

Aline Alessandra Ambrósio da Silva

**ILUMINAÇÃO INTEGRADA PARA AMBIENTE EXPOSITIVO:  
Análise do comportamento luminoso na Grande Galeria do Palácio das Artes**

Belo Horizonte

2022

Aline Alessandra Ambrósio da Silva

**ILUMINAÇÃO INTEGRADA PARA AMBIENTE EXPOSITIVO:  
Análise do comportamento luminoso na Grande Galeria do Palácio das Artes**

Projeto apresentado ao curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
Rua Paraíba, 697 – Funcionários  
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823

FAX (31) 3409-8822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA ALINE ALESSANDRA AMBRÓSIO DA SILVA, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

Às 14:00 horas do dia 21 de fevereiro de 2022, reuniu-se *online*, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela Professora Dra. Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada "Iluminação Integrada para ambiente expositivo: análise do comportamento luminosos na Grande Galeria do Palácio das Artes" de autoria de Aline Alessandra Ambrósio da Silva, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Nota: 92 ; Conceito: A

Belo Horizonte, 21 de fevereiro de 2022.

**Roberta Vieira Gonçalves de Souza:70888167687** Assinado de forma digital por Roberta Vieira Gonçalves de Souza:70888167687  
Dados: 2022.02.21 15:26:45 -03'00'

Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza  
Orientadora-Presidente

  
Professora Dra. Karla C. de Freitas Jorge Abrahão  
Membro

## **RESUMO**

A luz é o tema central do ambiente expositivo, pois é o elemento estruturador da imagem arquitetônica das exposições que irá determinar a percepção e a experiência dos visitantes em relação às obras e ao espaço. O controle da quantidade de luz natural que entra no espaço expositivo é uma das grandes questões quando se pensa em expografia, pois cada tipo de obra de arte especificamente requer controle da quantidade de exposição à luz para a manutenção de sua integridade. Diante disso, é proposto o estudo de caso da Galeria do Palácio das Artes que possui fachadas envidraçadas e problemas de ofuscamento e desconforto visual assim como outros museus e galerias do Brasil. A partir da análise de recomendações técnicas para os espaços expositivos, crítica da iluminação no espaço analisado são feitas propostas de melhoria para o espaço. Através de simulações computacionais com o uso dos softwares Rhinoceros e Climate Studio, foram analisadas as métricas Spatial Daylight Availability (disponibilidade de luz espacial) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) a fim de encontrar soluções adequadas para garantir a qualidade luminosa e ambiental do espaço de acordo com a norma. Com esses resultados, foi proposto um mapa luminotécnico expográfico para auxiliar o processo expositivo.

Palavras-chave: iluminação. ofuscamento. autonomia de luz. expografia. arte.

## **ABSTRACT**

Light is the central theme of the exhibition spaces, as it is the structuring element of the architectural image of the exhibitions which will determine the perception and experience of visitors in relation to the works of art and the space. The control over the amount of natural light that enters the exhibition is an important issue when it comes to expography, as each type of work of art specifically requires the control of amount of light to maintain its integrity. Therefore, it is proposed the case study of the Galeria do Palácio das Artes, which has glazed façades and problems of glare and visual discomfort as other museums and galleries in Brazil. Based on computer simulations with Rhinoceros and Climate Studio, the metric of Spatial Daylight Availability, sDA, along as the Annual Sunlight Exposure, ASE, were analyzed in order to find adequate solutions to guarantee the environmental and luminous quality according to the lighting standards. Based on these results, an expographic lighting map was proposed to assist the exhibition process.

Keywords: lighting. glare. light autonomy. expography. art.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1	Objetivo geral.....	8
1.2	Objetivos específicos.....	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
2.1	Recomendações técnicas para espaços expositivos.....	9
2.1.1	Vitrines e expositores.....	10
2.1.2	Altura de visualização de quadros.....	10
2.2	Iluminação da exposição.....	11
2.3	Normas técnicas.....	14
2.4	Diretrizes Gerais de Classificação segundo Colby, 1991.....	16
2.5	sDA e ASE.....	19
<b>3</b>	<b>MÉTODOS E FERRAMENTAS</b> .....	<b>21</b>
3.1	Apresentação do objeto de estudo: histórico e caracterização.....	21
3.2	Simulações e métricas adotadas.....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
4.1	Análise da configuração atual da galeria.....	28
4.2	Propostas de melhoria.....	30
4.3	Análise do uso de persianas.....	36
4.4	Análise de resultados.....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A luz é o tema central da arquitetura quando se trata de ambientes expositivos, pois ela é muito mais do que um elemento integrante desse ambiente. Ela é, principalmente, um elemento estruturador da imagem arquitetônica das exposições e irá determinar a percepção e a experiência dos visitantes em relação às obras e ao espaço.

Nos ambientes expositivos, sejam eles museus, centros culturais ou galerias de arte, a iluminação é uma questão fundamental, pois cada obra de arte exposta necessita de uma quantidade de iluminação específica para manter sua integridade, sendo que essa quantidade de luz é estabelecida por normas técnicas relativas a ambiente expositivo. Em contrapartida, os arquitetos de exposições e os curadores também desejam explorar novos recursos luminotécnicos referentes à iluminação artificial para valorizarem e dinamizarem ainda mais suas exposições. Por isso, é necessário encontrar um equilíbrio entre a arquitetura existente, a iluminação natural e a iluminação artificial pretendida.

Segundo Costa (2013, p.26), “a luz é, assim, o veículo transmissor que não só ilumina o nosso mundo, mas também conecta arte, ciência, religião e filosofia através do tempo e do espaço”. No âmbito artístico e arquitetônico, as transformações em relação ao uso e à compreensão da importância da luz para o ambiente expositivo se iniciaram no fim do século XVIII, quando surgiram os primeiros museus. Nesse período, a iluminação natural era a única fonte disponível, sendo explorada das mais diversas formas a partir do desenho arquitetônico e de estratégias de iluminação natural durante o dia, pois, à noite, o fogo era utilizado para prolongar a iluminação. Já no final do século XIX, surge a iluminação elétrica que é incorporada integralmente a esses ambientes e traz novas possibilidades de desenho da luz no espaço, de ampliação do horário das exposições e de valorização das obras a partir da iluminação difusa e focada, transformando completamente a experiência do visitante (COSTA, 2013).

No século XXI, a maior inovação em termos luminotécnicos é a luz de LED, que determinou não só a redução do gasto energético, mas também estabeleceu uma nova gama de possibilidades de uso do fluxo luminoso no ambiente expositivo, influenciando diretamente a forma de apresentação da obra de arte.

Em países como o Brasil que apresentam luz natural em abundância ao longo de todo o ano é imprescindível lançar mão da iluminação integrada, priorizando a luz natural em períodos do dia com suficiência de luz nos ambientes expositivos para valorizar ainda

mais as obras de arte a partir da luz natural. Essa abordagem que valoriza e potencializa a iluminação natural já se faz muito presente em projetos de museus internacionais como: Getty Center, Orangerie, LaCMA (Los Angeles County Museum of Art), High Museum of Art, Louvre, Museu D'Orsay e Thyssen-Bornemisza National Museum. Já no Brasil, é possível destacar a iluminação natural de coleções de arte em ambientes expositivos como a Galeria Leme projetada por Paulo Mendes da Rocha, a Casa de Vidro de Lina Bo Bardi que abriga o Instituto Bardi e o Pavilhão de Vidro do CCBB de Brasília.

Embora existam muitos espaços expositivos que valorizem a luz natural e a coloquem como centro do projeto, existem também exemplos de museus e galerias brasileiros que priorizam a iluminação artificial de suas coleções como é o caso do MASP em São Paulo e da Grande Galeria do Palácio das Artes em Belo Horizonte. Ambos apresentam fachadas envidraçadas e, recorrentemente, as mantêm cobertas por persianas, adesivagens, filmes ou painéis de madeira, objetivando a filtragem da incidência direta de luz no espaço, efeitos expográficos específicos e a preservação de suas coleções.

A IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) ressalta que “a luz é energia radiante, e a exposição à luz gradualmente causa danos permanentes a muitos objetos do museu”. Desse modo, quando os objetos são expostos à energia radiante que incide na superfície dos materiais, sejam eles opacos ou transparentes, uma parte dessa energia é absorvida, promovendo o aquecimento radiante e a ação fotoquímica, processos que podem degradar os objetos museais expostos (IESNA, 2010).

O aquecimento radiante provoca o aumento da temperatura da superfície do material exposto à luz, cuja superfície se expande em relação ao corpo do objeto e gera umidade. Em decorrência dessa umidade são identificados sintomas como rachaduras na superfície, perda de cor das obras de arte e elevação de camadas superficiais. Já os sintomas da ação fotoquímica apresentam questões mais sérias devido às mudanças químicas que podem ocorrer quando a molécula muda irreversivelmente sua estrutura, decorrendo em desbotamento ou escurecimento das cores, amarelamento, quebra, perda de força, desgaste de tecidos e até mesmo mudanças dramáticas de cores de alguns pigmentos (IESNA, 2010).

A partir dessa perspectiva e das discussões mais recentes sobre a iluminação de ambientes expositivos e museais podem ser problematizadas questões relativas à

sustentabilidade, ao uso excessivo de luz elétrica, à poluição luminosa no interior das galerias, aos aspectos psicológicos da exposição luminosa excessiva tanto para visitantes quanto para os arte-educadores, à importância da iluminação integrada e da retomada da luz natural como centro do projeto expográfico.

No ambiente expositivo, a luz e a sombra apresentam um caráter poético de grande expressividade dentro do projeto arquitetônico e expográfico, podendo contribuir, significativamente, para a qualidade da experimentação desse ambiente e para o conforto ambiental, visual e sensorial dos usuários (COSTA,2013, p.4). Nesse trabalho, serão analisados, em conjunto, a relação entre homem, arquitetura, obra de arte, tempo (contexto histórico) e iluminação. Essa análise terá como objeto de estudo a Grande Galeria Alberto da Veiga Guignard do Palácio das Artes em Belo Horizonte.

O Palácio das Artes é um centro cultural com múltiplas atividades artísticas e um dos principais centros expositivos do Brasil. A Grande Galeria se mostra desafiadora em termos arquitetônicos. Uma das principais diferenças encontradas nesse ambiente é o uso de panos de vidro ao longo de toda a fachada principal, a fachada oeste, e em um trecho das fachadas laterais norte e sul, o que torna o trabalho dos arquitetos e curadores desafiador. O desafio extra se dá, pois a fachada oeste é a fachada mais complexa na arquitetura em termos de insolação, visto que recebe alta carga térmica no período da tarde, o que é desfavorável em ambientes expositivos, já que as obras de arte, em sua maioria, não devem receber incidência direta de raios solares. Além disso, a incidência direta de sol no ambiente do tipo “cubo branco”, muito comum em galerias de arte, gera ofuscamento e alta reflexividade nas obras.

Na tentativa de solucionar essas questões, a estratégia adotada pelo Palácio das Artes e pelos expógrafos é a negação da fachada de vidro a partir de sua cobertura com adesivamento ou com grandes painéis de MDF adaptados que impedem a entrada de luz natural. Desse modo, a iluminação natural é negligenciada e a iluminação artificial predomina no local,

A proposta desse trabalho é realizar o estudo das normas técnicas para ambientes expositivos e posteriormente essa normatização será aplicada à Grande Galeria do Palácio das Artes, em Belo Horizonte. Através de simulações computacionais será feita proposição de soluções para o tratamento das fachadas a partir de soluções arquitetônicas tecnológicas aplicáveis a uma edificação patrimonial e cultural tombada, objetivando solucionar o problema de entrada excessiva de luz, e criar estratégias que facilitem e auxiliem o projeto expográfico por meio de um mapeamento luminotécnico do espaço e

trazer mais conforto ambiental para esse espaço a partir de estratégias de iluminação integrada, além da retomada da luz natural como centro do projeto.

## 1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é analisar o comportamento da iluminação natural no ambiente expositivo da Grande Galeria Alberto da Veiga Guignard, que apresenta fachadas envidraçadas. Essas análises serão feitas através de análise das normas e recomendações técnicas, simulações computacionais, setorização da galeria e, buscando estratégias de tratamento da fachada para melhoria do desempenho da luz natural na edificação.

## 1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos deverão ser atingidos:

- a) Analisar criticamente as exigências da norma técnica para ambiente expositivo e aplicar essa normatização no estabelecimento da iluminação integrada na galeria;
- b) Compreender as questões relativas à entrada excessiva de luz na edificação;
- c) Buscar soluções de tratamento de fachada para controle de luz natural em edificações patrimoniais tombadas a partir do estudo de obras análogas nacionais e internacionais;
- d) Realizar testes e simulações computacionais no ambiente expositivo através do Rhinoceros com o *plugin* Climate Studio para compreender o comportamento da luz e buscar as melhores soluções para mitigar o excesso de luz natural e manter uma boa distribuição da mesma no espaço;
- e) Mapear e setorizar a galeria de arte a partir da aplicação dos conceitos e recomendações de norma para ambiente expositivo, identificando locais estratégicos para o posicionamento adequado de obras de arte a partir da quantidade máxima de luz e tempo máximo de exposição que cada tipo de obra demanda.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir serão apresentadas as normas técnicas e recomendações para ambiente expositivo que serão fundamentais para melhor compreensão e análise crítica das questões se referem aos planos de trabalho e de exposição e à abordagem luminotécnica em exposições de arte. O espaço expositivo demanda uma abordagem específica que visa garantir o conforto visual, ambiental, a acessibilidade, a segurança do espaço e a qualidade da experiência do visitante dentro das exposições. A edificação desse estudo de caso é tombada pelo patrimônio histórico e cultural e exige cuidados específicos para manutenção de sua salvaguarda. Diante disso, é importante analisar o Decreto de Lei nº 25, artigo 1 que afirma:

“Constitui o patrimônio histórico e artístico nacional o conjunto dos bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação seja de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico” (BRASIL, 2013).

### 2.1 Recomendações técnicas para espaços expositivos

O Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM) determina algumas diretrizes gerais para que as exposições em museus sejam acessíveis a todos os visitantes, levando em consideração a NBR 9050 e princípios específicos para ambientes expositivos. Para o Conforto Ambiental temos a norma regulamentadora N°24 que também cita a importância da proposição de uma iluminação de segurança adequada em espaços expositivos, visando mitigar acidentes (IBRAM, 2012).

Entre as diretrizes abordadas na norma estão os parâmetros antropométricos para uma permanência segura e confortável no espaço, onde se especificam parâmetros visuais e ângulos de alcance visual, parâmetros de iluminação para o conforto visual e para a segurança no ambiente expositivo, parâmetros de sustentabilidade no uso adequado dos recursos energéticos e materiais expográficos, dimensões mínimas do mobiliários e de planos de trabalho e dimensionamentos para garantir a acessibilidade. A IESNA (2010, p.543) também determina e analisa os níveis de iluminação de acessibilidade para espaço expositivo e museu e especifica os efeitos da exposição à luz em obras de arte. Todos esses apontamentos, análises e recomendações serão apresentados a seguir, pois são fundamentais para a criação de um ambiente expográfico.

### 2.1.1 Vitrines e expositores

As vitrines são utilizadas por motivos de segurança e conservação, oferecendo proteção aos objetos sem obstruir sua percepção. Portanto, é utilizada para expor esculturas frágeis, objetos de vidro e porcelana ou peças que apresentam algum tipo de deterioração (IBRAM,2012).



Figura 1. Vitrine horizontal em uma exposição IBRAM. Fonte: ABNT – NBR 9050/2004.

Existem dois tipos de vitrines mais comumente utilizados, são eles: a mesa vitrine vertical e a vitrine de mesa. As vitrines de mesa são ideias para exporem peças que podem ser vistas de cima. Sua altura deve ser compreendida entre 80 cm e 90 cm. O comprimento da mesa não poderá exceder 60 cm, evitando que o cadeirante perca a contemplação de todos os objetos.

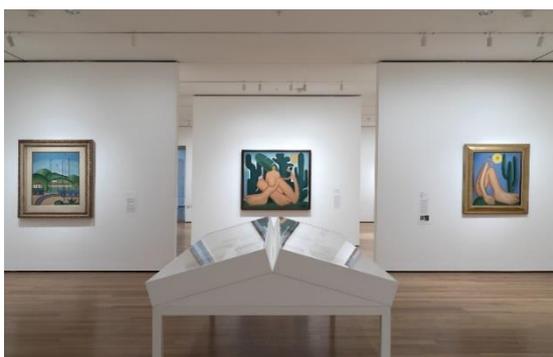


Figura 2. Exposição Tarsila do Amaral. Fonte: MOMA, 2018.



Figura 3. Exposição Tomie Ohtake. Fonte: Tomie Ohtake, 2018.

### 2.1.2 Altura de visualização de quadros

A uma distância de 1m, a zona de recobrimento de diferentes regiões de acesso visual situa-se aproximadamente entre 0,90m e 1,40m do solo. Assim, os suportes de

informação serão dispostos no interior desses limites, privilegiando-se a zona que vai de 1m a 1,20m. Além dessa zona mencionada, a leitura torna-se difícil para certos visitantes. Entretanto, acima de 1,90m e abaixo de 0,75m, uma inclinação de aproximadamente 30° permite atenuar parcialmente essa dificuldade (IBRAM,2012).

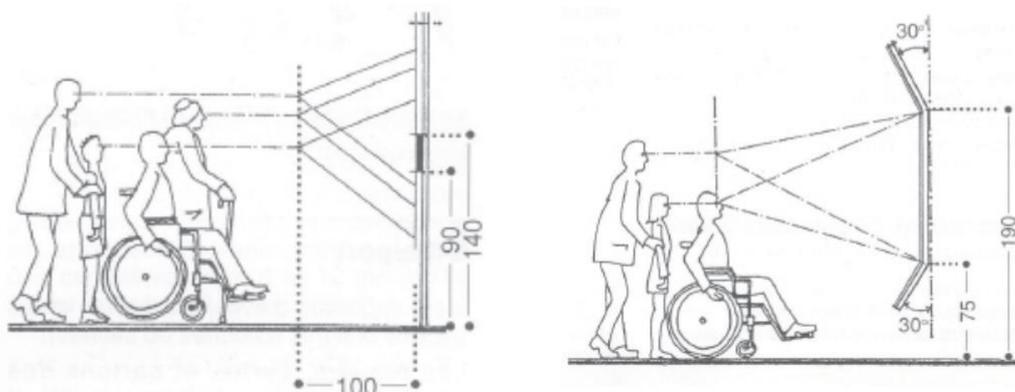


Figura 4. Zonas de acesso visual para pessoas com diferentes estaturas em uma exposição. Fonte: ABNT – NBR 9050/2004.

## 2.2 Iluminação da exposição

A concepção da iluminação deve ser estudada de maneira a evitar solicitações visuais que gerem perturbações e situações desagradáveis. É necessário otimizar a visão do maior número de pessoas, mas deve-se evitar tanto luz ambiente excessiva quanto a penumbra. Para tranquilizar o visitante, deixando-o abandonar-se na descoberta e na exploração das coleções, é importante seguir algumas especificações de iluminação propostas nos documentos e normas já existentes, assim como nas áreas e órgãos diretamente especializados no assunto. Em particular, as mudanças bruscas de iluminação devem ser suprimidas, já que a adaptação a determinado nível de luz é crítica para a sensação das cores (IBRAM,2012).

A IESNA reforça as discussões sobre os riscos de uma iluminação incorreta em obras de arte, indicando os tipos de danos causados por cada diferentes ações, sendo elas o aquecimento radiante e ação fotoquímica já citadas anteriormente nesse trabalho. A partir dessa análise é apresentada a tabela com os níveis de iluminação de acessibilidade indicada a seguir que mostra a quantidade de lux específica para cada tipo de ambiente no espaço expositivo.

Tabela 1. Níveis de iluminação para acessibilidade em museus

Aplicação	Iluminância (lux)
Iluminação ambiente	50 a 300
Painéis de texto	100 a 300
Controles	100
Sinalização direcional	200 a 300
Rampas, escadas	100 a 300
Caminhos dos visitantes	100 a 300

Tabela 1. Fonte: IESNA, 2010 (tradução da autora).

A IESNA também ressalta que conservadores provavelmente irão abordar os profissionais de projeto de iluminação com reserva, pois uma iluminação incorreta pode danificar um artefato de forma permanente após ser exposto a uma energia radiante potencialmente prejudicial. Desse modo, é fundamental que os *light designers* demonstrem uma compreensão das questões de conservação e o domínio técnico e teórico ao propor iluminação para ambientes expositivos (IESNA, 2010).

Em relação à avaliação da exposição, o IESNA enfatiza que “a iluminação deve fornecer condições de visualização satisfatórias com irradiação mínima dos objetos”, destacando que técnicas como a eliminação do brilho e o controle do brilho circundante podem ser úteis para a redução da necessidade de luz nos artefatos (IESNA, 2010).

A extensão anual da exposição é regida por dois fatores: pelo princípio da reciprocidade e pela distribuição de energia espectral da energia incidente. A luz visível pode contribuir tanto para a visão quanto para danos em obras de arte, sendo que a energia infravermelha (IR) e ultravioleta (UV), que não são visíveis, contribuem somente para danos. Desse modo, “a menos que todos os artefatos em uma área de exibição sejam totalmente insensíveis à exposição, UV e IR devem ser controlados, geralmente com filtros”. Entretanto, ainda não existem padrões para níveis aceitáveis de irradiação IR ou medidores convenientes para verificar esses níveis (IESNA, 2010).

Existem limites de exposição total recomendados em horas de iluminação por ano como indicado na tabela 2. Como orientação geral é recomendado que as luminâncias para artefatos altamente suscetíveis não sejam superiores a 50 lux. Entretanto, para materiais particularmente suscetíveis ou preciosos, a iluminação pode ser reduzida para 35 lux e ainda fornecer uma visualização satisfatória, contanto que o espectador/visitante esteja adaptado a baixos níveis de ofuscamento.

Tabela 2. Limites de exposição total recomendados em horas de iluminação por ano.

Tipos de materiais	Iluminância máxima ano	Lux-hora-ano ano
Materiais expostos altamente suscetíveis: têxteis, algodão, fibras naturais, peles, seda, tintas de escrita, documentos em papel, rendas, corantes fugitivos, aquarelas, lã, alguns minerais	50 lux	50.000
Materiais expostos moderadamente suscetíveis: têxteis com corantes estáveis, pinturas a óleo, acabamentos em madeira, couro, alguns plásticos	200 lux	480.000
Materiais expostos menos suscetíveis: metal, pedra, vidro, cerâmica, a maioria dos minerais.	Dependendo da situação da exposição.	

Nota: Toda a radiação UV (400nm e abaixo) deve ser eliminada. O espectro visível é definido como estendendo-se de 380nm a 760nm. Os conservadores do museu tratam todos os comprimentos de onda menores que 400nm como UV: o potencial de dano é alto abaixo desse comprimento de onda e o efeito visual é muito pequeno.

\*Esses valores seguem o princípio da reciprocidade e, portanto, os valores máximos de iluminância podem ser alterados para diferentes tempos de exposição anuais.

Tabela 2. Fonte: IESNA, 2010 (tradução da autora).

Em relação aos aspectos arquitetônicos e à luz do dia são apontados seis fatores que afetam a luminância final produzida pelas superfícies arquitetônicas e a luz do dia (IESNA, 2000):

- A área de vidros operacionais em relação à área do piso
- As dimensões do ambiente, especialmente a altura do teto e a profundidade
- A colocação e espaçamento das vidraças disponíveis
- Localização do local em termos de longitude e latitude e orientação
- Obstruções, externas e internas
- As características refletoras das superfícies interiores

Vale ressaltar que o sistema visual humano pode perceber confortavelmente apenas uma estreita faixa de brilho ao mesmo tempo. Recomenda-se que a iluminação da exposição não seja mais do que cinco vezes a iluminação da área circundante (5:1)

(IESNA, 2000). Em relação aos espaços transitórios que apresentam intensidades diferentes de iluminação é necessário prever um tempo de adaptação visual do visitante ou usuário do espaço para que essa transição seja o mais suave possível e não agrida a visão e a experiência no ambiente expositivo. Geralmente, a adaptação ocorre dentro de 1 segundo se a mudança na luminância estiver na faixa de 100:1 (IESNA, 2000). Mas, quando as alterações na luminância da retina são muito grandes (intervalo de luminância superior a 1000:1), é necessária uma adaptação fotoquímica. Essa agilidade na adaptação visual também dependerá da idade do visitante, pois quanto mais avançada é a idade mais tempo poderá demorar para se adaptar, podendo-se alcançar uma adaptação menos completa (IESNA, 2000). O nível de iluminação deve ser da mesma ordem que o das obras e objetos expostos aos quais elas se referem. A iluminação precisa ser constante, sem zona de sombra ou reflexo. Deve-se evitar uma iluminação muito forte que cause ofuscamento e alta reflexividade nos suportes e no piso (IBRAM,2012).

Em relação à preservação dos artefatos e sua arquitetura é recomendado que as janelas estejam voltadas preferencialmente para o sul e transmitam apenas as porções visíveis do espectro. Esses panos de vidro devem eliminar os comprimentos de onda abaixo de 400 nm o que pode resultar em transmissão de vidro de menos de 5% da energia visível e solar. Já as galerias iluminadas pela luz natural devem incorporar um método para restringir completamente a luz do dia quando as galerias são fechadas ao público. Mesmo quando é utilizada a luz natural como fonte principal de iluminação de espaços expositivos é fundamental que não ocorra incidência de luz solar direta nos artefatos sensíveis (IESNA, 2000).

### 2.3 Normas técnicas

A NBR 89951 (ABNT, 2013) se refere à iluminação de interiores que também destaca diretrizes para ambientes expositivos. Nas tabelas a seguir estão listadas as indicações de luminância para cada tipo de suporte e material que compõe a obra de arte tanto indicados pelo ICOM quanto pela NBR 89951.

A NBR 8995-1 indica a 300 lux para museus em geral, prevendo que essa iluminação será adequada para atender aos requisitos de exibição, proteção contra os efeitos de radiação (ABNT 2013). Os valores são válidos para uma condição visual normal e são levados em conta os seguintes fatores: requisitos para a tarefa visual, segurança, aspectos psicofisiológicos assim como conforto visual e bem estar, economia,

e experiência prática. A tabela 3 abaixo indica a iluminação adequada para museus de acordo com a NBR 8995-1.

Tabela 3. Iluminância adequada para museus e espaços expositivos em geral.

25. Locais de entretenimento			
Teatros e salas de concerto	200	22	80
Salas com multiuso	300	22	80
Salas de ensaio, camarins	300	22	80
			E necessário que a iluminação do espelho seja isenta de ofuscamento para a maquiagem.
<b>Museus</b> (em geral)	300	19	80
			Iluminação adequada para atender os requisitos de exibição, proteção contra os efeitos de radiação.

Tabela 3. Fonte: ABNT, 2013.

Tabela 4. Iluminação para espaço expositivo - Limites de iluminância ICOM e IESNA

LOCAL	lx
Geral	100
Quadros (iluminação suplementar)	200
Esculturas e Objetos	500

**MUSEUS – LIMITES DE ILUMINÂNCIA :**  
**ICOM - International Council of Museum ( França ) e IES (Inglaterra).**

Tipos de Material	Iluminância	Exposição (Anual)
<u>Pouco sensíveis:</u> Metal, pedra, vidro, cerâmica, jóias e peças esmaltadas.	Sem limite ( geralmente <b>300 lux</b> ), mas sujeitos ao calor radiante	---
<u>Moderadamente sensíveis:</u> Pinturas ( óleo e têmpera ), couros naturais, tecidos com tinturas estáveis, chifre, osso, marfim, madeiras finas e lacas.	<b>150 lux</b>	<b>360.000 lux.hora.ano</b>
<u>Extremamente sensíveis:</u> Pinturas ( guache, aquarela e similares), desenhos, manuscritos e impressos, selos, papéis em geral, fibras naturais, algodão, seda, rendas, lã, tapeçarias, couro tingido e peles e peças da história natural.	<b>50 lux</b>	<b>120.000 lux.hora.ano</b>
Restauração e exames técnicos.	<b>Até 1000 lux</b> (curto período)	---

- 1) Exposição: 8 horas x 300 dias x iluminância.
- 2) Considerar a filtragem de radiações abaixo de 400 nm.

Tabela 4. Fonte: COLBY,1991.

Tabela 5. Indicação de iluminância para papéis

**MUSEUS – LIMITES DE ILUMINÂNCIA : IESNA – E.U.A.**

Tipos de Material	Iluminância	Exposição (Anual)
<u>Pouco sensíveis:</u> Metal, pedra, vidro, cerâmica, jóias e peças esmaltadas.	Limitados ao calor radiante	---
<u>Moderadamente sensíveis:</u> Pinturas ( óleo e têmpera ), couros naturais, tecidos com tinturas estáveis, chifre, osso, marfim, madeiras finas e lacas.	<b>200 lux</b>	<b>480.000 lux.hora.ano</b>
<u>Extremamente sensíveis:</u> Pinturas ( guache, aquarela e similares), desenhos, manuscritos e impressos, selos, papéis em geral, fibras naturais, algodão, seda, rendas, lã, tapeçarias, couro tingido e peles e peças da história natural.	<b>50 lux</b>	<b>50.000 lux.hora.ano</b>

1) Com a filtragem de radiação UV abaixo de 400 nm.

2) Exposição sujeita ao Princípio de Bunsen-Roscoe ( lei da reciprocidade ) – efeito cumulativo do tempo de exposição.

3)

Classe ISO ( lâ azul )	1	2	3	4	5	6	7	8
MI.h p/ fadiga ( sem UV )	0,4	1,2	3,6	10	32	100	300	900
Classificação MMFA	1 SENSÍVEIS			2 INTERMEDIÁRIAS			3 DURÁVEIS	

Tabela 5. Fonte: COLBY,1991.

#### 2.4 Diretrizes Gerais de Classificação segundo Colby, 1991

De acordo com Colby (1991) é de importância crítica classificar os objetos de arte em categorias relevantes de forma que o conservador possa rapidamente definir a sensibilidade de cada tipo de objeto. A autora propõe as seguintes categorias:

**CAT 1 / MATERIAIS:** pastéis, cores sensíveis ou de origem desconhecida, aquarelas, guache, tintas de impressão, tintas orientais, papeis tingidos, objetos tingidos da história natural, fotografias coloridas antigas e polaróides, sépias, tintas amarelas e vermelhas de origem desconhecida e qualquer produto similar de origem ignorada.

**ISO 1, 2 e 3 / PIGMENTOS:** laca amarela, pretos complexos, tinturas vegetais e índigo em algodão, índigo em aquarelas, quercina, carmim, aquarelas em papel, açafraão, azul flor-do-dia, vermelho curtume.

**CAT 2 / MATERIAIS:** polpa de madeira, papéis de baixa gramatura, fotografias com revelação a base de prata, “slides” coloridos modernos, “Cybaches”, fotografias

coloridas da década de 90 em diante.

**ISO 4, 5 e 6 / PIGMENTOS:** tinturas tradicionais, vermelhão, amarelo índio, principais vermelhos brilhantes (carmim, alizarina e garança).

**CAT 3 / MATERIAIS:** papel de jornal de ótima qualidade, tintas à base de carbono, grafite, carvão, pigmentos da terra (ocres, óxido de ferro), giz, lápis vermelho, marrom, preto, “crayons”, foto preto-e-branco, gelatinas fotográficas, processos fotográficos com banhos de ouro, selênio e outros processos permanentes. plásticos, polietileno e resinas sintéticas.

**ISO 7 e 8 / PIGMENTOS:** aquarelas, guaches e pastéis modernos e de alta qualidade, cádmio vermelho moderno, ultramarino, amarelo cobalto, índigo e garança em lã.

Tabela 6. Política para exposição de trabalhos de arte em papel.

Categories	Degradação Visível Após (Mega.lux.hora)	Limite Exposição Recomendada (Semanas por ano ou total de lux.hora.ano)	Degradação Visível Após (Anos)
CAT. 01 (Sensíveis, ISO 1, 2, 3)	1,2 ml.h (ISO 2)	4 semanas ou 12.000 lux.hora.ano	100
CAT. 02 (Intermediárias, ISO 4, 5, 6)	10 ml.h (ISO 4)	10 semanas ou 42.000 lux.hora.ano	250
CAT. 03 (Duráveis, ISO 7, 8)	300 ml.h (ISO 7)	20 semanas ou 84.000 lux.hora.ano	3500

- 1) Categorias baseadas na classificação pelo Cartão de Lã Azul Britânico (British Blue Wool Card) da ISO (International Standard Organisation).
- 2) Considerar filtragem de radiação UV.
- 3) Considerar o limite de 100 lux para ISO 2 e 3 e 75 lux para ISO 1, para até 42 horas de exposição semanais.
- 4) O Sistema ISO Série R105 consiste em uma escala de 8 cartões de lã tingida, sendo que o nº 1 é o mais sensível e o nº 8 o mais durável.

Tabela 6. Fonte: COLBY,1991.

Colby (2018) traz uma tabela síntese com indicação de iluminâncias recomendadas para diferentes tipos de materiais a partir de 1) Garry Thomson - “The Museum Environment” - (usando lâmpada incandescente sem filtro e de 2) David

Saunders - “Fluorescent Lamps: a Pratical Assessment “apresentada a seguir.

Tabela 7. Tabelas com indicação de iluminância para diferentes materiais.

Sensibilidade dos Materiais	lux	$\mu\text{W}$ / lúmen
Muito Sensíveis ( 1 )	50	75
Moderadamente Sensíveis ( 1 )	200	75
Muito Sensíveis ( 2 )	100	10
Moderadamente Sensíveis ( 2 )	200	40

Tabela 7. Fonte: COLBY,1991

Para realizar a iluminação geral, a iluminação de destaque e a iluminação indireta de expositores e vitrine é indicada a lâmpada de LED para garantir o maior controle da iluminância e evitar possíveis danos às obras. Pode ser utilizada a dimerização na iluminação integrada. Nas lâmpadas podem ser utilizados filtros e gelatinas, garantindo a subtração dos comprimentos de ondas indesejados, alterando a reprodução de cor e o fluxo luminoso.

Para a proteção dos vidros da fachada é possível realizar o adesivamento ou a laminação com películas de proteção UVA e UVB. Além disso, outra opção para complementar essa proteção por filtros é a utilização de placas de mdf que podem ser dispostas na frente dos vidros e contribuir como suporte expositivo e elemento de proteção (COLBY, 1991).

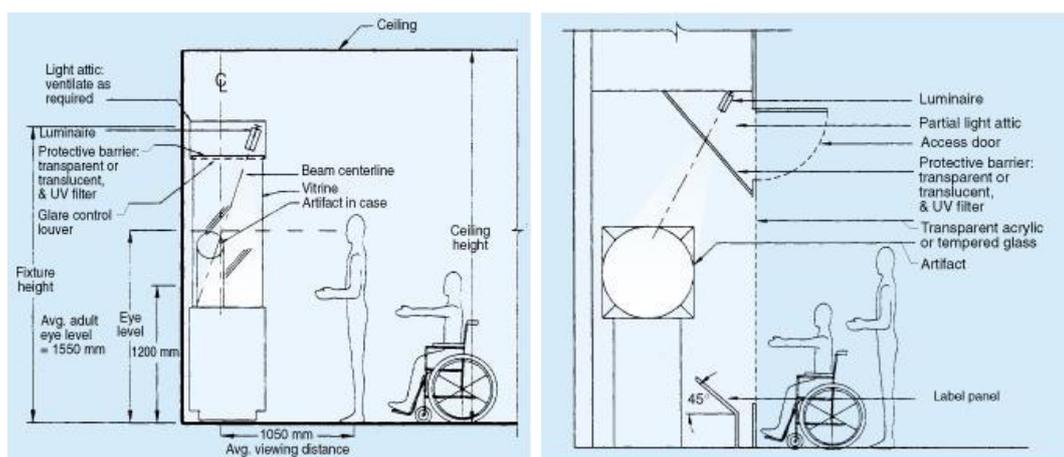


Figura 5. Ângulo de incidência para vitrines com iluminação interna e externa. Fonte: IESNA, 2010.

Ainda sobre a iluminação artificial é fundamental que nas esculturas e outros objetos tridimensionais a iluminação recomendada seja a indicada nas figuras 6 e 7 abaixo.

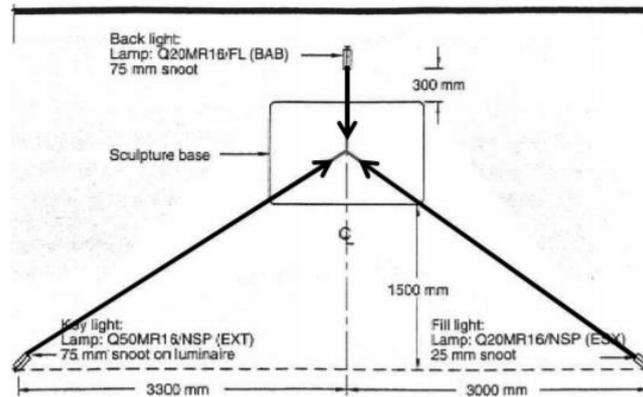


Figura 6. Ângulo de incidência para superfícies tridimensionais - Vista superior. Fonte: COLBY,1991.

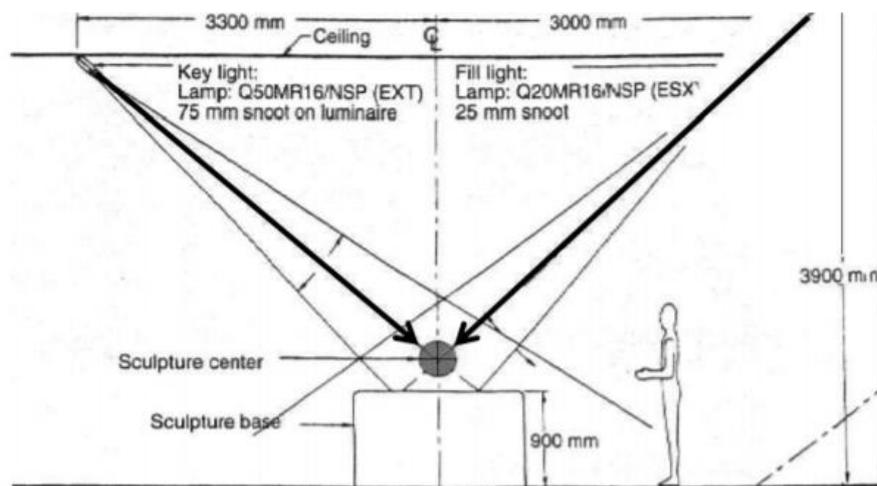


Figura 7. Ângulo de incidência para superfícies tridimensionais - Vista lateral. Fonte: COLBY,1991.

## 2.5 sDA e ASE

Nesse estudo de caso para ambiente expositivo será fundamental compreender as possibilidades de simulação da ferramenta Climate Studio para análise luminosa, associando as métricas desse software às normas técnicas para ambiente expositivo indicadas pelo IBRAM e por órgãos de gestão de museal internacionais. O parâmetro mais importante a ser analisado nesse trabalho são as métricas de Autonomia Espacial à Luz do Dia (*Spatial Daylight Autonomy*), sDA, e a de Exposição Anual à Luz Solar (*Annual Sunlight Exposure*), ASE, nos quais serão analisados dois parâmetros, sendo o primeiro a sDA uma métrica que descreve a suficiência anual do dia-ambiente, níveis de luz em ambientes internos. Esse percentual é definido a partir da área que precisa atender

um nível mínimo de iluminância da luz do dia para uma fração especificada das horas de operação por ano (HESCHONG, 2012).

A métrica (sDA 300/50%) é uma métrica baseada no clima, que define o percentual de área do ambiente que atende a uma iluminância de análise limiar de 300 lux que deve estar presente em pelo menos 50% das horas de uso em superfícies horizontais. Nesse caso, a luz do dia e suas condições climáticas são baseadas no ano meteorológico típico (TMY), com um período de tempo de análise que se estende das 8h às 18h, horário local (10 horas por dia), que sempre será referido como a análise do período. A partir de modelagem tridimensional pode ser simulada a presença de cortinas ou persianas para potencializar a análise dessa métrica (HESCHONG, 2012). Essas cortinas são operadas de hora em hora para bloquear a penetração direta da luz solar no espaço, reduzindo os problemas de ofuscamento que são recorrentes em espaços expositivos envidraçados.

O ofuscamento é um dos grandes problemas enfrentados no ambiente expositivo em análise nesse projeto e se mostra como um fator limitador para o aproveitamento de luz natural no ambiente, pois a insolação direta gera um desconforto visual que, por vezes, pode ser inabilitador, levando o usuário a procurar soluções alternativas para solucionar o problema. Entretanto, como ressalta Soares (2014), diversas dessas soluções acabam prejudicando a suficiência de luz no ambiente, pois reduzem a admissão e aproveitamento da luz natural em diversos períodos do dia o que acarreta no uso massivo da luz artificial mesmo diante de ambientes com abundância de luz natural como é o caso da galeria de arte estudada. O ângulo das persianas, ou a posição das cortinas, deve ser considerada durante a definição para bloquear a luz solar direta do ângulo solar mais baixo de acordo com a orientação da fachada nessa análise de 10 horas ao longo do dia (HESCHONG, 2012). A segunda métrica estudada é a ASE (*Annual Sunlight Exposure*) cuja metodologia de modelagem climática é a mesma da sDA (HESCHONG, 2012). O ASE se refere à exposição anual à luz solar e possibilita a identificação do excesso de insolação no espaço. O ASE indica o percentual de área quando há mais de 1.000 lux em um ponto por mais de 250 horas anuais e deve ser sempre menor que 10% para evitar o desconforto visual e ofuscamento. Acima desse percentual, já é possível identificar problemas decorrentes da entrada descontrolada de luz no ambiente. A indicação para controle da entrada de luz é que as cortinas devem se fechar quando há mais de 2% de pontos com insolação direta maior que 1.000 lux.

### 3 MÉTODOS E FERRAMENTAS

A metodologia desse trabalho é composta pela apresentação do objeto de estudo a partir da análise arquitetônica do espaço e de suas características principais, incluindo estudos de plantas do local e visita in loco para compreender o comportamento luminoso ao longo do dia e o tipo de expografia e obras de artes adotadas no local. Além disso, são apresentados dados da revisão bibliográfica e os procedimentos para análise computacional a partir de um software de análise luminotécnica avançada. Finalmente, a partir dos resultados obtidos nas simulações computacionais, são realizados a setorização e o mapeamento luminoso da galeria para criar um guia de orientação e estratégias para planejamento da expografia.

#### 3.1 Apresentação do objeto de estudo: histórico e caracterização

A história da Fundação Clóvis Salgado teve início com a inauguração da Grande Galeria no Palácio das Artes, em 30 de janeiro de 1970. Nesse mesmo ano, foi criada a Fundação Palácio das Artes para administrar e conduzir as obras em andamento. Em 1978, alterou-se a denominação da FPA, que passou a se chamar Fundação Clóvis Salgado. A escolha do nome foi uma homenagem ao médico, professor e político responsável maior pelo levantamento dos recursos financeiros que viabilizaram a retomada e conclusão das obras do Palácio das Artes. No início do século XX, em 21 de outubro de 1909, foi inaugurado o Teatro Municipal de Belo Horizonte, na esquina das ruas Bahia e Goiás (FCS, 2021).

O local integrou-se ao cotidiano da cidade com intensa e variada programação, sediando celebrações e solenidades oficiais. Em 1940, considerando o contexto urbano, o então prefeito Juscelino Kubitschek propôs a construção de um novo Teatro Municipal e a transformação do prédio da rua Goiás no Cine Metrópole. O conjunto da Pampulha já era, na época, uma realidade, quando JK convocou Oscar Niemeyer para mais uma grande obra na capital mineira. O arquiteto propôs a implantação de um teatro no parque municipal ligado à avenida Afonso Pena por uma extensa passarela de concreto. As obras, iniciadas em 1943, foram paralisadas em 1945. Sem um teatro municipal, Belo Horizonte recebeu em 1950, em caráter provisório, um “teatro de emergência” que receberia depois

o nome de Teatro Francisco Nunes. Diversos prefeitos se sucederam a JK e poucas tentativas de conclusão da obra foram feitas (FCS, 2021).

Em 1955, o arquiteto Hélio Ferreira Pinto foi convidado para redimensionar o projeto original transformando-o no Palácio das Artes, com acesso pela avenida Afonso Pena e acrescentando-lhe outros equipamentos. O Grande Teatro do Palácio das Artes foi inaugurado em março de 1971. Outros espaços foram criados posteriormente, como o Cine Humberto Mauro (1978), Teatro João Ceschiatti e Galeria Arlinda Corrêa Lima (1984), Sala Juvenal Dias (1993), Galeria Genesco Murta (início da década de 1990) e Galeria Mari' Stella Tristão (2016). Alguns desses espaços foram requalificados ao longo de 2017 e 2018, e outros foram criados, como a PQNA Galeria Pedro Moraleida, o Acervo FCS e a Galeria Aberta Amilcar de Castro que, com a construção do Passeio Niemeyer, resgataram o conceito original do espaço (FCS, 2021).

A Grande Galeria Galeria Alberto da Veiga Guignard é um espaço expositivo privilegiado para as artes visuais da cidade, recebe variada gama de mostras locais, nacionais e internacionais e possui tombamento em duas instâncias pelo IEPHA e pela Diretoria de Cultura. Seu nome é uma homenagem prestada a Alberto da Veiga Guignard (1896-1962), não apenas pela sua importante contribuição para a arte mineira como pintor, desenhista, ilustrador e gravador, mas, sobretudo, pela criação da Escola Guignard, responsável por uma verdadeira transformação das artes em Belo Horizonte (FCS, 2021).

A Grande Galeria do Palácio das Artes é uma edificação localizada na cidade de Belo Horizonte, cidade de clima subtropical úmido pela classificação climática de Köppen-Geiger:Cwa. Belo Horizonte apresenta temperatura média anual de 20.8 °C (normais climatológicas de 1981-2021), sendo o mês mais quente do ano fevereiro com uma temperatura média de 22.8 °C. Já em julho, a temperatura média é 17.7 °C, temperatura média mais baixa de todo o ano. A Galeria é um espaço expositivo privilegiado para as artes visuais da cidade que recebe variada gama de mostras locais, nacionais e internacionais. Com uma área de 510 m<sup>2</sup>, a Grande Galeria Alberto da Veiga Guignard é dotada de adequadas condições técnicas de iluminação e climatização para atender os parâmetros de qualidade exigidos pelas expografias atuais.

Por se tratar de uma galeria com fachada oeste envidraçada que recebe grande quantidade de luz ao longo de todo o dia é necessário prever formas de proteção para controle da luz e insolação. Serão necessárias estratégias condizentes com o tempo de

duração das exposições e que forneçam segurança e total reversibilidade da expografia.

Os gráficos das figuras 8 e 9 a seguir apresentam a análise das horas de exposição solar em Belo Horizonte. A partir da análise desses índices é possível verificar que em fevereiro, o maior número de horas diárias de sol é medido em Belo Horizonte, em média. Em fevereiro há em média 8.71 horas de sol por dia e um total de 270.11 horas de sol, nesse mês. Já em janeiro, o menor número de horas diárias de sol é medido em Belo Horizonte, em média. Nesse mês há em média 7.33 horas de sol por dia e um total de 219.86 horas de sol. Cerca de 2947.03 horas de sol são contadas em Belo Horizonte ao longo do ano. Em média, são 96.92 horas de sol por mês de acordo com o *Climate Data*.

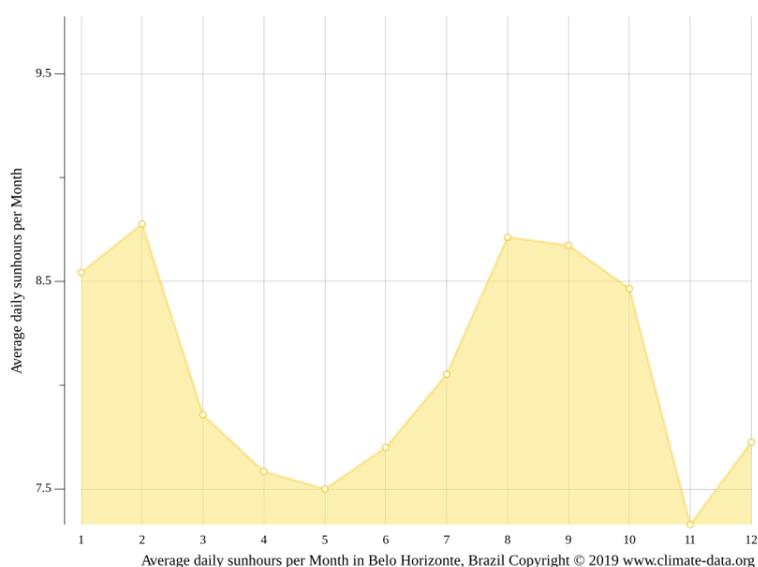


Figura 8. Horas médias de sol em Belo Horizonte. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/minas-gerais/belo-horizonte-2889/>> Acesso em: 20 jan.de 2022.

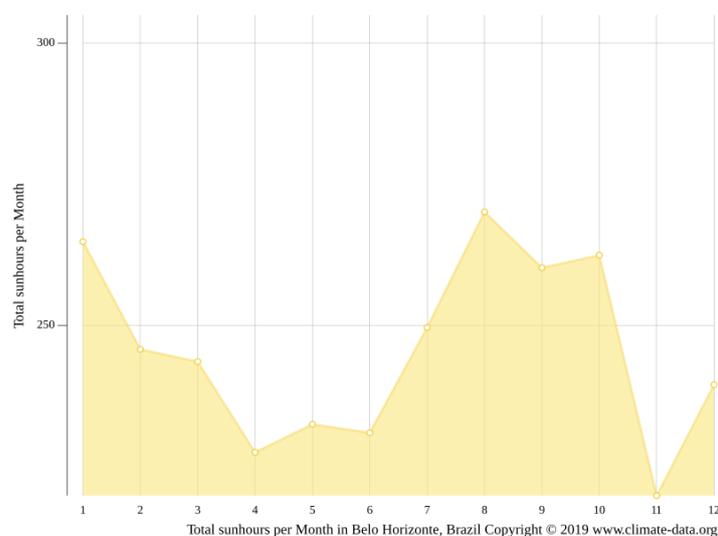


Figura 9. Total de horas de sol em Belo Horizonte. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/minas-gerais/belo-horizonte-2889/>> Acesso em: 20 jan.de 2022.

A Grande Galeria do Palácio das Artes, situada na Avenida Afonso Pena número 1537, região central de Belo Horizonte, é um espaço com características arquitetônicas muito próximas do modelo modernista de espaços expositivo denominado “cubo branco”, exceto pela fachada oeste que apresenta panos de vidro, um fator que pode gerar problemas decorrentes do excesso de entrada de luz visto que essa é a fachada que recebe maior incidência solar ao longo de todo o ano. Essa fachada apresenta vidro duplo transparente aplicado paralelamente e necessita de uma proteção não apenas para os usuários do local, mas também para garantir a integridade das obras de arte que apresentam uma quantidade específica de luz que pode receber de acordo com o tipo de suporte.

As fachadas norte e sul e sua também envidraçadas, mas a incidência solar nesses espaços é mais controlada devido à proteção das construções vizinhas e da vegetação abundante existente no entorno do Parque Municipal. Essa vegetação é primordial para o controle térmico e luminoso da edificação, pois permite um bom sombreamento. O piso da galeria é de granito polido em tons claros com alta reflexividade. Já as paredes são todas brancas, uma das características principais do modelo “cubo branco”. Além da sala longilínea da galeria em formato de paralelepípedo retângulo existe também um espaço em formato de trapézio que é destinado a projeções e vídeos e está localizado ao fundo da galeria, sendo esse espaço mais escuro e geralmente fechado por cortinas para permitir a projeção de obras multimídia. A galeria apresenta uma iluminação fixa para o ambiente geral com trilhos e spots direcionáveis no teto, como demonstram as figuras a seguir.

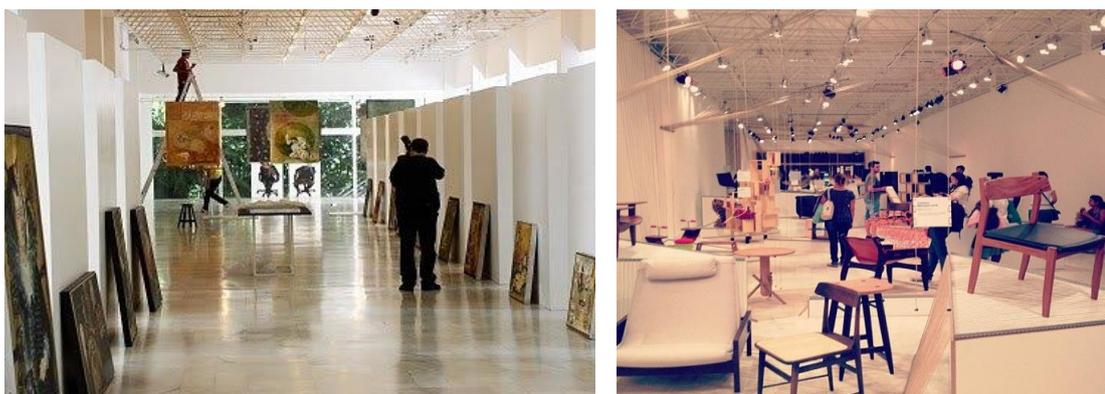


Figura 10. Grande Galeria do Palácio das Artes. Fonte: FCS, 2021.

Na fachada da galeria existe um espelho d'água que contribui para refrescar o ambiente e se mostra como um elemento estético importante na composição da fachada. A galeria se situa na Avenida Afonso Pena, uma das mais movimentadas da cidade, sendo que a permeabilidade dos vidros e contato direto a fachada a partir da calçada da avenida

permitem uma aproximação mais intimista do transeunte e possível visitante com a galeria. Nesse sentido, esses vidros ampliam o campo de visão e permitem uma comunicação visual mais efetiva que pode ser utilizada de forma estratégica, mas, geralmente, essa fachada é negada pela expografia, que utiliza adesivagem sem permeabilidade visual ou grandes paredes para cobrir todo o vidro da fachada e criar um ambiente completamente vedado como uma galeria no estilo “cubo branco”. A largura da galeria é de 7,94 metros, o comprimento é 55 metros, e o pé direito é de 4 metros. A planta da edificação está indicada abaixo (Figura 12) com a indicação da setorização e o mapa de localização.

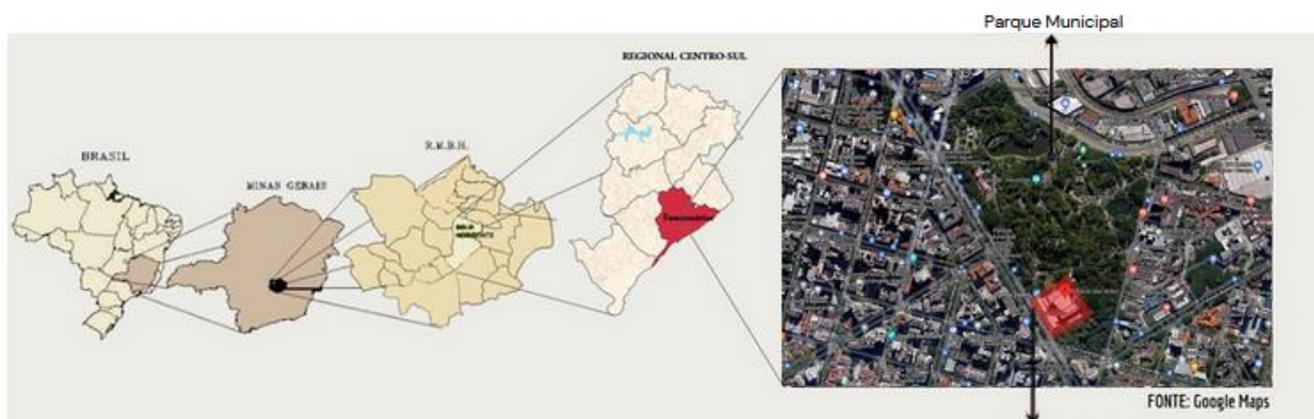


Figura 11. Mapa de localização da Grande Galeria do Palácio das Artes. Fonte: Google Maps com adaptação da autora; acesso em 2022.

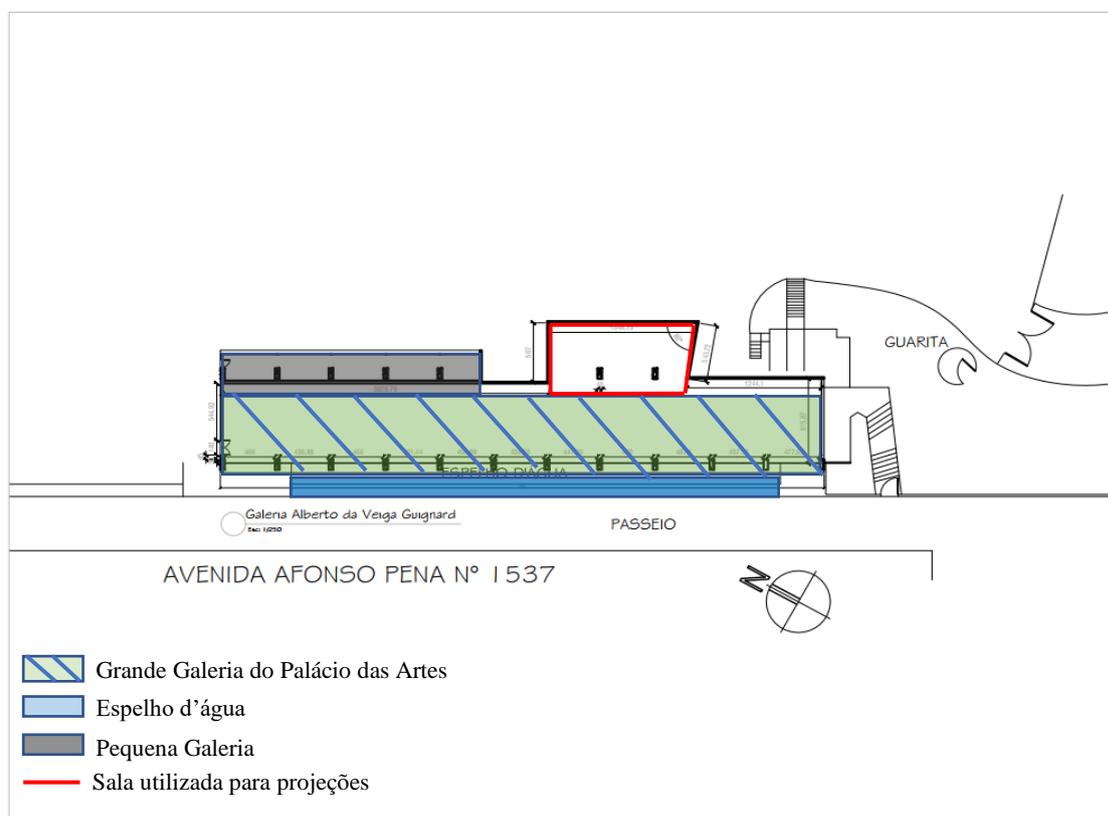


Figura 12. Planta com setorização da Grande Galeria do Palácio das Artes – adaptação da autora.

### 3.2 Simulações e métricas adotadas

O presente trabalho avaliou as condições de iluminação natural e o nível de ofuscamento da galeria de arte do Palácio das Artes por meio de simulações computacionais. As simulações foram divididas nas seguintes etapas: na primeira etapa foi avaliado o comportamento dinâmico da luz natural considerando as configurações e condições atuais do espaço analisado. Na segunda etapa, foram propostas soluções para a melhoria da qualidade da iluminação interna do ambiente a partir de elementos integrados aos panos de vidro e às demais aberturas envidraçadas com o auxílio de simulações dinâmicas do ambiente. Ainda nessa etapa foram feitas análises dos resultados para verificar as alterações e melhorias trazidas para o ambiente a partir das soluções de controle de iluminação propostas. Finalmente, na terceira etapa foram feitas análises do uso de persianas a partir da comparação do comportamento luminoso no espaço em sua configuração atual e nas simulações com soluções propostas. O plano de trabalho estabelecido para todas as análises foi de 75cm.

A modelagem tridimensional utilizada para as simulações foi produzida a partir de levantamento técnico no local, considerando o espaço da galeria sem obras de arte. Para essas análises, foi considerado também o entorno imediato que tem grande influência no sombreamento do local. Os modelos foram desenvolvidos no software Rhinoceros 7.0 e as simulações foram feitas com a utilização do plug-in Climate Studio. Para as simulações foi inserido no programa o arquivo climático TMYx (BRA\_MG\_Belo.Horizonte-Prates.AP.836724\_TMYx.2004-2018) da cidade de Belo Horizonte/MG onde constam informações de localização e dados climáticos fundamentais para o projeto.

A seleção de materiais para realizar as todas as simulações buscou identificar os materiais que mais se aproximavam das qualidades óticas e físicas necessárias nas simulações e que fossem compatíveis e estivessem disponíveis no programa. Os materiais, serão apresentados de acordo com cada etapa da análise.

Para a análise das simulações foi escolhido como parâmetro nas etapas iniciais a métrica de *Daylight Availability* referente à disponibilidade de luz natural, esse parâmetro identifica também as áreas com iluminação excessiva que são destacadas na cor rosa e, por muitas vezes, podem ser lidas como áreas com potencial para ofuscamento. Nessa métrica, o ideal é obter mais áreas laranjas (bem iluminadas) e menos áreas rosadas

(iluminação excessiva) que representam áreas que possuem iluminâncias 10x a iluminância de referência em 5% das horas de ocupação.

Outro parâmetro analisado é o  $sDA_{300,50\%}$  (*Spatial Daylight Autonomy*) que se refere à suficiência de 300 lux de 08:00 às 18:00h a partir do uso de dados anuais do arquivo climático. Nessa métrica, o ideal é atingir o maior percentual possível de área atendida pela métrica que de ser no mínimo 55% como indica a tabela abaixo (figura 13).

$sDA \geq 75\%$	iluminação natural “preferida” – o ambiente funciona confortavelmente sem uso de iluminação elétrica
$55\% > sDA > 74\%$	iluminação natural “nominalmente aceita” pelos ocupantes

Figura 13. Exigências para atendimento da métricas sDA.

De acordo com esse parâmetro, pontos ou áreas que tenham pelo menos 300 lux na metade do tempo de análise são contabilizados como cumprindo o objetivo, levando em consideração cortinas operáveis.

O terceiro parâmetro analisado nesse estudo foi o ASE (*Annual Sunlight Exposure*). Também foram adotadas as persianas (*blinds*) na análise para verificar o controle de ofuscamento nos pontos mais críticos da fachada envidraçada. Para todas essas análises foi adotado o plano de trabalho de 75cm que corresponde à altura indicada para o mobiliário em ambiente expositivo segundo normas do IBRAM e normas de acessibilidade em museus já apresentadas acima. Todas as análises foram feitas considerando a configuração atual da galeria sem disposição de layout, pois o layout muda a cada exposição, fazendo com que a galeria tenha um potencial enorme de ocupação de acordo com o planejamento arquitetônico.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise da configuração atual da galeria

A primeira simulação foi dedicada ao estudo da galeria em sua situação atual, levando em consideração sua materialidade e a configuração de seu entorno. Para essa análise foi considerado o fechamento das aberturas em panos de vidro com o vidro do tipo *clear-clear* (que apresenta dois planos de vidro paralelos) disponível no programa de simulação. Esse vidro, é um dos mais translúcidos e apresenta uma transmissividade de luz de 77,4% e uma cor clara. Para os materiais da galeria foram adotados nas paredes os tons brancos (*white wall*,  $\rho = 83\%$ ), que equivale ao branco gelo e para o piso foi escolhida uma pedra natural com tom creme (*natural stone tile*,  $\rho = 46\%$ ) com baixa refletância. Já no teto também foram adotados tons claros mais próximos do branco gelo (*white ceiling*,  $\rho = 86\%$ ) e para os prédios do entorno foi adotado um material com baixa reflexividade e tom próximo do concreto (*grey concrete exterior floor*,  $\rho = 40\%$ ). Para o asfalto também foi adotado um material correspondente ao asfalto com tom bem fechado (*asphalt road*,  $\rho = 11\%$ ).

Diante dessas escolhas correspondentes à situação atual da galeria de arte, foram feitas simulação de *Daylight Availability* para verificar a disponibilidade de luz natural no ambiente e as áreas com excesso de luz identificadas com a cor rosa. O primeiro resultado foi bastante insatisfatório e demonstrou uma entrada descontrolada de luz no interior da galeria com sDA de 93% que demonstrou que existe uma suficiência de luz satisfatória no ambiente entre 08:00 e 18:00h, apresentando pelo menos 300 lux em mais de 50% do tempo de análise. Em contrapartida, o ASE foi de 12%, demonstrando que a luz está entrando no espaço de forma descontrolada, podendo gerar problemas de ofuscamento ou danificação das obras de arte expostas, dependendo do suporte adotado. Esse primeiro indicador foi fundamental para compreender a necessidade de proposição de diferentes soluções para a fachada de vidro da edificação que se mostra como o ponto mais crítico em termos de materialidade nesse ambiente expositivo.

Os gráficos abaixo (figura 14) demonstram os resultados obtidos e as diferentes formas de visualização desses parâmetros. O sDA demonstra com o tom verde a entrada

de luz em toda a sala, chegando até a região mais profunda da sala. Já o ASE mostra uma mancha laranja ocupando a parte da fachada que recebe maior percentual de luz excessiva. A área onde isso ocorre é justamente a região um prédio de baixa altimetria no entorno.

1ª simulação com vidro clear-clear

CS Version: v1.5.7955.28438  
 Run Type: Daylight  
 Compliance: Custom  
 Location: Belo Horizonte Prates AP, MG, BRA  
 North Offset: 61,42°  
 Ambient Samples: 6400  
 Ambient Bounces: 6  
 Weight Limit: 0.01  
 Octree Size: 0,09 MB

Layer Materials:

Layer	Objects	Material	R.vis	T.vis
_parede	45	White wall	83,4%	0,0%
_piso	3	Natural stone tile	45,7%	0,0%
_teto	4	White Ceiling	85,7%	0,0%
_janela	20	Clear - Clear	14,9%	77,4%
_asfalto	1	Asphalt road	11,4%	0,0%
_predioexterno	5	Grey concrete exterior floor	40,0%	0,0%

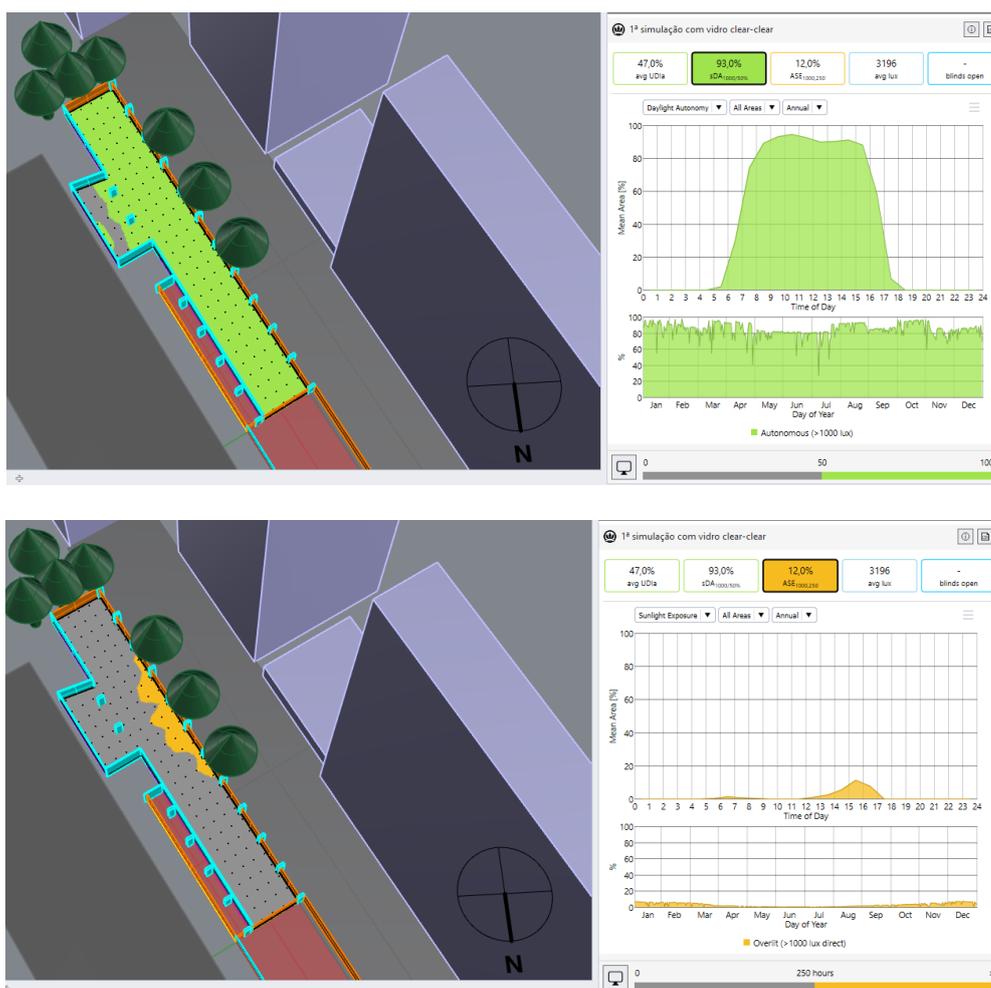


Figura 14. 1ª simulação com vidro clear-clear – galeria em sua situação atual. Simulação Climate Studio.

A figura 15 é visualmente interessante para compreender as áreas com maior incidência de luz a partir do uso de uma base cromática de fácil leitura, onde os tons quentes representam a concentração de iluminação direta do sol e os tons frios as regiões nas quais a iluminação não entra em profundidade, mais sombreadas e menos iluminadas. Verifica-se que os tons vermelhos indicam níveis de iluminação de 3000 lux ou mais, o que pode indicar áreas com iluminação excessiva ao longo do dia.

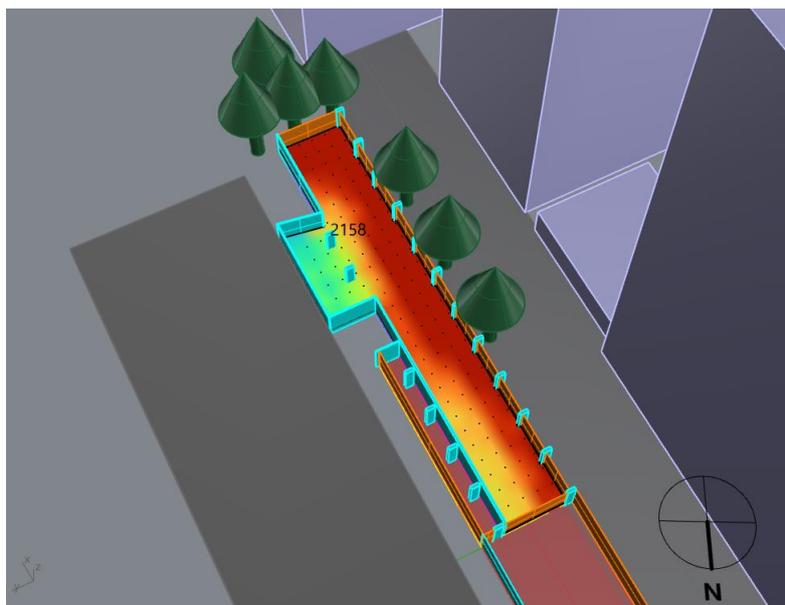


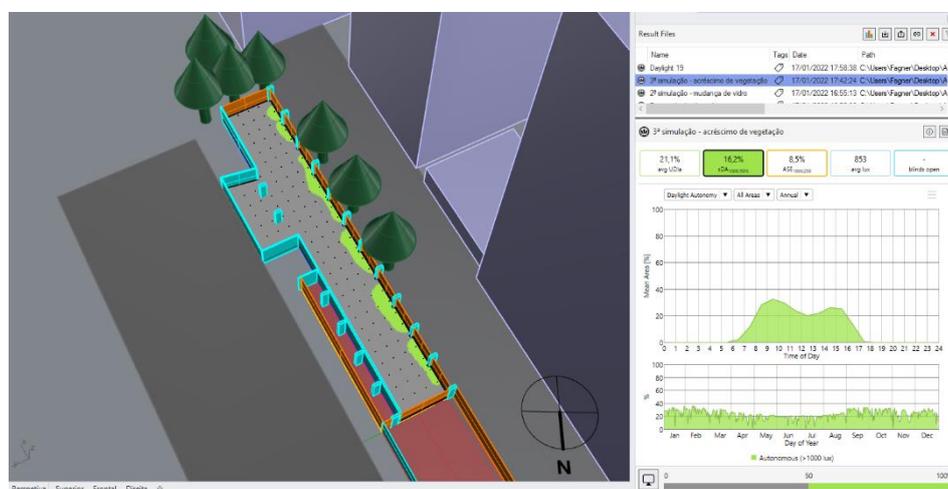
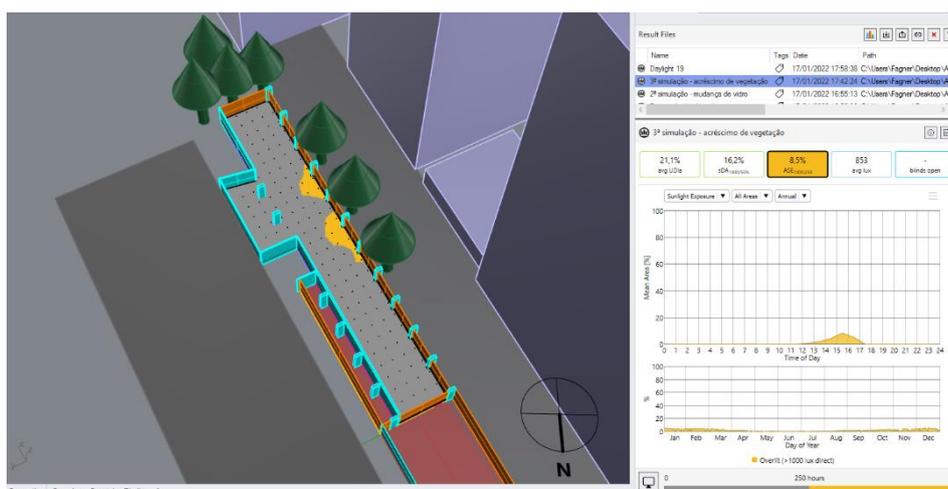
Figura 15. 1ª simulação do nível de iluminação médio com vidro clear-clear - galeria em sua situação atual. Simulação Climate Studio.

## 4.2 Propostas de melhoria

A partir do primeiro resultado da simulação realizada considerando a situação atual da galeria foram feitas propostas e novas simulações dedicadas ao controle da entrada da luz no ambiente e a suficiência de luz natural no ambiente. Desse modo, todas as simulações subsequentes foram feitas analisando a métrica *Spatial Daylight Autonomy*. Ao todo foram feitas seis simulações além da primeira. Como a galeria de arte está inserida em uma edificação tombada e de valor patrimonial significativo, foram priorizadas soluções que não interferissem na fachada da edificação ou em sua arquitetura original. Desse modo, o foco das propostas foi nos panos de vidros e aberturas existentes na galeria. As propostas foram a troca do tipo de vidro e a inserção de elementos de proteção solar nas aberturas para que a luz do ambiente fosse controlada e filtrada,

visando a eliminação do ofuscamento, que foi detectado como o maior problema desse espaço expositivo.

A seguir, serão apresentadas as soluções propostas para o controle de luz, visando atingir os parâmetros satisfatórios da norma, ou seja, sDA superior a 55% e com ASE de no máximo 10%. Na segunda análise foi feita uma alteração apenas no material das janelas que foi substituído pelo tipo *Halo 034* que corresponde a um vidro mais escuro com transmissividade de luz de 30%. A partir dessa troca e levando em consideração a vegetação existente no entorno que foi modelada com a geometria mais apropriada dentro das possibilidades do programa, foi possível observar uma melhora significativa em relação ao ASE que caiu de 12% para 8,5%. Entretanto, esse resultado ainda foi insatisfatório, pois apesar de melhorar o ASE ela piora bastante o sDA e não atende os resultados desejados e indicados pela norma, ficando bastante inferior ao mínimo de 55% exigido.



Daylight 18

CS Version: v1.5.7955.28438  
 Run Type: Daylight  
 Compliance: Custom  
 Location: Belo Horizonte Prates AP, MG, BRA  
 North Offset: 61,42°  
 Ambient Samples: 6400  
 Ambient Bounces: 6  
 Weight Limit: 0.01  
 Octree Size: 0,24 MB

Layer Materials:

Layer	Objects	Material	R.vis	T.vis
_parede	45	White wall	83,4%	0,0%
_piso	3	Natural stone tile	45,7%	0,0%
_teto	4	White Ceiling	85,7%	0,0%
_janela	20	Halio 034	7,5%	30,0%
_asfalto	1	Asphalt road	11,4%	0,0%
_predioexterno	5	Grey concrete exterior floor	40,0%	0,0%
_vegetação	24	Weed tree Leaf	7,6%	0,0%

Figura 16. 2ª simulação com vidro halio034 – propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

Na terceira simulação, foram novamente mantidos os materiais da edificação, modificando apenas o tipo de vidro que passou a ser o tipo *View Dynamic Glass Tint 2* que corresponde a um vidro com pintura dinâmica com tom cinza que varia de acordo com a entrada de luz no espaço e possui 41% de transmissividade. Embora seja um vidro tecnológico com custo elevado, fez-se necessário realizar a simulação com esse modelo para verificar sua eficiência no contexto estudado e as possibilidades de sua aplicação em projetos de tratamento de fachadas para espaços expositivos no Brasil. Nessa simulação, como é possível ver nos gráficos abaixo (figura 17), o ASE foi satisfatório e abaixo de 10%, mas o sDA ficou abaixo dos 55% recomendados pela norma.

4ª simulação - Mudança de vidro janelas

CS Version: v1.5.7955.28438  
 Run Type: Daylight  
 Compliance: Custom  
 Location: Belo Horizonte Prates AP, MG, BRA  
 North Offset: 61,42°  
 Ambient Samples: 6400  
 Ambient Bounces: 6  
 Weight Limit: 0.01  
 Octree Size: 0,24 MB

Layer Materials:

Layer	Objects	Material	R.vis	T.vis
_parede	45	White wall	83,4%	0,0%
_piso	3	Natural stone tile	45,7%	0,0%
_teto	4	White Ceiling	85,7%	0,0%
_janela	20	View Dynamic Glass Tint 2	11,7%	41,2%
_asfalto	1	Asphalt road	11,4%	0,0%
_predioexterno	5	Grey concrete exterior floor	40,0%	0,0%
_vegetação	24	Weed tree Leaf	7,6%	0,0%

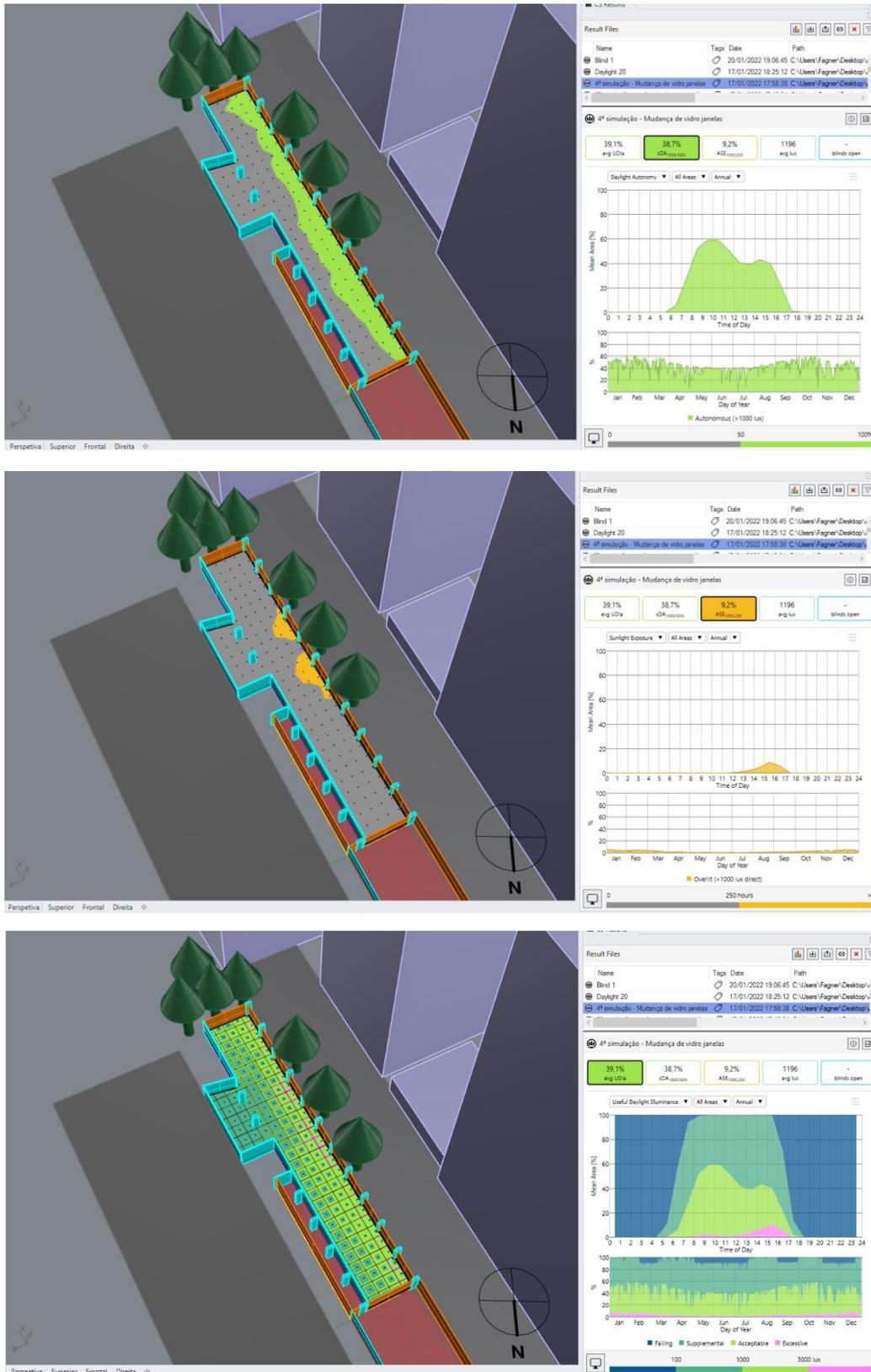


Figura 17. 3ª simulação com vidro dinâmico – propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

A quarta simulação buscou uma melhora nos índices de ASE e sDA a partir da troca do vidro anterior por um vidro com película do tipo *Halio 018* com transmissividade de 43% que usualmente é uma das soluções adotadas pelo Palácio das Artes em diversas exposições. Esse vidro com película apresenta maior capacidade de filtragem da luz, mantendo o interior da galeria com boa iluminação. Os resultados dessa simulação foram novamente satisfatórios em relação ao ASE, mas insatisfatórios em relação à suficiência de luz natural de 08:00 às 18:00h.

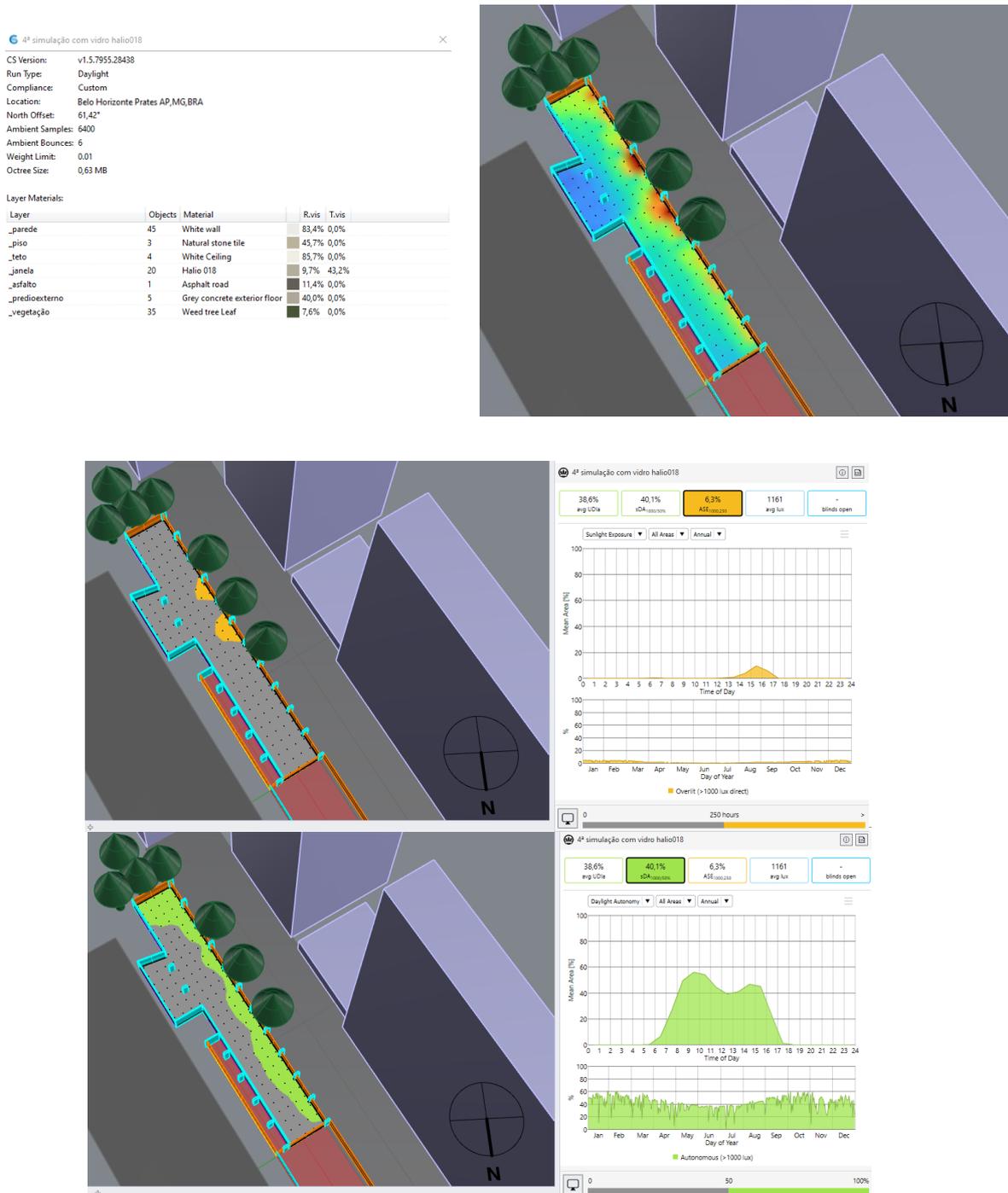


Figura 18. 4ª simulação com vidro halio018 – propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

A quinta simulação foi a primeira que apresentou resultados satisfatórios de acordo com a norma tanto para o sDA quanto para o ASE. Nela, o vidro foi trocado pelo tipo *Halio 000* com 63% de transmissividade e boa filtragem de luz, permitindo que a entrada da luz seja controlada e a iluminação no interior da galeria seja satisfatória. Nesse modelo, o sDA foi igual a 76,8% e o ASE foi igual a 7,7%. Os gráficos abaixo (figura 19) demonstram o resultado e a distribuição de luz no espaço expositivo.

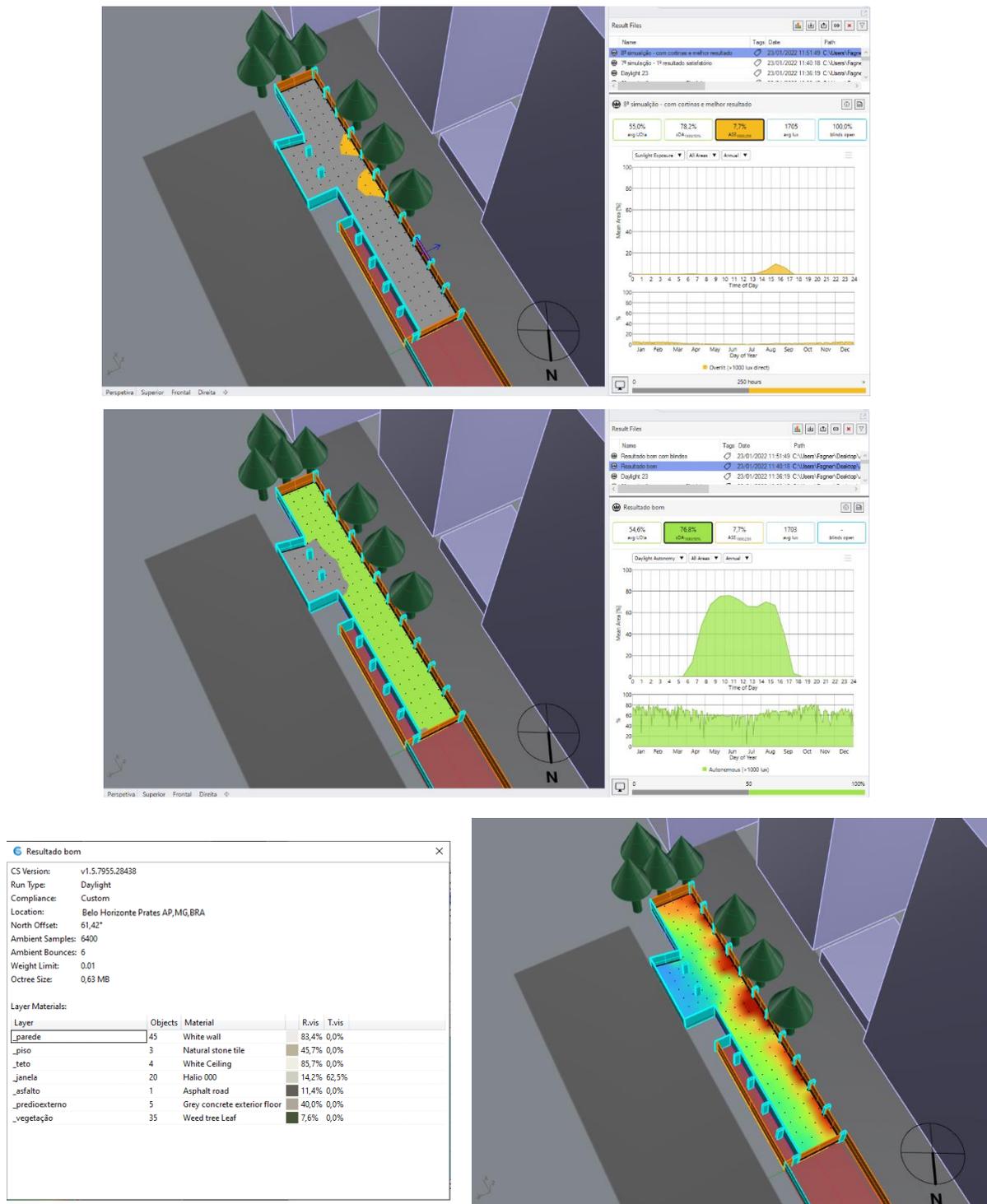
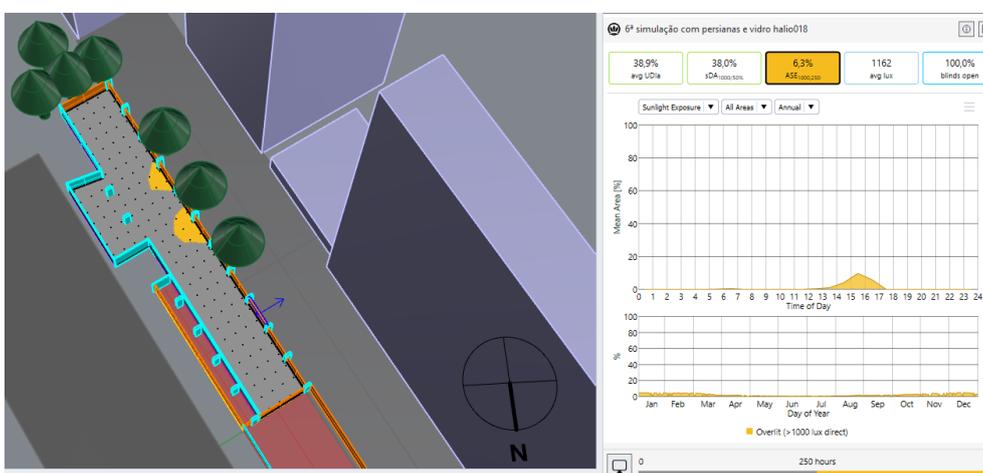
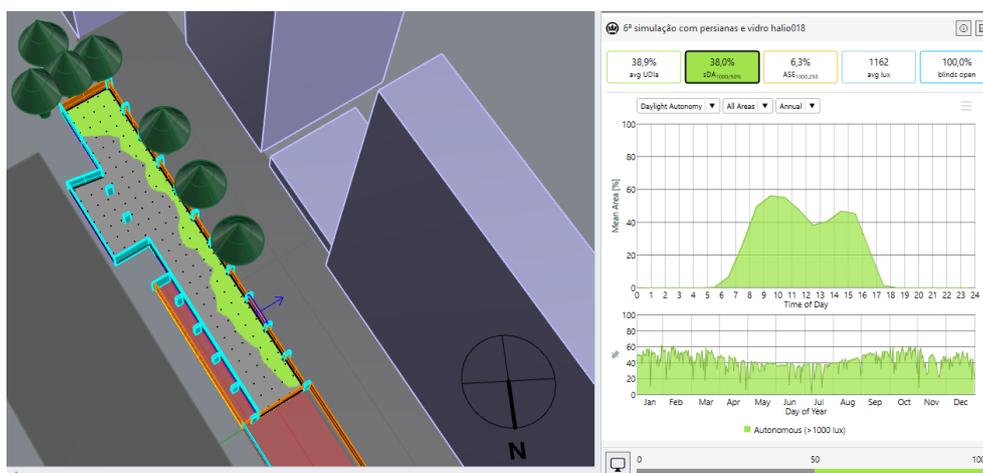


Figura 19. 5ª simulação com vidro halio000 – propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

### 4.3 Análise do uso de persianas

O ofuscamento é um dos principais problemas identificados nesse espaço expositivo que apresenta características arquitetônicas que não favorecem a exposição de alguns tipos de obras de arte devido à fachada com panos de vidro e a entrada excessiva de luz ao longo de todo o dia. Desse modo, além de analisar a autonomia de luz, se mostrou fundamental estudar um elemento que auxiliasse no controle do ofuscamento e da entrada de luz, visando alcançar soluções que não interferissem na configuração arquitetônica original da galeria. Desse modo, foram feitas duas simulações com a adição de persianas operáveis (*blinds*) a partir das melhores situações encontradas nos estudos anteriores. O resultado dessas simulações de 8:00 às 18:00h foi satisfatório apenas na última simulação (figura 21), pois, na primeira simulação com persianas (figura 20), que apresentava o vidro do tipo *Halio 018* que já tinha uma película acinzentada, o sDA ficou abaixo dos 55% recomendados pela norma. Já o ASE foi satisfatório, pois ficou abaixo dos 10% indicados, como demonstram os gráficos a seguir.



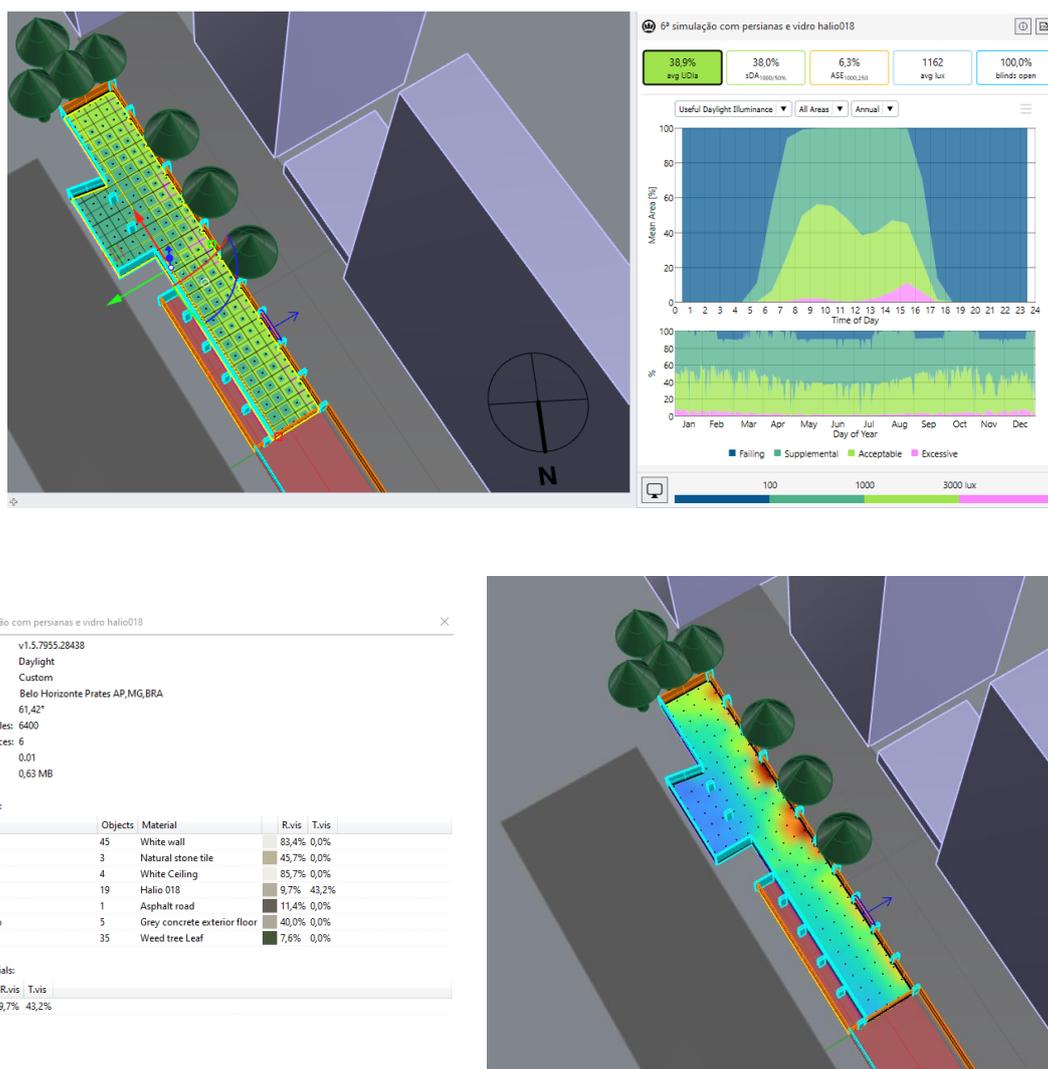
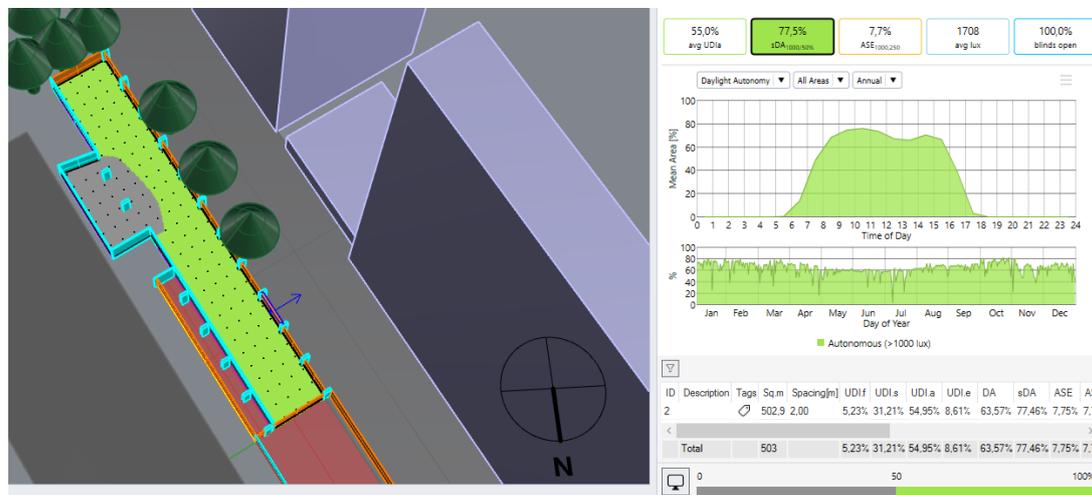
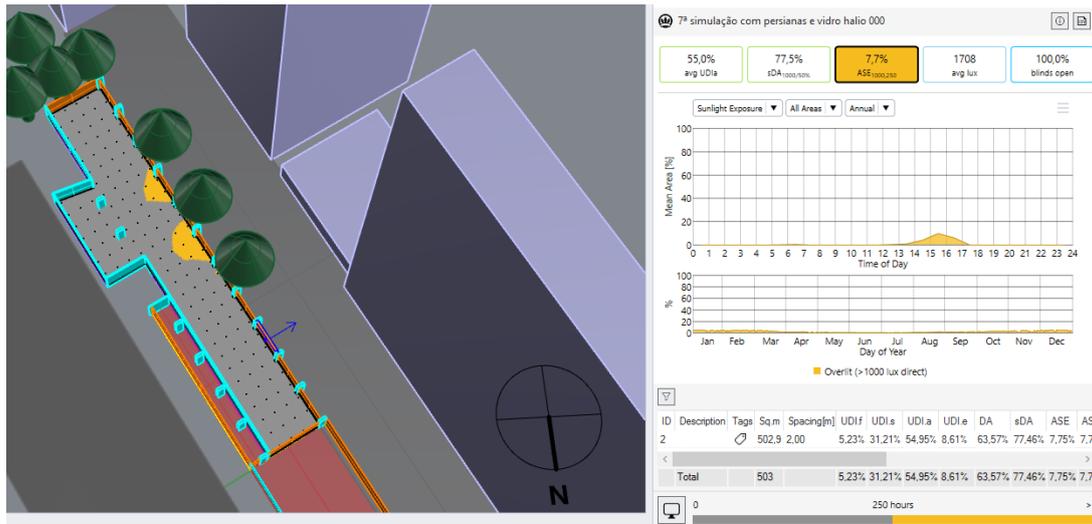


Figura 20. 6ª simulação com uso de persianas operáveis e vidro halio018 - propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

O segundo e último estudo foi realizado com base no melhor resultado encontrado na simulação com propostas de melhoria, ou seja, na quinta simulação que apresentou resultados bastante satisfatórios e se enquadrou na norma. A partir do vidro tipo *Halio 000* foram adicionadas persianas operáveis (*blinds*) e transmissividade de 15,4%. O resultado para controle da entrada de luz a partir da adição de persianas foi extremamente satisfatório tanto para o sDA quanto para o ASE que tiveram os respectivos resultados 77,5% e 7,7%, desse modo, o ASE foi menor que 10% e o sDA foi maior que 55%, atendendo a norma. As persianas operaram cortando parte da luz natural que entrava na galeria em períodos mais críticos do ano com mais de 2000lux em 2% do tempo.



7ª simulação com persianas e vidro halio 000

CS Version: v1.5.7955.28438  
 Run Type: Daylight  
 Compliance: Custom  
 Location: Balo Horizonte Prates AP, MG, BRA  
 North Offset: 61,42°  
 Ambient Samples: 6400  
 Ambient Bounces: 6  
 Weight Limit: 0,01  
 Octree Size: 0,63 MB

Layer Materials:

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
_parede	45	White wall	83,4%	0,0%
_piso	3	Natural stone tile	45,7%	0,0%
_teto	4	White Ceiling	85,7%	0,0%
_janela	19	Halio 000	14,2%	62,5%
_asfalto	1	Asphalt road	11,4%	0,0%
_predio:externo	5	Grey concrete exterior floor	40,0%	0,0%
_vegetação	35	Weed tree Leaf	7,6%	0,0%

Window Materials:

Name	Rvis	Tvis
Halio 000	14,2%	62,5%

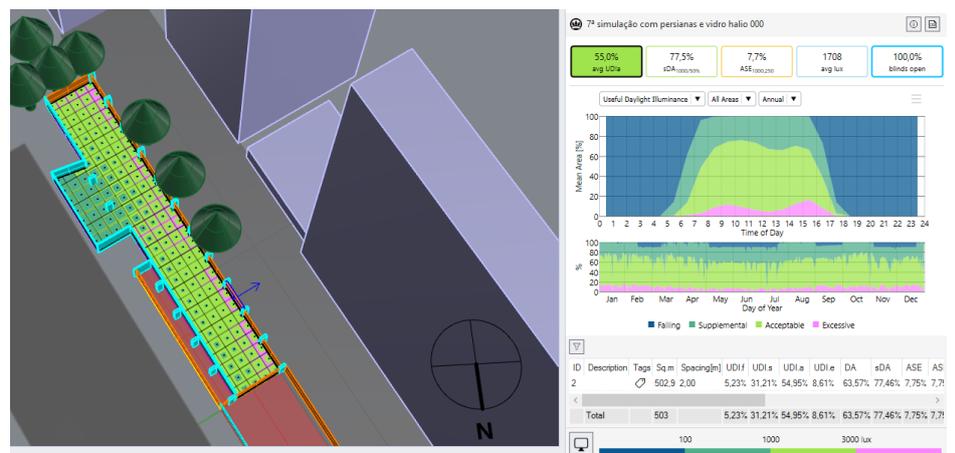


Figura 21. 7ª simulação com uso de persianas operáveis e vidro halio000 - propostas para controle de iluminação na galeria. Simulação Climate Studio.

#### 4.4 Análise de resultados

A partir dos resultados das simulações apresentados anteriormente, foi possível criar o mapa expográfico de setorização luminosa para a Grande Galeria do Palácio das Artes conforme indicação da (figura 22) e uma tabela (tabela 8) comparativa com os resultados de todas as simulações no Climate Studio, conforme indicação abaixo. A tabela 8 indica que as melhores soluções foram obtidas nas simulações 5 e 7 que apresentaram níveis de desempenho superiores (sDA superior a 75% da área do ambiente e ASE igual a 7,7%, sendo que ambos atendem à norma). A partir da adição de persianas operáveis na quarta e sexta simulação, é possível verificar que existe uma redução da entrada de luz no ambiente. Já com o tipo de vidro halio000, a adição de persianas não se mostrou eficiente, pois nas simulações 5 e 7, o valor do sDA se eleva ao invés de diminuir e o valor do ASE se mantém inalterado. É importante salientar que a presença da vegetação existente no entorno é fundamental para o controle da entrada de luz excessiva no local e para a melhora do conforto ambiental da galeria de arte.

Tabela 8. Tabelas comparativa com os resultados das simulações no Climate Studio

<b>TABELA DE RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NO CLIMATE STUDIO</b>					
<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>sDA</b>	<b>ASE</b>	<b>TIPO DE VIDRO</b>	<b>EXISTEM PERSIANAS?</b>	<b>ATENDE À NORMA?</b>
1ª SIMULAÇÃO	93%	12%	<i>Clear-clear</i>	NÃO	NÃO
2ª SIMULAÇÃO	16,2%	8,5%	<i>Halo 034</i>	NÃO	NÃO
3ª SIMULAÇÃO	38,7%	9,2%	<i>View Dynamic Glass Tint 2</i>	NÃO	NÃO
4ª SIMULAÇÃO	40,1%	6,3%	<i>Halio 018</i>	NÃO	NÃO
5ª SIMULAÇÃO	76,8%	7,7%	<i>Halio 000</i>	NÃO	SIM
6ª SIMULAÇÃO	38,0%	6,3%	<i>Halio 018</i>	SIM	NÃO
7ª SIMULAÇÃO	77,5%	7,7%	<i>Halio 000</i>	SIM	SIM

Tabela 8. Simulações realizadas pela autora do Climate Studio.

No mapa de iluminação para ambiente expositivo (figura 22), foi proposto um direcionamento das áreas mais apropriadas para a disposição dos diferentes suportes

artísticos (esculturas, pinturas, desenhos, vídeos, documentos, entre outros) dos mais diversos materiais de acordo com sua sensibilidade à exposição de luz indicada pelo ICOM (Internacional Council of Museum da França) e pelo IES da Inglaterra.

Nesse sentido, como é possível verificar na figura 22, os materiais extremamente sensíveis, tais como pinturas em guache, aquarela e similares, desenhos em papel, manuscritos, seda, algodão, fibras entre outros devem ser posicionados preferencialmente nas áreas azuladas, pois podem receber uma iluminância de até 50 lux e ter uma exposição anual de 120.000 lux/hora/ano. Já os materiais moderadamente sensíveis, tais como, pintura a óleo e têmpera, couro natural, marfim e madeiras finas ou laqueadas podem ser posicionados, preferencialmente, nas áreas esverdeadas onde receberão uma iluminância de até 150 lux e terão uma exposição anual de 360.000 lux/hora/ano, pois, nessa área mais profunda da sala expositiva a incidência de raios solares é menor devido às filtragens decorrentes das soluções de controle de entrada de luz propostas.

Para os materiais pouco sensíveis, tais como metais, pedras, vidro, cerâmica e joias existe a possibilidade de serem dispostos mais próximos da fachada da galeria onde existe maior exposição aos raios solares. Essas áreas com maior iluminância são indicadas em tons alaranjados no mapa abaixo e não apresentam um limite de iluminância indicada. Para as obras consideradas não sensíveis, tais como o bronze e alguns tipos de esculturas em pedra é indicado que sejam posicionadas nas áreas com maior incidência direta do sol identificadas com a cor vermelha. Esse tipo de suporte é bem resistente e pode ser colocado inclusive em áreas externas com exposição direta ao sol.

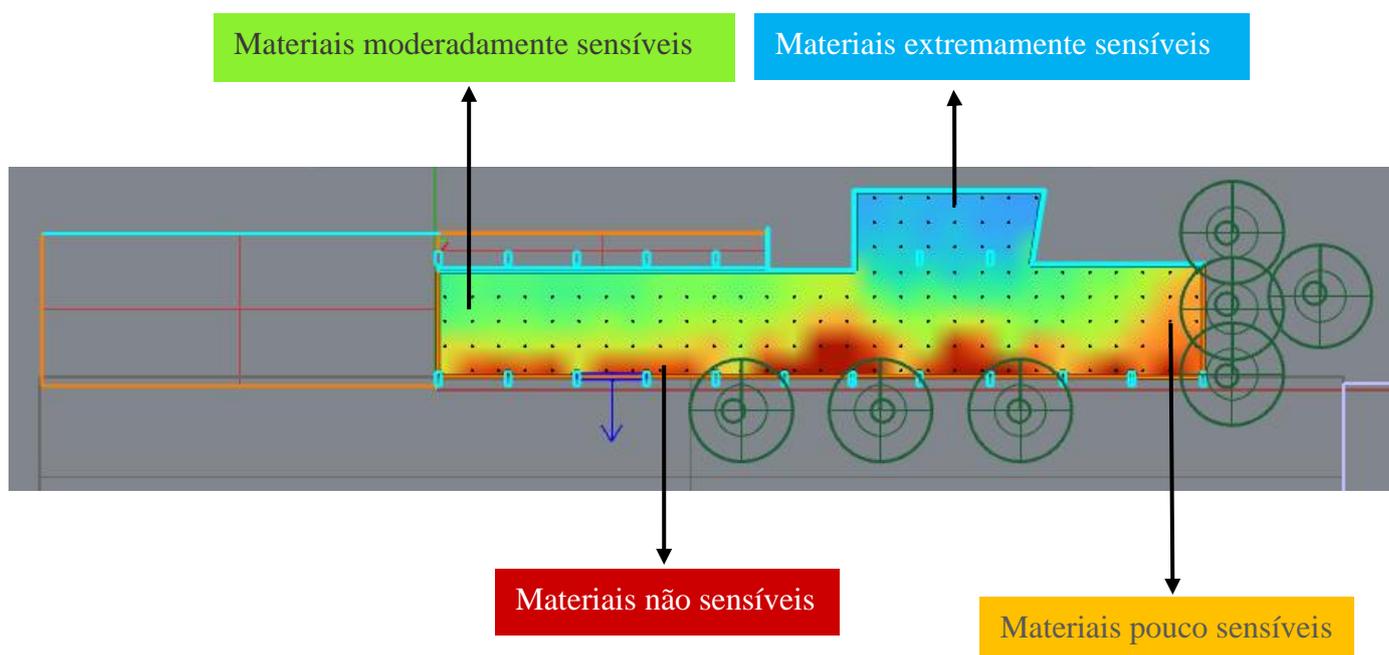


Figura 22. Mapa de iluminação para ambiente expositivo. Simulação Climate Studio.

## 5 CONCLUSÃO

Esse estudo teve como foco a avaliação da qualidade da iluminação natural e do conforto visual e ambiental do espaço expositivo da Grande Galeria do Palácio das Artes que apresenta panos de vidro ao longo de toda a fachada e recebe, durante todo o dia, uma quantidade significativa de luz que, por muitas vezes, se mostra danosa às obras de arte expostas. Diante disso, a metodologia adotada possibilitou a análise da distribuição de luz e da disponibilidade de luz no ambiente através de simulações computacionais que apontaram que, de fato, existe uma quantidade de luz excessiva entrando de forma descontrolada no ambiente, podendo causar ofuscamento e danos à integridade das obras, além de atrapalhar a experiência de visitação e apreciação no espaço expositivo. O estudo demonstrou que existe suficiência de luz satisfatória no ambiente entre 08:00 e 18:00h, mas que, em diversos pontos das fachadas envidraçadas, existe um potencial para a geração de incômodo visual causado pelo ofuscamento direto e/ou indireto que pode ser inclusive inabilitador em alguns momentos do dia devido à quantidade excessiva de luz.

A partir desse cenário foram feitas proposições de diferentes soluções para o controle e melhor distribuição de luz conforme indicado na tabela 8, visando não apenas o conforto visual e ambiental da galeria, mas também a criação de um mapa expográfico de iluminação (figura 22) que direcione os arquitetos e expógrafos durante o processo de criação das exposições. A solução mais adequada foi a utilização de vidros com película e coloração mais acinzentada que permitem a entrada de luz de forma mais filtrada e controlam a entrada de raios solares no espaço. Esses vidros possuem certa permeabilidade visual para permitirem que a luz entre de forma mais controlada no espaço. Também foi proposta a adoção de persianas que se fecham em determinados pontos do dia e cortam 50% da luz, tornando o ambiente mais agradável. Essas soluções adotadas visaram a melhoria da qualidade luminosa do ambiente sem realizar alterações permanentes na fachada da edificação tombada.

Conclui-se que, para o ambiente expositivo é fundamental a adoção de análises técnicas específicas para a iluminação natural e de mecanismos para controle de entrada de luz natural no espaço para garantir o conforto luminoso do ambiente, a valorização das obras de arte, a preservação de todos os tipos de suporte e qualidade na apreciação do espaço pelo usuário.

## 6 REFERÊNCIAS

BAEZA, A. C. (2008). *A Ideia Construída* (2º ed.). (A. C. Silva, Trad.) Portugal: Caleidoscópio.(pag.37-38).

Camuffo, D, Pagan, E.; Bernardi, A; Becherini, F. The impact of heating, lighting, and people in re-using historical buildings: a case study, *Journal of Cultural Heritage*, 5, pp. 409–416, 2004.

CLIMATE DATA. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/belo-horizonte-2889>> Acesso em: 20/12/2021.

COLBY, Karen M. *A Suggested Exhibition: Exposure Polycy for Works of Art on Paper*. Montreal: Montreal Museum of Fine Arts, 1991.

COSTA, Leandra Luciana Lopes. *A luz como modeladora do espaço na Arquitetura*.2013. 135 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

CRESPO, Ana Marta. **Ideia Construída -Imagem Mental Intervenção no forte de Crismina** - Proposta para um Centro Cultural | Fenomenológico para deficientes visuais. 2015. 148f. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade da Beira Interior, Portugal, 2015. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-16022017-122841/publico/anaritamier.pdf>> Acesso em: 10 de nov. De 2021.

F. Arana Sema, E. Ceron Palma, M. Rizzi, *Evaluation of visual adaptation to illumination levels*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.

Heschong, L., van den Wymelenberg, K., Andersen, M., Digert, N., Fernandes, L., Keller, A., Loveland, J., McKay H., Mistrick, R., Mosher, B., Reinhart, C., Rogers, Z., Tanteri, M. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. IES standard LM-83-12. ISBN:978-0-87995-272-3.

IESNA, Illuminating Engineering Society, *IESNA Lighting Handbook*, Ninth edition, New York, 2000 (pag 543).

Iluminação integrada. Disponível em: <<https://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/desafios-projetos-eficientes-iluminacao-natural-e-artificial/>> Acesso em: 12 nov. de 2021.

Kazanasmaz, T., Grobe, L.O., Bauer, C. Krehel, M., Wittkopf, S. (2016) Three approaches to optimize optical properties and size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy. *Building and Environment*. pp. 243-256, DOI:10.1016/j.buildenv.2016.03.018

LECHNER, Norbert. *TECTÓNICA* Nº 26, Iluminação (II): Iluminación natural, ATC Ediciones, Madrid, Espanha, 2009.

OLIVEIRA, André M. S. R. Tese. *Desenhar a luz –A luz natural como matéria-prima*

na composição arquitetónica, Departamento de Arquitetura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, 2009.

Palácio das Artes. Disponível em: <<http://fcs.mg.gov.br/eventos/exposicao-chichico-alkimim/>> Acesso em: 12 nov. de 2021.

SOARES, C. P. Santos. Investigação do potencial de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 2014. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

Thomson, Garry. *The Museum Environment*, Second Edition. Butterworths, London, 1986.

Vanessa Antunes, «Carmina Montezuma – Iluminação em Museus: A Descoberta da Obra de Arte», MIDAS [Online], 12 | 2020, posto online no dia 15 dezembro 2020, consultado no dia 06 dezembro 2021. URL: <http://journals.openedition.org/midas/2657> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/midas.2657>.