



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRENO ALMEIDA NOBRE

DETERMINAÇÃO DE INDICADORES PARA RECUPERAÇÃO DE LAJES
MACIÇAS: ESTUDO DE CASO

FORTALEZA
2019

BRENO ALMEIDA NOBRE

DETERMINAÇÃO DE INDICADORES PARA RECUPERAÇÃO DE LAJES
MACIÇAS: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N671d Nobre, Breno Almeida.

Determinação de indicadores para recuperação de lajes maciças : estudo de caso /
Breno Almeida Nobre. – 2019.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

1. Análise de custos. 2. Impacto no cronograma. 3. Recuperação de laje de concreto
armado. I. Título.

CDD 620

BRENO ALMEIDA NOBRE

DETERMINAÇÃO DE INDICADORES PARA RECUPERAÇÃO DE LAJES
MACIÇAS: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 26/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Mylene Melo Vieira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Lucas Feitosa de Albuquerque Lima Babadopolus
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido chegar até aqui e ter conseguido vencer todos os obstáculos para tal.

Aos meus pais (Adisio e Fátima), por todos os valores a mim ensinados e por sempre me apoiarem em minhas decisões, orientando e aconselhando.

A minha namorada (Rayanne) pelo apoio, conselhos e paciência durante essa caminhada.

Ao meu orientador (Professor Eduardo), pela oportunidade de adquirir conhecimento ao seu lado e por me acolher na execução deste trabalho.

A Professora Mylene, pelos ensinamentos e recomendações para que o trabalho fosse concluído da melhor forma.

Aos amigos e colegas de turma, com quem dividi alegrias, tristezas, sucessos e frustrações, por todo o tempo convivido e pelas experiências propiciadas.

A todos os professores, pelos ensinamentos e pelo conhecimento adquirido durante toda a jornada como aluno da graduação.

A Universidade Federal do Ceará, por ter propiciado uma excelente estrutura, que muito contribuiu para todo o aprendizado.

Às demais pessoas que não foram mencionadas que de alguma forma torceram e/ou contribuíram para que esse trabalho fosse realizado com sucesso.

A todos, o meu muito obrigado.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

Martin Luther King

RESUMO

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado podem ser oriundas de falhas nas diversas fases que envolvem desde a concepção do projeto, escolha dos materiais, execução, bem como a manutenção da estrutura. Este estudo apresenta soluções empregadas na recuperação estrutural, com enfoque prático por meio de um estudo de caso. O objetivo da pesquisa é o estudo comparativo do impacto sobre o desenvolvimento da obra de duas técnicas de recuperação de lajes maciças de concreto armado que apresentaram, após a execução, resistências à compressão do concreto inferiores às de projeto. Para a análise, composições dos custos unitários de insumos e serviços por metro quadrado de recuperação das lajes foram desenvolvidas e o impacto dos serviços de recuperação no cronograma físico da obra foi detalhado e calculado. Como conclusão, uma análise de custos e impacto no cronograma físico da obra, bem como a eleição da melhor técnica a ser aplicada são apresentadas.

Palavras-chave: Análise de custos, impacto no cronograma, recuperação de laje de concreto armado.

ABSTRACT

The damages in concrete structures can be generated by failures in the various stages involving since the conception of the design, the selection of the materials, the execution, as well as the maintenance of the structure. This study focusses on applied solutions in structural rehabilitation with a practical approach by means of a case study. The objective of the research is a comparative study regarding the impact on the development of the work, considering two distinct techniques of rehabilitation of solid reinforced concrete slabs which presented after execution compressive concrete strength smaller than the design values. For the analysis, the composition of the unitary costs of materials and services, per square meter of rehabilitated slab was developed. The impact of the services of rehabilitation of the slabs on the physical schedule of the work was also calculated and detailed. In conclusion, an analysis of costs and impact on the physical schedule of the work, as well as the suggestion of the best technique to be applied are presented.

Keywords: Cost analysis, impact on the schedule, rehabilitation of reinforced concrete slabs.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Técnica de injeção de fissura | 22 |
| Figura 2 - Reparo por grampeamento | 23 |
| Figura 3 - Adição de novas barras em uma viga afeada por corrosão | 24 |
| Figura 4 - Luva para emenda de barras de aço | 25 |
| Figura 5 - Ancoragem de barra de aço em concreto utilizando resina | 26 |
| Figura 6 - Aplicação de concreto projetado | 27 |
| Figura 7 - Colagem de chapa metálica em viga | 28 |
| Figura 8 - Reforço por adição de chapas metálicas..... | 28 |
| Figura 9 - Sistema de aplicação das folhas flexíveis de CFRP | 29 |
| Figura 10 - Apicoamento manual | 31 |
| Figura 11 - Apicoamento mecanizado | 31 |
| Figura 12 - Limpeza por aplicação de jato de água | 32 |
| Figura 13 - Aplicação de protensão exterior..... | 34 |
| Figura 14 - Tipologia do pavimento estudado | 38 |
| Figura 15 - Concreto com característica friável | 40 |
| Figura 16 - Demolição da laje..... | 41 |
| Figura 17 – Concretagem da nova da laje..... | 42 |
| Figura 18 - Preparo da laje para recebimento do concreto | 43 |
| Figura 19 – Recuperação da laje com concreto auto adensável..... | 44 |
| Figura 20 - Gráfico comparativo de prazos de execução das alternativas | 47 |
| Figura 21 - Gráfico comparativo de grupos de custo para demolição e reconstrução | 51 |
| Figura 22 - Gráfico comparativo de grupos de custo para recuperação com concreto auto adensável..... | 54 |
| Figura 23 - Gráfico comparativo de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável..... | 55 |
| Figura 24 - Gráfico comparativo por grupos de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável..... | 56 |
| Figura 25 - Gráfico comparativo de composições de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável | 59 |
| Figura 26 - Gráfico comparativo de recursos humanos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Resultados do controle tecnológico | 45 |
| Tabela 2 - Duração da solução de demolição e reconstrução de laje..... | 46 |
| Tabela 3 - Duração da solução de recuperação da laje com concreto auto adensável | 47 |
| Tabela 4 - Custos de mão de obra operacional para demolição e reconstrução | 49 |
| Tabela 5 - Custos de materiais e serviços para demolição e reconstrução | 48 |
| Tabela 6 - Custos de mão de obra improdutivo para elevação de alvenaria | 49 |
| Tabela 7 - Custos de mão de obra de administração para demolição e reconstrução | 50 |
| Tabela 8 - Valores totais por grupos de custo | 50 |
| Tabela 9 - Custos de mão de obra operacional para recuperação com concreto auto adensável..... | 52 |
| Tabela 10 - Custos de materiais e serviços para recuperação com concreto auto adensável..... | 53 |
| Tabela 11 - Custos de mão de obra de administração para recuperação com concreto auto adensável..... | 53 |
| Tabela 12 - Valores totais por grupos de custo | 54 |
| Tabela 13 - Cálculo da composição de custos para demolição e reconstrução..... | 57 |
| Tabela 14 - Cálculo da composição de custos para recuperação com concreto auto adensável..... | 58 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentar |
| VU | Vida Útil |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|---|
| f_{ck} | Resistência característica do concreto à compressão |
| m | Metro |
| cm | Centímetro |
| mm | Milímetro |
| °C | Graus Celsius |
| % | Porcentagem |
| Pa | Pascal |
| MPa | Megapascal |
| A_s | Área de aço |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Objetivos | 17 |
| <i>1.1.1 Objetivo geral</i> | <i>17</i> |
| <i>1.1.2 Objetivos específicos</i> | <i>17</i> |
| 1.2 Justificativa | 18 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 2.1 Recuperação e reforço estrutural | 19 |
| <i>2.1.1 Tratamento de fissuras</i> | <i>20</i> |
| <i>2.1.1.1 Injeção de fissuras</i> | <i>21</i> |
| <i>2.1.1.2 Costura de fissuras (Grampeamento)</i> | <i>22</i> |
| <i>2.1.2 Técnicas de reforço e recuperação</i> | <i>23</i> |
| <i>2.1.2.1 Reforço por complementação ou adição de armaduras</i> | <i>24</i> |
| <i>2.1.2.2 Reforço com chapas ou perfis metálicos</i> | <i>27</i> |
| <i>2.1.2.3 Reforço com polímero reforçado com fibra de carbono</i> | <i>29</i> |
| <i>2.1.2.4 Reforço utilizando concreto auto adensável</i> | <i>30</i> |
| <i>2.1.2.5 Uso de protensão exterior</i> | <i>33</i> |
| <i>2.1.2.6 Demolição e reconstrução</i> | <i>34</i> |
| 3 ESTUDO DE CASO | 35 |
| 3.1 Metodologia da pesquisa | 35 |
| <i>3.1.1 Metodologia de análise dos prazos de execução</i> | <i>35</i> |
| <i>3.1.2 Metodologia de análise dos custos de execução</i> | <i>36</i> |
| <i>3.1.3 Metodologia de cálculo das composições de custos unitários</i> | <i>37</i> |
| 3.2 Contextualização do estudo | 37 |
| <i>3.2.1 Demolição e reconstrução</i> | <i>39</i> |
| <i>3.2.2 Recuperação com concreto auto adensável</i> | <i>42</i> |
| 3.3 Análise dos prazos de execução | 45 |
| <i>3.3.1 Demolição e reconstrução</i> | <i>45</i> |
| <i>3.3.2 Recuperação com concreto auto adensável</i> | <i>46</i> |
| <i>3.3.3 Comparativo entre as técnicas de recuperação</i> | <i>47</i> |
| 3.4 Análise dos custos de execução | 48 |
| <i>3.4.1 Demolição e reconstrução</i> | <i>48</i> |
| <i>3.4.2 Recuperação com concreto auto adensável</i> | <i>51</i> |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.3 Comparativo entre os métodos..... | 55 |
| 3.5 Cálculo das composições de custos unitários..... | 56 |
| 3.5.1 Demolição e reconstrução..... | 57 |
| 3.5.2 Recuperação com concreto auto adensável..... | 58 |
| 3.5.3 Comparativo entre os métodos..... | 58 |
| 4 CONCLUSÃO | 61 |
| 5 REFERÊNCIAS..... | 62 |
| ANEXO A – TABELA DE CUSTOS FORNECIDOS PELA CONSTRUTORA | 64 |

1 INTRODUÇÃO

O concreto configura-se como um dos materiais mais utilizados na construção civil. Consiste em uma mistura de cimento, areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo) e água, que apresenta excelentes características de resistência e durabilidade, além de não apresentar custos elevados, fator que justifica seu amplo uso.

“Desde o início do emprego do concreto armado, criado na França em 1849 por Monier, as edificações, obras de arte, rodovias, cais e demais construções civis em concreto armado ou protendido têm resistido às mais variadas sobrecargas e ações do meio ambiente” (HELENE, 1992).

Com o passar dos anos esse material foi evoluindo à medida que as necessidades de aplicação foram aumentando. Com isso surgiu o concreto com incremento de barras de aço (concreto armado e concreto protendido) e os concretos com adições que melhorassem certas propriedades, como o concreto impermeabilizante, o concreto auto drenante, o concreto auto adensável, entre outros.

Apesar dos excelentes parâmetros que apresenta o concreto, seu uso está condicionado a determinados cuidados desde a fase de projeto até o momento de execução e pós-execução a fim de se garantir que a peça possua as características de resistência e durabilidade que se esperam. Quando existem falhas em algumas dessas fases podem surgir defeitos ou anomalias, chamados de manifestações patológicas, que a depender da gravidade ou do momento em que foram constatadas, seus custos de recuperação podem se alterar.

Para Helene (1992), embora o concreto possa ser considerado um material praticamente eterno – desde que receba manutenção sistemática e programada – há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção.

Durante a fase de projeto devem ser obedecidos diversos requisitos normatizados a fim de se evitar manifestações patológicas na peça concretada, sendo os principais deles valores mínimos e máximos de taxa de armadura, cobrimento, espaçamento e seções transversais das peças.

Na fase de execução deve ser garantido que o projeto, já analisado e aprovado, seja obedecido. Além disso é necessário que se faça um acompanhamento por meio de controle tecnológico, que consiste em atestar características importantes, como verificação de slump¹, por exemplo, e verificar se a resistência determinada em projeto será atendida.

Terminada a concretagem, devem ser tomados cuidados de pós-execução para garantir que as reações químicas do processo de endurecimento do concreto aconteçam da forma correta. Cuidados esses são uma cura (lançar água sobre o concreto) adequada e a retirada de fôrmas e escoramentos no tempo previsto. Com isso, há uma maior garantia que a vida útil² da peça seja cumprida.

Em caso de aparecimento de manifestações patológicas, estas devem ser tratadas adequadamente, de modo a não comprometer a capacidade resistente da estrutura, nem sua durabilidade.

Para cada tipo de manifestação, existem diversas soluções de recuperação. Dessa forma, deve-se conhecer as mesmas de modo a, durante a escolha da alternativa, minimizar os custos e os impactos que terão sobre o cronograma (em caso de ocorrerem defeitos durante a obra).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estudar o impacto de problemas estruturais durante a execução de uma obra comparando, com um enfoque prático, duas técnicas de recuperação de lajes maciças de concreto armado, sendo elas, demolição seguida de reconstrução e recuperação utilizando concreto auto adensável.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular e analisar os custos e prazos de execução das alternativas utilizadas para recuperação estrutural;

¹ Ensaio feito para verificação da trabalhabilidade do concreto fresco

² “Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção [...]” (ABNT NBR 15575-1:2013)

- Comparar os custos e prazos de execução entre as alternativas de recuperação estrutural;
- Desenvolver composições de custo unitário de materiais e serviços por metro quadrado da recuperação das lajes para cada técnica empregada;
- Comparar os custos unitários por metro quadrado de recuperação das duas técnicas utilizadas;

1.2 Justificativa

A originalidade da pesquisa está no estudo comparativo de duas técnicas de recuperação estrutural de lajes maciças de concreto armado com foco nos aspectos de custos e prazos de execução. O estudo traz um enfoque prático, apresentando ferramentas de fácil aplicação, tais como: o levantamento de custos e prazos de execução, a composição dos custos de cada técnica de recuperação utilizada e o detalhamento do impacto da recuperação estrutural no cronograma físico da obra.

Para obras de mesma tipologia da apresentada no presente estudo, em caso de manifestações patológicas e técnicas de recuperação semelhantes às analisadas, pode-se ter como base para a montagem de cronogramas e orçamentos o que será apresentado ao longo do estudo, prazos de execução e composição de custos unitários.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recuperação e reforço estrutural

“A qualidade dos serviços de recuperação ou de reforço de estruturas de concreto depende da análise precisa das causas que os tornaram necessários e do estudo detalhado dos efeitos produzidos” (SOUZA e RIPPER, 1998).

Conforme mencionado anteriormente, diversas podem ser as causas de manifestações patológicas na estrutura, que vão desde uma má elaboração de projetos, até erros durante a execução. Cabe aos profissionais, após identificado o problema, escolher a alternativa de solução mais viável técnica e economicamente para àquela situação.

Entende-se por recuperação o conjunto de técnicas que possuem finalidade de reconstituição de características, de resistência e de desempenho originais. Já reforço consiste nos procedimentos que visam o melhoramento de características da peça com o objetivo de aumento da capacidade de carga.

“As medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir pequenos reparos localizados, quanto uma recuperação generalizada da estrutura ou reforços de fundações, pilares, vigas e lajes” (HELENE, 1992).

Outro fator de caracterização dessas medidas é a profundidade necessária da intervenção, sendo divididas em rasas, para profundidades menores que 2 cm; semi profundas, para profundidades variando entre 2 cm a 5 cm; e profundas, para valores maiores que 5 cm.

Grande parte das manifestações patológicas em estruturas de concreto inicia-se com o aparecimento de fissuras nas mesmas. Logo, antes de ser aplicada qualquer técnica de reforço ou recuperação, deve-se inicialmente proceder com o correto tratamento das fissurações, de modo a garantir a correta execução de técnica de remediação do problema, bem como diminuir a ação de agentes agressivos sobre o concreto e/ou armaduras.

2.1.1 Tratamento de fissuras

“Dentre os inúmeros problemas patológicos que afetam os edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou institucionais, particularmente importante é o problema das trincas” (THOMAZ, 1989).

O tratamento das fissuras tem por objetivo criar um bloqueio à passagem de materiais deletérios (gases, líquidos, umidade) que podem ser agentes causadores de danos às estruturas.

“O tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração, ou, dito de outra forma, do tipo de fissura com que se está a lidar” (SOUZA e RIPPER, 1998).

A fissuração é o tipo de manifestação patológica mais presente em estruturas de concreto. Logo, para um correto diagnóstico de suas causas, precede-se um estudo detalhado das condições as quais a peça está inserida.

“A recuperação de componentes trincados só deverá ser procedida em função de um diagnóstico seguramente firmado, e somente após ter-se pleno conhecimento da implicação das trincas no comportamento do edifício como um todo” (THOMAZ, 1989)

As fissuras podem ter causas físicas, químicas ou mecânicas.

Por causas físicas entende-se as fissuras causadas pela retração do concreto, por variações de temperatura, fazendo a peça dilatar-se ou contrair-se, ou por excesso de carregamento.

As causas químicas estão relacionadas a reações que ocorrem no interior da peça devido a fatores internos e/ou externos. Sua ocorrência pode ser ocasionada por surgimento de etringita tardia, ataques por sulfatos e cloretos, reação álcali-agregados, hidratação da cal livre, entre outros.

Já as causas mecânicas podem ser divididas em acidentes (choques de veículos e explosões) e recalque diferencial de fundações.

Após determinada a causa da fissuração, deve-se observar se sua espessura varia ao longo do tempo, ou seja, se a mesma é ativa ou passiva.

Fissuras ativas são aquelas que possuem sua espessura variando ao longo do tempo (popularmente diz-se que a fissura está “trabalhando”). No caso das

fissuras passivas, são as que não possuem variação de abertura, sendo consideradas estáveis.

Um método prático para a distinção entre fissura ativa ou passiva, é a aplicação de um selo de gesso na superfície da fissura, que constitui-se basicamente de finas lâminas de gesso colocadas na região a qual se deseja monitorar.

A utilização de lâminas finas de gesso além de ser uma técnica simples de monitoramento de fissuras é de fácil instalação. Devido o gesso possuir baixa resistência e ser um material frágil, qualquer movimentação da fissura monitorada causará ruptura do selo (OLIVEIRA, MEDEIROS e MAZER, 2018).

“Havendo ou não atividade, sempre se pretenderá, com o tratamento, criar uma barreira ao transporte nocivo de líquidos e gases para dentro das fissuras, impedindo a contaminação do concreto e até das armaduras” (SOUZA e RIPPER, 1998).

A técnica mais adequada a ser utilizada no fechamento das fissuras depende da análise de aspectos, tais como, profundidade, espessura, atividade e forma de ocorrência da fissura.

A seguir estão mostradas as técnicas mais comumente aplicadas no tratamento de fissuras em estruturas de concreto armado.

2.1.1.1 Injeção de fissuras

Segundo Souza e Ripper (1998),

Entende-se por injeção a técnica que garante o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, independentemente de se estar injetando para restabelecer o monolitismo de fendas passivas, casos em que são usados materiais rígidos, como epóxi ou grouts, ou para vedação de fendas ativas, que são situações mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas ou poliuretânicas.

Ainda segundo os autores, fissuras com abertura superior a 0,1 mm devem ser injetadas sob pressão, podendo este processo ser feito somente por gravidade para espessuras maiores que 3,0 mm.

A Figura 1 ilustra a aplicação da técnica mencionada.

Figura 1 - Técnica de injeção de fissura



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Fissuras passivas (ou mortas) podem ser tratadas com material rígido, visto que suas partes adjacentes não estarão se movimentando. Logo, não haverá desgaste por atrito.

Fissuras ativas, devido a sua movimentação e possível desgaste das partes, devem ser tratadas com materiais flexíveis, pois os mesmos absorvem os efeitos desses movimentos.

“A injeção de resinas sintéticas, com alto poder adesivo, permite restabelecer a monoliticidade de elementos de concreto fissurados” (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.1.1.2 Costura de fissuras (Grampeamento)

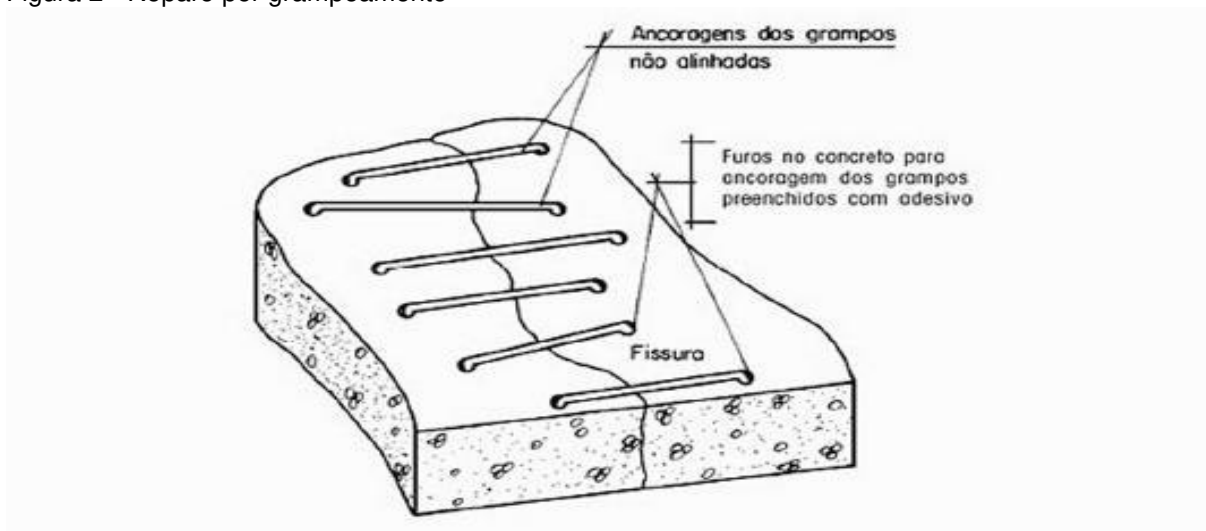
Para Souza e Ripper (1998) essa técnica de costura de fissuras é utilizada para tratamento de fissuras ativas, que ocorrem em linhas isoladas e por

deficiência localizada de capacidade resistente. Dessa forma, é conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação.

Em função do seu aspecto e de seu propósito, estas armaduras são chamadas grampos.

A Figura 2 ilustra o processo de reparo de fissuras por grampeamento.

Figura 2 - Reparo por grampeamento



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Os autores ainda explicam que a depender da configuração da peça e de como a técnica for utilizada, seu uso pode aumentar a rigidez da peça localizadamente, podendo gerar fissuras em regiões adjacentes, caso se mantenham os esforços geradores.

Em qualquer situação, e para minorar estes efeitos, os grampos devem ser dispostos de forma a não introduzirem esforços em linha, nem mesmo os de ancoragem no concreto, pelo que devem ser diferentemente inclinados em relação ao eixo da fissura e ter comprimento variável (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.1.2 Técnicas de reforço e recuperação

“A escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e

das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto da correção” (HELENE, 1992).

A depender do tipo de manifestação patológica apresentada e da localização da mesma, diversas técnicas de reforço e recuperação podem ser adotadas, devendo-se optar por aquela de menor impacto para a obra e estrutura.

2.1.2.1 Reforço por complementação ou adição de armaduras

Essa técnica consiste no acréscimo de armadura na estrutura de concreto a ser reforçada. “São relativamente frequentes as situações em que, em meio a serviços de recuperação ou de reforço de estruturas de concreto, há necessidade de aumento do número de barras existentes” (SOUZA e RIPPER, 1998).

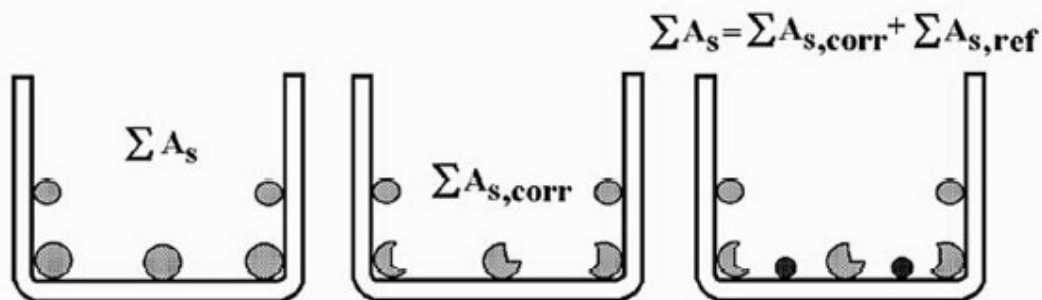
Apesar de estarem presentes em operações de reforço de estruturas de concreto armado (mudança de uso da edificação, por exemplo), as técnicas de reforço de armadura são usualmente utilizadas em reparos e recuperações de estruturas lesadas, principalmente por carbonatação e corrosão.

Alguns autores, através de estudos, chegaram à conclusão que precisa-se de adição de armadura nos seguintes casos:

- a redução de seção da barra corroída ultrapassar 15%, ou seja, $A_{s,corr} < 0,85A_s$;
- o diâmetro equivalente de todas as barras corroídas for menor que 90% do diâmetro equivalente inicial, ou seja, $\varphi_{eq} < \varphi_s$;

A Figura 3 ilustra o processo de adição de armaduras

Figura 3 - Adição de novas barras em uma viga afeada por corrosão



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

A adição de barras ao concreto armado pode ser feita por emenda ou traspasse.

No primeiro caso, uma nova barra é colocada no lugar de uma antiga, sendo as pontas das barras novas e velhas unidas por meio de soldas ou junções específicas, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Luva para emenda de barras de aço



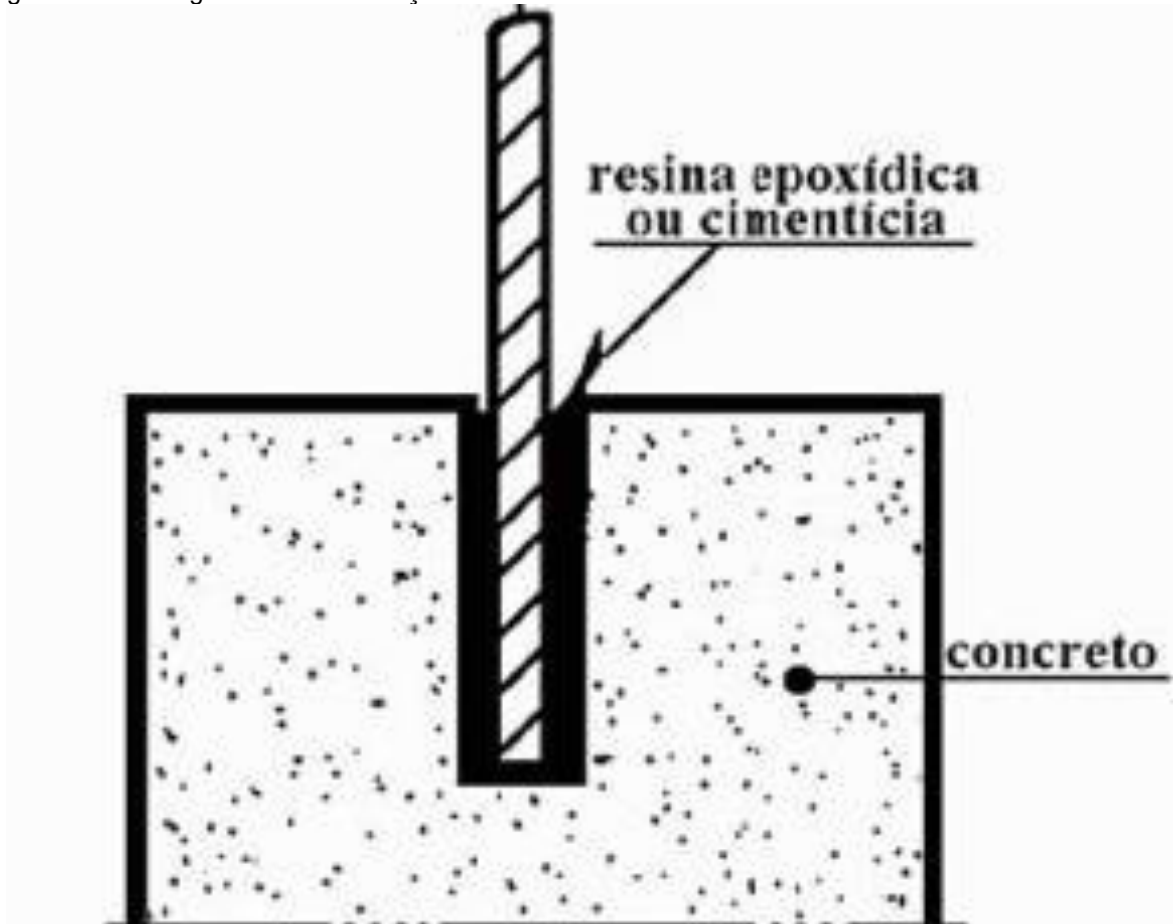
Luva tipo CCL (ideal)

Fonte: HELENE (1992)

No segundo caso, uma barra é inserida adicionalmente à estrutura, estando em contato com as existentes. A fixação dessas novas barras é feita por ancoragem, sendo estas feitas através de furos no concreto preenchidos com resina epóxi para melhor fixação.

A Figura 5 ilustra o processo de ancoragem de barras.

Figura 5 - Ancoragem de barra de aço em concreto utilizando resina



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Para que novas barras sejam inseridas na estrutura, deve-se quebrar uma parte do concreto para que se tenha acesso às barras iniciais. Dessa forma, ao final dos processos acima mencionados, deve-se recompor o concreto danificado durante a execução. Para isso pode-se optar pela colocação de fôrmas na parte inferior da laje e concretar a parte danificada através de furos na parte superior da mesma.

Devido à técnica descrita anteriormente ser de elevada dificuldade de execução, tem-se optado, para esses casos, pelo uso de concreto projetado, pois apresenta uma elevada produtividade devido sua rapidez e facilidade.

A Figura 6 ilustra a aplicação do concreto projetado.

Figura 6 - Aplicação de concreto projetado



Fonte: ECIVIL³

2.1.2.2 Reforço com chapas ou perfis metálicos

Quando se trata de adicionar capacidade resistente, uma opção muito eficiente e de rápida execução, recomendada principalmente para situações que requerem emergência ou não permitem grandes alterações na geometria das peças, é o reforço exterior por colagem – ou chumbamento – de chapas metálicas ou por chumbamento de perfis, com a ajuda de resinas injetadas (SOUZA e RIPPER, 1998).

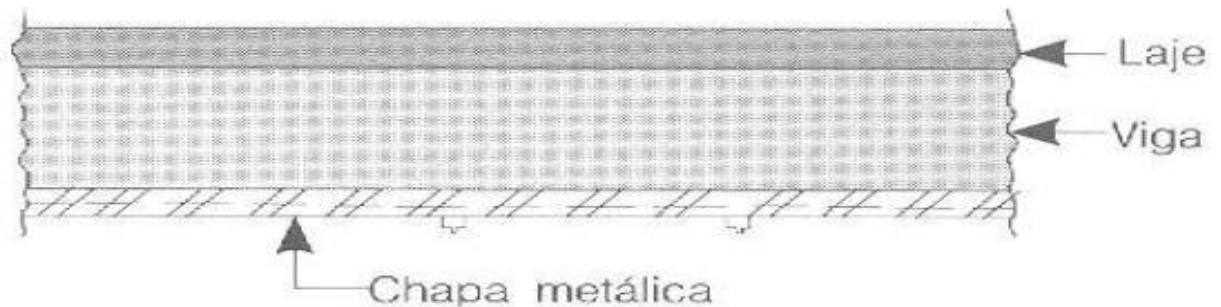
A colocação de chapas metálicas nas estruturas de concreto ocorre quando se tem a necessidade do ganho de capacidade resistente.

Essa técnica consiste na colagem e/ou chumbamento de chapas metálicas à estrutura. A colagem das peças ocorre por meio de resina epóxi, e o chumbamento ocorre por meio da inserção de parafusos e buchas expansivas na peça.

³ Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-concreto-projetado.html>>. Acesso em: 13/07/2019.

As Figuras 7 e 8 ilustram o detalhamento esquemático e a aplicação de reforço com chapa metálica em viga de concreto, respectivamente.

Figura 7 - Colagem de chapa metálica em viga



Fonte: HELENE (1992)

Figura 8 - Reforço por adição de chapas metálicas



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Devido a linearidade e retilineidade das placas, a estrutura a ser reforçada deve ser previamente limpa e planeada. Saliências e protuberâncias podem culminar no acúmulo de tensões, furando e danificando a chapa metálica, o que não é desejável.

A depender da necessidade do reforço, as chapas metálicas podem ser bastante robustas e pesadas, dificultando ou impossibilitando a sua utilização.

Nesse caso, faz-se opção por outras técnicas de menor peso específico ou dimensão.

2.1.2.3 Reforço com polímero reforçado com fibra de carbono

A tecnologia do uso de fibras de carbono foi uma contribuição trazida pelas indústrias automobilística e aeroespacial, que ganhou espaço no universo da construção civil.

As fibras de carbono podem ser utilizadas nas estruturas na forma de barras, chapas, fios ou folhas (malhas), sendo estas últimas as mais empregadas no mercado.

Sua aplicação está condicionada a aplicação de resinas poliméricas, formando o que se conhece por compósito reforçado com fibra de carbono (CFRP). A Figura 9 ilustra o procedimento de aplicação do compósito.

Figura 9 - Sistema de aplicação das folhas flexíveis de CFRP



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

O reforço estrutural com o uso das fibras se dá no sentido longitudinal das mesmas. Assim, podem ser utilizados os sistemas unidirecional, bidirecional ou multidirecional, a depender da dimensão e necessidade da situação. Para o sistema unidirecional, são coladas camadas de fibras na mesma direção; para o bidirecional,

são coladas camadas em sentidos ortogonais; já para o sistema multidirecional, são coladas camadas em diversos sentidos.

“Os compósitos de fibras de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço de construção, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração oito a dez vezes maior” (SOUZA e RIPPER, 1998).

Por conta de seu baixo peso específico e, com isso, maior facilidade de execução, o uso de fibra de carbono como alternativa de reforço de estruturas tem ganhado espaço na construção civil. Além disso, as fibras podem ser utilizadas para aumento de capacidade resistente à compressão (pilares), flexão e cisalhamento (vigas).

Pontos negativos para o uso dessa técnica são que as fibras podem ser facilmente cortadas se utilizadas em cantos acentuados, como pilares retangulares por exemplo e as mesmas não são resistentes aos raios UV, logo não devem ser utilizadas em estruturas expostas ao sol ou em fachadas, por exemplo.

2.1.2.4 Reforço utilizando concreto auto adensável

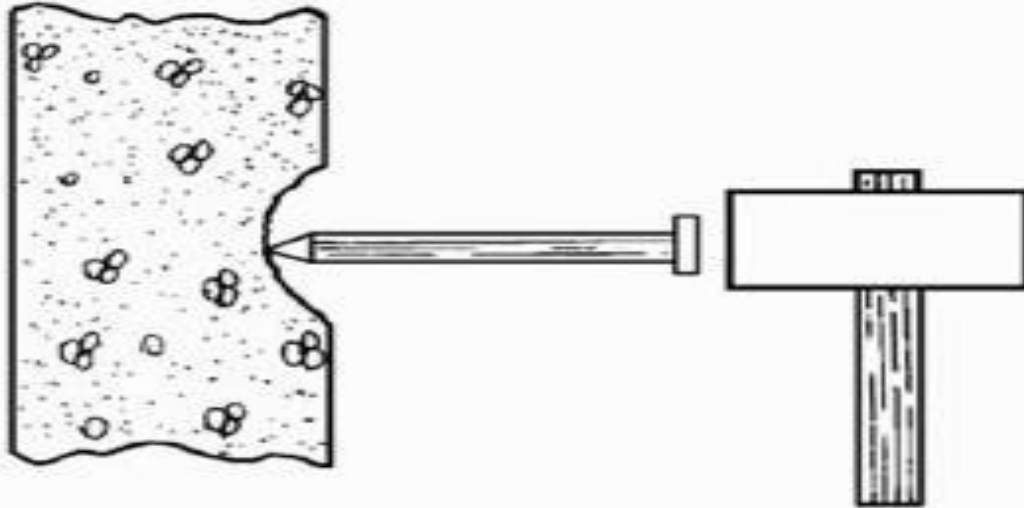
Determinadas situações de problemas estruturais requerem que seja aumentada a seção resistente de concreto. Normalmente necessita-se que o concreto de reforço possua características de fluidez tais que lhe permitam penetrar nos poros do concreto já existente, possibilitando a criação de uma ponte de aderência entre os mesmos.

Nesse contexto, surge o uso do concreto auto adensável, que consiste em um concreto com maior quantidade de finos em sua composição, melhorado com aditivos super plastificantes, que o permitem se moldar às formas, dispensando o uso de vibradores para o seu adensamento. Segundo Tutikian e Dal Molin (2015), o concreto auto adensável também pode ser utilizado com sucesso em recuperações de estruturas antigas – em que não é aconselhável a existência de vibrações – porque pode ocasionar falhas maiores ou até mesmo ruptura do elemento.

A utilização do CAA (concreto auto adensável) como material de reforço e recuperação prescinde a execução de 3 etapas na estrutura a ser reforçada. Inicialmente deve ser feito o tratamento da superfície que irá receber o CAA por meio de apicoamento, que pode ser realizado de forma manual (Figura 10) ou

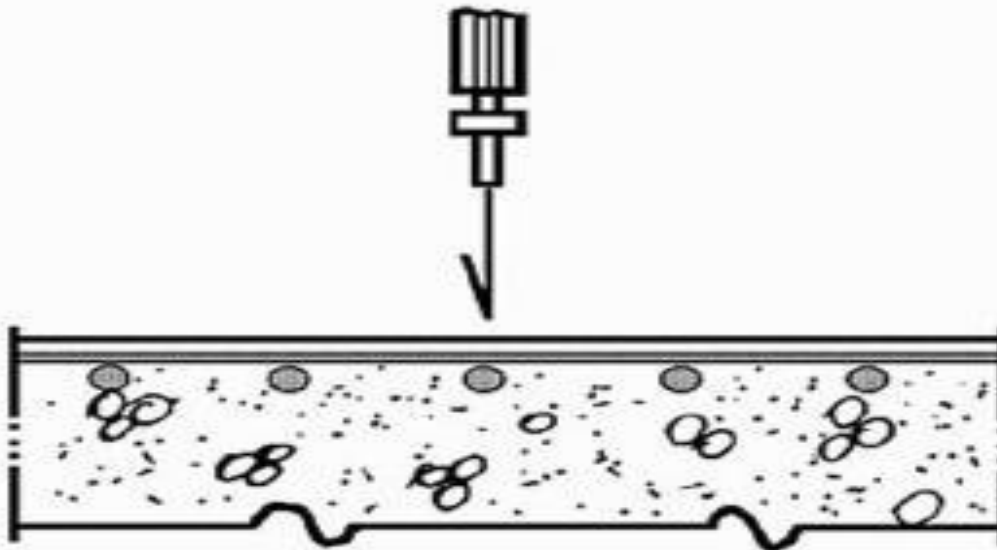
mecanizada (Figura 11). Esse procedimento serve para retirada de partes defeituosas da estrutura e também para o melhoramento das condições de aderência.

Figura 10 - Apicoamento manual



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Figura 11 - Apicoamento mecanizado

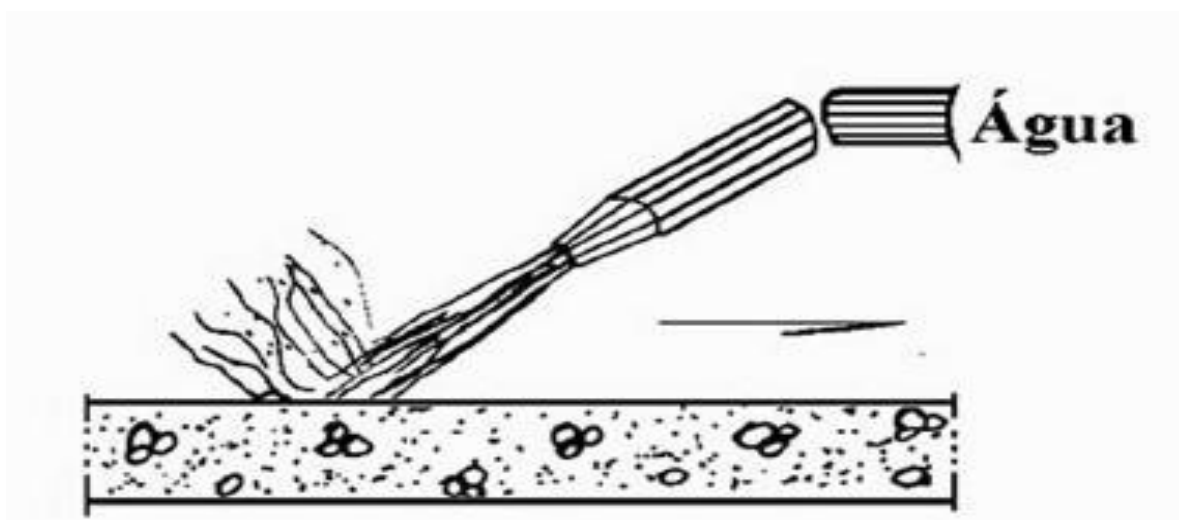


Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Os processos mecânicos devem ser sempre adotados nos casos em que a área a tratar é grande, basicamente porque o recurso a meios manuais requer mais tempo. Necessariamente, pelo trabalho que dão requerem a utilização de martelos pneumáticos ou elétricos. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Logo após feito o tratamento de superfície, deve-se lavar a estrutura com jato de água, de modo a retirar poeira e quaisquer outras substâncias presentes que possam vir a reduzir a aderência entre os materiais. A Figura 12 ilustra o procedimento de limpeza descrito.

Figura 12 - Limpeza por aplicação de jato de água



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Por fim, previamente ao lançamento do concreto auto adensável sobre a estrutura a ser reforçada, a mesma deve ser molhada de modo a saturar seus poros com água. Para Souza e Ripper (1998), trata-se de um processo preparatório de superfícies que visa garantir melhor aderência das mesmas aos concretos ou às argamassas que sobre elas serão aplicadas, como materiais complementares para restabelecimento ou alteração da geometria original das peças de concreto.

Para melhorar ainda mais as propriedades de aderência entre os concretos, pode-se adicionar sílica ativa ao traço do mesmo.

A sílica ativa é um pó fino pulverizado de tom cinza, que atua no concreto alterando suas características tanto no estado fresco quanto no estado endurecido e sua ação está diretamente ligada às suas características pozolânicas, com teores de sílica amorfa, SiO_2 , maior ou igual a 85% em sua composição, e de seu efeito microfiller, devido a partículas esféricas com diâmetro médio da ordem de $0,2 \mu\text{m}$ que, além de preencherem os vazios, colaboram para maior reatividade do material (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.1.2.5 Uso de protensão exterior

A técnica de protensão, criada por Eugène Freyssinet, foi inicialmente introduzida em estruturas de concreto armado com o objetivo de se vencer grandes vãos, visto que as estruturas convencionais possuíam limitações quanto ao tamanho (detalhes arquitetônicos) e peso de seus elementos.

Simplificadamente, a técnica consiste em pré-tracionar cordoalhas inseridas na peça, de forma que, quando da estrutura em serviço (cargas atuando), as ações geradas pela protensão eliminem (ou atenuem) os esforços de tração que surgem nas fibras inferiores de vigas e lajes (estruturas nas quais essa técnica é mais utilizada).

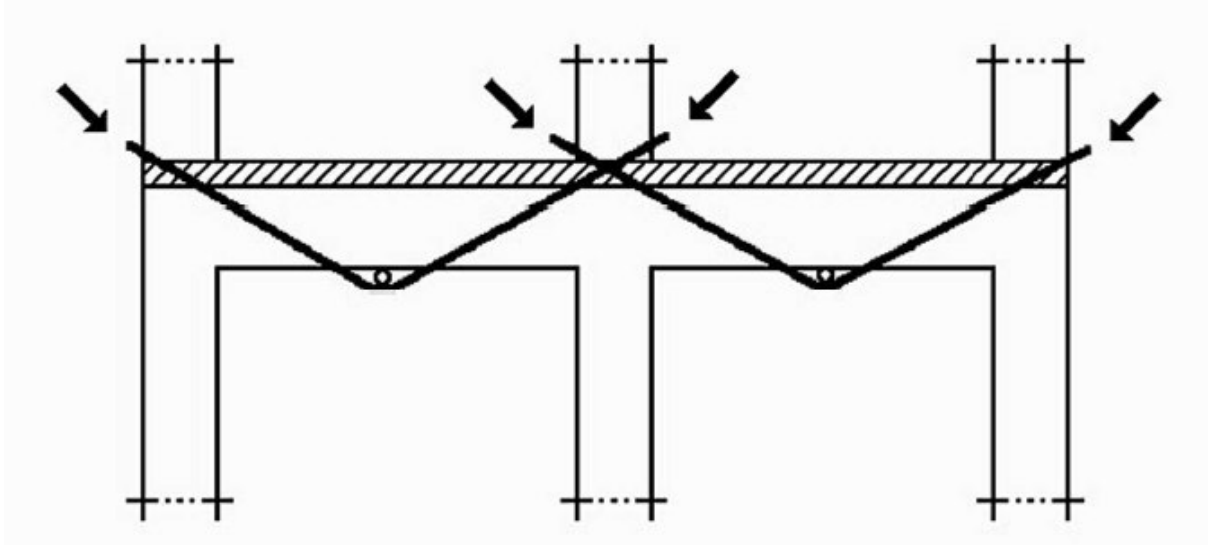
Além de os cabos serem introduzidos nas peças antes da concretagem, a protensão pode ser executada externamente à peça, principalmente quando deseje-se reforçar a mesma ou combater flechas excessivas.

Introduzir uma força exterior que seja capaz de compensar a existência de indesejáveis acréscimos de tensões interiores, ou que seja capaz de contribuir para um incremento na capacidade resistente de um determinado elemento estrutural será, talvez, em termos de concepção, a maneira mais simples de se proceder à recuperação ou ao reforço de peças de concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Entre as vantagens da protensão exterior, pode-se salientar facilidades tais como execução, substituição de cabos e possibilidade de uso pleno da capacidade existente do elemento estrutural reforçado, mesmo quando apresenta deformações.

O procedimento executivo dessa técnica consiste em criar pontos de apoio (ou pontos de inflexão) na estrutura, de forma que, quando o cabo for disposto externamente e tensionado, nesse ponto surgirá uma força vertical de sentido contrário à aplicação da carga que se quer combater (peso próprio ou sobrecargas). A Figura 13 ilustra um detalhe esquemático da técnica de reforço com o uso da protensão externa.

Figura 13 - Aplicação de protensão exterior



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998

2.1.2.6 Demolição e reconstrução

Em muitas situações, uma obra de recuperação ou reforço exige que parte da estrutura, ou mesmo que a estrutura como um todo, seja demolida, normalmente por notória incapacidade de reaproveitamento, ou, por outro lado, ainda que esteja sã, por não estar integrada num futuro processo de reconstrução ou de melhoramento. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Determinados casos de manifestações patológicas em estruturas não permitem que sejam aplicadas técnicas de reforço ou recuperação de suas partes, visto que o conjunto não apresentará, posteriormente, capacidade portante e/ou características desejáveis para o uso. Para esses casos, a única alternativa de solução possível é a demolição e reconstrução do elemento.

Para a demolição, normalmente são utilizados equipamentos pesados, como martelos pneumáticos, ou, em situações de maior porte, máquinas como retroescavadeiras, por exemplo.

A alternativa de demolição e reconstrução deve ser sempre evitada, pois acarreta em custos elevados e impede a execução de serviços posteriores naquela estrutura, necessitando que se aguarde a finalização dos serviços para o andamento dos próximos.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Metodologia da pesquisa

Para atingir os objetivos propostos no início deste trabalho, foi realizado um estudo de caso em uma obra. O estudo englobou duas técnicas de recuperação de lajes maciças de concreto armado que apresentaram, após execução, resistência à compressão inferiores às definidas em projeto. Uma análise comparativa das duas técnicas utilizadas considerou custos (materiais e serviços), bem como os efeitos nos cronograma físico da obra. Para resguardar a construtora de quaisquer problemas, não será revelado o seu nome, bem como o nome da obra em análise.

A metodologia aplicada nesse estudo foi a documentação direta, feita por meio de estudo de campo e uma análise quantitativa-descritiva. Sendo assim, serão descritas a problemática de cada laje recuperada, os custos e prazos de execução de cada alternativa, finalizando com o levantamento das composições de custos das soluções adotadas.

Por meio de visita à obra, foram feitos registros fotográficos, bem como a coleta dos dados necessários para a realização do estudo. Todos os dados referentes a custos, prazos e demais coeficientes foram fornecidos pela construtora. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão do concreto das lajes estudadas foram fornecidos pela empresa responsável pelo controle tecnológico da obra, que também não será mencionada no presente trabalho.

3.1.1 Metodologia de análise dos prazos de execução

Para a análise dos prazos de execução da recuperação estrutural das lajes, foram obtidos dados, fornecidos pela construtora responsável pela obra, referentes às durações de cada serviço, à sequência de ocorrência, bem como a relação entre eles, ou seja, a necessidade ou não de finalizar um serviço para iniciar outro. Dessa forma, o prazo total de cada alternativa foi calculado somando-se cada contribuição e observando seus períodos de início e fim. Vale ressaltar que os prazos serão mostrados por dias de serviço (dias úteis), e não dias corridos, fator importante que será mencionado no cálculo dos custos de execução mais adiante.

3.1.2 Metodologia de análise dos custos de execução

A análise dos custos de recuperação das lajes foi dividida em 3 grupos de custos principais: mão de obra operacional; materiais e serviços; e mão de obra administrativa. Por mão de obra operacional entende-se todos os profissionais que efetivamente trabalharam executando o serviço em campo. São exemplos: pedreiros, serventes, carpinteiros, entre outros. Por mão de obra de administração entende-se todos os profissionais que trabalharam fiscalizando ou dando apoio técnico e/ou administrativo para a execução dos serviços. São exemplos: engenheiro, mestre de obras e almoxarife. Materiais e serviços correspondem aos custos de materiais, equipamentos e serviços terceirizados utilizados durante os processos.

Para os custos de mão de obra operacional, a construtora forneceu o número de profissionais utilizados por função durante os dias de execução das soluções adotadas, bem como os salários vigentes no período. Dessa forma, pôde-se calcular os custos diários de cada profissional.

Para os custos de mão de obra de administração, foram fornecidos pela construtora, além dos salários vigentes, índices percentuais diários, que correspondiam às proporções de tempo gastos por esses profissionais para fiscalizar ou dar suporte à execução dos serviços. Assim, os valores diários de cada função tiveram uma redução devido a esses índices.

A análise dos custos foi feita conforme a mesma metodologia da análise dos prazos, considerando os dias trabalhados (ou dias úteis). Logo, utilizou-se uma quantidade média de 22 dias úteis por mês para o cálculo dos valores diários pagos por cada profissional.

Para os custos de materiais e serviços, foram fornecidos também as quantidades e valores unitários, ou verbas estimadas para o caso de serviços específicos, como água e energia, por exemplo. Para o caso de equipamentos alugados, foram fornecidos seus valores mensais e foram calculados os valores diários seguindo o que foi mencionado para a mão de obra.

3.1.3 Metodologia de cálculo das composições de custos unitários

Para o cálculo das composições de custos unitários foram inicialmente somadas todas as contribuições de cada unidade componente (mão de obra, materiais e serviços) e dividido o custo total pela área do pavimento, obtendo-se assim seus coeficientes. Para os valores de mão de obra, optou-se por utilizar seus coeficientes em horas e não em dias, pois é a forma usual de apresentação de dados desse tipo. Para realizar esta conversão, considerou-se uma jornada diária de 8 horas de trabalho e o mês com 22 dias úteis.

Multiplicando-se o coeficiente obtido pelo custo unitário, chegou-se ao valor dos insumos em reais por metro quadrado (R\$/m²). A soma dos valores de todos eles corresponde à composição de custos do serviço.

Os custos dos serviços terceirizados de água/energia e retirada de entulho não fizeram parte das composições, uma vez que, em orçamentos de obras, esses valores são calculados separadamente. O mesmo aconteceu para os valores de mão de obra de administração e encargos sociais, pois estes compõem os custos chamados de bônus e despesas indiretas (BDI), cuja metodologia de determinação varia entre as empresas, dessa forma optou-se por não considerar sua contribuição na análise.

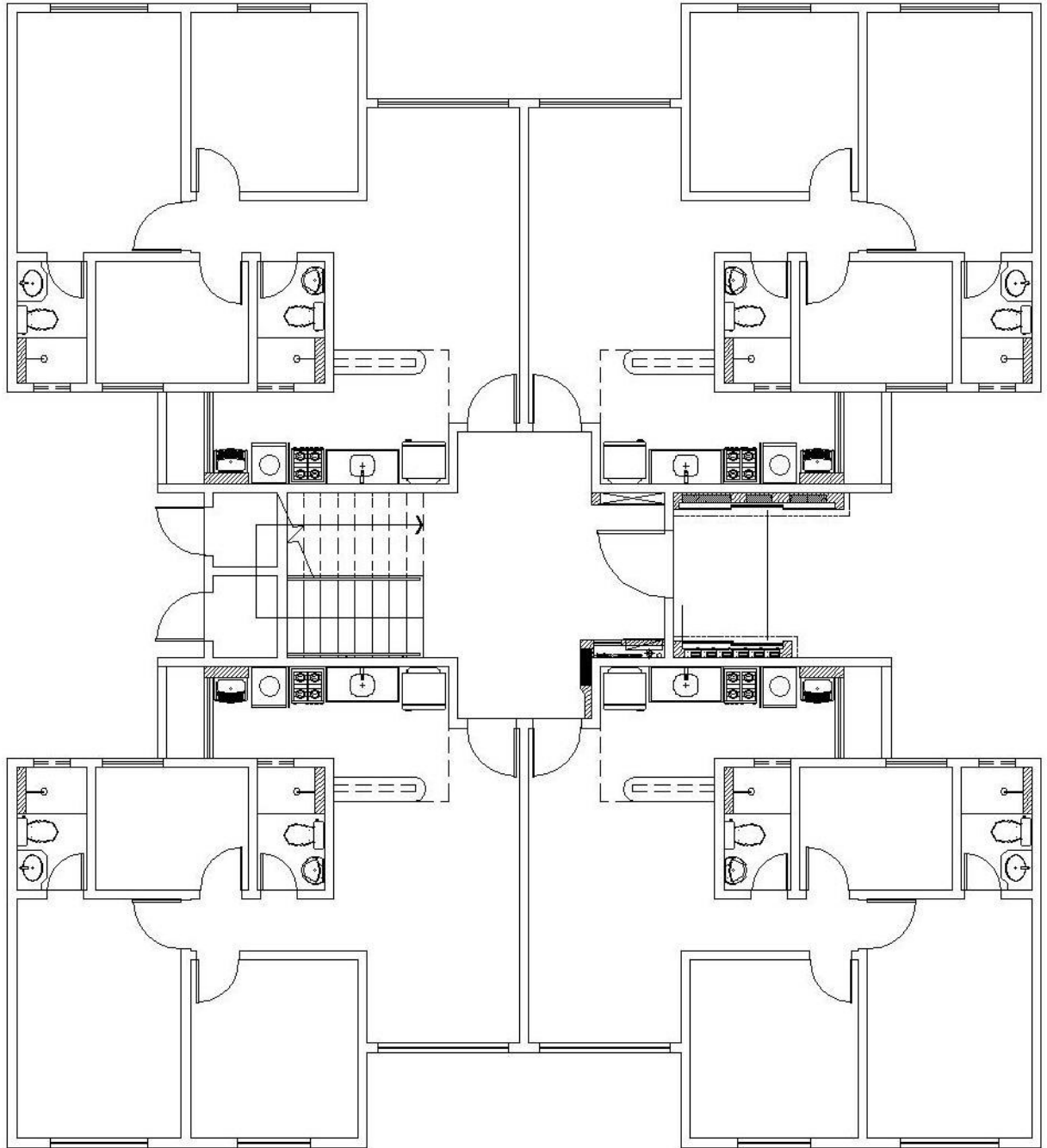
3.2 Contextualização do estudo

A obra em análise consiste em um residencial multifamiliar localizado na região metropolitana de Fortaleza-Ce, composto por 5 blocos de 4 pavimentos (térreo + três tipos), cujas paredes são executadas em alvenaria estrutural, sem a presença de vigas e suas lajes são maciças de concreto armado.

O estudo de caso em questão foi executado em duas lajes que, em fases distintas da execução da obra, apresentaram problemas referentes às suas resistências à compressão aos 28 dias, não atingindo o valor especificado em projeto ($f_{ck28} = 25$ MPa).

A Figura 14 ilustra a tipologia dos pavimentos estudados.

Figura 14 - Tipologia do pavimento estudado



Fonte: O autor (2019)

3.2.1 Demolição e reconstrução

O primeiro estudo foi realizado em uma laje que, além de não atingir a resistência definida em projeto, apresentou, após execução, um concreto com característica friável, desagregando com a simples perfuração de um prego, por exemplo. Para essa laje, devido às condições em que se apresentava, os serviços posteriores (marcação e elevação de alvenaria) foram suspensos até análise dos resultados obtidos pelo controle tecnológico e visita de consultores especializados e projetistas. Após isso optou-se por demolição completa da mesma e reconstrução sob as condições de resistência previstas.

Foi optado pelos gestores da obra que a demolição fosse realizada preservando a armadura existente, a fim de fazer uma reconstituição somente do concreto. Com isso, foram utilizados equipamentos de operação manual, como martelo rompedor e ferramentas em geral.

As Figuras 15, 16 e 17 ilustram a característica do concreto friável, bem como os procedimentos de demolição e concretagem da nova laje, respectivamente.

Figura 15 - Concreto com característica friável



Fonte: O autor (2019)

Figura 16 - Demolição da laje



Fonte: O autor (2019)

Figura 17 – Concretagem da nova da laje



Fonte: O autor (2019)

3.2.2 Recuperação com concreto auto adensável

O segundo estudo foi realizado em outra laje que não atingiu a resistência definida em projeto, entretanto o concreto apresentava-se visivelmente íntegro, sendo sua deficiência de capacidade resistente percebida somente com o controle tecnológico através do rompimento de corpos de prova aos 28 dias.

Após análise dos dados pelo projetista de estruturas, optou-se por fazer uma recuperação na laje com o aumento de seção resistente, utilizando concreto auto adensável composto com sílica ativa (componente utilizado para melhorar as propriedades de aderência ao concreto antigo) e valor de resistência igual a 30 MPa.

As Figuras 18 e 19 ilustram o preparo da laje para receber a recuperação estrutural e o lançamento do concreto auto adensável, respectivamente.

Figura 18 - Preparo da laje para recebimento do concreto



Fonte: O autor (2019)

Figura 19 – Recuperação da laje com concreto auto adensável



Fone: O autor (2019)

A empresa responsável pelo controle tecnológico forneceu os dados obtidos através dos rompimentos dos corpos de provas aos 7 e 28 dias de idade, os quais estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do controle tecnológico

| Local | Fck Projetado (Mpa) | Idade (dias) | Limites de resistência (MPa) | Valor máximo (MPa) | Qualidade do concreto |
|---------------------------|---------------------|--------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Laje 1 (Demolição) - CP 1 | 25 | 7 | 18,7 | 18,7 | Friável |
| Laje 1 (Demolição) - CP 2 | | | 18,3 | | |
| Laje 1 (Demolição) - CP 3 | | 28 | 22,3 | 22,5 | |
| Laje 1 (Demolição) - CP 4 | | | 22,5 | | |
| Laje 2 (Reforço) - CP 1 | 25 | 7 | 15,6 | 16,1 | Visivelmente íntegro |
| Laje 2 (Reforço) - CP 2 | | | 16,1 | | |
| Laje 2 (Reforço) - CP 3 | | 28 | 20,1 | 20,3 | |
| Laje 2 (Reforço) - CP 4 | | | 20,3 | | |

Fonte: Empresa responsável pelo controle tecnológico

3.3 Análise dos prazos de execução

Os prazos de execução foram calculados com base no que foi descrito na metodologia e estão apresentados a seguir para cada alternativa de recuperação estrutural utilizada.

3.3.1 Demolição e reconstrução

No primeiro estudo de caso, a técnica de recuperação utilizada foi a demolição total da laje, seguida de sua reconstrução. Por decisão da construtora, a demolição da laje foi executada através equipamentos de uso manual a fim de se preservar a armadura existente, visto que somente o concreto estava em desacordo com o especificado em projeto. A duração dessa atividade foi de 4 dias.

Dando sequência aos serviços, após completamente retirado o concreto defeituoso, iniciou-se a montagem de fôrmas, com duração de 6 dias. Após o início da montagem de fôrmas, com uma latência de 2 dias, iniciou-se o procedimento de distribuição de caixas de passagem elétricas e eletrodutos, com duração de 2 dias, de forma que os dois serviços terminaram ao mesmo tempo.

Por fim, o serviço de concretagem da nova laje foi realizado com a duração de 1 dia, englobando o procedimento da concretagem e a cura inicial feita ao final do dia.

A Tabela 2 apresenta a ordem e prazos dos serviços de demolição e reconstrução da laje.

Tabela 2 - Duração da solução de demolição e reconstrução de laje

| Serviço | Condições de ocorrência | Duração (dias) |
|--------------------------------------|---|-----------------------|
| Demolição | - | 4 |
| Montagem de fôrmas | Inicia-se logo após a demolição | 6 |
| Distribuição de caixas e eletrodutos | Inicia-se 4 dias após o início da montagem de fôrmas | 2 |
| Concretagem | Inicia-se logo após a finalização dos demais serviços | 1 |
| Duração total (dias) | | 11⁴ |

Fonte: O autor (2019)

3.3.2 Recuperação com concreto auto adensável

Para a execução da recuperação da laje com o aumento de seção, foi realizado inicialmente o emestramento da laje, de modo a garantir uma espessura mínima de concreto para o aumento de seção. Esse procedimento teve a duração de 2 dias. Para esse caso, por decisão do projetista, a espessura mínima de reforço foi de 3 centímetros. Vale lembrar que o emestramento serviu também para garantir que não ocorressem grandes espessuras no concreto de reforço, pois geraria um custo desnecessário para o que se pretendia.

Para garantir a aderência do novo concreto ao já existente na laje, além de se adicionar sílica ativa à composição, teve-se que fazer um tratamento na superfície da mesma, de forma a deixá-la mais rugosa, aumentando a superfície de contato entre os dois concretos diferentes. Esse processo, que foi executado com martelo rompedor, durou mais 2 dias e iniciou-se logo após o emestramento ter sido finalizado.

Feito o tratamento de superfície da laje, seguiu-se com a lavagem da mesma para a retirada de poeira residual herdada do procedimento anterior. Essa etapa durou 1 dia. Por fim, foi realizada a concretagem de reforço da laje com duração também de 1 dia entre concretagem e cura inicial. Os detalhes dos serviços

⁴ Considerando que algumas atividades ocorrem concomitantemente, não se somam suas durações

e prazos de execução de recuperação da laje com concreto auto adensável estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Duração da solução de recuperação da laje com concreto auto adensável

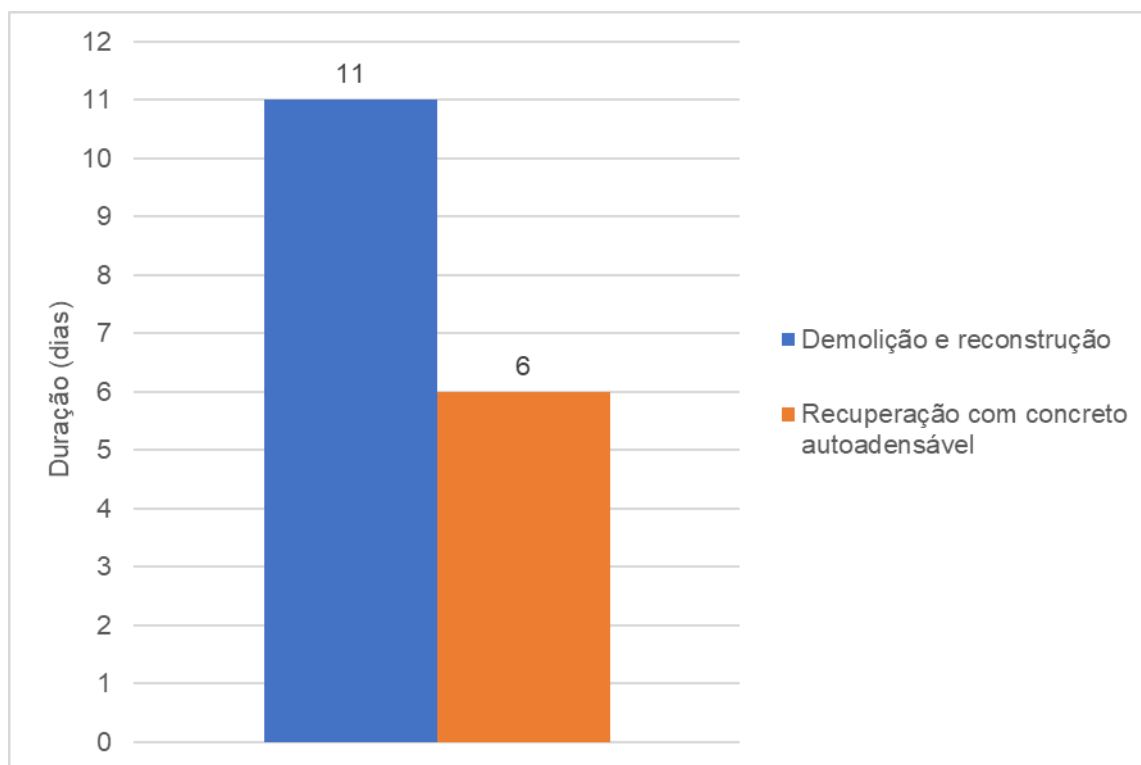
| Serviço | Condições de ocorrência | Duração (dias) |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------|
| Emestramento | - | 2 |
| Tratamento de superfície | Inicia-se logo após o emestramento | 2 |
| Lavagem | Inicia-se logo após o tratamento | 1 |
| Concretagem | Inicia-se logo após a lavagem | 1 |
| Duração total (dias) | | 6 |

Fonte: O autor (2019)

3.3.3 Comparativo entre as técnicas de recuperação

A Figura 20 apresenta o comparativo de prazos de execução das duas técnicas de recuperação estudadas.

Figura 20 - Gráfico comparativo de prazos de execução das alternativas



Fonte: O autor (2019)

De acordo com a Figura 20, o prazo de execução do serviço de demolição e reconstrução de laje é maior que o do procedimento de recuperação com o uso do concreto auto adensável, dada a complexidade nos processos. Enquanto no primeiro caso necessita-se da realização de atividades de maior mobilização, como a própria demolição em si e a montagem de formas e escoramentos, no segundo caso as tarefas que precedem a concretagem de recuperação estrutural são bem mais simples de serem executadas.

3.4 Análise dos custos de execução

Os custos de execução foram calculados com base no que foi descrito na metodologia e estão apresentados a seguir para cada uma das técnicas de recuperação estrutural estudadas. Os dados fornecidos de custos pela construtora estão apresentados no Anexo A.

3.4.1 Demolição e reconstrução

Os custos de mão de obra operacional representam quem efetivamente esteve trabalhando no serviço de demolição e reconstrução da laje. Para o serviço de demolição foram utilizados 3 pedreiros e 5 serventes durante 4 dias; para o serviço de montagem de fôrmas, foram utilizados 3 carpinteiros e 3 serventes durante 6 dias; para o serviço de distribuição de caixas de passagens elétricas e eletrodutos foram utilizados 1 eletricista e 1 auxiliar de eletricista durante 2 dias; e para o serviço de concretagem foram utilizados 2 pedreiros e 4 serventes durante 1 dia.

A Tabela 4 apresenta os custos de mão de obra operacional para a demolição e reconstrução da laje.

Tabela 4 - Custos de mão de obra operacional para demolição e reconstrução

| Dia | Serviços | Pedreiro (UN) | Servente (UN) | Carpinteiro (UN) | Eletricista (UN) | Auxiliar de Eletricista (UN) | Valor (R\$) |
|--------------------------|---|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1 | Demolição | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 431,82 |
| 2 | Demolição | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 431,82 |
| 3 | Demolição | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 431,82 |
| 4 | Demolição | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 431,82 |
| 5 | Montagem de fôrmas | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 340,91 |
| 6 | Montagem de fôrmas | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 340,91 |
| 7 | Montagem de fôrmas | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 340,91 |
| 8 | Montagem de fôrmas | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 340,91 |
| 9 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 | 463,64 |
| 10 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 | 463,64 |
| 11 | Concretagem | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 318,18 |
| Valor total (R\$) | | | | | | | 4336,36 |

Fonte: O autor (2019)

Os custos de materiais e serviços representam equipamentos utilizados, materiais como concreto, caixas de passagens, eletrodutos, custos de água e energia, bem como serviços de retirada de entulho. Para o serviço de demolição foram utilizados 3 martelos rompedores. Um total de 4 contêineres de entulho foram retirados. Foram utilizados 110 metros de eletrodutos e 20 caixas de passagens octogonais para os serviços de instalações elétricas. No serviço de concretagem foi feito o uso 2 vibradores e 26 m³ de concreto (fck igual a 25 MPa). Considerou-se uma verba equivalente a R\$ 100,00 para mensurar os custos de água e energia por dia de serviço. A Tabela 5 sintetiza os custos mencionados.

Tabela 5 - Custos de materiais e serviços para demolição e reconstrução

| Dia | Serviços | Martelo rompedor (UN) | Vibrador (UN) | Concreto fck 25 MPA (m³) | Eletroduto (m) | Caixas (UN) | Água/Energia (R\$) | Retirada de entulho (R\$) | Valor (R\$) |
|--------------------------|---|------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Demolição | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 304,55 |
| 2 | Demolição | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 520 | 824,55 |
| 3 | Demolição | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 304,55 |
| 4 | Demolição | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 520 | 824,55 |
| 5 | Montagem de fôrmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 6 | Montagem de fôrmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 7 | Montagem de fôrmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 8 | Montagem de fôrmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 9 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0 | 0 | 0 | 50 | 10 | 100 | 0 | 188,00 |
| 10 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0 | 0 | 0 | 60 | 10 | 100 | 0 | 203,00 |
| 11 | Concretagem | 0 | 2 | 26 | 0 | 0 | 100 | 0 | 7295,45 |
| Valor total (R\$) | | | | | | | | | 10344,64 |

Fonte: O autor (2019)

Durante todo o processo de execução da demolição e reconstrução da laje em análise, o serviço de elevação de alvenaria estrutural (serviço posterior à concretagem) teve que ser interrompido, gerando assim um custo de mão de obra operacional improdutivo (ver Tabela 6).

Tabela 6 - Custos de mão de obra improdutivo para elevação de alvenaria

| Dia | Serviços | Pedreiro (UN) | Servente (UN) | Valor (R\$) |
|--------------------------|---|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Demolição | 5 | 5 | 568,18 |
| 2 | Demolição | 5 | 5 | 568,18 |
| 3 | Demolição | 5 | 5 | 568,18 |
| 4 | Demolição | 5 | 5 | 568,18 |
| 5 | Montagem de fôrmas | 5 | 5 | 568,18 |
| 6 | Montagem de fôrmas | 5 | 5 | 568,18 |
| 7 | Montagem de fôrmas | 5 | 5 | 568,18 |
| 8 | Montagem de fôrmas | 5 | 5 | 568,18 |
| 9 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 5 | 5 | 568,18 |
| 10 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 5 | 5 | 568,18 |
| 11 | Concretagem | 5 | 5 | 568,18 |
| Valor total (R\$) | | | | 6250,00 |

Fonte: O autor (2019)

Os custos relativos à mão de obra de administração foram calculados em função de índices que representam o percentual de tempo gasto por função em cada serviço. A Tabela 7 apresenta os custos de mão de obra de administração para os serviços de demolição e reconstrução.

Tabela 7 - Custos de mão de obra de administração para demolição e reconstrução

| Dia | Serviços | Mestre de obras (UN) | Engenheiro Treinee (UN) | Almoxarife (UN) | Engenheiro Residente (UN) | Valor (R\$) |
|--------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Demolição | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 2 | Demolição | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 3 | Demolição | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 4 | Demolição | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 5 | Montagem de fôrmas | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 6 | Montagem de fôrmas | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 7 | Montagem de fôrmas | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 8 | Montagem de fôrmas | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 9 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 10 | Montagem de fôrmas e distribuição de caixas e eletrodutos | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 11 | Concretagem | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| Valor total (R\$) | | | | | | 2925,00 |

Fonte: O autor (2019)

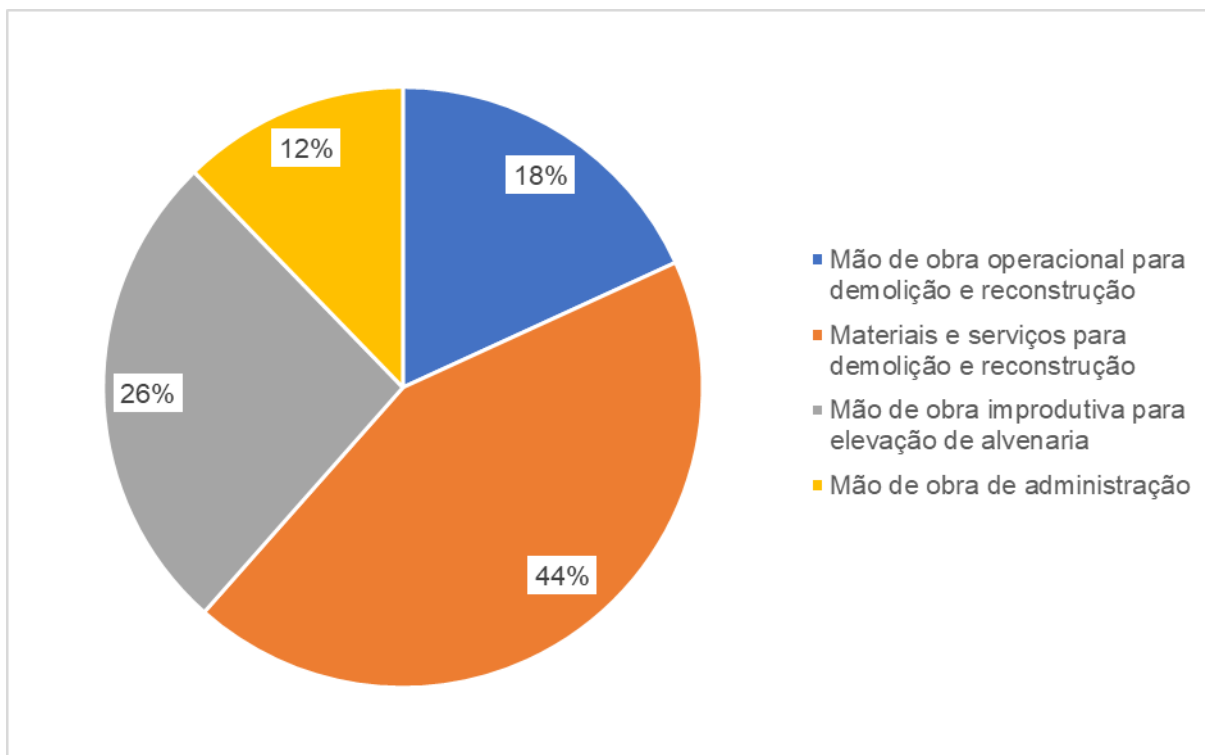
A Tabela 8 sintetiza todos os custos incorridos no procedimento de demolição e reconstrução da laje, apresentando a soma dos mesmos. A Figura 21 apresenta a parcela de influência de cada grupo de custo no valor total de execução dessa técnica utilizada.

Tabela 8 - Valores totais por grupos de custo

| Grupo de custo | Valor (R\$) |
|---|--------------------|
| Mão de obra operacional para demolição e reconstrução | 4336,36 |
| Materiais e serviços para demolição e reconstrução | 10344,64 |
| Mão de obra improdutiva para elevação de alvenaria | 6250,00 |
| Mão de obra de administração | 2925,00 |
| Valor total (R\$) | 23856,00 |

Fonte: O autor (2019)

Figura 21 - Gráfico comparativo de grupos de custo para demolição e reconstrução



Fonte: O autor (2019)

Os percentuais por grupos de custos descritos na Figura 21 mostram que a maior contribuição para o custo se refere ao grupo de materiais e serviços. Tal contribuição se dá, principalmente por conta do custo mais elevado do concreto frente aos demais insumos. Em segundo lugar aparece o custo de mão de obra improdutiva. Embora usualmente desconsiderado nas análises de custos de recuperação, esse custo representa um grande prejuízo, uma vez que impossibilita a execução de quaisquer outros serviços até finalização completa da recuperação estrutural da laje.

3.4.2 Recuperação com concreto auto adensável

Nos custos referentes a mão de obra operacional, tem-se: 2 pedreiros e 2 serventes durante 2 dias para o serviço de emestramento; 2 pedreiros e 2 serventes durante 2 dias para a etapa de tratamento de superfície; 3 serventes para a lavagem da laje durante 1 dia e 1 pedreiro e 3 serventes para a concretagem. O curto prazo

de tempo para a concretagem se dá pela rapidez do processo com o uso do concreto auto adensável.

A Tabela 9 apresenta o custo de mão de obra operacional para a alternativa em análise.

Tabela 9 - Custos de mão de obra operacional para recuperação com concreto auto adensável

| Dia | Serviços | Pedreiro (UN) | Servente (UN) | Valor (R\$) |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Emestramento | 2 | 2 | 227,27 |
| 2 | Emestramento | 2 | 2 | 227,27 |
| 3 | Tratamento de superfície | 2 | 2 | 227,27 |
| 4 | Tratamento de superfície | 2 | 2 | 227,27 |
| 5 | Lavagem | 0 | 3 | 136,36 |
| 6 | Concretagem | 1 | 3 | 204,55 |
| Valor total (R\$) | | | | 1250,00 |

Fonte: O autor (2019)

Os custos de materiais e serviços para este caso foram: 2 martelos rompedores para o tratamento de superfície da laje (apicoamento), retirada de 1 contêiner de entulho e a concretagem de recuperação (3 centímetros de espessura) com concreto auto adensável (com adição de sílica ativa) de fck igual a 30 MPa. Os valores referentes aos materiais e serviços estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Custos de materiais e serviços para recuperação com concreto auto adensável

| Dia | Serviços | Martelo rompedor (UN) | Concreto auto adensável (m³) | Água/Energia (R\$) | Retirada de entulho (R\$) | Valor (R\$) |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Emestramento | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 2 | Emestramento | 0 | 0 | 100 | 0 | 100,00 |
| 3 | Tratamento de superfície | 2 | 0 | 100 | 0 | 236,36 |
| 4 | Tratamento de superfície | 2 | 0 | 100 | 0 | 236,36 |
| 5 | Lavagem | 0 | 0 | 100 | 260 | 360,00 |
| 6 | Concretagem | 0 | 7,8 | 100 | 0 | 2830,00 |
| Valor total (R\$) | | | | | | 3862,73 |

Fonte: O autor (2019)

Com referência aos valores de mão de obra de administração, os cálculos seguem o mesmo método considerado na técnica de demolição e reconstrução. Foram atribuídos índices para cada funcionário, considerando um percentual de tempo dedicado a determinado serviço. Os valores de mão de obra de administração estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Custos de mão de obra de administração para recuperação com concreto auto adensável

| Dia | Serviços | Mestre de obras (UN) | Engenheiro Treinee (UN) | Almoxarife (UN) | Engenheiro Residente (UN) | Valor (R\$) |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Emestramento | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 2 | Emestramento | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 3 | Tratamento de superfície | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 4 | Tratamento de superfície | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 5 | Lavagem | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| 6 | Concretagem | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 265,91 |
| Valor total (R\$) | | | | | | 1595,45 |

Fonte: O autor (2019)

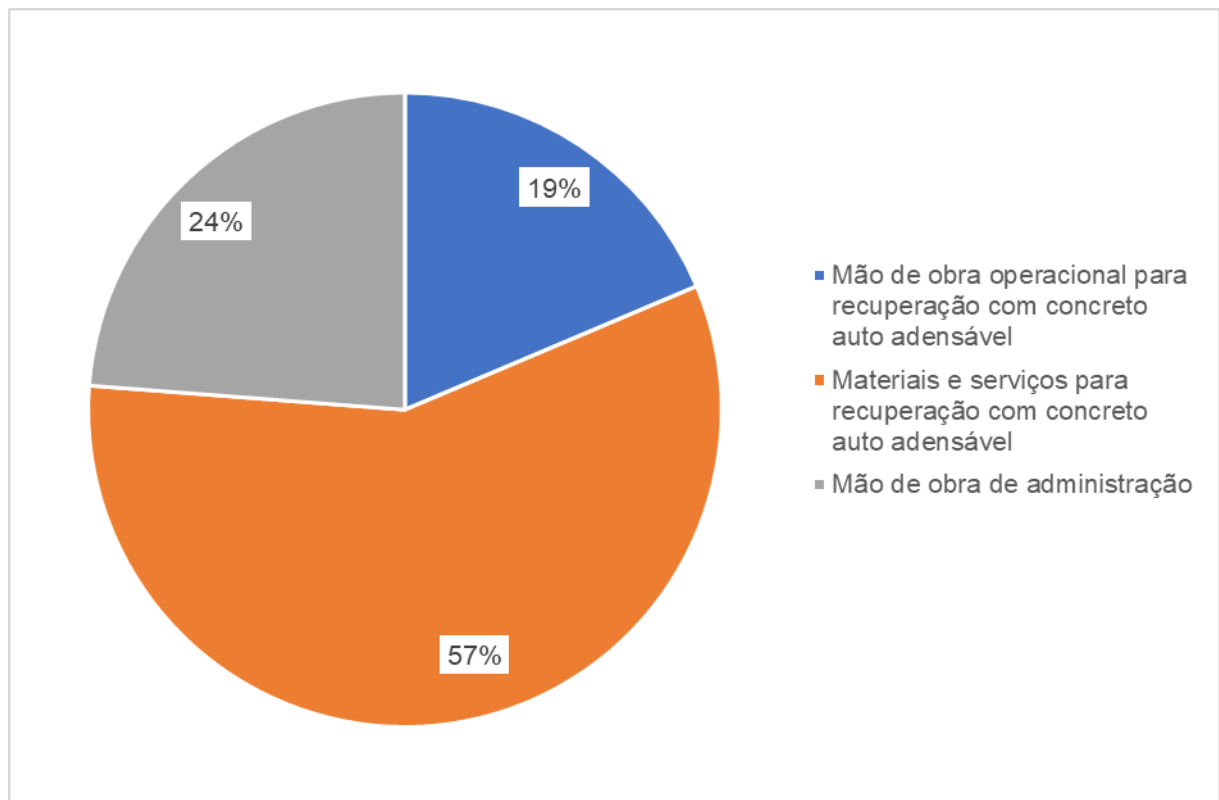
A Tabela 12 apresenta todos os custos que compõem a alternativa de recuperação da laje utilizando concreto auto adensável. A contribuição de cada grupo de custo em relação ao valor total da técnica estudada está representada na Figura 22.

Tabela 12 - Valores totais por grupos de custo

| Grupo de custo | Valor (R\$) |
|--|--------------------|
| Mão de obra operacional para reforço com concreto auto adensável | 1250,00 |
| Materiais e serviços para reforço com concreto auto adensável | 3862,73 |
| Mão de obra de administração | 1595,45 |
| Valor total (R\$) | 6708,18 |

Fonte: O autor (2019)

Figura 22 - Gráfico comparativo de grupos de custo para recuperação com concreto auto adensável



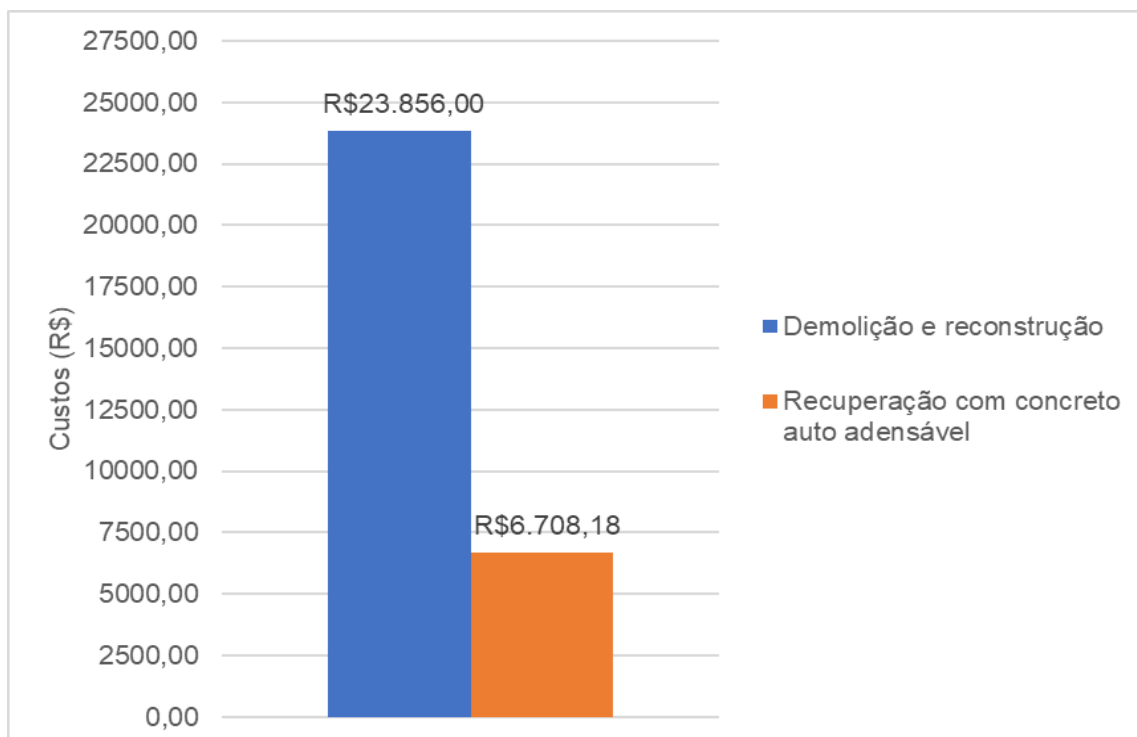
Fonte: O autor (2019)

O custo de materiais e serviços apresenta a maior parcela de contribuição, quando comparado com os custos de mão de obra operacional e mão de obra de administração. Os percentuais indicam que os maiores valores para custos de materiais e serviços se dão principalmente pelo maior custo do concreto auto adensável em relação ao custo do concreto convencional. Em contrapartida, a técnica reduz custos de mão de obra uma vez que a execução do serviço é de menor complexidade reduzindo gastos com mão de obra.

3.4.3 Comparativo entre os métodos

A Figura 23 mostra o comparativo entre custos para as técnicas de demolição e reconstrução em relação à técnica de recuperação com concreto auto adensável.

Figura 23 - Gráfico comparativo de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável



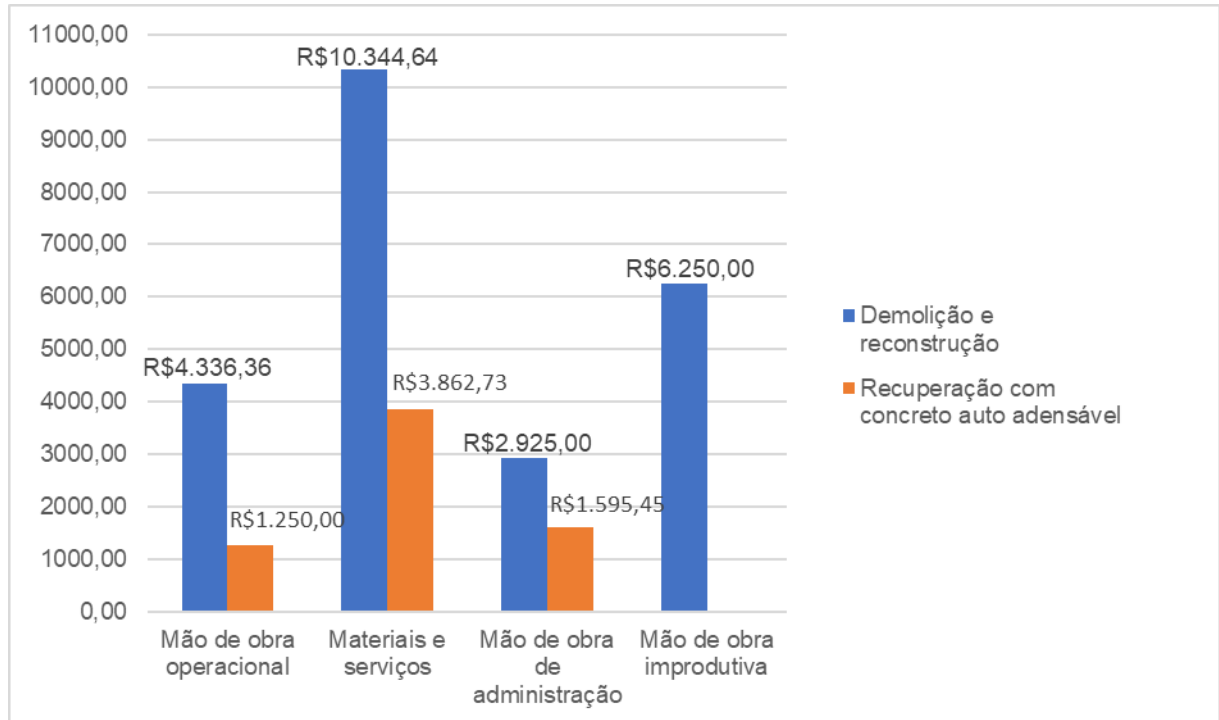
Fonte: O autor (2019)

Pode-se observar, por meio da Figura 23, que os custos para demolição e reconstrução são bem mais elevados que os custos para o recuperação com

aumento de seção de concreto. Tal resultado é esperado devido à maior complexidade do processo de execução e o maior tempo de execução.

A Figura 24 apresenta a comparação dos valores por grupos de custos para cada solução de recuperação estrutural empregada.

Figura 24 - Gráfico comparativo por grupos de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável



Fonte: O autor (2019)

Pode-se observar que para todos os grupos, a técnica de demolição e reconstrução apresenta valores superiores, possuindo inclusive custos que não são observados na técnica de reforço com aumento de seção.

3.5 Cálculo das composições de custos unitários

As composições de custos unitários foram calculadas com base no que foi descrito na metodologia e estão apresentadas a seguir.

3.5.1 Demolição e reconstrução

Para o cálculo das composições, como mencionado anteriormente, os valores referentes aos serviços de fornecimento de água e energia e retirada de entulho não foram considerados, visto que são calculados separadamente em um orçamento. Além disso, para essa alternativa, não foram considerados os custos referentes à mão de obra improdutiva do serviço de elevação de alvenaria estrutural (valor que apareceu na análise dos custos totais), visto que a análise de uma composição leva em conta o que de recursos efetivamente se utilizou para aquele serviço.

A Tabela 13 apresenta o cálculo das composições para a demolição e reconstrução da laje.

Tabela 13 - Cálculo da composição de custos para demolição e reconstrução

| Item | Unidade | Coefficiente | R\$ unitário | R\$/m ² |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------------|
| Materiais e equipamentos | | | | |
| Martelo rompedor | H | 0,37 | 8,52 | 3,15 |
| Vibrador | H | 0,06 | 2,84 | 0,17 |
| Concreto fck 25 Mpa | m ³ | 0,10 | 275,00 | 27,50 |
| Eletroduto | m | 0,42 | 1,50 | 0,63 |
| Caixa octogonal | UN | 0,08 | 1,30 | 0,10 |
| Total material (R\$/m²) | | | | 31,56 |
| Mão de obra | | | | |
| Pedreiro | H | 0,43 | 8,52 | 3,67 |
| Servente | H | 1,29 | 5,68 | 7,34 |
| Carpinteiro | H | 0,55 | 8,52 | 4,72 |
| Eletricista | H | 0,06 | 8,52 | 0,52 |
| Auxiliar de eletricista | H | 0,06 | 6,82 | 0,42 |
| Total mão de obra (R\$/m²) | | | | 16,68 |
| Total(R\$/m²) | | | | 48,23 |

Fonte: O autor (2019)

3.5.2 Recuperação com concreto auto adensável

A composição de custos para a técnica de recuperação com concreto auto adensável (ver Tabela 14) foi calculada considerando o mesmo método utilizado no cálculo de custos da técnica de demolição e reconstrução.

Tabela 14 - Cálculo da composição de custos para recuperação com concreto auto adensável

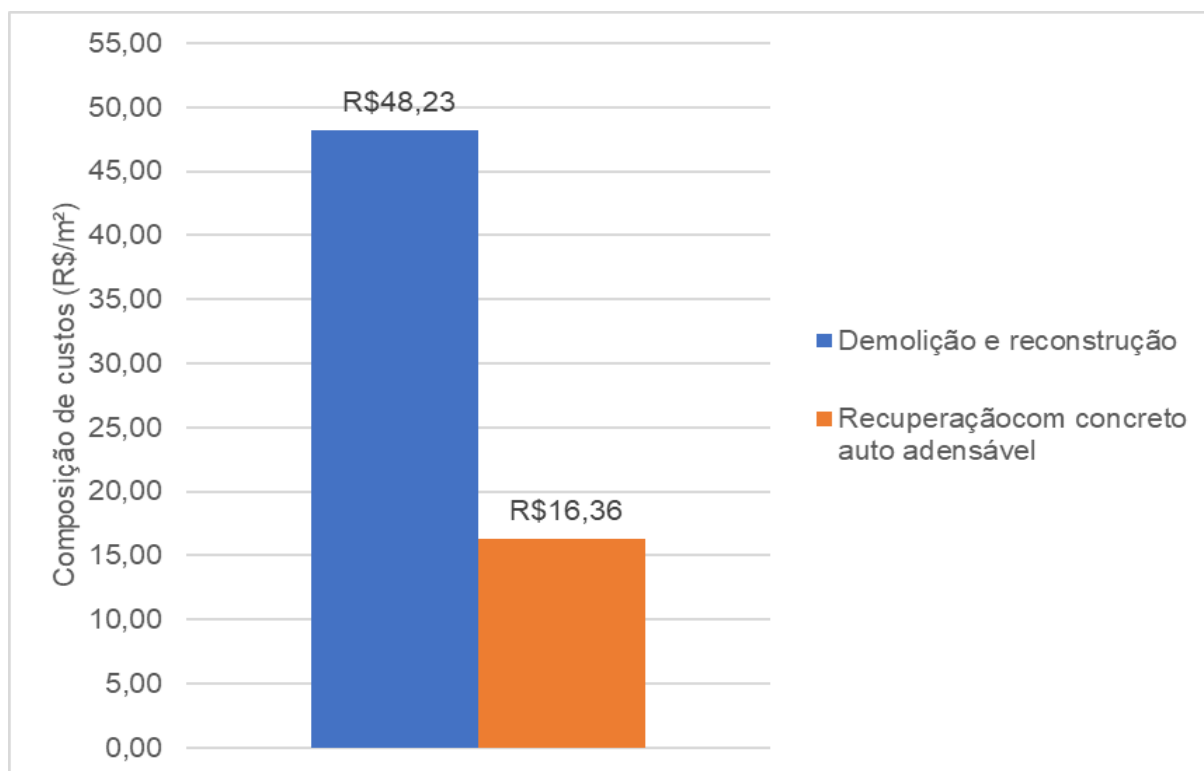
| Item | Unidade | Coefficiente | R\$ unitário | R\$/m ² |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------------|
| Materiais e equipamentos | | | | |
| Martelo rompedor | H | 0,12 | 8,52 | 1,05 |
| Concreto auto adensável | m ³ | 0,03 | 350,00 | 10,50 |
| Total material (R\$/m²) | | | | 11,55 |
| Mão de obra | | | | |
| Pedreiro | H | 0,28 | 8,52 | 2,36 |
| Servente | H | 0,43 | 5,68 | 2,45 |
| Total mão de obra (R\$/m²) | | | | 4,81 |
| Total(R\$/m²) | | | | 16,36 |

Fonte: O autor (2019)

3.5.3 Comparativo entre os métodos

A Figura 25 apresenta a comparação entre os valores obtidos para as composições de cada alternativa de recuperação.

Figura 25 - Gráfico comparativo de composições de custos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável



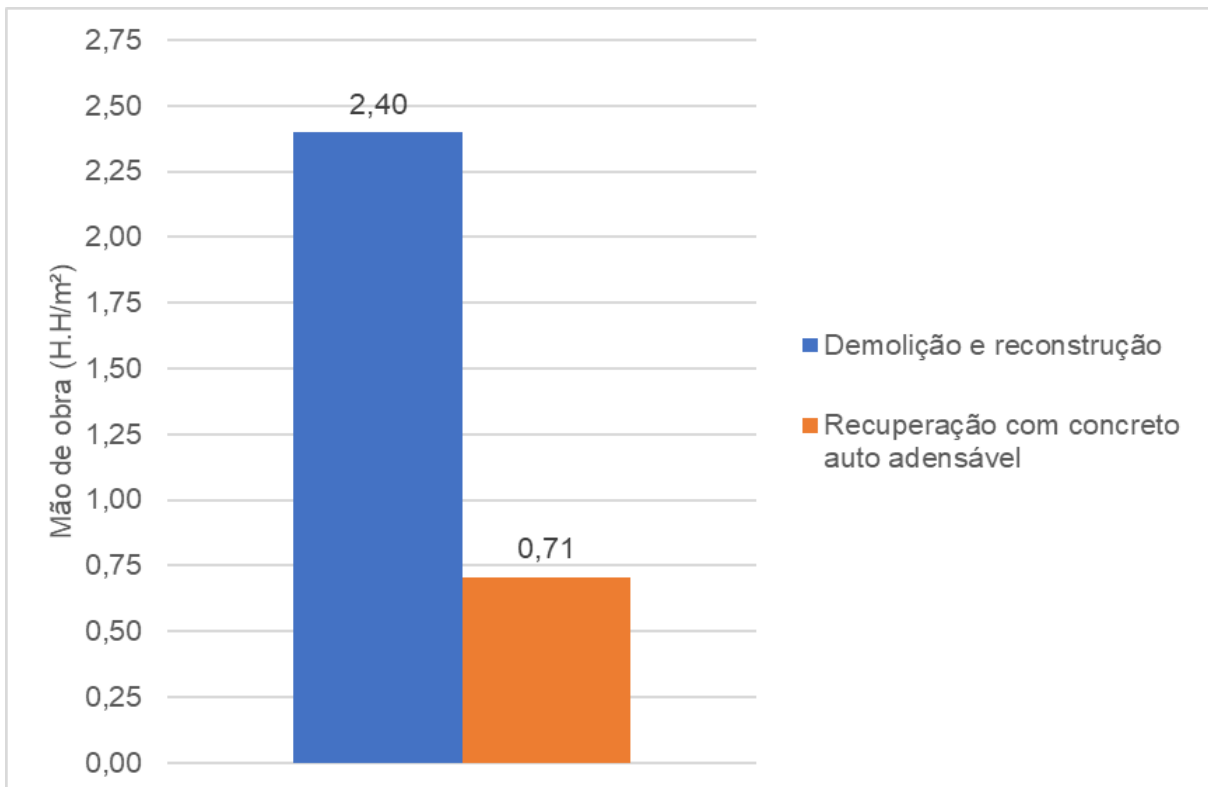
Fonte: O autor (2019)

Pode-se observar que o valor em reais por metro quadrado referente à técnica de demolição e reconstrução da laje é mais elevado que o valor referente à técnica de reforço com concreto auto adensável. Essa discrepância entre eles era de se esperar, dado o que foi mostrado anteriormente no cálculo dos custos das alternativas de recuperação separadamente

Uma outra análise que pode ser feita em relação às técnicas adotadas é o uso de recurso por metro quadrado de execução de cada alternativa. Os valores dos recursos foram calculados somando as quantidades de profissionais utilizados a cada dia pela jornada de trabalho de 8 horas diárias.

A Figura 26 apresenta custos de mão de obra por metro quadrado para as duas técnicas de recuperação utilizadas nas lajes. Essas quantidades foram calculadas somando todos os profissionais que trabalharam na execução das alternativas de recuperação estrutural e multiplicando-se por 8 horas diárias. Com isso, obteve-se os valores em homem-hora por metro quadrado (H.H/m²), os quais estão apresentados a seguir.

Figura 26 - Gráfico comparativo de recursos humanos para as técnicas de demolição e reconstrução e recuperação com concreto auto adensável



Fonte: O autor (2019)

Da mesma forma que para as composições, a técnica de demolição e reconstrução utiliza mais recursos para sua execução que o reforço com concreto auto adensável, fator que é explicado na complexidade dos procedimentos e prazos de execução.

4 CONCLUSÃO

Com base no que foi apresentado, conclui-se que os objetivos foram atendidos, sendo calculados os custos e prazos de execução de cada alternativa de recuperação das lajes estudadas, bem como comparados os mesmos. Também foram desenvolvidas as composições de custos unitários para cada técnica e comparados os mesmos.

Diante do que foi mostrado, nota-se que as duas técnicas empregadas na recuperação e reforço estrutural atingiram seus propósitos, entretanto com custos e prazos de execução diferentes.

No estudo feito, o uso de concreto auto adensável se mostrou como sendo a alternativa mais viável para procedimentos que visem o reestabelecimento da capacidade portante da estrutura.

A análise realizada com base no uso de recursos humanos por metro quadrado de técnica utilizada traz consigo uma reflexão sobre a possibilidade de aumento do número de acidentes de trabalho, dado o maior número de pessoas trabalhando, podendo ser um estudo aplicado em trabalhos futuros.

Outra reflexão importante refere-se aos custos intrínsecos aos processos construtivos, que não foram levados em consideração neste trabalho, pois a obra estava em andamento e com materiais já comprados, dessa forma custos de fôrmas, pregos, epis, entre outros, não compuseram a análise. Com a incorporação desses valores aos cálculos, pode-se obter dados aplicáveis a uma reforma em específico, na qual todos os materiais precisam ser adquiridos para a execução daquele serviço.

5 REFERÊNCIAS

ARQUEZ, A. N. **Aplicação de laminado de polímero reforçado com fibras de Carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Cimento Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 1 ed. Rio de Janeiro: LCT, 2008. 488p.

BOMJARDIM, T.; FERNANDES, D. S. G. **A história do concreto armado no Brasil.** Disponível em: < <https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/o-concreto-armado-no-brasil/>>. Acesso: 26/05/2019.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014.** 4 ed. São Carlos: Ed. UFSCar, 2014.

COSTA, A. C. S. S. **Avaliação de viabilidade técnica e de custos do uso do CAA em obras verticais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

GIL, A. C.; **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6 ed. São Paulo, Ed. Atlas S.A., 2008.

GONÇALVES, A. P. A. **Investigando o concreto armado das empenas da FAUUSP – Teste de profundidade de carbonatação utilizando fenolftaleína.** Disponível em: <<https://conservafau.wordpress.com/2017/03/10/investigando-o->

concreto-armado-das-empenas-da-fauusp-teste-de-profundidade-de-carbonatacao-utilizando-fenolftaleina/>. Acesso: 01/07/2019

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAUÁ, C. **Características dos diferentes tipos de brita**. Disponível em: <<https://cimentomaua.com.br/blog/confira-as-caracteristicas-dos-diferentes-tipos-de-brita/>>. Acesso: 24/05/2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

SPEKKING, R. **Concreto Projetado**. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-concreto-projetado.html>>. Acesso: 13/07/2019.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TECNOSIL, M. **Retração do concreto: o que é e como minimizá-la?** Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-minimiza-la-2/>>. Acesso: 14/05/2019.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios. Causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

ANEXO A – TABELA DE CUSTOS FORNECIDOS PELA CONSTRUTORA

| Descrição | Unidade | Quantidade |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| Pedreiro | R\$/mês | 1500,00 |
| Servente | R\$/mês | 1000,00 |
| Carpinteiro | R\$/mês | 1500,00 |
| Eletricista | R\$/mês | 1500,00 |
| Auxiliar de eletricista | R\$/mês | 1200,00 |
| Mestre de obras | R\$/mês | 4500,00 |
| Engenheiro trainee | R\$/mês | 5000,00 |
| Engenheiro residente | R\$/mês | 15000,00 |
| Almoxarife | R\$/mês | 2500,00 |
| Martelo rompedor | R\$/mês | 1500,00 |
| Vibrador | R\$/mês | 500,00 |
| Concreto 25 Mpa | R\$/m ³ | 275,00 |
| Concreto auto adensável 30 Mpa | R\$/m ³ | 350,00 |
| Eletroduto | R\$/m | 1,50 |
| Caixas | R\$/UN | 1,30 |