

RETROFIT DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO EM SÃO PAULO COM MAIS DE 50 ANOS DE IDADE

D. MIRANDA

Eng. Civil
PhD Engenharia Ltda
São Paulo; Brasil
dyetry.miranda@concretophd.com.br

D. COUTO

Eng. Civil
PhD Engenharia Ltda
São Paulo; Brasil
douglas.couto@concretophd.com.br

J. PACHECO

Eng.^a Civil
PhD Engenharia Ltda
São Paulo; Brasil
jessika.pacheco@concretophd.com.br

P. HELENE

Prof. Titular
Universidade de São Paulo
São Paulo; Brasil
paulo.helene@concretophd.com.br

RESUMO

O desempenho dos sistemas de um edifício é cada vez mais exigido, surgindo constantemente inovações, novos equipamentos e instalações que promovem maior conforto e segurança aos usuários. Com o tempo, diversos edifícios tornam-se obsoletos, com sistemas antigos e que podem ser modernizados, prática conhecida como *Retrofit*. O trabalho exposto neste artigo apresenta, de forma prática e sistemática, as etapas de planejamento e acompanhamento técnico dos serviços de reforço e adequação estrutural, necessários ao *Retrofit* de um edifício comercial em concreto armado da década de 50, localizado na cidade de São Paulo, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de terrenos com dimensões satisfatórias para a construção de edifícios nas grandes capitais está se tornando cada vez mais escassa. Por outro lado, o número de edifícios antigos abandonados ou obsoletos aumenta consideravelmente, os quais, muitas vezes, acabam por ser vandalizados, invadidos e habitados por grupos de movimentos sociais. Visando a preservação da história e a memória destes edifícios, aliada com o lançamento de novos empreendimentos, os mesmos são renovados para atenderem aos requisitos necessários ao uso residencial ou corporativo atuais. Esta prática é conhecida como *Retrofit* (CAMPOS, 2006)[1]. O fato de renovar o edifício, sem a necessidade de sua demolição, reduz a geração de resíduos e a extração de matéria-prima, tornando uma prática que deve ser incentivada.

No Brasil, a maioria das edificações possui estrutura em concreto armado, que são estruturas relativamente jovens, da ordem de 60 a 80 anos no máximo. Registra-se que a primeira estrutura de concreto armado do mundo foi executada em 1901, na França (HELENE, 2007)[2]. Assim sendo, a prática de *Retrofit*, em estruturas de concreto, pode ser considerada recente e o mercado da construção civil precisa absorver seus conceitos, de maneira a garantir uma prática segura, durável e sustentável.

É imprescindível considerar o sistema estrutural quando se inicia o planejamento do *Retrofit*, pois é necessário verificar o estado em que este se encontra, inspecioná-lo, elaborar um correto diagnóstico e proceder, caso necessário, com medidas corretivas, garantindo assim o desempenho exigido pelas normas atuais (durabilidade, estabilidade, sustentabilidade e ações do fogo). Também se faz necessário realizar um extenso trabalho de compatibilização, verificando os locais onde pode haver aumento de carga e interferências com outros sistemas (incluindo a necessidade de realizar furos e aberturas em vigas e lajes).

O objetivo desse artigo é contribuir para a evolução dos procedimentos de *Retrofit* no Brasil. De modo específico, este trabalho se refere aos serviços de *Retrofit* de um edifício de 10 pavimentos do final da década de 50. Atualmente denominado Torre A de um complexo corporativo maior, que fica situado em São Paulo, SP, Brasil. O edifício foi construído pela já extinta Construtora Warchawchick Neumann, em 1959. Sua estrutura foi executada pela também extinta Edibrás Construções Ltda e projetada pelo Escritório Técnico Júlio Kasoy e Mario Franco, Eng. Civil Ltda (JKMF), empresas de grande renome em suas áreas de atuação. A Fig 1. apresenta o edifício durante sua execução, em 1959, e a execução do *Retrofit*, em 2014.



Figura 1 - Edifício, conhecido hoje como Torre A em São Paulo, SP. (H.G. Flieg, 1959)[3].

O trabalho exposto neste artigo apresenta, de forma prática e sistemática, as etapas necessárias para um adequado planejamento e acompanhamento técnico dos serviços de reforço e adequação estrutural de edifícios de concreto armado.

2. ETAPAS PRÉVIAS PARA ESCOLHA DAS INTERVENÇÕES

A seguir serão apresentadas as etapas que auxiliaram na estratégia de intervenções no edifício estudado. Consiste basicamente em avaliar o estado inicial da estrutura e de estudar as modificações solicitadas pelo proprietário. Essas etapas devem ser realizadas englobando todas as intervenções que serão propostas, para que possa ser realizado um estudo de viabilidade. A avaliação do estado da estrutura depende prioritariamente do serviço de um engenheiro especializado, enquanto que o levantamento das modificações relacionadas com a modernização dos equipamentos torna essencial a colaboração entre profissionais de diversas áreas, com definições claras das novas solicitações.

2.1 Avaliação do estado da estrutura.

Inicialmente, foi avaliado o estado da estrutura realizando uma inspeção preliminar, incluindo anamnese estrutural, inspeção visual, levantamento de danos e ensaios adicionais.

2.1.1 Anamnese Estrutural

Semelhante ao conceito de anamnese usado na medicina, se faz necessário o levantamento de todas as informações do edifício para produzir um diagnóstico correto. Em resumo, as informações mais importantes levantadas foram o ano de construção e projeto (1959); o uso inicial destinado ao primeiro usuário e a mudança de proprietário, o que não implicou na mudança de uso do edifício, permanecendo como edifício comercial até os dias de hoje; os materiais utilizados na estrutura: aço do tipo CA25 e concreto, sobre os quais, inicialmente, não havia informações. Foi necessário então realizar um ensaio, que será descrito no item 2.1.3, onde foi encontrado 15MPa de resistência à compressão do concreto; informações referentes aos projetos de fôrma e armação também não foram encontradas, sendo necessário realizar um levantamento topográfico e inspeções na armadura do pilar; levantamento das intervenções realizadas anteriormente ao acompanhamento destes autores, as quais, conforme constatado, foram realizadas em 2013 e de maneira inadequada, que também visavam obter informações da estrutura e serão descritas mais detalhadamente no

item 2.1.2 deste documento. As informações levantadas encontram-se organizadas na Tabela 1, bem como uma listagem das normas brasileiras relevantes vigentes na época de execução, relacionadas com as normas atuais.

Tabela 1 - Resumo da Anamnese do edifício

Ano de execução e local:	1959. Cidade de São Paulo, SP, Brasil.		
Uso ao qual foi projetado:	Edifício Comercial, Escritórios: 200kgf/m ² carga variável*		
Estrutura em concreto armado:	Aço:	CA25	
	Concreto:	Não encontrado	=> Necessidade de ensaios Extração segundo ABNT NBR7680[4] Resultado: 15MPa
Projetos:	Fôrma:	Não encontrado	=> Levantamento estrutural Topográfico
	Armadura:	Não encontrado	=> Necessidade de Inspeção
Levantamento de intervenções anteriores	Inspeção Preliminar, em 2013, que danificou partes da estrutura e; Pequenas reformas ao decorrer dos anos, sem muita relevância.		
Normalização vigente:	No ano de:	1959	2014
	Estrutura:	NB-1, 1940 [5]	ABNT NBR6118 [6]
	Concreto:	NB-1, 1940 [5]	ABNT NBR12655 [7]
	Desempenho	Não existia	ABNT NBR15575 [8]
	Incêndio:	Não existia	ABNT NBR15200 [9]

*adotado, por bom senso, pelo projetista.

2.1.2 Inspeção visual e levantamento de danos

A inspeção visual é usada para avaliar a estrutura e determinar os locais que possam apresentar problemas, sendo o registro fotográfico fundamental nesta etapa. Os principais itens observados durante a inspeção visual encontram-se na Figura 2. As não conformidades mais relevantes são óculos de extrações de testemunho, realizadas anteriormente, onde, em alguns pilares, houve o corte indevido da armadura longitudinal do pilar, como mostra a Figura 2 (a). As Figuras 2 (b) e (c) mostram pilares com armadura aparentemente flambada; no primeiro pilar, a causa não foi descoberta, no segundo a causa está relacionada, provavelmente, com a remoção não planejada de dois pilares, conforme Figura 2(d). A Figura 2 (e) traz um exemplo de ponto de corrosão encontrado no edifício - a maioria era procedente de inspeções do ano anterior, que não foram recuperadas. A Figura 2 (f) apresenta abertura de grandes dimensões na viga, provavelmente não considerada no projeto original, onde foi observado o corte de 3 estribos.

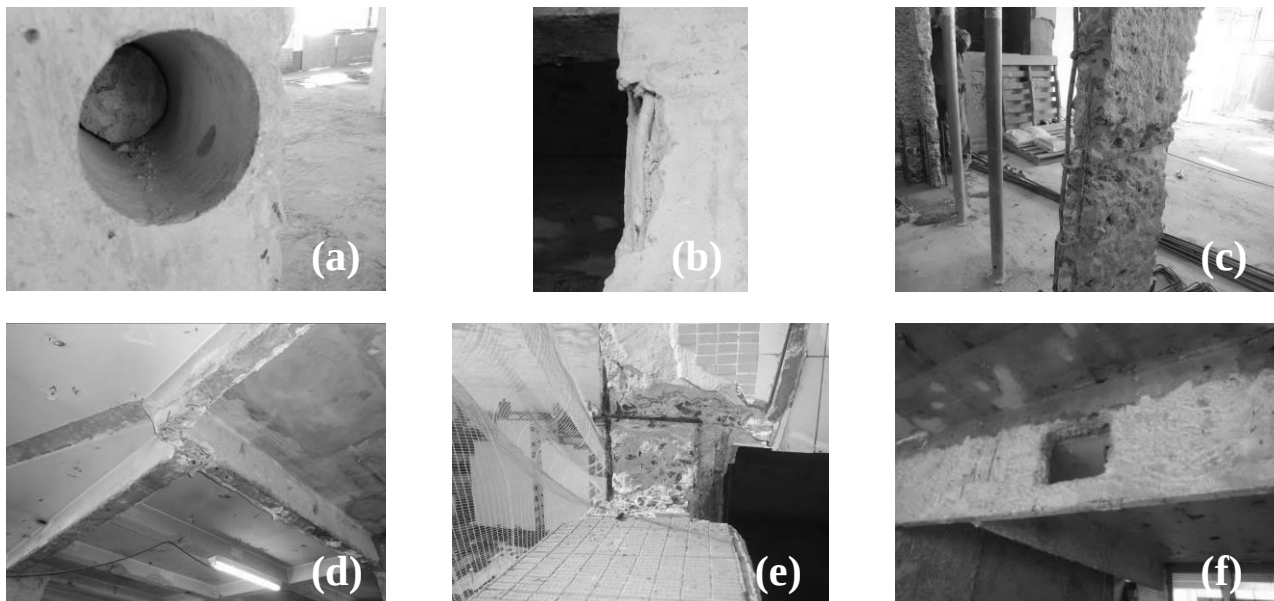


Figura 2 - Principais não conformidades encontradas durante a inspeção visual: (a) Corte de armadura principal durante a extração de testemunho; (b) e (c) armadura de pilares flambada; (d) Remoção indevida de pilares; (e) Ponto de corrosão e (f) Abertura de grande dimensão na viga, não prevista no projeto.

2.1.2 Ensaios adicionais

Conforme apresentado, durante a anamnese não foram encontradas informações sobre a resistência à compressão do concreto aplicado, sendo assim, procedeu-se com ensaios complementares de extração de testemunho, em conformidade com a ABNT NBR 7680 [4]. Esta norma traz os requisitos relacionados com a amostragem a ser empregada, os cuidados a serem adotados durante o procedimento de extração, para que não ocorra danos à armadura do pilar e na preparação da amostra para o ensaio de resistência à compressão.

Visando confirmar os resultados fornecidos pela inspeção anterior, realizou-se 12 extrações de testemunhos, somadas às 29 extrações anteriores (sendo que 10 dentre essas danificaram irreversivelmente a armadura principal do pilar, fragilizando consideravelmente a estrutura). De posse dos resultados obtidos neste ensaio ($f_{c,ext}$), utilizando coeficientes de correção (que envolvem a relação entre a altura e o diâmetro do testemunho, o efeito deletério de broqueamento, entre outros), obtém-se a resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida em corpos de prova moldados, aos 28 dias de idade ($f_{ck,est,eq}$).

Com o valor obtido, realiza-se uma nova correção devido a permissão da ABNT NBR6118[6] de reduzir o coeficiente de ponderação da resistência do concreto em 10%, por dispor de um resultado que abarca maior conhecimento da resistência, sendo o ($f_{ck,est,eq}$) multiplicado por 1,1. Desta forma, obteve-se, em 9 extrações, resistência característica à compressão de 15MPa e nas demais valores iguais ou superiores a 20MPa.

Com vistas à análise da vida útil da estrutura, verificaram-se as frentes de carbonatação do concreto. A norma brasileira, ABNT NBR 6118, na seção 7, elenca alguns critérios de projeto que visam à durabilidade e prescreve que a “durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura”[6]. A norma estabelece espessuras mínimas de cobrimento, de acordo com a classe de agressividade do ambiente no qual se encontra o elemento estrutural (tabela 7.2 da ABNT NBR 6118, 2014), visando dificultar o ingresso dos agentes agressivos no interior do concreto.

Para o caso do edifício em estudo, por estar situado em São Paulo, o mecanismo preponderante de deterioração relativo à armadura é a despasseivação por carbonatação, onde o agente agressivo é o gás carbônico, CO_2 , que se difunde na estrutura de concreto. Esse mecanismo de penetração de CO_2 torna o meio passivo do concreto em meio ácido, e quando essa frente de carbonatação alcança a armadura, inicia-se o seu processo de corrosão.

Para analisar a profundidade de carbonatação da estrutura, utilizou-se um indicador ácido-base (solução de 1% fenolftaleína), onde foi encontrado o valor máximo de 0,6cm. Relacionando esse valor com o cobrimento de 2cm inspecionado, podemos concluir que, no decorrer dos 56anos da estrutura, não houve significativo comprometimento da proteção passiva da armadura, sendo necessários apenas pequenos reparos pontuais. É importante ressaltar que os pilares externos (da fachada) estavam revestidos de granito e não apresentavam espessura de cobrimento carbonatada.



Figura 3 - Medição da profundidade de carbonatação em pilar de fachada.

2.2 Modificações solicitadas pelo proprietário.

Para finalizar a proposta de intervenções estruturais, verificaram-se as interferências de outros sistemas com o sistema estrutural. Nessa etapa, é necessário realizar a compatibilização dos projetos, levando em consideração o posicionamento dos elementos estruturais e identificando principalmente as regiões de solicitações superiores ao estabelecido.

Neste estudo de caso, as principais atividades do *Retrofit* que interferiam na estruturam foram:

- Instalação do novo equipamento de ar condicionado no pavimento da cobertura, sobrecarregando-o;
- Remodelação de escada para atender solicitação do corpo de bombeiros (Norma Estadual de SP);
- Demolição de reservatório;
- Aberturas e furos nas lajes para novos *shafts*;
- Aberturas e furos nas vigas para novos sistemas e;
- Adequação da estrutura para atender aos "Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)".

3. EXECUÇÃO DAS INTERVENÇÕES

Após o levantamento do estado da estrutura e das modificações solicitadas pelo proprietário, foram propostas e executadas as intervenções que se encontram resumidas na Tabela 2, que serão detalhadas nos próximos itens.

Tabela 2 - Resumo das intervenções no edifício.

Elemento	Motivo	Intervenção	Quantidade
Vigas	Necessidade de abertura de viga devido ao duto de ar condicionado.	Reforço de Viga	8
	Abertura de viga sem planejamento	Recuperação da seção da viga	1
	Furos em viga	Posiciona-la corretamente	100
	Remoção de dois pilares sem planejamento	Reforço de viga	1
Pilares	Armadura aparentemente flambada	Reforço dos pilares	12
	Pilares com resistência menor que 20MPa	Reforço dos pilares	11
	Óculo de extração correta, sem dano a armadura	Recomposição por <i>Dry-pack</i>	10
	Óculo de extração inadequada, com dano a armadura	Recuperação de armadura	10
Lajes	Laje para apoio da nova carga do equipamento de ar condicionado	Demolição e reconstrução	1
	Abertura de <i>shafts</i>	Reforço de borda	45
Viga, laje e pilar	Adequação da estrutura para atender o TRRF	Projeção de argamassa	25000m ²
	Corrosão de armaduras	Tratamento da corrosão	20

3.1 Intervenções em vigas.

3.1.1 Reforço em viga devido às aberturas.

Os dois reforços, tanto das aberturas das vigas para passagem das tubulações do sistema de ar condicionado quanto para o fechamento da abertura não prevista (encontrada na inspeção), são concebidos de maneira similar, conforme Figura 4.



Figura 4 - Reforço em vigas para passagem de duto e fechamento das aberturas antigas.

3.1.2 Posicionamento correto dos furos em vigas.

Os furos adicionais para passagem de tubulação seguiram os posicionamentos recomendados no item 13.2.5.1 da NBR6118 [6]. Algumas tubulações foram modificadas para atender a norma, pois os projetos dos sistemas não haviam considerado a estrutura existente. Recomenda-se realizar cortes de furações para que não ocorra furos em locais que possam comprometer a estrutura. Durante a execução dos furos, evitou-se o corte de estribos, instruindo a equipe para retirar seu cobrimento, utilizado martelo leve ou furadeira, antes de efetuar o furo. Esse simples cuidado garantiu a integridade da viga.

3.1.2 Reforço de viga devido à retirada de pilares.

Para manter o vão de 8m no local onde deveria ter 5m, antes da retirada de dois pilares, reforçou-se a viga aumentando cerca de 50% da sua área. O procedimento de reforço encontra-se na Figura 5, incluindo o preenchimento com *graute* da abertura na laje (sulcos) com as armaduras negativas posicionadas e o detalhe de ancoragem no pilar devido ao aumento da largura da viga.



Figura 5 - Reforço em viga devido à ausência de pilares, incluindo “sulco” na laje e detalhe de ancoragem no pilar.

3.2 Intervenções em Pilares.

3.2.1 Reforço em pilares.

Procedeu como o reforço dos pilares que apresentavam armadura aparentemente flambada. A Figura 6 apresenta as etapas de reforço, ressaltando a importância da previsão de janelas de, no máximo, 1,20 m, para se evitar segregação do material durante o seu lançamento.

O mesmo procedimento foi realizado para reforçar os pilares cujo testemunho extraído obtiveram resistência à compressão inferior a 20MPa. A resistência especificada para o concreto aplicado no reforço foi de 50MPa.



Figura 6 - Reforço em pilar com armadura aparentemente flambada: (a) Apicoamento da superfície e abertura da laje; (b) Posicionamento das armaduras; (c) Abertura e limpeza com ar sob pressão dos furos para ancoragem; (d) Ancoragem química, tipo injetável; (e) e (f) Posicionamento da fôrma, com previsão de janelas, para garantir que a altura máxima de lançamento do graute não seja maior que 1,20m.

3.2.2 Fechamento de óculo de extrações.

Na Figura 4, de forma sucinta, encontra-se o processo de preenchimento do óculo (furo) ocasionado pela extração de testemunho, conhecido como método *Dry-pack*, que consiste em compactar camadas de 2cm de argamassa rica em cimento (2:1). Esse método garante a aderência e o preenchimento completo do óculo. A Figura 7 também apresenta o procedimento de recuperação da armadura principal cortada durante a extração.

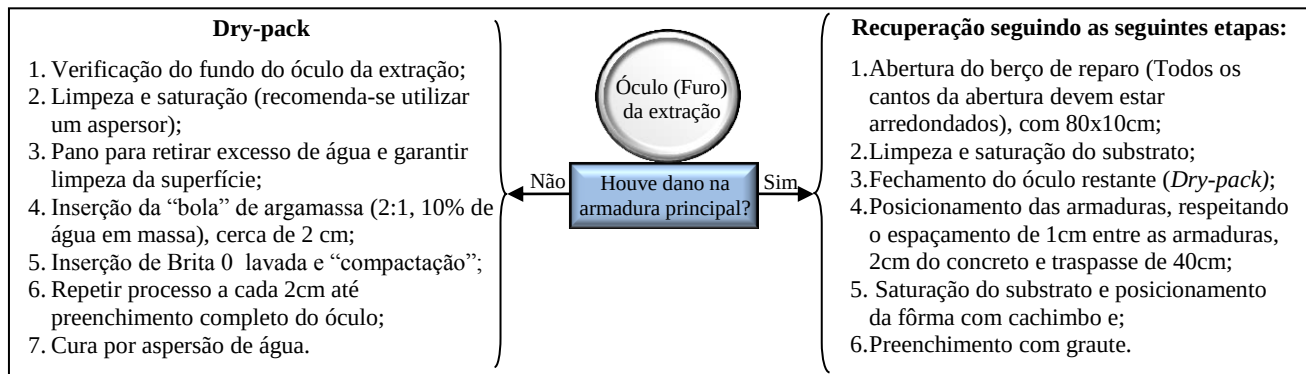


Figura 7 – Esquema do tratamento de óculos (furos) da extração de testemunho.

3.3 Intervenções em Lajes.

3.3.1 Execução de uma nova laje.

Com o aumento da solicitação dos equipamentos de ar condicionado na cobertura, decidiu-se por demolir parte da laje de vigotas pré-fabricadas e executar uma laje maciça de concreto com $f_{ck} = 30\text{MPa}$, reforçando as vigas de borda. Durante a demolição, houve posicionamento de pneus e madeira para diminuir o impacto da queda dos resíduos de demolição. Ressalta-se nesse item a importância de se escorar ao menos 2 dos pavimentos inferiores, pois, mesmo que o concreto apresente 50 anos de idade, a laje inferior não foi dimensionada para resistir o peso da laje superior, somados os impactos causados durante a concretagem.

3.3.2 Reforço de borda de *shaft*.

Para abertura de *shafts*, procedeu-se de maneira simples: após a avaliação do posicionamento dos furos, indicou-se um procedimento de reforço de borda de 5cm, dobrando a armadura existente e adicionando 2 armaduras longitudinais ancoradas quimicamente, preenchendo a borda com graute.

3.4 Intervenções em todos os elementos estruturais.

3.4.1 Tratamento de corrosão.

Após o mapeamento dos pontos de corrosão, procedeu-se com o seu tratamento, iniciando com o escoramento da região para os tratamentos profundos; demarcação com giz e disco de corte, sem danificar a armadura; remoção do concreto, inclusive por trás da armadura, com uso de martelo leve; limpeza da armadura, removendo todo o produto de corrosão, até apresentar brilho metálico, medindo a perda de seção com um paquímetro e se esta apresentasse perda de seção maior que 10%, prosseguia-se com sua recomposição, utilizando uma armadura de bitola equivalente traspassando 40 ϕ em cada direção; o procedimento foi finalizado com o posicionamento de uma fôrma provida de cachimbo e preenchimento com uso de graute estrutural com $f_{ck} \geq 30\text{MPa}$.

3.4.2 Proteção contra incêndio.

É necessário que a estrutura atenda aos *Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo* (TRRF) que, nas condições de contorno, foi considerado 90min. A resistência ao fogo da estrutura de concreto deve-se basicamente ao cobrimento da armadura (que serve como proteção ao calor), pois, no caso do aço CA50, a perda de resistência à tração inicia-se temperaturas superiores a 400°C (O aço CA25 provavelmente começa a perder resistência à tração nas mesmas temperaturas).

Em geral, o cobrimento mínimo para os requisitos de durabilidade já atendem aos requisitos de proteção frente à ação do fogo, mas no caso desse edifício, que era regido pela NB-1 de 1940 [5], os cobrimentos mínimos para durabilidade eram menores que os atuais e não atendiam ao TRRF, sendo necessário então aumentar as espessuras dos elementos estruturais, atendendo assim as exigências do Corpo de Bombeiros de São Paulo, conforme IT-08/2011 [10] e a ABNT NBR 15200 [9]. Para revestir estes elementos, utilizou-se argamassa estrutural de cimento e areia com $f_{ck} \geq 30\text{MPa}$, projetada e dosada em obra, seguindo o procedimento descrito na Figura 8.

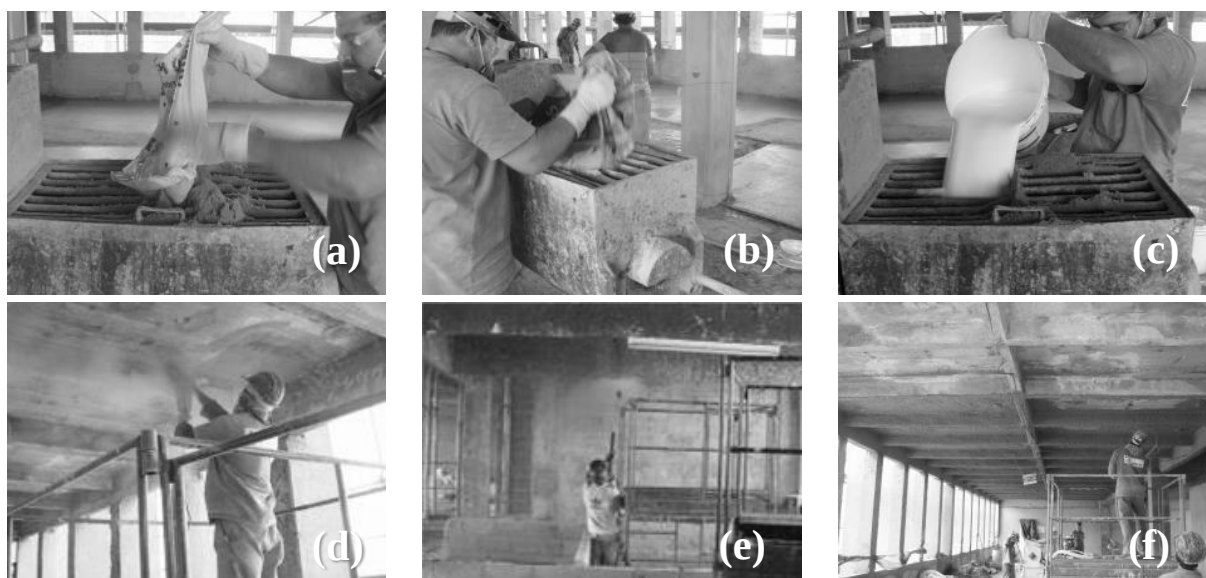


Figura 8 – Argamassa estrutural a base de cimento e areia (a e b), com adição de adesivo epóxi líquido (c), para garantir aderência ao concreto: preparação do substrato, remoção de agentes contaminantes (d); saturação da superfície do concreto com jato de água sob pressão (e) e sua aplicação com projetor (f).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revitalização de edifícios antigos é uma alternativa que se mostra cada vez mais favorável aos requisitos de sustentabilidade, bem como à preservação do patrimônio histórico de uma cidade. Considera-se de fundamental importância avaliar adequadamente a sua estrutura e definir claramente as interferências e alterações que ocorrerão em seu sistema estrutural, devido à modernização dos demais sistemas, visando manter ou, em alguns casos, aumentar a capacidade portante de seus elementos estruturais. A participação de um especialista da área de estrutura no início do processo do *Retrofit* facilita o planejamento econômico e a definição das limitações estruturais.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Campos, I. M.. O que é retrofit? 2006. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=22&Cod=60>>. Acesso em: 13 jan. 2015.
- [2] Helene, P. VIDA ÚTIL de 106 ANOS! Muito bem vividos! 2007. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/news/index_vida.htm>. Acesso em: 13 jan. 2015.
- [3] Flieg, H. G. - *Edifício-sede da Pirelli, na Alameda Barão de Piracicaba, São Paulo*. 1959. Acervo Instituto Moreira Salles. Disponível em: <<http://www.ims.com.br/ims/artista/colecao/hans-gunter-flieg/obra/1284>>. Acesso em: 07 jan. 2014.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7680: *Concreto – Extração, preparo, e ensaio de testemunhos de concreto*. Rio de Janeiro, 2007. 12p.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NB1: *Cálculo e execução de obras de concreto armado*. Rio de Janeiro: ABNT, 1940. 15p.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: *Projetos de Estruturas de Concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238p.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: *Concreto de Cimento Portland - preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento*. Rio de Janeiro, 2015. 23p.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: *Edificações habitacionais — Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013. 71p.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15200: *Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio*. Rio de Janeiro, 2012. 48p.
- [10] Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. *Instrução Técnica N° 08 - Resistência ao fogo dos elementos de construção*. São Paulo: Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Estado de São Paulo, 2011. 12p.