

Arquitetura em arcos e soluções de recuperação estrutural: estudo de caso da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Amparo, Teresina-PI

Arch architecture and structural recovery solutions: a case study of the Mother Church of Nossa Senhora do Amparo, Teresina-PI

Arquitectura de arco y soluciones de recuperación estructural: un estudio de caso de la Iglesia Matriz de Nuestra Señora de la Protección, Teresina-PI

Pablo Juan Lopes e Silva Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
pablojuan.engenhariacivil@gmail.com

Carlos Henrique Leal Viana  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
carloshenriquelv@hotmail.com

Thais Alves e Silva  
Universidade Estácio de Sá
thaisalves_12@hotmail.com

Hudson Chagas dos Santos  
Universidade Estadual Paulista – UNESP
hudson@ifpi.edu.br

Resumo

O aparecimento de fissuras nos arcos da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Amparo, Teresina-PI, tornou-se motivo de preocupação no ano de 2019. Este trabalho tem por objetivo analisar a situação estrutural do edifício, explicar as causas das manifestações patológicas e descrever a proposta de recuperação estrutural executada. Através de vistorias, relatório fotográfico, monitoramento das fissuras e revisão bibliográfica, verificou-se que a causa principal dos problemas foi recalque diferencial nas fundações, devido à percolação de grande volume de água. O aparecimento de fissuras consideráveis nos arcos rígidos corroborou para este parecer, indicando que a situação de equilíbrio inicial foi desfeita por uma perturbação exterior. Elaborou-se projeto e metodologia de execução de recuperação estrutural com telas eletrossoldadas e argamassa tixotrópica. Findado o período de monitoramento e eliminados os agentes causadores, os arcos, óculos e alvenarias foram reparados e, além de corrigidas as anomalias, tornaram-se mais resistentes à flexão e a eventuais deformações de mesma natureza.

Palavras-chave: Arcos; Recuperação estrutural; Manifestações patológicas; Igreja do Amparo.

Abstract

The appearance of cracks in the arches of the Mother Church of Nossa Senhora do Amparo, Teresina-PI, became a matter of concern in 2019. This work aims to analyze the structural situation of the building, explain the causes of pathological manifestations and describe the structural recovery proposal executed. Through inspections, photographic report, monitoring of cracks and literature review, it was found that the main cause of the problems was differential settlement in the foundations, due to percolation of a large volume of water. The appearance of considerable cracks in the rigid arches corroborated this opinion, indicating that the initial equilibrium situation was disrupted by an external disturbance. A design and methodology for carrying out the structural recovery with electrowelded meshes and thixotropic mortar were elaborated. After the monitoring period and eliminating the causative agents, the arches, glasses and masonry were repaired and, in addition to correcting the anomalies, they became more resistant to bending and eventual deformations of the same nature.

Keywords: Archs; Structural recovery; Pathological manifestations; Amparo church.

Resumén

La aparición de grietas en los arcos de la Iglesia Matriz de Nuestra Señora de la Protección, Teresina-PI, se convirtió en motivo de preocupación en 2019. Este trabajo tiene como objetivo analizar la situación estructural del edificio, explicar las causas de las manifestaciones patológicas y describir la propuesta de recuperación estructural ejecutada. Mediante

inspecciones, reportaje fotográfico, seguimiento de fisuras y revisión bibliográfica, se encontró que la principal causa de los problemas era el asentamiento diferencial en las cimentaciones, debido a la percolación de un gran volumen de agua. La aparición de cuarteaduras considerables en los arcos rígidos corroboró esta opinión, indicando que la situación de equilibrio inicial fue rota por una perturbación externa. Se elaboró un diseño y metodología para llevar a cabo la recuperación estructural con mallas electrosoldadas y mortero tixotrópico. Luego del período de monitoreo y eliminación de los agentes causales, se repararon los arcos, vidrios y mamposterías y, además de corregir las anomalías, se tornaron más resistentes a la flexión y eventuales deformaciones de la misma naturaleza.

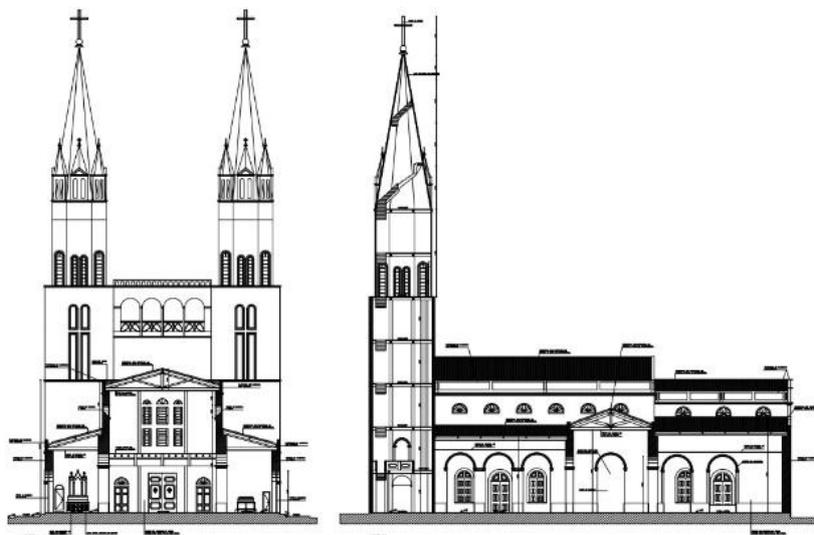
Palabras-clave: Arcos; Recuperación estructural; Manifestaciones patológicas; Iglesia del Amparo.

1 Introdução

A utilização do arco como elemento estrutural está presente na história das grandes civilizações, exercendo, muitas vezes, papel central nos sistemas construtivos utilizados. Na Era Medieval, seu uso foi recorrente em diferentes estilos: românico, bizantino e gótico. Fez-se presente, também, durante o Renascimento, período barroco e na arquitetura do século XIX, exercendo grande influência na arquitetura neogótica (NUNES, 2009). Este é o estilo do estudo de caso deste trabalho: a Igreja Matriz de Nossa Senhora do Amparo, localizada em Teresina – PI. Segundo Silveira (2003), trata-se da edificação mais antiga da capital do Piauí, inaugurado em 1852.

Esta edificação foi concebida em alvenaria estrutural de tijolos maciços e as fundações em alvenaria de pedra. As torres neogóticas, executadas posteriormente, na década de 1950, são de concreto armado. Seu sistema construtivo contempla arcos biengastados e óculos¹ ao longo da nave central e presbitério da igreja. Em abril de 2019, após o período de chuvas, foram identificadas manifestações patológicas, do tipo fissura, nas alvenarias, óculos e arcos da edificação, gerando grande preocupação aos membros da paróquia. Por ser uma construção histórica, a complexidade das suas estruturas, principalmente com relação à heterogeneidade dos elementos estruturais e materiais constituintes, introduz dificuldades para a percepção do seu real funcionamento e condições em que se encontram (COSTA; ARÉDE, 2001). Assim, este trabalho teve como objetivo analisar as causas das anomalias e propor soluções de recuperação através de investigação e monitoramento das fissuras ao longo dos meses. A Fig.1 mostra a configuração arquitetônica da igreja.

Figura 1 – Cortes transversais e longitudinais.



Fonte: Autores (2020).

¹ Aberturas na fachada ou no interior que pode ser redonda ou de outras formas, localizada geralmente acima de uma abertura principal ou inclusa em frontões e frontispícios.

2 Sistemas estruturais em arcos

O arco é uma peça curva que, resistindo principalmente a esforços de compressão, transmite seu peso próprio e demais carregamentos a dois apoios distantes entre si. O arco é submetido a tensões similares às colunas, cujo esforço principal também é de compressão. Porém, ao contrário das colunas, o equilíbrio estrutural do arco só é obtido ao final do processo de montagem, com a colocação da chave, após a inserção de todas as aduelas (MIRET, 2007). Miret (2007) afirma que o arco foi o maior invento “tensional” da arte clássica. Além de sua importância para a engenharia e arquitetura, o arco carrega consigo grande simbolismo religioso das mais diferentes crenças (NUNES, 2009).

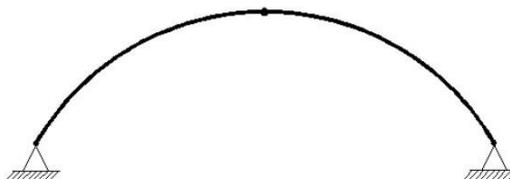
Nunes (2009) menciona que os antigos romanos tiveram um papel importante na utilização do arco como elemento arquitetônico e estrutural, construído em pedra ou tijolos, que se renovou em diversas culturas como a bizantina, românica, gótica, renascentista, barroca e neoclássica.

Somente com a Revolução Industrial, no século XIX, esta solução estrutural começou a ser mais difundida para utilização em coberturas de grandes vãos, bem como para a construção de pontes (UNES, 2009). Porém, a partir da década de 1920, o uso de estruturas em arco de alvenaria começou a ser substituído pelos novos materiais estruturais, principalmente o aço e o concreto (UNES, 2009). Apesar do concreto superar facilmente os materiais clássicos em economia, Miret (2007) alerta para as consequências desse complexo de características reológicas² do concreto, mesmo quando o arco seja livre e relativamente flexível.

Nunes (2009) ainda ressalta a importância da preservação de estruturas em arco de alvenaria que se deu após a Segunda Guerra Mundial. Porém, Miret (2007) explica que as deformações térmicas e higroscópicas em obras de alvenaria de pedra ou tijolo são pequenas ou desprezíveis, ao contrário do concreto, que a grande rigidez do arco completo causa facilmente fissuras inaceitáveis. Portanto, Miret (2007) destaca a busca por tipos estruturais mais facilmente deformáveis, e, entre eles, o arco livre. Com o aço à disposição estrutural é a mesma, mas a esbeltez dos elementos resultantes é maior que a do concreto (MIRET, 2007). O arco livre de pedra ou tijolo, e concreto sem armadura, necessita de maiores espessuras para evitar flexões sob a ação de sobrecargas móveis (MIRET, 2007).

Quanto à forma, os arcos podem ser categorizados em parabólicos e circulares, podendo apresentar, também, formas elípticas ou catenária. Com relação ao critério de estabilidade, podem ser classificados em isostáticos ou hiperestáticos. Os isostáticos, também denominados triarticulados, possuem três rótulas, sendo duas nos apoios e uma no centro do arco (SOUZA; RODRIGUES; MASCIA, 2008). A Fig.2 mostra esse modelo estrutural.

Figura 2 – Arco isostático.



Fonte: Souza; Rodrigues; Mascia (2008).

Os arcos hiperestáticos podem ser: biengastados, biarticulados, atirantados ou com uma articulação (SOUZA; RODRIGUES; MASCIA, 2008). Estes modelos são descritos na Tab. (1) e representados pela Fig.3, a seguir.

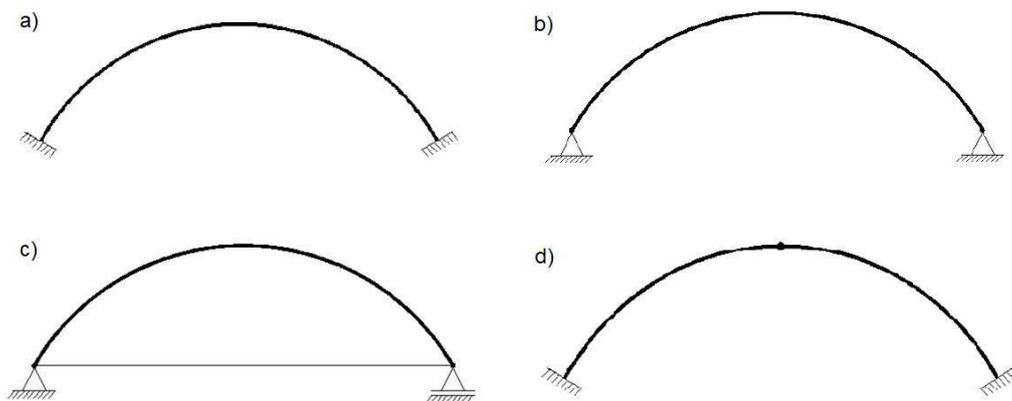
Tabela 1 – Tipos de arcos hiperestáticos

Tipo	Apoios	Grau de hiperestaticidade	Rótulas	Tirantes
Arco biengastado	Dois apoios de terceiro gênero	Três	Nenhuma	Nenhum
Arco biarticulado	Dois apoios de segundo gênero	Um	Nenhuma	Nenhum
Arco atirantado	Um apoio do segundo gênero e outro do primeiro gênero	Um	Nenhuma	Um
Arco com uma articulação	Dois apoios de terceiro gênero	Dois	Uma	Nenhum

Fonte: Autores (2020).

² Propriedades relativas ao comportamento do material dependente do tempo sob a influência ou não de tensões.

Figura 3 – Arcos hiperestáticos: a) arco biengastado; b) arco biarticulado; c) arco atirantado; d) arco com uma articulação.

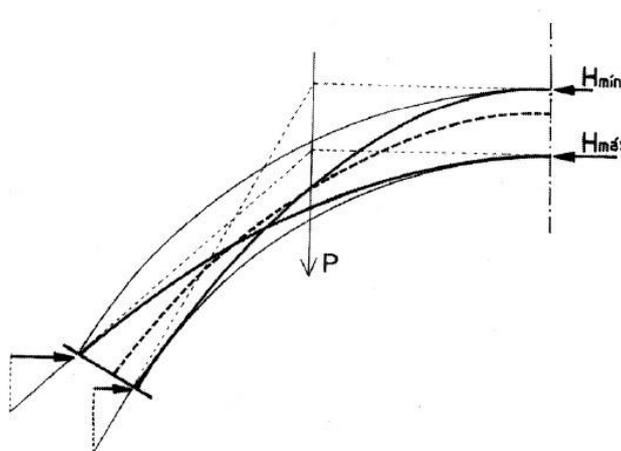


Fonte: Souza; Rodrigues; Mascia (2008).

A utilização das diferentes tipologias dos arcos resulta não apenas em diferentes métodos de cálculo para obtenção das reações nos vínculos, mas também em custos de execução e tempo de vida útil das obras em que são utilizados. O uso de arcos hiperestáticos possibilita, em geral, maior economia que a configuração isostática, porém, deve-se levar em consideração sua maior sensibilidade a recalques e deslocamentos impostos por variações térmicas. Ao adotar arcos de funcionamento hiperestático na concepção estrutural, deve-se ter maior atenção aos modelos biengastados, pois devido a maior restrição de movimentação nos apoios, estes só trabalham efetivamente quando não são previstas deformações devidas a movimentos, a exemplo de recalques diferenciais, que alteram o equilíbrio estático do sistema. Deformações consideráveis neste tipo de estrutura resultam no alargamento do vão entre os apoios e surgimento de fissuras, devido ao trabalho do arco para se adequar à nova configuração geométrica (SOUZA; RODRIGUES; MASCIA, 2008).

No que diz respeito à distribuição de esforços resultantes, tem-se a linha de empuxo definida como o lugar geométrico dos pontos por onde essas tensões são transmitidas. Huerta (1996) vai além e afirma que a linha de empuxo não é senão uma representação gráfica das equações de equilíbrio. Apenas com as condições de equilíbrio não é possível determinar uma única linha de empuxo. Assim, tem-se uma linha de empuxo máxima e outra mínima, contidas na espessura do arco. O empuxo mínimo corresponde a maior altura da linha de empuxo a meio vão, e o empuxo máximo diz respeito a menor altura, também na porção central (fig. 4) (NUNES, 2009).

Figura 4 – Linha de empuxo mínima e máxima.



Fonte: Huerta (1996).

3 Patologias em alvenarias

Sartorti (2008) define as manifestações patológicas como consequências dos mecanismos de deterioração das estruturas. Na análise de uma estrutura danificada, conhecer as causas patológicas é indispensável, visto que, além de um correto tratamento, é necessário que se garanta a minimização da patologia pós-recuperação. Para Helene (1997), estes mecanismos são todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentação de origem térmica, impactos, ações cíclicas de deformação lenta (fluência), relaxação, entre outros. Assim, pode-se citar a carbonatação, recalque, as fissuras e a corrosão das armaduras.

Diante de cargas externas, cada material tem um comportamento e uma capacidade resistiva diferente. Cada material pode ser submetido a um esforço simples ou a uma solicitação composta por vários esforços, proveniente da combinação de duas ou mais solicitações. Os esforços dito simples são os de tração, compressão, flexão, cisalhamento e torção. Quando a capacidade resistente do material é superada por algum desses esforços, ele se rompe, devido à sua incapacidade de resistir, o que se evidencia sob a forma de trincas ou fissuras. Assim, o colapso da estrutura ocorre quando os esforços atuantes superam o estado limite último do material (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Com o intuito de estabelecer diretrizes para intervenções em manifestações patológicas que ocorrem em edifícios históricos, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) elaborou o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural do Programa Monumenta.

Nessa perspectiva, o Iphan (BRASIL, 2005) traz as premissas básicas para a elaboração de um projeto de restauração:

- a) interferir, o mínimo possível na autenticidade do bem, seja estética, histórica, material, dos processos construtivos, dentre outras, respeitando os valores estéticos e culturais do mesmo;
- b) manutenção da maior quantidade possível de materiais autênticos do bem, para garantir sua autenticidade de modo a evitar falsificações de caráter artístico e/ou histórico;
- c) emprego de outros materiais para o caso da impossibilidade da manutenção dos materiais autênticos. Porém, estes deverão ser compatíveis com os existentes, “em suas características físicas, químicas, mecânicas e aspectos de cor e textura, sem, no entanto, serem confundidos entre si”, bem como o emprego “de materiais reversíveis, que possam ser substituídos no futuro e no final de sua vida útil, sem danos ao bem”;
- d) garantia da “autenticidade dos processos construtivos e suas peculiaridades, evitando o uso de técnica que seja incompatível e descaracterize o sistema existente”;
- e) conhecimento dos princípios expressos nas cartas patrimoniais dando o embasamento teórico para elaboração de projetos de restauração.

4 Investigação das manifestações patológicas

4.1 Vistoria e levantamento de danos

Após solicitação da paróquia, foi realizada vistoria no local para verificação das manifestações patológicas relatadas. Verificou-se *in loco* a ocorrência de fissuras de dimensões consideráveis, acima de 3,0 mm, nos arcos e óculos do lado direito e esquerdo do presbitério. Os demais ambientes da igreja que contêm arcos e óculos foram investigados e não se constatou ali nenhuma anomalia. O arco, por ser autoportante, transmite bem os esforços de compressão oriundos do peso próprio e demais carregamentos atuantes, a exemplo de peso do forro de madeira, madeiramento da cobertura e telhas cerâmicas. Qualquer perturbação no equilíbrio desse funcionamento estrutural resulta na propagação de tensões de tração na linha de empuxo. Em arcos de alvenaria, devido a elevada rigidez, os efeitos de pequenos deslocamentos são imediatos e danosos, levando ao aparecimento de fissuras estruturais no eixo central, ponto de maior empuxo horizontal. Foram realizadas 2 (duas) vistorias para concepção da instrumentação do monitoramento das fissuras e elaboração do respectivo mapa de danos. A Fig.5 mostra a situação da edificação no momento da primeira vistoria.

Figura 5 – Arco e óculo fissurados.



Fonte: Autores (2019).

Identificou-se, através da pesquisa em registros e levantamentos arquitetônicos anteriores, que as fundações das colunas da igreja eram de alvenaria de pedra. Esta solução estrutural, apesar de bem adequada à época da construção, não apresenta bom comportamento em situações de pouca estanqueidade e elevada quantidade de água.

A Igreja do Amparo se localiza a menos de 500 metros do Rio Parnaíba e relatou-se que o surgimento das manifestações patológicas se iniciou ao final do período chuvoso de 2019. Por todos os motivos expostos até aqui, chegou-se à conclusão de que as colunas do presbitério sofreram recalque, que foi o agente causador da instabilidade no sistema estrutural hiperestático dos arcos biengastados, devido à percolação de água nas fundações. Porém, a proximidade ao corpo hídrico e ao lençol freático regido por este nunca foi fator determinante para o surgimento de fissuras de grande espessura no interior da edificação. A Fig.6 mostra a localização da Igreja.

Figura 6 – Localização da Igreja do Amparo.



Fonte: Google Earth (2019).

Foi realizada outra vistoria, em que se visitou a parte posterior da igreja e constataram-se os motivos para este comportamento incomum na estrutura. Verificou-se que as árvores que se situavam atrás do presbitério da igreja, conforme indicado pela seta da Fig.6, foram retiradas pouco antes do período de chuvas e a área remanescente permaneceu exposta durante este tempo. As espécies suprimidas eram centenárias e da espécie *Licania tomentosa*, conhecida popularmente por oiti, que possui raízes muito espessas e profundas. Este evento proporcionou a infiltração de água por vários meses, se configurando como o fator extraordinário que levou ao surgimento de fissuras estruturais nesta edificação. A área só foi aterrada após a ação dos mecanismos de deterioração, e a situação do local é mostrada pela Fig.7.

Figura 7 – Parte posterior da igreja.



Fonte: Autores (2019).

4.2 Monitoramento

Após a vistoria, iniciou-se um processo de monitoramento ao longo de 17 meses, de maio de 2019 até agosto de 2020, para verificar se as fissuras ainda estavam ativas ao longo da passagem de mais um período chuvoso, referente ao ano de 2020. Esse processo foi realizado através da colocação de finas plaquetas de gesso, posicionadas ao longo do eixo das fissuras, de modo que o rompimento indicaria movimentação da estrutura, conforme proposto por Silva Filho e Helene (2011). A Fig.8 mostra este procedimento.

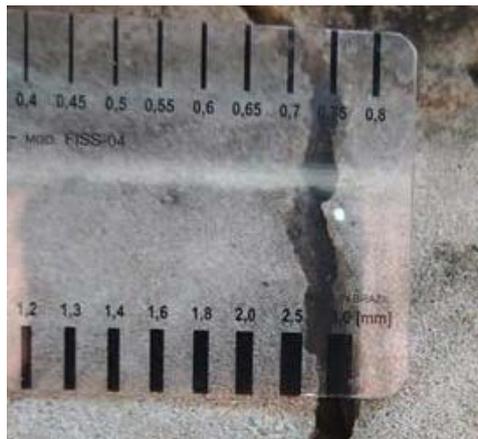
Figura 8 – Monitoramento através de plaquetas de gesso.



Fonte: Autores (2020).

Ao longo dos meses, também foram realizadas medições das espessuras das fissuras através de régua fissurômetro, conforme ilustrado pela Fig.9. Em alguns pontos, verificaram-se espessuras consideráveis e acima de 3,0 mm, permitindo passagem de ar e água. Foi constatado que as fissuras se mantiveram inativas após a vedação do espaço deixado pela retirada das árvores, mesmo após longo período chuvoso ocorrido durante os meses de janeiro a abril de 2020. Portanto, eliminados os agentes causadores, a igreja não apresentou mais deslocamentos e restabeleceu-se a integridade estrutural, sendo necessário apenas a elaboração do projeto de recuperação para reparo da edificação.

Figura 9 – Utilização de fissurômetro em fissura externa.



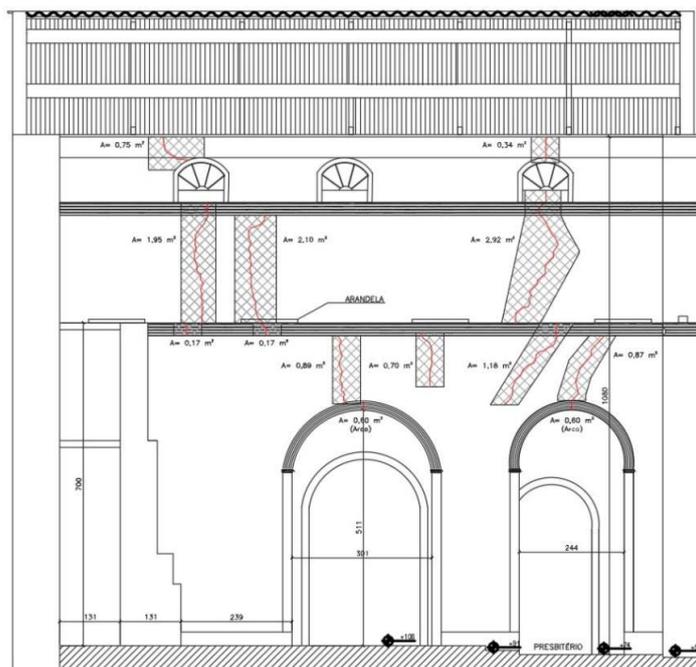
Fonte: Autores (2020).

5 Recuperação estrutural

Após análise dos materiais constitutivos da Igreja do Amparo, elaborou-se o projeto de recuperação estrutural com o objetivo de reparar as fissuras, preservando ao máximo o sistema construtivo original e utilizando insumos compatíveis com a edificação e que proporcionassem maior vida útil e melhor desempenho frente às solicitações mecânicas e intempéries do meio. De posse dos resultados da etapa de monitoramento, optou-se pela utilização de telas Q-138 e argamassa tixotrópica para recuperação das fissuras existentes no presbitério, proporcionando à estrutura a capacidade de resistir a tensões de cisalhamento oriundas de eventuais deformações causadas por recalques ou variações de temperatura.

A justificativa para utilização de argamassa estrutural tixotrópica foi devido à sua facilidade e rapidez de execução, além da inviabilidade de utilização de formas devido aos contornos geométricos das áreas, pois a propriedade da tixotropia confere uma diminuição da viscosidade sob agitação, e aumento dela, logo após o repouso, sendo ideal para aplicação em superfícies verticais (TULA; OLIVEIRA; HELENE, 2003). Após o levantamento da área danificada, foi elaborado um mapa de danos com a indicação das fissuras existentes e áreas a serem reparadas. A Fig.10 mostra o mapa de danos do lado direito do presbitério da igreja.

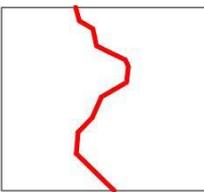
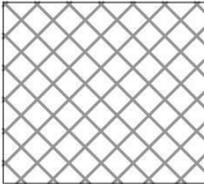
Figura 10 – Mapa de danos do lado direito do presbitério.



Fonte: Autores (2020).

O quadro 1 apresenta a legenda das simbologias utilizadas no mapa de danos da Fig.10, para representar as fissuras e áreas intervencionadas.

Quadro 1 – Legenda

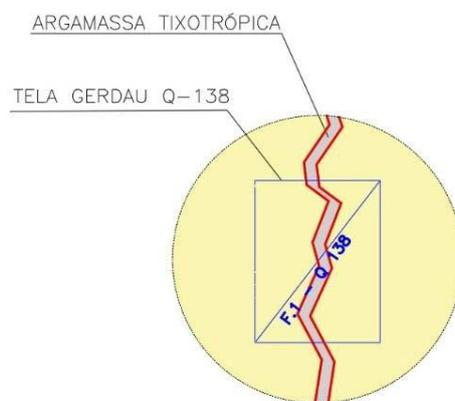
Anomalia	Simbologia
Fissura estrutural	
Área a ser recuperada com telas Q-138 e argamassa tixotrópica	

Fonte: Autores (2020).

Como etapa inicial do procedimento executivo de recuperação, escarificou-se uma área de 60,0 cm de largura e 11,0 cm de profundidade nas alvenarias, arcos e óculos, sendo 30,0 cm para cada extremidade, a partir do eixo das fissuras. A Fig.11 indica o posicionamento das telas.

Figura 11 – Posicionamento das telas.

DETALHAMENTO DA FISSURA

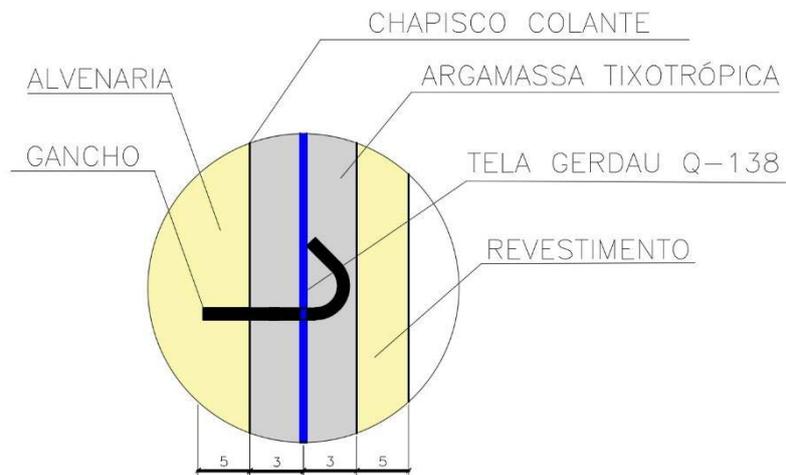


Fonte: Autores (2020).

Após a escarificação, foram fixados na alvenaria ganchos de 5.0 mm com a utilização de adesivo epóxi tixotrópico a uma profundidade de $10\phi = 5,0$ cm para garantir a ancoragem. Cumprida esta etapa, foi aplicado na área escarificada chapisco do tipo colante, para promover a aderência com o substrato posterior. A área foi então concretada com argamassa tixotrópica de 25 MPa da fabricante KALFIX®, estabelecendo-se uma camada com 3,0 cm de espessura. Logo após, as telas eletrossoldadas Q-138 em aço CA-60 e malha de 10 x 10 cm foram fixadas nos ganchos e promoveu-se o contato destas com o material cimentício. Segundo a NBR 7481 (ABNT, 2022), *Tela de aço soldada nervurada para armadura de concreto - requisitos*, a tela de aço soldada é formada por uma armadura pré-fabricada, destinada a armar concreto, em forma de rede de malhas retangulares, constituída de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós), por resistência elétrica (caldeamento). A sua utilização em recuperação estrutural de fissuras, juntamente com a argamassa estrutural, promove uma maior solidarização entre os trechos danificados e proporciona um espriamento das tensões de cisalhamento atuantes na região recuperada.

Então, concretou-se outra camada com o mesmo material e espessura, proporcionando um cobrimento final $c = 3,0$ cm para a armadura, conforme preconiza a NBR 6118 (ABNT, 2014), *Projeto de estruturas de concreto – procedimento*, para a classe de agressividade ambiental II moderada, sendo o ambiente urbano. Após o tempo de cura, executou-se o revestimento de espessura $e = 5,0$ cm com argamassa de baixo calor de hidratação para mitigar possíveis efeitos de movimentações térmicas. A Fig.12 explica a situação final da seção transversal do reparo.

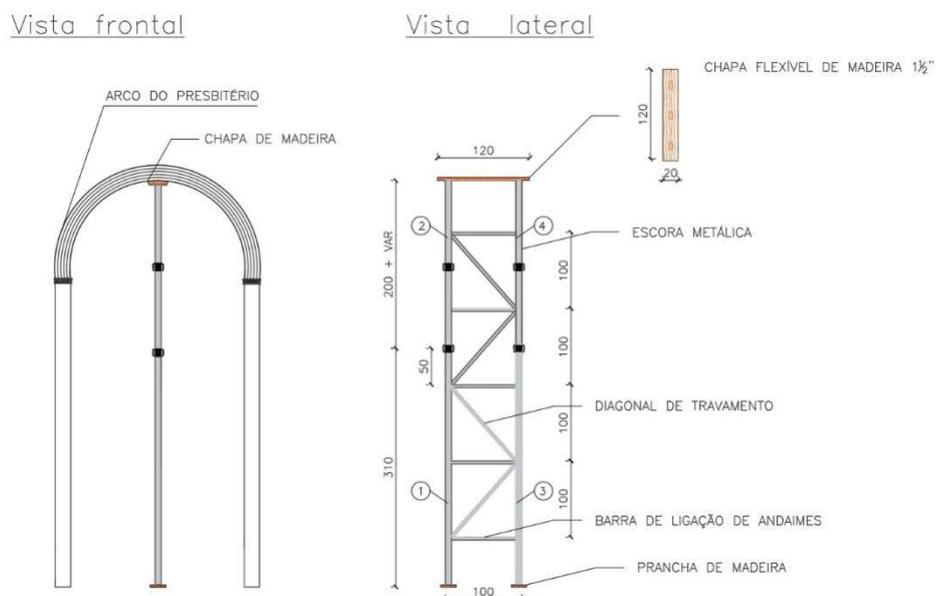
Figura 12 – Seção transversal do reparo.



Fonte: Autores (2020).

Por conta dos trechos a serem recuperados nos eixos dos arcos e óculos, foi prevista a utilização de escoramento provisório durante 21 dias para garantir maior segurança à execução da obra. O início da retirada de trechos de alvenaria nestas regiões poderia levar à instabilidade da estrutura após o desprendimento de tijolos maciços ali presentes e alterações no posicionamento da linha de empuxo inicial. A recuperação se iniciou na porção medial da alvenaria do presbitério, e somente após a consolidação da concretagem e consequente aumento da rigidez lateral, seguiu-se a etapa de escarificação nos arcos, após a retirada dos escoramentos. Devido à ausência de escoras metálicas com comprimento acima de 5,00 m (pé-direito + flecha do arco) no mercado local, elaborou-se projeto de escoramento através da utilização de escoras de 3,10 m associadas a escoras de 2,00 m e travamentos laterais com barras de ligação de andaimes, além da utilização de chapas de madeira flexível no eixo dos arcos. O escoramento utilizado é representado pela Fig.13.

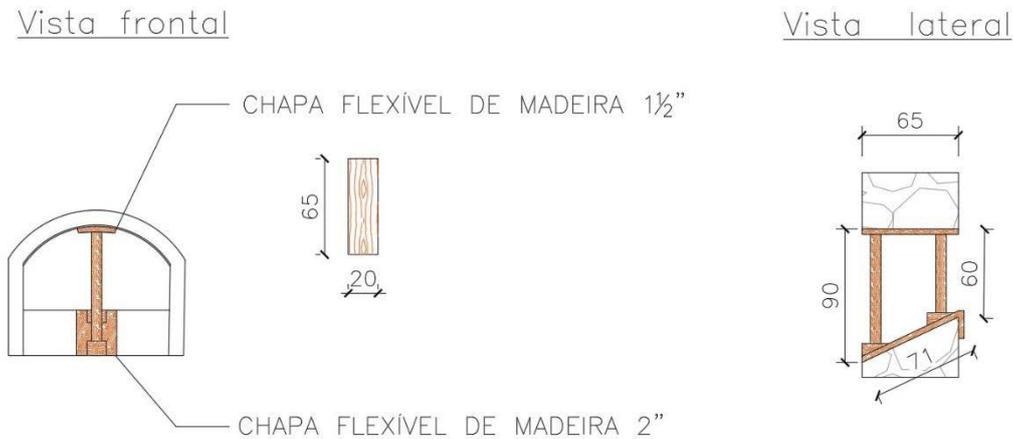
Figura 13 – Escoramento dos arcos.



Fonte: Autores (2020).

O escoramento dos óculos representou uma dificuldade inicial devido ao trecho inclinado que esses possuem, e foi necessário a utilização de escoramentos confeccionados manualmente. Escolheu-se a madeira como material para as escoras e os prismas triangulares que possibilitaram seu posicionamento vertical no trecho inclinado. A Fig.14 esquematiza este procedimento.

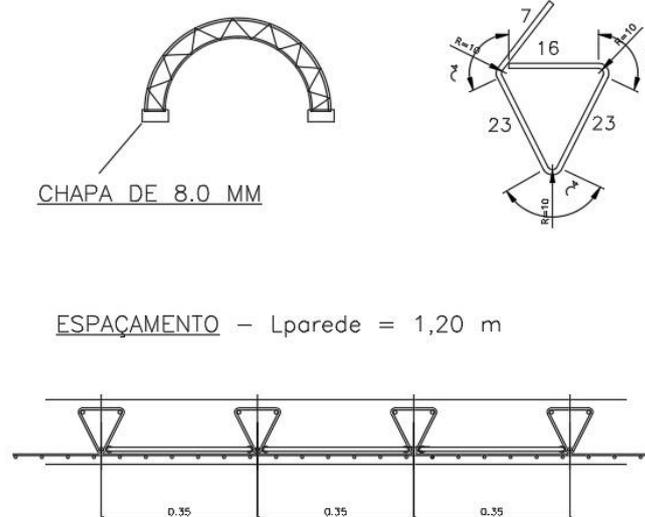
Figura 14 – Escoramento dos óculos.



Fonte: Autores (2020).

Inicialmente, para a recuperação dos arcos fissurados, foi proposta a reconstrução destes em concreto armado para resistir a possíveis deformações na estrutura. Seriam utilizadas cambotas de aço CA-50, diâmetro 6.3 mm e chapas de aço de 8.0 mm de espessura para fixação nos apoios. A execução das cambotas se iniciaria com a escarificação da alvenaria a 25,0 cm de profundidade, 20,0 cm de largura e 360,0 cm de comprimento para cada cambota. Foi definido um espaçamento de 35,0 cm entre as cambotas, ao longo de 120 cm de largura do arco, correspondente à espessura das paredes do presbitério, totalizando três cambotas para recuperar cada arco. Após o posicionamento das formas, a região seria concretada com concreto autoadensável de 25 MPa, atendendo à necessidade de fluidez, coesão e resistência à segregação para que a mistura tivesse a capacidade de fluir dentro da forma e escoar por entre as armaduras sem obstrução do fluxo, evitando a segregação do mesmo (TUTIKIAN, 2004). A Fig.15 mostra como seria este detalhamento.

Figura 15 – Detalhamento das cambotas.



Fonte: Autores (2020).

Porém, seguindo as recomendações do Iphan e atendendo à solicitação da Coordenação de Registro e Conservação da Secretaria de Cultura do Piauí, esta solução, apesar de bastante eficaz do ponto de vista

estrutural, resultaria em grande descaracterização da metodologia construtiva original dos arcos da Igreja. Portanto, optou-se por recuperar apenas os trechos fissurados ao longo do eixo dos arcos com as telas eletrossoldadas, solução que também proporcionou um aumento da resistência à flexão na região. A Fig.16 a seguir mostra o resultado da recuperação estrutural.

Figura 16 – Recuperação executada.



Fonte: Autores (2020).

6 Conclusão

A Igreja de Nossa Senhora do Amparo é uma edificação de grande relevância histórica, cultural e arquitetônica, reunindo em sua construção elementos de diversos estilos arquitetônicos, do clássico ao neogótico. Após a verificação de manifestações patológicas do tipo fissura nas alvenarias, arcos e óculos da edificação, foi realizada vistoria em que se constatou a ocorrência de recalque nas colunas devido à ocorrência de fissuras presentes no eixo dos arcos rígidos de alvenaria, que trabalham essencialmente à compressão e são extremamente suscetíveis a deslocamentos nos apoios. Após o período de 17 meses de monitoramento, verificou-se que as fissuras estavam inativas e iniciou-se projeto de recuperação estrutural das fissuras através da utilização de telas eletrossoldadas e argamassa tixotrópica estrutural. O período de intervenção na edificação durou 36 dias. Para manter a originalidade construtiva dos arcos, apenas os trechos fissurados e de maiores empuxos foram reparados, possibilitando às estruturas arqueadas maior flexibilidade frente a eventuais solicitações de tração. Utilizaram-se, também, sistemas de escoramentos adequados à tipologia construtiva do arco para preservar a integridade da edificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à PCA Engenharia Ltda., à Coordenação de Registro e Conservação da Secretaria do Estado de Cultura do Piauí, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí e à Fapepi/ Capes pelo incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: construção civil: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7481**: siderurgia: tela de aço soldada nervurada para armadura de concreto - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 17 p.

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**. Brasília : MinC/ IPHAN, 2005. 76 p.

(Programa Monumenta, Cadernos técnicos 1). Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec1_Manual_de_Elaboracao_de_Projetos_m.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de textos, 2019.

COSTA, A; ARÊDE, A. Inspeção e avaliação estrutural de pontes: algumas contribuições da FEUP. *In: SEMINÁRIO SEGURANÇA E REABILITAÇÃO DAS PONTES EM PORTUGAL, 1.*, 2001, Porto. **Anais [...]**. Porto : FEUP, 2001. p. 53-69. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67590/2/54730.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. *In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PATOLOGIAS DE CONSTRUÇÕES, 4.; CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 6.*, 1997, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. p. 1-30.

HUERTA, S. F. La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico. **Obra pública**, Madrid, n. 38, p. 18-29, 1996.

Disponível em: https://oa.upm.es/536/1/X-1547_PDF._Huerta_1996._Historia_teoria_del_arco_de_fabrica.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

MIRET, E. T. **Razón y ser de los tipos estructurales**. 3. ed. Madrid: CICC/CSIC, 2007.

NUNES, P. C. C. **Teoria do arco de alvenaria: uma perspectiva histórica**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SARTORTI, A. L. Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP. 2008. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296849185.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

SILVA FILHO, L. C. P.; HELENE, P. Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração. *In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia*. Rio Grande do Sul: IBRACON, 2011. cap. 32, 46 p.

SILVEIRA, A. L. R. C. A Igreja do Amparo. Teresina: Instituto Camilo Filho, 2003. 24p.

SOUZA, M. F. S. M.; RODRIGUES, R. B.; MASCIA, N. T. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

TULA, L. S.; OLIVEIRA, P. S. F.; HELENE, P. R. L. Grautes para reparo. *In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, 7., CONGRESO DE CONTROL DE LA CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, 9.*, 2003, Madrid. **Anais [...]**. Madrid: ALCONPAT, 2003. v. 1. p. 139-152.

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos auto-adensáveis. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 set. 2022.

Sobre os autores

Pablo Juan Lopes e Silva Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Piauí – UFPI, Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí – IFPI e Doutorando em Engenharia de Estruturas pela Universidade de Brasília – UnB.

Carlos Henrique Leal Viana

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual do Piauí – UESPI, Especialista em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal do Piauí – UFPI, Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí – IFPI e Doutorando em Engenharia de Estruturas pela Universidade de Brasília – UnB.

Thais Alves e Silva

Arquiteta pela Universidade Estácio de Sá e Master em Lighting Design pelo IPOG.

Hudson Chagas dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo – EPUSP e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo – EPUSP. Atualmente é professor do curso de bacharelado em Engenharia Mecânica e professor do Mestrado em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, do curso de bacharelado em Engenharia Civil e do curso de pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Avaliado em: 25.04.2022

Aceito em: 03.10.2022