

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

BEATRIZ MONTEIRO MATTOS
HEBERT LAFAYETE FRANCISCO DA SILVA
MANUELA GERUZA DE ANDRADE
MAIZA SILVESTRE DA SILVA
MARIA MADALENA DA CUNHA MARCULINO NASCIMENTO

**ESTUDO DE PATOLOGIAS DE INFILTRAÇÃO E
CORROSÃO DE ARMADURAS EM PAVIMENTO
GARAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL**

RECIFE/2022

BEATRIZ MONTEIRO MATTOS
HEBERT LAFAYETE FRANCISCO DA SILVA
MANUELA GERUZA DE ANDRADE
MAIZA SILVESTRE DA SILVA
MARIA MADALENA DA CUNHA MARCULINO NASCIMENTO

**ESTUDO DE PATOLOGIAS DE INFILTRAÇÃO E
CORROSÃO DE ARMADURAS EM PAVIMENTO
GARAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro
Universitário Brasileiro – UNIBRA, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil

Professor Orientador: Prof.^a Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues
Vaz

Professor Coorientador: Prof. Ms. Hygor Vinicius Costa Silva

RECIFE/2022

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

E82 Estudo de patologias de infiltração e corrosão de armaduras em pavimento garagem de uma edificação comercial / Beatriz Monteiro Mattos [et al]. - Recife: O Autor, 2022.
82 p.

Orientador(a): Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.

Inclui Referências.

1. Patologia. 2. Concreto. 3. Recuperação. 4. Corrosão de armaduras. 5. Infiltração. I. Silva, Hebert Lafayette Francisco da. II. Andrade, Manuela Geruza de. III. Silva, Maiza Silvestre da. IV. Nascimento, Maria Madalena da Cunha Marculino. V. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. VI. Título.

CDU: 624

“Dedicamos este trabalho a Deus, autor de maravilhas em nossas vidas, cuja presença nos auxilia nas nossas escolhas, abrindo caminhos e nos segurando pela mão, nos dando confiança frente aos desafios e adversidades, nos acompanhando rumo à realização dos nossos sonhos. Sem Deus, nada disso seria possível”.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores que nos acompanharam ao longo do curso e que, com empenho, se dedicam à arte de ensinar.

A nossa orientadora pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos, pelo carinho e paciência conosco.

Ao nosso coorientador pela disponibilidade, correções, incentivos e por dividir seu conhecimento.

Aos nossos familiares que nos apoiaram até aqui e foram a nossa fonte de inspiração.

Somos gratos aos colegas de Universidade que lutaram junto conosco diariamente.

A empresa MS estruturas pela disponibilização dos materiais e aos engenheiros colaboradores, em especial a engenheira Mariana Carvalho que nos ajudou muito no desenvolvimento desse trabalho e pelo conhecimento transmitido de forma tão paciente.

As pessoas que mais nos apoiam em qualquer momento de nossas vidas são os que estão mais próximos. Assim, é sempre válido demonstrar a gratidão aos que ofereceram uma força, uma palavra amiga para a conclusão do curso e formação profissional.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito, nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos.....	18
Figura 02 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos – Atual.....	19
Figura 03 – Manchas de infiltração em laje e paredes.....	20
Figura 04 – Tabela 6.1 da norma NBR 6118/2014 - Classes de agressividade ambiental.....	23
Figura 05 – Tabela 7.1 da norma NBR 6118/2014 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.....	24
Figura 06 – Concreto com avançado grau de corrosão da armadura.....	25
Figura 07 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado por íons cloretos.....	25
Figura 08 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.....	26
Figura 09 – Teste de estanqueidade da impermeabilização.....	27
Figura 10 – Teste de carbonatação com fenolftaleína.....	28
Figura 11 – Ábaco do avanço da carbonatação.....	29
Figura 12 – Nitrato de prata aplicado no corpo de prova.....	30
Figura 13 – Nitrato de prata aplicado no pó do concreto de um corpo de prova.....	31
Figura 14 – Teor máximo de íons cloretos para a proteção das armaduras do concreto.....	32
Figura 15 – Aplicação da manta asfáltica com uso de maçarico.....	33
Figura 16 – Aplicação da argamassa polimérica em laje de concreto.....	36
Figura 17 – Etapas de recuperação de corrosão do concreto armado.....	39
Figura 18 – Escoramento e início do processo de escarificação de pilar.....	40
Figura 19 – Forma do pilar.....	40
Figura 20 – Finalização do processo de recuperação do pilar.....	41
Figura 21 – Escoramento de viga.....	41
Figura 22 – Processo de recuperação da viga.....	42

Figura 23 – Localização em imagem de satélite da edificação comercial.	44
Figura 24 – Foto panorâmica do pavimento garagem.....	45
Figura 25 – Arquitetura do pavimento garagem.....	46
Figura 26– Fluxograma de diagnóstico e prognóstico da estrutura.....	47
Figura 27 – Infiltração e corrosão da armadura próximo as instalações hidrossanitárias.....	50
Figura 28 – Infiltração e corrosão do concreto na laje, próximo aos vãos abertos.....	51
Figura 29 – Infiltração e corrosão da armadura na laje próximo a junta de dilatação da estrutura.....	51
Figura 30 – Infiltração e corrosão da armadura no pilar próximo a junta de dilatação da estrutura.....	52
Figura 31 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.....	52
Figura 32 – Ensaio de Carbonatação no pilar.....	54
Figura 33 – Ensaio de Carbonatação na viga.....	54
Figura 34 – Teor de íons cloretos em relação à massa de cimento de acordo com a profundidade da amostra – Pilar.....	56
Figura 35 – Teor de íons cloretos em relação à massa de cimento de acordo com a profundidade da amostra – Viga.....	56
Figura 36 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.....	59
Figura 37 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.....	60
Figura 38 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.....	60
Figura 39 – Processo de recuperação de vigas de concreto.....	62
Figura 40 – Processo de recuperação de vigas de concreto.....	63
Figura 41 – Processo de recuperação de laje de concreto.....	65
Figura 42 – Processo de recuperação de laje de concreto.....	65
Figura 43 – Laje e vigas recuperados.....	66
Figura 44 – Pilares e juntas de dilatação recuperados.....	66
Figura 45 – Pilares recuperados.....	67
Figura 46 – Lajes e vigas recuperadas.....	67
Figura 47 – Instalações hidráulicas/hidrossanitárias reparadas.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valores medido in loco: espessura da camada de carbonatação e do cobrimento do elemento estrutural – Pilar.....	54
Tabela 02 – Valores medido in loco: espessura da camada de carbonatação e do cobrimento do elemento estrutural – Viga.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR – Norma Brasileira

CO₂ – Composto Químico Dióxido de Carbônico

H₂CO₃ – Composto Químico Ácido Carbônico

O₂ – Elemento químico Oxigênio

OH – Elemento químico Hidroxila

Fe – Elemento químico Ferro

pH – Potencial Hidrogeniônico

mm – Milímetro

AgNO₃ – Nitrato de Prata

AgCl – Cloreto de Prata

G - Grama

Pag. - Página

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

mca – Metros de coluna d'água

Ltda – Limitada

F_{ck} – Resistência característica à compressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Pavimento Garagem.....	15
2.2 Patologia de pavimentos garagem de concreto armado	16
2.2.1 Diretrizes de identificação patológica.....	17
2.2.2 Manifestações Patológicas.....	20
2.2.3 Ensaios para o diagnóstico.....	27
2.3 Tratamento de patologias em concreto armado	32
2.4 Aspectos decisivos para uma recuperação estrutural	42
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 Área de estudo	43
3.2 Coleta de informações	44
4 ESTUDO DE CASO.....	45
4.1 Descrição da edificação.....	45
4.2 Descrição da empresa	46
4.3 Diagnóstico e prognóstico.....	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	69
ANEXO A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	73

ESTUDO DE PATOLOGIAS DE INFILTRAÇÃO E CORROSÃO DE ARMADURAS EM PAVIMENTO GARAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL

Beatriz Monteiro Mattos
Herbert Lafayette Francisco da Silva
Manuela Geruza de Andrade
Maiza Silvestre da Silva
Maria Madalena da Cunha Marculino Nascimento
Prof.^a Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz¹

Resumo: Um estudo patológico sobre estrutura de concreto armado é fundamental para a avaliação das condições gerais de conservação de edificações. Além de nortear em conjunto com as normas técnicas os procedimentos necessários para garantir a vida útil de uma estrutura. Desta forma, o presente trabalho visa apresentar um estudo de caso para fomentar a literatura técnica com a análise de casos concretos, enriquecendo a expertise do estudo de patologias em pavimento garagem (subsolo) e servindo de referência para a prática de trabalhos futuros. A metodologia para desenvolvimento deste trabalho se baseou na análise das manifestações patológicas em um pavimento garagem de uma edificação comercial, localizada no bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes – PE, sendo os dados fornecidos pela empresa Marcello Sanguinetti Ltda. A partir do conhecimento da edificação em relação ao ambiente externo e ao uso e ocupação do pavimento analisado, observou-se que o revestimento do concreto é insuficiente para sua classe de agressividade ambiental e usabilidade, devido à presença de íons cloretos do ambiente e as descargas de CO₂ dos veículos, respectivamente, e o agravante a estes pontos elencados é a falta de manutenção, o que neutralizaria as patologias logo nos primeiros sinais. A recuperação sugerida pela empresa e realizada foi pontual dos elementos estruturais, afim de executar o revestimento apropriado nos trechos com corrosão da armadura, a impermeabilização das áreas com infiltração e reparo das instalações hidráulicas/hidrossanitárias de modo a garantir a perfeita conservação do ambiente.

Palavras-chave: Patologia. Concreto. Recuperação. Corrosão de armaduras. Infiltração.

¹ Professor da UNIBRA. Doutorado em Química. E-mail: elaine.cavalcanti@grupounibra.com

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos garagens são os componentes arquitetônicos importantes nas edificações residenciais e comerciais, baseando-se sempre nas características e necessidade dos imóveis aos quais eles serão edificados. O dimensionamento de um pavimento garagem, assim como a sua dimensão estrutural, difere entre uma edificação comercial e uma edificação residencial.

A definição da quantidade de vagas e da área destinada ao pavimento garagem de uma edificação, seja ela residencial ou comercial, é a partir da lei municipal ao qual a edificação pertence. A legislação urbanística varia de acordo com cada município dentro do estado e permite uma melhor mobilidade urbana. Conforme a lei municipal de Jaboatão dos Guararapes nº165/80 - O setor comercial apresenta dimensionamento de 01 vaga para cada 10m² de área construída, diferentemente do setor habitacional que deve ter 01 vaga para cada unidade habitacional com área útil superior a 75,00m², porém estas diferenças se atrelam quando referem-se a patologias.

Os pavimentos garagens de edificações comerciais são geralmente em ambientes de subsolo, ou até em pavimentos superiores, mas apresentam características arquitetônicas semelhantes: vãos abertos, muretas em vez de paredes de vedação, quando no subsolo apresentam apenas muros de contenção, e ausência de forros e/ou proteção de estruturas. De acordo com a lei municipal nº165/80 para efeito de dimensionamento da área de uma vaga, deve se tomar para cada veículo as medidas mínimas de 5,00m x 2,30m (cinco metros por dois metros e trinta centímetros).

De acordo com Ambrósio (2004) as principais patologias localizadas em estruturas de concreto são geradas por ausência de manutenção, déficit na impermeabilização, mas também por erros de projetos. Uma concepção equivocada de um projeto, seja ele garagem ou não, pode afetar a manutenção do ambiente, causando maiores patologias. As manifestações patológicas de infiltração e corrosão da armadura do concreto são as maiores causadoras de danos no ambiente de uma garagem, porém influenciadas pela classe de agressividade ao qual a edificação está localizada e ao CO₂ da combustão dos veículos no ambiente.

A análise e conhecimento de patologias, segundo Helene (2014), começa a partir da identificação da causa, posteriormente da forma de ação da patologia, os efeitos à edificação e os agentes influenciadores desta patologia. A necessidade da análise da durabilidade da estrutura na fase inicial é tão importante quanto a verificação da resistência da estrutura (MEDEIROS, 2011), contribuindo no comportamento da edificação ao longo prazo, na prevenção de manifestações patológicas e na necessidade de intervir a curto prazo na estrutura.

São inúmeros os fatores que podem gerar danos à estrutura de um pavimento de estacionamentos, por isso é indispensável o conhecimento de suas causas e os métodos eficazes de solução. Estas patologias reduzem a vida útil de uma edificação, por isso é essencial que o tratamento de manutenção seja igual e periódico para todos os pavimentos.

O estado de Pernambuco, localizado no nordeste do Brasil é o que apresenta grande parte de sua capital situada nas condições mais agressivas ao concreto armado. As altas temperaturas e umidades relativas, assim como a presença de uma grande concentração de edificações localizadas na orla marítima do estado, em conjunto com o baixo controle de qualidade que ocorre nas diferentes etapas do processo construtivo e assim como o emprego de mão-de-obra desqualificada, são fatores que contribuem para o aparecimento de todos os fenômenos que provocam a degradação das estruturas da região metropolitana do Recife (ANDRADE, 1997).

A relevância de estudos e pesquisas sobre patologias contribui para assegurar uma maior qualidade na construção civil, em que auxilia projetos futuros e busca técnicas mais avançadas de recuperação e até o reconhecimento prévio de patologias, isto devido ao conhecimento de que para uma maior durabilidade em uma edificação, todos os processos devem estar em conformidade. Os conhecimentos destes processos levam à noção da origem de diversas manifestações patológicas e a melhor forma de tratamento e/ou eliminação destas, o que não seria possível sem estudos mais específicos na engenharia.

Diante do conhecimento literário abordado sobre a área de patologias e a necessidade de qualidade na construção civil, foi analisado um estudo de caso sobre um pavimento garagem, localizado no bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes – PE, em que foi considerado o ambiente ao qual a estrutura pertence e o nível de conservação dos elementos estruturais.

O estudo de caso, ocorreu pelos dados fornecidos pela empresa Marcello Sanguinetti Ltda., a qual realizou vistoria técnica, laudo patológico e, bem como indicou o processo de recuperação da estrutura a partir de métodos convencionais, mão-de-obra disponível e tempo de parada, por se tratar de um empreendimento comercial.

As patologias encontradas foram de infiltração e corrosão, portanto esse trabalho busca contribuir com a conservação estrutural das edificações.

O presente estudo de caso tem como objetivo identificar e verificar as patologias nos elementos estruturais que integram um pavimento garagem de uma edificação comercial localizada na cidade de Jaboatão dos Guararapes – PE, no sentido de identificar a origem da patologia e sugerir técnicas de recuperação de modo a evitar danos até o possível colapso na estrutura.

Para tanto, visa-se descrever e identificar a estrutura em análise quanto aos aspectos patológicos; classificar o uso e ocupação da edificação e analisar o método de recuperação dos elementos estruturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento Garagem

Segundo Sayegh (2020) A integração entre projeto arquitetônico e estrutural é indispensável para o melhor aproveitamento espacial das garagens em estacionamentos, por isso um competente projeto de estacionamento é dividido entre a modulação de pilares, distribuição de vagas do projeto arquitetônico e ao ajuste dos pilares e vigas de acordo com a necessidade estrutural.

O aumento do número de veículos nas ruas e o fluxo intenso do trânsito ao passar dos anos, fez a necessidade de implantação de estacionamentos em áreas públicas e áreas privadas. Quando um empreendimento de grande porte é planejado, considera-se o impacto que ocorrerá no tráfego local, por isso, Melo (2012) diz ser necessário que haja um estudo e levantamento da demanda atual e revisão futura para identificar a oferta necessária de vagas de estacionamento, caracterizando as diretrizes para o projeto arquitetônico do pavimento garagem.

O ambiente do pavimento garagem é dimensionado equiparado com quantidade e dimensão das vagas de estacionamento que serão projetadas, porém, essa quantidade e dimensão são indicadas por lei e por cada município do estado, de modo a garantir melhor circulação e acessibilidade (CARVALHO, 2019).

A lei municipal se aplica a estacionamentos privados e não públicos, mas quando o estacionamento de um empreendimento comercial faz parte da área construída da própria edificação as leis são aplicadas como um estacionamento privado.

A escolha do sistema construtivo – concreto moldado *in loco* ou pré-moldado, estrutura metálica ou estrutura mista – devem considerar a acessibilidade, segurança, sustentabilidade, exequibilidade, prazos, entre outros fatores. Mas independentemente do tipo escolhido, os vãos e desníveis devem ser padronizados para obtenção de um melhor resultado.

Nos subsolos, elemento de contenção que pode ser muro de arrimo ou cortinas, parede-diafragma, solo grampeado ou colunas de *jet grouting*, é necessário, devido aos esforços horizontais de empuxo de solo saturado e eventuais esforços verticais de subpressão na laje de pisos em contato com o solo.

2.2 Patologia de pavimentos garagem de concreto armado

Segundo Silva (2007), as patologias são as falhas ou o desempenho insatisfatório que uma edificação apresenta em determinado período de sua vida útil. O modo de manter a vida útil do edifício é a partir da identificação das patologias, suas causas e com isso chegar a uma solução simples e economicamente possível.

As patologias não apenas ocorrem devido a fatores externos, mas também devido a fatores internos que podem facilitar que agentes externos tenham mais ações. Batista (2020) refere-se que as patologias podem ter origem a partir de uma ou mais etapas básicas de projetos da construção civil: concepção, execução e utilização.

No processo de concepção, Helene (1988) indica investir mais tempo no detalhamento da estrutura, porque as falhas de projeto e planejamento são mais graves que as falhas oriundas de má execução e de qualidade dos materiais, ressaltando que assim evita-se a adaptações durante o processo de execução.

Leonhardt (2007) ressalta o controle de qualidade na obra civil:

A estrutura é parte de uma obra civil de grande responsabilidade, que exige a confiança no dimensionamento das peças, na qualidade do material a ser utilizado, bem como na execução da mesma. O grande controle de qualidade do processo de fabricação utilizado atualmente nas siderúrgicas brasileiras permite a perfeita combinação da composição química com as propriedades mecânicas do aço fabricado, proporcionando uma excelente segurança e confiabilidade nos esforços resistentes. (LEONHARDT; MONNIG, 2007).

Na etapa de execução é exigido o máximo de qualidade, principalmente no concreto utilizado para apresentar a característica exigida em projeto. Neste processo ocorre o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, “sendo muito importante ter funcionários capacitados, pois a ocorrência de falhas afeta diretamente a resistência e durabilidade do concreto” (BATISTA, 2020).

Após o fim da execução, o processo de utilização é a continuação de garantia de qualidade da estrutura, neste item são inseridas as recomendações de uso da edificação, respeitando o projeto de uso e ocupação da obra e as normas de manutenção. A NBR 5674 de manutenção predial – Item 4.2 afirma que a manutenção de edificações inclui todos os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho decorrente da deterioração dos seus componentes, ou de atualizações nas necessidades dos seus usuários.

O pavimento garagem de uma edificação é um dos ambientes que mais sofre com diversas patologias, principalmente a de infiltração devido à pouca ventilação quando no subsolo ou por ausência de paredes de vedação, quando em pavimentos elevados, também devido à presença de dióxido de carbono liberado pela descarga dos carros e da umidade característica do subsolo. Estes itens combinados conseguem deteriorar tanto a estrutura quanto os revestimentos de um prédio, levando a outros problemas como mofo, bolor entre outras patologias derivadas da infiltração.

Segundo Torres (2013), a ausência de ventilação em pavimentos garagens de prédios comerciais é muito perigosa para a estrutura e para os seres humanos, visto que o fluxo de carros é maior nestes empreendimentos.

Outra manifestação patológica decorrente da infiltração e da classe de agressividade do ambiente é a corrosão das armaduras, presente nos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), maiormente nos locais onde há foco de infiltração ou próximo aos ambientes abertos com provável infiltração de águas pluviais, também devido a erros na escolha dos materiais e/ou aditivos da execução do concreto.

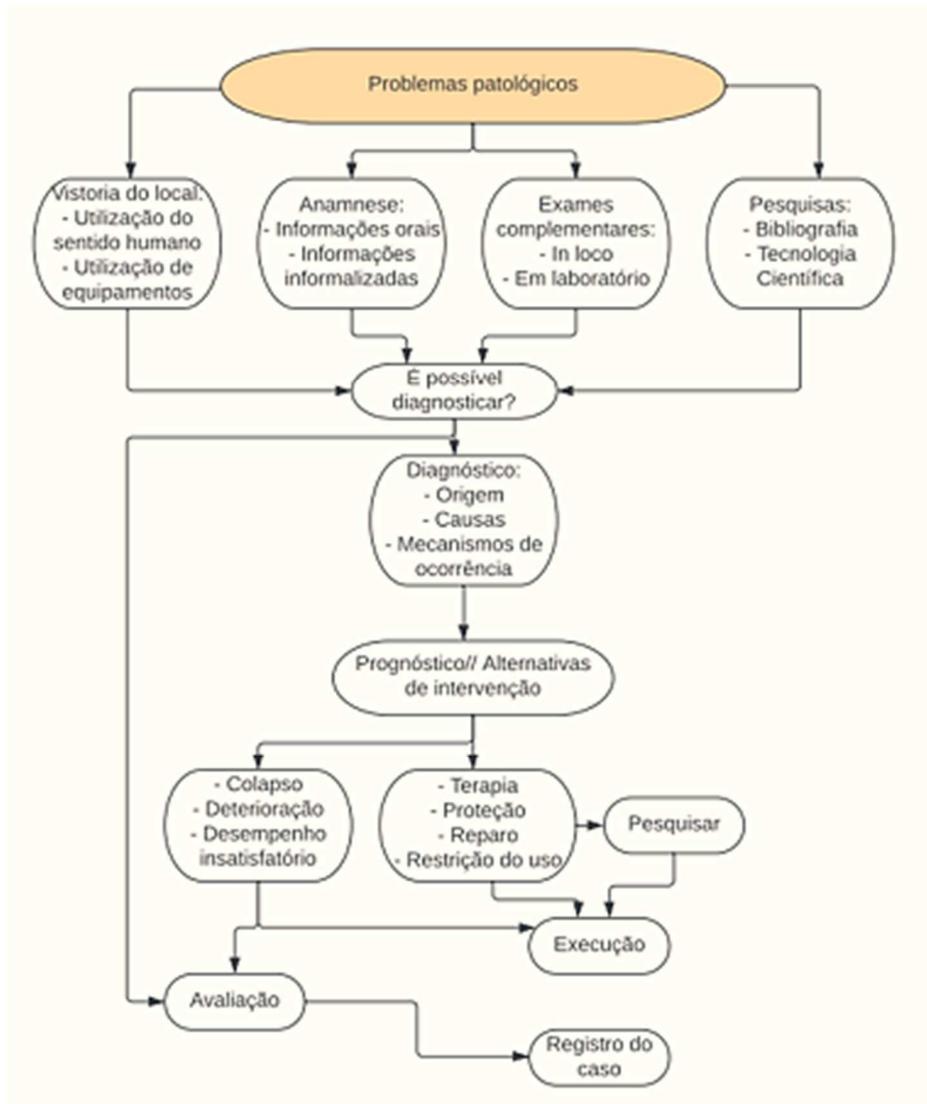
2.2.1 Diretrizes de identificação patológica

A análise bem observada e um diagnóstico correto são exemplos de métodos de tratamento eficazes para qualquer patologia. O levantamento de dados sobre danos, processo construtivo e utilização da obra é essencial para entender como a evolução de uma patologia pode ser mais rápida ou mais lenta.

Liechtenstein (1986), fala que a determinação dos problemas patológicos é feita a partir da comparação qualitativa entre o desempenho exigível do edifício ou parte dele, com o desempenho encontrado, porém a maioria das patologias em geral, apresenta uma sintomatologia que torna de imediata a constatação da sua existência.

Liechtenstein (1986) divide a etapa de diagnóstico e resolução de problemas em quatro etapas: vistoria no local, anamnese, exames complementares e pesquisa, como identificado no fluxograma apresentado na Figura 01.

Figura 01 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos.



Fonte: Adaptado de Liechtenstein (1986).

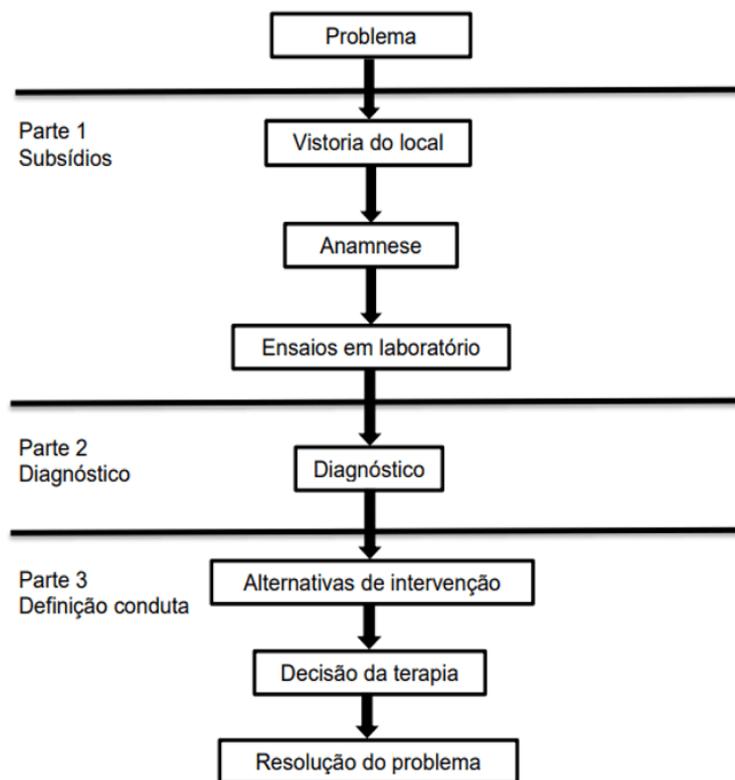
A vistoria no local é um meio de avaliação realizada *in loco*, ou seja, uma verificação no local, no qual são realizados registros fotográficos e levantamento de relatórios, aparentemente mostrando num primeiro momento que o levantamento dos dados é apenas visual, para ser possível uma melhor compreensão do surgimento das patologias posteriormente.

A anamnese é o meio de identificação do histórico da construção, da composição da estrutura, uso e ocupação da edificação, relacionando as patologias encontradas na vistoria o histórico da edificação.

Os exames complementares são auxiliares para a formulação do diagnóstico, os exames ou testes contribuem com dados físicos, químicos e biológicos, dependendo do exame e do tipo de patologia que se é estudada. Quando não é possível o diagnóstico por exames, pode-se utilizar as pesquisas bibliográficas ou tecnológicas.

O fluxograma de Liechtenstein (1986) demonstra as etapas a serem seguidas desde as fases iniciais de levantamento das patologias até execução dos reparos da estrutura. Atualmente os fluxogramas de levantamento de patologias são mais simples, porém é utilizado o mesmo método de estudo, como identificado no fluxograma da figura 02.

Figura 02 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos – Atual.



Fonte: Scheidegger (2019).

O diagnóstico de uma patologia e da estrutura em geral é a fase mais crucial do processo de recuperação estrutural. Após a passagem de toda a etapa de verificação inicial, coleta de dados e análise, deve-se formular o diagnóstico.

Um diagnóstico bem elaborado e correto dá maior rapidez e economia ao tratamento das patologias, devido ao correto método de tratamento. Quando a análise é errada, as intervenções são incompatíveis com as patologias, gerando erros nas demais etapas e gastos desnecessários.

Lapa (2008) complementa que toda a verificação *in loco* e análise de dados, o especialista da área deve levantar hipóteses sobre a evolução futura do problema, o qual é denominado prognóstico. A metodologia utilizada pode levar a erradicação da patologia, impedir ou controlar a sua evolução, não intervir, estimar o tempo de vida útil, limitar o uso de parte da edificação ou até mesmo indicar a demolição.

2.2.2 Manifestações Patológicas

2.2.2.1 Infiltração

A infiltração é uma das manifestações patológicas muito presente na construção civil, geralmente em decorrência de uma má impermeabilização das estruturas e/ou problemas de instalação hidráulica. O processo de infiltração ocorre quando o líquido permeia os espaços vazios de um corpo sólido, esse líquido é a água que pode ser da chuva e/ou das instalações (MAX, 2021). A figura 03 a seguir identifica a presença de infiltração em ambiente interno.

Figura 03 – Manchas de infiltração em laje e paredes.



Fonte: Blog Obramax (2021).

A infiltração é dividida em dois tipos, na visão de alguns profissionais da construção civil, a infiltração de fora para dentro e de dentro para fora. A de dentro para fora é causada por vazamentos na rede hidráulica ou por problemas decorrentes

pela falta de revestimento adequado em áreas molhadas de fora para dentro é causada pela ausência de impermeabilização, mau escoamento da água da chuva, umidade do solo ou ação do lençol freático.

De acordo com Harb (2021), a umidade proveniente da infiltração atinge o interior de uma casa pelas paredes, já a umidade proveniente por condensação é quando o vapor da água do interior do ambiente entra em contato com as paredes, resultando no aparecimento de gotículas e manchas de bolor. A umidade também é causada pela infiltração.

Ainda de acordo com Harb (2021) os tipos de infiltração são caracterizados em:

- Infiltração por intempéries: Quando a água da chuva penetra nas fissuras da fachada ou devido a problemas de drenagens da cobertura, tornando importante o processo de impermeabilização.
- Infiltração por condensação: Quando ocorre o vapor de água em um ambiente e entra em contato com superfícies como as paredes. Não necessariamente pode ser em cômodos como banheiros, mas em ambientes com infiltração que possa ocorrer o processo de condensação.
- Infiltração ascendente por capilaridade: É a infiltração que surge nas áreas inferiores das paredes, absorvendo a água do solo pela fundação da construção. Ocorrendo também do ambiente externo para o interno.
- Infiltração por ausência de impermeabilização e/ou ausência de manutenção de instalações hidráulicas: Quando ocorre no interior de uma construção, principalmente pelas paredes, causada por problemas de instalações hidráulicas, ausência ou déficit na impermeabilização. Essa infiltração também é chamada de infiltração por pressão negativa, quando há falha na impermeabilização e a umidade do solo ou ação de lençol freático atingem a estrutura.

Existem vários fatores que podem causar infiltração, por isso é importante observar e analisar as causas, principalmente quando outras patologias podem ter origem a partir da infiltração como o desnível do piso, o deslocamento de revestimento e a corrosão de armaduras.

Conforme Max (2021) existem vários fatores que podem causar a infiltração nas estruturas de uma edificação, entre as principais causas estão os problemas como:

- Problemas na rede hidráulica: canos quebrados ou com vedação inadequada;
- Falhas no telhado: calha entupida, telhas quebradas ou falha na inclinação para o escoamento perfeita da água da chuva;
- Caixa d'água mal instalada;
- Laje sem impermeabilização ou impermeabilização inadequada;
- Chuva na parte externa (paredes externas com rachaduras e fissuras);
- Vigas baldrame e fundações rasas: falha na impermeabilização da fundação somado ao fato de um solo com umidade excessiva;
- Parede do vizinho: em construções geminadas, a infiltração pode aparecer por consequência de problemas na obra ao lado.

Em concordância com Neves (2021) os principais danos causados pela infiltração na estrutura:

1 – Corrosão do concreto armado: Quando o cobrimento mínimo da peça estrutural não obedece aos critérios normativos, ou seja, não apresenta a espessura indicada por norma, a infiltração neste elemento estrutural causa a deterioração do concreto, a perda da camada de passividade da armadura (ligação entre o concreto e armação), exposição do aço ao ambiente e a aceleração do processo corrosivo, danificando a estrutura e causando perda de resistência da peça estrutural.

2 – Carbonatação: Reação química resultante da interação entre componentes como o CO₂ (gás carbônico) presente no ambiente, com a composição da hidratação do cimento, formando um composto chamado ácido carbônico (H₂CO₃), reduzindo o pH do concreto, fragilizando o concreto e expondo a armadura.

3 – Eflorescências oriundas da lixiviação do concreto: A formação de sais sobre a superfície do concreto, devido a infiltração nos poros do concreto. Os sais reagem com a água e provocam as eflorescências – caracterizada pelo depósito branco sobre o concreto. A consequência é a fragilização do concreto, a deterioração do revestimento e abrir caminhos para a corrosão da armadura.

2.2.2.2 Corrosão do concreto armado

Medeiros (2008) alega que a corrosão da armadura é um processo de degradação dos materiais metálicos que ficam expostos ao contato com gases nocivos ou com a umidade, necessitando de cuidados para prolongar sua vida útil e acarretando em prejuízos financeiros.

A corrosão do concreto ocorre em locais mais expostos à umidade, com presença de agentes agressivos, áreas com falhas de concretagem, alta porosidade, cobrimento mínimo fora dos critérios normativos e a classe de agressividade ao qual a edificação está inserida.

A classe de agressividade ambiental é um dos parâmetros físico e químico que atua sobre a estrutura de concreto, ainda na fase de projeto, projetando a estrutura para resistir aos esforços e apresentar boa durabilidade. Segundo Vieira (2022) essa classificação diz respeito às características físicas e químicas que o ambiente externo apresenta e que atua sobre a estrutura de concreto, independentemente das demais ações já previstas, aumentando a medida em que os agentes externos ficam mais intensos. Essa intensidade se torna um coeficiente para o cálculo de dimensionamento da estrutura e conseqüentemente do cobrimento da armadura.

As tabelas 6.1 e 7.1 (figuras 04 e 05) da NBR 6118/2014 indicam as classes de agressividade ambiental e a correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal. É possível observar que conforme o deslocamento da classificação da área rural para a área industrial, o risco de deterioração da estrutura aumenta e a agressividade passa de fraca para muito forte, reafirmando a citação anterior de Vieira (2022) sobre as características físicas e químicas que o ambiente externo apresenta.

Figura 04 – Tabela 6.1 da norma NBR 6118/2014 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
	I	Fraca	Rural Submersa
II	Moderada	Urbana ^{a, b} Marinha ^a	Pequeno
III	Forte	Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118/2014 (2014).

Figura 05 – Tabela 7.1 da norma NBR 6118/2014 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118/2014 (2014).

Medeiros (2008) ainda cita que há vários motivos possíveis de corrosão de armaduras no concreto armado, motivos que vão de água sulfatas, reação álcalis-agregados, retração por secagem, penetração de cloretos, a carbonatação, entre outras, mas os principais fatores são a penetração de cloretos, proveniente de maresia ou contato direto com água do mar. Os íons cloretos depositados na superfície do concreto, são dissolvidos pela chuva e transportados para o interior da estrutura através de mecanismos como a infiltração por capilaridade. A carbonatação é o segundo fator de ocorrência de corrosão do concreto armado, devido à presença de altos níveis de poluição, ambientes industriais, garagens e alta concentração de CO₂.

2.2.2.2.1 Corrosões do concreto por íons cloretos

A proteção da superfície do aço envolto do concreto é chamada camada de passivação, essa camada de proteção composta por óxido protege o aço mantendo-o intacto. A entrada de íons cloretos nos poros do concreto reagem com a água e o oxigênio presente levando a destruição da camada passivadora do aço, iniciando o processo de corrosão da armadura.

A destruição da camada passivadora ativa a superfície do aço formando o anodo, o catodo a superfície passivada, criando expansões nas armaduras, causando danos ao concreto como fissurações até que a armadura seja exposta (LODI, 2021). A figura 06 demonstra a corrosão na parte inferior de um pilar de concreto.

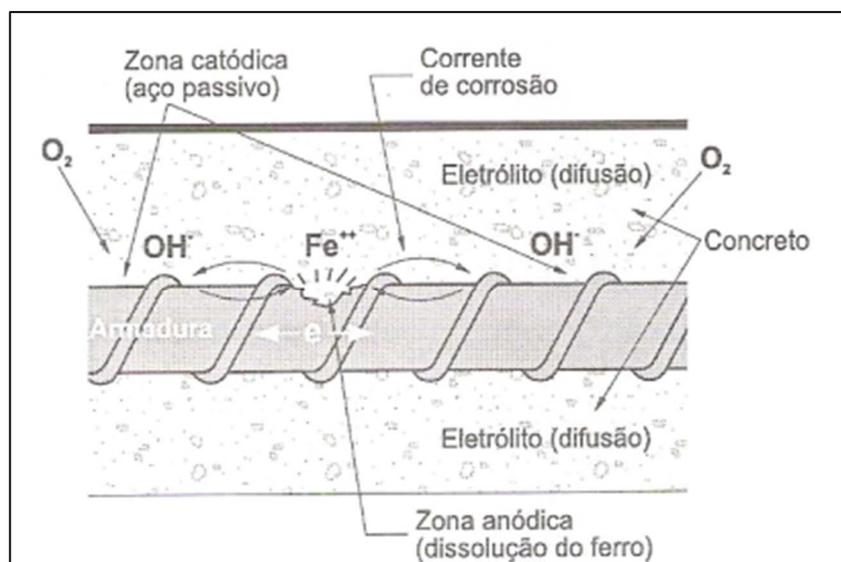
Figura 06 – Concreto com avançado grau de corrosão da armadura.



Fonte: Blog AECweb (2014).

Os íons cloretos podem ocorrer devido a fatores como a composição e tipo de cimento, relação água/cimento, adensamento, cura, saturação dos poros e fissuras já existentes. A corrosão da armadura é apresentada na pilha eletroquímica da figura 07.

Figura 07 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado por íons cloretos.



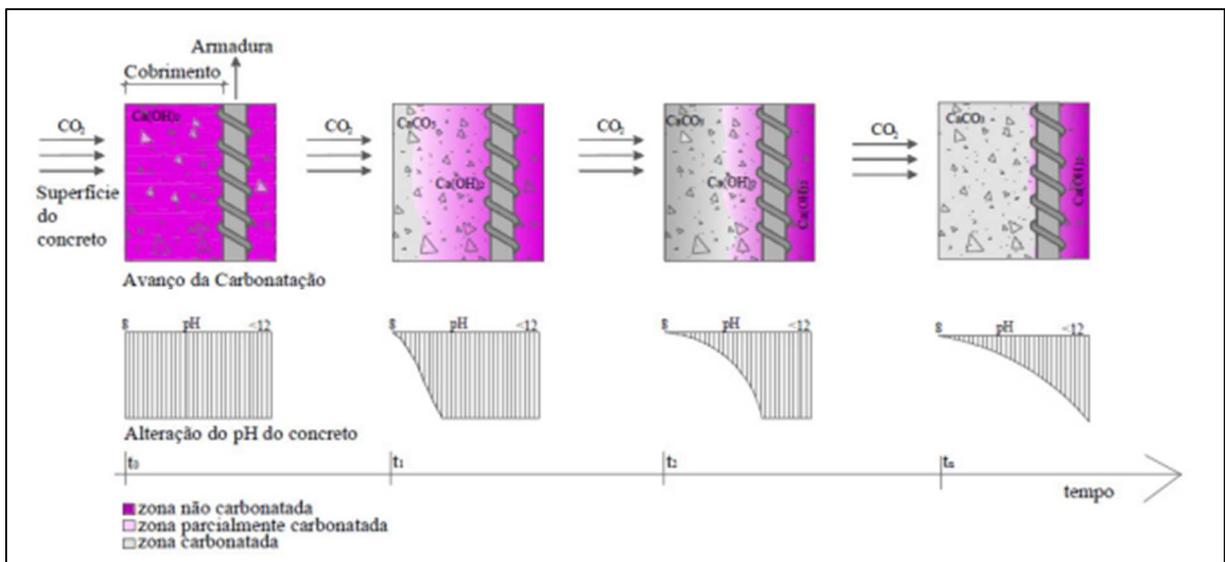
Fonte: Lodi (2021).

2.2.2.2.2 Corrosão do concreto por carbonatação

A carbonatação ocorre de forma progressiva do exterior do concreto exposto ao CO_2 até atingir a camada de proteção da armadura. Conforme Lodi (2021) a velocidade decrescente de penetração do CO_2 no concreto e devido à difusão pelos poros e essa difusão é lenta devido à quantidade de água presente nos poros.

A característica da carbonatação é a frente de avanço do processo, isso devido à separação em duas zonas com pH diferente. O pH é o principal fator do avanço da corrosão por carbonatação, alterando o pH do concreto, deteriorando a camada de proteção da armadura e conseqüentemente o concreto. As duas zonas de pH diferente (aproximadamente uma com $\text{pH} < 9$ e outra com $\text{pH} > 12$ – Zona carbonatada e zona não carbonatada) é o processo da carbonatação e a sua profundidade aumenta proporcionalmente conforme o tempo, como identificado na figura 08 a seguir.

Figura 08 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.



Fonte: Possan (2010).

A carbonatação pode ocorrer devido a fatores como a umidade do ambiente, tipo e quantidade de cimento, relação de água/cimento e a condição de cura.

2.2.3 Ensaios para o diagnóstico

Infiltração – (Testes de estanqueidade)

O teste de estanqueidade consiste na verificação da impermeabilização executada na estrutura. Este teste é realizado logo após a execução da impermeabilização, de modo a garantir a perfeita execução e verificar que não houve falhas durante o seu processo.

Conforme a NBR 9574/2008, o teste de estanqueidade consiste na inserção de uma lâmina de água sobre a superfície recém-impermeabilizada por ao menos 72 horas, visando localizar falhas na execução do sistema de impermeabilização e seguir com as etapas finais da obra.

Joffily (2021) relata que passada as 72 horas de teste e a lâmina de água teve uma baixa consideravelmente, deve-se corrigir urgentemente a falha e refazer o teste, de modo a não apresentar mais nenhum déficit da impermeabilização. A figura 09 a seguir mostra uma lâmina de água em uma laje de piso.

Figura 09 – Teste de estanqueidade da impermeabilização.



Fonte: Joffily (2021).

Este teste de infiltração é realizado apenas no início do processo construtivo, mais especificamente após a aplicação da impermeabilização ou quando uma estrutura antiga sofre uma reforma com toda a impermeabilização trocada e necessita de um novo teste. Quando a estrutura não passará por reforma ou não terá sua impermeabilização trocada, mas deve-se verificar a ocorrência de infiltração, só será possível de modo visual, pois expõe Verçozza (1985) que a umidade presente no

ambiente causa goteiras, manchas, mofos, apodrecimento, eflorescência, gelividade e destacamento de revestimento. Confirmada a infiltração, deve-se verificar o tipo de infiltração e a origem.

Testes de corrosão do concreto

Testes de carbonatação

O teste de carbonatação consiste na identificação da corrosão do concreto por meio do pH, mas é caracterizado como teste destrutivo. Conforme Zampa (2021) o teste incide na utilização de fenolftaleína, composto orgânico utilizado na medição de pH, classificando as substâncias em ácida e básica, alterando de cor conforme o pH maior ou menor. (pH menor que 09 – É incolor/ pH maior que 09 – É magenta, conforme figura 10 a seguir.

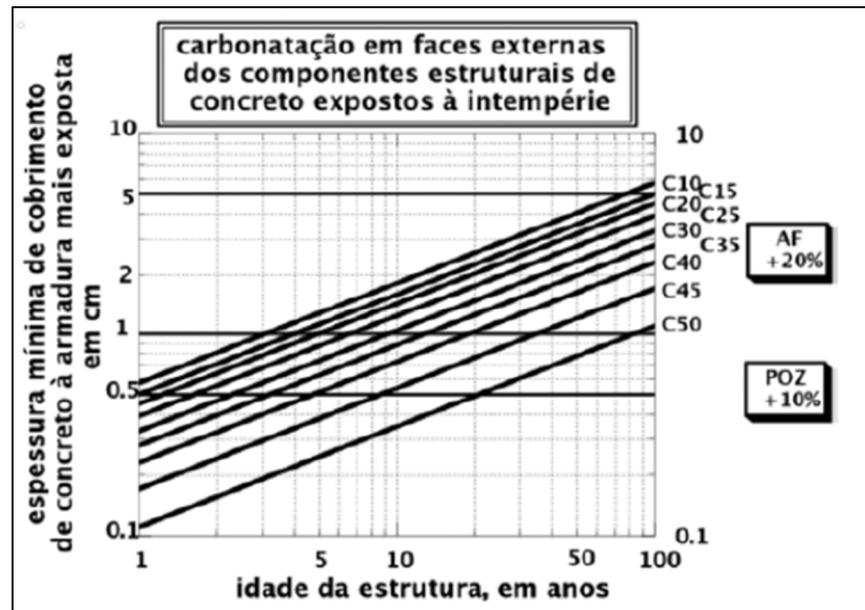
Figura 10 – Teste de carbonatação com fenolftaleína.



Fonte: Zampa (2021).

O processo consiste na medição da espessura da parte carbonatada através do indicador químico que permitirá a visualização da frente de carbonatação, a partir da variação de cor. Os valores medidos é comparado com a curva de correlação com a idade da estrutura conforme as recomendações normativas da NBR 6118/2014 – Ábaco identificado na figura 11 a seguir.

Figura 11 – Ábaco do avanço da carbonatação.



Fonte: Helene (1997).

Execução do teste de carbonatação:

- Furar o elemento de concreto com uma furadeira - profundidade aproximada de 20mm – Se possível com armadura exposta;
- Limpar toda a superfície, removendo detritos soltos e possíveis compostos químicos presentes na superfície;
- Aplicar solução de fenolftaleína sobre a área;
- Verificar a alteração de cor da substância sobre a superfície do concreto;
- Medir a espessura da camada que apresenta a carbonatação.

Testes de íons cloreto

O teste de concentração de íons cloretos na estrutura de concreto podem ser realizado por dois métodos distintos, o método de solução de nitrato de prata ou o método de potenciometria direta. Silvestro (2021) comprova que o teste por potenciometria direta é o método rápido e de fácil execução, um dos mais adequados para a determinação de cloretos em solução.

Teste de íons cloretos – Nitrato de prata

O teste de íons cloretos com a utilização de nitrato de prata ocorre por remoção de corpo de prova e a aplicação da solução de nitrato de prata sobre o elemento. Fonseca (2017) diz que o corpo de prova deve apresentar profundidades entre 0 – 10 mm, 10 – 20 mm, 20 – 30 mm, 30 – 40 mm e 40 – 50 mm de modo a obter diversos níveis de frente de penetração de cloretos.

Este método de aspersão de nitrato de prata, utilizado como método calorímetro, Fonseca (2017) afirma que por ser de baixo custo e com análise imediata, é utilizado como ensaio preliminar antes do envio das amostras para laboratórios.

A aplicação do nitrato de prata é sobre os corpos de prova extraídos ou sobre o pó de concreto removido do elemento estrutural. A aplicação da solução (AgNO_3) sobre a amostra apresenta inicialmente um precipitado branco, que corresponde a reação do nitrato de prata com os íons cloretos livres, formando o cloreto de prata (AgCl). Quando a reação do nitrato de prata apresenta coloração marrom é devido á reação da solução com os íons cloretos já combinados presentes no concreto. As figuras 12 e 13 mostram o nitrato de prata aplicado sobre um corpo de prova e pó do concreto de um corpo de prova.

Figura 12 – Nitrato de prata aplicado no corpo de prova.



Fonte: Fonseca (2017).

Figura 13 – Nitrato de prata aplicado no pó de concreto de um corpo de prova.



Fonte: Fonseca (2017).

Teste de íons cloretos – Potenciometria Direta.

O teste de íons cloretos por meio de potenciometria direta consiste em aplicação de 3g da amostra de concreto em pó em uma solução líquida de extração fornecida pelo fabricante, “De acordo com o fabricante, o líquido de extração pode ser substituído por água deionizada” Silvestro (2021). Após a aplicação da amostra no teste, espera-se que os íons cloretos presentes na amostra, reajam com o líquido de extração por meio de uma reação eletroquímica. A reação eletroquímica é medida a partir de um eletrodo com sensor de temperatura, realizando a medição da reação e consequentemente, o teor de íons cloretos por massa do corpo de prova.

O procedimento de determinação do teor de cloretos solúveis por meio de potenciometria direta:

- 1 - Pesagem de 3 g da amostra na forma pulverulenta;
- 2 - Diluição da amostra de 3 g em 20 ml de água deionizada;
- 3 - Mistura da solução por 1 min em um agitador magnético, modelo 752A da Fisatom, mantendo a velocidade constante em todas as análises realizadas;
- 4 - Espera de 1 min para a solução estabilizar, conforme recomendação do fabricante;
- 5 - Inserção do eletrodo na solução, aguardando 1 min para a realização da leitura. Nesta etapa evitou-se que o eletrodo entrasse em contato com as partículas sólidas da amostra que se depositavam no fundo do recipiente, uma vez que, de acordo com o fabricante, tal contato poderia riscar o eletrodo e danificá-lo; e
- 6 - Lavagem do eletrodo com água deionizada e secagem com papel-toalha para a realização de novas leituras. (SILVESTRO, 2021).

De acordo com a NBR 12655/2015 para o concreto em brandas condições de exposição, em classe de agressividade I, o teor máximo de cloretos é de 0,4% em relação à massa de cimento, conforme apresentado na tabela 5 pag.13 da norma, identificada na figura 14 a seguir.

Figura 14 – Teor máximo de íons cloretos para a proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl ⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

Fonte: NBR 12655 (2015)

2.3 Tratamento de patologias em concreto armado

Existem inúmeros métodos de tratamento de patologias em concreto armado cuja finalidade é obter a completa recuperação de uma estrutura, mas a escolha da técnica e do material utilizado depende do estudo da patologia e da viabilidade da recuperação. A seguir serão detalhados métodos de recuperação de patologias como infiltração e corrosão do concreto.

2.3.1 Infiltração

Encontrar soluções eficientes e práticas para drenar e proteger a estrutura é muito importante, visto que o desempenho adequado é essencial para garantir a vida útil da impermeabilização e da edificação.

“O princípio de tudo é elaborar um projeto de impermeabilização de acordo com a ABNT NBR 9575 – Impermeabilização – seleção e projeto.” Marcos (2020), ou seja, é durante o projeto que o estudo da impermeabilização é executado, de modo a evitar falhas ou ausência de drenagem em áreas primordiais.

“O tripé do projeto de impermeabilização, mão de obra qualificada e produto adequado é a garantia para uma impermeabilização segura e durável. Se faltar uma perna neste tripé, certamente o sistema ficará instável e não atenderá ao seu objetivo” (STORTE, 2020).

2.3.1.1 Manta asfáltica

A impermeabilização com sistema de mantas asfálticas é o método mais utilizado na construção civil, boa parte dessa utilização é devida a confiabilidade do produto, como também a aplicação do produto sobre o substrato do concreto, principalmente em juntas de dilatação, atentando-se apenas a preparação adequada da superfície. A figura 15 demonstra a aplicação de uma manta asfáltica com uso de maçarico.

Figura 15 – Aplicação da manta asfáltica com uso de maçarico.



Fonte: Blog AECweb (2022).

A composição da manta asfáltica é basicamente de material asfáltico modificado, que pode ser combinada com polímeros, elastômeros ou outros materiais derivados. A manta asfáltica pode ser revestida com materiais diversos, dentre os quais podemos citar o filme polietileno, a borracha, a fibra de vidro e o poliéster. A diferença entre os citados consiste na área a qual é indicada a sua aplicação.

Bruno (2020) ressalva que existem tipos diferentes de mantas asfálticas:

- **Manta de poliéster:** Elaborada com asfaltos modificados e armada com estruturantes de poliéster, apresentando grande resistência à tração e ao puncionamento. Indicada para lajes planas e inclinadas, pisos, marquises, helipontos, viadutos e etc.;
- **Manta de polietileno:** Produzida à base de asfalto modificado e armado com estruturante de polietileno de alta densidade. Apresenta como característica grande elasticidade sem comprometer a uniformidade dimensional. Indicada para lajes transitáveis planas ou inclinadas em geral, com proteção mecânica sobre a manta.
- **Manta de fibra de vidro:** À base de asfaltos modificados armados com estruturas de fibra de vidro, também apresentam elevada elasticidade sem comprometer a uniformidade dimensional. São indicadas para áreas internas, piso de cozinha banheiros área de serviços porões terraços e sacadas.
- **Manta aluminizada:** Possui uma lâmina de alumínio na face superior e é utilizada como acabamento em área de trânsito. Há versões que devem ser aderidas com asfalto ou maçarico e versões adesivas. São indicadas para calhas, telhados, abóbodas, marquises e beiras.
- **Manta ardosiada:** Possui camada de autoproteção na face superior formada por grânulos de agregados minerais (a ardósia), dispensando a proteção mecânica. É utilizada como acabamento em coberturas não transitáveis em cúpulas e abobadas, principalmente.

Para a execução dos serviços de impermeabilização, o substrato deve estar seco e livre de entulhos, regularizado com argamassa de cimento e areia, com caimento mínimo de 1% para os ralos, e os cantos vivos e arestas devem ser convenientemente arredondados.

A aplicação do impermeabilizante pode ser feita, basicamente, de duas maneiras distintas. A primeira prevê o lançamento de asfalto oxidado derretido por caldeira sobre a camada de regularização e, subsequentemente, com o asfalto ainda fluido e quente, a aplicação da manta asfáltica, que será fixa ao substrato pela adesão gerada pela presença do asfalto fluido. Outra forma de aplicar a manta asfáltica é

inicialmente a aplicação de uma demão de prime asfáltico, de modo a promover uma melhor aderência entre o substrato e a impermeabilização. Após a secagem da imprimação, iniciar a aplicação da manta asfáltica, fazendo o uso de maçarico. Adotar os corretos valores para sobreposição de cada camada e executar o biselamento nas uniões – chanfro das arestas ou quinas.

A impermeabilização com mantas asfálticas exige a execução de uma posterior camada de argamassa de cimento e areia, que servirá como proteção mecânica do material contra agentes que possam danificar o revestimento impermeabilizante. No caso de coberta o material não necessita desta camada.

2.3.1.2 Argamassa polimérica

Carvalho (2020) explana que a argamassa polimérica é um material a base cimentícia e que tem em sua composição polímeros, aditivos e minerais que dão a característica de ser impermeável. A argamassa é utilizada para impermeabilização de estruturas em contato com água ou umidade em geral, sujeitas ou não a pressões hidrostáticas.

A argamassa polimérica destinada aos serviços de impermeabilização existe em duas modalidades principais: as semiflexíveis e as flexíveis. Isso ocorre com a movimentação térmica e as consequências deste fenômeno no comportamento e desempenho dos elementos estruturais, estamos falando de dilatação térmica. A fibersals (2020) menciona que o sistema de impermeabilização flexível consegue acompanhar as dilatações e contrações do elemento estrutural, sem serem criadas fissuras e sem comprometer a integridade da impermeabilidade.

São indicadas para impermeabilização de fundações, baldrame, pisos e paredes de banheiros, reservatórios, piscinas, tanques e paredes de alvenaria. Podem ser aplicadas sobre concreto, alvenaria e argamassa. A aplicação da argamassa é demonstrada na figura 16 a seguir.

Figura 16 – Aplicação da argamassa polimérica em laje de concreto.



Fonte: Direcional – Ourives (2016).

Segundo Silveira (2001) as argamassas poliméricas semiflexíveis e flexíveis são indicadas para:

A argamassa polimérica semiflexível detém a propriedade de penetrar na porosidade superficial do substrato e promover uma cristalização superficial, apresentando, inclusive, resistência a pressões hidrostáticas negativas, ou seja, pressões atuantes “do exterior para o interior” da estrutura, evidentemente em certos valores variando em função dos produtos e dos fabricantes. Sua aplicação se destina às estruturas com pequeno ou nenhum grau de movimentação, ou seja, estruturas predominantemente rígidas, como reservatórios enterrados de concreto armado ou alvenaria armada, pisos de áreas habitacionais molhadas, muros de arrimo, baldrame, entre outros. É também utilizada como preparação para aplicação da versão flexível, armada ou não com tela industrial de poliéster.

As argamassas poliméricas flexíveis são destinadas a estruturas que podem apresentar pequena movimentação, como reservatórios elevados, tanques, piscinas entre outras aplicações. Resistem a elevadas pressões hidrostáticas (normalmente cerca de 25 mca) e a recomendação geral é a de utilizar armadura em tela industrial de poliéster.

A aplicação de ambos os materiais é feita em demãos cruzadas, com o auxílio de uma trincha, rolo ou vassoura de pelos macios sobre a superfície. A superfície deve ser limpa e previamente umedecida. Ter especial atenção a detalhes, como tubulação

emergente, arestas de rodapés, juntas e outras ocorrências que provoquem descontinuidade do substrato, em que é aconselhada a utilização de um selante apropriado, previamente à aplicação das argamassas poliméricas.

2.3.2 Corrosão do concreto

Tratamento de áreas afetadas pela corrosão, é denominado reparos localizados, devido às etapas de recuperação e ao procedimento ser realizado apenas no local da patologia (MEDEIROS, 2008).

Importante ressaltar que antes de qualquer recuperação de algum elemento estrutural, é necessário manter os demais elementos estruturais devidamente escorados e somente iniciar uma recuperação após a avaliação de um engenheiro estrutural.

Helene (1988) diz que a escolha dos materiais e técnicas de correção estejam coerentes com o diagnóstico e as exigências de funcionamento, como os casos em que o elemento estrutural tenha a necessidade de serem colocados em carga, ou liberados, após algumas horas de execução de correção, o caso de centros comerciais.

O processo de recuperação de uma estrutura conta com vários sistemas protetores, como pinturas, misturas inibidoras de corrosão, proteção catódica e entre outros. O procedimento de proteção completa da peça ou procedimento utilizado na hora da produção do concreto, podem ser por argamassas e concretos usuais, uso de concreto polimérico, concreto com sílica ativa, concreto com fibras, concreto com cinza volantes, adesivos e primers. Já o processo de recuperação estrutural por injeção de materiais no local da corrosão é por graute, mastiques e selantes, aditivos ou pinturas de proteção.

Conforme Anversa (2020) O graute é o mais utilizado na recuperação de estruturas de concreto, independente do elemento estrutural, pois é caracterizado como um microconcreto de alta resistência com composição e aplicação diferente do concreto comum. Anversa resalta que por ter uma consistência fluida, o graute tem aplicação mais fácil, podendo preencher pequenos espaços, não necessita de adensamento com vibrador, possui alta resistência e sua composição é por meio de

aglomerantes que inclui o cimento Portland ou resina epóxi e aditivos (fibras sintéticas, água, cal e agregados).

Os itens indicados a seguir definem as etapas necessárias para a recuperação de uma estrutura com corrosão do concreto, conforme a Marcello Sanguinetti Ltda.

Recuperação de Pilares e Vigas

- Remover qualquer revestimento ou alvenaria de contato com o elemento estrutural.
- Remover por completo todo o material desagregado do pilar/viga até que a superfície da estrutura seja de concreto sã.
- Limpar toda a superfície de concreto e a armadura existente removendo toda a parte oxidada da armação.
- Verificar se houve algum tipo de perda de área de aço, se acontecer de a área comprometida ultrapassar 30% da área da seção de aço, proceder à colocação de uma nova armadura para complementar a armadura existente.
- Pintar toda a armadura com inibidor de corrosão.
- Após a pintura, concretar a peça novamente utilizando graute com recobrimento mínimo de pilares e vigas de acordo com a classe de agressividade ao qual a edificação está localizada.
- Proceder a cura e verificação da peça.

Recuperação de lajes

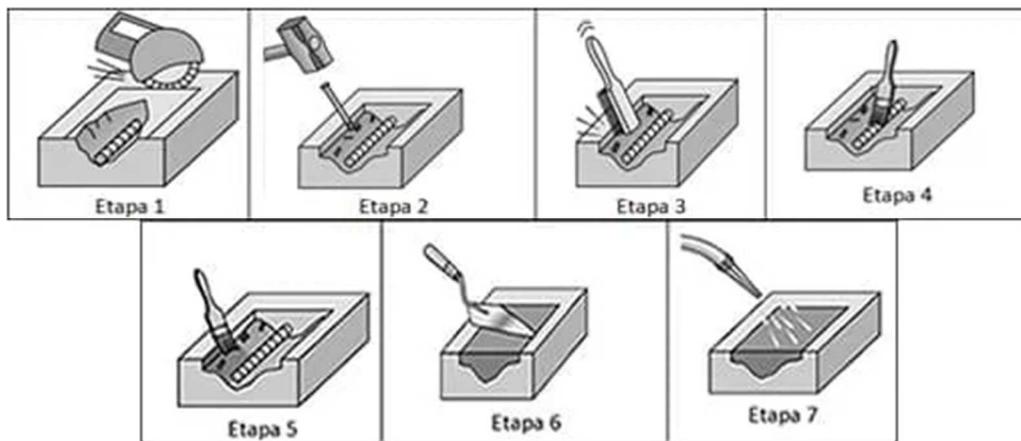
- Remover qualquer revestimento ou alvenaria de contato com o elemento estrutural.
- Remover por completo todo o material desagregado da laje até que a superfície da estrutura seja de concreto sã.
- Limpar toda a superfície de concreto e a armadura existente removendo toda a parte oxidada da armação.
- Verificar se houve algum tipo de perda de área de aço, se acontecer de a área comprometida ultrapassar 30% da área de aço proceder à

colocação de uma nova armadura para complementar a armadura existente.

- Pintar toda a armadura com inibidor de corrosão.
- Após a pintura, concretar a peça novamente utilizando graute com recobrimento mínimo de acordo com a classe de agressividade ao qual a edificação está inserida.
- Proceder a cura e verificação da peça.

A figura 17 apresenta as etapas de recuperação de corrosão do concreto – Limpeza e remoção do concreto deteriorado até o processo de cura do concreto.

Figura 17 – Etapas de recuperação de corrosão do concreto armado.



Fonte: Medeiros (2008).

Figura 18 – Escoramento e início do processo de escarificação de pilar.



Fonte: Marcello Sanguinetti (2020).

Figura 19 – Forma do pilar.



Fonte: Marcello Sanguinetti (2020).

Figura 20 – Finalização do processo de recuperação do pilar



Fonte: Marcello Sanguinetti (2020).

Figura 21 – Escoramento de viga.



Fonte: Marcello Sanguinetti (2020).

Figura 22 – Processo de recuperação da viga.



Fonte: Marcello Sanguinetti (2020).

2.4 Aspectos decisivos para uma recuperação estrutural

Helene (1988) descreve que para ser feita a escolha das melhores técnicas e materiais a serem utilizados na correção de uma patologia, é necessário que as medidas tomadas, sejam coerentes com as exigências de funcionamento da edificação e do diagnóstico encontrado. Visto que não só apenas o tratamento da patologia é considerado, mas também os âmbitos econômico, socioambiental e a maior facilidade de execução.

Fatores como o custo, visto que a recuperação é a opção mais econômica que a demolição e a reconstrução, a sustentabilidade, por gerar menos resíduos do que a demolição e a preservação de patrimônios, são fatores também que influenciam na escolha da recuperação estrutural, visando a forma mais simples, sem paralisar a usabilidade da edificação ou anexos, interditando-a até a avaliação da recuperação (ANDRADE, 2019).

Grandes centros comerciais apresentam dificuldade de recuperação de estruturas, por paralisação de grandes áreas, atentando-se a adequar a melhor forma de recuperação a partir de isolamento de pequenas áreas, evitando desse modo a

paralisação da usabilidade, mas quando houver a necessidade de risco maior a estrutura e aos usuários, a paralisação geral de edificação não deve ser evitada.

3 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é o método descritivo, onde foram usadas as técnicas de coleta de dados, análise e estudo de caso de um pavimento garagem de uma edificação comercial, fornecido pela empresa Marcello Sanguinett Ltda. A pesquisa de abordagem quantitativa-qualitativa buscou enumerar e medir o objeto de estudo para obter dados descritivos que expressam a ocorrência do fenômeno.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de dois âmbitos:

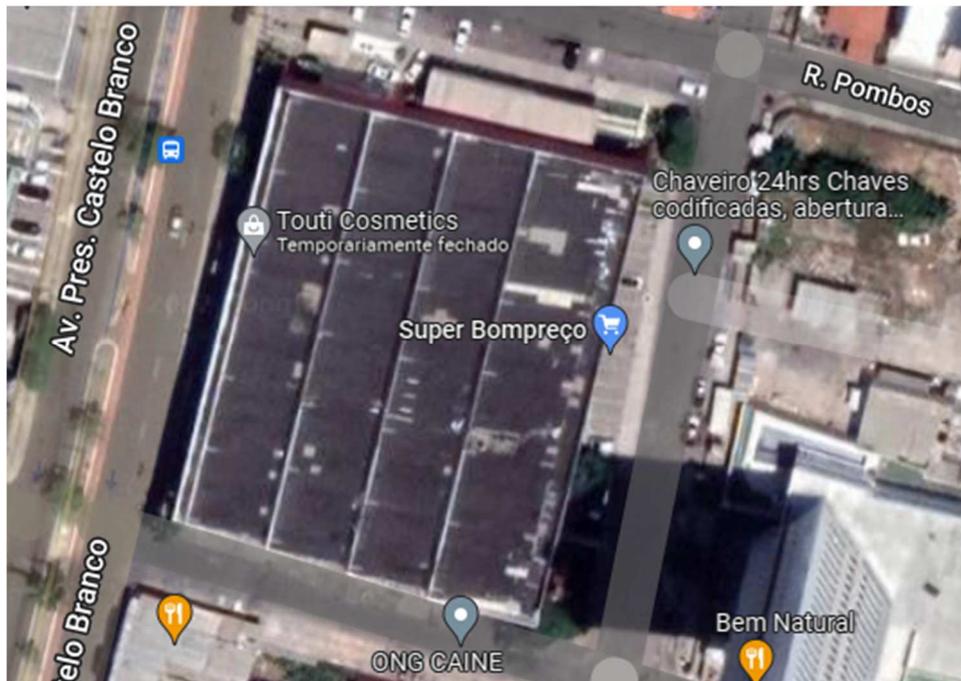
1. Pesquisa de campo: Verificação de um pavimento garagem em estrutura de concreto de uma edificação comercial, com auxílio de um levantamento fotográfico das peças constituintes da estrutura e reconhecimento do grau de comprometimento das peças, com a utilização de ferramentas como câmera fotográfica, trena e paquímetro – Dados obtidos a partir da empresa Marcello Sanguinetti Ltda.
2. Pesquisa bibliográfica: Análise do pavimento garagem em estrutura de concreto de uma edificação comercial, a partir do fornecimento de dados levantados in loco, de modo a verificar a compatibilização com as normas ABNT referentes a manutenção de edificações e ao projeto de execução.

3.1 Área de estudo

O local em análise consiste no pavimento garagem de uma edificação comercial, localizada no bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes – PE. O município contempla áreas marítimas como as praias de Barra de Jangada, Candeias e Piedade.

A edificação apresenta três pavimentos: o pavimento garagem, pavimento térreo, 1º pavimento e coberta. Próximo a ambiente marítimo A figura 23 a seguir identifica a localização da edificação em relação a um mapa de imagens via satélite.

Figura 23 – Localização em imagem de satélite da edificação comercial.



Fonte: Google Maps (2018).

3.2 Coleta de informações

Inicialmente foi realizada uma pesquisa de campo no bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes – PE, para levantamento dos dados referentes a estrutura da edificação, uma inspeção visual em todos os ambientes, no período de julho a agosto de 2018, identificando o sistema construtivo na totalidade. Com base nos dados fornecidos a partir da vistoria realizada, os principais pontos observados foram:

- Ambiente em que a edificação está inserida;
- Elementos estruturais;
- Condições de conservação dos elementos estruturais;
- Uso e ocupação da edificação;

Com o apoio dos dados ministrados, observou-se que o levantamento dos dados de forma quantitativa tomou como base as medições dos ambientes da edificação, em conjunto com o acesso aos projetos arquitetônicos e estruturais do edifício. O levantamento qualitativo visou a partir da inspeção visual a identificação da qualidade e conservação dos elementos estruturais, assim como, o conhecimento do uso do ambiente consoante a norma brasileira.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da edificação

A edificação consiste em um prédio comercial, subdividido em subsolo, pavimento térreo, 1º pavimento e coberta.

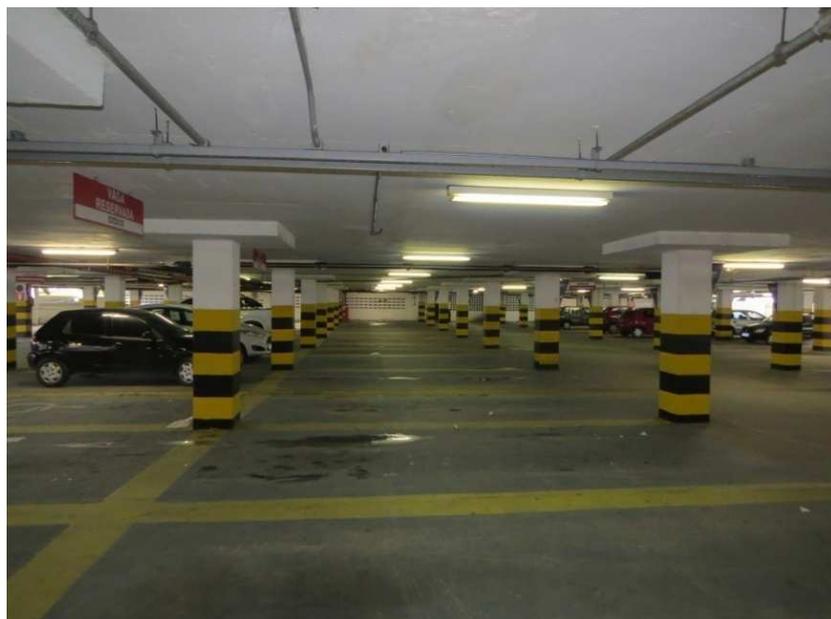
A edificação apresenta as seguintes utilizações:

- Pavimento garagem: Estacionamento;
- Pavimento térreo: Salão de vendas salas de preparo e depósito;
- Primeiro pavimento: Ambiente dos funcionários;
- Coberta: Equipamentos técnicos.

O pavimento garagem, objeto de estudo deste trabalho, apresenta a composição estrutural em vigas, pilares, capiteis e lajes em concreto armado. O ambiente não apresenta fechamentos e nem divisórias laterais, apresentando vãos-livres e apenas os muros de contenção. A figura 24 identifica a estrutura do pavimento garagem.

A edificação possui um departamento de manutenção responsável por fazer a reforma e os reparos necessários na edificação, este departamento responde ao setor principal de engenharia que constrói, reforma e faz a manutenção da rede comercial de todas as unidades.

Figura 24 – Foto panorâmica do pavimento garagem.

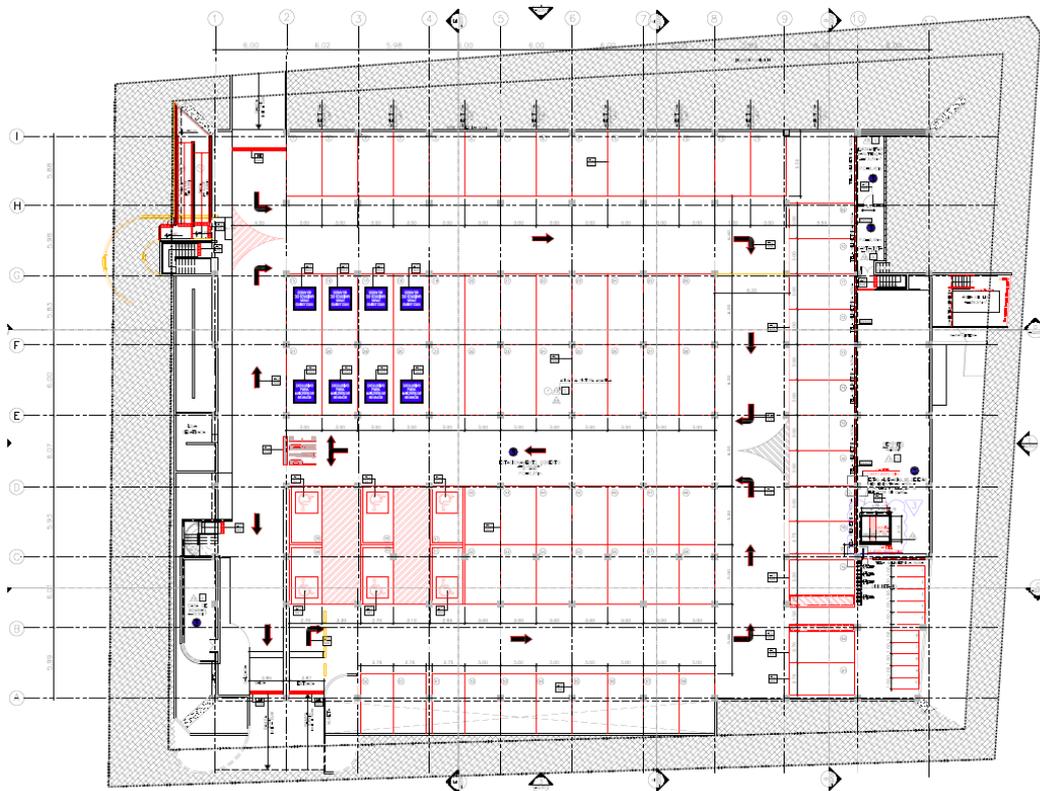


Fonte: MS Estruturas (2018).

A edificação está inserida em um ambiente urbano e próximo a área marítima, área costeira do bairro de Candeias, apresentando uma classe de agressividade III, com forte agressividade e grande risco de deterioração da estrutura. Essa classificação é coerente com ambiente externo a qual a edificação está localizada e conforme citado na tabela 6.1 da norma NBR 6118/2014.

A Figura 25 a seguir apresenta a arquitetura do pavimento garagem da edificação comercial em análise.

Figura 25 – Arquitetura do pavimento garagem.



Fonte: MS Estruturas (2018).

4.2 Descrição da empresa

A empresa responsável por vistoriar a estrutura do pavimento, verificar e identificar as patologias, analisar o melhor método de recuperação de acordo com as necessidades da edificação e repassar as diretrizes para a equipe de manutenção, foi a Marcello Sanguinetti Estruturas Ltda.

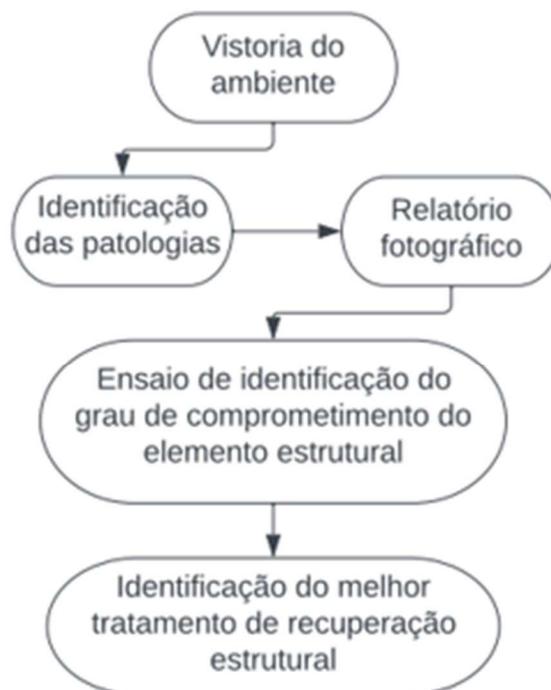
A empresa Marcello Sanguinetti Estruturas Ltda é uma empresa de engenharia Civil, voltada para projetos estruturais, laudos e projetos de recuperação estrutural. Localizada na rua Mariz Vilela, nº 63, Prado, Recife – PE.

Patologias que tenham origem devido a erros construtivos ou a ações de grandes impactos na estrutura, com possibilidade de causar instabilidade estrutural, deverá ser repassado para o departamento principal da rede comercial e um projeto específico deverá ser elaborado.

4.3 Diagnóstico e prognóstico

Inicialmente ao analisar a estrutura do pavimento garagem da edificação, localizada no subsolo, observou-se a composição estrutural e a vida útil de projeto. Verificou-se que a edificação já apresenta mais de 30 anos de usabilidade e exibia patologias comuns ao tempo de vida útil e ao arranjo estrutural ao qual foi dimensionada, mas que também poderiam ser evitadas, caso fosse obedecida uma manutenção periódica rigorosa, conforme indicado na norma ABNT NBR 5476/2012 de manutenção predial. A figura 26 apresenta o fluxograma das etapas utilizadas no diagnóstico e recuperação da estrutura.

Figura 26 – Fluxograma de diagnóstico e prognóstico da estrutura.



O processo de diagnóstico da estrutura iniciou a partir de uma inspeção visual, ou seja, de uma vistoria onde houve levantamento de dados, levantamento fotográfico, observação da patologia, identificação de qual processo deve ter acarretado a origem desta patologia, antes da confirmação a partir de ensaios específicos.

Após a verificação visual e a coleta de dados, procedeu-se os ensaios de verificação de comprometimento da estrutura, ensaios cuja finalidade é identificar o agente causador da patologia, observando ser uma causa de agentes patológicos ou erros do processo executivo, avaliando o grau de evolução futura e, por fim, indicou o processo de recuperação mais adequado.

No processo de vistoria da estrutura foram observados diversos fatores responsáveis que acarretaram o avanço dessas patologias, principalmente a classe de agressividade ao qual a edificação está inserida, o tipo de uso e a ocupação deste pavimento, o que é observado no avanço das patologias devido ao ataque de íons cloretos, proporcionados pela área marinha, e o CO₂ liberados pelos veículos, principalmente em estacionamentos comerciais aonde o fluxo de carros é alto. É possível também observar o avanço das patologias devido à exposição da estrutura, quanto mais exposto o elemento estrutural mais patologias são encontradas neste elemento, o que foi possível verificar visto que os demais pavimentos desta edificação não apresentavam tantas patologias.

Os subtítulos indicados a seguir identificam as patologias encontradas, o aspecto verificado durante a vistoria e o possível agente causador até que os ensaios sejam confirmados.

4.3.1 Infiltração

Observou-se que a estrutura do pavimento garagem apresentavam infiltrações na extensão das instalações hidráulicas/hidrossanitárias e deterioração do concreto nos elementos estruturais que acompanhavam o arranjo das tubulações, apresentando-se mais fortes nos pontos de derivações e nas caixas, devido à ausência de manutenção das instalações que correspondeu aproximadamente 80%.

Verificou-se infiltrações em juntas de dilatação proveniente da má impermeabilização, da usabilidade da área do piso superior, que neste caso, como é uma edificação comercial, a área citada é um espaço de frios com composição de máquinas de frios e piso constantemente limpo.

O último tipo de infiltração localizada no pavimento é a por capilaridade que foi localizada nas paredes e muro de contenção, visto que o muro de contenção apresenta apenas 60% da altura do pé direito do pavimento, apresentando incidência de água pluvial e maior probabilidade de capilaridade, devido à contenção de solo úmido.

4.3.2 Corrosão do concreto

Constatou-se em todos os elementos estruturais do pavimento corrosão do concreto armado. Nos pilares a corrosão apresentou-se no topo, próximo às vigas e as lajes e próximo às juntas de dilatação. As corrosões nos pilares exibem as armações longitudinais corroídas, em alguns casos ausência de trechos da armação vertical e deterioração avançada do concreto.

Nas vigas é possível observar a presença da corrosão quando estão próximas a vãos abertos, pilares, juntas de dilatação e inclusive próximas a instalações hidráulicas/hidrossanitárias. As vigas, semelhante aos pilares, apresentam a armação exposta, corroída e com desagregação do concreto.

As lajes são os elementos estruturais que mais apresentam a corrosão da armadura, principalmente onde há focos de infiltração, incluindo as caixas e derivações da instalação hidrossanitárias. A corrosão das armaduras na laje de concreto apresentou-se em trechos lineares, acompanhando o sentido da armação positiva, desagregando o concreto e expondo a armação corroída.

Importante ressaltar que foi observado trechos com recomposição da laje, utilizando gesso ou revestimento, tratamento inapropriado para uma recuperação estrutural, agravando mais a ação de agentes como os íons cloretos e a CO_2 , aumentando assim o processo corrosivo do elemento estrutural.

A infiltração é um dos facilitadores da corrosão da armadura, pois leva ao interior da peça estrutural os agentes causadores da patologia, mas neste pavimento é possível observar também a corrosão devido às intempéries e ao uso e ocupação do pavimento.

4.3.3 Relatório fotográfico – identificação das patologias

As figuras 27 a 31 referem-se aos aspectos encontrados na estrutura do pavimento durante o processo de vistoria. As figuras apresentam os tipos de infiltrações localizadas e o grau de deterioração do concreto e exposição da armadura. No item anexo deste trabalho encontram-se mais figuras do local inspecionado.

A figura 27 identifica a infiltração da laje causada por variações da tubulação hidrossanitária, evidenciando a corrosão da armadura na laje, trechos das armações positivas expostas e perda de seção do aço.

Figura 27 – Infiltração e corrosão da armadura próximo as instalações hidrossanitárias.



Fonte: MS Estruturas (2018).

A figura 28 demonstra a infiltração da laje e viga devido à intempérie do ambiente, área com ausência de paredes de vedação e conseqüentemente a presença de corrosão da armadura.

Figura 28 – Infiltração e corrosão do concreto na laje, próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

As figuras 29 e 30 apresenta infiltração na junta de dilatação e corrosão nas vigas e pilares, ocasionados pelo déficit da impermeabilização da junta.

Figura 29 – Infiltração e corrosão da armadura na laje próximo a junta de dilatação da estrutura.



Fonte: MS Estruturas (2018).

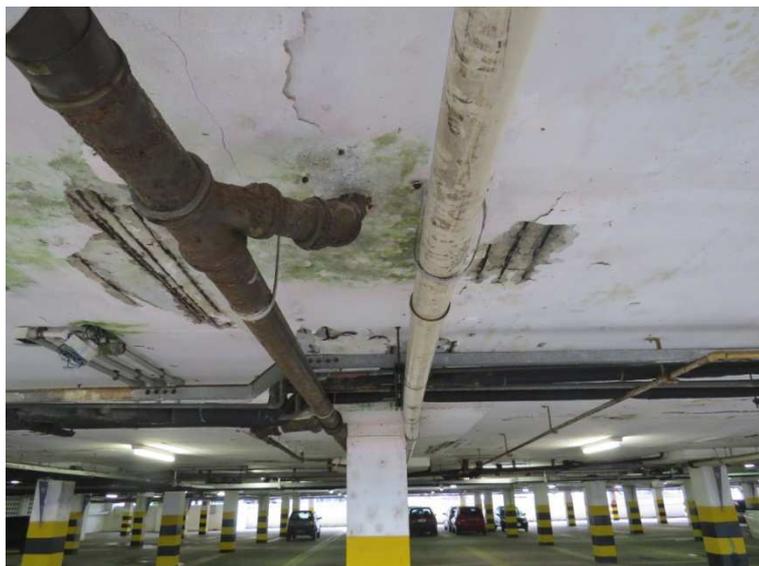
Figura 30 – Infiltração e corrosão da armadura no pilar próximo a junta de dilatação da estrutura.



Fonte: MS Estruturas (2018).

A figura 31 demonstra a infiltração na laje devido às variações da tubulação hidrossanitária, evidenciando a corrosão do concreto na laje, trechos das armaduras positivas expostas e perda de seção do aço.

Figura 31 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

4.3.4 Ensaios

4.3.4.1 Ensaios de infiltração

O teste de verificação de infiltração na estrutura de concreto foi visual, devido à infiltração já estar presente na estrutura, voltando-se apenas a investigação das instalações hidráulicas/hidrossanitárias.

Durante o processo de recuperação da estrutura foi solicitado ao setor de manutenção da edificação, a verificação e mapeamento de todas as instalações hidráulicas/hidrossanitárias.

A NBR 9574/ 2008, diz que o teste de estanqueidade é obrigatório e deve ser feito após a aplicação dos impermeabilizantes, o que é realizado antes do acabamento no processo de execução da obra. Quando aprovado o teste de estanqueidade, é necessário que ocorra a verificação e manutenção desta impermeabilização regularmente, mas quando isso não ocorre o conhecimento de que há algo errado com a impermeabilização só é perceptível quando as manchas de infiltração já estão presentes. A verificação nas juntas de dilatação também segue o mesmo princípio.

4.3.4.2 Ensaios de corrosão do concreto

Os ensaios de corrosão do concreto foram realizados em elementos estruturais que não apresentavam deterioração da camada de cobrimento do concreto ou armação exposta, com a finalidade de verificar os níveis de carbonatação e de íons cloretos presentes.

4.3.4.2.1 Ensaios de carbonatação

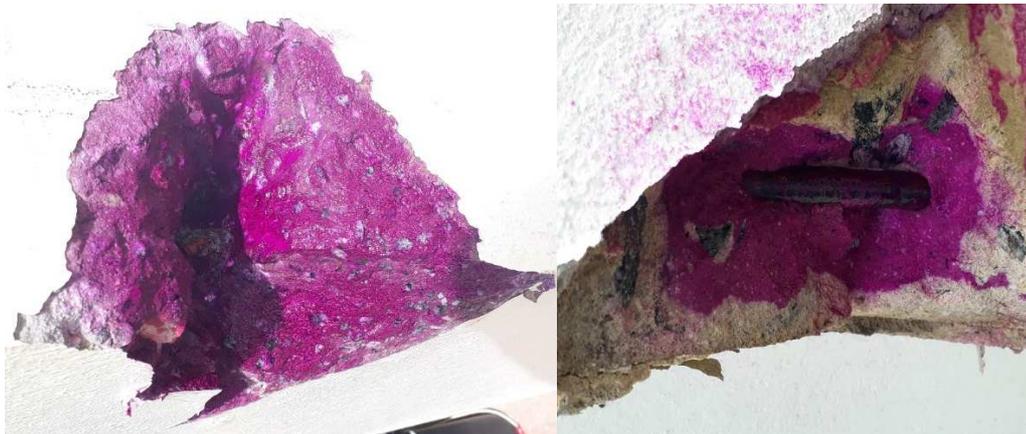
O ensaio de carbonatação apresentado foi realizado em dois dos elementos estruturais do pavimento garagem, um pilar e uma viga de bordo, os quais não apresentava nenhum ponto de processo de corrosão. O ensaio deu-se a partir da perfuração do concreto com uso de broca, de modo a deixar as armações expostas para verificação do estado de conservação da proteção. Após perfurar o concreto foi necessário a limpeza e remoção de possíveis detritos soltos na superfície, para posteriormente aplicar a solução de fenolftaleína. As figuras 32 e 33 mostram a realização dos ensaios feito no pilar e viga.

Figura 32 – Ensaio de Carbonatação no Pilar.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 33 – Ensaio de Carbonatação na viga.



Fonte: MS Estruturas (2018).

A aplicação da solução de fenolftaleína identifica imediatamente a frente de carbonatação penetrando nos poros do concreto dos elementos estruturais. A área em cor magenta identifica a ausência de carbonatação, com pH básico, e a área sem coloração indica a presença da carbonatação, com pH ácido. As tabelas 01 e 02 identificam as espessuras medidas *in loco* sobre a frente de carbonatação.

Tabela 01 – Valores medido in loco: espessura da camada de carbonatação e do cobrimento do elemento estrutural – Pilar.

	Cobrimento (mm)	Profundidade de carbonatação (mm)
Média	49,2	16,8

Fonte: Autor (2018).

Tabela 02 – Valores medido in loco: espessura da camada de carbonatação e do cobrimento do elemento estrutural – Viga.

	Cobrimento (mm)	Profundidade de carbonatação (mm)
Média	27,8	14,4

Fonte: Autor (2018).

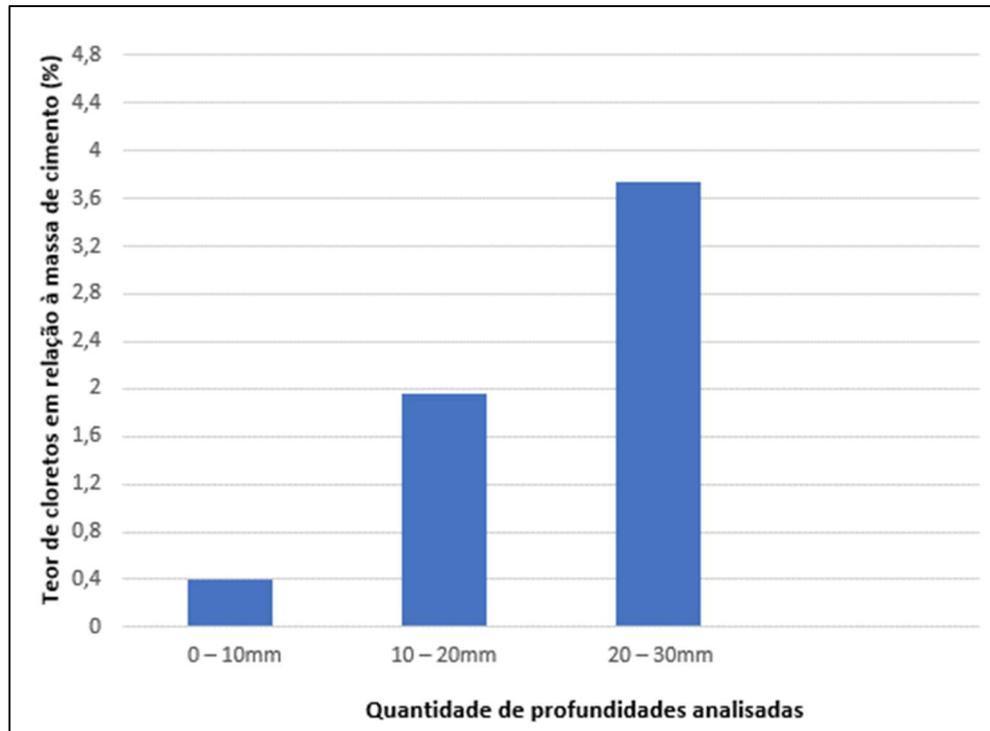
Desta forma observou-se que a carbonatação ainda não havia atingindo as armaduras, devido à espessura carbonatada ser inferior ao do cobrimento da peça, mas foi necessário o tratamento.

4.3.4.2.2 Ensaio de íons cloretos

O ensaio de íons cloretos foi realizado obedecendo conforme o disposto na norma NBR 12655/2015, (teor máximo de 0,4%, 0,3% e 0,15% em relação à massa de cimento dependendo das condições de exposição do concreto). O ensaio apresentado foi realizado em pilar e viga os quais apresentava nenhum ponto de processo de corrosão.

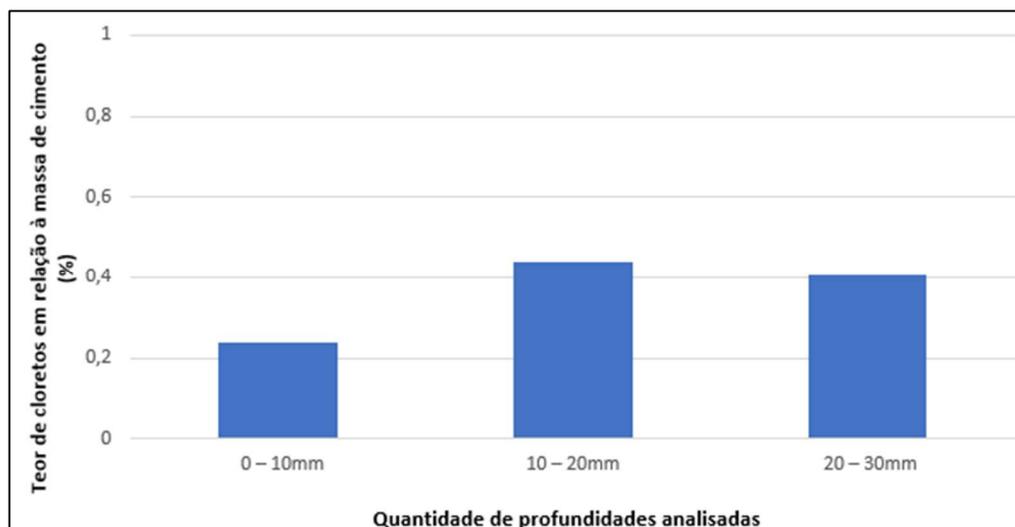
Foi extraído corpo de prova, dos elementos estruturais, o pó do concreto utilizado na medição do teor de cloreto, a amostra foi analisada por meio do teste de potenciometria direta. O teste consistiu na secagem da amostra em estufa, pesagem do material, diluição da amostra em água deionizada, agitação e neutralização da solução e medição com uso de eletrodos. Após a realização das leituras dos valores de massa da amostra e dos volumes de nitrato de prata referente, observou-se o valor do teor de cloreto no concreto. Os valores obtidos de teor de cloretos para a amostra dos elementos estruturais pilar e viga, foram para três profundidades diferentes.

Figura 34 – Teor de íons cloretos em relação à massa de cimento de acordo com a profundidade da amostra – Pilar.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 35 – Teor de íons cloretos em relação à massa de cimento de acordo com a profundidade da amostra – Viga.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Os valores obtidos nos ensaios de pilar e viga ultrapassavam o limite normativo, no qual correspondendo a 0,40% de teor de cloreto em relação à massa de cimento

para estrutura em condições brandas e 0,15% para estruturas em exposição a cloretos em classe de agressividade forte ou muito forte.

Os valores alcançados do teor de íons cloretos conforme a profundidade da amostra analisada, demonstram que existe a presença de íons cloretos no elemento estrutural e conforme a profundidade da camada de concreto, maior é a concentração do agente patológico, ou seja, maior probabilidade de alcançar a armadura, promover a despassivação do aço e iniciar o processo corrosivo. Importante frisar que a edificação em estudo está localizada em uma classe de agressividade III e o teor máximo de íons cloretos no concreto nesta classe de agressividade é 0,15% sobre a massa de cimento.

4.3.5 Recuperação da estrutura

O processo de recuperação da estrutura considerou fatores importantes, como o melhor método de recuperação estrutural conforme a usabilidade da área e com o ambiente comercial ao qual a área pertence.

Os critérios para a recuperação relacionam: a melhor forma de tratamento da patologia sem intervenção drástica na estrutura, observando que as patologias encontradas não apresentaram risco de ruínas à estrutura, conservação do ambiente do pavimento garagem, sem a necessidade de interdição completa da área, tendo referência com o terceiro e último fator que é a não paralisação das atividades desenvolvidas na edificação.

Após a verificação dos fatores citados acima, a recuperação da estrutura foi realizada em duas etapas: verificação e tratamento das infiltrações e por último a recuperação dos elementos estruturais com corrosão da armadura.

Importante ressaltar que apenas por ser uma edificação comercial, a recuperação de algum elemento estrutural nem sempre pode evitar uma interdição de algum ambiente ou até a edificação completa, pois, dependendo do grau de deterioração da estrutura do ambiente e do risco que pode causar as pessoas, é obrigação da empresa responsável interditar a área que for necessária.

4.3.5.1 Infiltrações

O processo de tratamento das infiltrações iniciou a partir do piso superior, onde estão localizadas as máquinas de refrigeração de bebidas e área de frios. Foram reparadas todas as instalações hidráulicas/hidrossanitárias, verificando os pontos de vazamento, a impermeabilização existente nas áreas molhadas do piso superior, antes de fazer a impermeabilização nos demais locais afetados.

O método de tratamento realizado neste pavimento foi a impermeabilização por manta asfáltica, por ser mais prático, facilmente encontrado no mercado, maior flexibilidade e resistência a fissurações. Aplicável nas juntas de dilatação e em todas as peças estruturais.

4.3.5.2 Corrosão do concreto armado

O processo de recuperação das peças estruturais com corrosão da armadura foi a partir de injeção de concreto nos pontos isolados, de modo a evitar a interdição do pavimento e somente após a impermeabilização e correção das infiltrações.

Os procedimentos para tratamento do pilar deram-se após a verificação do estado físico, analisando-o por toda a extensão e conforme estado da criticidade, proceder reparos seguindo as orientações:

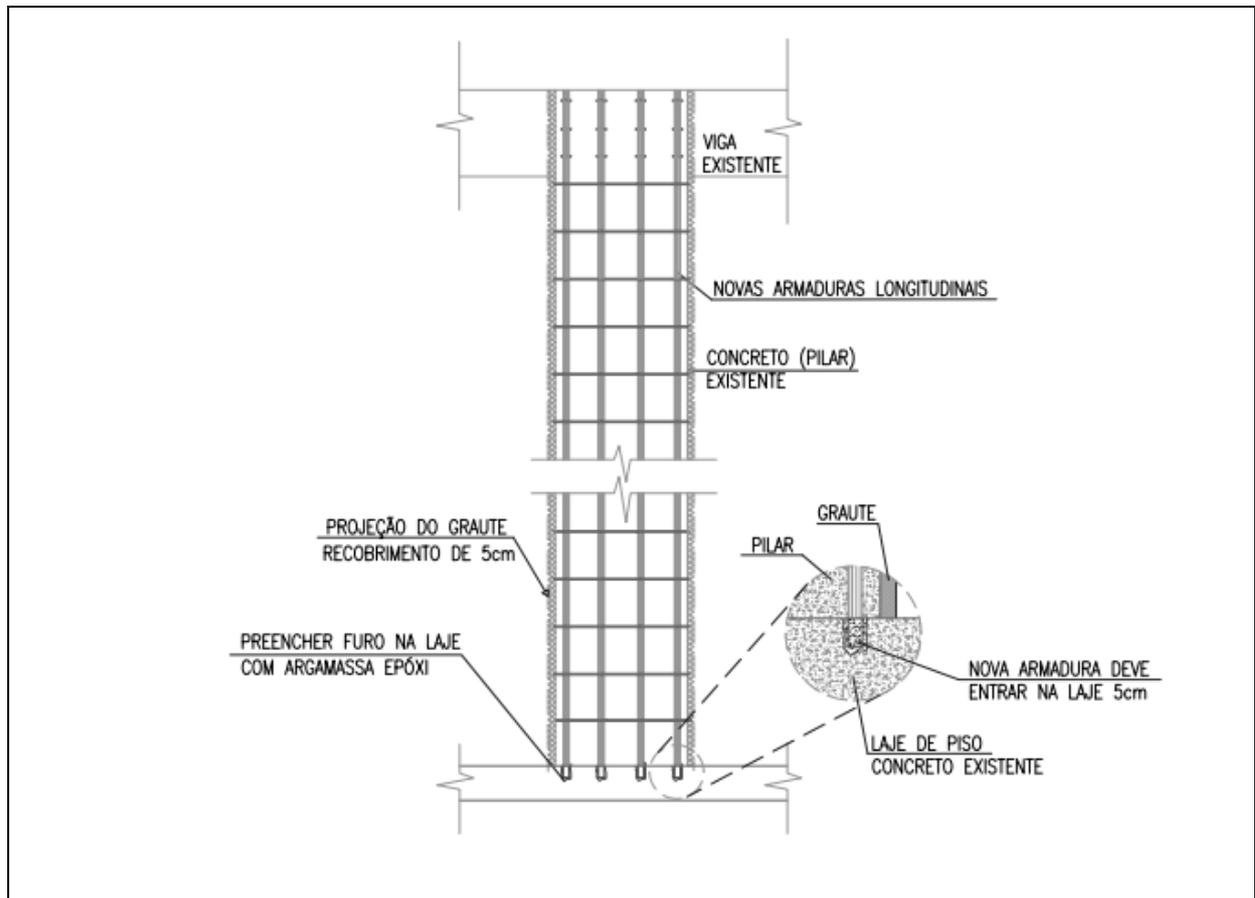
- Inicialmente deve-se escorar os elementos estruturais em um raio de 1,00m dos pilares, para minimizar os impactos que o elemento irá se submeter.
- Deverá ser executado corte e remoção do concreto solto ou desagregado, onde existem indícios de corrosão das armaduras, este corte deverá prolongar-se até atingir o concreto não afetado (concreto são), exibindo toda a armadura oxidada. Caso o estribo esteja comprometido, utilizar grampos com diâmetro de 6.3mm nas armaduras longitudinais, para evitar o processo de flambagem.
- As armaduras oxidadas deverão ser limpas utilizando o processo manual com escova de aço ou lixadeiras mecânicas garantindo a completa retirada de quaisquer vestígios de oxidação;
- Inspeccionar o processo corrosivo das armaduras e a colocação de armadura auxiliar quando a corrosão da armadura apresentar perda superior de 30% do

diâmetro com a mesma bitola, para a fixação da armadura auxiliar é necessária entrar na estrutura existente 5cm e colar com argamassa epóxica;

- Imprimir a barra, isto é, aplicar inibidor de corrosão.
- Recompôr a seção de concreto destruída, utilizando graute (cimento expansivo de alta resistência) com recobrimento de 5cm em fôrma perfeitamente locadas;
- Só retirar as escoras após graute atingir o F_{ck} mínimo exigido no projeto.

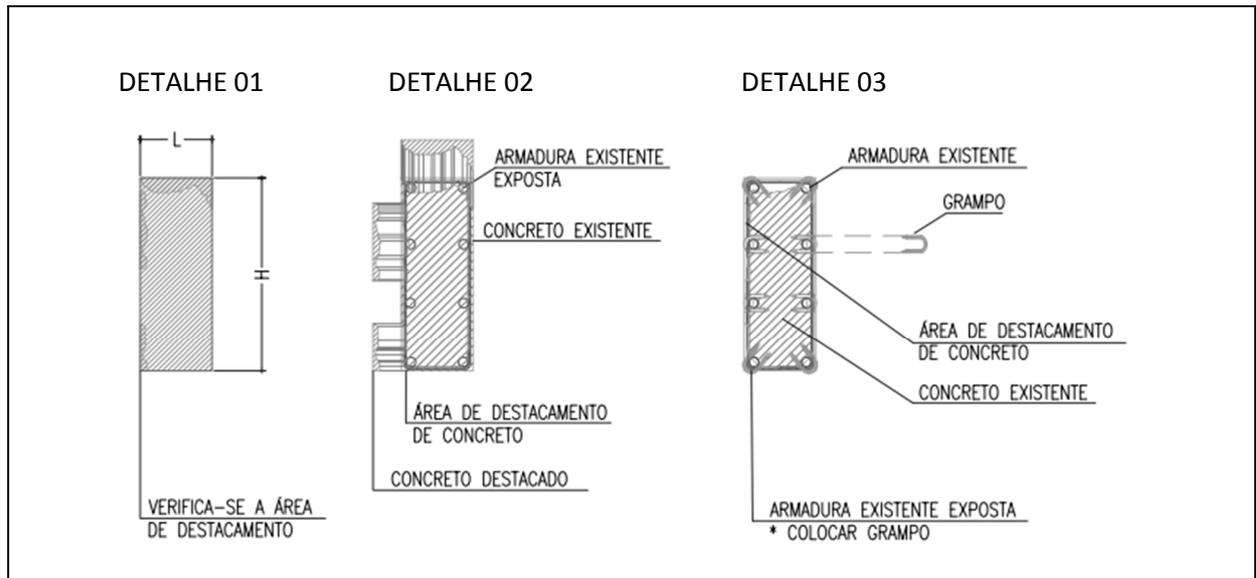
As figuras 36 a 38 demonstram graficamente o processo de recuperação e reforço de um pilar de concreto existente, identificando a fixação das armaduras auxiliares longitudinais, a ancoragem da armadura auxiliar transversal por meio de grampos e o preenchimento com graute.

Figura 36 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.



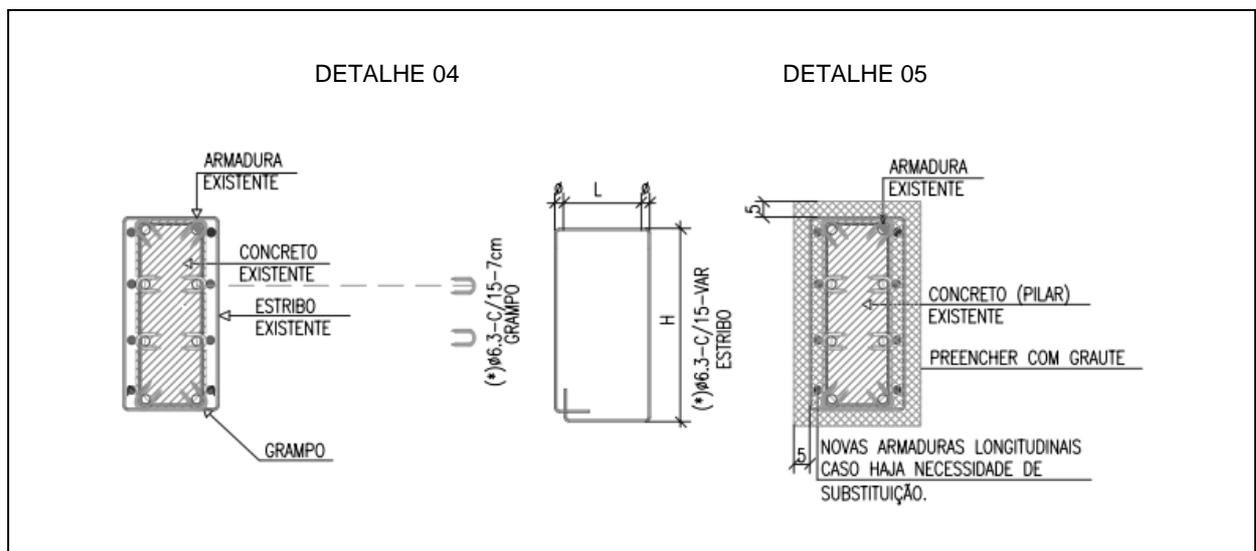
Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 37 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 38 – Processo de recuperação do pilar de concreto armado.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Os procedimentos para tratamento da viga deram-se após a verificação do estado físico, analisando-a por toda a extensão e conforme estado da viga, proceder reparos seguindo as orientações:

- Inicialmente deve-se escorar os elementos estruturais em um raio de 1,00m das vigas, para minimizar os impactos que o elemento irá se submeter.

- Deverá ser executado corte e remoção do concreto solto ou desagregado, onde existem indícios de corrosão das armaduras, este corte deverá prolongar-se até atingir o concreto não afetado (concreto são), exibindo toda a armadura oxidada.
- As armaduras oxidadas deverão ser limpas utilizando o processo manual com escova de aço ou lixadeiras mecânicas garantindo a completa retirada de quaisquer vestígios de oxidação.
- Recompor a seção original do ferro utilizando aço-CA50 com diâmetro igual ao existente, estas armaduras de recomposição deverão ser colocadas utilizando transpasse com comprimento de aproximadamente 60 vezes o diâmetro da armadura, quando a corrosão da armadura apresentar perda superior de 30% do diâmetro. Os estribos de recomposição deverão ser colados a superfície do concreto antigo com argamassa epóxica, com características mecânicas suficientes para resistir a tensão de trabalho do aço.
- Aplicar sobre toda a superfície da armadura tratada ou substituída inibidor de corrosão.
- Recompor a seção de concreto destruída, utilizando graute (cimento expansivo de alta resistência) com recobrimento de 5cm em fôrma perfeitamente locadas.
- Só retirar as formas do pilar quando o graute atingir o F_{ck} mínimo exigido no projeto.

As figuras 39 e 40 apresentam graficamente o processo de recuperação de uma viga de concreto, com uso de armaduras auxiliares, com fixação por meio de grampos e com acabamento com uso de graute.

Figura 39 – Processo de recuperação de vigas de concreto.

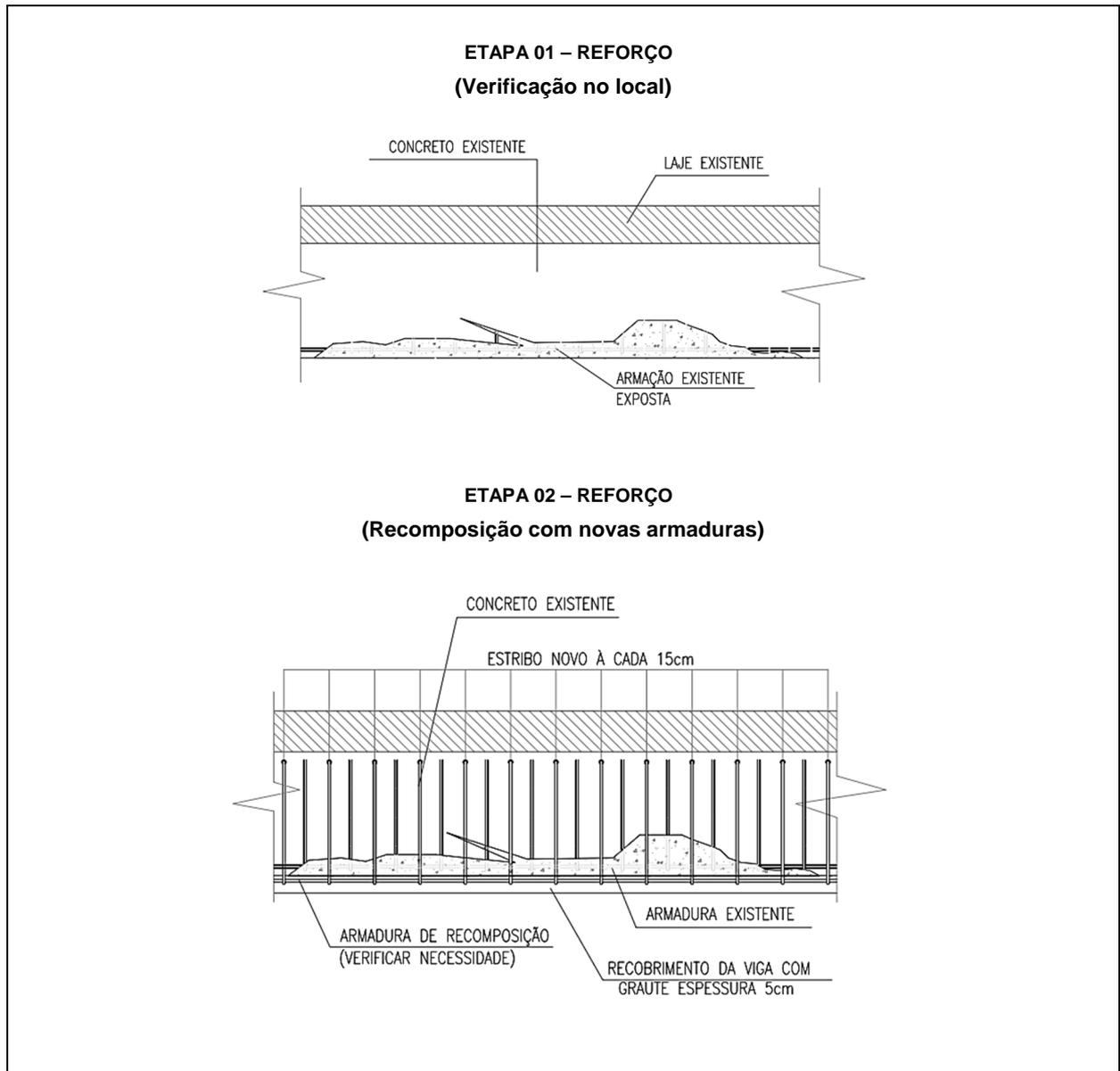
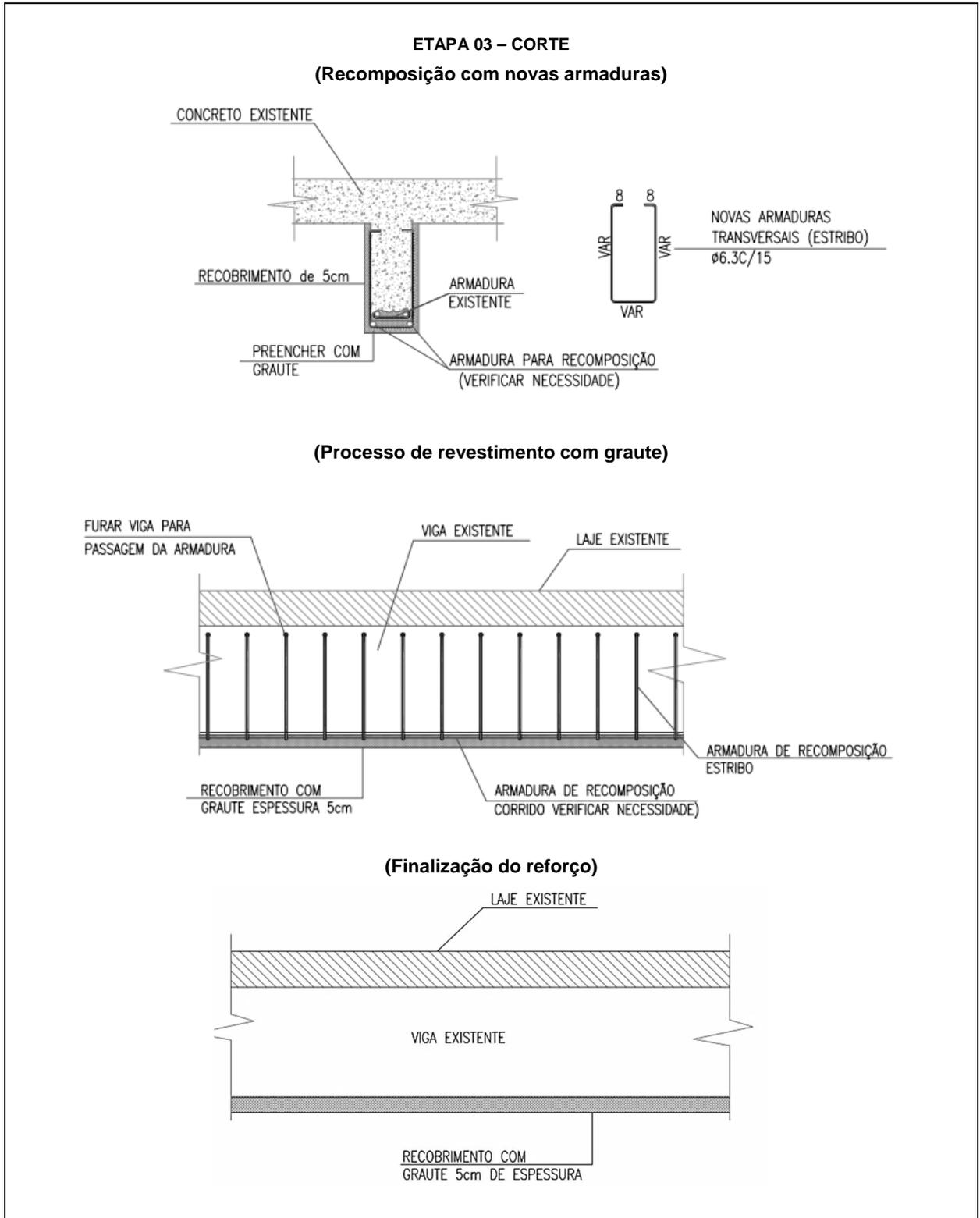


Figura 40 – Processo de recuperação de vigas de concreto



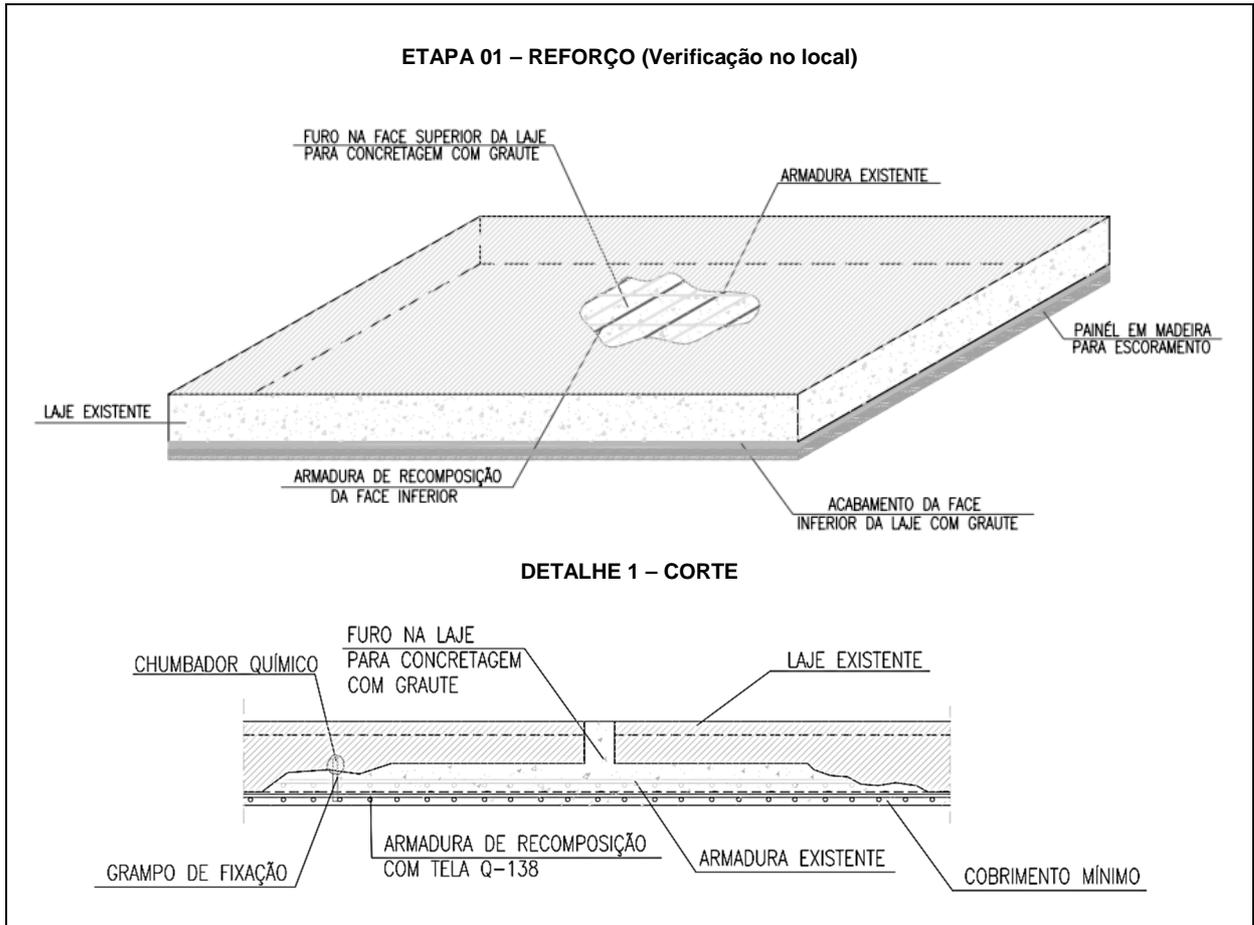
Fonte: MS Estruturas (2018).

Os procedimentos para tratamento da laje deram-se a partir da verificação do estado físico, analisando-a por toda a extensão e conforme estado da laje, proceder reparos seguindo as orientações:

- Inicialmente deve-se escorar os elementos estruturais em um raio de 1,00m da laje, para minimizar os impactos que o elemento irá se submeter.
- Deverá ser executado corte e remoção do concreto solto ou desagregado, onde existem indícios de corrosão das armaduras, este corte deverá prolongar-se até atingir o concreto não afetado (concreto são), exibindo toda a armadura oxidada.
- As armaduras oxidadas deverão ser limpas utilizando o processo manual com escova de aço ou lixadeiras mecânicas garantindo a completa retirada de quaisquer vestígios de oxidação.
- Colocar abaixo da armadura original uma tela soldada do tipo Q138, fixados na laje por grampos com chumbamento químico e espaçado a cada 25cm com o seu comprimento de aproximadamente 20cm.
- Aplicar sobre toda a superfície da armadura tratada ou substituída, pintura com inibidor de corrosão.
- Fazer um furo na laje de uma face a outra, colocar uma forma respeitando um cobrimento mínimo de 3 cm em relação a tela, Q138. Preencher com graute (cimento expansivo de alta resistência);
- Só retirar as formas do pilar quando o graute atingir o F_{ck} mínimo exigido no projeto.

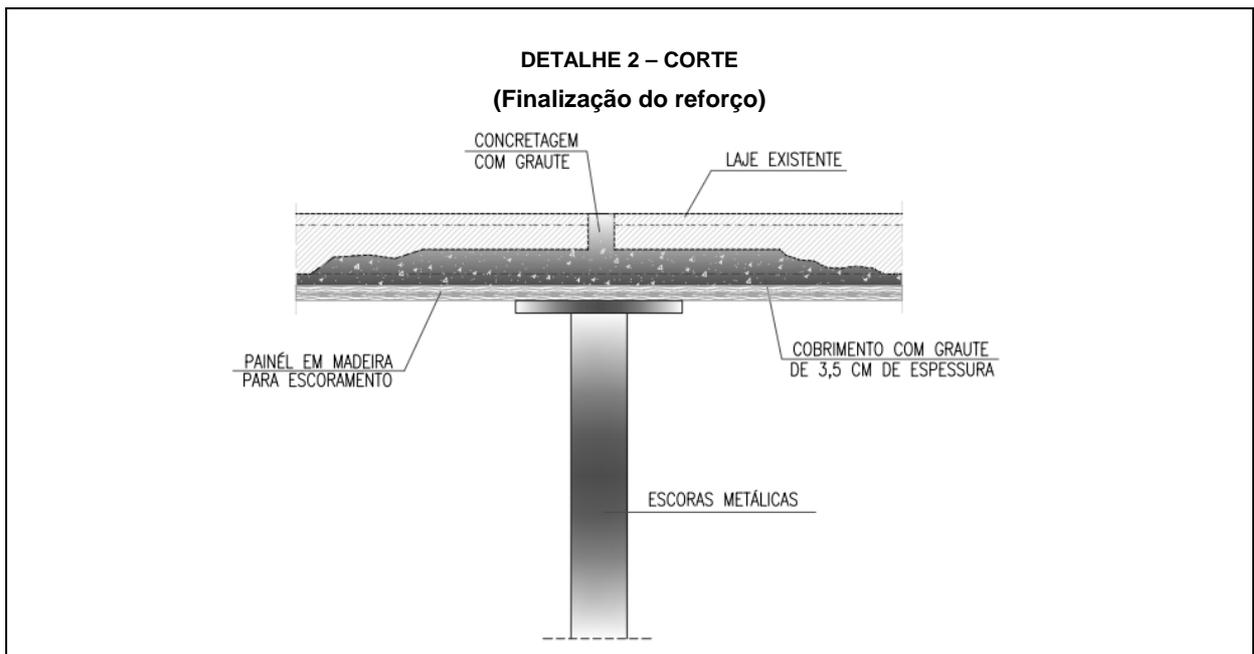
As figuras 41 e 42 demonstram graficamente o processo de recuperação de uma laje de concreto, com uso de armação auxiliar em tela e preenchimento com graute.

Figura 41 – Processo de recuperação de laje de concreto.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 42 – Processo de recuperação de laje de concreto.



Fonte: MS Estruturas (2018).

4.3.6 Relatório fotográfico – pós-conclusão do tratamento das patologias.

As figuras 43 a 47 mostram a situação atual da estrutura do pavimento garagem após o processo de recuperação como ficaram os elementos estruturais: vigas, pilares, lajes e juntas de dilatação recuperados das manifestações patológicas de infiltração e corrosão.

Figura 43 – Lajes e vigas recuperados.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 44 – Pilares e juntas de dilatação recuperados.



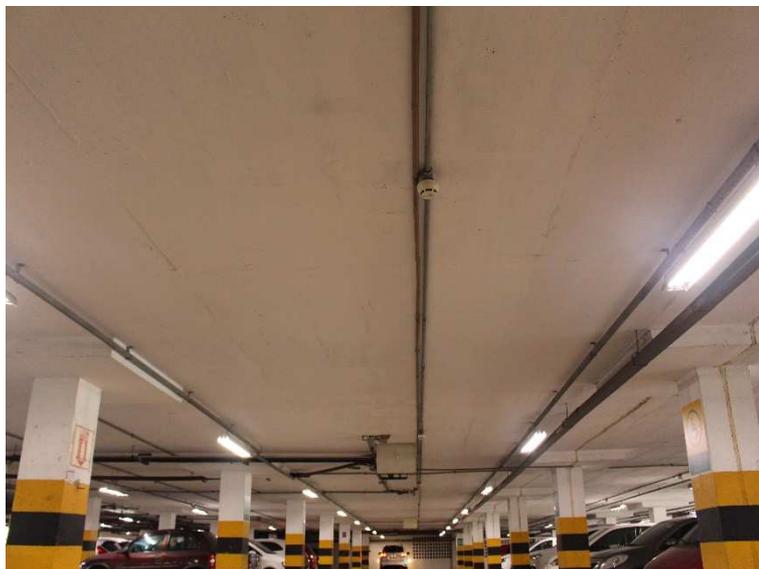
Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 45 – Pilares recuperados.



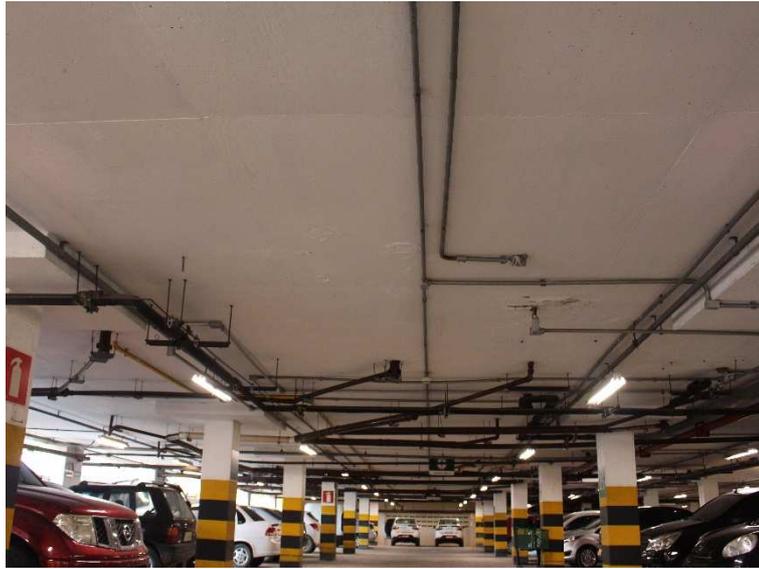
Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 46 – Lajes e vigas recuperadas.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 47 – Instalações hidráulicas/hidrossanitárias reparadas.



Fonte: MS Estruturas (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção de pavimentos, sejam eles pavimentos garagens ou não, é primordial para a conservação da vida útil de uma edificação. Em uma edificação quando ainda em fase de projeto, é importante considerar o ambiente a qual será construída, a classe de agressividade que será submetida e a necessidade de manutenção temporal. As medidas tomadas em fase de projeto não excluem a necessidade de manutenção e contribui para a conservação da edificação.

Compreende-se neste trabalho a importância da análise de manifestações patológicas a partir da verificação da sua origem e o tratamento de recuperação apropriado de um estudo de caso, demonstrando como uma estrutura é influenciada pelo ambiente e o grau de agressividade ao qual está localizada, assim como a ausência de manutenção periódica pode afetar a vida útil da edificação.

A partir do conhecimento da edificação em relação ao ambiente externo e ao uso e ocupação do pavimento analisado, observou-se que o cobrimento do concreto é insuficiente para sua classe de agressividade ambiental e usabilidade, devido à presença de íons cloretos do ambiente e as descargas de CO₂ dos veículos, respectivamente, e o agravante a estes pontos elencados é a falta de manutenção, o que poderia neutralizaria as patologias logo nos primeiros sinais.

Dispondo-se a manter a estabilidade e usabilidade da edificação, considerando a melhor alternativa de recuperação da estrutura, sem intervir ou paralisar a funcionalidade do pavimento estudado, a recuperação foi efetivada pontualmente nos elementos estruturais, executada com o cobrimento apropriado nos trechos com corrosão da armadura, impermeabilização nas áreas com infiltração e reparo das instalações hidrossanitárias de modo a garantir a perfeita conservação do ambiente.

Assim, a análise desta recuperação é importante para o conhecimento educacional e profissional, reforçando a ideia essencial de segurança, estudo e conhecimento das patologias, técnicas apropriadas de recuperação estrutural e prolongamento da vida útil da estrutura.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6118/2014. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Associação Brasileira de normas técnicas. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT NBR 5476/2012. **Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Associação Brasileira de normas técnicas. Rio de Janeiro, 2012.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Dissertação Apresentada ao curso de pós-graduação em engenharia civil da universidade federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em engenharia. Área de concentração: Construção. Porto Alegre – RS, 1997.

ANVERSA, G. B. O que é graute: vantagens, cuidados e aplicações – Sienge - < <https://www.sienge.com.br/blog/o-que-e-graute/> > Acessado em 05 de julho de 2022.

Casa da Vedação – **Tipos de mantas asfálticas**, Blog da casa de vedação < <https://rcvvedacao.com.br/blog/tipos-de-manta-asfaltica>>. Acessado em 18 de fevereiro de 2022.

CORREIA, F. S. M.; JÚNIOR, J. M. F.; DIAS M. C. B. S.; LIMA S. F. **Análise dos principais problemas construtivos decorrentes de falhas de projeto** – Estudo de caso em Maceió – AL. Periódico Ciências exatas e tecnológicas, Volume 4, pág. 57-72, novembro 2017.

BATISTA, K. S. B.; SENA, R. W. R.; OLIVEIRA, M. A. B.; ROLIM, M. G.; SILVA, P. B.; SILVA, S. M. **Erros construtivos como origem de patologias no concreto armado**

em obras na cidade de São João do Rio do peixe – PB. Brazilian Journal of Development. Dezembro, 2020.

FIBERSALS. **O que é impermeabilização semi-flexível e flexível.** Blog da Fibersals. < <https://fibersals.com.br/blog/impermeabilizacao-semi-flexivel/> >. Acessado em 18 de fevereiro.

GUERCHE, A. R. R. **Corrosão de armaduras no concreto armado: Características e processos inibidores.** Trabalho de conclusão de curso apresentado à Uniderp como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em engenharia civil. Campo Grande, 2018.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

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

JUNIOR, P. R. M; LOPES, A. O. FARIA, M. S. P.; **Estudo de infiltração por água em residências unifamiliares.** Joinville – Santa Catarina, Junho, 2021.

LAPA, S. J. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Monografia apresentada como requisito para obtenção de título de especialização em construção civil da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

Lei municipal 165/1980 - **INSTITUI A LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA BÁSICA DO MUNICÍPIO DO JABOATÃO E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS** – Câmara legislativa do município de Jaboatão dos Guararapes – PE, Data de Inserção no Sistema Leis Municipais: 24/04/2012.

LEONHARDT, L; MONNIG, E. **Construções de concreto: Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado.** 1. São Paulo: Interciência, 2007.

LODI, V.H. **A corrosão das armaduras de concreto.** Artigo de análise do mecanismo da corrosão da armadura de concreto armado, Santa Catarina, 2021.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções – Procedimento para diagnóstico e recuperação.** Boletim técnico – Companhia Cimento Portland Itaú – junho de 1986.

MAPA DA OBRA. **Carbonatação compromete a durabilidade das estruturas de concreto.** Votorantim Cimentos, 2017. < [MEDEIROS, M.H.F. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos.** Qualidade da concretagem da estrutura e proteção à superfície aplicada](https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/#:~:text=A%20carbonata%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20um%20fen%C3%B4meno,(H2CO3).> acesso em 10 de fevereiro de 2022.</p></div><div data-bbox=)

podem prevenir o problema, 2008. <
<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412> > acesso em 12 de fevereiro de 2022.

MAX, Obramax. **Infiltração: Causas, como descobrir, como evitar e muito mais!**. Blog Obramax. <
[https://www.obramax.com.br/blog-do-max/max-ensina/infiltracao#:~:text=Na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%2C%20a%20infiltra%C3%A7%C3%A3o,cobertura%20\(telhado%20e%20laje\).&text=Nas%20obras%2C%20esse%20%C3%ADquido%20%C3%A9,e%20dos%20encanamentos%2C%20por%20exemplo.](https://www.obramax.com.br/blog-do-max/max-ensina/infiltracao#:~:text=Na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%2C%20a%20infiltra%C3%A7%C3%A3o,cobertura%20(telhado%20e%20laje).&text=Nas%20obras%2C%20esse%20%C3%ADquido%20%C3%A9,e%20dos%20encanamentos%2C%20por%20exemplo.) > acessado em 15 de fevereiro de 2022.

NEVES, A. **Infiltração no concreto**. Blog da Blok (Fôrmas e impermeabilizantes) –, 2017. <
<https://www.blok.com.br/blog/infiltracao-no-concreto> > acesso em 12 de fevereiro de 2022.

OURIVES, C.N – Direcional condomínio. **Infiltração e demais patologias das garagens em prédios residenciais e comerciais**. <
<https://www.direcionalcondominios.com.br/sindicos/claudio-neves-ourives/item/2484-infiltracoes-e-demais-patologias-das-garagens-em-predios-residenciais-e-comerciais.html>> Acesso em 19 de fevereiro de 2022.

POSSAN, E. **Modelagem da Carbonatação e Precisão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano**. 2010. 263f. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

REIS, L.S.N – “**Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado**”. Pós-graduação em engenharia de estruturas - Escola de engenharia da Universidade federal de Minas Gerais.

RODRIGUES, C. S.; LIMA, F. F. S.; CAVALCANTI, L. R.; MONTEIRO, E. C. B. **Análise de manifestações patológicas em fachadas de patrimônio histórico na cidade do Recife – PE: Ginásio Pernambucano**. Brazilian Journal of Development, Setembro, 2021.

RESENDE, G. A. **Recuperação de estruturas de concreto armado – Técnicas e materiais para prolongar a vida útil**. Artigo 6º conferência sobre patologias e reabilitação de edifícios. Poli-UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.

STORTE, M; PACHECO, B.; MORGADO, J.M. – **Como escolher a manta para impermeabilização de lajes de cobertura**. Blog AECweb <
<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-escolher-a-manta-para-impermeabilizacao-de-lajes-de-cobertura/19625> > acessado em 18 de fevereiro de 2022.

SILVEIRA, M.A. **Impermeabilizações com cimentos poliméricos**. Revista Técnica, São Paulo, n. 54, p. 108-110, setembro 2001.

SCHEIDEGGER, G. M; CALENZANI, C. L. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Revista científica multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 03, Vol. 05, pp. 68-92. Março de 2019.

SAYEGH, S. **Sem manobras** – Revista Técnica – Integração entre projeto arquitetônico e estrutural é indispensável para melhor aproveitamento espacial das garagens. Editora PINI, 2020.

VIEIRA, A. **A influência da classe de agressividade ambiental no concreto** – Bloco do concreto. < <https://blogdoconcreto.com.br/2020/09/a-influencia-da-classe-de-agressividade-ambiental-no-concreto/> > Acesso em 05 de julho de 2022.

ANEXO A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

Figura 01 - Infiltração e corrosão do concreto na laje e viga, próximas aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 02 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 03 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 04 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 05 – Tratamento de corrosão inapropriado na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 06 – Corrosão da armadura na laje.



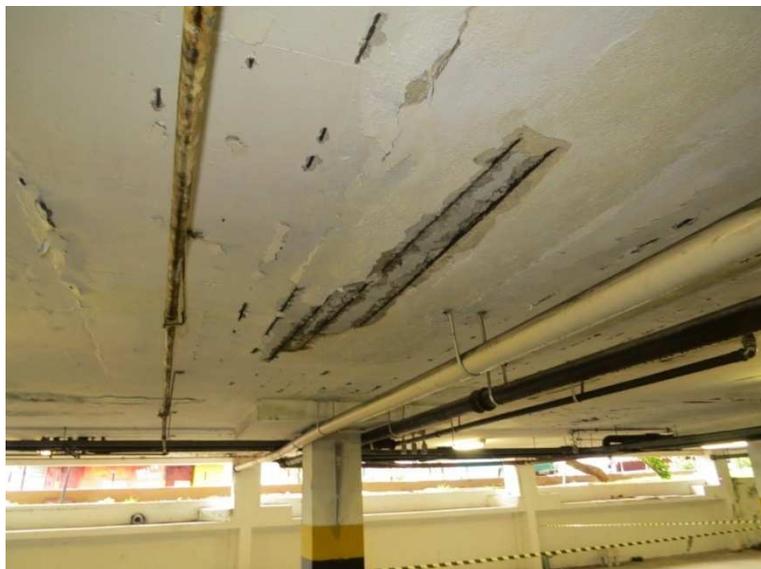
Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 07 – Corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 08 – Corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 09 – Infiltração na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 10 – Infiltração e corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 11 – Corrosão da armadura na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 12 – Infiltração e corrosão do concreto próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 13 – Infiltração e corrosão do concreto próximo a junta.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 14 – Infiltração e corrosão do concreto na laje, próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 15 – Infiltração na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 16 – Infiltração e corrosão do concreto na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 17 – Infiltração e corrosão na laje e viga próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 18 – Infiltração e corrosão do concreto na laje.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 19 – Infiltração e corrosão do concreto na laje, próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).

Figura 20 – Infiltração e corrosão na laje e viga próximo aos vãos abertos.



Fonte: MS Estruturas (2018).