

RAA em estrutura de concreto armado de uma edificação residencial

ROMILDO ALVES BERENGUER – GRADUANDO DE ENGENHARIA CIVIL • LAUZANNE BARBOSA CORDEIRO – ENGENHEIRA CIVIL

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

TIBÉRIO ANDRADE – PROFESSOR DOUTORANDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PAULO HELENE – PROFESSOR DOUTOR

PhD – ENGENHARIA

ELIANA CRISTINA

BARRETO MONTEIRO – PROFESSORA DOUTORA

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

I. INTRODUÇÃO

Em outubro de 2004, após o colapso do edifício residencial de concreto armado Areia Branca, localizado na região metropolitana de Recife, surgiu uma grande preocupação em relação à qualidade construtiva e o estado de conservação das edificações residenciais e comerciais da região. Em junho de 2006, foi aprovada a Lei de inspeção (Lei nº 13.032), visando evitar que outras situações desse tipo ocorressem. Após implementação desta lei, as edificações começaram a passar por mais inspeções e descobriu-se que várias estruturas apresentavam diferentes casos de manifestações patológicas, dentre elas a reação álcali-agregado (RAA).

A RAA é uma reação lenta, que ocorre em estruturas de concreto, formada pela reação entre alguns minerais que compõem os agregados e hidróxidos alcalinos, oriundos do cimento. Este tipo de patologia compromete as características mecânicas do concreto, podendo haver perda de resistência à tração e à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2. ESTUDO DE CASO

A presente pesquisa abordará exclusivamente as análises feitas na fundação do edifício estudado, que apresentou reação álcali-agregado e passou por um processo de recuperação estrutural. A pesquisa contou com a execução das seguintes etapas:

- Relato dos ensaios realizados na mesoestrutura do edifício, tais como: levantamento das fissuras, da profundidade de carbonatação, do teor de íons cloreto;
- Relato dos serviços de inspeção visual nas faces das sapatas visualizadas após escavação, com a identificação e classificação das fissuras existentes;
- Ensaios de compressão nos testemunhos extraídos das sapatas;
- Descrição e dos procedimentos de recuperação estrutural.

2.1 Características da estrutura

O edifício residencial multifamiliar está localizado em Jaboatão dos Guararapes (PE), situado no nordeste do Brasil e foi construído há 12 anos. Possui sua

mesoestrutura formada basicamente por concreto armado, sendo apoiado sob fundação direta (superficial), ou seja, possui sapatas que estão apoiadas no solo, sobre uma camada de 5 cm concreto magro. O concreto estrutural especificado em projeto foi de 25Mpa.

2.2 Histórico de RAA na estrutura

A construção do edifício foi iniciada em 1998 e finalizada em 2002. Apreensivos com o desabamento do edifício Areia Branca, em 2004, os moradores do edifício analisado contrataram uma empresa para inspecionar o imóvel em 2005, em razão de algumas de suas sapatas apresentarem fissuras. Essas sapatas foram recuperadas com a injeção de resina epóxi rígida. Nesta primeira intervenção, a empresa contratada para recuperação não fez os ensaios necessários para o diagnóstico sobre as possíveis causas da fissuração das sapatas.

Em 2014, após 9 anos da primeira vistoria, foram realizadas visitas de profissionais da empresa especializada, com o intuito de investigar o estado de conservação da edificação como um todo e,

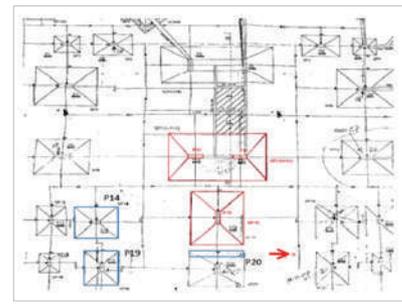




► **Figura 1**
Sapata SP (10+11) com fissuras
marcadas com giz



► **Figura 2**
Sapata (10+11) com fissuras
marcadas com giz na sua face
lateral



► **Figura 3**
Croqui esquemático com a
distribuição dos pilares e das
sapatas do edifício

caso necessário, estudar as alternativas consideradas adequadas para possíveis intervenções. Foram analisados os pilares, vigas, lajes, por meio de inspeção visual, e feitos ensaios de profundidade de carbonatação e de teor de cloretos. Além disso, as sapatas passaram por inspeções visuais e por ensaio de resistência à compressão, com extração de testemunhos e ensaios laboratoriais petrográficos.

As sapatas inspecionadas e recuperadas no passado apresentavam muitas trincas e fissuras (Figuras 1 e 2), ou seja, voltaram a ter o mesmo quadro de manifestação patológica. Desta forma, a empresa especializada solicitou o ensaio de resistência à compressão dessas sapatas e, após estudo do histórico da fundação, dos fatores ambientais e das características do edifício e diante dos ensaios realizados, chegou-se à conclusão de que a fundação apresentava o quadro de manifestação patológica conhecido como reação álcali-agregado.

Ficou decidido, devido ao alto custo do serviço, que a recuperação estrutural seria iniciada nas sapatas que já tinham sido recuperadas, correspondentes aos Pilares 10, 11 e 15 (destaque em vermelho na Figura 3) e, em seguida, seria dada a sequência à recuperação das outras sapatas.

2.3 Ensaios gerais realizados

Toda a estrutura do edifício passou por uma inspeção geral, não somente as

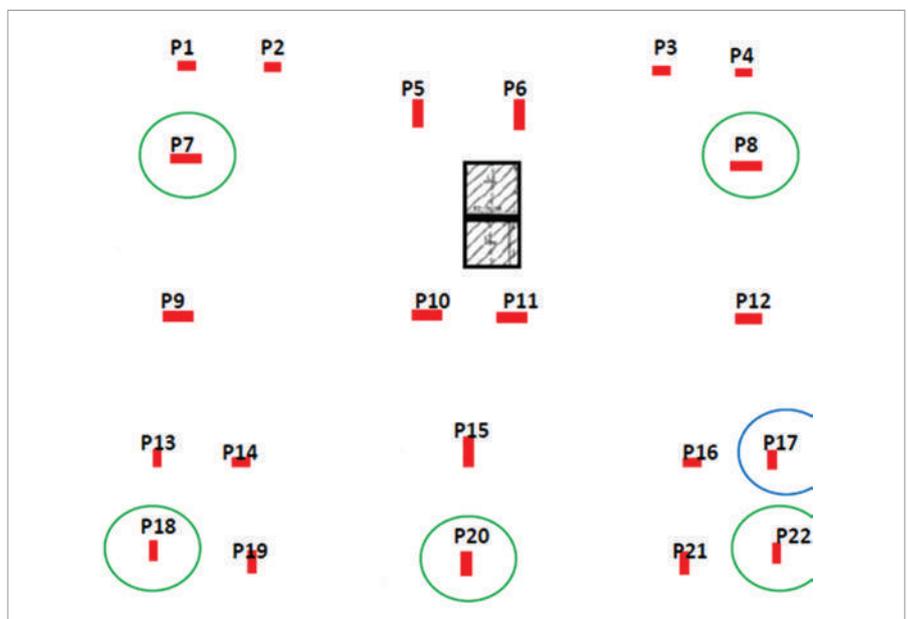
sapatas que compõe a fundação, a fim de identificar possíveis manifestações patológicas, para posterior correção. Assim, a empresa contratada para realizar o laudo técnico de vistoria predial, executou os seguintes ensaios nas estruturas:

- Inspeção visual;
- Avaliação da profundidade de carbonatação;
- Determinação do teor de íons cloreto;
- Resistência à compressão, através da extração de testemunhos.

Os ensaios de profundidade de carbonatação e teor de íons cloreto foram necessários para o método de avaliação do edifício, pois este é localizado numa área urbana a 100 metros do

mar e sofre grande influência dos agentes agressivos externos, como o gás carbônico e a maresia. O croqui apresentado na Figura 4 representa a distribuição estrutural do prédio e indica onde foram realizadas as coletas de materiais para a realização dos respectivos ensaios. A cor verde representa o ensaio de carbonatação e a azul o ensaio de cloretos, que foi realizado no Pilar 17, pois este é um dos mais expostos às intempéries vindas do ambiente de praia.

O ensaio para medir a profundidade de carbonatação (aspersão de solução alcoólica de fenolftaleína, que indica se houve variação do pH natural do



► **Figura 4**
Croqui esquemático das áreas dos ensaios



► **Figura 5**

Detalhe do trecho do pilar 7 onde foi realizado ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação



► **Figura 6**

Detalhe do ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação



► **Figura 7**

Furo realizado no pilar para coleta de amostra para a determinação do teor de cloretos

concreto), usado para análise da passivação das armaduras, foi realizado conforme as recomendações da RILEM (*CPC-18 – Measurement of hardened concrete carbonation depth, 1988*). Este ensaio foi executado em 5 pilares de concreto armado presentes no pavimento de garagem térrea (Figuras 5 e 6).

Os resultados são apresentados na Tabela 1 e confirmam que todos os pilares se encontram passivados (protegidos) no tocante à ação do gás carbônico, tendo em vista que o avanço da profundidade de carbonatação foi menor, em todos os casos estudados, que o recobrimento da armadura. Vale salientar que a quase totalidade das amostras estudadas apresentou profundidade de carbonatação nula.

O ensaio de perfil de cloretos determina, em porcentagem, a concentração de íons cloreto por massa de cimento. O ensaio foi realizado conforme o método da ASTM C 1152 – *Standard Method For Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, (2012)* – e sua execução está apresentada na Figura 7.

Apesar dos valores encontrados (Tabela 2) indicarem maiores concentrações de íons cloreto na região mais interna quando comparada com a mais externa, os dois casos estudados têm concentrações significativamente abaixo do limite máximo encontrado na literatura e recomendado por norma ABNT NBR 12655 (2015) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento, para estruturas

de concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido de umidade nas condições de serviço da estrutura). As regiões mais profundas, próximas à armadura dos dois pilares, apresentam menos da metade da concentração de íons cloreto totais em relação à massa de cimento recomendados pela ABNT NBR 12655 (2015). Os resultados obtidos indicam que para os elementos analisados por amostragem, P13 e P17, a armadura encontra-se passivada (protegida) no tocante ao ataque por cloretos.

Para o ensaio de resistência à compressão, foram extraídos 6 testemunhos por amostragem das sapatas SP 10+11 e SP 15 e mais 6 das sapatas SP 14, 19, 20, obedecendo a norma ABNT NBR 7680 (2007) - Concreto: Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Os testemunhos também passaram por uma análise visual para avaliação do concreto (Figuras 8 e 9). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3 comprovam que a resistência à compressão obtida no ensaio é muito superior ao F_{ck} indicado no projeto estrutural do edifício (25 Mpa).

2.4 Procedimento de recuperação das sapatas

O procedimento de recuperação das sapatas seguiu as etapas constantes na Figura 10 e está descrito nos subitens a seguir.

► **Tabela 1 – Profundidade de carbonatação do concreto**

Peça ensaiada	Local	Orientação da face	Recobrimento da armadura (mm)	Profundidade de carbonatação (mm)
Pilar 7	Térreo	Norte	23	11
Pilar 7	Térreo	Leste	24	10
Pilar 8	Térreo	Oeste	30	0
Pilar 8	Térreo	Norte	40	0
Pilar 18	Térreo	Leste	35	0
Pilar 18	Térreo	Sul	25	0
Pilar 20	Térreo	Norte	35	0
Pilar 20	Térreo	Oeste	30	0
Pilar 22	Térreo	Oeste	15	0
Pilar 22	Térreo	Sul	20	0





► **Figura 8**
Corpos de prova obtidos do edifício em estudo de caso

2.4.1 ESCAVAÇÃO DAS SAPATAS

A escavação dos blocos seguiu a NR 18 (2013) - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, visando à segurança do ambiente de trabalho e dos funcionários envolvidos no serviço. A Figura 11 ilustra o momento em que as sapatas estavam passando pelo processo de escavação.

2.4.2 LIMPEZA DAS FACES DA SAPATA E EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA PARA ANÁLISE LABORATORIAL

Depois de escavadas as faces das sapatas, foi realizado o procedimento de limpeza com a lavagem da estrutura, utilizando um equipamento de jato de alta pressão para melhor visualiza-



► **Figura 9**
Aspecto visual do concreto do testemunho

► **Tabela 2 – Concentração de íons cloreto em amostras extraídas dos pilares**

Amostra (face)	Localização	Profundidade	% Cloretos (massa de concreto)	% Cloretos (massa de cimento)
Pilar 17 (leste)	Térreo	0-5 mm	0,0069	0,0483
Pilar 17 (leste)	Térreo	5-15 mm	0,0074	0,0518
Pilar 17 (leste)	Térreo	15-25 mm	0,0138	0,0966
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	0-5 mm	0,008	0,056
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	5-15 mm	0,0056	0,0392
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	15-25 mm	0,0083	0,0581

ção das trincas e fissuras.

Após as faces das sapatas estarem limpas, foram retirados corpos-de-prova, com o auxílio de um equipamento denominado serra-copo, para que fosse verificado se as fissuras foram causadas pela RAA, bem como analisar se a resistência da estrutura estava compatível com a estipulada em projeto.

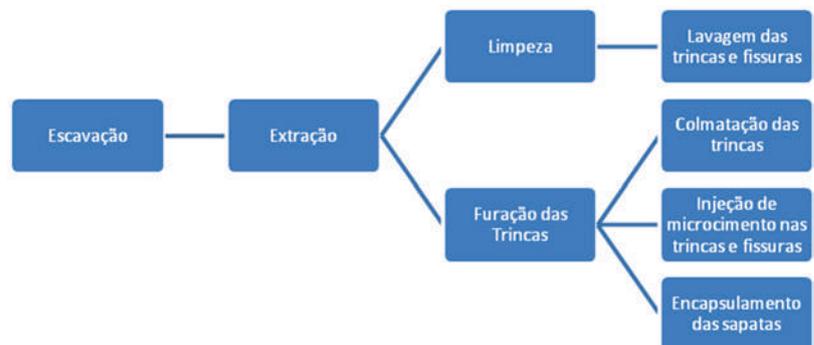
Também foi feita a demarcação das fissuras (Figuras 12 e 13) para posterior análise das respectivas aberturas e orientação delas, cujos dados encontram-se na, sendo criada a Tabela 4, para as Sapatas SP (10+11) e SP 15.

2.4.3 SOPRAGEM DAS TRINCAS E FISSURAS

A etapa consistiu em retirar da área que recebeu anteriormente o epóxi todo material pulverulento, proveniente

► **Tabela 3 – Resumo das resistências à compressão**

Nº	Resistência à compressão (Mpa)	Sapata
1	33,1	SP15
2	31,4	SP15
3	32,3	SP15
4	40,7	SP(10+11)
5	38	SP(10+11)
6	43	SP(10+11)
7	40,5	SP14
8	39,9	SP14
9	42,9	SP19
10	45	SP19
11	34,3	SP20
12	34,7	SP20



► **Figura 10**
Fluxograma das etapas de recuperação das sapatas



► **Figura 11**
Serviço de escavação das sapatas

dos furos realizados nas trincas e fissuras. É importante lembrar que a retirada desse material deve ser feita com a injeção de ar comprimido e não com água, pois caso seja feita com água, não haverá aderência suficiente entre a superfície afetada e o epóxi.

2.4.4 FURAÇÕES DAS TRINCAS PARA COLOCAÇÃO DE PURGADORES

Purgadores são mangueiras plásticas transparentes com diâmetro de 10 mm, que são posicionadas ao longo das trincas e fissuras, através dos quais



► **Figura 12**
Mapeamento das trincas e fissuras

► **Tabela 4 – Quantidades de fissuras encontradas inicialmente**

Sapata	Quantidade de fissuras encontradas	Menor abertura encontrada	Maior abertura encontrada
SP (10+11)	45	0,6 mm	35 mm
SP 15	24	0,5 mm	3,5 mm

é injetada a pasta de microcimento à base de resina epóxi. Porém, existiam trincas que não possuíam abertura igual ou maior que 10 mm. Nelas foi realizado o furo utilizando uma furadeira, com profundidade de aproximadamente 100 mm, para que os purgadores ficassem devidamente fixados.

Depois dos procedimentos de furo, sopragem e limpeza das trincas e fissuras, foram colocados os purgadores, que ficaram espaçados aproximadamente 250 mm uns dos outros e penetraram 90 mm (Figura 14). A parte do purgador introduzida ficou no mesmo sentido da trinca e a parte que ficou exposta tinha o intuito de receber o material a ser injetado, a pasta de microcimento.

2.4.5 COLMATAÇÃO DAS TRINCAS E FISSURAS

Para recuperar as trincas que possuíam abertura maior que 10 mm, foi preferível utilizar o graute, com as características de ser isentos de retração, ter rápido ganho de resistência e liberação para o uso, foi utilizado a quantidade de água que seria suficiente para deixar a argamassa trabalhável, visto que o custo do epóxi sairia muito elevado para a recuperação das sapatas do condomínio.

Já, para a colmatação superficial, que evita a saída do material inserido no interior da estrutura, foi utilizado uma mistura de epóxi e caulim, pois o



► **Figura 13**
Fissura na sapata com abertura de 30 mm

epóxi, por ser muito fluido, escorreria na face das sapatas, não atendendo à função de fechar as fendas. A mistura foi aplicada modelando o material sobre as fendas e entorno dos purgadores, preenchendo e fechando o restante dos espaços (Figura 15).

2.4.6 LAVAGEM DAS TRINCAS E FISSURAS

Passadas 24 horas após o serviço de fechamento externo das trincas e fissuras foi realizada a lavagem interna dessas, com a injeção de água sobre pressão para remoção de possíveis detritos.

2.4.7 INJEÇÃO DE PASTA DE MICROCEMENTO NAS TRINCAS E FISSURAS

O procedimento de injeção é iniciado nas camadas de baixo, fazendo com



► **Figura 14**
Purgadores na sapata



► **Figura 15**
Colmatação das trincas e fissuras

que o ar seja expulso nos purgadores das camadas superiores, garantindo, assim, o máximo de preenchimento dos espaços vazios no interior das trincas.

Quando é observado que o excesso do microcimento está esborrando nos purgadores da camada superior, estes são fechados com arame 18 e, dessa maneira, com a pressão do material que está sendo injetado na estrutura, os demais espaços vazios passam a ser preenchidos. O procedimento se repete até que todos os purgadores estejam fechados.

Após 5 dias, os purgadores são cortados rente a face da sapata. Não se pode assegurar que todas as trincas foram totalmente preenchidas pela pasta de microcimento, pois, apesar de todos os cuidados tomados, ao longo dos anos foram depositadas quantidades de areia ou outro material, que, possivelmente, se solidificou na face interna das trincas e fissuras.

Mesmo sabendo que a situação de transmissão de esforços não será totalmente garantida, é necessário que se preencha ao máximo as trincas e fissuras para precaver a estrutura quanto a



► **Figura 16**
Malha de aço para encapsulamento da sapata

possíveis manifestações patológicas, como corrosão das armaduras ou novas expansões.

2.4.8 ENCAPSULAMENTO DAS SAPATAS

Decidiu-se que o reforço das sapatas seria dado por encapsulamento, conforme projeto estrutural fornecido por empresa especializada no ramo. As etapas do reforço estrutural seguiram as seguintes fases:

- Furação e apicoamento da sapata de concreto. Os furos foram executados com diâmetro de 12,5 mm, espaçados a cada 15 cm, e a superfície da sapata foi arranhada e apicoada;
- Colocação das barras e tela de aço. As barras de aço com 12,5 mm de diâmetro foram inseridas cerca de 30 cm nos furos feitos; foi colocada uma tela soldada Q503 sobre a superfície tronco piramidal com grampos no concreto, conforme ilustrado na Figura 16;
- Foi realizada uma aplicação do adesivo estrutural à base de resina nas superfícies de união do concreto,



► **Figura 17**
Sapata concretada

30 minutos antes da concretagem;

- Concretagem das sapatas (Figura 17). As vantagens desse método escolhido foram:

- Restringir ao máximo a expansão;
- Boa capacidade para impedimento de passagem de água;
- Maior durabilidade do reforço estrutural.

3 CONCLUSÕES

Através das vistorias e histórico da edificação em análise foi constatado o quadro da reação álcali-agregado nas sapatas do edifício.

O serviço de recuperação foi incompleto, pois, ao final do encapsulamento das sapatas, estas não foram impermeabilizadas, o que pode facilitar a penetração de agentes externos agressivos e umidade.

O método descrito neste trabalho é o mais utilizado e conhecido até o presente momento para recuperação de reação álcali-agregado, porém ele não é totalmente eficaz. A prova disso, é que algumas sapatas que já haviam sido recuperadas anteriormente mas, após alguns anos, voltaram a apresentar as fissuras. ➤

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM C 1152/2012: Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. Philadelphia, 2012.
- [2] NBR 12655/2015: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] NBR 7680/2007: Concreto: Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- [4] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2014
- [5] RILEM RECOMMENDATIONS. CPC-18. Measurement of hardened concrete carbonation depth. 1988.
- [6] NR 18/2013: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Rio de Janeiro, 2013.