

TIPOLOGIA DA FISSURAÇÃO EM EDIFICAÇÃO DA ARQUITETURA LUSO-MARANHENSE: ESTUDO DE CASO

[\[ver artigo online\]](#)

Antônio Helson Silva de OLIVEIRA¹

Raimundo Nonato Rodrigues de ARAÚJO NETTO²

Myrela Vieira de ARAÚJO³

RESUMO

O estudo visa a identificação dos tipos de fissuras em alvenarias e estruturas de concreto de um edifício localizado no Centro Histórico de São Luís no Estado do Maranhão, com o objetivo de definir as causas e tratamentos das fissuras. Mediante os resultados, observou-se que as causas das fissuras em alvenarias mistas foram devido ao apodrecimento e desgaste da estrutura de madeira presente no seu interior e desagregação da argamassa de revestimento. Após o diagnóstico nas estruturas de concreto, foi observado que o reboco foi feito com uma camada porosa que trabalha suportando a umidade local na qual tem contribuição direta para o fenômeno da carbonatação no concreto que levou a estrutura ao processo de ruína. Nesse sentido, o tratamento que deve ser realizado para a alvenaria é a manutenção preventiva da madeira, e para o concreto, a recomposição da camada carbonatada e reforço estrutural.

Palavras-chave: fissuras, alvenarias, estruturas de concreto.

TYPOLOGY OF FISSURATION IN BUILDING OF THE LUSO-MARANHENSE ARCHITECTURE: CASE STUDY

ABSTRACT

The study aims to identify the types of cracks in masonry and concrete structures of a building located in the São Luís Historic Center in the state of Maranhão, with the objective of defining the causes and treatments of cracks. From the results, it was observed that the causes of cracks in mixed masonry were due to the rot and wear of the wood structure present inside and the disintegration of the coating grout. After the diagnosis in the concrete structures, it was observed that the plaster was made with a porous layer that works supporting the local humidity in which it has a direct contribution to the phenomenon of carbonation in the concrete that led the structure to the ruin process. In this sense, the treatment that must be carried out for masonry is the preventive maintenance of the wood, and concrete, the recomposition of the carbonated layer and structural reinforcement.

Keywords: cracks, masonry, concrete structures.

1 Pós-graduando em Licitação e Gestão de Contratos Administrativos, Instituto Navigare, São Luís, MA - antoniohelson@hotmail.com

2 Pós-graduando em Geotecnia e Obras de Infraestrutura, Instituto Navigare, São Luís, MA – raimundon.araujo@gmail.com

3 Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA – myrelav.araujo@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

As fissuras são um tipo de patologia comum nas edificações e influenciam nas características estruturais da obra como durabilidade e estética. Elas são geradas nas alvenarias e estruturas de concreto devido a atuação de tensões nos materiais. Quando a solicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões (CORSINI, 2010). A fissuração em alvenaria histórica pode ser causada por assentamentos diferenciais, fluência, fadiga, vibrações, terremotos, tensões induzidas por temperatura e carga (VERSTRYNGE et al., 2018).

Segundo Holanda Jr. (2008), as fissuras são as causas mais constantes de falha de desempenho em alvenarias, pois os materiais empregados na sua fabricação, por exemplo, cerâmicas, argamassa e concreto, são frágeis. Dependendo da causa e gravidade do dano, a quebra de alvenaria pode levar à perda de coesão em paredes de suporte de carga, redução da capacidade estrutural e até colapso em caso de instabilidade do crescimento das trincas (VERSTRYNGE et al., 2016). Nessa perspectiva, é importante fazer mapeamento e o monitoramento das fissuras com o objetivo de avaliar os danos, uma vez que os padrões de fissuras fornecem informações vitais sobre a causa e a gravidade do dano (BINDA et al., 2009).

Em estruturas de concreto armado, a deterioração tem sido motivo de grande preocupação nas últimas décadas, à medida que a edificação está envelhecendo, pode deteriorar rapidamente o que acaba tornando cada vez mais vulnerável a falhas (CUI et al., 2017). Uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto é a corrosão do reforço (CAIRNS et al., 2005; VAL et al., 2009; APOSTOLOPOULOS et al., 2013). Na primeira fase ocorre o início da corrosão pelo acesso de íons cloreto ou de ambiente carregado de dióxido carbono (CO_2), a segunda e terceira fase são caracterizadas pelo início das fissuras e sua propagação no concreto, respectivamente. Entre as três fases, a primeira normalmente leva o tempo mais longo, a segunda define o fim da vida útil funcional em que o reparo ou a substituição é necessária para estruturas de concreto armado

corroídas. A terceira e última etapa é o estágio mais curto entre os três (CUI et al., 2017).

Experiências práticas e observações experimentais (ANDRADE et al., 1993; LI, 2005; OTSUKI et al., 2000) apontam que estruturas de concreto armado se deterioram aceleradamente em termos de manutenção, como rachaduras, em comparação a segurança, por exemplo, resistência. Sendo assim, é importante realizar averiguação do processo de fissuração e a sua abertura no concreto, visto que esse parâmetro é relevante para avaliação de estruturas de concreto armado. À vista disso, a presente pesquisa visa o estudo das fissuras em alvenarias de pedra argamassada e estruturas de concreto em um edifício de arquitetura luso-maranhense. Serão apresentadas as origens, causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação desse problema.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da edificação

A área de estudo é um sobrado da arquitetura luso-maranhense (Figura 1), constituindo-se em um edifício antigo do Centro Histórico de São Luís - MA. Caracterizado como sobrado tradicional, sob jurisprudência Federal, faz apologia ao estilo português. A área do lote possui 382 m², a área do terreno edificada dispõe 618 m² e a área livre apresenta 72,13 m². A edificação apresenta estrutura mista de alvenaria de pedra e madeira. Os componentes mais novos observados no casarão possuem estrutura de concreto.



Figura 1 Área de estudo: fachada do sobrado 559

2.2 Alvenaria de pedra argamassada

Foram encontradas estruturas feitas com pedras e revestidas com argamassa de cal, areia e barro. Nesse tipo de estrutura foram analisadas as causas que provocaram o conjunto de fissuras existentes ao longo dos anos de vida útil da edificação. O levantamento das fissuras foi realizado com auxílio de um paquímetro, que permite medir o tamanho da abertura da fissura na alvenaria. Depois dessa etapa, os tipos de fissuras foram classificados conforme a Norma de Impermeabilização (NBR 9575:2010), descrita na Tabela 1. Sabendo da existência de todos os tipos de fissuras, em seguida, foi quebrado a superfície dessas alvenarias para compreender as causas dos problemas, bem como a busca da solução adequada para cada tipo de situação. Observou-se a existência da madeira junto a alvenaria de pedra argamassada (Figura 2) no Sobrado em estudo, pois a madeira confere confinamento e resistência à flexão a parede.

Tabela 1: Tipos de fissuras conforme sua abertura

MICROFISSURA	menor que 0,05 mm
FISSURA	até 0,5 mm
TRINCA	maior que 0,5 mm e menor que 1mm
RACHADURA	maior que 1 mm

Fonte: NBR 9575: 2010



Figura 2 Alvenaria de pedra argamassada e areia

2.3 Estruturas de concreto

No casarão foi observado a existência de pilares e vigas, estruturas bem recentes na edificação. Em um dos pilares analisados, verificou-se a existência de armaduras parcialmente expostas (Figura 3). À vista disso, foi inicialmente executado o levantamento das fissuras com auxílio de um paquímetro e classificadas conforme a NBR 9575:2010 em um pilar e uma viga. Em seguida, fez-se o ensaio não destrutivo de esclerometria com o intuito de avaliar a dureza superficial do concreto, segundo a NBR 7584:2012. Por fim, foi analisado a interferência da carbonatação em três pilares e uma viga com a aplicação de fenolftaleína, um produto químico que permite verificar a área que sofreu carbonatação. Após a aplicação, a área que resultou em uma coloração violeta, determinou a região sem carbonatação, enquanto os que permaneceram incolor, determinou a região carbonatada.



Figura 3 Pilar de concreto com armadura parcialmente exposta

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Origem e análise dos problemas na alvenaria e estruturas de concreto

3.1.1 Alvenaria de pedra argamassada

Em alvenaria de pedra argamassada com madeira, observou-se que as causas são por conta do apodrecimento e degradação da madeira. Adiante, na Figura 4, tem-se uma ilustração do fato supracitado.

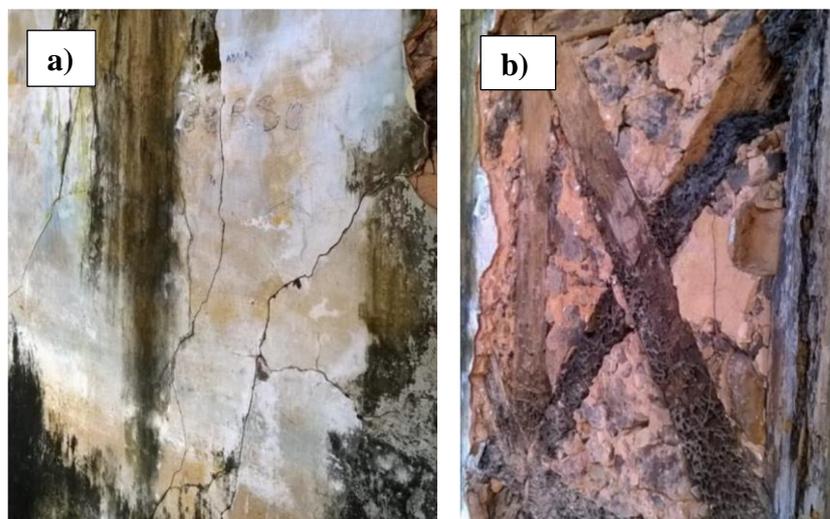


Figura 4 Parede de alvenaria de pedra argamassada com madeira. (a) Fissuras e trincas, (b) Apodrecimento da madeira

Nota-se na Figura 4 que as peças de madeiras usadas na construção de alvenarias tinham um travamento entre si e a disposição nelas mesmas em diagonal formam diversos triângulos que foram preenchidos com pedra com cal e areia. A madeira que antes dava o travamento na diagonal primária e secundária da parede, tornou-se removível, provocando problemas patológicos nas alvenarias. No levantamento das aberturas nas alvenarias foram localizadas fissuras, trincas e rachaduras com 0,5mm, 0,8mm e 2mm (Figura 5a, 5b, 5c), respectivamente. Além disso, foram detectados organismos xilófagos nas peças de madeira, responsáveis por danificá-las.

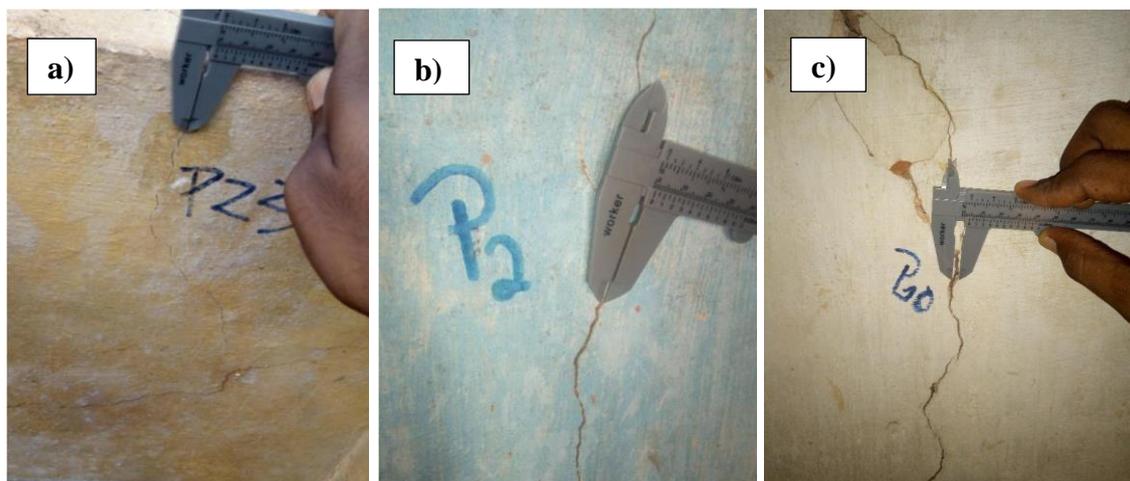


Figura 5 Levantamento das aberturas nas alvenarias. (a) Fissura com 0,5 mm, (b) Trinca com 0,8 mm, (c) Rachadura com 2 mm

3.1.2. Estruturas de concreto

No levantamento das aberturas em viga e pilar, localizou-se rachadura de 2mm (Figura 6a) e trinca de 0,9mm (Figura 6b), respectivamente. Após a identificação das aberturas no concreto, foi executado o ensaio esclerométrico em três pilares e uma viga para verificar sua dureza superficial. A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio com intervalo de 9 a 16 leituras do índice esclerométrico em cada peça de concreto. Em seguida, foi calculado o índice esclerométrico efetivo médio para cada estrutura e através desse valor encontrado, foi inserido o mesmo na tabela de esclerometria presente em norma, determinando a resistência da peça ensaiada.

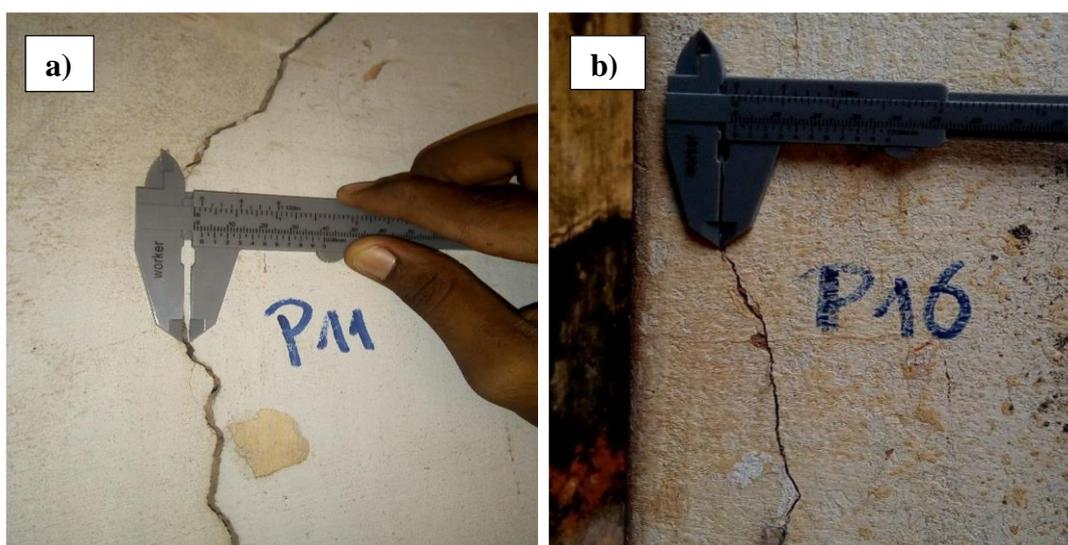


Figura 6 Levantamento das aberturas. (a) Rachadura em viga com 2 mm (b) Trinca em pilar com 0,9 mm

Tabela 2 – Valores esclerométricos individuais para cada peça estrutural

PILAR 1		
Ponto	Índice esclerométrico	Resistência (MPa)
1	34	34,90
2	42	
3	43	
4	48	
5	45	
6	43	
7	38	
8	32	
9	45	
10	33	
11	38	
12	37	
13	48	
14	45	
15	38	
16	40	
PILAR 2		
Ponto	Índice esclerométrico	Resistência (MPa)
1	29	25,62
2	32	
3	32	
4	36	
5	30	
6	36	
7	26	
8	36	
9	38	
PILAR 3		
Ponto	Índice esclerométrico	Resistência (MPa)
1	21	8,85
2	18	
3	17	
4	18	
5	20	

6	26	
7	20	
8	26	
9	20	
VIGA		
Ponto	Índice esclerométrico	Resistência (MPa)
1	24	15,04
2	28	
3	26	
4	25	
5	24	
6	27	
7	25	
8	28	
9	25	

Para verificação do fenômeno da carbonatação, utilizou-se a fenolftaleína, um produto químico que permite verificar a área que sofreu carbonatação devido a presença do dióxido de carbono presente no ar que circula em volta dos pilares e da viga penetrando os poros do concreto, conforme apresenta as Figuras 7 e 8. Após a aplicação da fenolftaleína, a área com a coloração violeta é determinada como o local sem carbonatação, enquanto os que permaneceram incolor, é estabelecida como a área carbonatada.



Figura 7 Aplicação da fenolftaleína no pilar de concreto



Figura 8 Área não carbonatada identificada com a coloração violeta

Identificados os defeitos no concreto, foi verificado que o reboco foi feito de uma camada porosa que trabalha suportando a umidade do local. No entanto, esta umidade não causa problema na argamassa tradicional de alvenaria. No caso do concreto da edificação em estudo em que a argamassa de barro funciona como recobrimento, isto é, proteção da armadura, foi observado que a sua utilização foi um fator contribuidor para que ocorresse a carbonatação.

O diagnóstico dos pilares e da viga levou à conclusão de que a causa principal da fissuração foi o fenômeno da corrosão reconhecida através da abertura dos pilares e das vigas, devido à presença constante do ambiente carregado de dióxido de carbono. A partir disso, foi constatado que os pilares se encontravam com a durabilidade visivelmente comprometida. Para a viga que possuía um vão de 12 metros de comprimento, foi verificada que a mesma estava carbonatada e precisava de intervenção urgente, pois enfrentava um processo de degradação, o qual poderia culminar no seu arruinamento. Além disso, através da análise dos resultados do ensaio esclerométrico, a peça que mais se encontrava comprometida foi o pilar 3, em virtude da sua resistência ser a menor.

3.2. Tratamentos

3.2.1. Alvenaria de pedra argamassada

Como foi detectado o ataque de organismos xilófagos nas peças de madeiras, é indicado recorrer ao tratamento com carácter curativo que consiste na injeção e pulverização de produtos químicos orgânicos na madeira com o intuito de eliminar os agentes degradadores e impedir que ocorra a continuação do ataque a madeira. No caso das alvenarias de pedra com madeira, vale salientar que é necessário demolir superficialmente a alvenaria para poder aplicar o produto protetor de agentes degradadores.

Para a madeira em estado seco, o produto químico que deve ser utilizado é o Glicol-borato, pois o borato penetra na madeira seca, eliminando a atividade de qualquer fungo. A penetração deste preservativo é limitada e a função mais relevante é prevenir fungos não identificados e evitar que aconteça o seu crescimento. Para a madeira em estado aquoso, o produto químico protetor é o Cromo Cobre Arsênio (CCA). O cobre funciona como primeiro fungicida, o arsênio o segundo fungicida e inseticida e o cromo tem funcionalidade de fixador que provê os raios ultravioleta.

Para pequenas fissuras na alvenaria, a solução preventiva é retocar o reboco com material novo, usando argamassa ou massa acrílica e fazer a manutenção periódica desse reboco, visto que, com o passar do tempo as fissuras podem reaparecer. Em caso de trinca, existe a necessidade de quebra superficial da parede para verificação do que está levando a ocorrência da anomalia. Observado o defeito, pode-se aplicar massa acrílica, selador acrílico ou também um gradil de poliéster e argamassa. Para a rachadura, a solução preventiva nesta situação é demolir a parede até um ponto de se colocar uma cortina de ferro em diagonal e cobrir com argamassa.

3.2.2. Estruturas de concreto

Para a viga de concreto que se encontrava carbonatada, faz-se necessário construir uma nova viga de concreto protendido que venha suportar o vão de 12 metros. Para os pilares de concreto, por motivo de todos estarem comprometidos pelo o fenômeno da carbonatação e corrosão, a solução é construir uma camisa metálica, que posteriormente será concretada na posição dos pilares existentes sem demoli-los. Para isso, é necessário que a camisa metálica tenha uma seção maior em relação a seção existente. Após a construção das camisas em cada pilar, a estrutura existente permanece dentro do novo sem nenhuma função estrutural.

4 CONCLUSÃO

Com base nas análises dos resultados, a causa de fissuração na madeira, utilizada para conferir confinamento e resistência à flexão a parede, foram os ataques xilófagos, causando a degradação do material. A madeira também é um material que com o tempo envelhece e ocorre seu apodrecimento e desgaste, ocasionando em sua movimentação e conseqüentemente responsável também pelo aparecimento de fissuras.

Dessa maneira, houve o comprometimento das alvenarias, sendo avistado também através de fissuras, trincas e rachaduras decorrentes da movimentação da madeira. No estudo de caso, foi identificado fissuras em alvenarias de pedra argamassada resultante também pela falta de aderência entre a parede existente e a nova parede confeccionada.

Além disso, verificou-se que os tipos de materiais utilizados influenciaram na velocidade de carbonatação, uma vez que a argamassa de barro que funcionava como recobrimento, ou seja, proteção da armadura, possuía uma camada porosa que facilitava a interação dos seus constituintes com o meio externo, como o dióxido de carbono presente na atmosfera, fator que cooperou para que ocorresse o fenômeno da carbonatação.

Nas estruturas de concreto, devido ao processo de carbonatação, o pH do concreto que apresentava valores altos, protegendo o aço, passou a obter valores

baixos, possibilitando o avanço da carbonatação para seu interior, atingindo a profundidade das armaduras. Esta ação ocasionou na corrosão do aço, fator gerador das fissuras, trincas e rachaduras nas estruturas de concreto, reduzindo sua durabilidade.

REFERÊNCIAS

APOSTOLOPOULOS, C. A.; DEMIS, S.; PAPADAKIS, V. G. **Chloride-induced corrosion of steel reinforcement–Mechanical performance and pit depth analysis**. Construction and Building Materials, v. 38, p. 139- 146, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Projeto de Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

BINDA, L.; SAISI, A. **Application of NDTs to the diagnosis of Historic Structures**. In: 7th International Symposium on Nondestructive Testing in Civil Engineering. 2009.

CAIRNS, J. et al. **Mechanical properties of corrosion-damaged reinforcement**. ACI Materials Journal, v. 102, n. 4, p. 256, 2005.

CORSINI, R. **Revista Técnica**. ed. 160. São Paulo: Editora Pini, 2010.

CUI, Z.; ALIPOUR, A. **Concrete cover cracking and service life prediction of reinforced concrete structures in corrosive environments**. Construction and Building Materials, v. 159, p. 652-671, 2018.

HOLANDA JR., O. G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

LI, C. Q. **Time dependent reliability analysis of the serviceability of corrosion affected concrete structures**. International Journal of Materials & Structural Reliability, v. 3, n. 2, p. 105-116, 2005.

MOLINA, F. J.; ALONSO, C.; ANDRADE, C. **Cover cracking as a function of rebar corrosion: Part 2—Numerical model**. Materials and structures, v. 26, n. 9, p. 532-548, 1993

OTSUKI, N. et al. **Influences of bending crack and water-cement ratio on chloride-induced corrosion of main reinforcing bars and stirrups**. Materials Journal, v. 97, n. 4, p. 454-464, 2000.

VAL, D. V.; CHERNIN, L. **Serviceability reliability of reinforced concrete beams with corroded reinforcement**. Journal of structural engineering, v. 135, n. 8, p. 896-905, 2009.

VERSTRYNGE, E.; VAN GEMERT, D. **Multi-scale approaches for the assessment of time-dependent mechanical damage in masonry**. In: Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls: Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC, Leuven, Belgium, 13-15 September 2016). CRC Press, 2016. p. 54.

VERSTRYNGE, E. et al. **Crack monitoring in historical masonry with distributed strain and acoustic emission sensing techniques**. Construction and Building Materials, v. 162, p. 898-907, 2018.