



AValiação DE TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRIBOS EM PILARES DE CONCRETO ARMADO

Matheus Rebello¹

matheusrebello@hotmail.com

André Matte Sagave²

sagave@univali.br

ÁREA: MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO

Resumo

Quando não há um controle rigoroso na produção de estruturas, como ocorre com o cobrimento das armaduras em vigas ou pilares, há risco iminente do surgimento de corrosão, muitas com seccionamento de alguns elementos. Os estribos, em especial, ficam mais sujeitos aos danos por corrosão e a recomposição dos mesmos é feita, na prática das obras, adotando-se várias soluções que merecem estudos para avaliação. Assim, a presente pesquisa teve como objetivo verificar a eficiência e a viabilidade de diferentes técnicas de recuperação de estribos em pilares de concreto armado produzidos em escala reduzida. Na fase experimental foram produzidos 26 modelos padrões com dimensões de seção transversal de 10 cm x 20 cm com altura igual a 65 cm. Outros parâmetros também foram considerados. Dos 26 pilares produzidos, 6 foram utilizados como referência e 20 deles como de recuperação, os quais foram provocadas perdas de seção nos quatros estribos centrais em uma das faces laterais dos pilares. Consequentemente, foram realizados os processos de recuperação para os mesmos. Os ensaios realizados em uma prensa permitiram aplicar a força de compressão até o rompimento dos pilares. Realizado os ensaios dos pilares de recuperação e comparando com os modelos de referência, pode-se avaliar que os modelos obtiveram comportamentos e desempenhos diferenciados. Análises visuais dos pilares rompidos, em conjunto com a análise das cargas de ruptura mostram o comportamento diferenciado dos estribos em cada método de recuperação, porém verificou-se a eficiência dos métodos para situações de recuperação de estribos.

Palavras-chave: Corrosão; Estribos; Pilares; Recuperação.

¹ Engenheiro Civil, UNIVALI, CttMar curso de Engenharia Civil

² M. Eng. Civil, UNIVALI, curso de Engenharia Civil



EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE ESTRIBOS EN PILARES DE CONCRETO ARMADO

Matheus Rebello³

matheusrebello@hotmail.com

André Matte Sagave⁴

sagave@univali.br

AREA: MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN

Resumen

Cuando no hay un control riguroso en la producción de estructuras, como ocurre con el cubrimiento de las armaduras en vigas o pilares, hay riesgo inminente del surgimiento de corrosión, muchas con seccionamiento de algunos elementos. Los estribos, en especial, quedan más susceptibles a los daños por corrosión y la recomposición de los mismos está hecha, prácticamente en las obras, utilizándose varias soluciones que merecen estudios para evaluación. Así, esta investigación tuvo como objetivo verificar la eficiencia y la viabilidad de diferentes técnicas de recuperación de estribos en pilares de concreto armado producidos en escala reducida. En la fase experimental fueron producidos 26 modelos padrones con dimensiones de sección transversal de 10 cm x 20 cm con altura igual a 65 cm. Otros parámetros también fueron considerados. De los 26 pilares producidos, 6 fueron utilizados como referencia y 20 de estos como de recuperación, en los cuales fueron provocadas pérdidas de sección en los cuatro estribos centrales en una de las faces laterales de los pilares. Consecutivamente, fueron realizados los procesos de recuperación y comparando con los modelos de referencia, fue posible evaluar que los modelos obtuvieron comportamientos y desempeños diferenciados. Análisis visuales de los pilares rotos, en conjunto con el análisis de las cargas de ruptura muestran el comportamiento diferenciado de los estribos en cada método de recuperación, pero se verificó la eficiencia de los métodos para situaciones de recuperación de estribos.

Palabras clave: Corrosión; Estribos; Pilares; Recuperação.

³ Engenheiro Civil, UNIVALI, CttMar curso de Engenharia Civil

⁴ M. Eng. Civil, UNIVALI, curso de Engenharia Civil

1 Introdução

No estudo de patologia das construções uma vasta área pode ser abrangida, dentre as quais encontra-se o problema de corrosão de armaduras. Este aspecto, dentro do estudo das manifestações patológicas é de grande importância, sobretudo em regiões litorâneas, onde a incidência de problemas é de grande intensidade e frequência em função da agressividade ambiental.

Para prevenção e correto funcionamento de uma estrutura, a norma NBR 15575-2:2013 afirma que os elementos que fazem parte do sistema estrutural, os quais asseguram a estabilidade global da edificação, devem ser projetados e construídos sendo previsto as condições ambientais do local e quando utilizados conforme em projeto e submetidos a intervenções periódicas de manutenção e conservação, devem manter sua capacidade funcional durante toda a vida útil de projeto.

Em estruturas de concreto armado são relativamente frequentes as situações em que há necessidade de reposição de barras no elemento, danificadas ou seccionadas pela ação da corrosão. As barras existentes perdem parte de sua seção original e necessitam de complementação para que as condições de segurança e desempenho sejam restabelecidas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Enfatiza-se que o entendimento adequado da causa do problema e suas implicações para realizar determinado serviço são de extrema importância, pois segundo Helene (1992, p. 203), “para cada tipo de problema pode haver mais de uma solução e mais de um procedimento de correção, que será adotado em função de fatores técnicos e econômicos”.

Neste contexto, dentre as armaduras existentes nos elementos estruturais, a reposição de estribos em pilares sujeitos à recuperação podem ser feitos de diferentes formas. O desempenho da recuperação parcial com recomposição de estribos em uma das faces do pilar, implicando em emenda de diferentes maneiras dos estribos não é claramente explicado em normas brasileiras, embora seja uma alternativa muito utilizada em recuperações estruturais. Cabe o desenvolvimento de estudos de forma a contribuir para o entendimento do comportamento e desempenho de procedimentos de recuperação de estribos em estruturas de concreto armado.

2 Técnicas de recuperação de armaduras de concreto armado

A qualidade dos serviços de recuperação e/ou de reforço de estruturas de concreto depende da análise precisa das causas que os tornaram necessários e o estudo detalhado dos efeitos produzidos. Definidos estes dois pontos, inicia-se a escolha da técnica adequada, que inclui a cuidadosa seleção dos materiais e equipamentos a serem empregados e mesmo da mão-de-obra necessária para execução do serviço (SOUZA; RIPPER, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), a técnica de adição de novas barras de aço nos elementos estruturais é de um nível de detalhamento bastante elevado, pois se não houver a mais cuidadosa avaliação da melhor forma para arranjá-las, poder-se-á introduzir um fator complicador no trabalho de recuperação, implicando diretamente no bom resultado final, principalmente no quesito da durabilidade. A complementação de armaduras está representada na Figura 1.



Figura 1: Reposição da seção original de aço por adição de novas barras. Fonte: Autor, 2017, baseado em SOUZA; RIPPER, 1998, p. 143

em que:

A_s – área de aço; \varnothing_s – diâmetro da barra de aço original;
 $A_{s,corr}$ – área de aço corroída; \varnothing_{ref} – diâmetro da barra de aço de
 $A_{s,ref}$ – área de aço de complementação; complementação.

2.1 Etapas de recuperação

As etapas de restauração das armaduras excessivamente danificadas são:

1. Escarificar a estrutura de concreto armado degradada de fora para dentro;
2. Realizar cortes em ângulos retos;
3. Fazer a limpeza da armadura com processo de corrosão;
4. Realizar a reconstituição das juntas de forma global;
5. Deverá ser realizada uma análise apurada da invariável redução de seção transversal das armaduras degradadas;
6. Quando for realizada solda na recuperação das estruturas de concreto armado, a mesma deverá ser sempre à base de eletrodos. (SÁLIBA JÚNIOR, 2008).

3 Dimensionamento dos pilares em escala reduzida

Os ensaios nos pilares foram realizados em um prensa com curso para aplicação de carga limitada ao comprimento de 70 cm, devido a isso, a produção dos mesmos não pode seguir as definições geométricas prescritas na NBR 6118:2014. Para os pilares, foram então adotados uma seção transversal de 10x20 cm e altura de 65 cm, como apresentado na Figura 2.

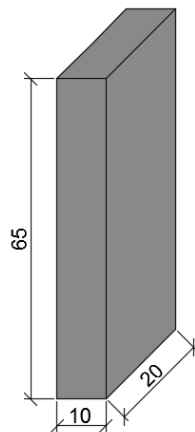


Figura 2: Dimensões do pilar em escala reduzida (medidas em cm). Fonte: Autor, 2017.

Para realização dos ensaios, os pilares foram submetidos à compressão axial, por meio da aplicação de uma carga concentrada, utilizando-se a prensa com capacidade de 100 toneladas.

4 Procedimentos de ensaios

Como referência, foram produzidos 3 modelos de pilares com diferentes tipos de espaçamentos entre estribos, como base para verificação do comportamento do pilar com a variação dos espaçamentos entre estribos.

Todo o trabalho foi realizado usando-se armaduras produzidas para um pilar chamado de referência 1, conforme apresentado na Figura 3. Outros dois modelos chamados de referência 2 e referência 3 foram produzidos com redução do número de estribos e consequente aumento do espaçamento entre os mesmos, conforme mostrado na Figura 4 e na Figura 5. Estes três modelos foram adotados de forma a permitir uma avaliação dos pilares produzidos com os modelos de recuperação.

Estes três modelos de referência serviram como parâmetro para comparação do desempenho e comportamento da ruptura de outros 05 modelos de pilares preparados com diferentes técnicas de recuperação de estribos propostos e estudados neste trabalho.

Para os modelos de recuperação a concretagem foi realizada em duas etapas, sendo a primeira, mantendo-se parte dos estribos e armadura longitudinal aparentes, de forma a permitir uma intervenção de recuperação.

Nestes modelos foi simulado um seccionamento dos estribos com o uso de um discos de corte diamantado. O seccionamento foi realizado nos 4 estribos centrais com remoção de 5,0 cm de cada estribo, conforme mostrado na Figura 6.

Após o seccionamento, as diferentes formas de recomposição dos estribos foram realizadas, seguindo-se de etapas de recomposição da seção de concreto com uso de graute cimentício. O grauteamento foi realizado sem uso de ponte de aderência, porém a superfície de contato foi previamente lixada/escovada com escova de cerdas de aço e umedecida até a condição saturada, superfície seca conforme orientação do fabricante do graute. Os pilares foram mantidos em condição de ambiente de laboratório até a data de ensaio.

Antes dos procedimentos de recuperação, todos os pilares tiveram um período de cura de 14 dias após concretados, armazenados em ambiente protegido. Para cada modelo de recuperação foram moldados 4 pilares, resultando em um total de 20 pilares de recuperação. Já para os modelos de referência foram produzidos 2 pilares por modelo, totalizando 6 pilares de referência.

Para todos os pilares produzidos era desejado uma resistência mínima aos 28 dias de 30MPa, com um abatimento (slump) fixado em (10 ± 2) cm, classificando o concreto utilizado como sendo da classe S100, segundo a NBR 8953:2015.

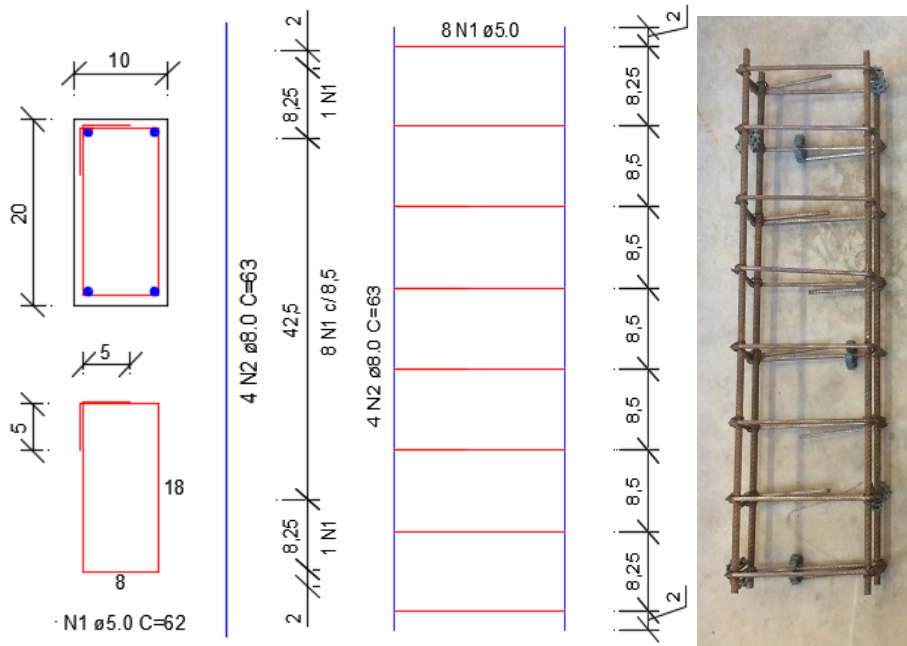


Figura 3: Detalhamento de armaduras dos pilares de referência 1. Fonte: Autor, 2017.

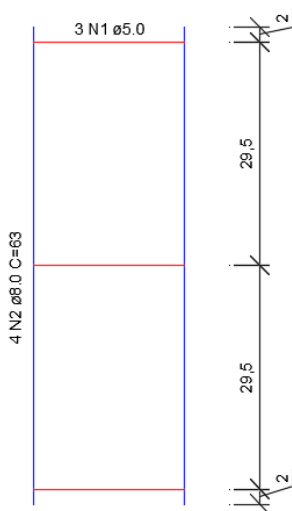


Figura 4: Detalhe da armação do pilar 2 (Referência). Fonte: Autor, 2017.

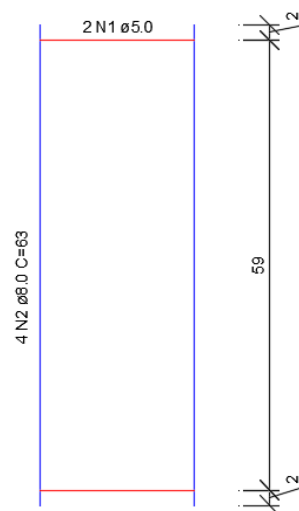


Figura 5: Detalhe da armação do pilar 3 (Referência). Fonte: Autor, 2017.

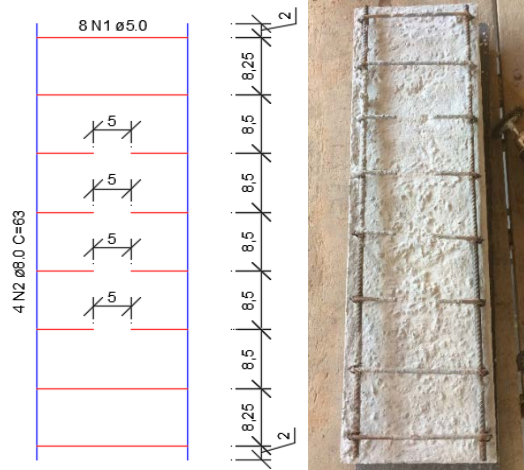


Figura 6: Detalhe da armação dos pilares de recuperação, com perda de seção dos estribos. Fonte: Autor, 2017.

Os modelos de recuperação de estribos adotados estão apresentados nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11, onde foram adotadas técnicas de transpasse, transpasse com perfuração do concreto, dobras e ancoragem química e solda.

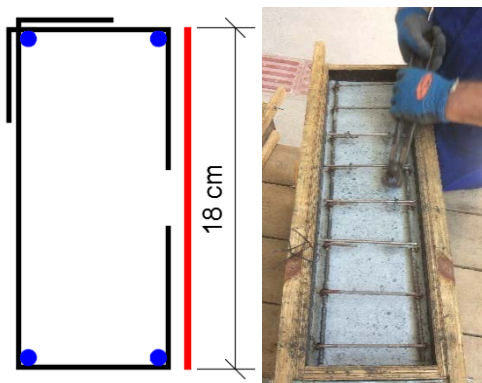


Figura 7: Recuperação do modelo 4. Transpasse simples com amarração do estribo com arame recozido. Fonte: Autor, 2017.

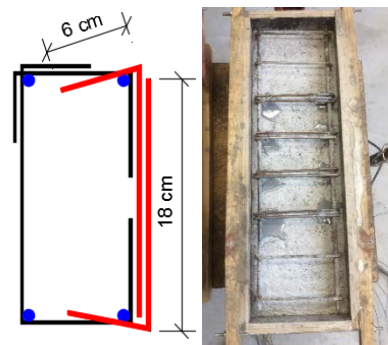


Figura 8: Recuperação do modelo 5. Armaduras de estribo ancoradas com chumbador químico e traspasadas pelas laterais do estribo seccionado e amarradas com arame recozido. Fonte: Autor, 2017.

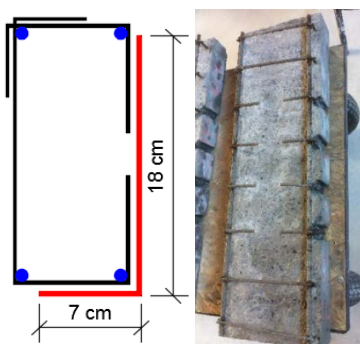


Figura 9: Recuperação do modelo 6. Corte da face lateral do pilar para ancoragem do estribo com o grauteamento e amarração com arame recozido. Fonte: Autor, 2017.

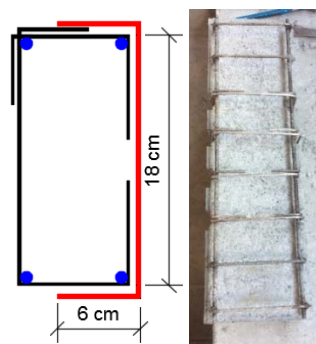


Figura 10: Recuperação do modelo 7. Corte das faces laterais do pilar para ancoragem do estribo com o grauteamento e com arame recozido. Fonte: Autor, 2017.

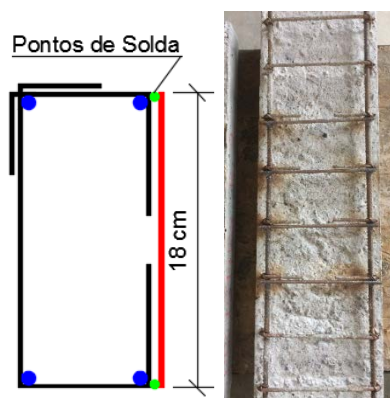


Figura 11: Recuperação do modelo 8. Execução de pontos de solda. Fonte: Autor, 2017.

Obs.: A opção pelo ponto de solda foi adotada em detrimento ao comprimento de cordão de solda conforme previsto na normalização brasileira, para fins de avaliação de uma situação mais crítica de ensaio, com enfraquecimento do sistema.

Após os preparos de todos os pilares, os mesmos foram posicionados na prensa de ensaio, com capacidade de 100 ton. A aplicação de carga foi realizada de forma contínua, sendo observadas a cada incremento a ocorrência de fissuras. A carga máxima de ruptura era anotada para comparação de perda ou não da capacidade resistente de cada pilar de recuperação em comparação aos pilares de referência.

Após a ruptura, continuava-se a aplicação de carga, de forma a aumentar o esmagamento do concreto e danos às armaduras, procurando-se evidenciar o comportamento de cada tipo de recuperação proposto e a eficácia dos mesmos.

Na Figura 12 pode ser observado o ensaio realizado no modelo de recuperação 07, em que se pode verificar o esmagamento do concreto e exposição das armaduras para permitir uma análise visual. Assim pode-se observar quando houve danos aos estribos de recuperação, estribos não recuperados e nas armaduras longitudinais.

A análise dos dados foi feita mediante a análise visual, análise de valores de resistência por simples comparação de resultados e análise estatística por comparação múltipla de médias. Foi adotado para comparação estatística o método de Duncan.



Figura 12: Ensaio realizado no pilar do modelo de recuperação 7.

5 Análise e discussão dos resultados

Realizados os ensaios dos modelos de referência e recuperação pode-se realizar uma análise do comportamento dos pilares. A tabela 1 mostra as resistências médias obtidas nos ensaios de compressão dos pilares.

Tabela 1: Resistência média dos modelos ensaiados.

Modelos	Resistência Média (MPa)
P1 (referência)	30,7
P2 (referência)	28,8
P3 (referência)	31,2
P4	31,8
P5	26,1
P6	28,9
P7	25,8
P8	26,5

Analisando os valores de resistência e os ensaios executados, pode-se realizar um gráfico para verificar a ocorrência de danos nas armaduras longitudinais, nos estribos sem recuperação e nos estribos de recuperação. O gráfico da Figura 13 mostra o valor percentual de estribos e armaduras longitudinais em que foram observados problemas (comparação direta em relação ao nº total de cada tipo de armadura).

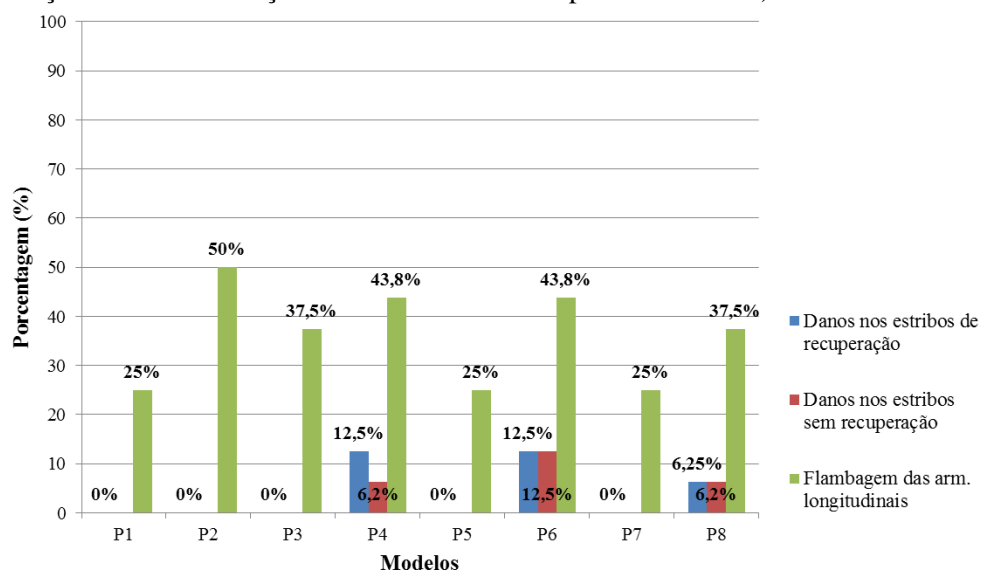


Figura 13: Gráfico da ocorrência de danos nos elementos dos modelos.

Analisando o gráfico, pode-se observar uma variação de resistência de até 6 MPa entre a menor média das resistências e a maior, porém, com a análise estatística pode-se verificar que os valores de resistência nos pilares ensaiados não podem ser considerados diferentes.

Para a análise visual, após o ensaio, realizou-se a escarificação manual dos pilares nos pontos onde o concreto e o graute apresentavam rupturas e/ou fissurações, a fim de analisar e quantificar a ocorrência de danos nas armaduras longitudinais, estribos sem recuperação e estribos de recuperação. Com a visualização dos ensaios e avaliação dos pilares, percebeu-se que para os modelos de referência 1, 2 e 3, a utilização do espaçamento de

estribos prescritos pela NBR 6118:2014 é fundamental para a ocorrência de menores comprimentos de flambagem, assim como para o confinamento do concreto. Pode-se perceber que no modelo 1, devido ao correto espaçamento dos estribos, houve um menor comprimento e quantidade de flambagens de armaduras, bem como uma menor ruptura no concreto, devido ao seu confinamento. Já nos modelos 2 e 3, identificam-se maiores comprimentos e quantidades de armaduras flambadas, assim como um maior rompimento no elemento em si.

Em relação aos pilares de recuperação, por meio da análise dos dados de ensaios de resistência e comportamento das armaduras de recuperação, considerando-se que estatisticamente as resistências não podem ser consideradas diferentes, as interpretações dos comportamentos das armaduras devem ser analisadas para que se possa traçar um perfil de comportamento e de diferenciação entre os modelos estudados.

Em linhas gerais, pode-se dizer que os pilares com as recuperações 5 e 7 tornam-se os meios de recuperações mais eficientes, mesmo que apresentando visualmente menores valores médios de resistência. Esta conclusão se deve devido às três análises feitas em relação à flambagem de armaduras longitudinais, danos nos estribos sem recuperação e danos nos estribos de recuperação.

Pode-se observar nos gráficos de ocorrência de flambagem das armaduras longitudinais que para estes dois modelos, houve a menor condição de danos aos estribos, tanto de recuperação, como nas armaduras longitudinais. Nos demais modelos foram observados problemas de flambagem e danos aos estribos de recuperação e não recuperados.

Contudo, o objetivo principal do estudo foi avaliar a eficiência e a viabilidade de diferentes tipos de recuperações de estribos em pilares de concreto armado, utilizando métodos de recuperação, entende-se que, considerando as limitações imposta aos modelos estudados, o objetivo foi atendido de forma satisfatória. Conseguiu-se estabelecer um comportamento de resistência para pilares curtos com diferentes tipologias de recuperação de estribos contribuindo para os procedimentos técnicos de recuperação de estruturas com danos aos estribos. Porém, por o estudo se tratar de pilares curtos, tais ensaios executados podem ter sido prejudicados. A escolha da técnica dependerá ainda da avaliação de profissional habilitado, de forma que se possa indicar com eficácia e segurança os procedimentos adequados de reposição de estribos.

Bibliografia

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte2: Requisitos para os sistemas estruturais. 4 ed. Rio de Janeiro, 2013, 31 p.
- (2) SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.
- (3) HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- (4) SALIBA JÚNIOR, Clémenceau Chiabi. Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras. **Ibape-mg**, Minas Gerais, 1998.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos e estruturas de concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.