

Os suportes para ar-condicionado dos edifícios: Desafios de uma cidade sustentável

Air-conditioning supports for buildings: Challenges for a sustainable city

Soportes de climatización de edificios: Retos para una ciudad sostenible

Wildson Wellington Silva

Mestrando, UPE, Brasil.

wildsonws@gmail.com

Willames de Albuquerque Soares

Professor Doutor, UPE, Brasil.

was@poli.br

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Professora Doutora, UPE, Brasil.

eliana@poli.br

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e o aumento das temperaturas globais, suscitou a demanda por sistemas de refrigeração individual e coletiva nas edificações residenciais e comerciais, deixando os equipamentos de ar-condicionado e seus respectivos suportes expostos em suas fachadas. O objetivo desse estudo é avaliar a degradação dos suportes de concreto armado em um estudo de caso. Verificou-se que 49,5% das edificações possuem suportes para aparelhos de ar-condicionado na área externa de suas fachadas e destes 69% são de concreto armado. A partir das imagens aéreas pôde-se constatar rachaduras em 90% dos suportes e 21% apresentaram colapso parcial da estrutura. Conclui-se que a falha na concepção de projeto do suporte de concreto armado sem dar importância aos requisitos mínimos de cobertura e controle de qualidade na fabricação do concreto, são decisivos no aumento da porosidade e na entrada de agentes agressivos. A baixa vida útil desses suportes está associado a risco de acidentes graves ou fatais com a queda de partes dessas estruturas e suscita na troca frequente, demandando mais consumo de cimento e em mais resíduos da construção.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão de armadura. Durabilidade do concreto. Vida útil. Resíduos da construção.

SUMMARY

With the advancement of technology and the increase in global temperatures, there has been a demand for individual and collective cooling systems in residential and commercial buildings, leaving air conditioning equipment and their respective supports exposed on their facades. The objective of this study is to evaluate the degradation of reinforced concrete supports in a case study. It was found that 49.5% of the buildings have supports for air conditioners in the external area of their facades and of these 69% are reinforced concrete. From the aerial images it was possible to observe cracks in 90% of the supports and 21% presented partial collapse of the structure. It is concluded that the failure in the design of the reinforced concrete support without giving importance to the minimum requirements of coverage and quality control in the manufacture of concrete, are decisive in the increase of porosity and the entry of aggressive agents. The low useful life of these supports is associated with the risk of serious or fatal accidents with the fall of parts of these structures and leads to frequent replacement, demanding more cement consumption and more construction waste.

KEYWORDS: Corrosion of reinforcement. Durability of concrete. Service life. Construction waste.

RESUMEN

Con el avance de la tecnología y el aumento de las temperaturas globales, se ha producido una demanda de sistemas de refrigeración individuales y colectivos en edificios residenciales y comerciales, dejando expuestos en sus fachadas los equipos de aire acondicionado y sus respectivos soportes. El objetivo de este estudio es evaluar la degradación de los soportes de hormigón armado en un caso de estudio. Se encontró que el 49,5% de los edificios tienen soportes para aires acondicionados en el exterior de sus fachadas y el 69% de estos son de hormigón armado. Las imágenes aéreas mostraron grietas en el 90% de los soportes y en el 21% se observó el colapso parcial de la estructura. Se concluye que el fallo en el diseño del soporte de hormigón armado sin dar importancia a los requisitos mínimos de cobertura y control de calidad en la fabricación del hormigón, son determinantes en el aumento de la porosidad y la entrada de agentes agresivos. La baja vida útil de estos apoyos está asociada al riesgo de accidentes graves o mortales con la caída de partes de estas estructuras y conduce a la sustitución frecuente, exigiendo más consumo de cemento y más residuos de construcción.

PALABRAS CLAVE: Corrosión de las armaduras. Durabilidad del hormigón. Vida útil. Residuos de la construcción.

1 INTRODUÇÃO

As edificações demandam equipamentos de arrefecimento, sendo comum a instalação em suas fachadas de suportes para os aparelhos de ar-condicionado; dentre os tipos de materiais utilizados pode-se destacar os de concreto armado, metálicos, plásticos e de fibra de vidro, estando sujeitos as inúmeras intempéries como sol, chuva, vento, poluição e dejetos de animais.

O concreto possui mecanismos de degradação que impedem uma vida útil mais longa, como a lixiviação, expansão por sulfatos, reação álcali-agregados, além dos processos de corrosão da armadura, provenientes da carbonatação e ação de íons cloretos, sendo agravados pela classe de agressividade ambiental. De acordo com Bertolini (2010) e Almeida e Sales (2018) três aspectos ligados a região e seus microclimas são decisivos nessa degradação como a umidade relativa do ar, atmosfera marinha e centros populacionais, sendo influenciados pelas chuvas e ventos.

Esse estudo levanta as manifestações patológicas dos suportes de concreto armado de um estudo de caso de uma edificação em uma região litorânea, que possui níveis de agressividade ambiental mais elevados.

Altas concentrações de umidade relativa favorece a transmissão de cloretos no interior do concreto, foi analisado com a variação de umidade de 20% a 100% e identificou-se que quanto maior a umidade relativa, maior seria a concentração de cloretos e a consequente profundidade de difusão de íons cloretos, com ampliação em até 4,3 vezes (JIN et al., 2022). Umidades acima de 70% possibilita que o cloreto esteja como solução salina e não em forma de cristais (CASTAÑEDA et al., 2018).

Com o acréscimo da temperatura a transmissão e a profundidade da difusão de cloretos é acelerada no interior do concreto, com a elevação de 5 °C para 65 °C a profundidade de difusão do cloreto amplia em 3,3 vezes (JIN et al., 2022).

As chuvas possuem a característica de limpeza, à medida que a intensidade de chuva aumenta, ocorre a redução de íons cloretos na superfície do concreto e com o aumento na duração das chuvas, a profundidade de acesso ao interior do concreto é maior e atua reduzindo mais profundamente os íons cloretos, a maior intensidade da chuva potencializa o dano a estrutura porosa. Em concretos mais secos a permeabilidade da chuva é maior e a concentração de íons cloretos é reduzida (JIN et al., 2021).

As taxas de corrosão são maiores nos locais onde a direção dos ventos incide sobre as construções, fachadas que recebem esses ventos nos períodos de chuva e apresentam elevada umidade relativa do ar tendem a degradar com mais facilidade, um aumento ainda mais significativo ocorre nas regiões litorâneas (PAKKALA et al., 2019).

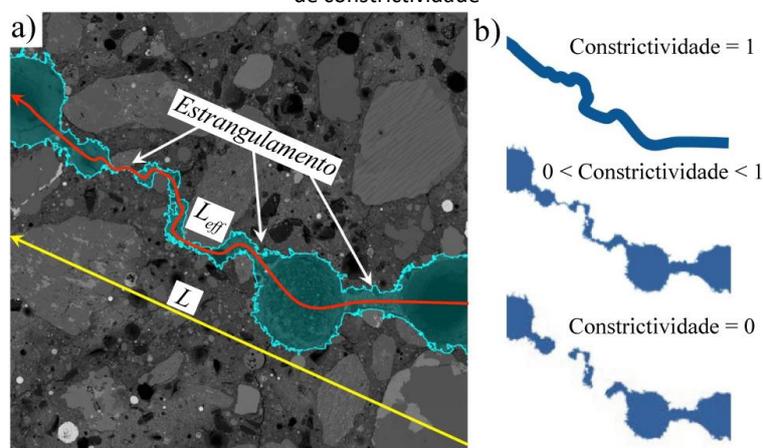
O transporte de íons cloretos são influenciados pela profundidade marítima do litoral, amplitude de marés, arrebentamento das ondas e especialmente na direção dos ventos do litoral para o continente. As reduções da salinidade ocorrem em distâncias de 100 m a 150 m da costa e de forma abrupta (LEE; MOON, 2006). Essas distâncias são influenciadas por obstáculos, chuvas, além do efeito gravimétrico. Em uma região nordeste do Brasil chegou-se a reduções fortes nos primeiros 100 m a 200 m (MEIRA et al., 2020).

O modelo de Cole et al. (2013) identificou a deposição de cloreto em função dos ventos, adotou-se duas premissas, o cloreto produzido pela arrebentação (< 1 km), onde as taxas

de deposição de cloretos caem exponencialmente no primeiro quilômetro e as formadas pelas ondas do mar (> 1 km), são mais leves e menores e caem gradualmente ao longo do interior do continente. Como resultado formou-se um mapa com o alcance da deposição de cloretos com indicação em vermelho pelas altas concentrações no primeiro quilômetro, mas pôde-se encontrar com menores concentrações atingindo quase 100 km do litoral (PONGSAKSAWAD et al., 2021).

Muitos fatores estão associados ao transporte iônico como a geometria, distribuição dos poros e sua conectividade, as reações químicas em decorrência das ligações dos íons as paredes dos poros, quimicamente ativas e o efeito do potencial elétrico, pois as paredes encontram-se carregadas negativamente, possibilitando o efeito do potencial de membrana, afetando a difusão de íons. O envelhecimento do concreto e o resultado das reações químicas ao longo do tempo, reflete na diminuição da porosidade e a consequente tortuosidade. Para mais o aumento da temperatura interfere em todos os processos citados, concebendo mais capacidades de ligação (ZHANG; LUZIO; ALNAGGAR, 2021), conforme Figura 1.

Figura 1 – Microestrutura porosa de concreto mostrando a) trajetória tortuosa dos poros e b) diferentes condições de constritividade



Fonte: Adaptado de (ZHANG; LUZIO; ALNAGGAR, 2021)

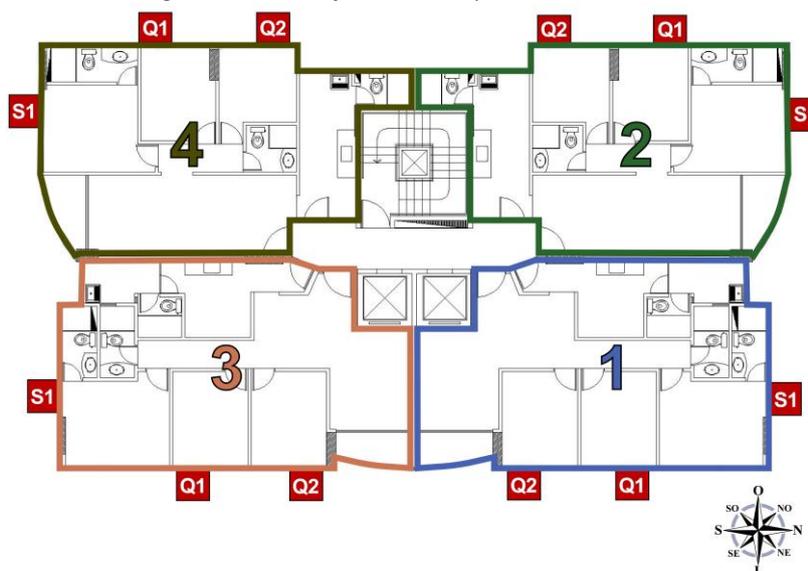
O dióxido de carbono ou gás carbônico CO_2 é um elemento abundante na atmosfera. Ao entrar em contato com o concreto penetra nos poros por difusão e adsorção, dilui-se na presença de umidade formando o ácido carbônico (H_2CO_3), esse material formado reage com a pasta de cimento hidratada como o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formando o carbonato de cálcio (CaCO_3) e água H_2O . O resultado chama-se de carbonatação e está associados a lixiviação do concreto (POSSAN, 2010); (XU et al., 2022).

2 METODOLOGIA

Foi escolhido um edifício de uso residencial, composto por duas torres denominadas A e B, com 14 pavimentos de apartamentos e mais 3 pavimentos de estacionamento, sendo uma delas subterrânea. Possui quatro unidades habitacionais por pavimento, totalizando os dois blocos em 112 unidades habitacionais. Localizado no bairro de Casa Amarela, na zona norte do Recife, na Estrada do Arraial, número 3574, estado de Pernambuco, CEP: 52.070-230 e sob as coordenadas geográficas Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 25 L, de longitude 289041.00 m E e latitude 9112227.00 m S.

Foi realizado a separação dos dois blocos conforme os projetos do condomínio, com a denominação dos blocos A e B e a separação por Unidade Habitacional com as terminações de 1 a 4, em seguida os três quartos foram classificados em S1, Q1 e Q2, em razão dos suportes de concreto armado para ar-condicionado de cada um deles, conforme Figura 2.

Figura 2 - Classificação das caixas para ar-condicionado.

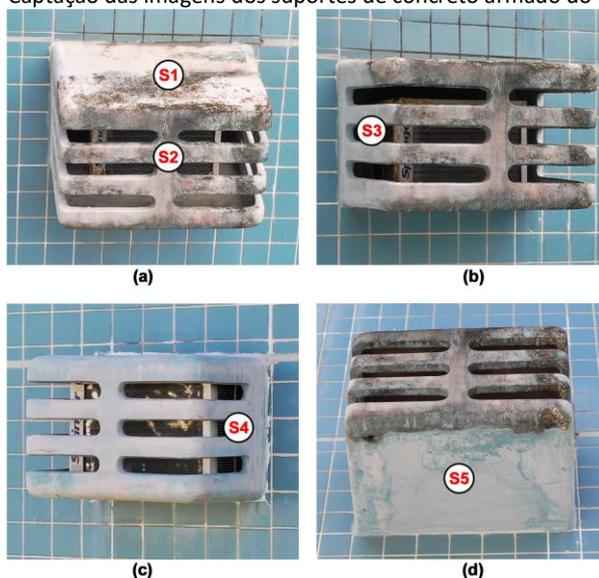


Fonte: Autor (2022)

Para determinar o estado de deterioração de cada caixa foram realizados voos com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo MAVIC 2 Pro da fabricante DJI, visando a captação de imagens para as faces superior, frontal e laterais e com uma câmera digital modelo COOLPIX P520 da fabricante Nikon para captura de imagem na face inferior. Com o total de 336 caixas de concreto, sendo 3 por apartamento, totalizando em 1.344 imagens captadas.

Na Figura 3 estão demonstradas como foi realizada a captura das imagens: S1 – face superior; S2 – face frontal; S3 – face esquerda; S4 – face direita e pôr fim a S5 – face inferior.

Figura 3 - Captação das imagens dos suportes de concreto armado do tipo janela.



Fonte: Autor (2022)

Após a coleta das imagens, as manifestações patológicas puderam ser classificadas de acordo com os tipos de problemas presentes. As fotos de cada parte dos suportes de concreto foram analisadas de acordo com os seguintes critérios do Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das manifestações patológicas

Código	Manifestação patológica	Descrição
1	Descascamento da pintura	Quando a camada de pintura se encontra com partes removidas
2	Manchas	Quando acompanha manchas brancas, amarelas, verdes e escuras
3	Fissuras e trincas	Quando há o início de aberturas em forma de linha no concreto e superficial
4	Rachaduras	Quando há aberturas no concreto com ruptura de massa
5	Desplacamento do concreto	Quando há o desprendimento do concreto, removendo a sua função estrutural
6	Exposição da armadura	Quando a armadura se encontra exposta visualmente
7	Colapso parcial	Quando parte da estrutura se encontra ausente

Fonte: Autor (2022)

3 RESULTADOS

3.1 Características geográficas e climáticas

Quanto ao relevo do local, obteve-se o perfil de elevação e identificou as altitudes, partindo do zero na formação das ondas até o máximo de 12 m na elevação do Parque Arraial do Bom Jesus e de 10 m no local da edificação, conforme Figura 4.

Figura 4 – Perfil de elevação da edificação até o ponto de rebentação das ondas

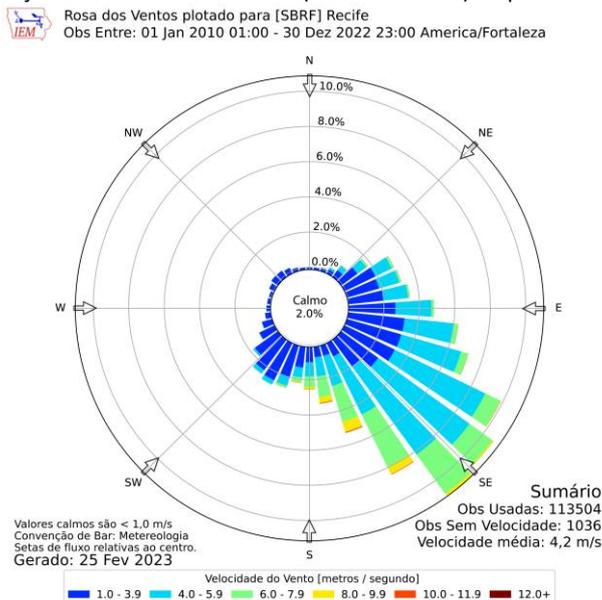


Fonte: Adaptado de (GOOGLE LLC, 2022)

A medição da radiação solar, que interfere na temperatura ambiente, pode ser observada na carta solar do Recife, no qual é possível constatar temperaturas ao longo do ano não inferiores a 20º C e em grande parte superior a 25º C, de acordo com a escala de medição do Termômetro de Bulbo Seco (TBS), que mede a temperatura do ambiente onde está instalado (ANALYSIS SOL-AR, 2022).

No sentido de ter informações sobre a direção do vento, conduziu-se para um mapa da Rosa dos Ventos na cidade do Recife no período do término da construção da edificação em 2010 até 2022, onde é possível obter a direção e velocidade do vento com as direções predominantes e a velocidade dos ventos mais fortes. Os ventos com maiores velocidades são os da direção SE, com velocidades que podem chegar a mais de 12 m/s. Apenas em 2% do ano a velocidade do vento é considerada calma, ou seja, com velocidades menores que 1 m/s, vide Figura 5.

Figura 5 – Direção e velocidade dos ventos (rosa dos ventos) no período de 2010 a 2022



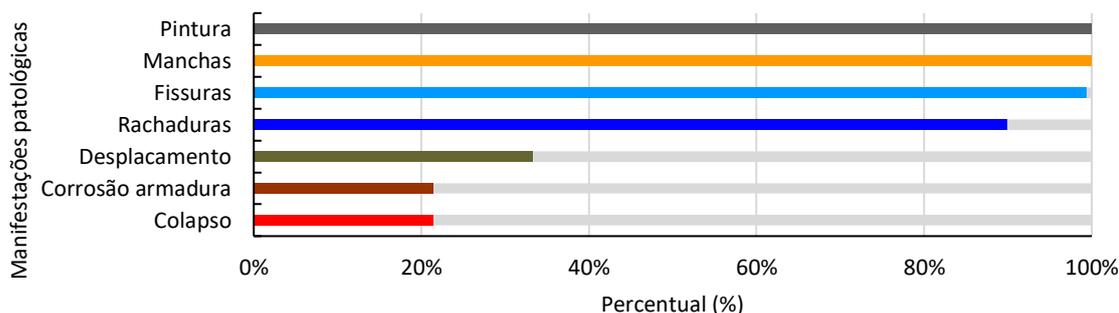
Fonte: (IOWA STATE UNIVERSITY, 2023)

A umidade relativa do ar é elevada quando influenciada pelas zonas equatoriais e tropicais, além dos efluentes ou oceanos, permitindo uma maior quantidade de vapor de água na atmosfera. Através das mínimas e máximas do (INMET, 2022) para o ano de 2020 é possível constatar a variação ao longo do dia, mantendo-se uma média não abaixo de 60% de umidade relativa do ar e atingindo valores máximos superiores a 90% de umidade relativa e com a ocorrência de chuva em todos os meses do ano.

3.2 Estudo de caso

Após apontar as manifestações patológicas dos suportes de concreto armado, foi possível identificar a deterioração da pintura e a presença de manchas em 100% dos suportes de concreto, seguidos por fissuras superficiais em quase a totalidade de 99% e rachaduras com 90%. Seguindo para as manifestações com maior deterioração, segue-se o deslocamento do concreto com 33%, seguidos por corrosão da armadura exposta 21% e por último com 21% o estado de colapso parcial nos quais partes da estrutura encontram-se ausentes, demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – As manifestações patológicas dos suportes de concreto armado



Fonte: Autor (2022)

A rachadura é um indicativo do estado de degradação das estruturas de concreto, porém o simples fato de indicar a presença não demonstra o estado inicial ou avançado de deterioração, ou seja, se é apenas localizada ou generalizada. Para estratificar os 90% dos suportes com rachaduras, foi classificado em três níveis de degradação, conforme descrito no quadro 2.

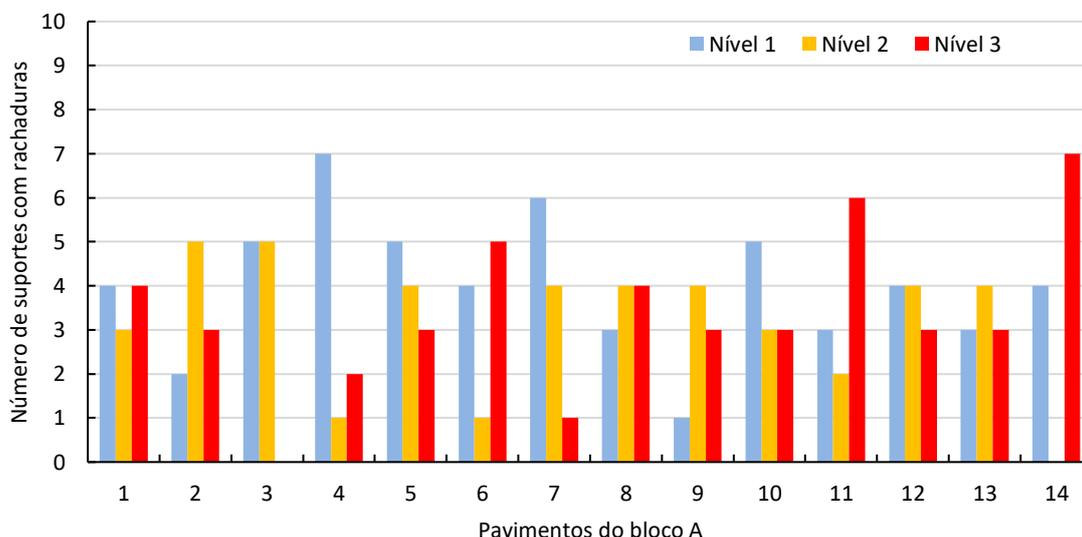
Quadro 1 – Classificação das rachaduras por nível de degradação

Nível de degradação	Crítérios
Nível 1	Rachaduras sem continuidade e de forma localizada
Nível 2	Quando as rachaduras estão em vários locais
Nível 3	Quando há aberturas maiores das rachaduras e aparece de forma generalizada

Fonte: Autor (2022)

Com essa classificação foi possível realizar uma vistoria nas imagens dos suportes para ar-condicionado da fachada e separar por pavimento, que dispõe de 12 suportes de concreto armado. Com exceção das classificadas como nível 1, as de nível 2 e nível 3 estão em situação de deterioração média a elevada. No bloco A constatou-se os suportes com deterioração mais avançado nos pavimentos elevados como o pavimento 11 e pavimento 14, quando se refere as rachaduras de nível 3, conforme Figura 7.

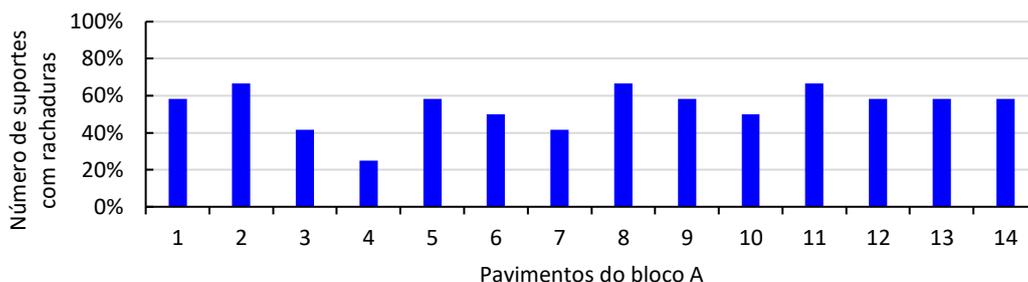
Figura 7 – Classificação das rachaduras por nível de deterioração no bloco A



Fonte: Autor (2022)

Quando os suportes na condição de nível 2 e nível 3 são somados, observa-se uma média de 54% dos suportes nesta situação, chegando a 67% em alguns pavimentos. Percebe-se que apesar de alguns suportes estarem em situação mais danificada nos pavimentos mais baixos e mais altos, a diferença quanto aos pavimentos com altura mediana não é discrepante, conforme visto na Figura 8.

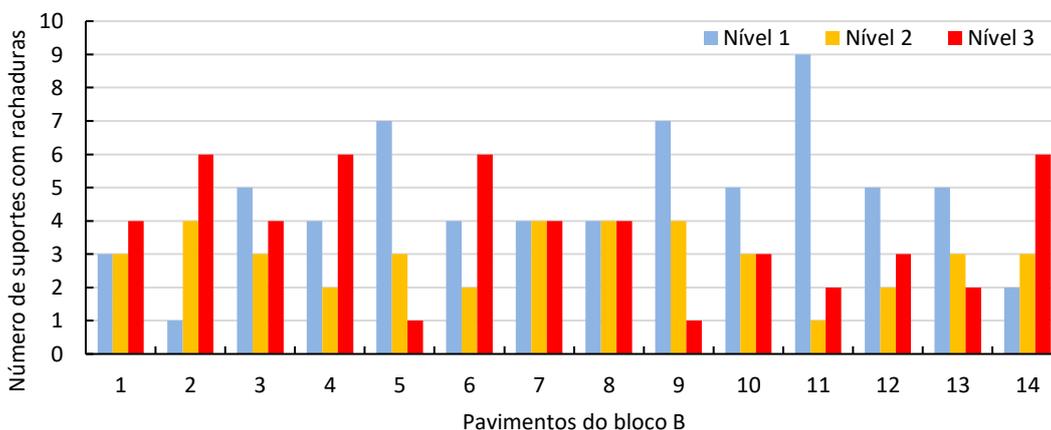
Figura 8 – Suportes deteriorados no nível 2 e 3 por pavimento



Fonte: Autor (2022)

Para o bloco B constatou-se os suportes com deterioração mais elevada de nível 3, nos pavimentos baixos como o pavimento 2, pavimento 4, pavimento 6 e um mais alto no pavimento 14, conforme Figura 9.

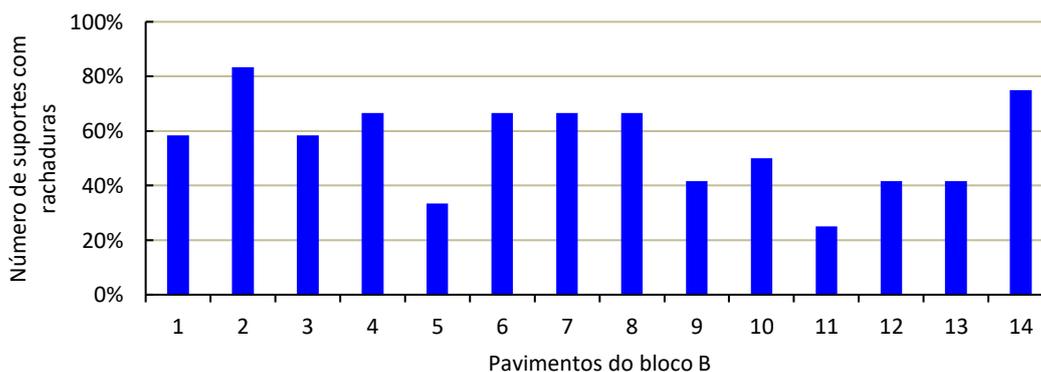
Figura 9 – Classificação das rachaduras por nível de deterioração no bloco B



Fonte: Autor (2022)

Quando os suportes na condição de nível 2 e nível 3 são somados, observa-se uma média de 55% dos suportes nesta situação, bastante similar com o bloco A, chegando ao pico de 83% no pavimento 2. No caso do bloco B percebe-se desproporção entre os pavimentos com alguns picos e quantidades inferiores entre andares próximos, conforme visto na Figura 10.

Figura 10 – Suportes deteriorados no nível 2 e 3 por pavimento

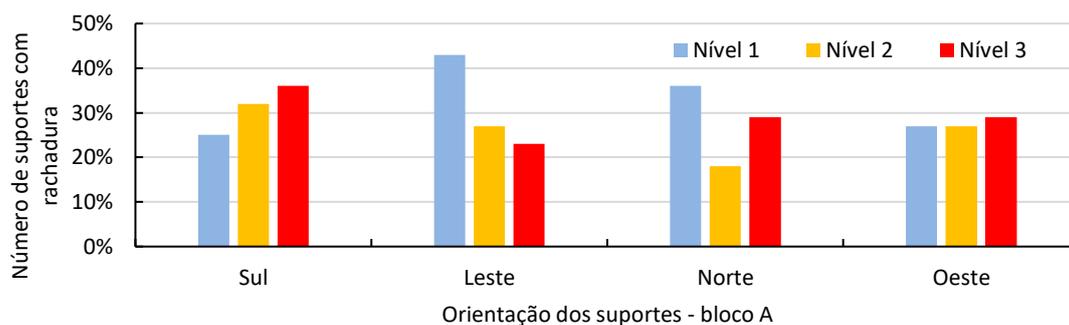


Fonte: Autor (2022)

Uma outra análise relacionou as degradações com a orientação dos pontos cardeais, no sentido de identificar correlações com a direção dos ventos, chuvas e íons cloretos. Os suportes com rachaduras foram separados de acordo com o nível de degradação e respectivas direções sul, leste, norte e oeste e chegou-se aos resultados no bloco A de 36% dos suportes com nível 3 de deterioração no lado Sul, seguidos por 29% no Norte e Oeste e por último com 23% no Leste, vide Figura 11.

Considerando que o vento predominante está na direção Sudeste é de se esperar que as fachadas Sul e Leste tenham maior predominância de suportes de concreto armado em estado avançado de deterioração. Na fachada Sul é possível verificar essa condição, porém não é visto na fachada Leste onde possui mais suportes na condição de rachaduras de nível 1.

Figura 11 – Níveis de deterioração das rachaduras nos suportes de acordo com a direção dos pontos cardeais do bloco A

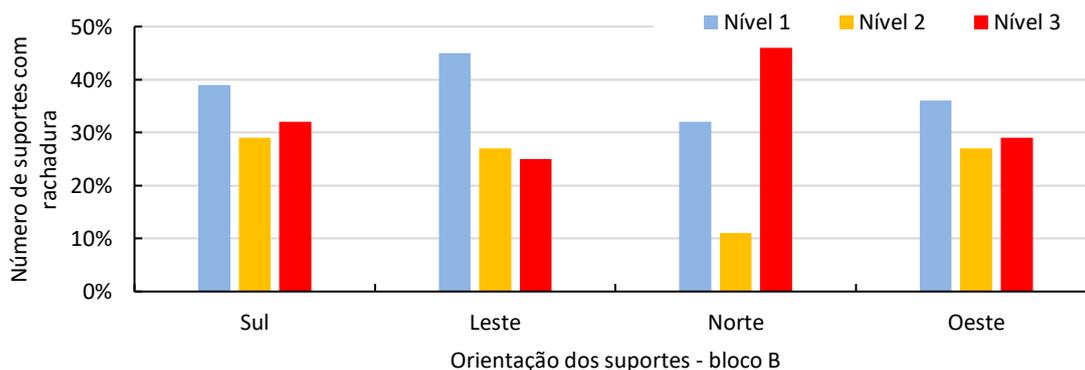


Fonte: Autor (2022)

Para o bloco B foram constatados uma maior predominância de suportes deteriorados no nível 3 na orientação Norte com 46%, seguido por 32% no Sul, 29% no Oeste a 25% no Leste, visualizados na Figura 12.

A situação do bloco B é similar ao bloco A e o vento predominante está na direção Sudeste, onde as fachadas Sul e Leste seriam as mais afetadas pelas condições ambientais adversas, favorecendo a predominância de suportes de concreto armado em estado avançado de deterioração. Constatou-se que na fachada Norte é onde estavam os suportes com maior índice de rachaduras generalizadas, ao passo que as orientações Sul, Leste e Oeste possuíam valores próximos.

Figura 12 - Níveis de deterioração das rachaduras nos suportes de acordo com a direção dos pontos cardeais do bloco B



Fonte: Autor (2022)

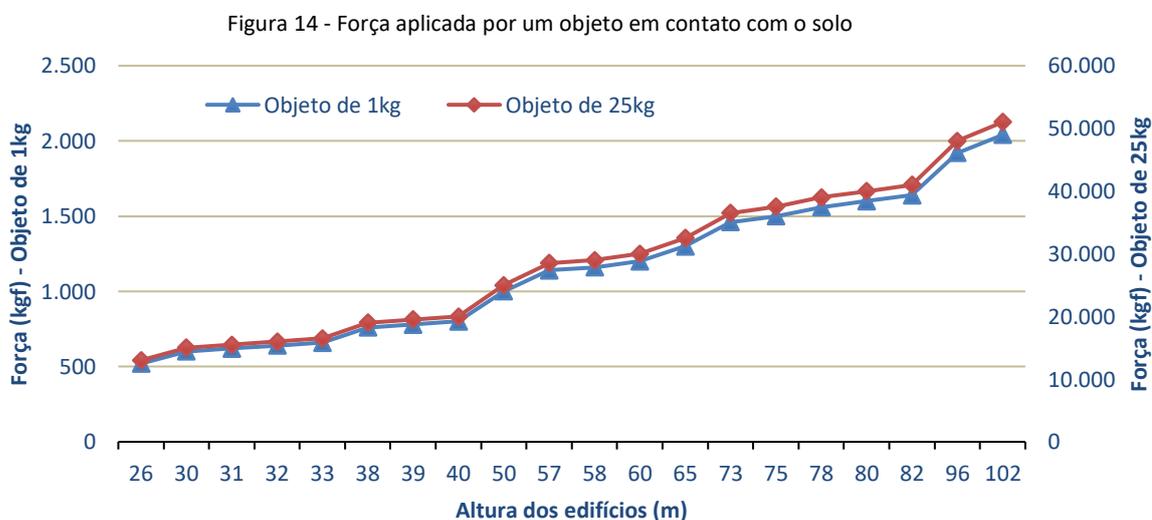
Realizaram-se vistorias nos suportes de concreto armado no bairro de Boa Viagem, região situada a poucos metros do arrebatamento das ondas do mar e que recebe influência direta do ataque por íons cloretos. É notável o desgaste dos suportes, conforme pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Suportes de concreto armado para ar-condicionado no bairro de Boa Viagem em estado avançado de deterioração. (a) corrosão avançada e presença de vegetação. (b) colapso quase total do suporte. (c) corrosão generalizada com deslocamento do concreto. (d) corrosão avançada na face inferior do suporte.



Fonte: Autor (2022)

Em um estudo de (SILVA; MONTEIRO, 2020) sobre suportes para aparelhos de ar-condicionado, calculou-se a força (kgf) que partes de um suporte de concreto exerce ao cair no solo para objetos de 1 kg e 25 kg, partindo de alturas de 26 m até 102 m, o que pode ser visto na Figura 14.



Fonte: (SILVA; MONTEIRO, 2020)

4 CONCLUSÃO

A partir da observação dos aspectos ambientais foi possível verificar condições propícias ao desgaste prematuro do concreto, relacionado a umidade relativa do ar e temperaturas elevadas, a planicidade da região e proximidade com o mar, assim como da ocorrência de chuva em todos os meses do ano, associada a vento do tipo rajada.

Um conjunto de dois edifícios residenciais, distantes 6,64 km do mar e que possui suportes de concreto armado do tipo janela, foi utilizado como estudo de caso. A captação de imagens aéreas em alta definição desses suportes, foi essencial na coleta das manifestações patológicas em todas as faces externas.

A predominância de rachaduras, resultante da corrosão da armadura foram observadas no estudo de caso da edificação com suportes de concreto armado do tipo janela, tendo como resultado o destacamento do concreto e a ausência de partes dessas estruturas.

Por fim, as condições da cidade com temperaturas e umidade relativa do ar em patamares elevados durante todo o ano, o concreto do suporte desprovido de controle de qualidade e sem atendimento as características de cobertura mínimas para a região, favorece o acesso de agentes agressivos no concreto de forma acelerada tanto pelo CO₂ quanto por íons cloretos. Todos esses fatores propicia a degradação do suporte de concreto armado independentemente da direção ou altura em que esteja instalado.

O conhecimento do problema e a ação preventiva, são imprescindíveis para mitigar os perigos envolta da queda de partes do suporte, que a depender do tamanho e altura podem atingir o solo com força da ordem de toneladas, de forma a incapacitar ou suprimir definitivamente pessoas ou objetos. Reforça-se a necessidade de utilização de materiais com mais resistência aos fatores ambientais como o alumínio, plástico de engenharia e aço inoxidável, lembrando que nenhum material está isento de deterioração no decorrer dos anos.

O consumo de cimento tornou-se um dos grandes dilemas quanto as emissões de gases de efeito estufa, estruturas que não possuam um tempo de vida útil adequado, propicia o maior consumo deste material, além das consequências do descarte dos resíduos de construção.

Referências

ALMEIDA, F. C. R.; SALES, A. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018.

ANALYSIS SOL-AR. 2022. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CASTAÑEDA, A. et al. Penetration of marine aerosol in a tropical coastal city: Havana. **Atmosfera**, v. 31, n. 1, p. 87–104, 2018.

COLE, I. S. et al. Holistic model for atmospheric corrosion: Part 2 - Experimental measurement of deposition of marine salts in a number of long range studies. <http://dx.doi.org/10.1179/147842203225008886>, v. 38, n. 4, p. 259–266, dez. 2013.

GOOGLE LLC. **Google Earth Pro**. 2022. Disponível em: <kh.google.com>. Acesso em: 5 set. 2022.

INMET. **Normais climatológicos do Brasil (1991-2020)**. 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

IOWA STATE UNIVERSITY. **IEM - Custom Wind Roses**. 2022. Disponível em: <[https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/dyn_windrose.phtml?station=SBRF&network=BR__ASOS&bin0=2&bin1=5&bin2=7&bin3=10&bin4=15&bin5=20&conv=from&units=mps&nsector=36&fmt=svg&dpi=300&year1=2010&month2=12&day2=31](https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/dyn_windrose.phtml?station=SBRF&network=BR__ASOS&bin0=2&bin1=5&bin2=7&bin3=10&bin4=15&bin5=20&conv=from&units=mps&nsector=36&fmt=svg&dpi=300&year1=2010&mont h1=1&day1=1&hour1=0&minute1=0&year2=2022&month2=12&day2=31)>. Acesso em: 24 fev. 2023.

JIN, H. et al. Influence of the rainfall intensity on the chloride ion distribution in concrete with different levels of initial water saturation. **Construction and Building Materials**, v. 281, p. 122561, 26 abr. 2021.

JIN, L. et al. Developing a model for chloride transport through concrete considering the key factors. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. e01168, 1 dez. 2022.

LEE, J. S.; MOON, H. Y. Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea. **Building and Environment**, v. 41, n. 10, p. 1447–1453, 1 out. 2006.

MEIRA, G. R. et al. Behaviour of Surface Chloride Concentration in Concretes Subjected to Field Exposure in Marine Atmosphere Zone. **XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020)**, p. 921–928, 25 set. 2020.

PAKKALA, T. A. et al. Predicted corrosion rate on outdoor exposed concrete structures. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 5, p. 679–698, 5 set. 2019.

PONGSAKSAWAD, W. et al. Chloride distribution model and corrosion map of structural steels for tropical climate in Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 787, p. 147465, 15 set. 2021.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SILVA, W. W.; MONTEIRO, E. C. B. As manifestações patológicas e os riscos dos protetores de aparelhos de ar condicionado em edificações. **Revista ALCONPAT**, v. 10, n. 3, p. 377–393, 2020.

XU, Z. et al. Effects of temperature, humidity and CO₂ concentration on carbonation of cement-based materials: A review. **Construction and Building Materials**, v. 346, p. 128399, 5 set. 2022.

ZHANG, Y.; LUZIO, G. DI; ALNAGGAR, M. Coupled multi-physics simulation of chloride diffusion in saturated and unsaturated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 292, p. 123394, 19 jul. 2021.