https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.039

INSPEÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJE DE BARRILETE COM A UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS INFORMATIVOS

Marcelo Fernandes Pereira[1]*, Milton Cicero Franco de Camargo[2]
*Autor de contato: mfpereiraengenharia@gmail.com

[1] Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGECiv, UFSCar, São Carlos, Brasil
[2] SOLITEX Engenharia, Campinas/SP, Brasil

RESUMO

A ocorrência de manifestações patológicas, principalmente quando detectadas nas estruturas, além de proporcionarem uma redução na vida útil, podem afetar sua estabilidade, pondo em risco seus usuários. Em muitos casos, são necessárias inspeções detalhadas, com a realização de ensaios informativos e análises estruturais, para tomadas de providências efetivas. Este trabalho apresenta um estudo de caso em que, diante de manifestações patológicas aparentes em uma laje de concreto em um edifício, buscou cumprir todas as etapas necessárias para um diagnóstico seguro e, através de análise estrutural comparativa entre o projetado e o existente (executado), propor recomendações de reforço estrutural para atender o conjunto de esforços que atua sobre as estruturas em estudo. Os ensaios se mostraram efetivos para a devida caracterização das lajes inspecionadas, permitindo um adequado diagnóstico, bem como a análise estrutural, por meio de cálculo manual e uso de software comercial, permitiu constatar a necessidade de reforço estrutural, subsidiando os procedimentos de terapia.
Palavras-chave: patologia das estruturas; diagnóstico; análise estrutural.

ABSTRACT

The occurrence of pathological manifestations, especially when detected in the structures, in addition to providing a reduction in the useful life, can affect their stability, putting their users at risk. In many cases, detailed inspections, with informative tests and structural analysis, are necessary to take effective measures. This work presents a case study in which, in the face of apparent pathological manifestations on a concrete slab in a building, it sought to fulfill all the necessary steps for a safe diagnosis and, through comparative structural analysis between the projected and the existing (executed), propose recommendations for structural reinforcement to meet the set of efforts that act on the structures under study. The tests proved to be effective for the proper characterization of the inspected slabs, allowing an adequate diagnosis, as well as the structural analysis, through manual calculation and use of commercial software, allowed to verify the need for structural reinforcement, subsidizing the therapy procedures.
Keywords: pathology of structures; diagnosis; structural analysis.

1. INTRODUÇÃO

Nas estruturas de concreto armado, um sintoma, para ser considerado patológico, deve comprometer algumas das exigências de construção, seja de capacidade mecânica, funcional ou estética (ANDRADE, SILVA, 2005).

Havendo evidências desses sintomas, as inspeções especializadas ou detalhadas são, na maioria das vezes, o caminho mais seguro e coerente a se seguir. Conforme Bolina *et al* (2019), inspeção detalhada é uma vistoria na qual se realiza uma análise e uma coleta de dados suficientes para se ter uma sensibilidade maior em relação a magnitude da manifestação.

Ensaios não destrutivos e destrutivos, por vezes, se faz necessário. Estes ensaios, aliados a vistoria, ao levantamento e análise de documentos técnicos e investigações pregressas a respeito da estrutura/edificação em estudo, são ferramentas necessárias e de grande utilidade para fundamentar um diagnóstico coerente com os sintomas apresentados na estrutura em referência.

A definição das causas, origens e mecanismos daqueles sintomas identificados na vistoria, forma o diagnóstico e somente com ele, será possível avaliar as tendências de uma não intervenção (prognóstico), como também a necessidade de correções.

Diante do exposto, este trabalho, apresenta um estudo de caso em que, visou cumprir todas as etapas necessárias acima descritas, iniciando-se com o levantamento dos documentos técnicos disponíveis, vistoria no local, a utilização de ensaios com as devidas interpretações, análise estrutural comparativa entre o projetado e o existente (executado) e por fim, recomendações de reforço estrutural para atender o conjunto de esforços que atua sobre as estruturas em estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A patologia é a ciência que estuda as origens, causas e mecanismos de ocorrência de uma manifestação patológica. No caso da construção civil, problema patológico ou manifestação patológica se refere à condição em que um edifício e/ou estrutura deixa de atender satisfatoriamente suas funções previstas em projeto durante sua vida útil (LICHETNSTEIN, 1985).

A norma ABNT NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento estabelece requisitos e critérios de dimensionamento de estruturas de concreto armado, de modo que os estados-limites últimos (ELU) e os estados-limites de serviço (ELS) sejam atendidos, garantindo satisfatoriamente a segurança, funcionalidade e durabilidade da estrutura.

De forma resumida, o ELU está relacionado diretamente com a capacidade resistente da estrutura, enquanto que o ELS se refere às condições de conforto do usuário e a durabilidade da estrutura. Por diversos fatores possíveis, tais estados-limites não são atendidos, requerendo análises detalhadas e diagnósticos para a readequação de uma estrutura.

Segundo Lichtenstein (1985), a metodologia para resolução de um problema patológico ou manifestação patológica é formada por três fases distintas, sendo elas: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e definição de conduta. A primeira fase é composta basicamente por realização de vistoria do local, anamnese junto aos responsáveis do edifício ou estrutura em estudo e realização de ensaios laboratoriais. Já a segunda etapa, conta com levantamentos de subsídios realizados na primeira fase e se refere ao diagnóstico do problema. Por último, a terceira fase compreende na realização de prognóstico e na definição de terapia.

Para Bauer (2015), o exame detalhado de uma estrutura de concreto se refere ao primeiro e mais importante passo, devendo ser realizada por equipe técnica devidamente habilitada e capacitada, tanto nas áreas de concreto e cálculo estrutural, como na área de recuperação.

Em situações em que a inspeção visual não é suficiente para a definição de um diagnóstico, torna-se necessário a realização de avaliações mais avançadas, com a utilização de ensaios informativos. Os ensaios podem ser não destrutivos, que permitem a inspeção da estrutura sem prejudicar sua utilização, destacando-se os ensaios de detecção eletromagnética, ultrassonografia e esclerômetria. Os ensaios também podem ser destrutivos, podendo ou não afetar permanentemente a integridade da estrutura. Destaca-se a extração de testemunhos de concreto e aço para ensaios laboratoriais (MACHADO, 2015).

Para Helene *et al.* (2013), o diagnóstico de estruturas de concreto deve sempre ser obtido com a realização de ensaios, seja de ordem física, química ou mecânica, bem como realizado por profissional especialista, patologista, com conhecimento suficiente para estudar situações limites reais, que em algumas vezes não são previstas em normas técnicas, sendo necessário aliar a ciência à prática.

Os ensaios informativos em estruturas de concreto armado são realizados para verificação de sua qualidade, seja na fase de sua execução ou em serviço. A aplicação de ensaios pode ser motivada por diferentes situações, destacando-se entre elas o comportamento inadequado de uma estrutura, permitindo determinar a necessidade ou não de reforço estrutural (CANÓVAS, 1988).

As intervenções em estruturas de concreto podem ser resumidas nos seguintes tipos: emergenciais, preventivas, reparos, reforços e substituição da estrutura. Ao selecionar o tipo de intervenção, aspectos técnicos, econômicos, operacionais, arquitetônicos e ambientais devem ser considerados (HELENE *et al.*, 2003).

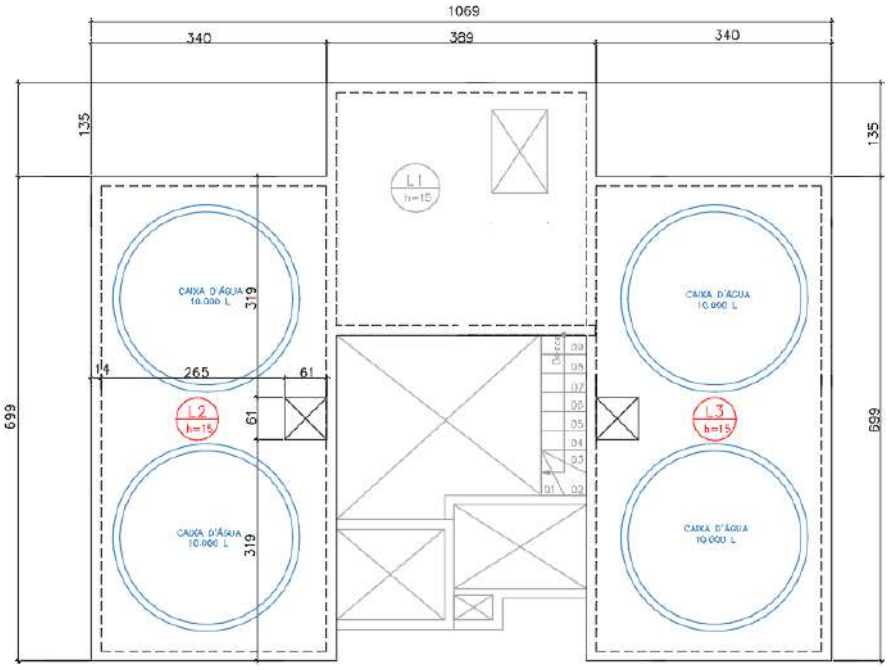
A escolha da técnica de recuperação ou reforço de uma estrutura passa imprescindivelmente pela fase de diagnóstico. O conhecimento das causas, origens e mecanismos de degradação são de extrema importância para a escolha de materiais e equipamentos a serem aplicados nos serviços de recuperação e/ou reforço (SOUZA & RIPPER, 1998). Segundo Machado (2015), “quanto melhor o diagnóstico, maior será o êxito da terapia”.

3. METODOLOGIA

3.1 Estudo de caso

O objeto do presente estudo de caso se refere à duas lajes situadas no pavimento do barrilete de um edifício residencial de 14 pavimentos, localizado na cidade de São Paulo/SP, com aproximadamente 5 anos de idade. De acordo com o seu projeto estrutural, o referido edifício foi executado em sistema de alvenaria estrutural, sendo as lajes maciças em concreto armado. As lajes, objeto deste estudo, estão identificadas como lajes L2 e L3 na planta de forma apresentada na Figura 1. Conforme planta abaixo, as referidas lajes foram projetadas com espessura de 15 cm e área de 699x340 cm², bem como para suportar, cada uma, dois reservatórios de 10.000 litros.

Figura 1 – Planta de formas das lajes



Fonte: os autores.

Na Tabela 1 estão apresentadas os diâmetros e espaçamentos das armaduras especificados no projeto estrutural das lajes. Em relação a resistência à compressão do concreto, esta foi especificada no projeto estrutural em 25 MPa. Para a devida caracterização, na Figura 2 são apresentadas as vistas inferior e superior das lajes inspecionadas, sendo que na Figura 2(a) a vista inferior e na Figura 2(b) a vista superior com os reservatórios de água que abastecem o edifício.

Tabela 1 – Armaduras das lajes conforme projeto estrutural

Direção	Tipo	Diâmetro (mm)	Espaçamento (cm)
menor vão	positiva	12,5	15,0
maior vão	positiva	8,0	20,0
menor vão	negativa (borda)	6,3	13,0
maior vão	negativa (borda)	6,3	13,0

Fonte: os autores.

Figura 2 – Vistas das lajes inspecionadas



(a) (b)

Fonte: os autores.

Ressalta-se que, na data da realização da inspeção nas lajes, as mesmas já se encontravam escoradas a pedido dos responsáveis pelo edifício, face a constatação de diversas fissuras, tanto na face superior como na face inferior das lajes, que geraram desconforto e insegurança quanto a estabilidade da estrutura, fato que motivou o presente estudo. Na Figura 3(a) é apresentada fissuração na face inferior de uma das lajes em sua região central, enquanto que na Figura 3(b) é mostrada fissura na face superior da laje, na região próxima ao apoio.

Figura 3 – Fissuras existentes nas lajes



(a) (b)

Fonte: os autores.

3.2 Métodos e materiais

Seguindo a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), após consulta da documentação técnica disponível e realização de anamnese com os responsáveis do edifício, foi realizada a inspeção minuciosa nas lajes. No que diz respeito a documentação técnica, foi possível ter acesso ao projeto estrutural, com planta de forma e detalhamento das armaduras das lajes.

Com o objetivo de constatar as condições físicas das lajes e confrontar com os documentos e informações obtidas inicialmente, foram realizados ensaios não destrutivos e destrutivos na estrutura de concreto armado. A investigação se iniciou pelo cadastramento geométrico das lajes, com a utilização de trena simples e a lazer, de modo a constatar os vão e espessuras executadas no local, conforme mostrado na Figura 4(a). Na sequência, foi realizado mapeamento das fissuras existentes, com a utilização de fissurômetro, conforme Figura 4(b). O mapeamento teve como objetivo verificar as extensões e espessuras das fissuras existentes nas lajes.

Figura 4 – Cadastramento geométrico da estrutura e mapeamento das fissuras



(a) (b)

Fonte: os autores.

Para caracterização das armaduras existentes nas lajes, realizou-se o ensaio de detecção eletromagnética, fazendo uso de um equipamento BOSCH-D-TECT150 da empresa Bosch, conforme Figura 5(a), de modo a identificar os posicionamentos das barras no interior das lajes, de maneira não destrutiva. Uma vez levantadas as posições das armaduras e indicadas por meio de marcações com giz, realizou-se prospecções de armaduras, em regiões de cruzamento das mesmas, com o auxílio de martelete mecânico. As referidas prospecções foram executadas de maneira cautelosa, de modo a não danificar a estrutura, bem como permitir a constatação do diâmetro das armaduras em ambas as direções das lajes, com o auxílio de paquímetro, conforme Figura 5(b).

Figura 5 – Mapeamento das fissuras



(a) (b)

Fonte: os autores.

Para a caracterização do concreto das lajes, foram executadas extração de 03 testemunhos, conforme procedimentos previstos na ABNT NBR 7680-1:2015 Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Tais testemunhos foram ensaiados para determinação de sua resistência à compressão axial, conforme ABNT NBR 5739:2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. A Figura 6(a) apresenta uma das extrações sendo realizadas, enquanto que, na Figura 6(b) é apresentado o ensaio de compressão de um dos testemunhos, sendo realizado em laboratório em máquina da marca EMIC, modelo PC200.

Figura 6 – Extração e ensaio de compressão de testemunho

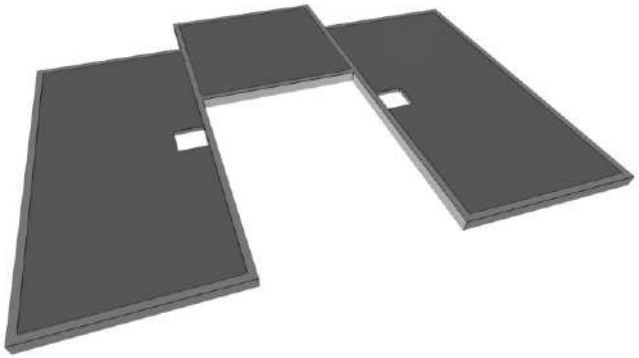


(a) (b)

Fonte: os autores.

Levantadas as características físicas em campo, procedeu-se análise analítica das lajes, por meio de analogia de grelha com o uso do software comercial Eberick, da empresa AltoQi. A Análise teve como objetivo verificar o projeto estrutural inicialmente disponibilizado, como também a capacidade da estrutura face aos carregamentos atuantes, principalmente no que diz respeito aos reservatórios que sobre as lajes estão instalados. Adicionalmente, os esforços solicitantes nas lajes também foram determinados manualmente, com base nas tabelas de Czerny, de modo a validar a simulação pelo software. Todas as verificações foram realizadas observando-se os critérios e requisitos da norma ABNT NBR 6118:2014. Na Figura 7 é apresentado vista tridimensional da modelagem das lajes realizada no software Eberick.

Figura 7 – Modelagem das lajes em software de cálculo estrutural



Fonte: os autores.

Adicionalmente, tendo em vista as aberturas realizadas nas lajes para prospecção das armaduras, foi verificada a alcalinidade do concreto por meio de aspersão de solução de fenolftaleína, esta composta por 1 g da fenolftaleína em 50 ml de álcool etílico, diluído em água destilada até completar 100 ml. Tal ensaio teve como objetivo verificar a profundidade da frente de carbonatação do concreto, de modo a obter um parâmetro relacionado a durabilidade das lajes inspecionadas.

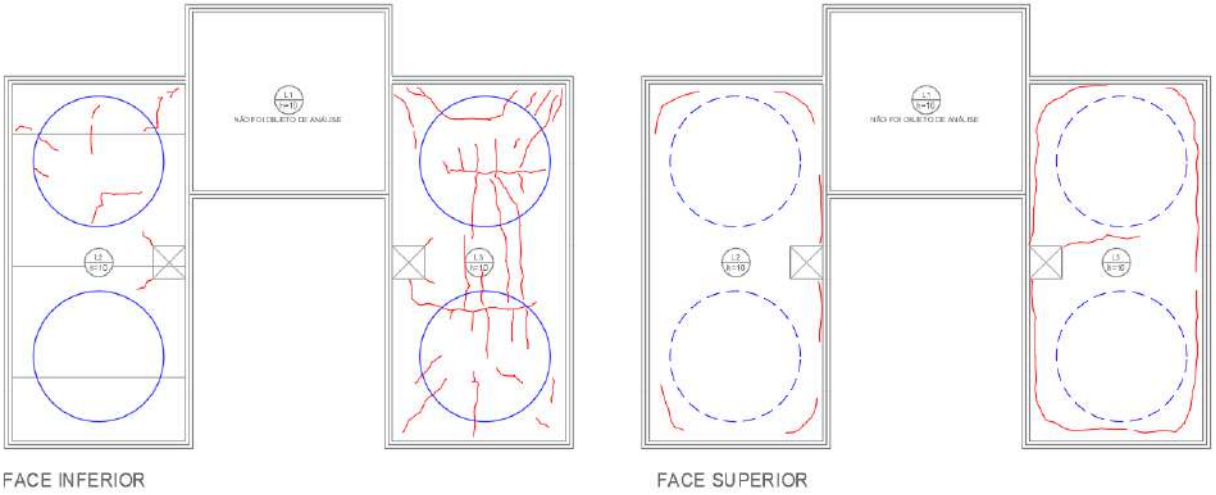
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao levantamento geométrico realizado, constatou-se que as dimensões dos vãos das lajes estavam coerentes com os definidos em projeto, entretanto, observou-se que a estrutura foi executada com espessura de 10 cm, dimensão inferior aos 15 cm previstos em projeto. O mapeamento das fissuras no local gerou o croqui da Figura 8, apresentada abaixo.

Analisando-se o croqui de mapeamento das fissuras, é possível observar que a laje L3 possui um nível de fissuração mais avançado quando comparado com a laje L2, o que pode ser justificado pelo sistema de abastecimento de água do edifício, visto que, conforme informações colhidas durante a anamnese, os reservatórios situados na laje L3 são preenchidos, para que, depois, os reservatórios da laje L2 sejam abastecidos. Logo, o nível maior de fissuração pode estar atrelado à um maior carregamento na laje L3.

Ainda sobre a fissuração, tendo em vista a projeção do posicionamento dos reservatórios, o mapeamento permitiu observar que a fissuras indicam uma provável insuficiência de capacidade à flexão das lajes, sejam aos momentos fletores positivos, na parte inferior na região central, como aos momentos fletores negativos, na parte superior junto aos apoios.

Figura 8 – Croqui de mapeamento das fissuras na laje



Fonte: os autores.

Em relação ao ensaio de detecção eletromagnética, este se mostrou efetivo, visto que as prospecções confirmaram o posicionamento das armaduras, permitindo estender as regiões inspecionadas, de forma não destrutiva e com certa confiabilidade. Em relação às armaduras, constatou-se que, na direção do menor vão, as mesmas foram executadas em desconformidade com o projeto estrutural, com diâmetros inferiores e espaçamento superiores aos especificados no referido projeto. Já na direção do maior vão, a disposição das armaduras atendeu ao projeto. Na tabela 2 estão apresentadas as características das armaduras constadas em campo.

Tabela 2 – Armaduras das lajes conforme levantamento em campo

Direção	Tipo	Diâmetro (mm)	Espaçamento (cm)
menor vão	positiva	8,0	20,0
maior vão	positiva	8,0	20,0
menor vão	negativa (borda)	6,3	13 a 30
maior vão	negativa (borda)	não confirmado	13 a 30

Fonte: os autores.

No que diz respeito as armaduras negativas, previstas em projetos, com diâmetro de 6,3 mm espaçadas a cada 13,0 cm, o ensaio de detecção eletromagnética indicou sua existência apenas em alguns pontos da estrutura, demonstrando como duvidosa sua conformidade, indicando provável ausência ou deslocamento em tempos de execução da laje.

Em relação a resistência à compressão do concreto, na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos ensaios de compressão axial realizados nos testemunhos de concreto extraídos da laje. Observa-se que dos três testemunhos, dois apresentaram resistência à compressão superior aos 25 MPa, definido no projeto estrutural. Ainda, apenas um dos testemunhos apresentou valor abaixo do previsto em projeto, entretanto, tratou-se de pequena diferença e em testemunho que já apresentava uma fissura pré-existente.

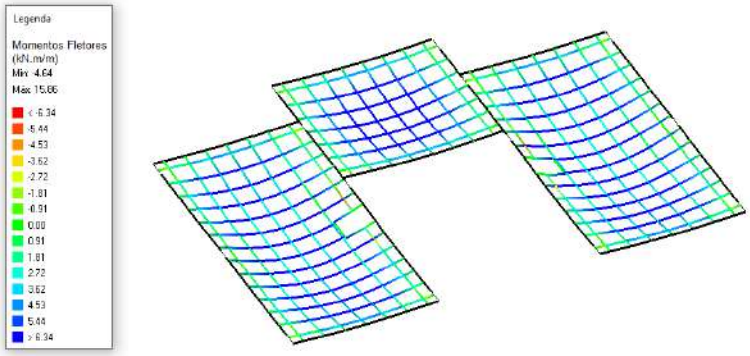
Tabela 3 – Resultados do ensaio à compressão do concreto

Nº	Diâmetro médio (mm)	Área (mm²)	Altura média (mm)	Densidade (t/m³)	Carga (N)	Fcj,ext,inicial (MPa)	Relação (h/d)	Coef. de correção (k) final	Fcj,ext (MPa)
01	74,6	4.371	100	2,246	107.000	24,5	1,340	0,991	24,3
02	74,8	4.394	93	2,180	120.800	27,5	1,243	0,978	26,9
03	74,7	4.383	99,6	2,227	146.600	33,9	1,333	0,990	33,6

Fonte: os autores.

Uma vez caracterizada as lajes, foi realizada análise no software Eberick. As referidas lajes foram lançadas com as dimensões e carregamentos previstos em projetos, bem como considerada com suas extremidades apoiadas, face o detalhamento do projeto estrutural indicar apenas armaduras negativas mínimas. Na Figura 9 é apresentada a vista tridimensional das grelhas com os momentos fletores atuantes nas lajes.

Figura 9 – Momentos fletores atuantes nas lajes



Fonte: os autores.

De modo a validar o dimensionamento realizado software Eberick, os momentos fletores positivos nas duas direções da laje foram também calculados manualmente por meio das tabelas de Czerny. Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos, onde se pode notar que o valores calculados pelo software foram validados pelos valores calculados manualmente, bem como, é possível observar que o momento fletor positivo máximo calculado pelo Eberick, para o menor vão, é levemente mais conservador, enquanto que no maior, o valor calculado manualmente é mais conservador.

Tabela 4 – Momentos fletores positivos atuantes nas lajes

Método	Momento fletor positivo no menor vão (kN.m/m)	Momento fletor positivo no maior vão (kN.m/m)
software Eberick	15,86	5,24
tabelas de Czerny	15,78	5,37

Fonte: os autores.

Uma vez determinados e validados os esforços atuantes na laje, dimensionou-se as armaduras necessárias para o equilíbrio da seção, conforme critérios da ABNT NBR 6118:2014. O dimensionamento indicou que o projeto estrutural, apresentado inicialmente, atendeu aos critérios normativos, visto que os diâmetros das armaduras positivas e espaçamentos calculados pelo software e manualmente se mostraram coerentes com as especificações do projeto, conforme resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Armaduras obtidas pelo dimensionamento

Direção	Tipo	Diâmetro (mm)	Espaçamento (cm)
menor vão	Eberick	12,5	19,0
	manualmente	12,5	20,0
menor vão	Eberick	8,0	17,0
	manualmente	8,0	20,0

Fonte: os autores.

Já considerando a situação executada das lajes, em que as espessuras e taxas de armaduras foram significantemente diminuídas, os critérios de dimensionamento não são atendidos. Além da taxa de armadura ser inferior ao necessário, a seção de 10,0 cm, para o momento positivo atuante, não permite o dimensionamento da laje dentro dos critérios previstos na ABNT NBR 6118:2014. Tal fato corrobora com fissuras observadas nas lajes, que evidenciam que as mesmas não possuem condições de suportar os esforços nelas atuantes, dentro dos critérios de segurança.

Importante ressaltar que, logo após a constatação que as lajes foram executadas em desconformidade com o projeto estrutural e normas técnicas, bem como não possuem capacidade de suportar adequadamente os esforços atuantes, os responsáveis pelo edifício foram notificados sobre a necessidade de contratar um projeto de reforço estrutural, como também para providenciarem um alívio nas cargas que os reservatórios ocasionam na laje, por meio de adaptações no sistema hidráulico, até que a situação seja adequadamente resolvida.

Ainda, os ensaios para verificação da alcalinidade do concreto permitiram verificar que o concreto já possui profundidade de frente de carbonatação consideravelmente avançada, tendo em vista se tratar de elemento com 5 anos de idade, aproximadamente. Na Figura 10 é apresentado ponto em que foi aspergida a solução com fenolftaleína, sendo possível observar que o concreto carbonatado (incolor) já se encontra a poucos milímetros das armaduras. Tal resultado permitiu obter um parâmetro quanto a durabilidade das lajes, indicando a necessidade de aplicação de um sistema de proteção nas superfícies das lajes, visto se tratar de estrutura situada em grande centro urbano, de modo a evitar a despassivação das armaduras e permitir o início do processo de corrosão.

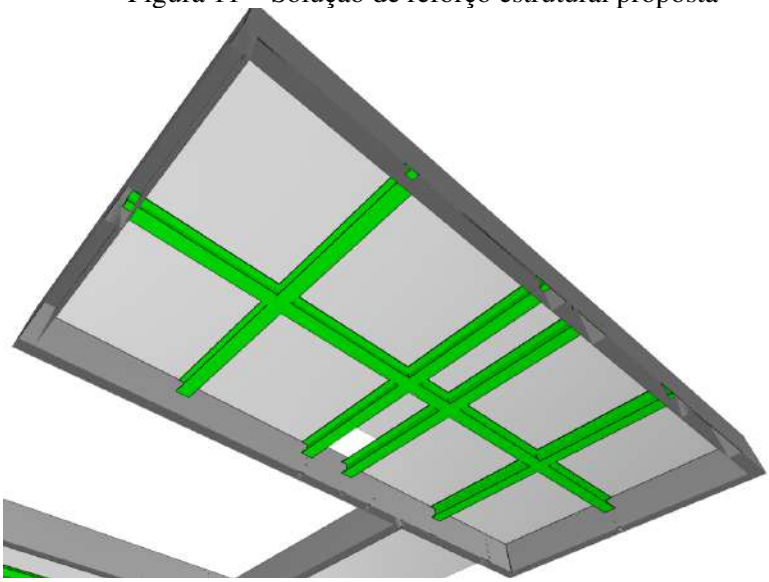
Figura 10 – Ensaio para verificação da alcalinidade do concreto



Fonte: os autores.

Com base nos resultados dos ensaios e diagnóstico realizado, verificou-se que a laje foi executada em desconformidade com o projeto estrutural e que não possui capacidade de suportar os esforços que nelas atuam, bem como, mantidas tais condições, a segurança dos usuários e integridade da estrutura é colocada em risco. Isto posto, foi proposta a solução de reforço com vigas metálicas, conforme apresentado na Figura 11. A referida solução constitui na instalação de 5 vigas metálicas sob cada laje vistoriada.

Figura 11 – Solução de reforço estrutural proposta



Fonte: os autores.

O sistema de reforço proposto foi definido de modo a dividir as lajes em pequenos vãos, com a finalidade de que a espessura e as taxas de armaduras existentes tenham condições de suportar os esforços solicitantes. A capacidade das vigas metálicas foi verificada conforme ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Ainda, as vigas metálicas foram dimensionadas como apoiadas na alvenaria estrutural com execução de coxins, alvenaria que já recebe o carregamento das referidas lajes, não alterando de forma significativa o esquema estático do edifício.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou avaliar, por meio de inspeção especializada, as condições de lajes de barrilete de edifício residencial. Os principais aspectos analisados foram as constatações das condições físicas, aplicação de ensaios não destrutivos e destrutivos, e análise estrutural da capacidade resistente das lajes. Os resultados obtidos permitiram obter as seguintes considerações finais:

- Os ensaios não destrutivos e destrutivos se mostraram efetivos e permitiram um diagnóstico seguro e definição adequada de terapia da estrutura;

- A utilização do software Eberick se mostrou eficiente e os valores obtidos pelo software apresentaram boa convergência com os valores calculados manualmente;

- A inspeção da estrutura se mostrou como importante ferramenta para garantir a integridade das lajes e segurança dos usuários do edifício;

Em complemento, no presente estudo, ficou perceptível que um controle da execução das peças afetadas, ou até mesmo uma fiscalização eficaz, ficou a desejar, ensejando em peças que não respeitaram o projeto estrutural para elas proposto.

Cabe ressaltar que, o não cumprimento das normas técnicas vigentes, quer seja na fase de projeto, materiais ou execução, deve ser evitado, salvo estudos aprofundados e fundamentados que comprovem o contrário.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T.; SILVA, A.J.C. Patologia das Estruturas. *In*: ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. P. 953-983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680-1: **Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção 1**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BOLINA, F. L., *et al*. **Patologia de estruturas**. São Paulo. Oficina de Textos, 2019.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Editora PINI, 1998.

HELENE, P., CASTRO, P., O'REILLY, V. *et al*. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: Procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

MACHADO, A. P., MACHADO, B.A. **Reforço de estruturas de concreto armado com sistemas compostos FRP: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2015.

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