



## DIMENSIONAMENTO DE ABERTURA ZENITAL EM GALPÃO CONSIDERANDO ASPECTOS DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO

Marcelo Schwartz<sup>1</sup>  
Maria Akutsu<sup>2</sup>  
Adriana Camargo de Brito<sup>3</sup>

### RESUMO

O uso de elementos translúcidos na cobertura de galpões industriais pode reduzir o consumo de energia elétrica em iluminação artificial. Porém, esse tipo de solução proporciona maiores ganhos de calor pela cobertura, contribuindo para que haja um aumento no valor da temperatura do ar interior em comparação com situação em que a cobertura é composta somente por elementos opacos. Neste trabalho é apresentado o dimensionamento da área translúcida na cobertura de galpão industrial para depósito de produtos, tendo em vista obter um melhor aproveitamento da luz natural mantendo um desempenho térmico satisfatório no ambiente. O método de análise contempla a utilização de duas ferramentas de simulação: o programa Energy Plus, para a determinação da temperatura do ar interior, e o programa Dialux, para a determinação da iluminância no ambiente interno. Foram feitas simulações para um galpão típico variando-se a área translúcida na sua cobertura e analisando-se os valores máximos diários da temperatura do ar e a iluminância em seu interior. Os resultados indicam que uma área translúcida de até 8% pode proporcionar condições satisfatórias quanto ao desempenho térmico e lumínico para as condições climáticas da cidade de São Paulo. O método utilizado no trabalho pode ser utilizado como referência para o projeto da área translúcida na cobertura de galpões considerando-se outras condições de exposição ao clima.

**Palavras-chave:** iluminação zenital; luz natural; desempenho térmico; desempenho lumínico

<sup>1</sup> Engenheiro civil formado pela UNICAMP, Mestre em Tecnologia em Construção de Edifícios pelo IPT, responsável técnico pela LUSCH Engenharia.

<sup>2</sup> Física formada pela USP, Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela USP, responsável pelo Laboratório de Conforto Ambiental do IPT.

<sup>3</sup> Arquiteta formada pela UNIP, Doutora em Engenharia Mecânica pela USP, pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental do IPT.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



## ZENITHAL OPENING DESIGN IN WAREHOUSES CONSIDERING THERMAL AND LIGHTING PERFORMANCE

Marcelo Schwartz<sup>1</sup>  
Maria Akutsu<sup>2</sup>  
Adriana Camargo de Brito<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The use of translucent elements on the roof of warehouses can reduce energy consumption in artificial lighting. However, this solution provides greater heat gains for the roofing surface, contributing to an increase in the indoor air temperature value compared to the situation in which the roofing is made only by opaque elements. This paper presents the design procedures of the translucent area in warehouse roofing for the storage of products, in order to obtain a better use of natural light while maintaining a satisfactory thermal performance in the environment. The analysis method includes the use of two simulation tools: the software Energy Plus for the determination of the indoor air temperature and the software Dialux for the determination of the illuminance in the internal environment. Simulations for a typical warehouse were performed, varying the roofing translucent area and analyzing the maximum daily values of air temperature and illuminance. The results indicate that, for the city of São Paulo, a translucent area of up to 8% can provide satisfactory conditions in terms of thermal and lighting performance. The method employed in this paper can be used as a reference for the design of the translucent area in warehouse roofing considering other environmental exposure.

**Key words:** translucent roofing materials; daylighting; thermal performance; lighting performance

<sup>1</sup> Engenheiro civil formado pela UNICAMP, Mestre em Tecnologia em Construção de Edifícios pelo IPT, responsável técnico pela LUSCH Engenharia.

<sup>2</sup> Física formada pela USP, Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela USP, responsável pelo Laboratório de Conforto Ambiental do IPT.

<sup>3</sup> Arquiteta formada pela UNIP, Doutora em Engenharia Mecânica pela USP, pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental do IPT.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Em projetos de galpões industriais para armazenamento de produtos é comum o uso de telhas translúcidas para o aproveitamento da iluminação natural. Se por um lado essa solução é conveniente para reduzir o consumo de energia elétrica em iluminação artificial, por outro, as aberturas zenitais contribuem de modo significativo para o aumento dos ganhos de calor pela cobertura e, conseqüentemente, para a elevação da temperatura do ar no interior de ambientes não climatizados.

Desse modo, em situações nas quais seja necessário utilizar iluminação natural proveniente de aberturas zenitais, é fundamental analisar quais são as dimensões que as áreas translúcidas devem ter para proporcionar quantidade significativa de luz natural no recinto sem que haja um aquecimento excessivo do galpão.

O objetivo desse trabalho é apresentar os procedimentos efetuados para dimensionar a área de aberturas zenitais na cobertura de um galpão para armazenamento de produtos que atenda ao critério de desempenho térmico mínimo proposto pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) e os critérios estabelecidos pela norma NBR 8995 (ABNT, 2013b) para iluminação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Adotou-se um projeto típico de um galpão para armazenamento de produtos, localizado na cidade de São Paulo. Foi efetuada uma análise do efeito da variação da área translúcida na cobertura do galpão no seu desempenho térmico e lumínico por meio de simulações computacionais com os programas EnergyPlus e Dialux, respectivamente.

### 2.1 Descrição do galpão

O galpão é composto por três blocos: uma área de depósito, docas e administração. O objeto deste estudo é o depósito. A área de piso do depósito é de 520,80 m<sup>2</sup> e o pé-direito é de 12 m. O galpão não tem subdivisões internas nem janelas, somente venezianas para ventilação natural.

A edificação tem fechamentos laterais em alvenaria de blocos de concreto com 19 cm de espessura, revestidos em ambas as faces com argamassa de cimento e areia com 2,5 cm de espessura. A cobertura do edifício tem 6 % de inclinação, composta por vigas metálicas e pilares de concreto, com fechamento em telhas metálicas trapezoidais (trapézio 100) tipo “sanduíche” com 30 mm de poliuretano injetado em seu interior. A telha translúcida da cobertura é constituída por fibra de vidro com o mesmo padrão geométrico das telhas “sanduíche”, descritas anteriormente. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as características dos materiais opacos e translúcidos, respectivamente, obtidas da norma NBR 15220 (ABNT, 2008).

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 1:** Características dos materiais opacos

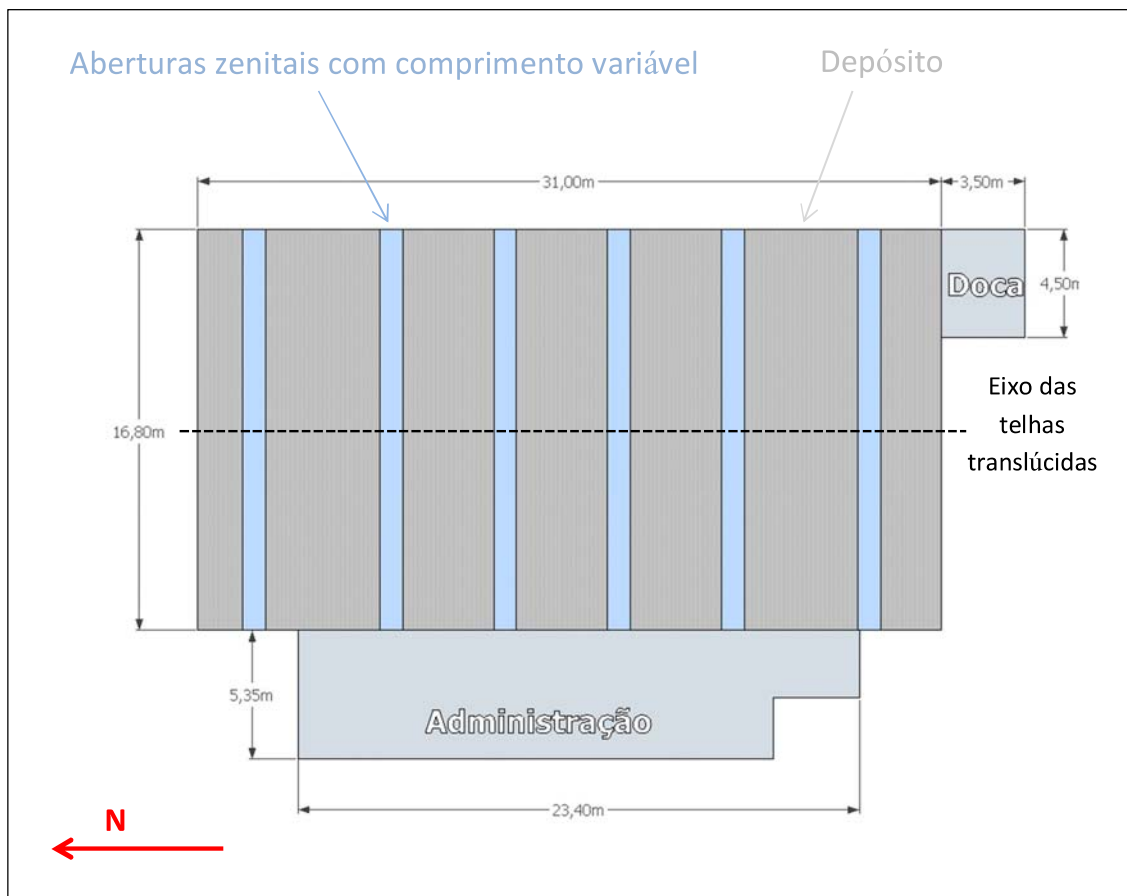
Material	Condutividade Térmica (W/m K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Refletância à radiação solar da superfície externa
Concreto	1,70	2400	1000	0,7
Telha metálica	230	2700	461	0,5
Argamassa	1,15	1200	1000	0,5

Fonte: ABNT (2008).

**Tabela 2:** Características dos materiais translúcidos

Material	Transmitância à radiação solar	Transmitância à radiação visível	Condutividade térmica (W/m.K)
Telha translúcida	0,87	0,85	0,9

**Figura 1:** Vista superior da cobertura do galpão com a indicação das aberturas translúcidas com área variável, sem escala.



\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

### 2.1.1 Posição e dimensões das áreas translúcidas na cobertura

Considerando-se um leiaute comum em depósitos para estocar mercadorias, as telhas translúcidas foram posicionadas na cobertura de modo a iluminar os corredores entre porta pallets. Foram definidas 6 linhas de telhas translúcidas conforme apresentado na Figura 1. As porcentagens da área translúcida na cobertura e suas dimensões são indicadas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Dimensões da área translúcida na cobertura

Porcentagem de área translúcida (%)	Comprimento da área translúcida (m)	Área translúcida (m <sup>2</sup> )
0	0	0
2,5	2,28	13,2
5	4,56	26,04
7,5	6,84	39,07
10	9,12	52,09
12,5	11,40	65,11
15	13,68	78,14
17,5	15,96	91,16

### 2.2 Procedimentos para análise do desempenho térmico do galpão

Foram efetuadas simulações computacionais da resposta térmica do galpão, com base na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a). Foi determinada a temperatura do ar interno em um dia típico de verão da cidade de São Paulo (Tabela 4) com o uso do programa Energyplus. Este programa foi selecionado por ter as características necessárias para fornecer os dados da resposta térmica da edificação em regime transiente de trocas de calor, além de ser recomendado pela referida norma. Observa-se que o galpão foi simulado sem fontes internas de calor, como pessoas, iluminação artificial, equipamentos e sem mercadorias estocadas.

**Tabela 4** – Dados climáticos do dia típico de verão da cidade de São Paulo

Cidade	Período	Temperatura máxima do ar exterior (°C)	Amplitude diária da temperatura do ar exterior (°C)	Temperatura de bulbo úmido do ar exterior (°C)	Radiação solar global no plano horizontal (W/m <sup>2</sup> )
São Paulo	Verão	31,9	9,2	21,3	5180

Fonte: ABNT (2013).



Foram consideradas três zonas térmicas nas simulações:

- ✓ Zona 1, *escritórios*: incluindo térreo mais dois pavimentos;
- ✓ Zona 2, *depósito*: objeto desse estudo, ambiente único.
- ✓ Zona 3, *doca*

Foram analisados somente os valores obtidos da temperatura do ar no interior do galpão, na área de depósito.

### 2.3 Procedimentos para análise do desempenho lumínico

Dentre os softwares disponíveis para realizar simulações para determinar a distribuição da iluminação natural adotando as classificações de tipo de céu conforme o Comitê internacional de Iluminação - CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) optou-se pelo Dialux. O DiaLux é um programa gratuito desenvolvido na Alemanha com suporte em vários idiomas com uma interface amigável. Esse software atende as normas internacionais EN 12464, ISO 8995, EN 1838 e EN 13202, sendo seus resultados validados e testados de acordo com o relatório técnico CIE 171:2006 "Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs" e no laboratório credenciado da iluminação DIAL.

Como a quantidade de luz natural disponível depende da cobertura da abóboda celeste por nuvens analisou-se qual seria o modelo de céu mais adequado à realidade de São Paulo para ser utilizado nas simulações computacionais. O trabalho baseou-se na classificação do CIE e em dados fornecidos pelo IAG/USP, sobre a cobertura do céu por nuvens na cidade.

O CIE considera três situações de céu, como disposto a seguir:

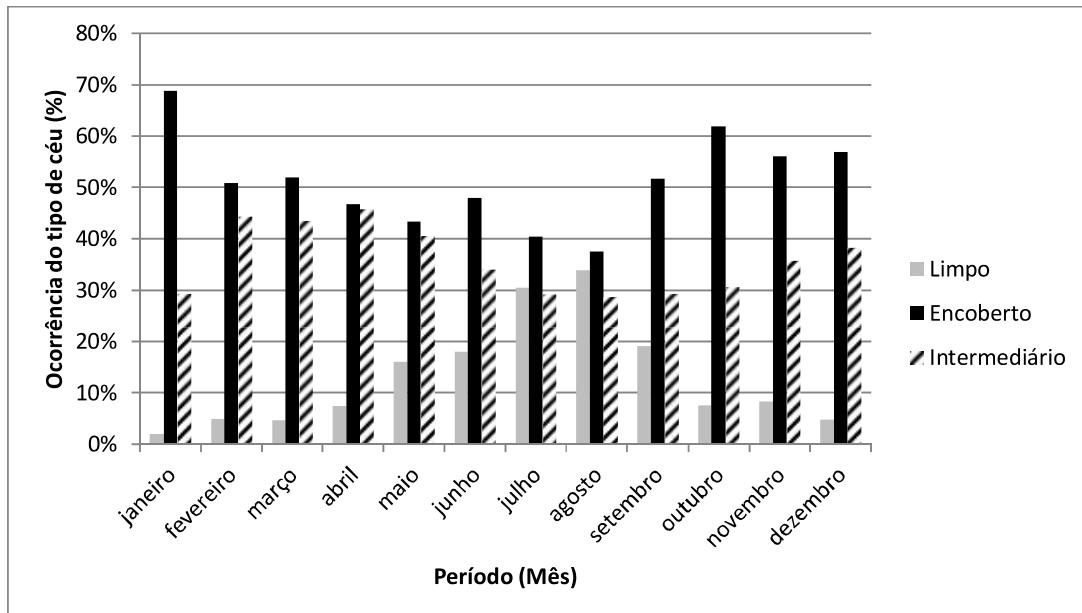
- ✓ Encoberto: que se refere ao céu cuja abóboda está totalmente coberta por nuvens densas, escuras e homogêneas que escondem o sol;
- ✓ Limpo: nesse tipo de céu a abóboda celeste está completamente limpa, não existem nuvens e a luz direta é a principal componente;
- ✓ Intermediário: existem nuvens que não ocupam totalmente a abóboda celeste.

Os dados fornecidos pelo IAG/USP (IAG, 2013) indicam a porcentagem de cobertura da abóboda celeste por nuvens na cidade de São Paulo de hora em hora, desde as 7 horas até às 18 horas, do dia primeiro de janeiro de 2008 até trinta e um de dezembro de 2013. Estes dados foram tabulados e agrupados de forma a se identificar a ocorrência de cada tipo de céu, com base na classificação de tipo de céu estabelecida pela CIE. Na Figura 2 são apresentadas as porcentagens de cobertura da abóboda celeste para os meses de janeiro até dezembro.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

**Figura 2** - Ocorrência de tipo de céu conforme a CIE com base nos dados fornecidos pelo IAG (IAG, 2013)



Com base nos dados apresentados no gráfico da Figura 2, identificou-se que o céu encoberto tem maior ocorrência média anual, da ordem de 52 %, enquanto o céu intermediário corresponde a 36 % e, o céu limpo, 13 %. Por esse motivo, o céu encoberto foi adotado como referência nas simulações computacionais. Além disso, por ter cobertura significativa por nuvens, representa a situação mais crítica em termos de disponibilidade de luz natural.

As simulações computacionais foram realizadas considerando dias referentes aos equinócios de outono e primavera e solstícios de verão e de inverno, adotando-se, respectivamente, o dia 20 dos meses de março, setembro, dezembro e junho. Os cálculos foram obtidos a cada duas horas a partir das 6 h.

Para efetuar os cálculos de iluminação natural foi determinada uma malha na área do depósito, cuja quantidade de pontos e altura do plano de trabalho foram definidas com base na norma NBR 15215 (ABNT, 2007). A malha está posicionada a uma altura de 0,75 m em relação ao piso e tem 45 pontos, sendo 5 pontos ao longo do eixo do depósito com 16,60 m de comprimento e 9 pontos ao longo do eixo com 30,60 m de comprimento.

As simulações foram realizadas considerando as características das telhas e condições de exposição indicadas na Tabela 3, que também inclui a refletância à luz visível de superfícies internas.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 3** – Dados referentes às características lumínicas da telha translúcida, suas condições de exposição e refletância à luz das superfícies internas

Grau de transmissão luminosa da telha translúcida (%)	Fator de manutenção (%)	Fator de poluição (%)	Refletância do teto (%)	Refletância das paredes (%)	Refletância do piso (%)
85	70	90	85	85	50

#### 2.4 Critérios para avaliação dos resultados

O critério para avaliação do desempenho térmico do recinto baseia-se na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) e refere-se aos valores máximos diários das temperaturas do ar interior e exterior. É atendido o nível mínimo de desempenho térmico se a temperatura máxima do ar interior for menor ou igual à temperatura máxima do ar exterior. Considera-se que este critério seja determinante da dimensão máxima da área translúcida na cobertura.

Os critérios para avaliação do desempenho lumínico do ambiente baseiam-se na Norma NBR 8995 (ABNT, 2013b). Nesta norma estabelece-se um valor mínimo de 100 Lux para a iluminância média de corredores ou locais como depósitos nos quais o trabalho não é contínuo.

Outro critério é referente à uniformidade da iluminação do ambiente. A uniformidade é a razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância, devendo ser de pelo menos 0,7 para a área de trabalho e 0,5 para o entorno. Esse parâmetro visa garantir que não haja desconforto quando uma pessoa se movimenta dentro da área de trabalho visto que mudanças drásticas na iluminação podem levar a um esforço visual estressante e desconforto. Verificou-se o atendimento desses critérios para a situação com o maior valor de área translúcida na cobertura que atende ao critério anterior, referente ao desempenho térmico do edifício.

Observa-se que não foram levados em consideração outros critérios referentes ao índice de ofuscamento ou índice de reprodução de cor, fatores previstos na referida norma, em virtude do uso do edifício.

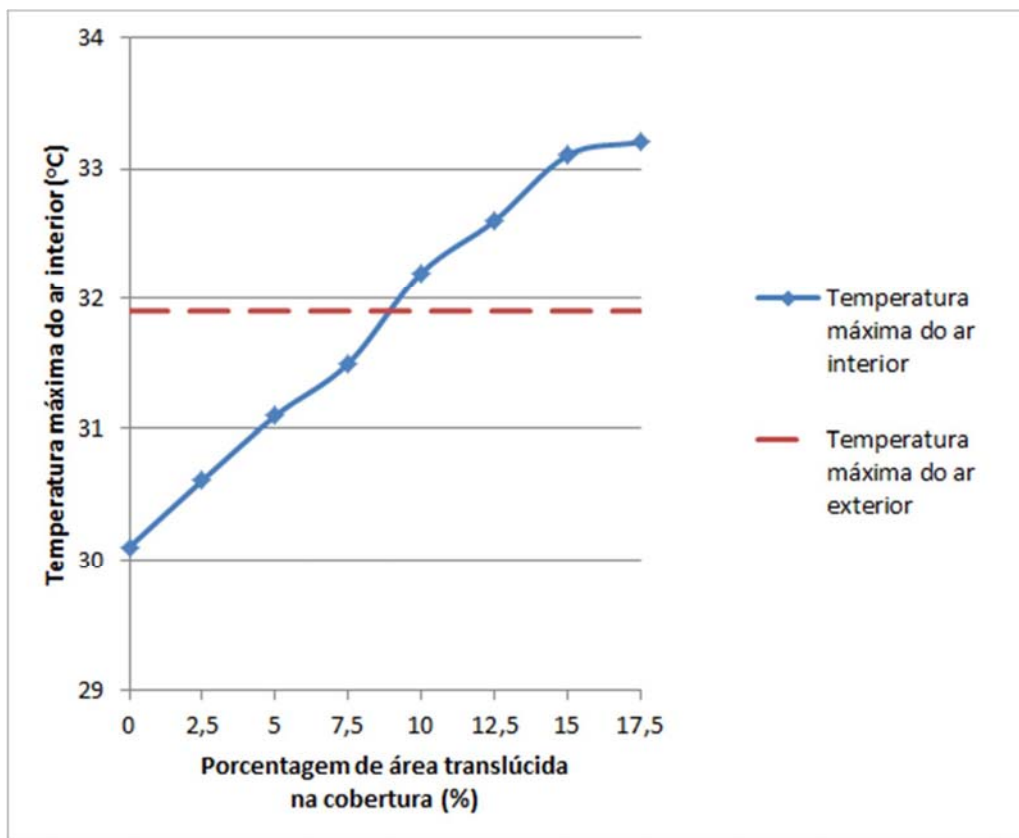
\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



### 3 RESULTADOS

Na Figura 3 são apresentados os valores máximos diários da temperatura do ar exterior e no interior do galpão em um dia típico de verão da cidade de São Paulo em função do valor da área translúcida na cobertura. A partir desta figura observa-se que com área translúcida de até 8 % da área da cobertura é atendido o critério mínimo de desempenho térmico de edificações previsto na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), ou seja, a temperatura máxima do ar interno é menor ou igual à temperatura máxima do ar externo.

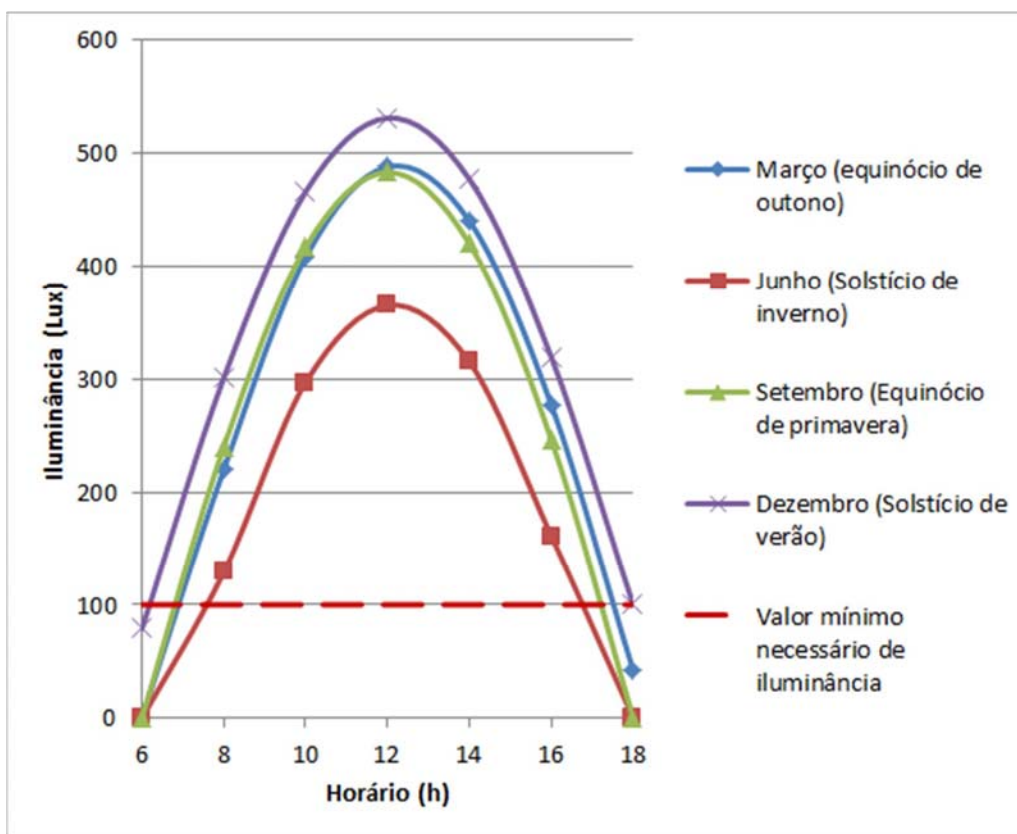
**Figura 3:** Valor máximo diário da temperatura do ar interno conforme a variação da área translúcida na cobertura



Na Figura 4 são apresentados os valores obtidos da iluminância média na área de depósito do galpão, com área translúcida na cobertura de 7,5 %, nos dias correspondentes aos solstícios e nos equinócios. Em todos os dias analisados, das 8 h às 16 h é obtida iluminância média acima de 100 Lux. Além disso, a uniformidade da luz natural no ambiente é de 0,7. Desse modo, são atendidos os dois critérios referentes à iluminação natural em parte significativa do dia.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

**Figura 4:** Iluminância no depósito nos equinócios e solstícios com área translúcida de 7,5 %



#### 4. CONCLUSÕES

O dimensionamento da área translúcida na cobertura conforme o método utilizado no presente estudo proporcionou o atendimento dos critérios referentes ao desempenho térmico, com base na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), e o desempenho lumínico indicado na norma NBR 8995 (ABNT, 2013b). No galpão analisado, exposto às condições climáticas da cidade de São Paulo, isso significou a utilização de área translúcida na cobertura da ordem de 8%.

Este método pode ser utilizado como referência para dimensionamento da área translúcida na cobertura de galpões com características similares às do edifício analisado, visando proporcionar um aproveitamento da luz natural sem prejudicar o desempenho térmico do recinto.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15215**: Iluminação Natural. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Norma de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8995-1**: Iluminação para Ambientes de Trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

SCHVARTZ, M. **Efeito da dimensão da área para iluminação zenital sobre o desempenho térmico e lumínico de galpão para armazenamento**. 80p. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Tecnologia em Construção de Edifício, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, 2014.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.