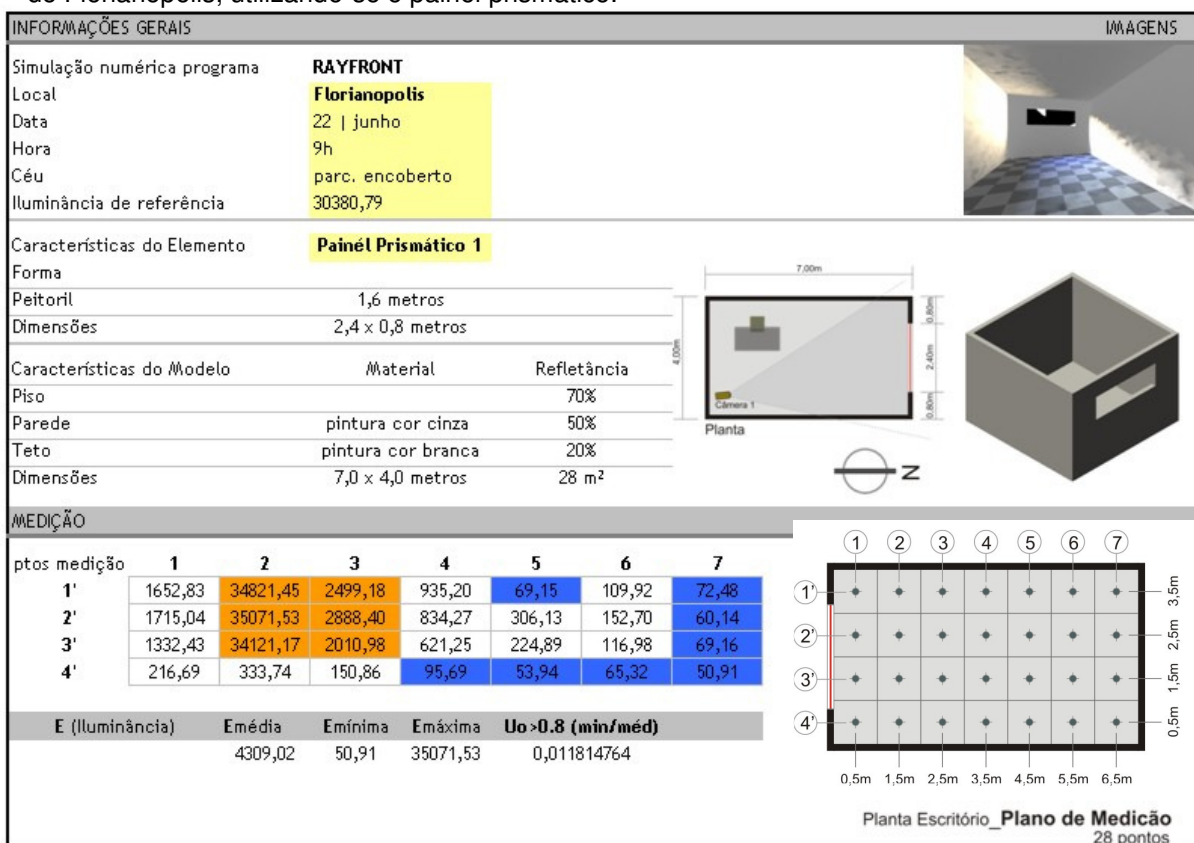
**Tabela 8.30:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   dezembro							
Hora	15h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	63207,43							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Painel Prismático 1</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
Material	Refletância							
Piso	70%							
Parede	pintura cor cinza 50%							
Teto	pintura cor branca 20%							
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDICÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	256,30	393,50	342,11	166,29	87,62	66,09	52,29	
2'	272,05	394,13	355,79	182,67	72,63	62,90	58,15	
3'	192,78	256,81	223,81	135,36	76,93	64,04	51,52	
4'	127,62	140,15	79,32	56,38	53,43	50,69	50,03	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	154,34	50,03	394,13	0,324164216				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>

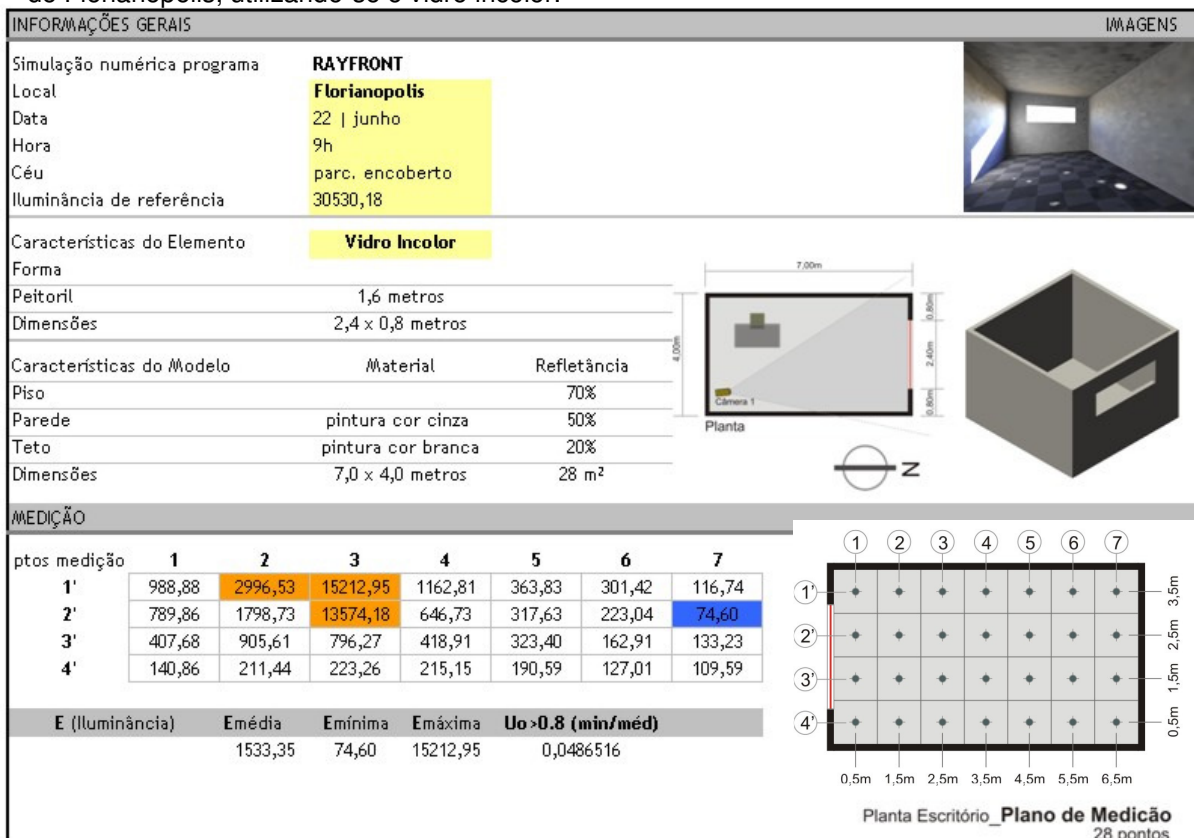
**Tabela 8.31:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   dezembro							
Hora	15h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	63269							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Vidro Incolor</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
Material	Refletância							
Piso	70%							
Parede	pintura cor cinza 50%							
Teto	pintura cor branca 20%							
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDICÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	127,03	116,33	91,20	72,23	76,25	56,87	50,11	
2'	148,56	130,87	107,48	96,60	71,33	61,41	59,76	
3'	114,24	112,78	98,51	71,21	80,54	69,25	58,36	
4'	95,16	104,32	86,31	75,81	70,70	58,07	59,41	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	86,45	50,11	148,56	0,579617466				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>

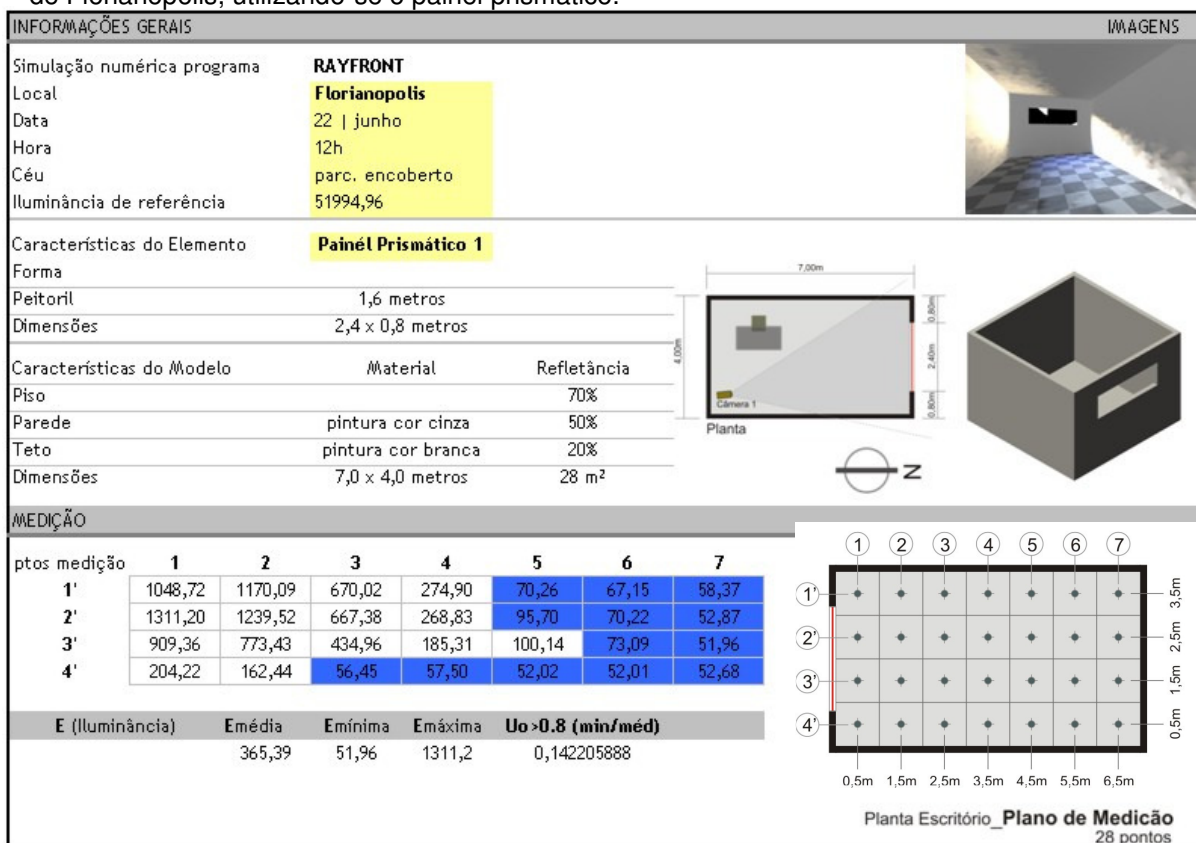
**Tabela 8.32:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.



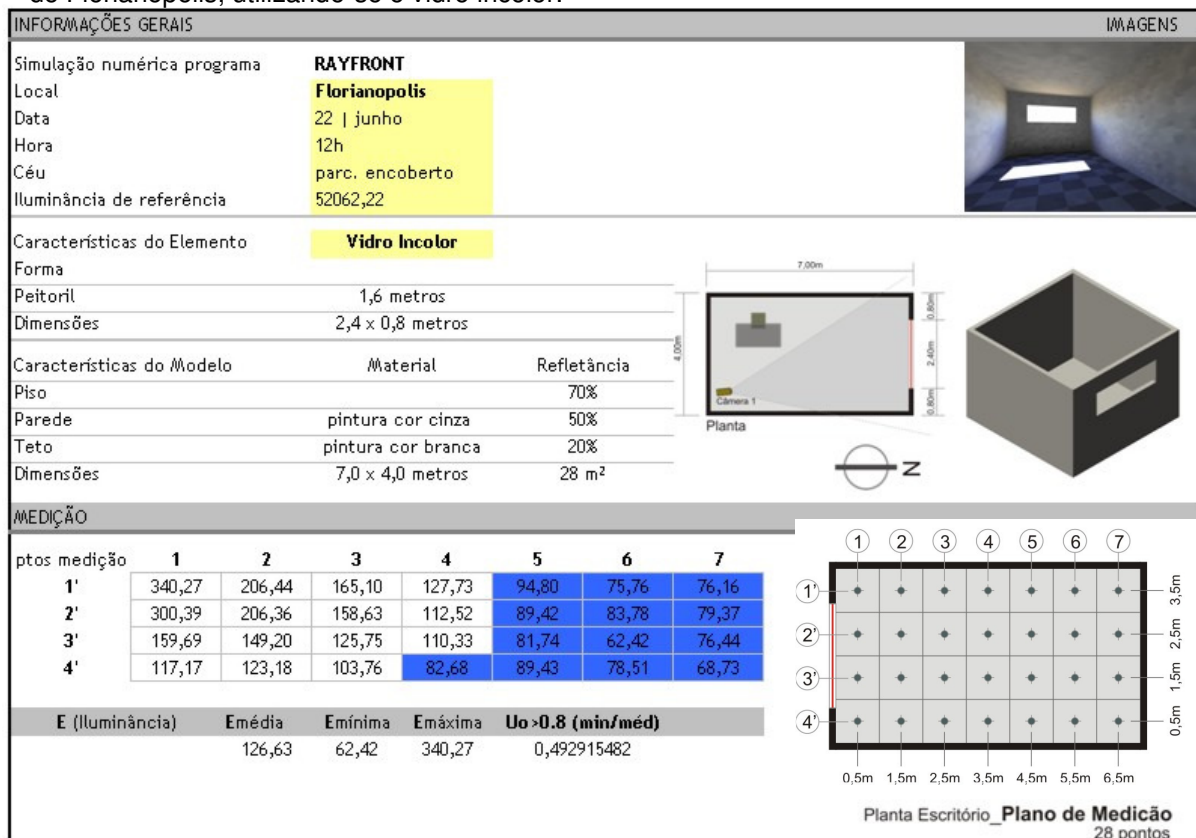
**Tabela 8.33:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.



**Tabela 8.34:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.



**Tabela 8.35:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.



**Tabela 8.36:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianopolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	9h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	49870,42							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Painel Prismático 1</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	726,04	133,62	1102,46	461,82	211,41	92,46	64,92	
2'	815,96	1604,16	1143,67	513,56	62,12	99,31	64,84	
3'	616,26	1152,74	983,35	385,29	159,64	98,98	54,51	
4'	181,99	213,06	139,82	58,11	66,20	53,69	52,11	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	404,00	52,11	1604,16	0,128984008				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>

**Tabela 8.37:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianopolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	9h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	49884,3							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Vidro Incolor</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metro							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	25983,66	566,66	356,95	293,01	198,15	153,98	129,58	
2'	26202,81	607,92	425,99	233,84	177,92	137,08	110,09	
3'	325,75	296,72	234,61	150,36	137,19	112,81	106,52	
4'	169,34	235,66	181,22	128,20	148,53	96,60	100,44	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	2071,49	96,60	26202,81	0,046633204				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>



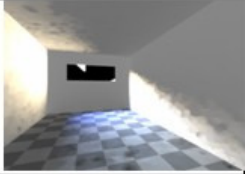
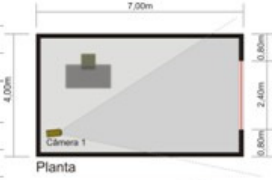
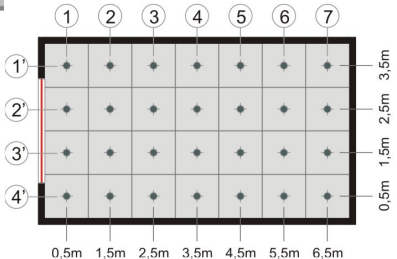
**Tabela 8.38:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	12h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	70529,09							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Painel Prismático 1</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	364,91	457,88	335,88	171,53	57,73	59,86	54,95	
2'	404,59	479,62	305,25	176,43	86,70	61,30	51,75	
3'	313,17	311,79	217,13	115,35	72,55	61,80	53,03	
4'	126,06	134,09	92,38	57,44	53,36	50,33	49,96	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	170,60	49,96	479,62	0,292847543				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								28 pontos


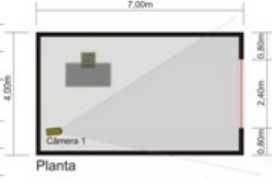
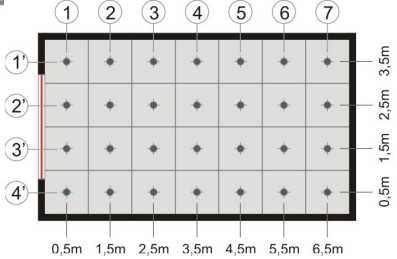
**Tabela 8.39:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

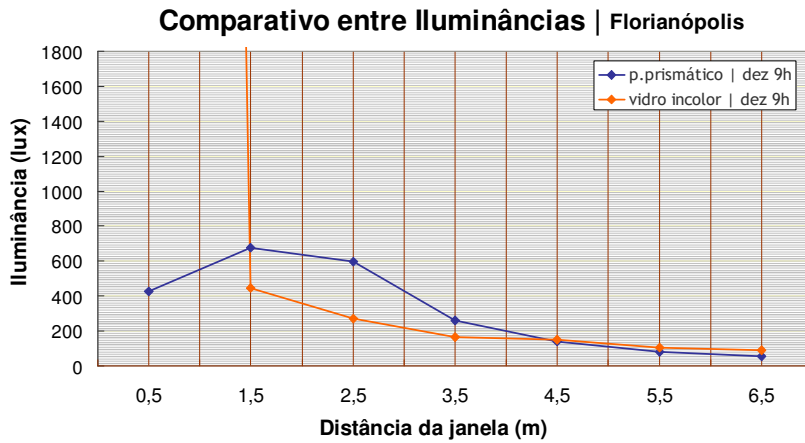
INFORMAÇÕES GERAIS		IMAGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	12h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	70660,91							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Vidro Incolor</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDIÇÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	167,44	115,48	76,91	78,67	73,76	65,86	64,22	
2'	186,45	130,67	92,21	84,40	71,91	65,49	65,02	
3'	118,85	106,87	86,39	79,03	73,15	56,61	56,61	
4'	88,23	98,31	79,66	73,91	71,33	60,75	60,52	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	87,45	56,61	186,45	0,647312258				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								28 pontos

**Tabela 8.40:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o painel prismático.

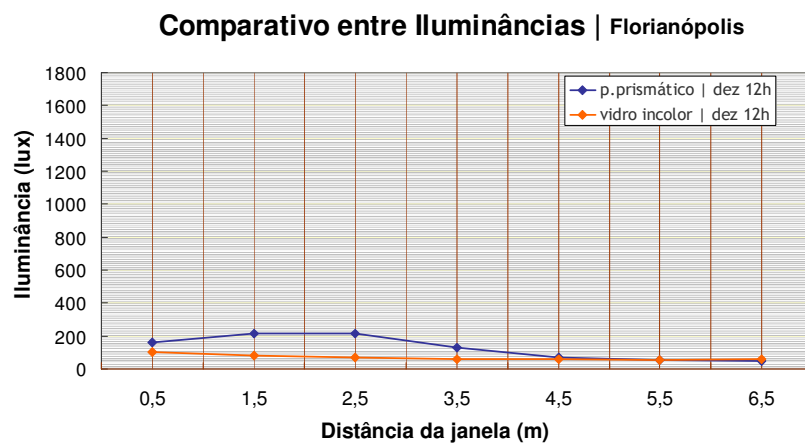
INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	15h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	53004,98							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Painel Prismático 1</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDICÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	400,91	521,44	372,59	210,42	95,49	51,66	57,47	
2'	388,68	503,64	424,54	228,72	80,68	69,30	52,69	
3'	283,33	348,14	303,66	157,14	88,72	51,64	61,32	
4'	120,52	125,00	81,91	51,56	51,71	52,43	50,50	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	188,78	50,50	521,44	0,267508669				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>

**Tabela 8.41:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Florianópolis, utilizando-se o vidro incolor.

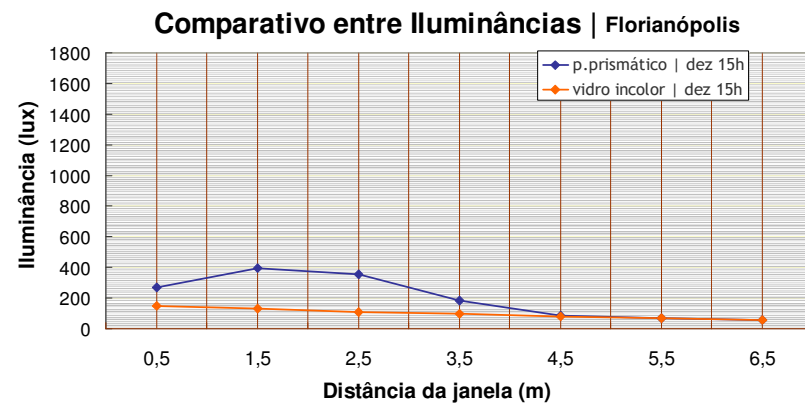
INFORMAÇÕES GERAIS		IMÁGENS						
Simulação numérica programa	<b>RAYFRONT</b>							
Local	<b>Florianópolis</b>							
Data	22   setembro							
Hora	15h							
Céu	parc. encoberto							
Iluminância de referência	53117,47							
<b>Características do Elemento</b>								
<b>Vidro Incolor</b>								
Forma								
Peitoril	1,6 metros							
Dimensões	2,4 x 0,8 metros							
<b>Características do Modelo</b>								
	Material	Refletância						
Piso		70%						
Parede	pintura cor cinza	50%						
Teto	pintura cor branca	20%						
Dimensões	7,0 x 4,0 metros	28 m <sup>2</sup>						
<b>MEDICÃO</b>								
ptos medição	1	2	3	4	5	6	7	
1'	127,17	124,53	114,45	92,66	80,09	74,32	72,07	
2'	153,99	148,27	116,98	104,31	73,57	70,72	57,31	
3'	146,65	147,01	115,32	98,89	89,72	75,47	63,16	
4'	109,72	129,36	102,97	99,05	85,69	83,53	61,63	
<b>E (Iluminância)</b>	<b>Emédia</b>	<b>Emínima</b>	<b>Emáxima</b>	<b>Uo &gt;0.8 (min/méd)</b>				
	100,66	57,31	153,99	0,569316081				
<b>Planta Escritório_Plano de Medição</b>								<b>28 pontos</b>



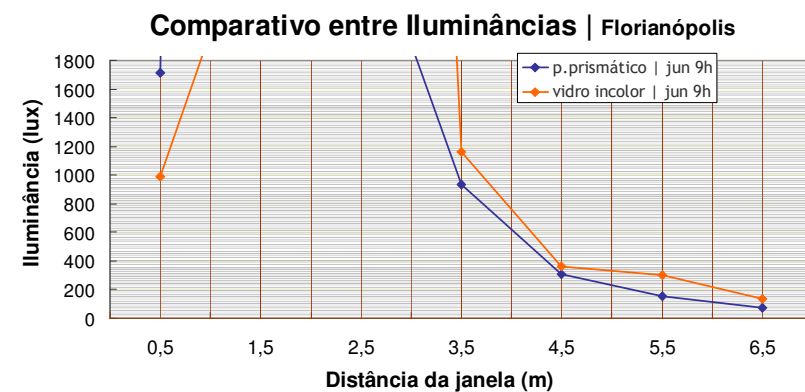
**Figura 8.42:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **9 horas de 22 de dezembro** para Florianópolis.



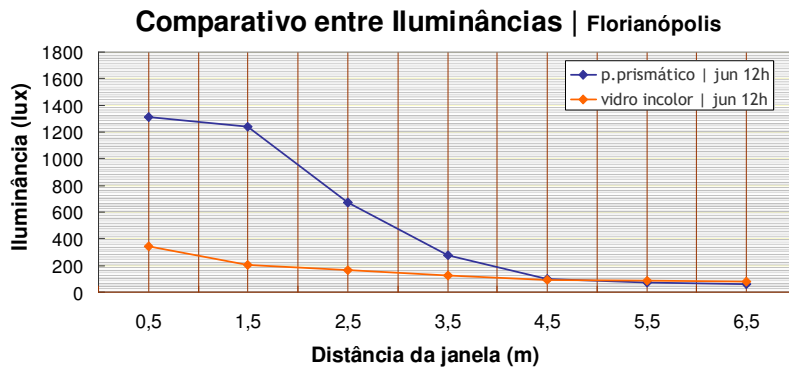
**Figura 8.43:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **12 horas de 22 de dezembro** para Florianópolis.



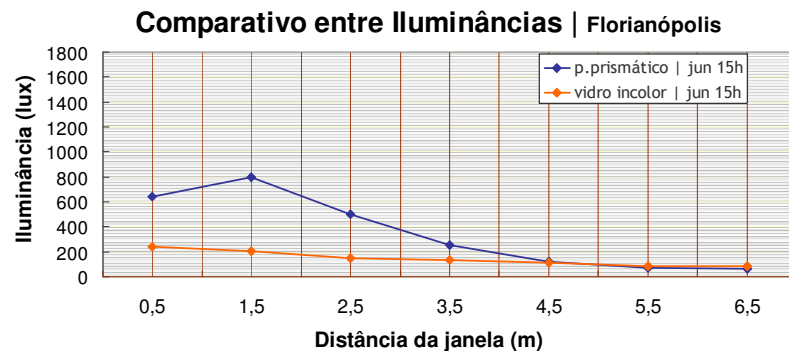
**Figura 8.44:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **15 horas de 22 de dezembro** para Florianópolis.



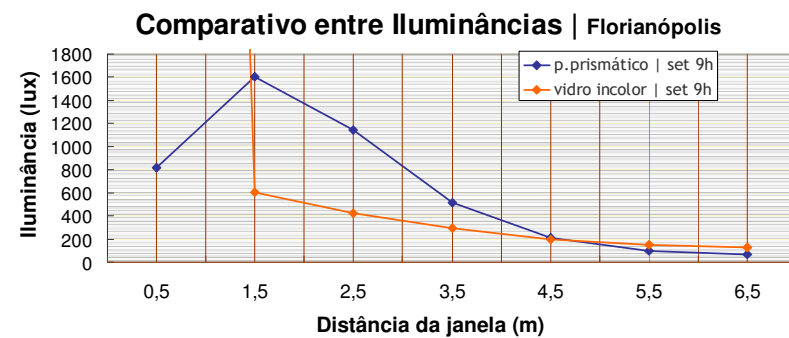
**Figura 8.45:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **9 horas de 22 de junho** para Florianópolis.



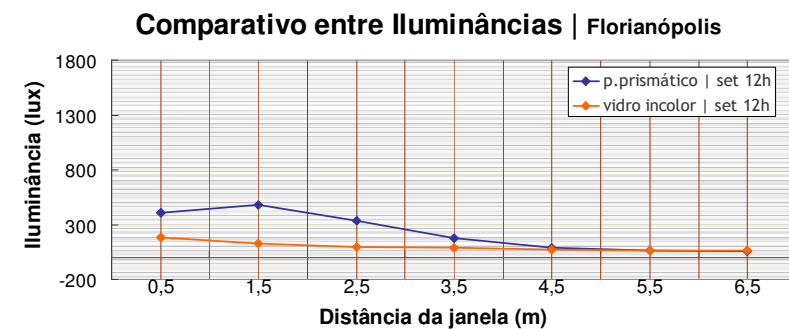
**Figura 8.46:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de junho para Florianópolis.



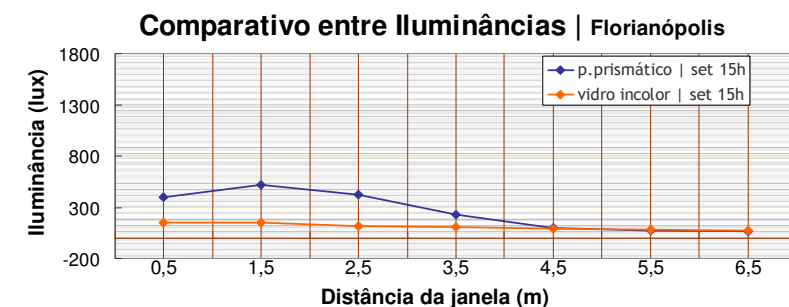
**Figura 8.47:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de junho para Florianópolis.



**Figura 8.48:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de setembro para Florianópolis.

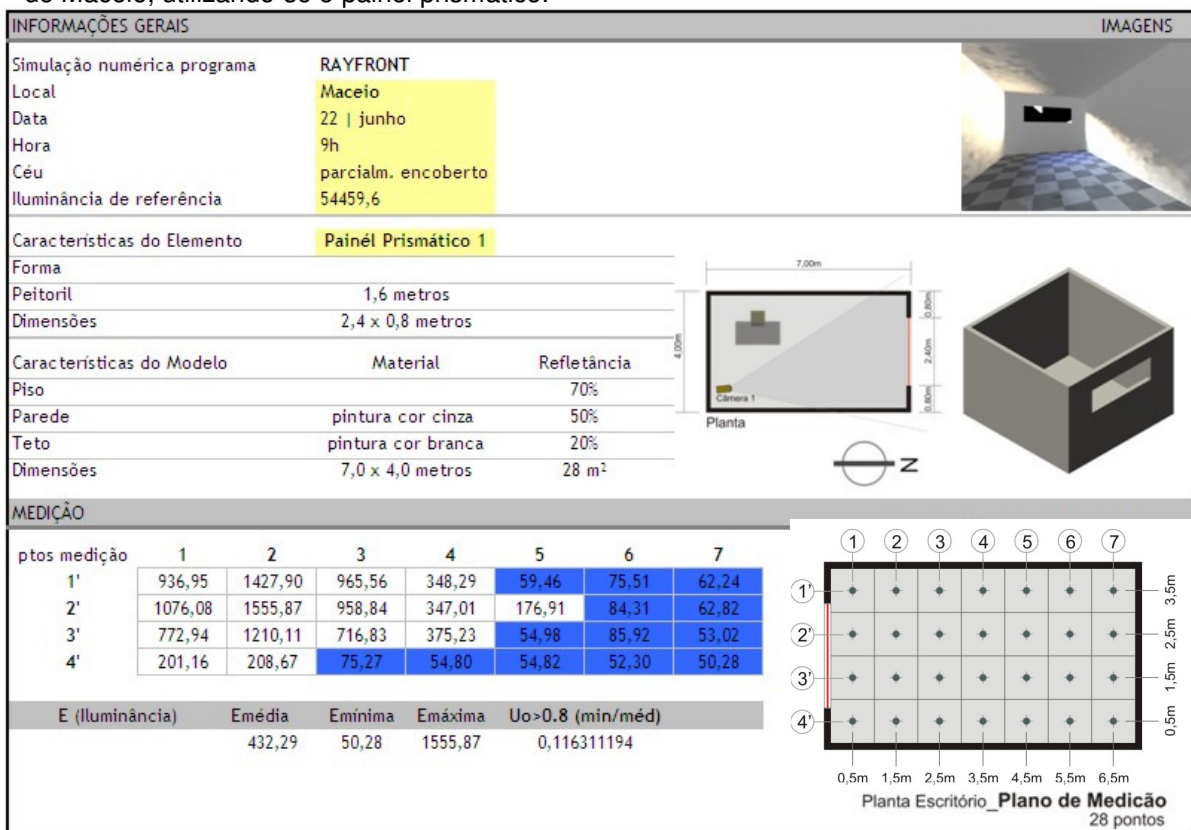


**Figura 8.49:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de setembro para Florianópolis.

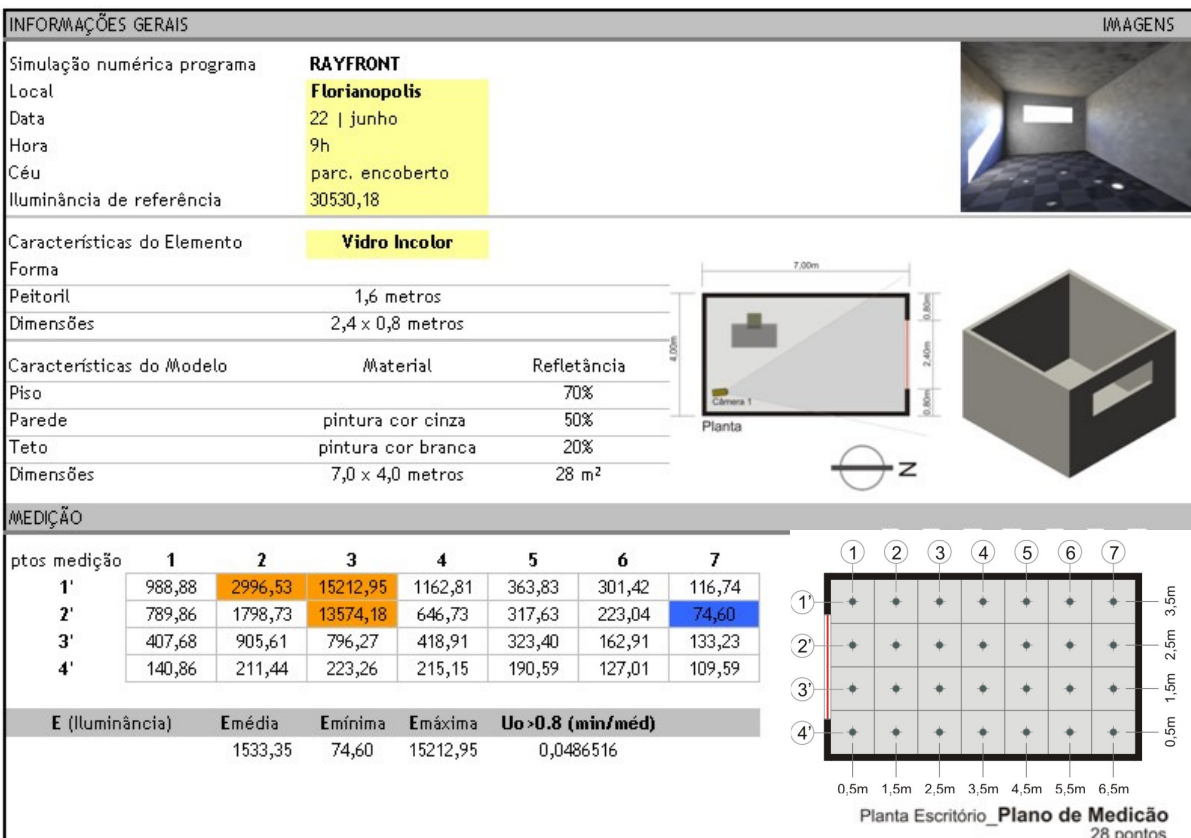


**Figura 8.50:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de setembro para Florianópolis.

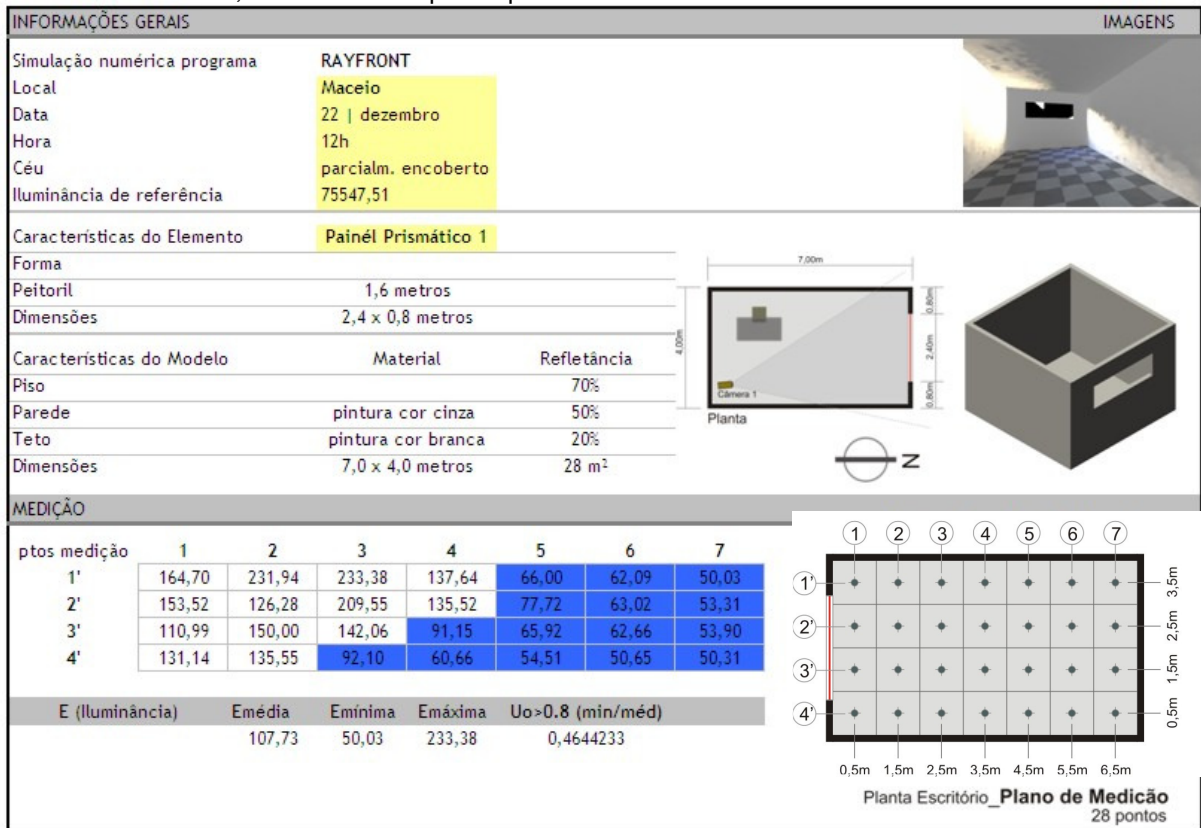
**Tabela 8.51:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



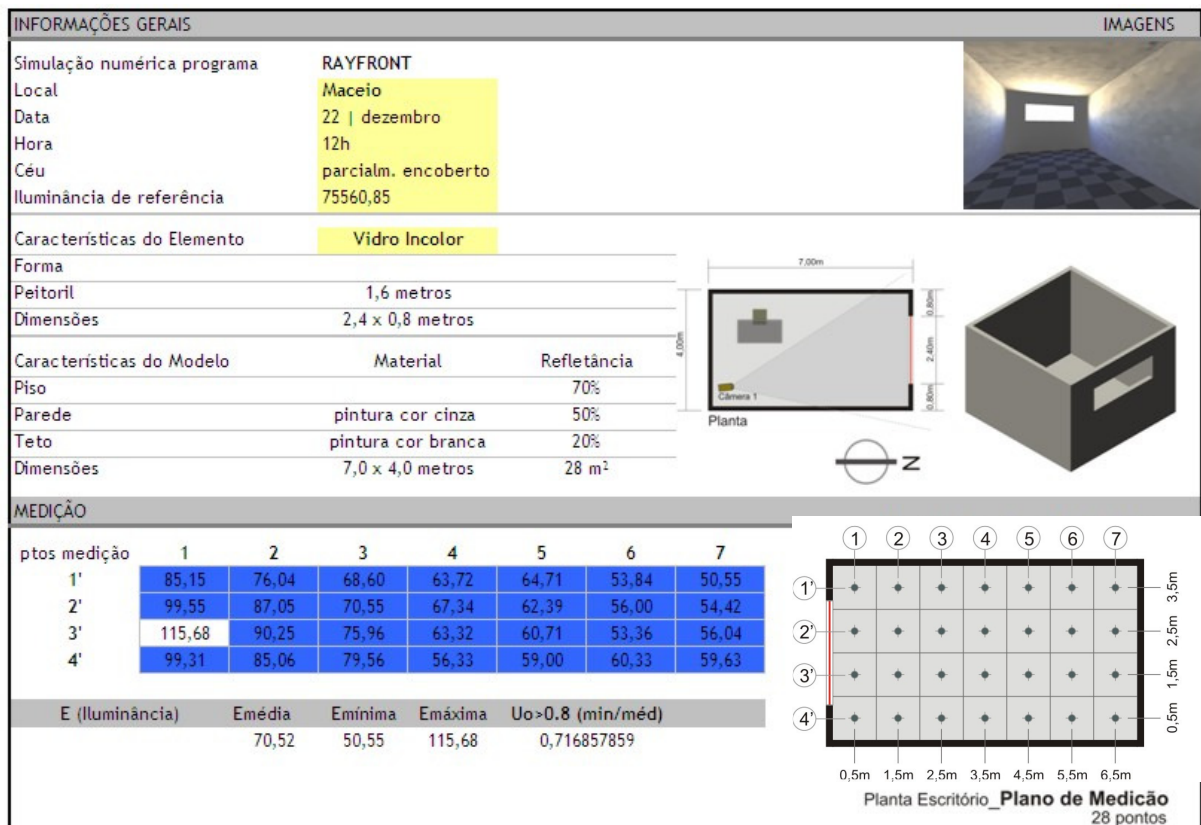
**Tabela 8.52:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.



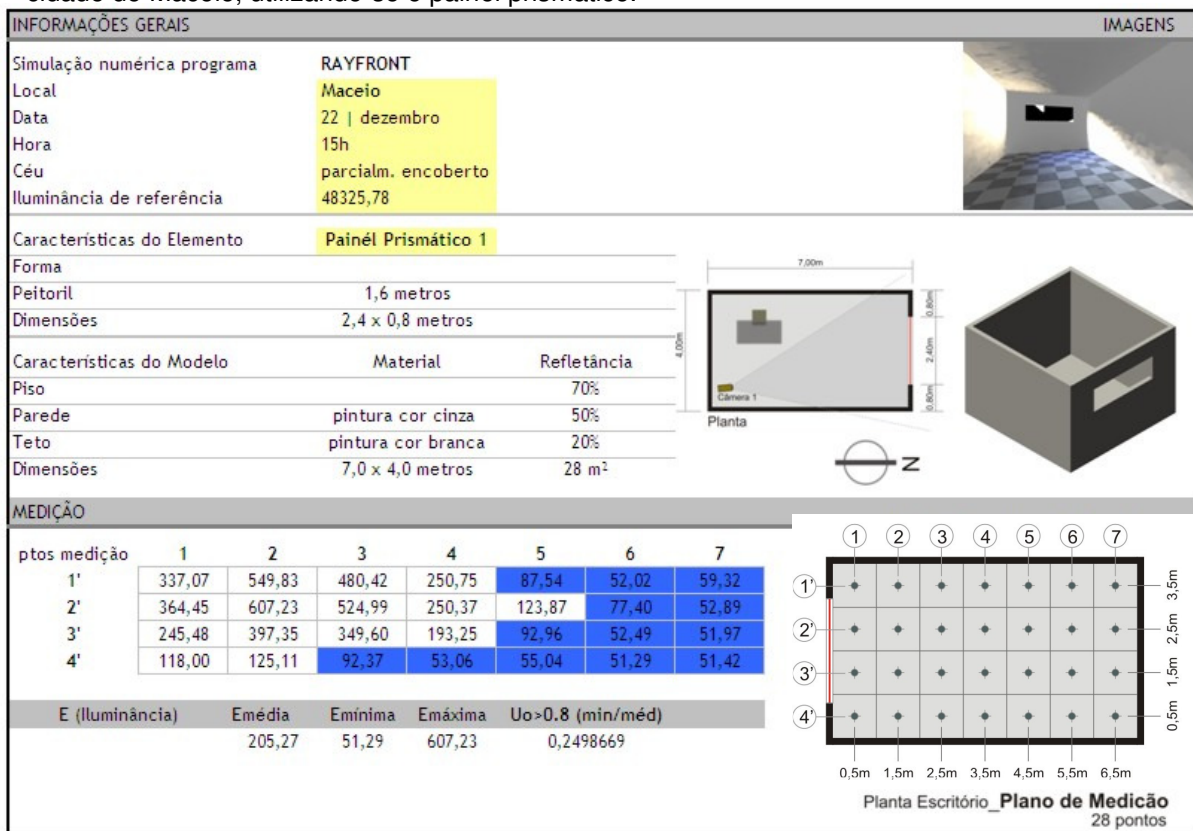
**Tabela 8.53:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



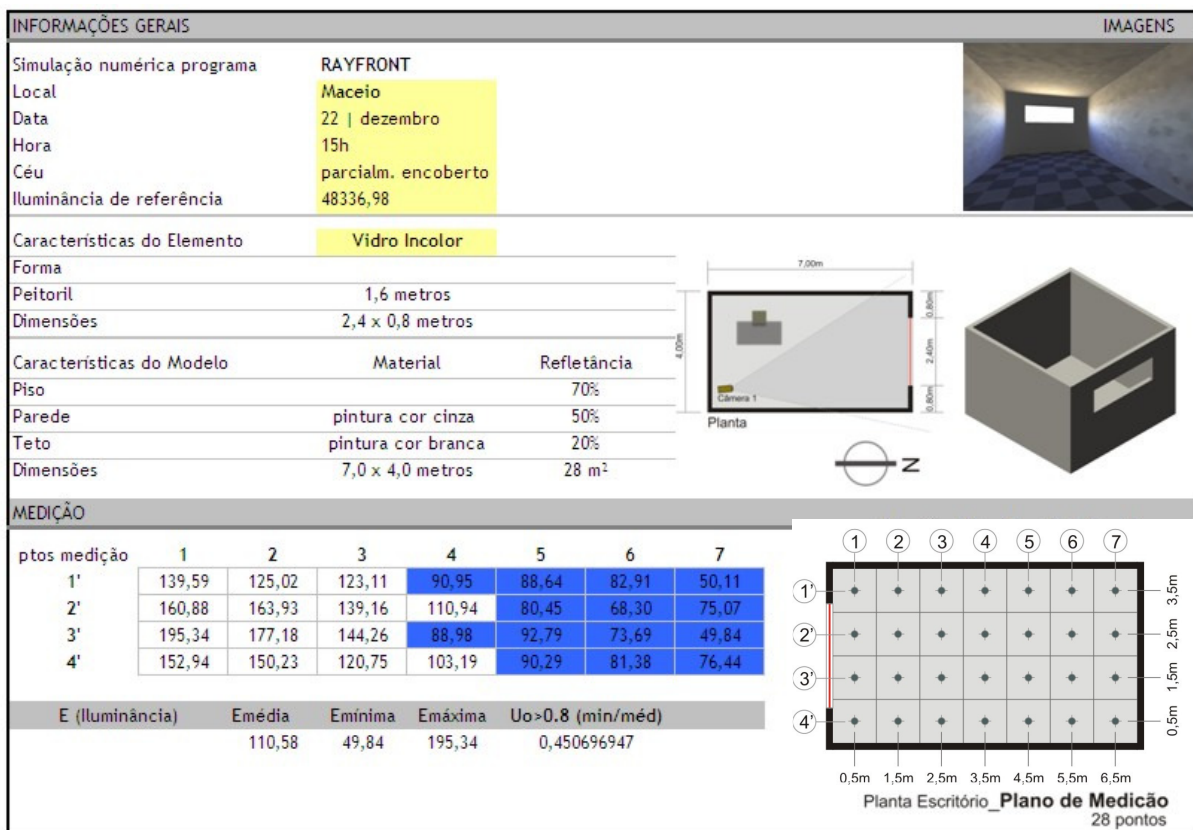
**Tabela 8.54:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 dezembro, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.



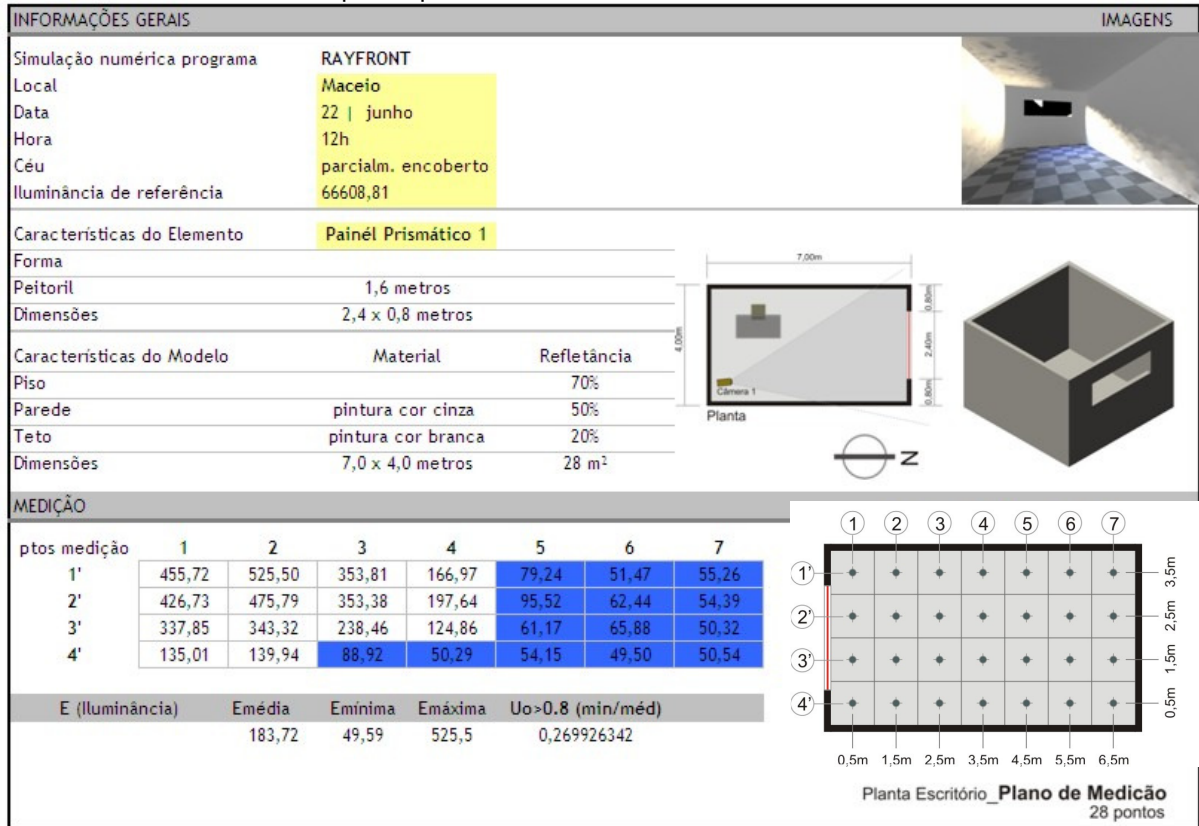
**Tabela 8.55:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



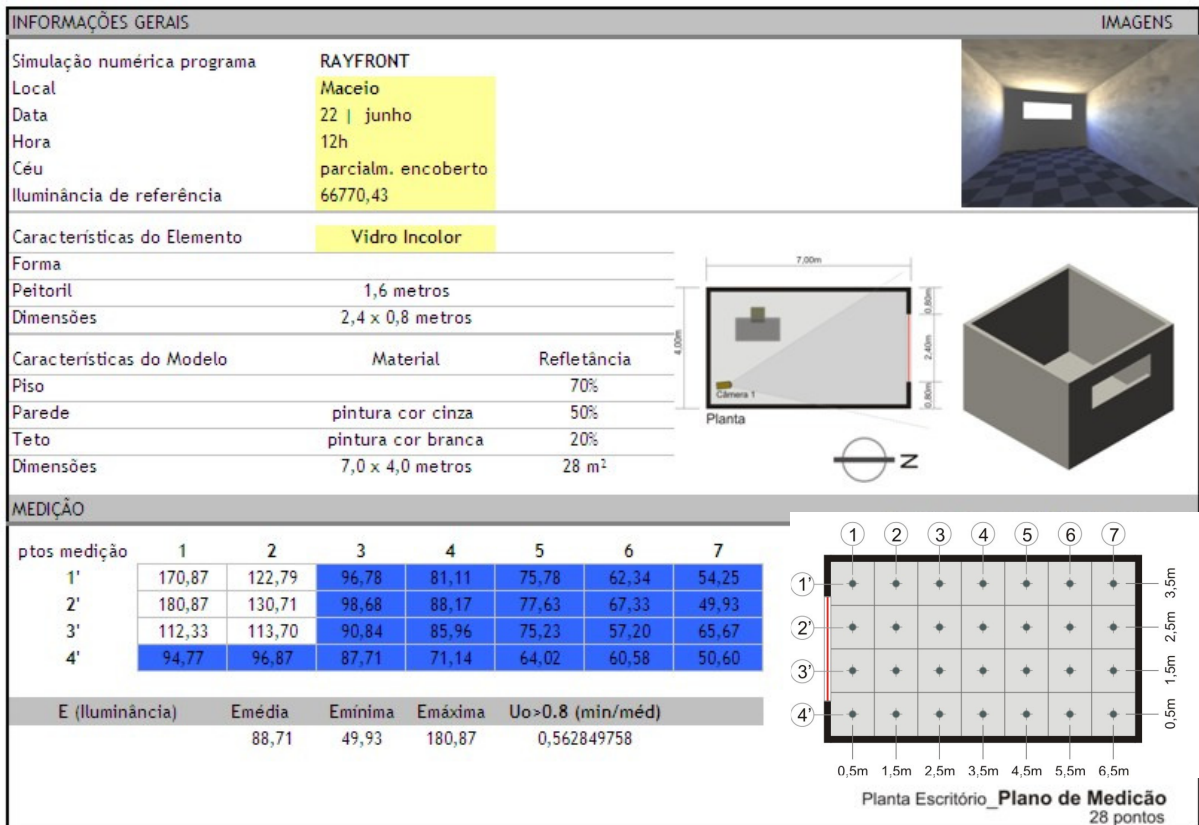
**Tabela 8.56:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 dezembro, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.



**Tabela 8.57:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.

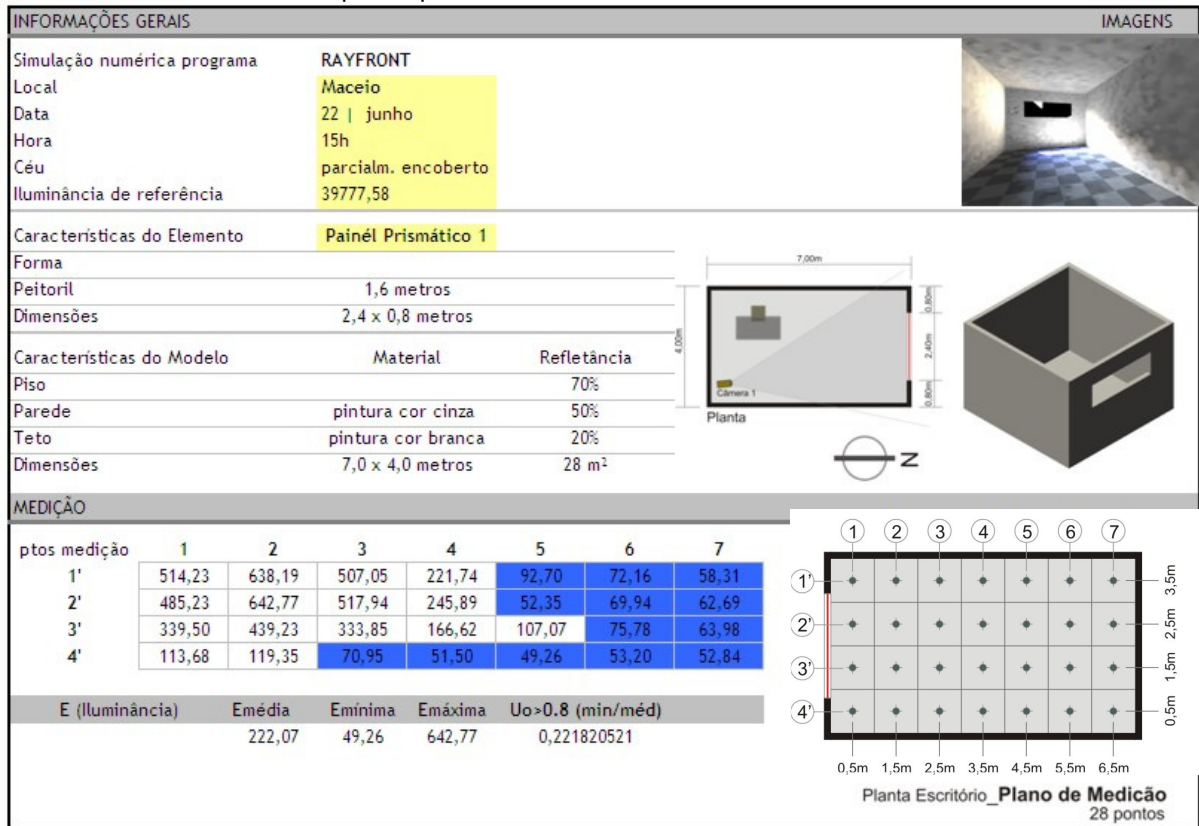


**Tabela 8.58:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

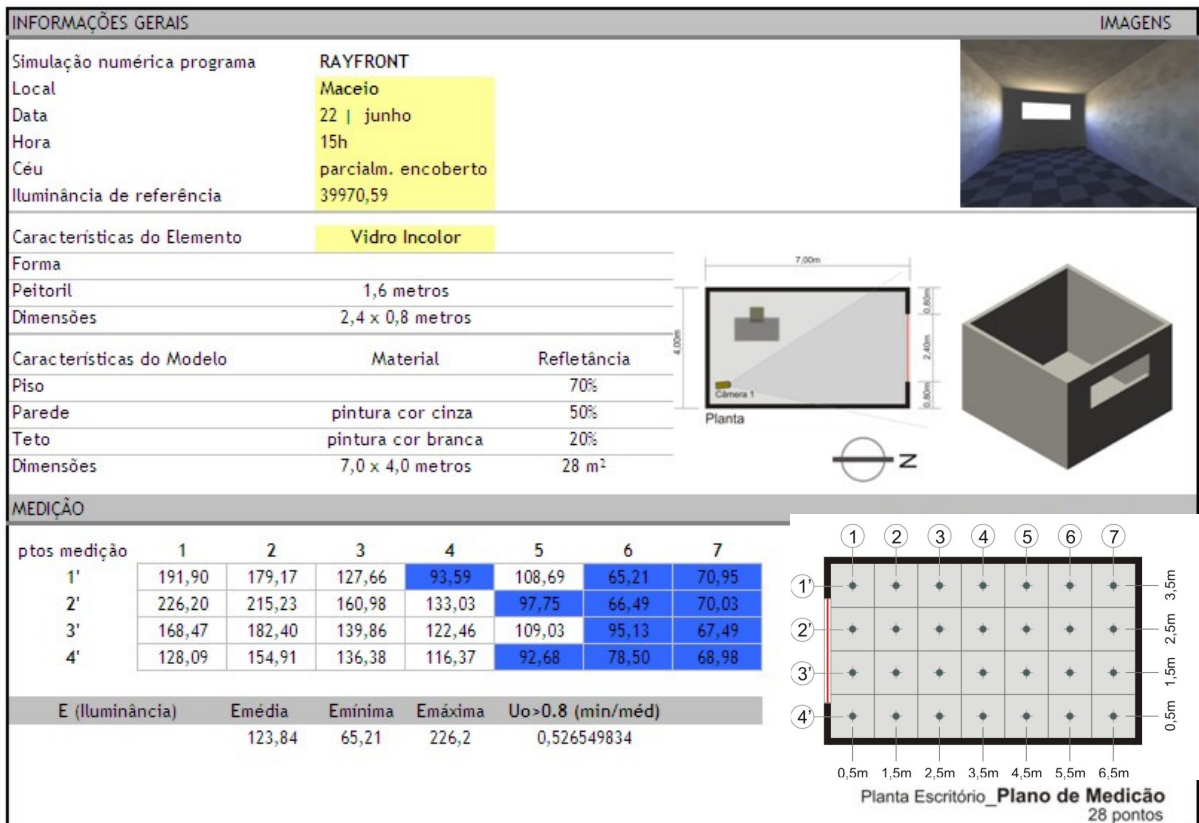




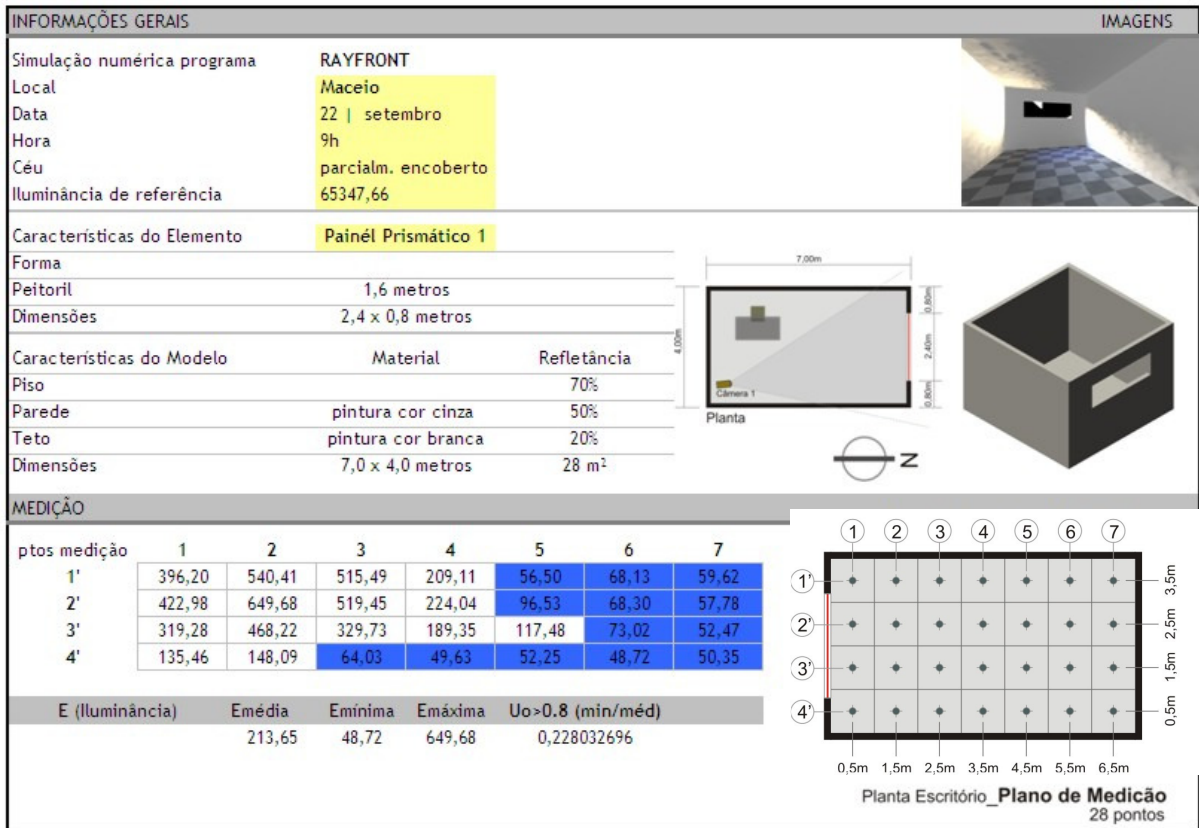
**Tabela 8.59:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



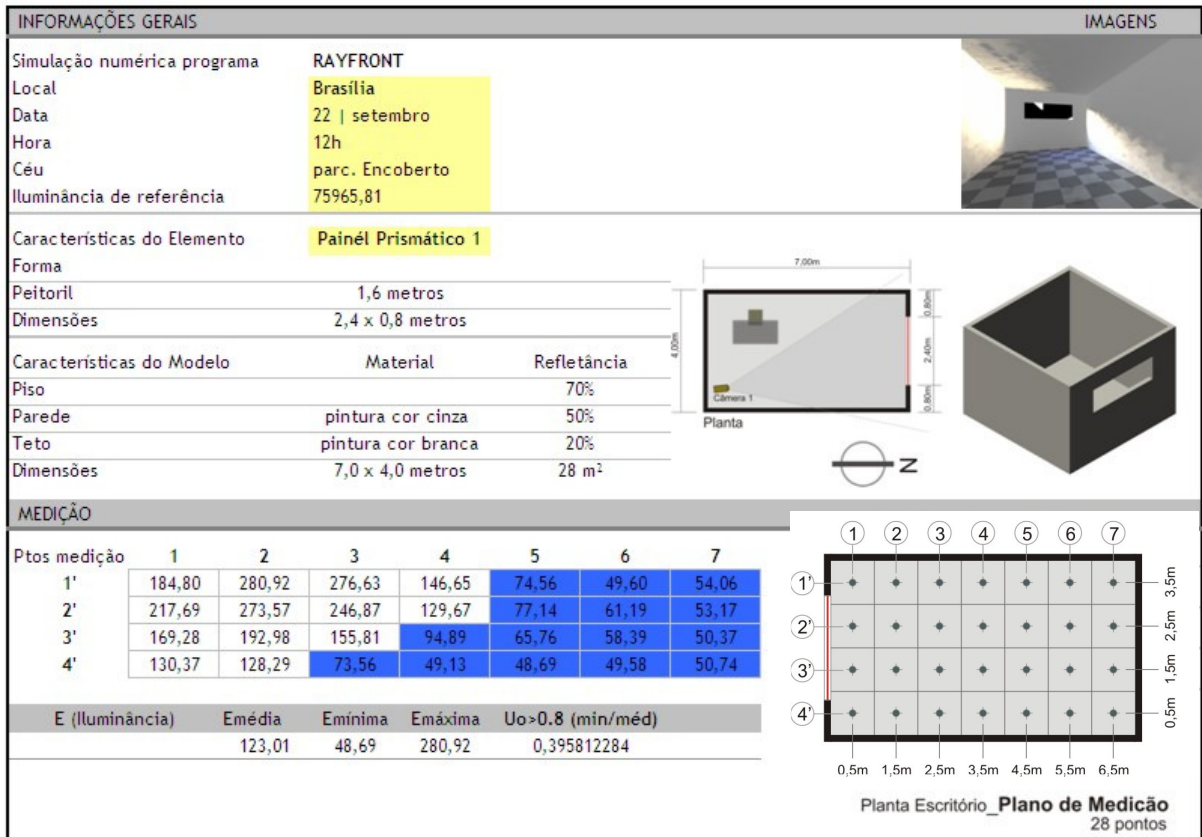
**Tabela 8.60:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 junho, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.



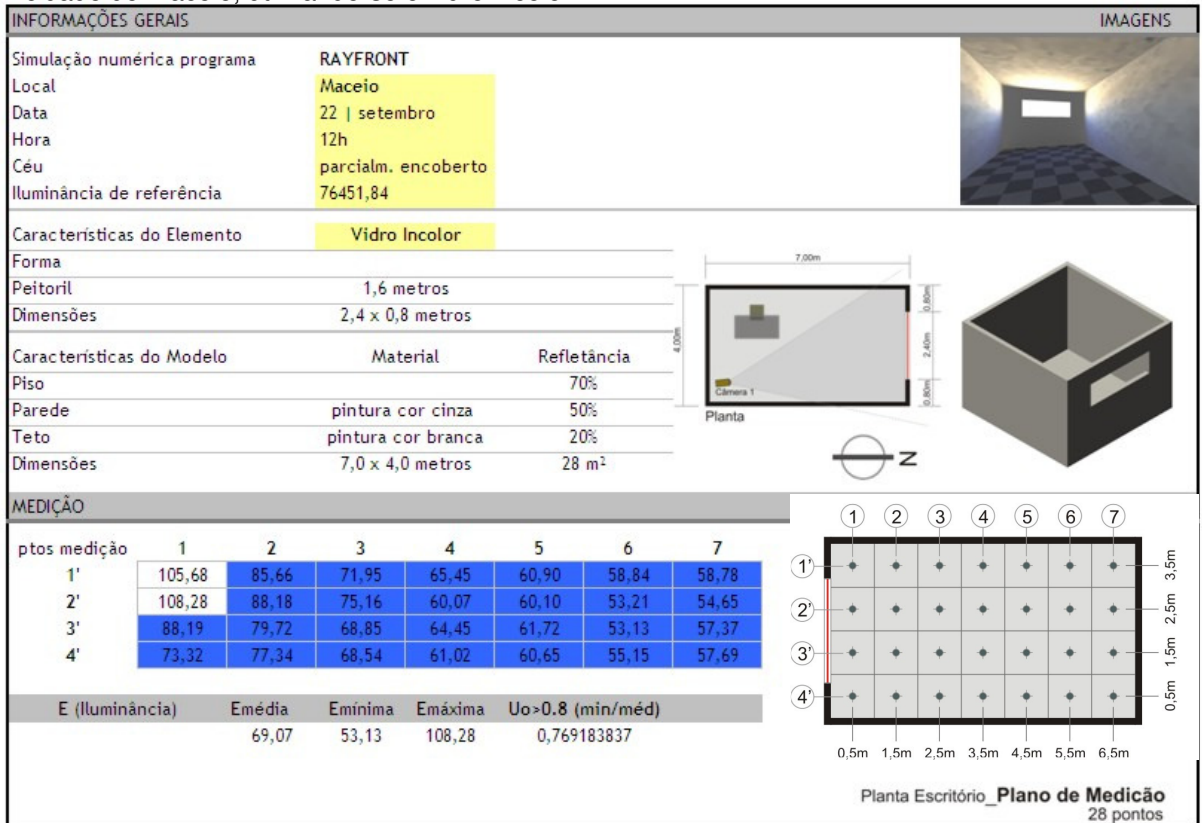
**Tabela 8.61:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 9 horas, dia 22 setembro, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



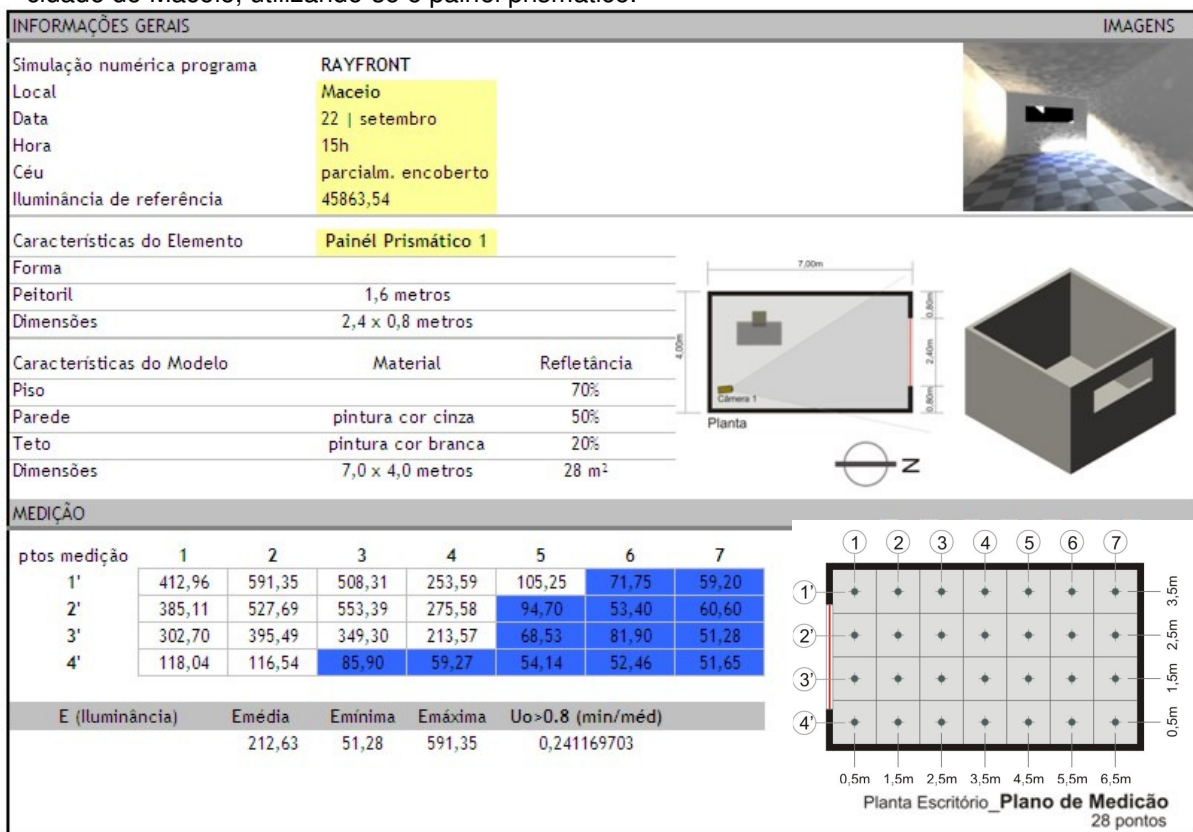
**Tabela 8.62:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.



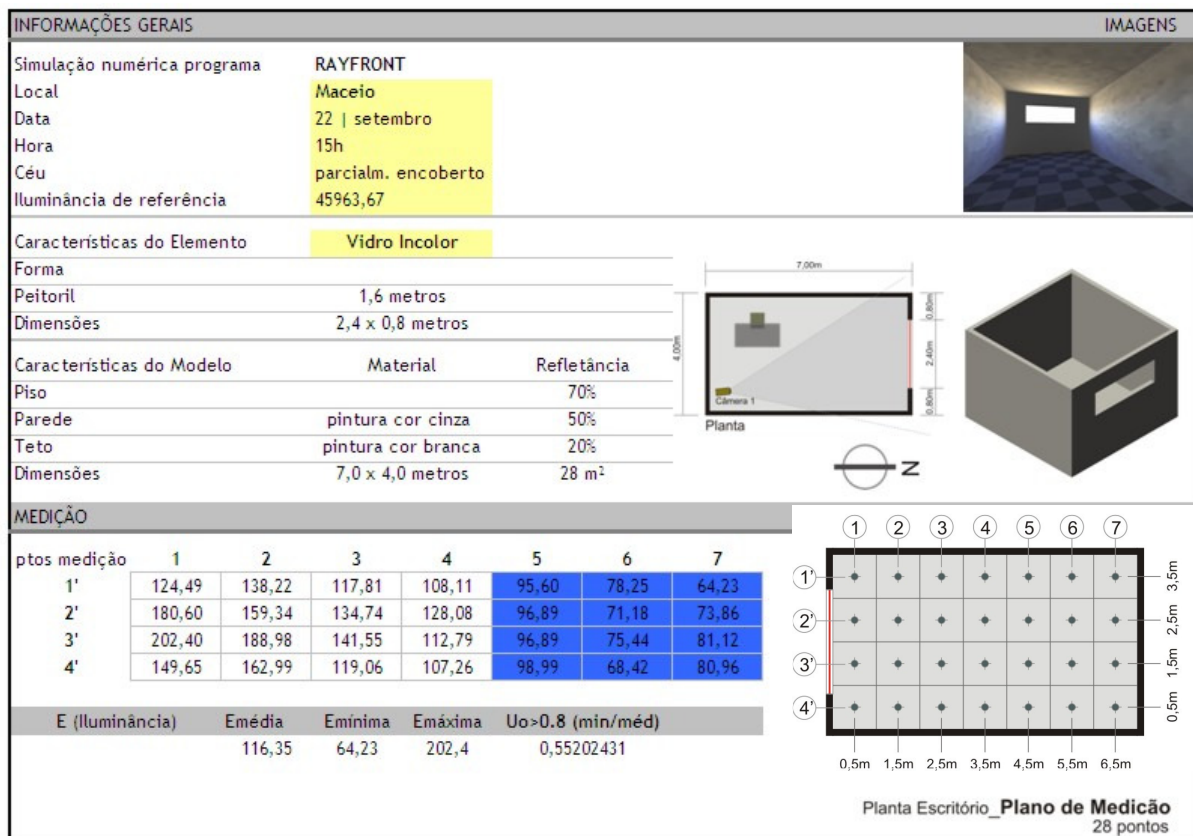
**Tabela 8.63:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 12 horas, dia 22 setembro, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

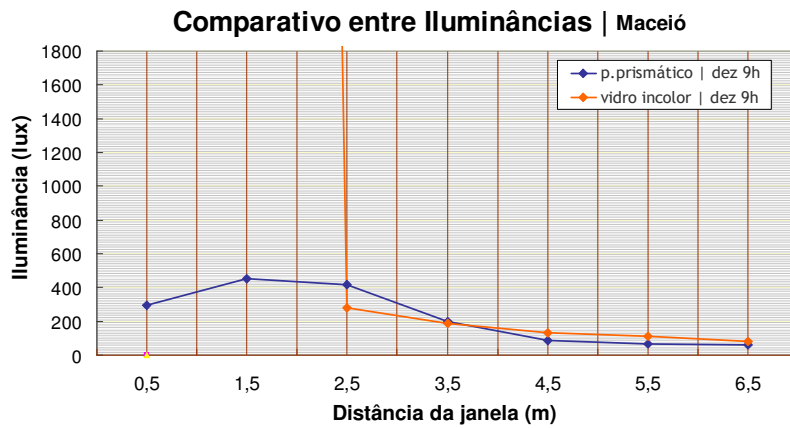


**Tabela 8.64:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Maceió, utilizando-se o painel prismático.

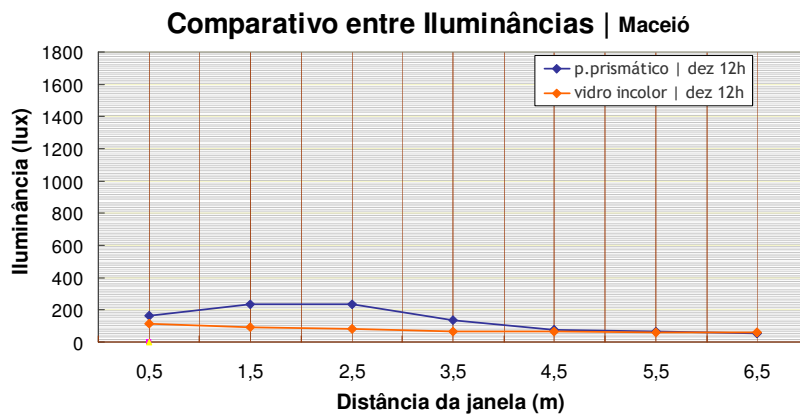


**Tabela 8.65:** Resultados das simulações no programa Rayfront, às 15 horas, dia 22 setembro, cidade de Maceió, utilizando-se o vidro incolor.

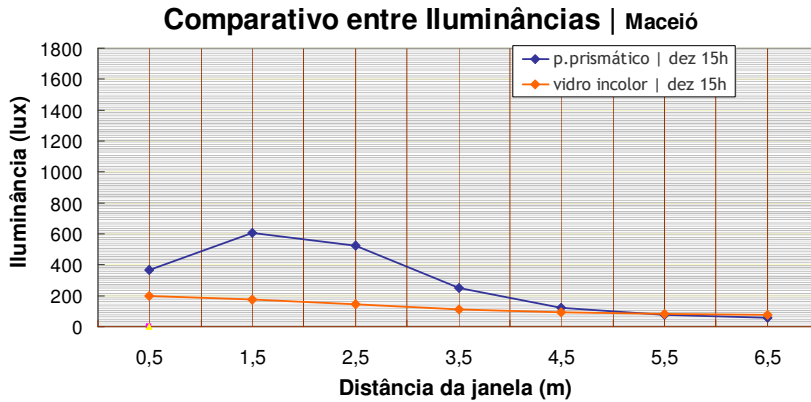




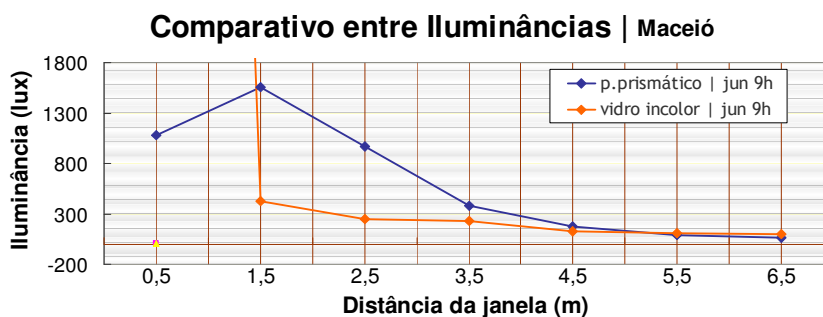
**Figura 8.66:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de dezembro para Maceió.



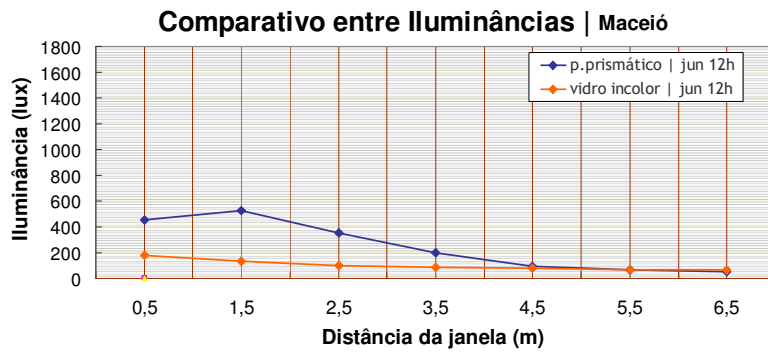
**Figura 8.67:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 12 horas de 22 de dezembro para Maceió.



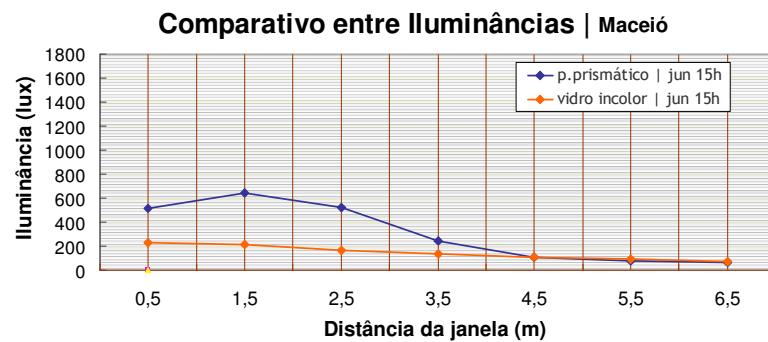
**Figura 8.68:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 15 horas de 22 de dezembro para Maceió.



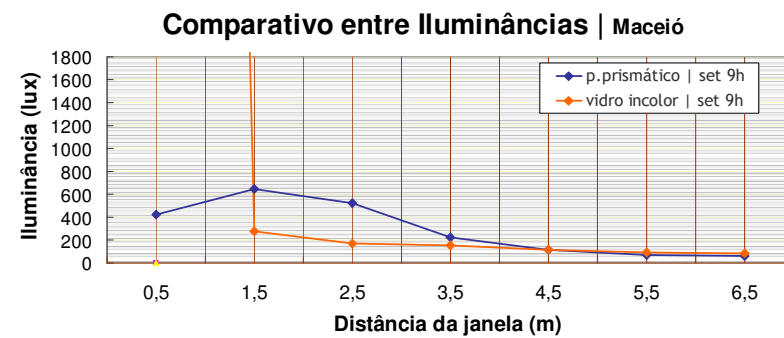
**Figura 8.69:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às 9 horas de 22 de junho para Maceió.



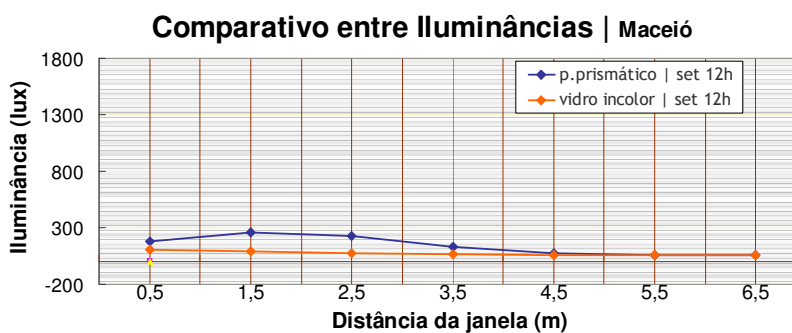
**Figura 8.70:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **12 horas de 22 de junho** para Maceió.



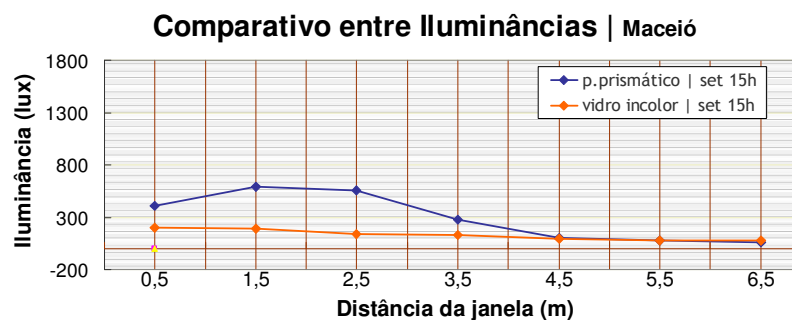
**Figura 8.71:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **15 horas de 22 de junho** para Maceió.



**Figura 8.72:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **9 horas de 22 de setembro** para Maceió.



**Figura 8.73:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **12 horas de 22 de setembro** para Maceió.



**Figura 8.74:** Gráfico comparativo entre o vidro incolor e painel prismático para iluminâncias máximas às **15 horas de 22 de setembro** para Maceió.