

# Estado de conservação de fachada-cortina modernista: estudos estatísticos dos fatores que afetam o padrão de envelhecimento natural

*State of conservation of a modernist curtain wall: statistical studies of factors that affect the natural aging pattern*

Tatiana Renata Pereira Jucá 

Vanda Alice Garcia Zanoni 

Janes Cleiton Alves de Oliveira 

## Resumo

Os sistemas de vedação vertical externa constituídos por fachadas-cortina compostas por aço e vidro são exemplares que, após anos de uso, encontram-se em vulnerabilidade, posto que a obsolescência funcional e tecnológica acelera a necessidade de *retrofit*. Entre 1960 e 1970, a fachada-cortina em aço carbono foi amplamente usada nos edifícios modernistas, que justifica a compreender como a degradação ocorre ao longo dos anos. Com o objetivo de delinear um método de investigação do estado de conservação para compreender o padrão de envelhecimento natural desse sistema, esta pesquisa avaliou o comportamento da fachada-cortina de um edifício da década 1960 localizado em Brasília. Para tanto, foi realizada uma inspeção predial, cujos dados alimentaram a análise estatística em que as múltiplas comparações entre as variáveis foram usadas para entender como a fachada envelheceu e discutir as relações de causa-efeito. O pavimento térreo apresentou o pior estado de conservação. Por sua vez, a tipologia de esquadria fixa foi a mais conservada. Os resultados da avaliação dos trechos horizontais mostraram que a fachada envelheceu de forma semelhante, exceto para o estado de corrosão no encontro com a fachada norte, que apresentou o pior resultado.

**Palavras-chave:** Fachada-cortina. Durabilidade. Inspeção predial. Conservação predial. Manutenção predial.

## Abstract

*External vertical sealing systems constituted of steel and glass curtain walls become vulnerable after years of use, and their functional and technological obsolescence increases the need for retrofitting. In the 1960s and 1970s, carbon steel curtain walls were widely used in modernist buildings, which justifies efforts to understand how their degradation occurs over the years. With the aim of outlining a method to investigate the state of conservation in order to understand the natural aging pattern of this type of system, this research study statistically evaluated the behaviour of the curtain wall of a 1960s building located on the Esplanade of the Ministries, in the Brazilian capital, Brasilia. To this end, a building inspection was carried out and the data fed the statistical analysis, where multiple comparisons between variables were used to understand how the façade aged and to discuss cause-effect relationships. The ground floor presented the worst state of conservation. The fixed frame typology was the most preserved. When the horizontal sections were evaluated, the results showed that the facade aged in a similar way, except for the corrosion state at the joining with the north facade, which presented the worst results.*

**Keywords:** Curtain wall. Durability. Building inspection. Building conservation. Building maintenance.

<sup>1</sup>Tatiana Renata Pereira Jucá

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Goiânia - GO - Brasil

<sup>2</sup>Vanda Alice Garcia Zanoni

<sup>2</sup>Universidade de Brasília  
Brasília - DF - Brasil

<sup>3</sup>Janes Cleiton Alves de Oliveira

<sup>3</sup>Universidade Federal de Goiás  
Goiânia - GO - Brasil

Recebido em 10/06/21

Aceito em 26/02/22

## Introdução

As fachadas-cortina são elementos que compõem a envoltória do edifício e tem papel essencial em seu desempenho. Além da estética, são encarregadas de garantir estanqueidade, atuam no conforto térmico, acústico e lumínico do ambiente interno e interferem na segurança do usuário. Para tanto, precisam ser duráveis aos agentes de degradação que atuam no edifício ao longo do tempo, como a chuva dirigida, a pressão do vento, as vibrações, a radiação solar e a variação de gradientes térmicos, entre outros.

A degradação é definida na NBR 15575-1 (ABNT, 2021) como a redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação. Assim, esta pesquisa se situa no campo experimental da área da durabilidade em que se avalia o edifício em escala real, reiterando a importância de aprender com os edifícios já construídos, sendo, para tanto, necessário monitorá-los ao longo do tempo para conhecer seu estado de degradação (BAUER *et al.* 2020; DOUGLAS; RANSOM, 2013).

No caso das fachadas-cortina em que o vidro é protagonista, há estudos importantes que avaliam a interação entre o sistema estrutural e a fachada (YUAN *et al.*, 2021; BEZ *et al.*, 2021; AIELLO *et al.*, 2018; MAJOR; KOSIŃ; MAJOR, 2017), o desempenho termo energético (GARAY-MARTINEZ; ARREGI, 2020; JOE *et al.*, 2017; LI; DAI; WANG, 2015; WONG, 2016), o desempenho acústico (SECCHI *et al.*, 2015), o desempenho lumínico e controle de brilho (KIM; KONSTANTZOS; TZEMPELIKOS, 2020; NOVELLI *et al.*, 2021; ZHANG; ZHANG; LI, 2022) e a estanqueidade (JOACHIM *et al.*, 2022; MARCHIONE; MUNAFÒ, 2021). No que tange à durabilidade e à manutenibilidade, as pesquisas se concentram na falha do vidro (PUGA *et al.*, 2015) ou tratam de aspectos técnicos de forma isolada (LEE *et al.*, 2018; MOON *et al.* 2012).

Pereira *et al.* (2020) destacam que é necessária uma metodologia confiável de inspeção para especificar a urgência de reparos com base em dados de campo para elaboração ou atualização dos planos de manutenção. Bauer, Souza e Mota (2021) afirmam que a investigação de campo – com a inspeção dos edifícios e a quantificação e o mapeamento das anomalias – permite detectar padrões e tendências que auxiliam no entendimento da degradação.

Com foco na fachada-cortina em aço carbono como sistema de vedação vertical amplamente usado nos edifícios modernistas, objetiva-se delinear um método de investigação do estado de conservação para compreender o padrão de envelhecimento natural desse sistema. Tomando o Bloco O da Esplanada dos Ministérios como testemunho de referência desse processo, além da tecnologia aplicada e das condições de uso e exposição, interessa investigar quais são os fatores relacionados à tipologia e à morfologia arquitetônicas que explicam o potencial de maior ou menor degradação de seus componentes ao longo da vida útil. Quando se deseja avaliar a degradação, dados sobre o envelhecimento natural das edificações, decorrente da exposição a longo prazo, podem ser obtidos por meio de inspeção em edifícios (BRITISH..., 2012). Nesse sentido, as informações registradas tornam o edifício um documento de referência para embasar intervenções em estoque similar a ser habilitado.

## Histórico do uso das fachadas-cortina no Brasil

O primeiro edifício com uso das fachadas-cortina no Brasil foi o Palácio Gustavo Capanema, inaugurado em 1945 no Rio de Janeiro para abrigar o Ministério da Educação e Saúde. Foi projetado por Lúcio Costa e uma equipe de renomados arquitetos modernistas da década de 1930, entre eles Oscar Niemeyer (COSTA, 2011). Recentemente, após 70 anos de uso, o edifício e as fachadas envidraçadas em estrutura metálica de aço carbono foram restaurados devido seu estado de degradação.

As fachadas-cortina dos edifícios do Congresso Nacional em Brasília, projetados por Oscar Niemeyer em 1958 e inaugurados em 1960, previam o uso de esquadrias de alumínio. Porém, em função do exíguo prazo de entrega para a inauguração da nova capital, o alumínio foi substituído pelo aço, pois haveria um número maior de empresas para atender à demanda de componentes para a obra. Macedo, Lima e Silva (2013) alertaram que a adoção de produtos industrializados não padronizados e a falta de conhecimento do comportamento do sistema e de seus componentes, em longo prazo, poderiam levar à substituição integral do sistema de fachada-cortina original em uma futura reabilitação ou restauração.

Preservar os edifícios do modernismo trouxe à tona a dicotomia entre longevidade e inovação. Os sistemas construtivos adotados pela arquitetura moderna foram resultado de tecnologias inovadoras, em uma época em que o conceito de desempenho era pouco compreendido. Os requisitos contemporâneos, cada vez mais rigorosos quanto aos aspectos ambientais, impelem a edificação à obsolescência funcional e tecnológica, mesmo que ainda não apresente obsolescência física (DE JONGE, 2017).

A obsolescência física dos sistemas é acelerada pelas falhas de manutenção que comprometem o uso dos ambientes. Mesmo não havendo redução significativa da vida útil, o desuso causado pela obsolescência funcional acelera a degradação e a expectativa de vida útil. Nesse sentido, a obsolescência representa um processo de mutação física (técnica), funcional, tecnológica e/ou estética que influencia as tomadas de decisão quanto aos níveis de conservação da edificação e sua reabilitação ou restauração. Se entendermos a obsolescência como uma etapa do ciclo que ainda tem vida, como algo que está em processo, em transformação, em contraponto a algo sem uso ou função, interessa compreender o movimento no tempo (GONÇALVES, 2020; TIESDEL, 1995).

Um exemplo relevante que ilustra esse fenômeno é o conjunto formado pelos dezessete edifícios na Esplanada dos Ministérios em Brasília, capital do Brasil, ocupados pela administração pública federal. Esses edifícios são exemplares que, após anos de uso, encontram-se em vulnerabilidade (principalmente por serem bens de interesse cultural), posto que a obsolescência funcional acelera a necessidade de ações de *retrofit*.

*Retrofit* é a modernização do edifício ou de sistemas, por meio da incorporação de novas tecnologias em que, normalmente, se visa à valorização do imóvel, a mudança de uso, o aumento da vida útil e a eficiência operacional e energética (ABNT, 2021). Atualmente, o Bloco O pertence ao Ministério da Saúde e é um desses edifícios do período modernista que se encontra desocupado e em situação de obsolescência funcional em partes de seus sistemas.

## Tecnologia e mecanismos envolvidos na degradação das fachadas-cortina

As tecnologias para a produção das vedações verticais em fachadas-cortina evoluíram bastante desde o pós-Segunda Guerra Mundial, com a utilização experimental do aço maciço, aço inoxidável e até bronze na confecção de montantes e travessas, já que o alumínio era considerado de custo elevado. Porém, para Azari-N e Kim (2012), os perfis em aço carbono foram substituídos por alumínio, não apenas pela leveza, mas também pela durabilidade frente às ações naturais.

Uma das causas de degradação nos quadros estruturantes das fachadas-cortina de aço carbono é a corrosão que ocorre pela ação conjunta do  $O_2$  e  $H_2O$ , que reagem com o aço carbono e formam uma camada porosa de produtos de corrosão (SILVA *et al.*, 2015). O oxigênio está disponível no ambiente, e a água pode advir da condensação de vapor de água no ambiente interno e das chuvas na face externa.

Devido à complexidade das junções do envelope do edifício e a falhas no projeto ou construção, a água pode infiltrar para o interior edificado, inclusive dentro do espaço dos encaixes, e causar a corrosão dos componentes metálicos, tais como fixadores, e elevar o risco de aumento de volume do molde e deterioração induzida pela umidade dos componentes higroscópicos da fachada-cortina. A causa mais comum de danos em construção é a água e os problemas associados a ela, como isolamento defeituoso, vazamentos, umidade, condensações etc. (COMMITTEE..., 2013).

Já o vidro *float*, desenvolvido em 1950, tornou possível a fabricação de panos maiores, menos deformáveis e de maior planeza (WESTPHAL, 2016). Os projetistas precisavam conceber detalhes que conduzissem a água proveniente das infiltrações para fora da parede, já que a estanqueidade era bastante dependente dos selantes utilizados, ainda de baixo desempenho (COMMITTEE..., 2013).

Do mesmo período tecnológico e arquitetônico no pós-guerra, os estudos realizados na Farnsworth House (1951) e na Escola de Administração de Serviço Social da Universidade de Chicago (1965) – ambos projetados por Mies van der Rohe – identificaram problemas de ruptura dos vidros ocasionados por infiltração de água devido a falha do selante, o que levou à corrosão os caixilhos de aço apenas protegidos por pintura (SLATON, 2017). As fachadas-cortina, como sistemas tecnológicos vanguardistas da época, não foram concebidas para uma vida útil projetada (KELLEY, 2008).

No entanto, o vidro pode fissurar devido às deformações provocadas por cargas de vento. Assim, é essencial entender a deformação do painel de vidro causada por complexas restrições de contorno decorrentes de componentes conectados e suas interações no sistema de fachada-cortina. Cargas de vento acima de 1750 Pa são consideráveis e podem causar fissuras que nem sempre ocorrem no centro do pano (YUAN *et al.*, 2021). Outro fator que leva à fissuração do vidro é a taxa de resposta às mudanças de temperatura entre o vidro e a estrutura metálica em que se encaixa. Os metais têm um coeficiente de expansão térmica maior do que o vidro e podem exercer força suficiente sobre o vidro e fazê-lo fissurar se as folgas entre o vidro e a estrutura forem muito pequenas (DOUGLAS; RANSOM, 2013).

Além disso, o movimento cíclico das juntas, a luz solar, as variações de temperatura (calor e frio) e a umidade (água) são os principais fatores de degradação ambiental e de serviço que levam à falha das juntas.

As vedações de juntas são expostas a movimentos cíclicos frequentes e rápidos que impõem uma tensão mecânica cíclica sobre a vedação, que, dependendo das condições de exposição e do projeto da construção, pode variar substancialmente em taxa e amplitude (JONES; HUTCHINSON; WOLF, 2001).

## Método

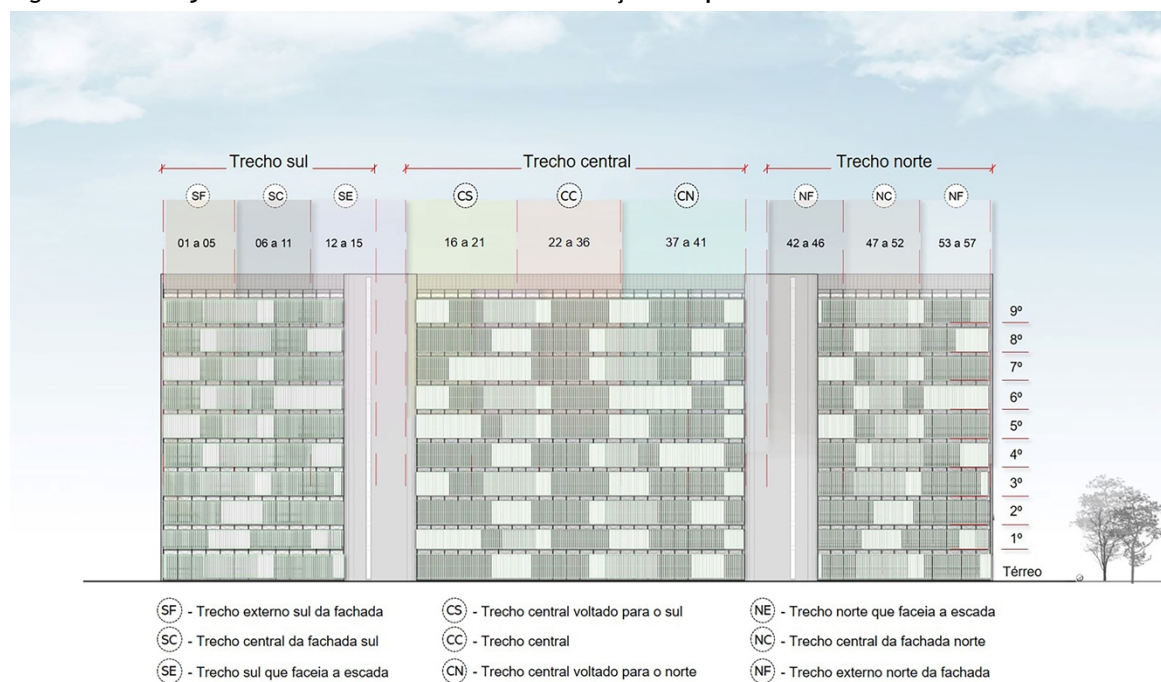
O método proposto se baseia nas diretrizes da NBR 16747 (ABNT, 2020), que estabelece a inspeção predial por meio de vistoria dos componentes. Para investigar como ocorre o padrão de envelhecimento de uma fachada-cortina, a pesquisa de caráter exploratório para o levantamento de dados em campo foi realizada na fachada oeste do Bloco O da Esplanada dos Ministérios, nas condições ambientais da zona bioclimática 4 da cidade de Brasília, no Distrito Federal.

A fachada-cortina do edifício selecionado apresenta características tipológicas modernistas da década de 1960 e foi segmentada em pavimentos, trechos e tipologias das folhas, conforme esquema apresentado na Figura 1. A identificação das características dos componentes (montantes, travessas, vidros, baguetes e selante) foi feita quadro a quadro por avaliação visual.

As variáveis independentes selecionadas para o estudo foram: pavimento, trecho da fachada-cortina e tipologia da folha. Essas variáveis foram escolhidas para verificar a influência que exercem nas manifestações patológicas identificadas, permitindo a análise dos efeitos principais por múltiplas comparações. A variável *pavimento* se refere ao pavimento térreo mais os nove pavimentos-tipos, identificados de “1º pavimento” ao “9º pavimento”. A variável *tipologia da folha* compreende: fixa inferior, fixa superior, tombar, projetante e fixa. Para avaliar se as variáveis dependentes foram influenciadas pela localização ao longo da composição horizontal do edifício, os cinquenta e sete quadros que compõem a fachada-cortina foram segmentados em *trechos*, conforme esquematizado na Figura 1.

As variáveis dependentes adotadas foram aquelas que mais caracterizam as condições de conservação da fachada-cortina, a saber: estado de corrosão dos perfis da fachada-cortina, condição do vidro, condição do selante e condição do baguete. As variáveis dependentes são do tipo qualitativas, por isso foi realizada a normalização para permitir a análise de variância e o teste de agrupamento de médias. Essa normalização consiste na atribuição de valores quantitativos, de acordo com uma escala pré-definida de gravidade do dano (Quadro 1).

Figura 1 – Arranjos dos trechos horizontais e distribuição dos pavimentos



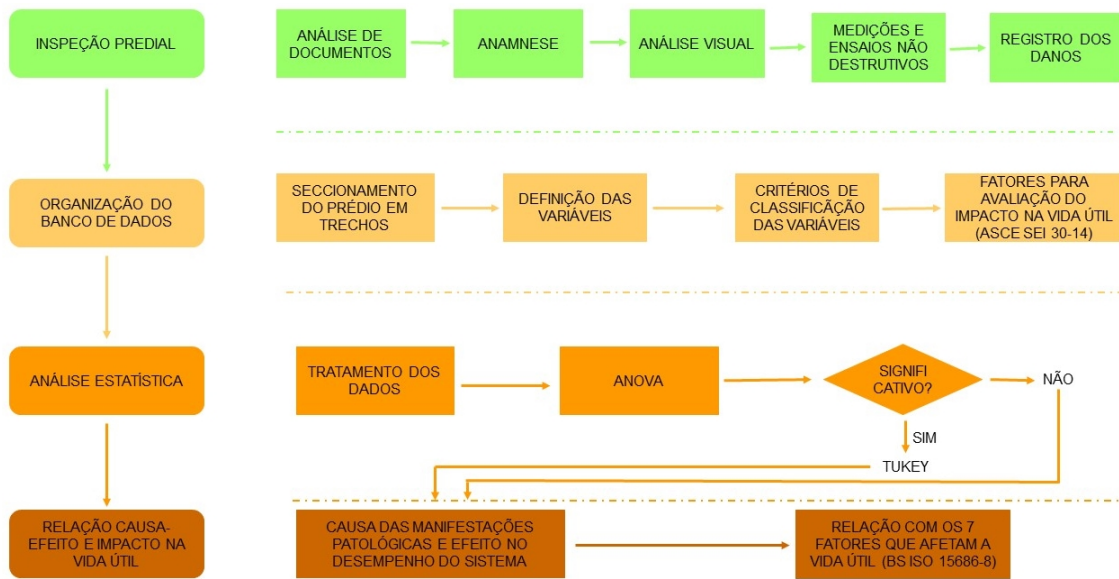
Quadro 1 – Caracterização das variáveis dependentes, parâmetros e critérios para a classificação do estado de conservação

Variável dependente	Valor	Classificação adotada	Descrição da classificação adotada	Elemento de análise
Estado de corrosão dos perfis da fachada-cortina	4	Mínimo	Não há pontos visíveis de oxidação ou há poucos pontos amarelados sobre a pintura.	Componentes metálicos das esquadrias
	3	Moderado	Há pontos, manchas e depósitos visíveis sobre a superfície, geralmente de forma concentrada.	
	2	Intenso	Os produtos de corrosão formados por uma camada avermelhada geram volume excessivo de FeO e ocorrem de forma generalizada.	
	1	Não avaliado	Não foi possível ter acesso ao elemento.	
Condição do vidro	5	Íntegro	Não apresenta danos aparentes, com exceção da opalescência e sujidade.	Quadros
	4	Trincado	Existem fissuras, porém o vidro está encaixilhado.	
	3	Quebrado	Existe ruptura do vidro e risco de queda ou vidro já estilhaçado.	
	2	Ausente	Não há vidro no caixilho.	
	1	Não avaliado	Não foi possível ter acesso ao elemento.	
Condição do selante	4	Presente	Completo em todo o perímetro.	Folhas
	3	Apresenta falha	Ocorre de forma incompleta ou falha no perímetro.	
	2	Ausente	Não há selante.	
	4	Mínimo	Não há pontos visíveis de oxidação ou há poucos pontos amarelados sobre a pintura.	
Condição do baguete	3	Moderado	Há pontos, manchas e depósitos visíveis sobre a superfície, geralmente de forma concentrada.	Folhas
	2	Intenso	Os produtos de corrosão formados por uma camada avermelhada geram volume excessivo de FeO e ocorrem de forma generalizada.	
	1	Não avaliado	Não foi possível ter acesso ao elemento.	
	5	Íntegro	Não apresenta danos aparentes, com exceção da opalescência e sujidade.	

A coleta de dados para avaliação do estado de conservação ocorreu de forma sistemática e predominantemente sensorial, por observação visual da parte interna da fachada-cortina e das partes visíveis externas do edifício. Os dados coletados no levantamento de campo do estado de conservação dos elementos e componentes que compõem a fachada-cortina do edifício foram organizados em planilhas de forma a identificar o pavimento, o número do quadro, a tipologia de folha e os respectivos danos aparentes, formando um banco de dados.

Os brises instalados para atenuar a radiação solar da fachada para o interior dos ambientes são barreiras para a tomada de imagens digitais por fotogrametria. Assim, a coleta de dados ocorreu pela face interna do sistema de fachada, em todos os elementos, a cada pavimento e quadro a quadro da fachada-cortina. Para cada variável adotada, foram feitas as análises estatísticas e as avaliações qualitativas dos danos (efeitos) e suas prováveis causas. A Figura 2 apresenta um fluxo que sintetiza os procedimentos metodológicos adotados.

Figura 2 – Delineamento metodológico



Com o banco de dados organizado, foram realizadas as análises de variância (ANOVA) utilizando o programa *Statistica South América*<sup>®</sup>, adotando um intervalo de confiança de 95% e, conseqüentemente, um nível de significância de 5%. A ANOVA possibilitou verificar se existem evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias dos tratamentos em análise ao nível  $\alpha$  de significância escolhido. Identificado o efeito significativo de uma variável independente por meio de ANOVA, foi realizado o teste de Tukey para as múltiplas comparações, a fim de avaliar se as variáveis de estudo exerceram influência significativa na ocorrência de danos na fachada-cortina, considerando a importância das diferenças.

Os resultados da ANOVA, apresentados de forma gráfica, trazem a indicação da média (ponto central), do intervalo de confiança de 95% (quadro) e do desvio padrão (bigode). Os resultados do teste de Tukey mostraram os grupos separadamente por linhas horizontais, identificados com letras na parte superior dos gráficos, indicando quais variáveis independentes compõem os grupos com comportamento semelhante. Assim, para as variáveis dependentes selecionadas (estado de corrosão dos perfis da fachada cortina, condição do vidro, condição do selante e condição do baguete) são apresentadas as possíveis causas que levam à ocorrência das manifestações patológicas e a relação causa-efeito.

Por fim, foi discutido como os fatores impactaram a vida útil do sistema de vedação vertical externo, tomando como base a norma BS ISO 15686-8 (BRITISH..., 2008), que apresenta uma série de sete fatores, entre eles:

- (a) a qualidade dos materiais, do projeto e da execução;
- (b) as características ambientais externas e internas; e
- (c) as condições de uso, operação e manutenção.

## Resultados e discussão

### Apresentação e caracterização do sistema inspecionado

As fachadas-cortina do edifício analisado são constituídas por perfis em aço carbono e vidro. O sistema objeto de análise foi a fachada-cortina oeste (Figura 3). Essa fachada possui brises de alumínio anodizado verde. O edifício, com pavimento térreo, nove pavimentos-tipo e um subsolo para garagem, abrigava setores administrativos. De configuração linear (barra horizontal), o edifício conta externamente com duas caixas de escada de emergência em concreto.

No topo do edifício, a fachada-cortina faz a interface com a platibanda que avança, promovendo um encaixe do sistema de vedação vertical ao longo de toda a borda superior da cobertura (Figura 4a). As duas escadas de emergência foram construídas posteriormente à inauguração do edifício. Para encaixar as escadas de



emergência em concreto armado, a sequência linear dos quadros foi seccionada em dois pontos, ao longo da fachada oeste (Figura 4b), dispensando a presença de juntas de dilatação na fachada-cortina. Nas extremidades, a fachada-cortina se encaixa nas empenas das fachadas laterais norte e sul (Figura 4d). Dessa forma, o edifício envolve vertical e horizontalmente a fachada-cortina, configurando uma interface ortogonal entre os sistemas. Da mesma forma, se dá a interface entre a fachada-cortina e o nível de soleira (Figura 4c), na linha de piso do térreo, que se eleva cerca de 10 cm da calçada externa de concreto, ao nível do solo.

Figura 3 – Fachada oeste do Bloco O



Figura 4 – Detalhe do encontro entre a fachada e os demais elementos



(a) Encontro da fachada com a platibanda



(b) Encontro da fachada com a escada de emergência



(c) Encontro com o nível do solo



(d) Encontro com a fachada norte

Na fachada há duas configurações de quadros que compõem a fachada-cortina, apresentados nas Figuras 5 e 6. Os componentes metálicos que formam os quadros, travessas e montantes estruturantes foram confeccionados e soldados no local e posteriormente pintados.

Os quadros do térreo são compostos por folhas fixas superiores e inferiores (Figuras 5a e 5b).

Os quadros do 1º ao 9º pavimento são formados por três tipos de folha: as projetantes na parte superior, as fixas no meio e as de tombar na parte inferior (Figuras 6a e 6b). Para o funcionamento adequado na abertura da folha projetante, o forro é inclinado entre a fachada-cortina e a linha de pilares. O restante do forro é rebaixado e plano, atendendo às necessidades de passagem das instalações de cada sistema predial (espaço técnico).

Os vidros foram encaixilhados e fixados às folhas com selante e baguetes para garantir a estanqueidade do conjunto e a segurança, respectivamente (Figuras 7a e 7b).

Antigamente, o Bloco O pertencia ao Ministério da Guerra, depois passou à administração do Ministério da Defesa e, na atualidade, está sob a responsabilidade do Ministério da Saúde. Ao longo do seu ciclo de vida, para melhorar as condições de uso e conforto, alguns sistemas foram instalados em suas fachadas, entre eles, um sistema de brises verticais com aletas móveis e suportes para aparelhos de ar-condicionado do tipo janela.

O sistema de sombreamento com brises de alumínio fixado à fachada-cortina foi soldado nos montantes (Figura 8a). Parte dessas aletas não funciona mais em decorrência da deposição de sujeira e de produtos de corrosão acumulados entre elas e as partes metálicas que compõem o brise. Os suportes metálicos para a instalação de aparelhos de ar-condicionado tipo janela podem ser visualizados na Figura 8b. Esses suportes foram soldados às travessas da fachada-cortina e já apresentam sujidades e depósitos de produtos de corrosão.

Figura 5 – Caracterização no pavimento térreo



Figura 6 – Caracterização do 1º ao 9º pavimento-tipo

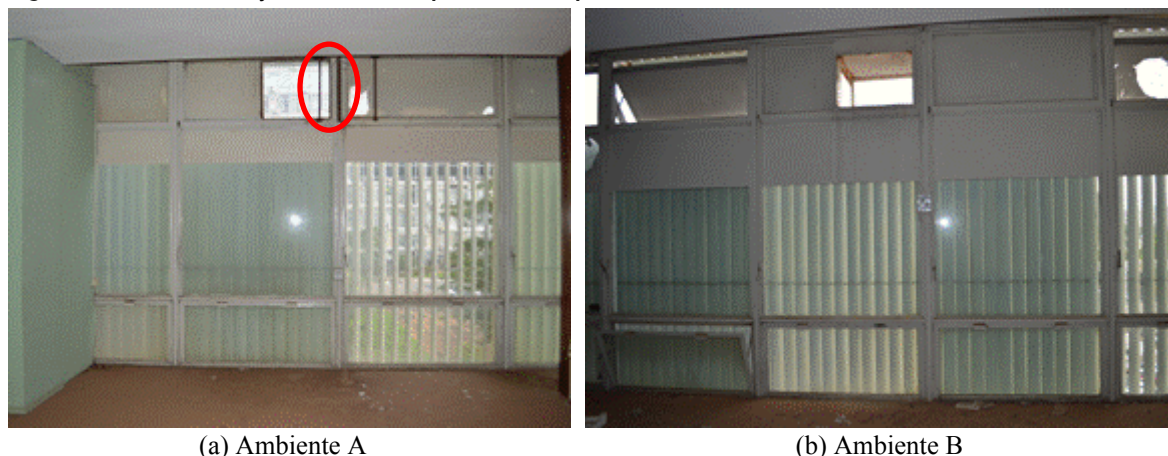




Figura 7 – Componentes das folhas da fachada-cortina



(a) Baguete fixado no contorno da folha

(b) Selante aplicado no contorno do vidro

Figura 8 – Elementos aderidos à fachada



(a) Fixação dos brises metálicos

(b) Suporte para os equipamentos de ar-condicionado

### Avaliação dos fatores que afetaram a degradação da fachada-cortina

Com respeito à análise estatística, a análise da ANOVA, cujo p-valor  $< 0,05$ , mostra que existem diferenças significativas entre as médias analisadas ou em pelo menos um par dessas médias. Já o teste de Tukey indica se os agrupamentos são estatisticamente distintos e, caso sejam, estão indicados pelas linhas coloridas com as letras na parte superior dos gráficos.

#### Estado de corrosão dos perfis da fachada-cortina

A Tabela 1 apresenta os resultados da ANOVA para o estado de corrosão, considerando as variáveis independentes pavimento, trecho da fachada e tipologia da folha.

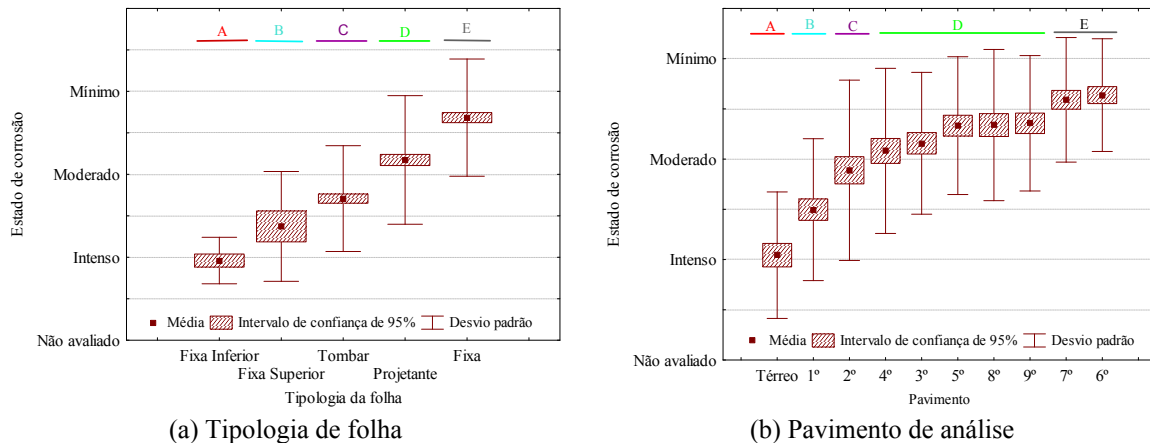
Os resultados da avaliação do estado de corrosão, considerando a magnitude das diferenças pelas múltiplas comparações entre as médias, são apresentados em relação à tipologia da folha (Figura 9a), ao pavimento de análise (Figura 9b) e ao trecho da fachada (Figura 9c).

A tipologia fixa foi a que apresentou o melhor comportamento à corrosão, seguida da projetante (folha superior entre o 1º e o 9º pavimentos) e de tombar (folha inferior entre o 1º e o 9º pavimentos) – ver Figura 9a. Os piores resultados foram observados nas tipologias fixa superior e fixa inferior, ambas localizadas no pavimento térreo, cujas médias se aproximaram mais do estado de corrosão intensa.

Tabela 1 - Teste de significância para o estado de corrosão

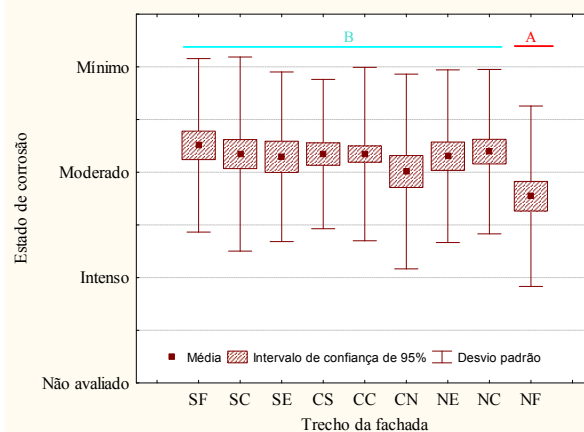
Efeito	F	p-valor
Pavimento	89,402	0,00
Trecho da fachada	7,799	0,00
Tipologia da folha	232,658	0,00

Figura 9 - Estado de corrosão



(a) Tipologia de folha

(b) Pavimento de análise



SF – trecho extremo sul da fachada  
 SC – trecho central da fachada sul  
 SE – trecho sul que fazia a escada

CS – trecho central voltado para o sul  
 CC – trecho central  
 CN – trecho central voltado para o norte

NE – trecho norte que fazia a escada  
 NC – trecho central da fachada norte  
 NF – trecho extremo norte da fachada

(c) Trecho da fachada

O teste de Tukey indicou cinco grupos distintos entre si. Os diferentes estados de corrosão são explicados pelo posicionamento e pela condição de exposição e uso das folhas. As folhas fixas superior e inferior, localizadas no pavimento térreo, apresentaram o pior estado de corrosão, fato que se explica em razão do maior contato do pavimento térreo com a umidade, tanto da chuva, quanto a oriunda das regas dos jardins próximos e das operações de limpeza de piso. Isso ratifica a afirmação do Committee on Curtain Wall Systems of the Architectural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers (2013) de que a água é a principal causa das manifestações patológicas. As folhas fixas localizadas entre o 1º e o 9º pavimentos são aquelas que não sofrem as ações de manuseio dos usuários, o que lhes causaram poucos danos ao longo do tempo. Por sua vez, as folhas projetantes se aproximam do estado moderado de corrosão, possivelmente pelas vinculações para fixação dos suportes de ar-condicionado em diversos módulos. A tipologia folha de tombar, em estado de corrosão entre moderado e intenso, revela a influência das operações de limpeza do piso, em geral realizadas diariamente, dado que se tratava de ambiente de escritório.

Na Figura 9b se apresenta como o pavimento em que as esquadrias se encontram instaladas influencia o estado de corrosão. O teste de Tukey apresentou cinco grupos estatisticamente distintos, dependendo da localização das esquadrias em diferentes alturas no edifício. O pavimento térreo foi aquele que apresentou o

estado mais intenso de corrosão, principalmente pelo contato dos montantes e das guias de aço da base da fachada-cortina apoiados diretamente sobre o contrapiso, que ocorre no nível de soleira (sem elevação ou rodapé), facilitando a percolação de água e concentrando a umidade daquela região.

Quanto à importância do estado de corrosão, após o térreo (agrupamento A), surge o 1º pavimento seguido pelo 2º pavimento. O 1º pavimento (agrupamento B) teve boa parte dos ambientes identificados na inspeção visual como ambulatórios e salas voltadas para atendimento à saúde, o que demandaria mais assepsia do local. No 2º pavimento (agrupamento C) havia uma área de cozinha do tipo industrial que abastecia o refeitório, cujo ambiente exige operações de limpeza mais frequentes e com produtos que agredem mais os elementos metálicos. Os pavimentos intermediários e superiores – do 3º ao 9º – são aqueles menos suscetíveis à corrosão (agrupamentos D e E). Ressalta-se que, embora a laje de cobertura do edifício apresentasse perda de estanqueidade decorrente de problemas no telhado e no sistema de impermeabilização, o detalhe arquitetônico da platibanda que se projeta do plano da fachada (ver Figura 4d) foi capaz de proteger a parte superior da fachada-cortina, evitando a passagem das águas pluviais.

O teste de Tukey para a variável *trecho da fachada* é mostrado na Figura 9c. Quando foi avaliado o estado de corrosão em relação ao trecho da fachada, notou-se que as médias se apresentaram próximas ao estado moderado de corrosão. Os estados de corrosão em relação aos trechos da fachada não apresentaram diferença estatística significativa, excetuando-se o trecho NF. Mesmo apresentando-se distinto do restante dos trechos – que não apresentam diferenças estatísticas significativas nas múltiplas comparações –, o trecho NF é influenciado pela chuva dirigida mais intensa na fachada norte, que tende a concentrar mais umidade, visto que os ventos predominantes são menos intensos na direção oeste, conforme indicado nos estudos de Zanoni, Sanchez e Bauer (2018) para a cidade de Brasília. Os trechos da fachada-cortina conexos às escadas de emergência de concreto aparente e às áreas de banheiros não influenciaram o estado de corrosão, se comparados aos demais ambientes usados como escritório.

Em síntese, o estado de corrosão dos montantes e travessas pode comprometer a condição do vidro. Em situações em que se classifica essa variável como intensa, os produtos de corrosão gerados aumentam de volume, produzindo pressão nas folhas de vidro e ocasionando rupturas nelas.

### Condição do vidro

O vidro, componente que ocupa a maior área superficial na fachada-cortina, é responsável pela iluminação natural, impede a queda de pessoas e de objetos e garante a estanqueidade à água e ao ar. Uma condição de conformidade é sua integridade para ser capaz de desempenhar adequadamente seus requisitos de função.

Ao considerar a variável dependente (condição do vidro) e as variáveis independentes (pavimentos, trecho da fachada e tipologia da folha), a ANOVA mostrou que o resultado foi estatisticamente significativo (Tabela 2).

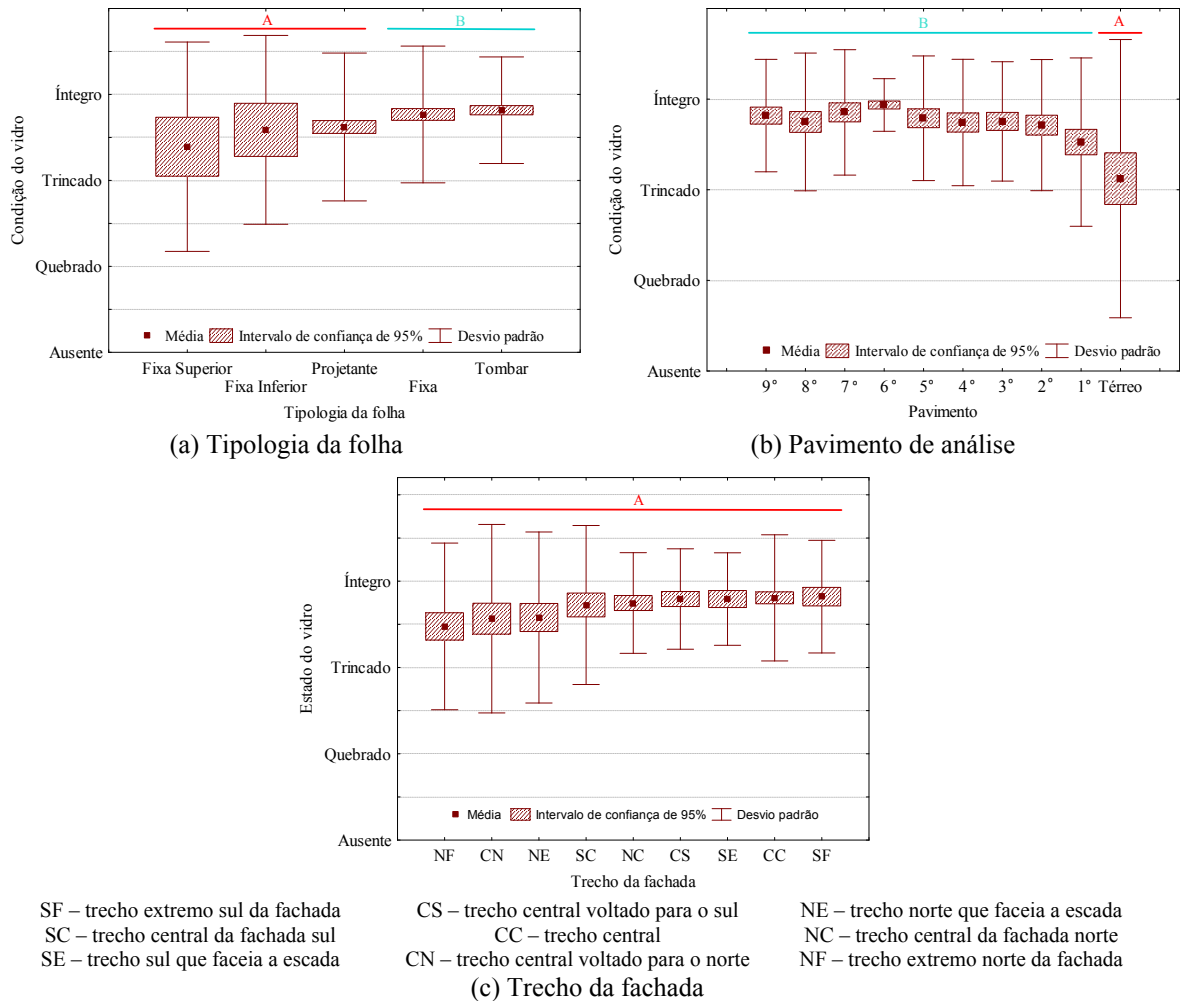
A Figura 10 apresenta a condição do vidro de acordo com a tipologia da folha (Figura 10a), ao pavimento de análise (Figura 10b) e ao trecho da fachada (Figura 10c).

A Figura 10a apresenta de que forma a condição do vidro é influenciada pela tipologia da folha e indica a formação dos agrupamentos decorrentes da aplicação do teste de Tukey. Pelos resultados, as tipologias de folhas fixas e de tombar apresentaram vidros mais íntegros, não havendo diferenças estatísticas entre as duas tipologias, quando aplicado o teste de Tukey (agrupamento B). Já as tipologias projetante, fixa inferior e fixa superior formam um agrupamento distinto (agrupamento A), cuja média se aproxima mais da condição vidro trincado. Porém, as tipologias fixa superior e inferior mostraram maior variabilidade no intervalo de confiança e no desvio padrão em relação às outras tipologias.

Tabela 2 - Teste de significância para a condição do vidro

Efeito	F	p-valor
Pavimento	41,209	0,00
Trecho da fachada	3,901	0,00
Tipologia da folha	71,684	0,00

Figura 10 - Condição do vidro



As falhas de integridade do vidro estão relacionadas a seu uso inadequado ou a acidentes, pois podem ocorrer choques entre pessoas e a mobília com a superfície envidraçada ou mesmo o manuseio brusco das folhas móveis. Outra possibilidade é a corrosão dos perfis de aço, ou mesmo do bagueite, que pode resultar em produtos expansivos e perda de seção, fragilizando as vinculações com o vidro, como indicado pelo Committee on Curtain Wall Systems of The Architectural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers (2013). Nesse caso, o vidro perde estabilidade ao vibrar com as pressões de vento.

A Figura 10b apresenta o resultado de como a condição do vidro é influenciada pela localização dos pavimentos pelo teste de Tukey. Quando se analisa a condição do vidro da fachada oeste em relação à sua distribuição ao longo dos pavimentos, é possível notar um comportamento semelhante entre o 9° e o 1° pavimentos (agrupamento B), indicando na média haver mais vidros íntegros. Já o pavimento térreo apresentou o pior comportamento e diferenças em relação aos outros andares. No pavimento térreo, o desvio padrão também é maior, mostrando haver distinção entre o comportamento desse pavimento e o dos demais (agrupamento A).

Uma das explicações para a ocorrência de mais vidros trincados no pavimento térreo, que o distinguiu dos demais, é o fato de terem ocorrido manutenções corretivas à medida que danos nos vidros dos andares mais altos eram percebidos, visto que, além de comprometer a estanqueidade do interior dos ambientes, o vidro também é responsável pela segurança dos ocupantes. Outra possibilidade é que os danos no vidro possam ter sido causados pela corrosão dos perfis, que se mostrou mais intensa no térreo em função de haver mais contato do pavimento com a umidade. Os produtos de corrosão são expansivos e geram tensões diferenciais nos vidros, podendo provocar sua ruptura.



Na Figura 10c, o teste de Tukey mostrou um único agrupamento (A), o que indica que, nas múltiplas comparações das médias entre pares de grupos, o comportamento é semelhante quando se avalia a condição do vidro, independentemente do trecho da fachada. Ao analisar as Figuras 10b e 10c, observa-se que a condição do vidro não sofre influência significativa quanto aos trechos da fachada e é pouco influenciada pela distribuição em pavimentos, com exceção do pavimento térreo. Tais evidências levam a supor que as condições de habitabilidade do edifício e de segurança dos usuários e transeuntes exigem manutenção e substituição quando ocorre a perda de estanqueidade ou quando essas condições apresentam risco de queda. Por outro lado, as ações de manutenção não foram suficientes para manter o pavimento térreo com um nível de integridade similar ao dos pavimentos superiores, considerando as condições de exposição mais sujeitas às ações humanas.

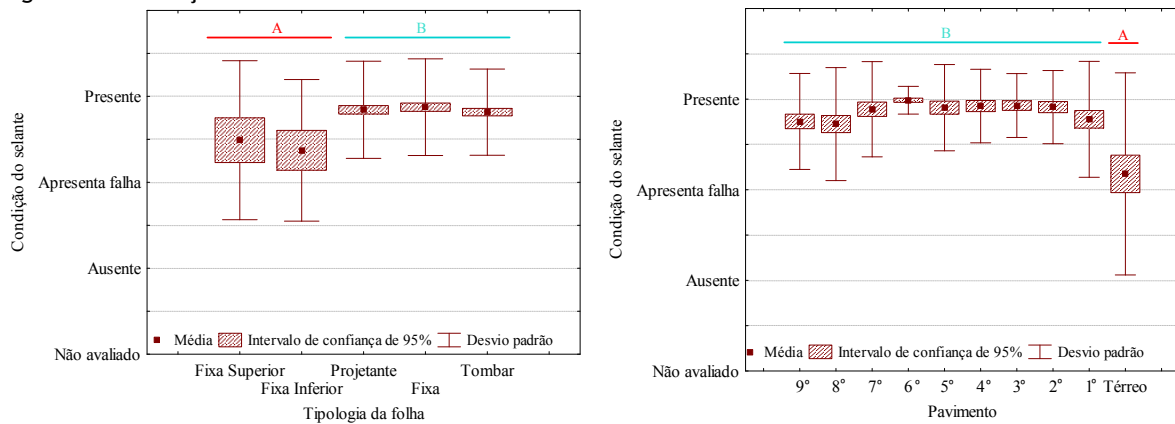
### Condição do selante

Para avaliar a condição do selante sujeito à influência do pavimento, trecho da fachada e tipologia da folha, foi realizada uma ANOVA. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Teste de significância para a condição do selante

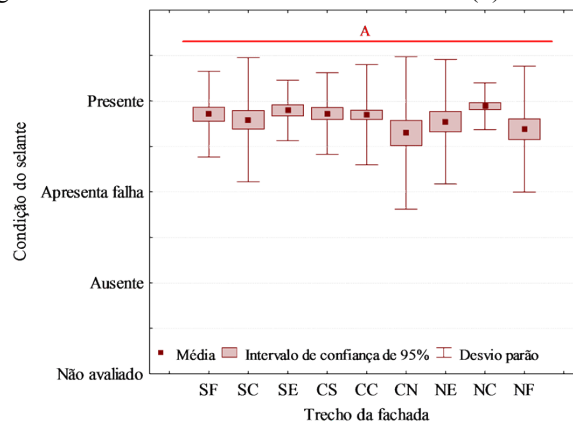
Efeito	F	p-valor
<b>Pavimento</b>	46,723	0,00
<b>Trecho da fachada</b>	2,892	0,00
<b>Tipologia da folha</b>	62,862	0,00

Figura 11 - Condição do selante



(a) Tipologia da folha

(b) Pavimento de análise



SF – trecho extremo sul da fachada  
 SC – trecho central da fachada sul  
 SE – trecho sul que fazia a escada

CS – trecho central voltado para o sul  
 CC – trecho central  
 CN – trecho central voltado para o norte

NE – trecho norte que fazia a escada  
 NC – trecho central da fachada norte  
 NF – trecho extremo norte da fachada

(c) Trecho da fachada

Na Figura 11 é possível identificar como a condição do selante foi influenciada pelas variáveis independentes: tipologia da folha (Figura 11a), pavimento-tipo (Figura 11b) e trecho da fachada (Figura 11c). Conforme obtido pelo teste de Tukey, há formação agrupamentos distintos estatisticamente na avaliação da tipologia da folha e do pavimento de análise.

Na Figura 11a, pode-se notar que as tipologias fixa, projetante e de tombar formaram o agrupamento A, estatisticamente distinto e de melhor comportamento que o agrupamento B, formado pelas tipologias fixa superior e fixa inferior. Ressalta-se que, embora a presença do selante nos quadros tenha sido a situação mais encontrada, estavam ressecados e enrijecidos pelo tempo de uso.

A ausência do selante pode levar à perda de estanqueidade pela penetração de água da chuva pela fachada-cortina, danificando os pisos em madeira e parquet, inclusive com infiltrações para os andares inferiores. Em decorrência das manutenções realizadas para a reposição do selante, foram observados pontos com excesso de material aplicado, o que indica que as ações de manutenção não foram feitas por equipe especializada e que somente buscavam melhorar as condições de estanqueidade da fachada-cortina. A condição do selante das folhas fixa inferior e fixa superior podem ter influenciado o estado de corrosão dos elementos metálicos e das condições do vidro, já que esses também apresentaram os piores comportamentos no pavimento térreo.

Na Figura 11b, os agrupamentos resultantes do teste de Tukey mostram como a condição do selante foi influenciada pela distribuição dos pavimentos. Enquanto os pavimentos do 1º ao 9º formam o agrupamento B, com comportamento estatisticamente semelhante quanto à situação presente do selante, o pavimento térreo (agrupamento A) teve um pior comportamento, com alta dispersão de resultados, identificado pelo elevado desvio padrão.

Além de uma pior condição para o selante, o pavimento térreo também apresentou um pior estado de conservação em relação à corrosão e ao estado de integridade do vidro. O microclima na fachada oeste pode influenciar esse comportamento do pavimento térreo, devido à maior presença de umidade decorrente das chuvas e da rega dos jardins, além da pouca circulação do vento na orientação oeste, comprometida ainda pela barreira formada pelo edifício configurado arquitetonicamente como uma barra e sem pilotis.

Na Figura 11c, um único agrupamento A resultante do teste de Tukey indica um comportamento estatisticamente semelhante quanto à influência do trecho da fachada na condição do selante. Esse fator se deve, provavelmente, às manutenções corretivas realizadas ao longo do tempo de vida do edifício, já que em diversos casos foi identificado selante em excesso em busca de resolver problemas pontuais de estanqueidade, semelhante à ilustrada na Figura 7b. Nota-se também, nessa mesma figura, que, além de estar em excesso, o selante está ressecado. No detalhe, pode-se perceber que o baguete está presente apenas nas laterais e que não está presente na parte superior e inferior da esquadria de tombar mostrada na imagem.

Dessa forma, é possível considerar que o selante contribui sobremaneira para a estanqueidade, para acomodar movimentações e aliviar tensões no sistema de vedação vertical. Para tanto, o selante precisa estar presente nos caixilhos, além de manter as suas propriedades adequadas à função à qual se destina. Assim, adesão, resiliência e resistência aos raios UV são propriedades essenciais para este tipo de componente. No entanto, as operações de manutenção são essenciais para garantir que a capacidade do selante se mantenha eficaz em suas funções.

### **Condição do baguete**

Ao considerar a variável dependente *condição do baguete* e as variáveis independentes (pavimento, trecho da fachada-cortina e tipologia da folha), o teste de significância ANOVA mostrou resultado estatisticamente significativo (Tabela 4).

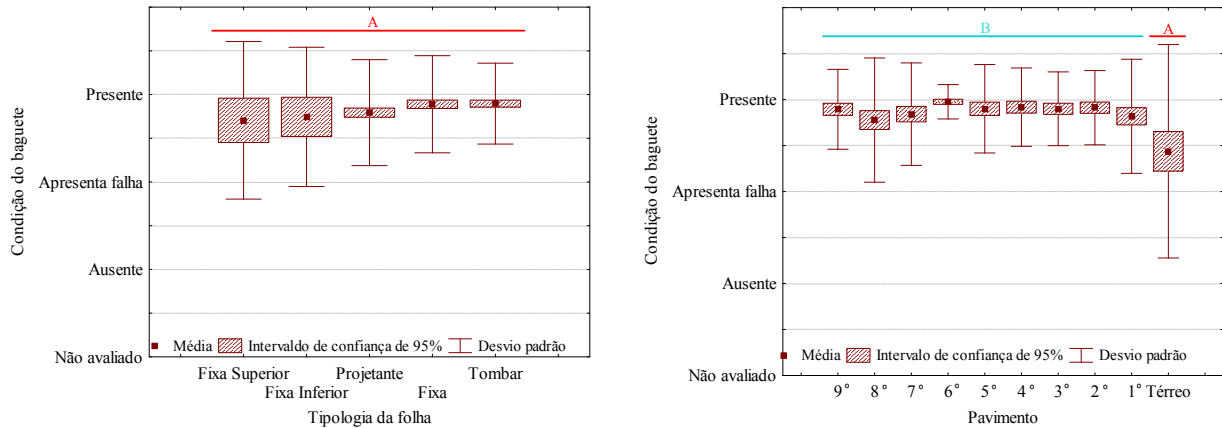
Na Figura 12 é possível identificar que a condição do baguete foi influenciada pelas variáveis independentes tipologia da folha (Figura 12a), pavimento de análise (Figura 12b) e trecho da fachada (Figura 12c). O teste de Tukey indicou agrupamentos distintos estatisticamente apenas na avaliação do pavimento de análise.

Na Figura 12a, nota-se que a condição do baguete se comportou de forma similar nas diferentes tipologias de folha, formando um único agrupamento após as múltiplas comparações de médias, como resultado da aplicação do teste de Tukey. As médias identificadas indicam que a situação do baguete é muito próxima do critério quanto à sua presença ou não.

Tabela 4 - Teste de significância para a condição do baguete

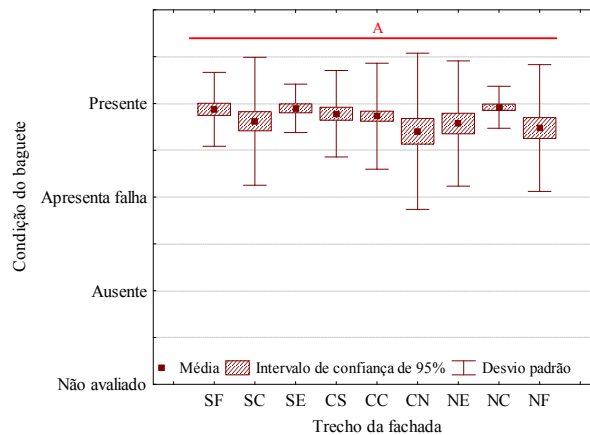
Efeito	F	p-valor
Pavimento	44,876	0,00
Trecho da fachada	2,953	0,00
Tipologia da folha	81,386	0,00

Figura 12 - Condição do baguete



(a) Tipologia da folha

(b) Pavimento de análise



SF – trecho extremo sul da fachada  
 SC – trecho central da fachada sul  
 SE – trecho sul que faceia a escada

CS – trecho central voltado para o sul  
 CC – trecho central  
 CN – trecho central voltado para o norte

NE – trecho norte que faceia a escada  
 NC – trecho central da fachada norte  
 NF – trecho extremo norte da fachada

(c) Trecho da fachada

A Figura 12b permite identificar de que forma a condição do baguete foi influenciada pela posição dos pavimentos e mostra a formação do agrupamento múltiplo de médias como resultado da aplicação do teste de Tukey para a variável pavimento. Houve a formação de dois agrupamentos distintos estatisticamente. O agrupamento A, composto apenas pelo pavimento térreo, apresentou pior situação do baguete em relação ao agrupamento B, formado pelos demais pavimentos. Após a aplicação do teste de Tukey, as médias indicam que o baguete estava presente no agrupamento A, cujo comportamento homogêneo se distingue estatisticamente do pavimento térreo, que, por sua vez, apresentou pior condição do baguete. O pavimento térreo também apresentou maior estado de corrosão e, considerando que o baguete é diretamente conectado ao quadro de aço da fachada-cortina, também sofrerá a influência dos mecanismos de degradação ali atuantes.

Na Figura 12c, a condição do baguete frente aos diferentes trechos da fachada mostrou médias semelhantes à melhor situação; ou seja, o baguete está presente, o que é relevante para manter o vidro encaixilhado e a estanqueidade da fachada-cortina. O teste de Tukey apontou um único agrupamento (A), indicando que a condição do baguete independe do trecho em que se encontra na fachada.

A presença do baguete é um fator de segurança para a fachada, pois auxilia na fixação e na estabilidade do vidro nos caixilhos, além de diminuir os riscos de sua queda durante o uso das folhas móveis. Dessa forma, as operações de manutenção, mesmo que corretivas, impactam o adequado funcionamento desse tipo de vedação, principalmente as folhas de tombar e projetante, com média de presença de baguete maior que nas fixas inferior e superior do pavimento térreo.

## **Discussão sobre os impactos na vida útil**

Com os resultados apresentados, são discutidos os impactos na vida útil da fachada-cortina com base nos sete fatores que afetam seu estado de conservação.

### **Nível de qualidade dos componentes**

Os componentes empregados na construção da fachada-cortina do edifício são os quadros que formam a estruturação do painel da fachada em aço carbono, o vidro temperado de 6 mm de espessura, o selante e o baguete em aço carbono. Originalmente em aço, os baguetes foram sendo substituídos por componentes em alumínio. A substituição do aço carbono por alumínio favorece a durabilidade, pois o processo de degradação por oxidação é mais lento.

Com exceção do selante, os demais componentes são duráveis, embora possam ter suas características e propriedades alteradas em função das ações e dos agentes atuantes. O selante é o componente menos durável do sistema e é o que apresenta a menor capacidade de exercer suas funções ao longo do tempo, ainda que sob condições de manutenção preventiva, tendo em vista que degrada mais rapidamente, se comparado aos demais elementos.

### **Nível de qualidade do projeto**

As fachadas-cortina foram projetadas encaixadas nas empenas (fachadas cegas) e na platibanda, de forma que as interfaces e vinculações ao corpo do edifício ficassem protegidas da ação da chuva (ver Figura 4d). No entanto, a forma do edifício sem pilotis favorece a degradação dos pavimentos em contato com o solo de forma mais precoce do que os demais pavimentos.

O projeto de modulação da fachada-cortina não contemplou as folgas necessárias para o manuseio e operação dos puxadores para acionamento das esquadrias. Inclusive, o próprio funcionamento das folhas (Figura 13a) ficou comprometido, já que os montantes onde os puxadores estão fixados são estreitos e aderentes à parede de vedação interna (Figura 13b).

### **Nível de qualidade da execução**

Os encontros entre a fachada-cortina e as escadas de emergência, que foram executadas posteriormente à construção original, não apresentam acabamento adequado. Nas interfaces entre as paredes de concreto e os quadros metálicos, ocorre a penetração de água de chuva e de limpeza do pavimento superior. A perda da estanqueidade em decorrência da penetração de água pelas frestas existentes (Figuras 14a e 14b) compromete o uso do ambiente interno e acelera os mecanismos de degradação.

### **Características do ambiente interno**

O edifício foi projetado para atividades administrativas. Nos ambientes interiores destinados às atividades de escritório, não há evidências do uso intensivo de água para lavagem. Nas áreas molhadas, como banheiros e cozinhas, não se verificou ação da umidade ou risco de condensação. Os desgastes nos sistemas de piso ocorrem pelo final de vida útil dos componentes aplicados. Pela dimensão dos ambientes, as aberturas não foram suficientes para garantir as condições de conforto por ventilação natural e sombreamento, o que induziu ao uso dos aparelhos de ar-condicionado de janela e brises.



Figura 13 - Vinculação da fachada com as vedações internas

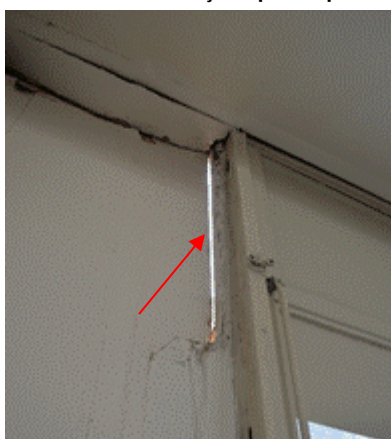


(a) Funcionamento precário da folha de tombar



(b) Dificuldade de acionamento do puxador

Figura 14 - Detalhes da execução que impactam na durabilidade



(a) Fresta entre a fachada-cortina e as escadas de emergência



(b) Fresta decorrente da produção dos quadros

### Características do ambiente externo

Brasília está inserida na zona bioclimática 4 e, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) Desempenho térmico de edificações, tem um clima ameno com dois períodos bem marcados – um chuvoso, de outubro a março, e outro seco, de abril a setembro. A fachada oeste está em uma das orientações com menores velocidades de vento e, conseqüentemente, é menos afetada pela chuva dirigida, mas sofre os maiores picos de variações térmicas. Essas características propiciam bons índices de secagem em componentes porosos, mas não é o caso do sistema em análise. Os jardins próximos ao nível de soleira do pavimento térreo concentram umidade, visto que a ventilação externa é desfavorecida pela orientação oeste.

### Condições de uso

A Figura 15a mostra uma imagem da época da inauguração dos edifícios na Esplanada dos Ministérios, na qual é possível perceber que a fachada-cortina original não tem brises. A luminosidade dos vidros transparentes era controlada internamente com o uso de cortinas. A Figura 15b mostra que foram realizadas alterações na envoltória do edifício. Os brises metálicos foram instalados posteriormente, e mãos-francesas foram fixadas para apoiar as unidades condensadoras de ar-condicionado. Na década de 1980, escadas de emergência em concreto armado foram acopladas à fachada-cortina oeste para atender às novas exigências normativas do corpo de bombeiros.

Outra alteração realizada para diminuir a luminosidade interna foi a aplicação de pintura acrílica nos vidros de alguns módulos (bandeiras superiores). A fixação de suportes para aparelhos de ar-condicionado tipo janela, bem como sua instalação elétrica, foram intervenções que impediram o funcionamento da folha projetante (ver elipses vermelhas da Figura 16). Essas alterações contribuíram para o estado de degradação atual do edifício, assim como outras ações conduzidas pelos usuários com o objetivo de melhorar as condições de funcionalidade e habitabilidade de cada ambiente em função do uso.

### Nível de manutenção

Na manutenção preventiva, o selante é um componente notável para o estado de conservação, conforme foi discutido nos resultados apresentados. No entanto, a manutenção realizada por equipe não treinada induz a não conformidade, tal como o uso em excesso do selante nos quadros metálicos que, no caso analisado, foi reparado inadequadamente com massa de vidraceiro.

Embora a maior parte da fachada-cortina seja composta por vidro, material facilmente lavável, os panos de vidro sem pintura ou aplicação de película fotoprotetora revelam a sujidade impregnada na fachada. Por sua vez, os vidros pintados apresentam descascamento, além de trincas que podem comprometer as condições de estanqueidade da vedação. (Figura 17a).

Os vidros quebrados (Figura 17b) alertam para o risco de queda de pedaços remanescentes sobre os usuários do edifício ou inclusive sobre os transeuntes. A deformação do baguete pode ter exercido pressão no vidro, ocasionando sua ruptura.

Figura 15 - Esplanada dos Ministérios



(a) Época da inauguração, em 1960



(b) Condição atual, em 2021

Figura 16 - Intervenções realizadas



Figura 17 - Exemplos de manutenção precária



(a) Vidro trincado encaixilhado

(b) Vidro quebrado com risco de queda

## Conclusões

Passados 60 anos da sua inauguração, e mesmo não atingindo a obsolescência física, a fachada-cortina oeste do Bloco O apresenta obsolescência funcional e técnica, o que levou a que o edifício tenha sido desocupado para reforma. Embora o projeto arquitetônico modernista da fachada-cortina não tenha sido norteado pelos atuais critérios de vida útil de projeto definidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021), alcançou uma vida útil de projeto superior.

Avaliando o padrão de envelhecimento natural da edificação decorrente da exposição a longo prazo, os resultados dos estudos evidenciaram que o pavimento térreo teve o pior desempenho para todas as variáveis estudadas – estado de corrosão e condições do vidro, do selante e do bagueete – devido às condições externas de agressividade distinta à dos demais pavimentos. O trecho da fachada-cortina com o pior comportamento foi aquele em contato com a empena norte (fachada cega), influenciado pela chuva dirigida mais intensa nessa direção. Quanto à tipologia das folhas de esquadria, o estado de conservação foi influenciado pelas alterações sofridas ao longo do uso, por interferência dos usuários. Sendo assim, o método proposto nesta pesquisa foi eficaz para apresentar o estado de degradação da fachada-cortina e suas causas.

A falta de manutenção rotineira contribuiu para a progressão das manifestações patológicas. Somam-se a esse quadro as intervenções indevidas realizadas pelos usuários. No entanto, principalmente, a manutenção precária favoreceu o agravamento dos danos, por isso é relevante elaborar um plano de manutenção que contenha as ações a serem executadas, os recursos financeiros e materiais, a frequência em que devem ocorrer essas ações e a qualificação da equipe de manutenção. De forma geral, o estudo apontou que há necessidade de realizar ações de conservação de forma planejada, assim como de registrá-las devidamente para que se possa avaliar, ao longo do tempo, a capacidade de garantir a estanqueidade, a segurança e a funcionalidade da fachada-cortina.

## Referências

- AIELLO, C. *et al.* Experimental and numerical investigation of cyclic response of a glass curtain wall for seismic performance assessment. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 596–609, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: inspeção predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- AZARI-N, R.; KIM, Y.-W. Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions. **Building and Environment**, v. 48, p. 135–145, 2012.

- BAUER, E. *et al.* Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2020.
- BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23–43, out./dez. 2021.
- BEZ, A. *et al.* Calibrated numerical approach for the dynamic analysis of glass curtain walls under sphericoconical bag impact. **Buildings**, v. 11, n. 4, 2021.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **ISO 15686-2**: buildings and constructed assets: service life planning: part 2: service life prediction procedures. Geneva, 2012.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **ISO 15686-8**: buildings and constructed assets: service life planning: part 8: reference service life and service-life estimation. Geneva, 2008.
- COMMITTEE ON CURTAIN WALL SYSTEMS OF THE ARCHITECTURAL ENGINEERING INSTITUTE OF THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Curtain Wall Systems**. Reston: American Society of Civil Engineers, 2013.
- COSTA, M. Em defesa do Palácio Capanema. **Vitruvius**, São Paulo, v. 11, n. 132.02, jul. 2011.
- DE JONGE, W. Sustainable renewal of the everyday modern. **Journal of Architectural Conservation**, v. 23, n. 1/2, p. 62–150, 2017.
- DOUGLAS, J.; RANSOM, B. **Understanding building failures**. 4<sup>th</sup>. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2013.
- GARAY-MARTINEZ, R.; ARREGI, B. Curtain wall with solar preheating of ventilation air. Full Scale Experimental Assessment. In: NORDIC SYMPOSIUM ON BUILDING PHYSICS, 12., Tallinn, 2020. **Proceedings [...]** Tallinn, 2020.
- GONÇALVES, A. O processo da obsolescência espacial urbana. **GeoTextos**, v. 16, n. 1, p. 157-179, jul. 2020.
- JOACHIM, A. *et al.* Leak test for the material selection of a bonded edge seal for fluid-filled façade elements. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 113, p. 103082, 2022.
- JOE, G. *et al.* Downdraft assessment of glass curtain wall buildings with a radiant floor heating system. **Applied Sciences-Basel**, v. 7, n. 10, 2017.
- JONES, T. G. B.; HUTCHINSON, A. R.; WOLF, A. T. Experimental results obtained with proposed RILEM durability test method for curtain wall sealants. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions/riaux et Constructions**, v. 34, p. 332–341, jul. 2001.
- KELLEY, S. J. 20<sup>th</sup> century curtain walls: loss of redundancy and increase in complexity. **Structural Analysis of Historic Construction**, London, p. 25-31, 2008.
- KIM, M.; KONSTANTZOS, I.; TZEMPELIKOS, A. Real-time daylight glare control using a low-cost, window-mounted HDRI sensor. **Building and Environment**, v. 177, p. 106912, apr. 2020.
- LEE, Y. *et al.* The study on the integrated control system for curtain wall building facade cleaning robot. **Automation in Construction**. v. 94, p. 39-46, 2018.
- LI, R.; DAI, Y. J.; WANG, R. Z. Experimental and theoretical analysis on thermal performance of solar thermal curtain wall in building envelope. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 324–334, Jan. 2015.
- MACEDO, M. M.; LIMA, B. B.; SILVA, E. G. Aço e alumínio nas fachadas na Câmara dos Deputados. In: SEMINÁRIO DO COMOMO SUL: PEDRA, BARRO E METAL, 4., Porto Alegre, 2013. **Anais [...]** Porto Alegre, 2013.
- MAJOR, M.; KOSIŃ, M.; MAJOR, I. Numerical static analysis of the curtain wall with light steel structure. **Jurnal Teknik informatika**, Universitas Bina Darma, v. 2, p. 377–388, 2017.
- MARCHIONE, F.; MUNAFÒ, P. Influence of high temperature exposure on the mechanical performance of double-lap adhesive joints between glass and aluminium adherends. **Construction and Building Materials**, v. 299, jul. 2021.
- MOON, S. *et al.* Building wall maintenance Robot Based on Built-in Guide Rail. In: 2012 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, Athens, 2012. **Proceedings [...]** Athens, 2012.



- NOVELLI, N. *et al.* Experimental investigation of a building-integrated, transparent, concentrating photovoltaic and thermal collector. **Renewable Energy**, v. 176, p. 617–634, 2021.
- PEREIRA, C. *et al.* Urgency of repair of building elements: prediction and influencing factors in façade renders. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118743, 2020.
- PUGA, H. *et al.* Damage assessment of curtain wall glass. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 628, n. 1, 2015.
- SECCHI, S. *et al.* Sound transmission between rooms with curtain wall Façades: a case study. **Building Acoustics**, v. 22, n. 3/4, p. 193–208, 2015.
- SILVA, M. V. F. *et al.* Carbon steel corrosion: an everyday approach for chemistry teaching. **Química Nova**, v. 38, n. 2, p. 293–296, 2015.
- SLATON, D. Challenges of modern materials: assessment and repair. **Journal of Architectural Conservation**, v. 23, n. 1/2, p. 47–61, 2017.
- TIESDEL, S.; OC, T.; HEATH, T. **Revitalizing historic urban quarters**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995.
- WESTPHAL, F. S. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. São Paulo: Abividro, 2016.
- WONG, J. S. J. A comprehensive ray tracing study on the impact of solar reflections from glass curtain walls. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 1, p. 1–22, 2016.
- YUAN, Y. *et al.* Coupled deformation behavior analysis for the glass panel in unitized hidden-frame supported glass curtain wall system. **Engineering Structures**, v. 244, p. 112782, jun. 2021.
- ZANONI, V. A. G.; SANCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. Métodos para quantificação de chuva dirigida incidente nas fachadas das edificações. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 122-132, jun. 2018.
- ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; LI, Z. A novel productive double skin façades for residential buildings: concept, design and daylighting performance investigation. **Building and Environment**, v. 212, p. 108817, 2022.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico - CNPq e do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília - PPG-FAU/UnB.

### Tatiana Renata Pereira Jucá

Escola Politécnica | Pontifícia Universidade Católica de Goiás | Av. Universitária, 1440, Setor Leste Universitário | Goiânia - GO - Brasil  
CEP 74605-010 | Tel.: (62) 3946-1049 | E-mail: centraldedesempenho@gmail.com

### Vanda Alice Garcia Zanoni

Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de Brasília | Campus Universitário Darcy Ribeiro | Brasília - DF - Brasil | CEP 70910-900 | Tel.: (61) 3107-7441 | E-mail: vandazanoni@unb.br

### Janes Cleiton Alves de Oliveira

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Federal de Goiás | Av. Universitária, quadra 86, Lote área 1488, Bloco G, Setor Leste Universitário | Goiânia - GO - Brasil | CEP 74605-220 | Tel.: (62) 3209-6266 | E-mail: janescleiton@ufg.br

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.