Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

PROTEÇÃO DAS ARMADURAS DO CONCRETO ARMADO PELO PROCESSO DE INJEÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA POR ENERGIA FOTOVOLTAICA

A. B., BARROSO FILHO
Engenheiro Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
anacleto-filho@hotmail.com

K. M. V., MOREIRA
Me. Engenharia Civil/ Eng. de Seg. do Trabalho
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
kelvyamoreira@gmail.com

RESUMO

Os sistemas fotovoltaicos têm experimentado um enorme crescimento ao redor do mundo nos últimos anos. A tecnologia, que antes era utilizada exclusivamente em sistemas isolados, expandiu-se e atualmente mais de 95% dos sistemas fotovoltaicos estão conectados à rede de distribuição elétrica. Este grande crescimento foi fruto de programas de incentivos à fonte, promovidos por países como Alemanha, Austrália, China, Espanha, EUA, entre outros. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o efeito fotovoltaico de energia como medida alternativa para a prevenção de corrosão em estruturas de concreto armado por meio da proteção catódica por corrente impressa. A princípio foram destacados os processos de corrosão em estruturas de concreto, mencionando os riscos e desvantagens de uma estrutura de concreto armado desprotegida ou em condições de risco. Após, detalharam-se todos os aspectos positivos e negativos da implantação do sistema alternativo de energia bem como as devidas instruções para o dimensionamento do sistema, tomando por base as leis e normas técnicas a serem seguidas para a devida execução. Conclui-se que o trabalho, além de servir como uma análise do processo de dimensionamento e de execução do sistema, enfatiza os benefícios da utilização do meio natural para a proteção de edifícios na situação atual da construção civil.
Palavras-chave: sistema fotovoltaico; corrosão; concreto armado; sustentabilidade.

ABSTRACT

The photovoltaic systems have experienced a huge growth around the world in recent years. The technology, which was previously used only in isolated systems, has expanded and currently over 95% of the photovoltaic systems are connected to the electrical distribution network. This large increase was the result of incentive programs to the source, promoted by countries like Germany, Australia, China, Spain, USA, among others. The present work aims to show the photovoltaic effect as an alternative way to prevent the corrosion of reinforced concrete structures by cathodic protection with current impression. Firstly, was highlighted the corrosion process in concrete structures, mentioning risks and disavantages of a disprotected reinforced concrete structure or in danger conditions. After, was detailed all the positives and negative aspects for the alternative energy system implantationa well as the necessary insctructions for the system dimensioning taking as consulting laws and tecnical standards to be followed for the proper execution. Concludes that the job, besides serving as an analysis of the dimensioning process and system execution, emphasizes the benefits of using environment for buildings' protection to the current status of construction
Keywords: photovoltaic system; corrosion; reinforced concrete; sustainability.

1. INTRODUÇÃO

As fontes alternativas de energia apresentam-se cada vez mais comuns no meio da construção civil. A luta diária para incentivar o racionamento de fontes convencionais tem um grande ponto positivo quando se põe em análise a conscientização mundial. Uma das fontes energéticas alternativas que está ganhando espaço na área da engenharia civil é a energia solar, também chamada de fotovoltaica. Destacam-se benefícios quando analisado o fato de não ser necessária uma grande infraestrutura para a implantação, tornando-se uma ótima alternativa para as regiões mais

isoladas, ao contrário das fontes de energias de origem hidráulica, que além de possuir um enorme custo para a implantação, causam um grande impacto ambiental. [1]
Quando o assunto passa a ser estruturas de concreto armado e metálicas, uma das maiores dificuldades enfrentadas é, sem dúvidas, a questão da abrasão e da corrosão das armaduras e perfis metálicos, que comprometem desde a resistência mecânica, a elasticidade, a ductilidade até o conforto dos usuários e a estética, sendo uma das grandes causas de preocupação entre os profissionais da área. [2]

A maioria dos componentes metálicos, quando expostos a ambientes corrosivos, tendem a se deteriorar com o tempo. Sabe-se que é impraticável a eliminação da incidência da corrosão, no entanto existem diversas formas de controle, que se fazem necessárias a um bom projeto de engenharia. [3]
Quando a estrutura encontra-se protegida por uma camada de concreto de baixa permeabilidade, espera-se que o problema de corrosão esteja sob controle. Porém, sabe-se que, na prática, isso não ocorre, pois as estruturas de concreto tendem a fissurar naturalmente, dando abertura para entrada de agentes patogênicos que afetarão o metal [3].
A exposição de estruturas a ambientes corrosivos, a acidez de campos industriais e vários outros fatores externos acarretam na degradação de qualquer tipo de estrutura. [2]

2. A ENERGIA FOTOVOLTAICA

Os sistemas fotovoltaicos (FV) são sistemas de energia que produzem eletricidade diretamente da luz solar. Estes sistemas não consomem combustíveis fósseis, produzindo uma energia limpa e confiável. Podem ser usados em uma ampla variedade de aplicações [1].
Muitas redes de serviços públicos no exterior têm instalado recentemente grandes sistemas ou matrizes de painéis fotovoltáicos para abastecer os consumidores com eletricidade. Os termos “módulos” e “painéis” são usados muitas vezes indistintamente, sendo que, falando com mais exatidão, um painel é um grupo de módulos conectados. Um arranjo é um grupo de painéis conectados para produzir os valores desejados de corrente e voltagem e estão fixos a uma estrutura de montagem (Figura 1) [4].

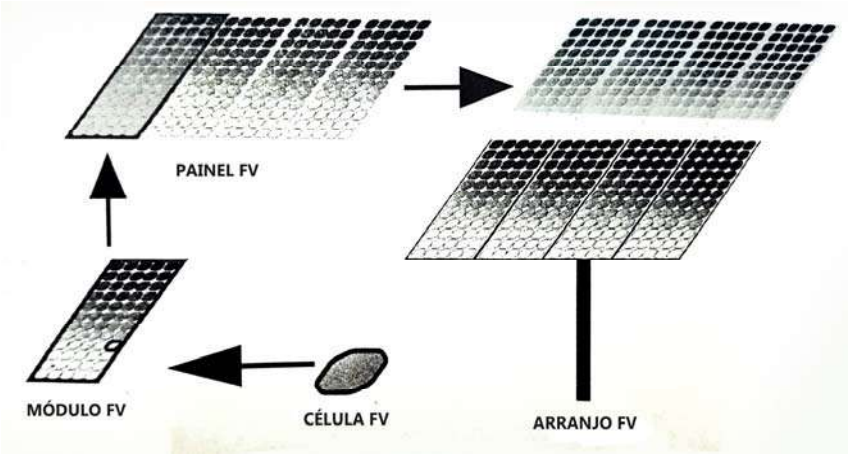


Figura 1: Terminologia fotovoltaica. [4]

2.1. Vantagens e Desvantagens

Os sistemas FV têm provado sua confiança impedindo as falhas de energia nas situações onde o consumo contínuo é necessário. Além disso, a durabilidade dos módulos FV garantem a produção de energia por, pelo menos, 25 anos, ainda podendo continuar gerando energia além desse prazo. Os custos de manutenção e transposição são mínimos, pois os sistemas FV só necessitam de inspeções periódicas e reparos ocasionais, ao contrário das fontes de energia que usam combustíveis; aliás, como os sistemas FV não requerem fontes de combustíveis, não há custos com a aquisição de combustíveis [4].
A independência das redes privadas de distribuição de energia é uma das vantagens mais citadas pelos usuários adeptos, bem como a redução da poluição sonora e o bom desempenho em grandes altitudes [1]. Isto contrasta com o fato de que

um gerador a diesel, por exemplo, em altitudes elevadas deve ser descartado devido a perdas de eficiência e potência de saída [4].
A produção energética por módulos FV é uma das alternativas mais benignas ao meio ambiente comparada às fontes convencionais de produção de eletricidade. No entanto, existem questões ambientais, de saúde e segurança associados com a fabricação, uso e descarte de equipamentos fotovoltaicos. A fabricação dos mesmos, além de expor os fabricantes a gases tóxicos e potencialmente explosivos, também gera um perigo ambiental na hora do descarte. Apesar de a maioria dos componentes poderem ser facilmente reciclados ou reusados, como os vidros, os alumínios e os plásticos, a reciclagem dos componentes semicondutores está se concentrando apenas na indústria [4].
O custo inicial de uma instalação fotovoltaica é a principal causa do desuso da tecnologia. Além disso, a variabilidade da radiação solar disponível é um dos fatores relevantes, pois as variações nas condições climáticas do local exigem modificações no projeto do sistema, o que aumentará, ainda mais, seu custo [4].

2.2. Desempenho dos Módulos

A corrente gerada por um módulo é proporcional à intensidade da radiação a qual está exposto. No entanto, a tensão não se altera significativamente por variações na intensidade de luz. Um arranjo pode converter cerca de 10% da radiação solar disponível em energia elétrica utilizável. As células FV não necessitam de partes mecânicas para gerar eletricidade. Quando a luz do sol incide sobre uma célula, animam-se os elétrons e inicia-se a geração de corrente e voltagem que se transmite desde a célula até o circuito inteiro [4].
Vale ressaltar, que o arranjo não deve receber sombra durante o horário de pico solar, que seria entre 9:00 às 15:00, pois, caso contrário, necessitará de mais módulos para suprir a deficiência e gerar a potência adequada. Cabe ao projetista a escolha do local adequado para a instalação, pois a corrente gerada por um módulo é proporcional à intensidade da radiação a qual está exposto. No entanto, a tensão não se altera significativamente por variações na intensidade de luz. Porém, a intensidade de radiação solar, em excesso, gera também o aumento da temperatura. O calor, nesse caso, deve ser pensado como uma forma de resistência elétrica ao fluxo dos elétrons. A corrente de saída também decresce significativamente, caso o ponto de potência máxima do módulo caia para abaixo da tensão de operação [4].

3. A CORROSÃO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A corrosão é uma das manifestações patológicas que mais causam preocupação entre os profissionais da construção civil. Uma vez que a edificação se encontra em local que a tornem vulnerável às intempéries do ambiente, tal manifestação pode ser considerada uma grande ameaça à construção. A corrosão pode ser conceituada como a deterioração de um metal quando reage com os agentes deletérios distribuídos no meio ambiente [2]. A corrosão das armaduras pode ser de origem química ou eletroquímica, causando a contínua modificação do metal, até que todo o aço seja oxidado.
Uma variação de umidade, concentração salina, aeração ou tensão diferenciada na armadura pode ocasionar uma diferença de potencial entre pontos distintos da armadura e criar uma corrente elétrica entre os dois pontos. As partes que possuem um potencial menor se convertem em ânodo e as que possuem um potencial maior se convertem em cátodo (figura 2) [5].

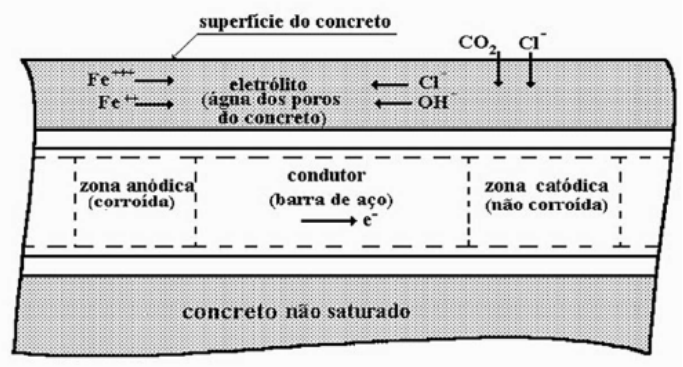


Figura 2: Célula de corrosão no meio concreto armado. [5]

No ânodo, o metal se dissolve e perde elétrons, dando origem a um íon. Ao se falar de processo parcial de oxidação e de redução pode-se considerar que todos os fenômenos de corrosão podem ser classificados em um pequeno número de

reações gerais. A reação anódica, em todo processo de corrosão, é a oxidação de um metal que resulta em seu íon, como exemplo, pode-se mencionar a corrosão do átomo de Ferro (Fe): O ferro dissolve-se, perde dois elétrons e torna-se o íon ferroso Fe++. O átomo de ferro separa-se e entra em solução como íon ferroso. Os elétrons ficam no metal e dirigem-se para a área catódica, onde participarão de uma reação catódica. [5]

3.1. Principais Causas e Danos

Todos os metais estão sujeitos à corrosão. Por conta disso, não há nenhum material que possa ser empregado em todas as ocasiões. A oxidação das armaduras em uma edificação de concreto armado se dá, em grande parte dos casos mas não em todos, por conta de alguma fissura ou deterioramento no revestimento de concreto [2]. Ambos os casos estão estreitamente ligados, uma vez que também a má qualidade do concreto de revestimento pode propiciar a degradação das armaduras. Por outro lado, o ataque de corrosão pode produzir fissuras ou delaminação do concreto se a ferrugem formada exerce ação expansiva. Por ser uma ameaça silenciosa, a oxidação de armaduras e de outros componentes metálicos inseridos em ambientes suscetíveis à degradação torna necessária uma vistoria e uma manutenção periódica e rigorosa pois, dependendo da grandiosidade da estrutura, poderá causar prejuízos grandes e irreversíveis, não sendo mais viável apenas um reparo da mesma, pois quando a manifestação patológica não é detectada logo no início, os danos futuros são bem maiores [3].

Os gastos com a manutenção periódica são mais baratos do que com a recuperação estrutural; além de outros diversos fatores, como pôr em risco vidas que utilizam tal edificação, os impactos sociais e ambientais causados pela recuperação da estrutura e a responsabilidade técnica do engenheiro civil sobre tais edificações [2].

A manifestação da corrosão no concreto apresenta-se na forma de expansão, fissuração e até mesmo perda parcial do cobrimento. Além de esteticamente prejudicial, a deterioração do cobrimento das armaduras pode ocasionar, por consequência, a perda de aderência da armadura com o restante do concreto visivelmente intacto, como também diminuir a área de seção transversal da barra, podendo tornar o colapso da estrutura inevitável [3].

4. A PROTEÇÃO DAS ARMADURAS COM ENERGIA FOTOVOLTAICA

Dois métodos elétricos de proteção contra a corrosão podem ser utilizados: proteção anódica e proteção catódica.

A proteção anódica aplica-se nos casos em que o metal a ser protegido é passivante, dando-lhe resistência à corrosão. Esse tipo de proteção somente ocorre quando o metal ou liga é formador de película protetora, tal como cromo, titânio e níquel, por exemplo [6].

A aplicação da proteção catódica consiste em fazer com que a peça metálica como um todo comporte-se como o cátodo de uma célula eletroquímica, protegendo-a da corrosão. A contracorrente, criada na própria célula ou nela introduzida a partir de uma fonte externa, é suficiente para anular o efeito de correntes de corrosão provenientes das regiões anódicas da peça metálica [2]. Há dois processos usuais de proteção catódica: o uso de ânodos de sacrifício (ou ânodos galvânicos) e o uso de uma fonte externa de corrente impressa (retificador) (figura 8).

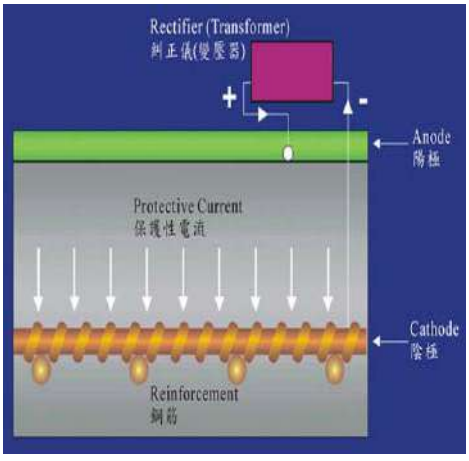


Figura 3: Esquema de proteção catódica por corrente impressa. [5]

Proteger catodicamente uma estrutura significa eliminar, por processo artificial, as áreas anódicas da superfície do metal. Como consequência, o fluxo de corrente elétrica ânodo/cátodo deixa de existir e a corrosão é eliminada [6].

Para dissipar a corrente injetada utilizam-se ânodos inertes que variam de acordo com o meio eletrolítico. A maior vantagem da utilização de corrente impressa seria a variável amplitude de potência de saída que, previamente calculada, deve suprir as necessidades eletrolíticas do meio em qualquer situação. [4]

4.1. Dimensionamento do sistema

Ao se dimensionar um sistema de proteção catódica por corrente impressa, o projetista deve estabelecer para a estrutura a adequada corrente de proteção a fim de se evitar a superproteção, pois quando há excesso de corrente sendo dissipada na estrutura pode-se ter prejuízos com um gasto desnecessário de energia e o consumo de ânodos inertes. Assim, para o cálculo da corrente adequada a ser impressa na proteção, propõe-se a seguinte equação [7]:

$$I = A*Dc*F*(1-E)$$
$$\text{tal que, } Dc = 73{,}73 - 13{,}35*\log \rho \qquad (1)$$

Onde:
I = corrente mínima para proteção (mA)
A = área a ser protegida (m^2)
Dc = densidade de corrente elétrica ($mA.m^{-2}$)
ρ = resistividade do eletrólito (Ω .cm)
F = fator de correção da velocidade do eletrólito
E = eficiência do revestimento da estrutura (tabela2).
Os valores do fator de correção da velocidade do eletrólito (F) e da eficiência do revestimento (E) podem ser extraídos das tabelas 1 e 2, respectivamente:

Tabela 1 - Fator F de correção da velocidade do eletrólito. [7]

Velocidade (ms^{-1})	1	2	3	4	5	6	≥7
F	1,00	1,11	1,17	1,22	1,24	1,25	1,27

A velocidade do eletrólito na estrutura de concreto está diretamente relacionada à sua umidade, uma vez que quanto mais úmido estiver o concreto, maior será sua condutividade e menor será sua resistividade elétrica [8].
O valor de E precisa ser estimado em função da experiência do projetista, ou seja, tais valores devem ser adquiridos na prática, sendo importante para o cálculo correto da corrente, uma vez que a eficiência da proteção do revestimento à estrutura é inversamente proporcional a necessidade da proteção catódica [6].

Tabela 2 – Eficiência do revestimento E. [6]

TIPO	EFICIÊNCIA (em %)			NORMA	OBSERVAÇÃO
Betuminosos	Asfalto	Ei = 90	Ef = 75	AWWA C-203, PET.	Valores médios apenas para orientação. O projetista do sistema de proteção catódica deve certificar-se no campo se esses valores foram efetivamente conseguidos na prática.
	Piche	Ei = 95	Ef = 90	N-650, NBR 12780	
Fitas Plásticas (camadas)	Simples	Ei = 50	Ef = 40		
	Dupla	Ei= 60	Ef = 50	PET. N-2238	
	Tripla	Ei = 70	Ef = 60		
Tintas líquidas	400 µm	Ei = 90	Ef = 60	AWWA C-210, API 5L2	
	>600 µm	Ei = 94	Ef = 70		
Espuma de poliuretano		Ei = 98	Ef = 95	PET. N-556	
Epóxi em pó (FBE)		Ei = 98	Ef = 95	AWWA C-213 CAN CSA Z245.20	
Polietileno/ Polipropileno	Simples	Ei = 99	Ef = 97	DIN 30670	
	Tripla Camada	Ei = 99,2	Ef = 97,2		

Sabe-se que embora os ânodos utilizados para os sistemas de proteção catódica por corrente impressa recebam a denominação de inertes, ainda assim sofrem desgaste com o passar do tempo em função da densidade de correntes aplicadas em suas superfícies [6].

Com base nisso, deve-se manter as densidades de corrente em determinado limite para que a vida útil dos ânodos possa ser calculada. O valor do desgaste "D" sofrido pelo material do ânodo e da densidade da corrente aplicada para a proteção são estimados de acordo com a tabela 3 [6].

Tabela 3 – Características dos ânodos inertes. [6]

Material do Anodo	Densidade de Corrente Recomendada (A/m²)	Desgaste "D" (Kg/A.Ano)
Grafite	Até 5	0,40
Fe-Si	Até 15	0,35
Fe-Si-Cr	Até 15	0,35*
Pb-Sb-Ag	50 a 100	0,10
Ti-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Nb-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Ta-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Titânio LIDA STRIP	Ampla faixa	Desprezível
Magnetita	Até 115	0,04
Ferrita	Até 115	0,002
Anodo polimérico anodeflex	Ampla faixa	Desprezível

*consumo em água do mar

A vida útil do material do ânodo, com base nessas circunstâncias pode ser calculada através da expressão:

$$V = 0,85*M/D*I \quad (2)$$

Onde:
V = vida dos ânodos, em anos.
M = massa total dos ânodos, em kg.
D = desgaste esperado do ânodo, em kg/A (tabela 3)
I = corrente injetada pelo retificador, em A.
0,85 = fator de utilização dos ânodos.

De modo sistemático, os passos para o dimensionamento do sistema de proteção catódica por corrente impressa são:

I. Escolher o tipo de ânodo.
II. Calcular a resistência do ânodo.
III. Calcular a corrente de injeção.
IV. Calcular a vida útil dos ânodos.

4.2. Execução do sistema no concreto armado

Na maioria dos casos, a estética da estrutura é fundamental. As tecnologias dos sistemas de proteção catódica por injeção de corrente estão buscando melhoramentos nos projetos de modo que o sistema seja o mais invisível possível.[6]
Para obter essa discrição, a escolha correta do tipo de ânodo, o cuidadoso encaminhamento das instalações e um sistema de alimentação elétrica bem projetado são necessários [6].
O procedimento adotado para a injeção de corrente da proteção catódica (Figura 2), proposto por esse trabalho, é:

I. Calcula-se a corrente necessária para suprir a proteção de acordo com a dimensão da estrutura;
II. Executa-se o dimensionamento e instalação dos painéis FV, com o intuito da montagem dos arranjos ser eficiente para a utilização designada;
III. Verifica-se qual tipo de ânodo é o mais adequado para as condições impostas à estrutura;
IV. Instala-se um sistema de ânodos especiais junto à superfície de concreto, cobrindo-se o conjunto com outra camada de concreto;

V. O sistema de ânodos é interligado ao terminal positivo de um retificador, sendo as ferragens ligadas ao seu terminal negativo;
VI. O retificador, ligado ao sistema fotovoltaico, cria uma diferença de potencial entre o concreto e as ferragens, que passam a funcionar como cátodos, ficando protegidas;
VII. A corrente gerada pelo sistema fotovoltáico é injetada pelos ânodos, passa pelo concreto, penetra nas ferragens e retorna ao negativo do retificador, fechando o circuito.

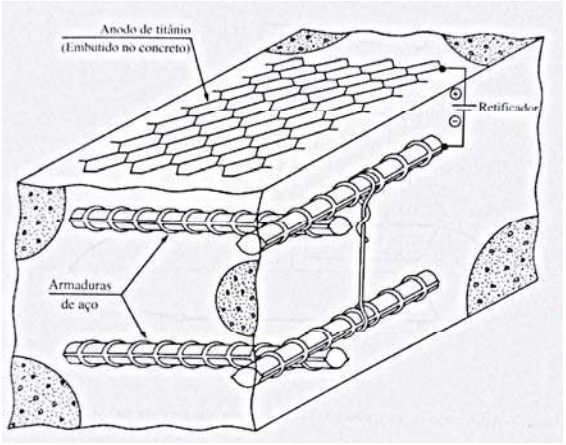


Figura 4: Esquema de proteção catódica para armaduras de aço embutidas no concreto armado. [6]

Uma vez que o sistema de corrente impressa está instalado, é necessário fornecer a operação e manutenção de rotina. Para os sistemas de corrente impressa, isso envolve a inspeção visual do sistema e verificações periódicas.
Embora existam outros critérios para permitir tal verificação, o procedimento normalmente adotado consiste em medir os potenciais em relação ao eletrólito, em vários pontos da estrutura, após o sistema de proteção catódica ser colocado em funcionamento. Para monitorar o sistema, deve-se realizar medições dos potenciais estrutura/eletrólito com o auxílio de um voltímetro apropriado, com alta resistência interna (igual ou maior que 100.0ohm/volt), tendo o seu terminal negativo ligado na estrutura a ser testada e o seu terminal positivo ligado a um eletrodo ou meia-célula de referência, que é colocado em contato com o eletrólito. [6]

4.3. Exemplo de Implementação do Sistema

Como comprovação da eficácia do sistema proposto neste trabalho, toma-se como exemplo o reparo feito por uma empresa especializada no serviço, em 2000, no edifício Watermark Condominium (figura 3), localizado em New Smyrna Beach, na Flórida/EUA. [9]
A estrutura do edifício tinha chegado a uma idade em que as armaduras de aço localizadas nas varandas dos apartamentos haviam se deteriorado por falta de manutenção rotineira, fazendo-se necessário grande intervenção de restauro no concreto, incluindo a substituição total de mais de uma varanda.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 5: Watermark Condominium, New Smyrna Beach, Flórida, EUA. [9]

A exposição do edifício à beira-mar acarretou no ataque de cloretos aerotransportados para o concreto e migração para a armadura, resultando na rápida corrosão do aço. A fim de identificar a magnitude do problema, os engenheiros da empresa americana Corrpro Companies realizaram uma variedade de testes na estrutura, incluindo testes de íons cloretos com a aspersão do nitrato de prata, continuidade elétrica dos vergalhões e medições de resistividade dos materiais da estrutura. O sistema de proteção catódica por corrente impressa foi sistematicamente executado como descrito nos tópicos anteriores a partir da utilização de ânodos de titânio. [10]
Após a finalização do serviço realizaram-se os devidos testes e monitoramento ficando comprovada a eficiência do sistema para a anulação da degradação das armaduras. [10]

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados dados pelos executores do sistema do exemplo mencionado, a edificação está garantida com uma proteção de até mais de vinte anos, que normalmente requer uma restauração de sete em sete anos. [10]
Os benefícios que o empreendimento tem é visto em grandes economias de custos na restauração futura e a eliminação de ruídos, poeira e inconveniência associada com reparação de concreto cíclicas. [10]
Com o devido projeto de execução do sistema, há possibilidades de ter um circuito autossuficiente, capaz de executar o sistema durante o pico de incidência solar do dia e, também, armazenar energia extra, produzida para utilizar no período de ausência solar. Garantindo a produtividade aliada à economia, os sistemas fotovoltaicos utilizados na proteção catódica possuem um grande potencial para serem a mais nova implantação na construção civil visto que, com a crise energética e a escassez de recursos, os profissionais do campo da construção civil estão cada vez mais impostos a buscar meios alternativos sustentáveis para prosseguir a produção.
Visto que o Brasil possui uma matriz predominantemente renovável, especialmente a matriz elétrica, e no horizonte decenal a expectativa é da continuidade deste domínio, a economia ainda opta pelo não incentivo para a tecnologia analisada. Desta forma, e reconhecendo-se que a magnitude e extensão da difusão tecnológica da energia fotovoltaica é também função das políticas de incentivos que a fonte estará sujeita no país, pode-se afirmar que a projeção é conservadora no sentido de se realizar em cima da situação atual da fonte no país. [12]
Contudo, estima-se que a energia fotovoltaica, venha desempenhar papel significativo no atendimento da demanda elétrica mundial nas próximas décadas. A maioria das projeções internacionais indicam essa fonte

ocupando uma parcela significativa das matrizes energéticas mundiais, sendo importante para o Brasil definir qual estratégia adotar para desenvolver este mercado no país, se beneficiando, assim, dos seus desdobramentos econômicos, tecnológicos, sociais e ambientais. [11]

6. CONCLUSÃO

Com uma análise da proteção catódica por corrente impressa, o presente trabalho propôs a integração do sistema fotovoltaico na proteção catódica como fonte de alimentação elétrica do sistema de proteção.
Além da designação proposta no presente trabalho, os sistemas fotovoltaicos podem também atuar como fonte energética para a edificação, trabalhando de forma útil tanto para o suprimento energético como fonte de energia para a proteção catódica da estrutura.
Desta forma foram expostas alternativas viáveis e eficazes para o combate às manifestações patológicas de natureza físico-químicas de maneira ecologicamente correta, autossustentável e de grande potencial econômico.

7. REFERÊNCIAS

[1] Rüther, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.
[2] Ferreira, L. A. Química Aplicada: corrosão. Curitiba: PETROBRAS: UnicenP, 2002.
[3] Metha, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.
[4] Solar Energy International. Fotovoltaica / Manual de diseño e instalación: Educación de energía renovable para un futuro sostenible. Carbondale, CO: 2007.
[5] Souza, V. C.; Ripper, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.
[6] Gentil, V. Corrosão. 5.ed. Rio de Janeiro: TCL, 2007.
[7] Robin, A. L. M. Apostila de Degradação e Proteção de Materiais. Escola de Engenharia de Lorena/Universidade de São Paulo. s.d. Notas de Aula.
[8] Zaccardi, Y. A. V.; Garcia, J. F. H.A. Materials and Corrosion, 60, 2009.
[9] Beach Life Realty. Watermark condominium, New Smyrna Beach, Flórida, EUA. Disponível em: <http://beachliferealty.com/realestate/listings-Watermark-in-New+Smyrna+Beach>. Acesso em: 10 mar 2015.
[10] Corrpro Companies Inc. Monitoramento da corrente impressa em uma estrutura de concreto armado. Disponível em: <http://corrpro.com/Resources/Case-Studies.aspx>. Acesso em: 10 mar 2015.
[11] Carbon Trust. Descentralised energy: powering a sustainable future. Disponivel em: <http://www.carbontrust.com/news/2013/01/decentralised-energy-powering-a-sustainable-future/?category=viewpoint>. Acesso em: 25 fev 2016.
[12] EPE. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil: Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro: DEA, 2014

Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

QUANTIFICAÇÃO DE MANCHAMENTOS EM FACHADAS - ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF

V. M. SANTOS FILHO
Eng. Civil/Aluno de Doutorado
Universidade de Brasília (UnB)
Distrito Federal; Brasil
vambertomfilho@gmail.com

M. L. M. NASCIMENTO
Eng. Civil/Aluno de Mestrado
Universidade de Brasília (UnB)
Distrito Federal; Brasil
leoni.matheus@gmail.com

L. R. CALDAS
Eng. Civil, Ambiental e Sanitarista/Aluno de Mestrado
Universidade de Brasília (UnB)
Distrito Federal; Brasil
lrc.ambiental@gmail.com

RESUMO

Nos edifícios revestidos com pintura localizados em Brasília-DF tem sido observada grande quantidade de manchamentos nas fachadas. Esta manifestação patológica tem como principais causas a umidade proveniente da chuva dirigida, incidência da radiação solar e do vento, visto que, condições favoráveis de temperatura e umidade podem proporcionar a deposição de partículas nas fachadas. Os manchamentos prejudicam o edifício esteticamente, porém sua quantificação pode auxiliar projetistas sobre ações a serem tomadas nas orientações mais propícias, tais como utilização de materiais mais adequados ou disposição de detalhes arquitetônicos, por exemplo. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar a quantificação da incidência de manchamentos em fachadas revestidas em argamassa com pintura e textura de acordo com a orientação solar. Neste contexto, para doze edifícios de Brasília-DF, foi utilizado um método que baseou-se na inserção de imagens fotográficas e quantificação dos manchamentos por meio de sobreposição das mesmas no *software AutoDesk AutoCad®,* em que foram consideradas as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Constatou-se que as orientações mais afetadas foram Leste e Sul, que podem ter sido influenciadas pela menor incidência de radiação solar nestas regiões, e consequente favorecimento de manchamentos por umidade. Além do mais, foram apontadas soluções preventivas e corretivas para os manchamentos.
Palavras-chave: Fachadas, Manifestações patológicas, Manchamentos.

ABSTRACT

In paint coatings of buildings located in Brasília-DF have been observed great amount of staining on the facades. This pathological manifestation has the main causes: moisture from the wind-driven rain, incidence of solar radiation and wind, whereas, favorable conditions of temperature and humidity can provide the deposition of particles on the facades. The staining harms the building aesthetically, but its quantification can help designers on actions to be taken in the most favorable orientations, such as use of more appropriate materials or provision of architectural details, for example. Thus, the objective of this study was to quantify the incidence of staining on facades' rendering with paint or texture according to solar orientation. In this context, by a case study in twelve buildings located in Brasília-DF, the method was based on the insertion of images and quantification of staining in *Autodesk AutoCAD®* software, considering North, South, East and West orientations. It was found that the most affected orientations were East and South, which may have been influenced by the lower incidence of solar radiation in these regions, facilitating the staining by moisture. Moreover, preventive and corrective solutions for staining were identified.
Keywords: Facades, pathological manifestations, staining.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

A degradação das fachadas é um processo natural e espontâneo, e mesmo que os materiais apresentem um estado natural, estarão sujeitos às deteriorações física, química e biológica, que afetam a vida útil não somente dos mesmos, mas da edificação como um todo [1]. Devido a anomalias relacionadas ao envelhecimento dos componentes e sistemas, bem como a falta de manutenção e intervenções adequadas, muitas fachadas com o tempo passam a apresentar aparência indesejável, ou até mesmo condições críticas que comprometem a segurança e habitabilidade do edifício [2].

Para o caso de Brasília-DF tanto em edifícios jovens quanto nos mais antigos tem sido observadas manifestações patológicas nas fachadas [3]. Sendo que estas anomalias tem causado desconforto físico, visual e estético aos usuários, além dos custos relacionados a reparos. Comumente encontrada em Brasília a tipologia de revestimento em argamassa, pintado e/ou texturizado, tem como principais manifestações patológicas os manchamentos, destacamentos, eflorescências, fissuração, empolamento e outros [4 – 6]. Um estudo feito em Portugal com 55 edifícios destaca que são cinco os principais grupos de causas dessas anomalias, sendo eles: aspectos ambientais (42 %), erros de projeto (18 %), falta de manutenção (17 %), erros de execução (15 %) e ações mecânicas (9 %) [7].

O manchamento, consequente da deposição de partículas, é destacado como uma das anomalias mais frequentes em fachadas [8 - 9]. As manchas por si só, inicialmente tem influência apenas na estética, e aparecem como sujidades e escorrimentos, podendo evoluir posteriormente para áreas mais escuras, úmidas e com presença de colonização biológica; com possibilidade de contribuir no agravamento de outras anomalias [10]. As principais causas dessas manifestações patológicas em fachadas de pintura podem ser associadas aos seguintes fatores [4, 9, 11]:

- Acumulo e deposição de sujeira proveniente de partículas atmosféricas;
- Presença de umidade por fonte externa ou interna;
- Ação dos agentes climáticos (chuva dirigida e radiação solar), ou agentes físico-químicos, capazes de causar desbotamentos;
- Colonização biológica;
- Fatores humanos (vandalismo ou ações pontuais).

São dois os principais grupos de fatores responsáveis pela ocorrência do fenômeno descrito neste trabalho, denominados de fatores extrínsecos e intrínsecos [12]. Os contaminantes atmosféricos e agentes climáticos (principalmente vento, chuva, radiação e umidade do ar) pertencem ao primeiro, já o segundo trata da forma construída, e da interação desta com as condições ambientais [1]. Dentro da ação dos agentes atmosféricos pode-se citar a chuva dirigida (combinação da ação de precipitação e vento). O escoamento da água proveniente da chuva pode causar manchamento diferencial da superfície ao carregar partículas de sujeira, que serão posteriormente absorvidas e aderidas ao revestimento, além do clareamento de outras partes [13].

Já relacionado aos aspectos intrínsecos, muitas das vezes as soluções adotadas não trazem detalhes imprescindíveis em um projeto arquitetônico. As pingadeiras, bunhas, frisos ou ressaltos, são importantes soluções capazes de minimizarem e evitarem os manchamentos. A constatação de sua eficácia pode ser observada em muitos edifícios históricos, que por possuírem esses tipos de detalhes tem a incidência dos manchamentos reduzida. Porém a utilização dos mesmos tem sido cada vez mais negligenciada, frente à adoção de soluções minimalistas para as edificações [13].

A quantificação dos manchamentos e outros tipos de manifestações patológicas é uma ferramenta útil nas metodologias de projeto, inspeção, diagnóstico e previsão de vida útil em fachadas [14 - 16]. Por proporcionar capacidade de priorização de escolha em aspectos de tomada de decisão relacionadas a reparos, bem como, auxilio em concepções projetuais que visem prevenir ou reduzir as anomalias encontradas.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente artigo foi realizar a quantificação da incidência de manchamentos em fachadas de revestimentos em argamassa, pintadas e/ou com textura para o caso de Brasília-DF.

2. METODOLOGIA

Nesta etapa é apresentada a metodologia utilizada para o alcance do objetivo proposto, a qual se fundamenta em três abordagens, assim classificadas: determinação das características das fachadas que serão estudadas, forma de obtenção dos dados por meio de registro fotográfico e quantificação dos manchamentos, que juntos exercem grande influência para análise final deste estudo.

2.1 Caracterização do local de estudo

Primeiramente, foram estudadas as características arquitetônicas e construtivas dos edifícios do Plano Piloto de Brasília-DF. A implantação dos edifícios residenciais varia de quadra a quadra. Existem dois grandes grupos de blocos residenciais, os que ficam nas quadras 100, 200 e 300, que possuem térreo sobre pilotis e mais seis pavimentos, e aqueles que pertencem as quadra das 400´s, que apresentam térreo com pilotis mais três pavimentos [17]. A orientação das edificações em Brasília-DF também segue um padrão. Os edifícios localizados na Asa Norte possuem azimute de 342º ou 252º (salvo algumas poucas exceções) e os localizados na Asa Sul possuem azimute de 232º ou 142º, como pode ser observado na Figura 1.

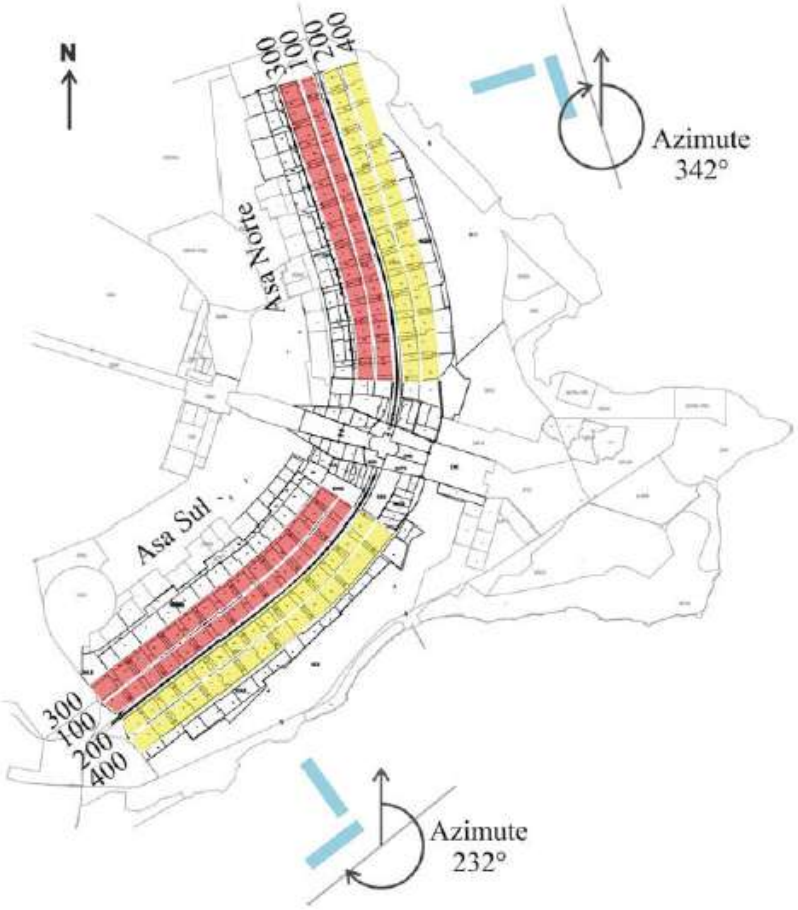


Figura 1 – Áreas das Superquadras (Vermelho e amarelo) e as orientações dos edifícios (em azul) nas Asas Norte e Sul [18].

Essa padronização aparece como facilitador da pesquisa, uma vez que é possível desprezar efeito de angulação da fachada, através da utilização da metodologia de [16, 19]. Esta é apresentada na Figura 2, e consiste em utilizar os azimutes e os dados abaixo para definir a orientação.

- Faixa de orientação Norte compreendida entre os azimutes 315º e 44º.
- Faixa de orientação Leste compreendida entre os azimutes 45º e 134º.
- Faixa de orientação Sul compreendida entre os azimutes 135º e 224º .
- Faixa de orientação Oeste compreendida entre os azimutes 225º e 314º .

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

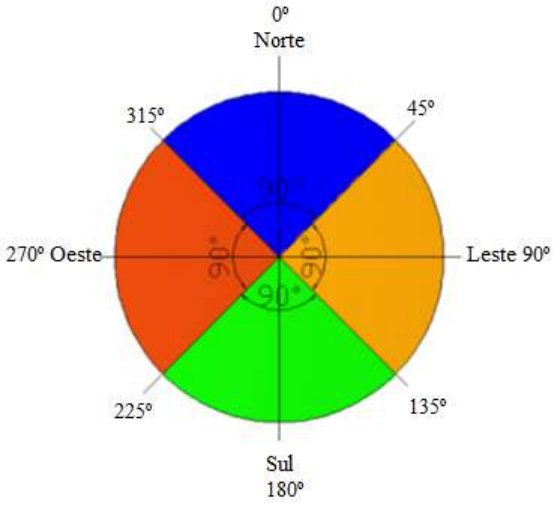


Figura 2 - Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas [19].

Os edifícios do Plano Piloto são constituídos, em grande maioria, de fachada pintada/texturizada e/ou revestimento cerâmico. Para esse estudo de manchamentos, optou-se por escolher as fachadas pintadas/textura, visto que, há maior incidência desse tipo de manifestação patológica nestes casos. As fachadas escolhidas são empenas sem esquadrias, com o intuito de diminuir as interferências no estudo.

A escolha dos edifícios foi realizada de forma aleatória, compreendendo as quadras com edifícios de no máximo três pavimentos (quadras 400's). A escolha desses casos considera a diminuição das distorções de imagens, provocadas pelo ângulo em que as mesmas são tiradas. Nesse sentido, foram utilizadas 12 amostras de edifícios, totalizando 28 fachadas (empenas).

2.2 Registro fotográfico

Na segunda etapa, partiu-se para o registro fotográfico das empenas. Para cada edifício, registrou-se a quadra, o bloco, a orientação das empenas, horários da visita e condições climáticas. Posteriormente, foi realizado o registro fotográfico dessas empenas, de acordo com o exemplo da Figura 3. Priorizou-se os registros em dias de sol, com o intuito de diminuir a interferência do molhamento da fachada na quantificação dos manchamentos.



Figura 3– Exemplo do registro fotográfico das empena das edificações estudadas.

2.3 Quantificação dos manchamentos

Após o registro fotográfico, foi quantificada a área degradada por manchamento e a área total da empena correspondente, no *software Autodesk Autocad*® de acordo com a Figura 4.



Figura 4 – Exemplo da quantificação da área degrada por manchamentos.

Posteriormente utilizou-se a Equação 1 para obter a porcentagem de manchamento da empena.

$$P = \frac{A_m}{A_t} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

P = porcentagem de manchamento encontrada na empena;
A_m = área afetada por manchamento;
A_t = área total da empena.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na quantificação dos doze edifícios estudados são apresentados na Tabela 1. Considerando o número da amostra, orientação solar, resultado e orientação da fachada com a maior incidência de manchamento. Conforme citado no item anterior, observa-se que cada amostra possui apenas duas orientações relacionadas às suas empenas.

Tabela 1 – Resultados da quantificação de manchamento

Edifício	Orientação Solar	Resultado (%)	Orientação da fachada com maior incidência de manchamento
1	S	61,14	S
	N	48,25	
2	S	20,19	N
	N	35,35	
3	S	7,49	S
	N	1,62	
4	S	3,39	S
	N	1,91	
5	S	5,04	S
	N	0,56	

Tabela 1 (Continuação) – Resultados da quantificação de manchamentos

Edifício	Orientação Solar	Resultado (%)	Orientação da fachada com maior incidência de manchamento
6	S	22,81	S
	N	12,30	
7	S	17,46	S
	N	5,10	
8	O	13,69	O
	L	8,56	
9	O	13,39	O
	L	2,03	
10	O	32,85	L
	L	59,51	
11	O	3,81	L
	L	13,66	
12	O	17,55	O
	L	16,31	

Nota-se que dos sete edifícios analisados para orientações N/S, seis (86%) tiveram a fachada S com maior incidência de manchamentos. O estudo de [7] apresentou resultados similares, ao observar que as fachadas que tem menor incidência de radiação solar podem apresentar maior ocorrência de anomalias relacionados à presença de umidade, e para Brasília-DF a fachada S recebe menor incidência desta variável do que a fachada N [3, 20]. Já quando são analisados os cinco edifícios dispostos nas orientações L/O, observa-se que a fachada O apresentou três amostras com maior incidência (60%). Os estudos de [17, 20, 21] mostram que as orientações L e O recebem valores próximos de incidência de chuva dirigida e radiação.

Porém a comparação das médias de áreas manchadas para todas as amostras nas quatro orientações, mostrou que a classificação em relação a incidência foi: L (20,02%), S (19,65%), O (16,26%) e N (15,01%). As fachadas L e S apresentaram apenas 0,37% de diferença nos valores médios.

Entre os resultados, o maior percentual de manchamentos ocorreu para orientação S (61,14% - edifício 1) e a orientação N teve o menor (0,56% - edifício 5). Observou-se uma grande dispersão nos dados apresentados pelos edifícios, e supõe-se uma associação deste fato a variável idade e possíveis intervenções de manutenção, que não foram objeto de estudo. Visto que, edifícios mais antigos podem apresentar piores condições de manchamentos, e intervenções nas fachadas podem esconder os efeitos reais relacionados aos agentes climáticos (por orientação).

Além do mais, não foram estudadas condições específicas, mesmo os edifícios residenciais do plano piloto possuindo grande espaçamentos entre si e não havendo a mesma influência do que áreas densamente urbanizadas do efeito abrigo formado por edifícios vizinhos (em que a ação dos agentes climáticos, principalmente vento e chuva, é particularizada) [1].

Frente aos resultados apresentados, sugere-se que pesquisas futuras sejam desenvolvidas com associação de outras variáveis, tais como: idade, influência da existência ou ausência de detalhes arquitetônicos e tipo de pintura utilizada [16]. Além do mais, os resultados apresentados são específicos das amostras estudadas, e desta forma a proposição é que o mesmo estudo seja feito para uma maior quantidade de edifícios do Plano Piloto em Brasília-DF. Destaca-se que a cidade possui condições propícias para isto por apresentar edifícios similares, principalmente pelo plano urbanístico [18].

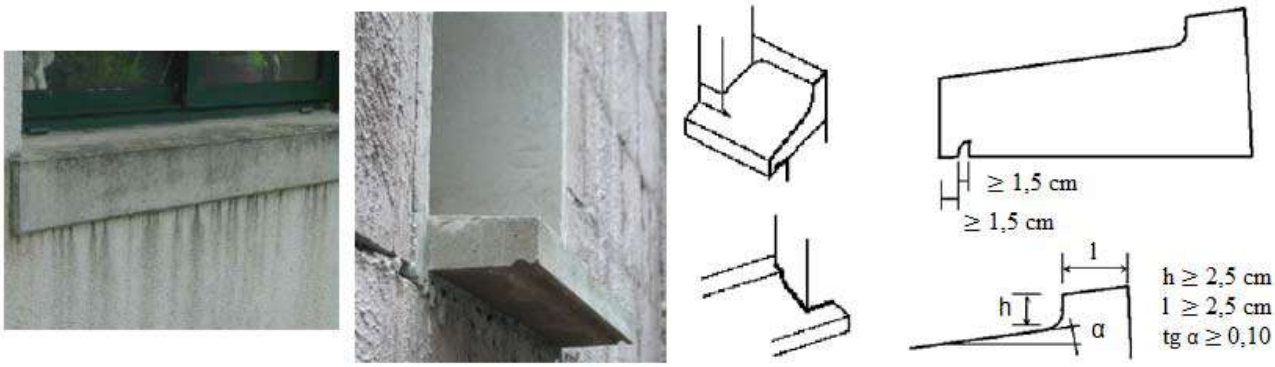
Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.1 Medidas preventivas e corretivas para combater os manchamentos

A disposição de detalhes arquitetônicos e seleção de materiais adequados estão entre as principais medidas para prevenção dos manchamentos em fachadas.

De acordo com a inclinação das plataformas que compõem a geometria externa do edifício a fachada pode ficar mais exposta a deposição de partículas de sujeira, além da incidência de ventos e chuva [1]. Desta forma, as principais intervenções para evitar os manchamentos na fachada são os ressaltos, bunhas e frisos. O ressalto é um obstáculo, geralmente instalado a cada pavimento, que cria uma descontinuidade no pano da fachada e impede que a água desça pela mesma depositando partículas. Outra opção são reentrâncias que também ajudam na dissipação da água, e são denominadas por bunhas (cerca de 5 cm de largura) e frisos (1,5 cm à 2 cm de largura) [22].

Já para os casos de fachadas com janelas é importante dar-se atenção especial aos peitoris, que muitas vezes possuem inclinação inadequada e podem originar manchamentos por deposição de sujidade conforme a Figura 5.a. Para este caso a solução adequada é a correta inclinação dos peitoris, presença de pingadeira (Figura 5.b) e dimensões, conforme indicado pela norma francesa DTU 20.1 *apud* [23]; $l \geq 2{,}5$ cm, $h \geq 2{,}5$ cm, e $\text{tg}\,\alpha \geq 0{,}10$ (Figura 5.c).



(a) (b) (c)

Figura 5- Manchamento presente sob peitoril (adaptado de [22, 23]).

Relacionado aos materiais, o principal aspecto que influencia na deposição de partículas é a rugosidade da superfície. Visto que, as forças de adesão são proporcionais à extensão de contato entre a partícula e a superfície, além de inversamente proporcionais à distância entre as mesmas [1]. Desta forma para ambientes de poluição elevada a recomendação é que a opção adotada seja por superfícies com acabamento mais liso, evitando-se materiais que proporcionem acabamentos superficiais raspado, flocado ou travertino que tem um maior potencial para formação de manchas [24].

A seleção de métodos corretivos para remoção dos manchamentos depende essencialmente dos mecanismos que originaram os mesmos, desta forma, a identificação de cada caso deve ser feita com o objetivo de escolher-se o método apropriado.

Por fim, uma importante medida preventiva, é a especificação durante a entrega do "Manual de Uso e Operação" aos futuros usuários da edificação, a frequência, e tipos de produtos adequados para a manutenção e limpeza das fachadas. Estas infomações devem ser obtidas dos forncedores de tintas, cerâmicas, ou outros possíveis materiais de revestimento. A importância da adequada manutenção é tratada na norma de desempenho das edificações, a NBR 15575:2013.

Como medidas corretivas para a remoção dos manchamentos por deposição de partículas de origem atmosférica, recomenda-se a lavagem da superfície sob pressão ou vapor de água, preferencialmente com água quente e adição de detergente neutro. Se as manchas ainda permanecerem deve-se seguir com solução química. Para os casos de revestimentos em textura e argamassa, além dos métodos já citados, a limpeza por abrasão também pode ser uma boa alternativa, através da escovação (preferencialmente com cerdas de nylon) [25].

Caso as manchas tenham origens biológicas (biodeterioração) recomenda-se a união dos métodos mecânico, físico e químico. A determinação do biocida adequado para utilização deve ser feita através da identificação do agente biológico, e após sua aplicação deve-se buscar quais foram as causas da origem destes mecanismos de deterioração para que não haja reincidência dos mesmos [25].

4. CONCLUSÕES

Neste estudo que objetivou a quantificação dos manchamentos em fachadas pintadas, para a realidade dos casos estudados em Brasília-DF, foram obtidas às seguintes conclusões:

- Foi possível verificar que a orientação da fachada influencia na área afetada pelo manchamento. Isso se deve, principalmente, a incidência de radiação solar, tornando a fachada com menor incidência propícia ao aparecimento de manifestações patológicas de umidade;
- Outros aspectos ambientais também influenciam no aparecimento desse tipo de manifestação patológica, como por exemplo, a chuva dirigida, vento, locação e outros;
- Constatou-se que a média de área manchada por orientação foi: L (20,02%), S (19,65%), O (16,26%) e N (15,01%). A fachada S apresentou o maior percentual de área manchada (amostra 1- 61,14%);
- Além do mais, foram apontadas as principais medidas preventivas e corretivas para os manchamentos, destacando-se aspectos de projeto e escolha adequada de materiais, bem como a correta solução de limpeza de acordo com a origem da anomalia.

5. REFERÊNCIAS

[1] PETRUCCI, H. M. C. A "*Alteração da Aparência das Fachadas dos Edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída*". 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

[2] FLORES COLEN, I.; BRITO J.DE; FREITAS VP. "Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building façades - Survey of 30 experts", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, 2010, No. 4, Vol. 24, pp. 337-344.

[3] BAUER, E.; SILVA, M. N. B.; KRAUS, E. "*Estudo da quantificação da degradação das fachadas em edifícios jovens*". 4º Congresso Nacional de Construção. Coimbra. Portugal. 2012.

[4] MARQUES, F.P.F.M. "*Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão*". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013. 137 p.

[5] CHAI, C.; DE BRITO J.; GASPAR, P.L.; SILVA, A. "Statistical modelling of the service life prediction of painted surfaces*". International Journal of Strategic Property Management*, Vol. 19, Issue 2, 2015, pp. 173-185.

[6] SANTOS FILHO, V. M.; SPOSTO, R. M; MELO, J. S. "Ferramenta para projetos de vedações verticais externas com base nas exigências da norma de desempenho". REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, n. 3, jun. 2014. ISSN 2179-0612.

[7] SÁ, G.; J, DE BRITO; AMARO, B. "Statistical survey on inspection, diagnosis and repair of wall renderings", *Journal of Civil Engineering and Management*. Volume 21, Issue 5, 2015, pp. 623-636.

[8] CHAI, C.; DE BRITO J.; GASPAR, P.L.; SILVA, A. "Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies". *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 2014, Volume 140, Issue 3.

[9] GASPAR, P.; BRITO, J. "Mapping Defect Sensitivity in External Mortar Renders". *Journal of Construction and Building Materials*, v. 19(8), 2005, p. 571-578.

[10] GASPAR, P. "*Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes".* Dissertação de Doutorado em Construção, IST, 2009.

[11] STRAUBE, J. F. "Moisture in buildings". *ASHRAE Journal*, v. 44, n. 1, p. 15–19, 2002.

[12] POYASTRO, P. C. "*Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida*". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011. 180 p.

[13] BLOCKEN, B.; DEROME, J.; CARMELIET, J. "Rainwater runoff from building facades: a review". *Building and Environment* 60, 2013, pp. 339-361.

[14] PIRES, R., DE BRITO, J., AND AMARO, B. "Statistical survey of the inspection, diagnosis and repair of painted rendered façades". *Struct. Infrastruct. Eng*., 11(5), 2014, 605–618.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

[15] PIRES, R., DE BRITO, J., AND AMARO, B. "Inspection, diagnosis and rehabilitation system of painted rendered façades." *J. Perform. Constr. Facil*., Volume 29, Issue 2, 2015.

[16] GARRIDO, M.A.; PAULO, P.V.; BRANCO, F.A. "Service life prediction of façade paint coatings in old buildings". *Construction and Building Materials*, 29, 2012, pp. 394-402.

[17] BRAGA, D.K. "*Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico*". Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2005. 106 p.

[18] AMORIM, C. A.; FLORES, A. L. "Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília: aspectos de preservação e conforto ambiental". In: Encontro Nacional sobre conforto no ambiente Construído, e Conferência Latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, 4, 2005, Maceió/AL. *Anais ...* ANTAC, 2005, p.37-46.

[19] SILVA, M. N. B. "*Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF"*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília-UnB, 2014.

[20] ZANONI, V.A.G. "*Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília"*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015. 293 p.

[21] ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. M.; BAUER, E.; AMORIM, C. N. D. "Matriz de análise do índice de chuva dirigida (ICD) para a cidade de Brasília-DF". In: *PARANOÁ (cadernos de arquitetura e urbanismo) - Conforto e Projeto: Cidades*. n.11. Brasília, 2014. p.67-76.

[22] OLIVEIRA, T. "Tecnologia- Beirada seca". *Téchne*, São Paulo, ano 16, n. 137, pp. 36-37, Agosto 2008.

[23] FREITAS, V.P.; ALVES, S.M. "*Manchas de sujidade em fachadas sob os peitoris*". Disponível em: <http://patorreb.com/pt/default.asp?op=204&ficha=097#>. Acesso em: 15 de março de 2016.

[24] CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B. "*Tecnologia Construtiva de Revestimento Decorativo Monocamada*". Senai, São Paulo, 2013

[25] RUBIN, A.P.; PETRY, N.S.; SOCOLOSKI, R.F.; MASUERO, A.B. "Análise das manifestações patológicas desenvolvidas em ambiente urbano nas fachadas do salão de atos da UFRGS". In: 1° Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, Foz do Iguaçu/PR. *Anais ...* CBPAT, 2014.