



# 2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

QIC2016

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

## CAIXILHARIA EXTERIOR DE EDIFÍCIOS RECENTES CASO DE ESTUDO SOBRE A DURABILIDADE DO SEU DESEMPENHO

**João Carlos Viegas**

*Eng.º Mecânico, LNEC, Lisboa, jviegas@lnec.pt*

**Armando Pinto**

*Eng.º Mecânico, LNEC, Lisboa, apinto@lnec.pt*

**Rute Fontinha**

*Eng.ª Química, LNEC, Lisboa, rfontinha@lnec.pt*

**Sónia Antunes**

*Física Tecnológica, LNEC, Lisboa, santunes@lnec.pt*

**João Hormigo**

*Eng.º Eletrotécnico e Civil, EDP, Lisboa, joao.hormigo@edp.pt*

### Resumo

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil procedeu recentemente ao levantamento do estado da caixilharia exterior de um edifício de 6360 m<sup>2</sup> situado em Lisboa. Este edifício de 6 pisos, construído em 1987, constitui um exemplo típico da aplicação de um sistema de fachada cortina de alumínio e vidro com a tecnologia em uso no final dos anos 80 do século passado (com a conceção montante/travessa). Volvidos quase 30 anos é relevante analisar de que forma esta caixilharia foi sofrendo alterações, decorrentes de adaptações a exigências dos utilizadores ou por necessidade de reparações, e quais são as anomalias de desempenho que atualmente apresentam. Foi desenvolvida e aplicada uma matriz de observação sistemática da caixilharia e classificação das respetivas observações e anomalias. O grande número de caixilhos (731 folhas fixas e móveis) e a existência de fachadas com diferentes exposições permitem uma análise da tipologia e da incidência estatística das anomalias, cujos resultados se apresentam nesta comunicação.

*Palavras-chave: Caixilharia / Anomalias / Desempenho / Durabilidade*

## Introdução

As fachadas leves devem ser concebidas e realizadas de forma a que, quer a sua segurança, quer as suas características funcionais não se degradem para um período de vida igual ao previsto para o edifício, admitindo-se que estes componentes serão submetidos a cuidados normais de conservação. A norma EN 1990:2009, designada normalmente como Eurocódigo 0, refere na sua secção 2.3 que o tempo de vida útil da estrutura projetada deve ser especificada e, no quadro 2.1, indica que as estruturas de edifícios e outras estruturas correntes devem ser projetadas de forma a poderem assegurar uma vida útil de 50 anos (categoria 4). Estes conceitos de vida útil das estruturas incluídos no Eurocódigo 0, podem ser generalizados para definir como objetivo a vida útil dos edifícios correntes (e não apenas da sua estrutura), concretizando o objetivo de durabilidade dos edifícios e dos seus materiais, genericamente imposto nos art.º15.º e art.º 16.º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Subjacente à constituição da norma portuguesa NP 4517, relativa à seleção de caixilharia em função da sua exposição, está o pressuposto de que as fachadas leves de alumínio e vidro devem ter uma vida útil similar à do edifício, uma vez que a sua substituição no seu todo ou de uma parte envolve custos diretos muito significativos e pode inviabilizar a utilização de uma parte significativa do edifício durante a obra, por oposição às portas e janelas exteriores cuja substituição em regra só inviabiliza a utilização de um compartimento por um período de tempo inferior a um dia. Assim, admite-se para as portas e janelas exteriores uma vida útil de metade da do edifício, sendo portanto da ordem de 25 anos.

No que respeita ao revestimento dos perfis, foram observados casos de edifícios com 30 a 60 anos em que a fachada, de alumínio anodizado, se encontrava em bom estado (Stacey, 2014). Em estudos de exposição atmosférica observou-se que o revestimento de anodização reduz-se apenas 0,2 a 0,4  $\mu\text{m}/\text{ano}$  em ambientes urbanos e marítimos (Fontinha; Salta, 2005) (Furieux, 2011). É legítimo levantar a questão se existem efetivamente condições técnicas para assegurar uma vida útil de 50 anos às fachadas de alumínio e vidro. Esta pergunta só encontrará efetivamente resposta quando um número significativo de edifícios com esta tecnologia atingir o limite da sua vida útil. Até lá é possível ir analisando como vão envelhecendo os edifícios com essa tecnologia e que problemas de desempenho vão sendo revelados.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil procedeu recentemente ao levantamento do estado da caixilharia exterior de um edifício de 6360 m<sup>2</sup> situado em Lisboa. Este edifício de 6 pisos, construído em 1987, constitui um exemplo típico da aplicação de um sistema de fachada cortina de alumínio e vidro com a tecnologia em uso no final dos anos 80 do século passado. Volvidos quase 30 anos é relevante analisar de que forma esta caixilharia foi sofrendo alterações, decorrentes de adaptações a exigências dos utilizadores ou por necessidade de reparações, e quais são as anomalias de desempenho que atualmente apresentam, procurando-se assim antever se efetivamente esta tecnologia é compatível com a exigência de vida útil de 50 anos. O grande número de caixilhos (731 folhas fixas e móveis) e a existência de fachadas com diferentes exposições permitem uma análise da tipologia e da incidência estatística das anomalias, que se apresenta nesta comunicação.



Figura 1: Vistas das fachadas principal e de tardoz do edifício estudado

## Metodologia

### Generalidades

Relativamente ao edifício em estudo, não se encontram disponíveis os desenhos de projeto da caixilharia, informação técnica dos sistemas ou resultados de eventuais ensaios realizados no domínio da caixilharia exterior.

Neste trabalho procedeu-se ao registo fotográfico sistemático de toda a caixilharia exterior do edifício. No decurso da observação da caixilharia exterior, foram identificados alguns sinais de degradação da caixilharia e de anomalias que podem comprometer o seu desempenho, tendo as mesmas sido objeto de identificação e de registo.

### Análise das anomalias

Neste estudo cada anomalia foi detalhada em relação aos seguintes três aspetos:

- Descrição da anomalia;
- Recomendação de reparação;
- Classificação da anomalia e prazo de intervenção recomendado.

A classificação das anomalias foi baseada no Método de avaliação do estado de conservação de imóveis (MAEC, 2007), com as devidas adaptações e que compreende o exposto nas secções seguintes.

### Descritores das anomalias

Cada anomalia é classificada de acordo com os seguintes descritores:

- Gravidade da anomalia, que enquadra a consequência da anomalia na satisfação das exigências funcionais, ponderando a relevância dos locais afetados pela anomalia;
- Recomendação do prazo de reparação;
- Facilidade de reparação, que enquadra o tipo e o grau de dificuldade do trabalho necessário para a correção da anomalia;
- Extensão do trabalho necessário para a correção da anomalia.

Nos pontos seguintes são detalhados estes descritores.

#### Gravidade da anomalia

No Quadro 1 indicam-se os critérios de classificação da anomalia quanto à sua gravidade. Na avaliação do nível de gravidade da anomalia que afeta a caixilharia foi efetuada a comparação das suas condições atuais com as condições que o elemento funcional proporcionava quando foi construído ou quando sofreu a última intervenção profunda. Por exemplo a fendilhação do mástique de vedação da junta entre o aro e o vão é classificada como “Gravidade média” pois permitindo uma maior infiltração de ar e possivelmente de água para o interior prejudicam o conforto e porque se trata de um de reparação de fácil execução.

#### Prazo de reparação

A recomendação do prazo de reparação tem em conta as consequências que podem advir da permanência da anomalia. Se for uma anomalia que afete a segurança, a recomendação é de reparação imediata. Se afetar a durabilidade sem pôr em risco a segurança, o prazo de execução é mais prolongado no tempo. Esta recomendação liga-se diretamente à gravidade da anomalia referida no ponto precedente.

#### Facilidade de reparação

Este descritor destina-se a qualificar o tipo de trabalho que deverá ser realizado para a reparação da anomalia, sendo classificado em:

- Fácil execução;

- Difícil execução.

Na classe “Difícil execução” foi considerada a complexidade técnica da tarefa, utilização de técnicas de reparação que não são correntes no mercado e também foi considerada a disponibilidade de materiais de substituição, que é um dos constrangimentos para sistemas com mais de uma dezena de anos e que se encontram descontinuados. Por exemplo, a substituição de um bite que se encontra danificado, sendo uma tarefa fácil de executar, dado neste momento não existirem peças de substituição, foi classificada como de difícil execução por esse facto.

Neste âmbito deve ser tido em conta que há anomalias que só podem ser totalmente corrigidas com a desmontagem de partes da fachada, mas que podem ser remediadas de formas mais simples, mas sem a mesma garantia de durabilidade e de fiabilidade de reparação.

Quadro 1: Classificação da anomalia quanto à gravidade

<b>Classificação</b>	<b>Anomalia</b>
Gravidade muito reduzida	Anomalias sem significado.
Gravidade reduzida	Anomalias que prejudicam o aspeto, e que requerem trabalhos de fácil execução.
Gravidade média	Anomalias que prejudicam o aspeto, e que requerem trabalhos de difícil execução. Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de limpeza, substituição ou reparação de fácil execução.
Grave	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de difícil execução. Anomalias que colocam em risco a saúde ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de fácil execução.
Muito grave	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de difícil execução. Anomalias que colocam em risco a saúde ou a segurança, podendo motivar acidentes graves ou muito graves. Ausência ou inoperacionalidade de infraestrutura básica.

### **Extensão das anomalias**

A classificação da extensão das anomalias é realizada de forma qualitativa e quantitativa utilizando as expressões:

- “Esta anomalia é muito pouco frequente”, significando que esta anomalia foi detetada em menos de 10 caixilhos em todo o edifício;
- “Esta anomalia é pouco frequente”, significando que esta anomalia foi detetada em mais de 10 caixilhos e em menos de 50 caixilhos;
- “Esta anomalia é frequente”, significando que esta anomalia foi detetada em mais de 50 caixilhos e em menos de 110 caixilhos;
- “Esta anomalia é muito frequente”, significando que esta anomalia é extensa e foi detetada em mais do que 110 caixilhos.

### **Revestimento anódico**

A análise do estado de conservação do revestimento anódico baseou-se na observação em obra da superfície dos perfis e na medição da espessura do revestimento. Estas medições foram realizadas em perfis selecionados da caixilharia de cada fachada. De um modo geral, para a definição do número mínimo de perfis a ensaiar por fachada consideraram-se as regras de amostragem usadas

pela marca de qualidade europeia QUALANOD (QUALANOD, 2010), na inspeção de lotes de perfis anodizados em fábrica. Sempre que possível, em cada perfil selecionado foi medida a espessura em três pontos ao longo do comprimento do perfil, sendo calculada depois a espessura média. O estabelecimento de classes de espessura foi feito com base nos valores médio e mínimo medidos (NP EN ISO 7599:2011). Tendo em conta a classe de espessura obtida nos ensaios realizados, a avaliação da adequabilidade do revestimento anódico existente nos perfis baseou-se nas recomendações da norma NP 1482:1985.

## Análise dos resultados

### Generalidades

A caixilharia exterior é constituída por 731 caixilhos, visíveis do lado exterior. Dado que existem faixas de caixilhos entre pisos que têm paredes do lado interior (foram designados ao longo deste estudo como caixilhos opacos), apenas uma parte destes caixilhos (no total de 416) é visível do interior. Embora tenha sido feita separadamente a análise dos caixilhos vistos pela sua face interior e vistos pela sua face exterior, conduzindo a um número total de elementos da população diferente, uniformizou-se a análise tendo em conta o número total de caixilhos (vistos do exterior). Nesta numeração não foram considerados como caixilhos independentes as pequenas folhas de vidro existentes entre grandes folhas de vidro.

Os caixilhos existentes na caixa de escada estão inacessíveis do lado exterior, pelo que a sua observação foi realizada apenas do lado interior.

### Incidência e relevância das anomalias

Nos quadros 2 a 5 estão hierarquizadas as anomalias tendo em conta o número de ocorrências. Os quadros estão divididos pela classe de ocorrência, conforme foi definido na metodologia.

Quadro 2: Incidência das anomalias muito frequentes

Anomalias	Face da observação	Janelas com anomalias			
		Número	%	Número	%
3.4 Falta de vedação da junta entre o aro e o vão	Interior	300	41,0	477	65,3
	Exterior	338	46,2		
3.14 Folga na junta dos bites	Interior	26	3,6	366	50,1
	Exterior	340	46,5		
3.8 Perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos	Interior	295	40,4	295	40,4
	Exterior	13	1,8		
3.21 Vestígios de infiltração de água	Interior	205	28,0	274	37,5
	Exterior	102	14,0		

Verifica-se que as anomalias mais frequentes são a falta de vedação na junta entre o aro e o vão (que pode permitir a infiltração direta de água da chuva e pode incrementar significativamente, dependendo da área da descontinuidade, a permeabilidade ao ar da caixilharia) e anomalias relacionadas com a vedação da gola dos vidros (folga na junta dos bits e perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos), que podem potenciar também a ocorrência de infiltrações de água da chuva para o interior do edifício. A falta de vedação na junta entre o aro e o vão foi observada do lado exterior e do lado interior, sendo causada essencialmente pela insuficiente folga para a interposição de uma linha de vedação entre a caixilharia e o contorno do vão, limitando-se essa linha de vedação a um cordão de canto, que devido às deformações relativas entre o caixilho e os materiais do vão conduziram à sua fendilhação e destacamento parcial.

Foram encontrados vestígios de infiltração de água de uma forma generalizada em todas as fachadas do edifício, não sendo possível correlacionar esta consequência com anomalias específicas, nem a exposições específicas. As infiltrações de água constatadas pelo exterior correspondem a evidências de escoamento de água em caudais significativos através dos próprios rasgos de drenagem dos caixilhos ou através de juntas dos bites abertas (por exemplo, nos seus topos). O escoamento de água através dos rasgos de drenagem é normal (é para esse efeito que existem rasgos de drenagem), mas a existência de grandes caudais indicia que esses caudais, porventura excessivos, estão a infiltrar-se de forma anómala para o interior dos caixilhos, que não estão preparados para receber caudais elevados, e poderão eventualmente também causar infiltrações para o interior. A existência destes elevados caudais indicia que os elementos de exclusão da água do interior dos caixilhos (vedantes da junta móvel, vedação de juntas fixas, etc.) não estão a funcionar adequadamente.

As infiltrações de água podem ser causadas pelas anomalias seguintes, quer isoladamente quer associadas entre si:

- 3.4 Falta de vedação da junta entre o aro e o vão
- 3.8 Perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos
- 3.9 Vedante desencaixado
- 3.10 Falta de vedante em janela oscilo-batente
- 3.11 Vedantes com pouca compressão na fachada da entrada
- 3.12 Vidro curto
- 3.13 Juntas entre peças do rufo e rufo/caixilharia abertas
- 3.14 Folga na junta dos bites
- 3.15 Folga entre o aro da janela e os perfis da fachada
- 3.16 Junta fixa a 45º aberta
- 3.17 Juntas fixas de perfis paralelos com folga relevante ou deficientemente selada
- 3.19 Folga na junta móvel e falta de compressão na junta móvel
- 3.20 Golas dos vidros com ventilação e drenagem deficiente
- 3.26 Folha descaída
- 3.30 Existência de furos nos perfis da caixilharia
- 3.38 Fendilhação na junta fixa entre elementos do vão

Grande parte destas anomalias podem ser agrupadas em dois grandes conjuntos, um correspondente a juntas fixas entre perfis ou com o vão abertas (anomalias 3.4, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17) e outro correspondente a anomalias nos sistemas de vedação das golas dos vidros e das juntas móveis (anomalias 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.19, 3.20 e 3.26). Deve salientar-se que foram ainda ocasionalmente observadas fendas nos elementos do vão (anomalia 3.38) que poderão originar a humedificação das paredes adjacentes.

A falta de vedação nas juntas entre o aro e o vão (que ocorrem em toda a periferia das fachadas, destacando-se em especial as juntas com os rufos e as juntas com os perfis verticais de betão) está muito generalizada e deve ser analisada pondo em conjunto as anomalias 3.4 “Falta de vedação da junta entre o aro e o vão” e 3.13 “Juntas entre peças do rufo e rufo/caixilharia abertas” (ver quadro 4), pois trata-se do mesmo tipo de anomalias mas em diferentes elementos da construção. Verifica-se que a existência de juntas fixas abertas é mais frequente do que a observação de infiltrações de água no interior, pelo que se conclui que nem todas as juntas fixas abertas geram infiltrações observáveis. Note-se que, enquanto as juntas entre perfis abertas podem permitir a infiltração de água para o interior dos perfis mas não implicam necessariamente a infiltração de água para o interior do edifício, no caso das juntas aro/vão só não ocorrem infiltrações se a pressão do vento não for favorável ao escoamento da água para o interior. Algumas das infiltrações de água poderão não ser visíveis mas estar já a degradar elementos da construção no interior do edifício.

A existência de perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos (anomalia 3.8) é geral e ocorre em quase todas as folhas que têm este tipo de vedantes prefabricados. Note-se que nas zonas opacas foi normalmente utilizado mastique de silicone para assegurar a vedação da junta do vidro, não sendo, neste caso, aplicável esta anomalia. Esta anomalia nos vedantes prefabricados está relacionada com a existência de zonas de descontinuidade, muitas delas devidas a retração dos vedantes, que permitem a infiltração de água da chuva. Esta infiltração para o interior da gola do vidro não implica uma perda de estanquidade, desde que possa ser drenada para o exterior. Como se referiu acima, se os caudais forem muito elevados poderá não ser possível serem totalmente drenados para o exterior, aumentando a possibilidade de causarem infiltrações de água para o interior do edifício.

No quadro 3 são indicadas as anomalias frequentes. É particularmente visível a existência de um número significativo de caixilhos com rasgos de ventilação e de drenagem das golas dos vidros inexistentes ou deficientemente realizados. Nesses casos é possível que ocorram infiltrações para o interior da água que escoar para a gola do vidro por deficiência da vedação da gola do vidro (anomalias 3.8 e 3.14). É interessante verificar que muitos dos caixilhos que têm evidentes deficiências de drenagem da gola dos vidros apresentam vestígios de infiltrações de água quando têm as anomalias 3.8 (“Perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos”) ou 3.14 (“Folga na junta dos bites”). É o caso dos caixilhos existentes no piso 6, em que existem deficiências de drenagem em todos os caixilhos fixos (anomalia 3.20), para os quais todos os caixilhos que apresentam vestígios de infiltração de água no interior (anomalia 3.21) têm a anomalia 3.8 (“Perfis de vedação da junta dos vidros defeituosos”) (muitos tendo cumulativamente a anomalia 3.14 “Folga na junta dos bites”).

Quadro 3: Incidência das anomalias frequentes

Anomalias	Face da observação	Janelas com anomalias			
		Número	%	Número	%
3.20 Golas dos vidros com ventilação e drenagem deficiente		102	14,0	102	14,0
3.2 Vidros riscados		101	13,8	101	13,8
3.28 Perfis da caixilharia deformados	Interior	48	6,6	84	11,5
	Exterior	40	5,5		
3.7 Junta dos vidros selada com mastique em vez de vedante	Interior	21	2,9	82	11,2
	Exterior	62	8,5		
3.31 Revestimento da anodização com riscos ou degradado	Interior	22	3,0	81	11,1
	Exterior	64	8,8		
3.17 Juntas fixas de perfis paralelos com folga relevante ou deficientemente selada	Interior	16	2,2	71	9,7
	Exterior	56	7,7		
3.30 Existência de furos nos perfis da caixilharia	Interior	59	8,1	67	9,2
	Exterior	8	1,1		
3.9 Vedante desencaixado	Interior	31	4,2	52	7,1
	Exterior	21	2,9		
3.33 Existência de depósitos nos perfis	Interior	3	0,4	51	7,0
	Exterior	48	6,6		

No caso da anomalia 3.7 (“Junta dos vidros selada com mastique em vez de vedante”), considera-se que constitui uma solução pouco fiável utilizar um cordão de mastique extrudido no local para colmatar a junta dos vidros em vez de se usarem vedantes prefabricados. Verificou-se, todavia, nesta obra que em vários casos o mastique estava aplicado de forma muito regular, sendo até difícil de distinguir se se trata de um cordão de mastique ou de um pequeno vedante prefabricado. Por essa

razão, assinalaram-se sobretudo os cordões de mastique que apresentam interrupções ou irregularidades que possam dar origem a deficiências de desempenho e não se assinalaram normalmente os casos em que o mastique se apresenta ainda com boas condições de continuidade e aderência.

Nos quadros 4 e 5 são indicadas todas as anomalias pouco frequentes e muito pouco frequentes, correspondendo a anomalias que ocorrem em menos de 50 caixilhos. Dada a sua reduzida incidência e a elevada importância que algumas têm para o desempenho da caixilharia recomenda-se a sua correção. Destacam-se em especial as anomalias 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.15, 3.16, 3.18, 3.19 e 3.24, que podem condicionar a estanquidade à água e a permeabilidade ao ar do edifício, e as anomalias 3.5, 3.26, 3.27, 3.29 e 3.39, que podem condicionar a resistência mecânica das janelas ou permitir a queda de peças, comprometendo a segurança dos utilizadores (e eventualmente dos transeuntes, em situações extremas).

Quadro 4: Incidência das anomalias pouco frequentes

Anomalias	Face da observação	Janelas com anomalias			
		Número	%	Número	%
3.13 Juntas entre peças do rufo e rufo/caixilharia abertas		44	6,0	44	6,0
3.11 Vedantes com pouca compressão na fachada da entrada		43	5,9	43	5,9
3.32 Perfis com vestígios de tinta	Interior	27	3,7	40	5,5
	Exterior	15	2,1		
3.16 Junta fixa a 45º aberta	Interior	13	1,8	25	3,4
	Exterior	15	2,1		
3.27 Ferragens degradadas	Interior	13	1,8	25	3,4
	Exterior	14	1,9		
3.38 Fendilhação na junta fixa entre elementos do vão	Interior	4	0,5	20	2,7
	Exterior	16	2,2		
3.6 Aplicação de linha de mastique de reforço em sobreposição à linha de mastique inferior		17	2,3	17	2,3
3.12 Vidro curto	Interior	8	1,1	17	2,3
	Exterior	9	1,2		
3.25 Barreiras à normal abertura das janelas		16	2,2	16	2,2
3.26 Folha descaída		16	2,2	16	2,2
3.10 Falta de vedante em janela oscilo-batente		15	2,1	15	2,1
3.19 Folga na junta móvel e falta de compressão na junta móvel		14	1,9	14	1,9

Observou-se a existência de apenas 5 vidros duplos com condensações no seu interior (anomalia 3.1). Tendo em conta que esta obra tem cerca de 30 anos, constitui um caso significativo de longevidade dos vidros duplos. O aparecimento de condensações no interior do vidro duplo tem um forte impacto no conforto visual dos utilizadores, uma vez que normalmente tende a tornar-se muito visível, e prejudica a imagem corporativa, uma vez que torna evidente a falta de cuidados de manutenção do edifício. Embora esta anomalia não tenha outros impactos no desempenho da caixilharia, face aos aspetos referidos considera-se relevante que os vidros sejam substituídos.



Também se considera que as anomalias 3.34 “Aplicação de obturação improvisada” e 3.37 “Puxadores na porta de formato diferente e abertura onde está a fechadura muito mais larga que a fechadura” prejudicam a imagem corporativa pelas mesmas razões anteriormente invocadas, pelo que se recomenda a sua reparação.

Adicionalmente existem elementos do vão fendilhados (anomalia 3.38) que, não sendo caixilharia, podem permitir infiltrações, pelo que também se recomenda a sua reparação.

Quadro 5: Incidência das anomalias muito pouco frequentes

Anomalias	Face da observação	Janelas com anomalias			
		Número	%	Número	%
3.3 Degradação da película refletora do vidro		9	1,2	9	1,2
3.18 Anomalias na instalação das pingadeiras		9	1,2	9	1,2
3.24 Ausência de calço de vedação inferior e superior		7	1,0	7	1,0
3.15 Folga entre o aro da janela e os perfis da fachada	Interior	4	0,5	6	0,8
	Exterior	4	0,5		
3.22 Ausência de defletores nos rasgos de drenagem da junta móvel inferior		6	0,8	6	0,8
3.1 Vidros duplos com condensações no seu interior		5	0,7	5	0,7
3.36 Perfil com calha de plástico de passagem de cabos elétricos		5	0,7	5	0,7
3.39 Vidro partido		2	0,3	2	0,3
3.5 Parafusos de fixação do aro da janela à fachada sem calço		1	0,1	1	0,1
3.23 Estanquidade na junta móvel inferior assegurada apenas pela forma da soleira		1	0,1	1	0,1
3.29 Capa do perfil desencaixada		1	0,1	1	0,1
3.34 Aplicação de obturação improvisada		1	0,1	1	0,1
3.35 Peça de aço fixa ao montante para fazer de apoio ao teto falso		1	0,1	1	0,1
3.37 Puxadores na porta de formato diferente e abertura onde está a fechadura muito mais larga que a fechadura		1	0,1	1	0,1

## Estado de conservação do revestimento anódico

O revestimento anódico confere o aspeto estético aos perfis de alumínio e atua como proteção contra a corrosão, desde que apresente uma espessura adequada. No quadro 6 resumem-se os resultados da medição da espessura do revestimento anódico das caixilharias de alumínio anodizado, em termos do valor mínimo, máximo e médio global das espessuras médias, obtidos para os diferentes tipos de caixilharias identificadas. Foram feitas algumas medidas no interior, que tiveram como objetivo verificar se a exposição aos agentes atmosféricos teria causado variações significativas da espessura do revestimento anódico dos perfis expostos no exterior, tendo-se constatado que os valores obtidos eram muito similares aos do exterior. Deste modo, estima-se que a espessura atual seja ainda muito próxima da espessura original.

Tendo por base a amostragem realizada, em geral, a caixilharia de alumínio anodizado do edifício, apresenta uma espessura do revestimento anódico de classe AA 15 (15  $\mu\text{m}$ ) ou AA 20 (20  $\mu\text{m}$ ). Excetua-se, no entanto, a caixilharia móvel de batente, de cor preta, existente em vários locais da fachada, que apresenta a superfície manchada e com perda de brilho, para a qual o revestimento anódico apresentava uma espessura de classe AA 10 (10  $\mu\text{m}$ ) ou até AA 5 (5  $\mu\text{m}$ ). Estas classes são apenas recomendadas para aplicações no interior (NP 1482;1985), daí que o mau estado desta caixilharia possa ser justificado pela insuficiente espessura do revestimento anódico aplicado, face à

agressividade do ambiente de exposição. Este é considerado como moderadamente agressivo (NP 1982; 1895), dado a sua localização numa zona de intenso tráfego rodoviário, com alguma influência marítima. Note-se que existem também algumas destas janelas, provavelmente colocadas mais recentemente, em bom estado de conservação, cuja espessura do revestimento anódico era, pelo menos, de classe AA 15 (15  $\mu\text{m}$ ), classe mínima para aplicação no exterior.

Quadro 6: Resumo dos resultados da medição da espessura do revestimento anódico dos perfis de alumínio anodizado da caixilharia exterior

Tipo de caixilharia	Espessura do revestimento anódico / $\mu\text{m}$			
	Máximo	Mínimo	Média $\pm$ Desvio padrão	
Caixilharia fixa – Pisos 6 <sup>op</sup> ,5 a 1 e sobreloja	32,8	11,4	20,9 $\pm$ 3,6	
Caixilharia móvel (batente) – Pisos 6 <sup>op</sup> ,5 a 1 e sobreloja	Geral	23,2	6,2	16,9 $\pm$ 6,2
	Degradadas	14,2	6,2	8,9 $\pm$ 2,2
	Novas	23,2	17,7	19,7 $\pm$ 1,4
Caixilharia fixa - Piso 6	29,8	18,2	23,9 $\pm$ 2,2	
Caixilharia móvel (portas) - Pisos 6, 3	26,5	9,8	19,1 $\pm$ 3,7	
Caixilharia do Piso 0 – Zona de entrada	18,7	16,4	17,5 $\pm$ 1,1	
Caixilharia móvel - janelas de correr	27,2	15,6	20,7 $\pm$ 2,8	

Número reduzido de perfis medidos

Contudo, apesar de terem a espessura de revestimento anódico adequada, foi observada em alguns perfis da caixilharia dos pisos 6 e 0, corrosão localizada por picadas, com maior incidência em zonas expostas ao vento, mas abrigadas da chuva. Na caixilharia das janelas do piso 6, esta corrosão ocorre predominantemente nas esquinas ou próximo destas nos perfis verticais (prumos), por vezes de forma alinhada, pelo que deverá resultar da existência de algum “defeito” da camada anódica protetora destes perfis, ao que se aliou a posição mais abrigada dos perfis, que se pode tornar mais agressiva por facilitar a deposição e acumulação de agentes corrosivos atmosféricos (gases do tipo  $\text{SO}_x$  resultantes da poluição automóvel e sais de cloretos provenientes da costa marinha) e não permitir a ação benéfica de lavagem da água da chuva.

Este efeito de exposição abrigada contribuiu igualmente para a extensa corrosão por picadas observada nos perfis e chapas da caixilharia do piso zero, que ocorre principalmente junto ao teto. Não só esta caixilharia apresenta uma gama de espessuras ligeiramente inferior (de classe AA 15), como está sujeita a uma maior agressividade ambiental, dado a proximidade do solo. Não é possível reparar as zonas afetadas por corrosão por picadas, mas é possível mitigar a propagação deste fenómeno se se promover a limpeza regular da caixilharia destas zonas.

Foi ainda observada, pontualmente, a existência de depósitos e escorrimentos de produtos esbranquiçados em uniões de perfis, que poderiam indiciar problemas de corrosão do alumínio no interior das caixilhariças. Para esclarecer a natureza destes produtos, foram colhidas duas amostras (uma numa janela e outra numa porta) para análise da composição química elementar em laboratório. Para tal foi usado um microscópio eletrónico de varrimento (MEV) JEOL JSM-6400 equipado com um espectrómetro de raios X por dispersão de energias (EDX) da OXFORD – INCA x-sight. Foram realizadas diversas análises MEV-EDX cujos resultados se resumem no Quadro 7.

As análises MEV-EDX (quadro 7) revelaram que os produtos dos escorrimentos são essencialmente constituídos por oxigénio (O), cálcio (Ca) e silício (Si), pelo que devem ter como principal origem a lixiviação de ligantes inorgânicos do tipo cimento Portland, o que justifica ainda a presença de elementos como o magnésio (Mg) e o alumínio (Al). A existência deste último, no entanto, poderá indicar também a presença de produtos de corrosão do alumínio nos escorrimentos, o que seria de

esperar uma vez que os lixiviados são de natureza alcalina, sendo agressivos para o alumínio. Contudo, o baixo teor de alumínio detetado indicia que a corrosão eventualmente existente é muito pouco significativa. As análises MEV-EDX revelaram ainda a presença dos elementos enxofre (S), cloro (Cl) e sódio (Na), que estão associados à deposição de agentes agressivos atmosféricos. E, na amostra colhida na porta, a presença de zinco (Zn), que poderá resultar da corrosão de elementos metálicos de aço galvanizado que possam constituir ou estar próximos da caixilharia, e a presença de fósforo (P), que poderá indicar resíduos de dejetos de aves ou de detergentes.

Quadro 7: Resultados das análises MEV-EDX realizadas nas amostras de produtos brancos do tipo escorrimentos. Teores médios relativos (em %)

Proveniência da amostra	Composição química elementar semi-quantitativa (%) <sup>1</sup>									
	O	Ca	Si	Al	P	Zn	Na	Cl	S	Mg
Janela	50	39	3,6	2,4	-	-	0,8	0,9	1,9	1,2
Porta	52	25	4,7	1,8	9,6	4,4	0,7	0,3	0,6	0,9

<sup>1</sup>Os teores em carbono (C) e ouro (Au) foram excluídos desta análise

## Conclusões

No âmbito deste estudo foram identificados 39 tipos de anomalias na caixilharia exterior e analisado o seu impacto em termos numéricos, a sua distribuição no edifício e a sua interferência no desempenho da envolvente.

No que se refere ao estado de conservação do revestimento anódico, a grande maioria das caixilharias de alumínio anodizado apresentavam um revestimento, em geral, sem sinais de degradação significativa na sua superfície, e, de acordo com as medições efetuadas, com uma espessura média de classe AA 15 (15 µm) ou AA 20 (20 µm). Excetua-se, no entanto, a caixilharia móvel de batente, de cor preta, existente em vários locais da fachada, que apresenta uma superfície com aspeto muito degradado (manchada e com perda de brilho), para a qual se verificou que o revestimento anódico apresentava uma espessura de classe AA 10 (10 µm) ou até AA 5 (5 µm), muito inferior à classe de espessura recomendada para o edifício em questão. Verificou-se também a existência de corrosão localizada por picadas nos perfis das caixilharias dos pisos 6 e zero, situados em zonas abrigadas da chuva, mesmo nos perfis com uma espessura de revestimento de classe AA 15 ou AA 20.

Apesar dos inerentes efeitos inestéticos, os fenómenos de corrosão observados não afetam a integridade dos perfis de alumínio e, exceto nos casos referidos da caixilharia móvel de batente, de cor preta, o revestimento anódico existente ainda pode continuar a conferir proteção anticorrosiva ao alumínio dos perfis.

Considera-se que cerca de 30 anos volvidos após a instalação desta caixilharia exterior os problemas mais relevantes encontrados são:

- Degradação generalizada das juntas de mástique de estanquidade, atribuíveis a problemas de durabilidade;
- Deficiência da execução dos rasgos de drenagem e de ventilação da caixilharia, atribuíveis a deficiências de execução inicial da caixilharia;
- Deficiências de instalação e de durabilidade (em especial no que respeita ao seu revestimento) de caixilhos, de cor mais escura, com folhas móveis; estes caixilhos parecem ter sido aplicados vários anos depois da construção inicial da fachada.

Assinala-se como aspeto positivo o reduzido número de vidros duplos que apresentam condensações no seu interior (1,2% do total), comprovando uma adequada durabilidade dos vidros duplos, mesmo quando aplicados em condições em que a drenagem e ventilação das golas dos vidros é deficiente ou é inexistente.

Verifica-se assim que a caixilharia inicial, apesar de algumas incorreções de execução, teve condições para assegurar um desempenho potencialmente satisfatório, que foi prejudicado por falta de limpeza, por falta de reabilitação das juntas de estanquidade menos duráveis e por inadequação das

obras de acondicionamento da fachada, através da instalação de novas folhas móveis. Ainda assim, face à análise do estado global da caixilharia exterior, considera-se que esta caixilharia ainda tem condições para continuar a ser utilizada desde que seja sujeita a uma reabilitação que elimine as causas das infiltrações de água e as causas que possam eventualmente conduzir a problemas de segurança. Para além disso deverá ser objeto de cuidados de manutenção regulares. Este edifício constitui um exemplo de como é realista esperar que as fachadas leves de alumínio e vidro possa ter um período de vida similar ao do edifício de 50 anos, tal como sugerido no eurocódigo. Todavia, a caixilharia atual tem características de desempenho significativamente mais elevadas, nomeadamente nos aspetos térmico e acústico, do que a caixilharia aplicada neste edifício, cuja reabilitação não permitirá incrementar as características de desempenho que tinha quando nova. Assim, pode fazer sentido proceder-se a uma substituição da caixilharia exterior em vez de se fazer simplesmente a sua reabilitação.

## Agradecimentos

Para a realização deste estudo foi constituída uma equipa que contou com a participação dos seguintes técnicos, a quem os autores expressam os seus agradecimentos pela colaboração que prestaram: José Martins, Dulce Franco, Carlos Saldanha, Odete Domingues, Pedro Ramos, Cristina Alves e Nuno Garcia.

## Referências bibliográficas

- FONTINHA, I.R.; SALTA, M. M., 2005 - **Influence of sealing process on corrosion behaviour of anodized aluminium**, In EUROCORR 2005, Lisboa: IST.
- FURNEAUX, R., 2011 - **Weathering and service life of anodized aluminium** [Consult. 22 de fevereiro de 2016]. Disponível em <http://www.qualanod.net/weathering-of-anodized-aluminium.html>
- MAEC, 2007 – **Método de avaliação do estado de conservação de imóveis (MAEC). Instruções de Aplicação. Novo Regime do Arrendamento Urbano**. Ministério das obras Públicas, Transportes e Comunicações e Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Outubro.
- NP 1482:1985 – Alumínio anodizado. Características do revestimento dos produtos destinados a construção civil. Instituto Português da Qualidade, 1985.
- NP EN 1990:2009 – Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas. Caparica: Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Decreto-Lei n.º 38382, de 07-08-1951, e alterações subsequentes.
- NP 4517:2014 – Especificação dos requisitos de desempenho das janelas, portas e fachadas leves com vidro em função das suas solicitações. Caparica: Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- NP EN ISO 7599:2011 – Anodização do alumínio e suas ligas; Especificações gerais para revestimentos de oxidação anódica do alumínio (ISO 7599:2010). Instituto Português da Qualidade, 2011.
- QUALANOD, 2010 – Directivas relativas à Licença de Marca de Qualidade QUALANOD para anodização do Alumínio baseada em Ácido Sulfúrico. Versão portuguesa atualizada em 25-06-2015. Disponível em [www.apal.pt](http://www.apal.pt).
- STACEY, M., 2014 – **Aluminium and Durability. Towards Sustainable Cities**, International Aluminium Institute, Cwningen Press: Nottingham.